



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
DOUTORADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

THALES LACERDA QUERINO DE ALBUQUERQUE

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL COM
ACESSO REMOTO PARA MONITORAMENTO DE BIORREATORES
ANAERÓBIOS**

CAMPINA GRANDE, PB

2021

THALES LACERDA QUERINO DE ALBUQUERQUE

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL COM
ACESSO REMOTO PARA MONITORAMENTO DE BIORREATORES
ANAERÓBIOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologias de Tratamento de Água e Resíduos.

Orientador: Prof. Dr. Wilton Silva Lopes

CAMPINA GRANDE

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A345d Albuquerque, Thales Lacerda Querino de.
Desenvolvimento de uma ferramenta computacional com acesso remoto para monitoramento de biorreatores anaeróbios [manuscrito] / Thales Lacerda Querino de Albuquerque. - 2021.
127 p. : il. colorido.

Digitado.

Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Wilton Silva Lopes , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Potencial Bioquímico de Metano - BMP . 2. Atividade Metanogênica Específica - AME. 3. Sensores de pressão. 4. Arduino. 5. Biogás. I. Título

21. ed. CDD 628.3

THALES LACERDA QUERINO DE ALBUQUERQUE

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL COM
ACESSO REMOTO PARA MONITORAMENTO DE BIORREATORES
ANAERÓBIOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

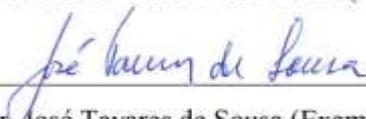
Área de concentração: Tecnologias de Tratamento de Água e Resíduos.

Aprovada em: 27/05/2021

BANCA EXAMINADORA



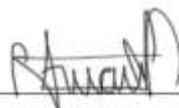
Prof. Dr. Wilton Silva Lopes (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Tavares de Sousa (Examinador Interno)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Valderi Duarte Leite (Examinador Interno)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Roger Ruben Huaman Huanca (Examinador Externo)
Universidade Estadual Paulista (UNESP)



Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Estadual Paulista (UNESP)



Prof. Dr. Tales Abreu Tavares de Sousa (Examinador Externo)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Dedico este trabalho a Deus, criador do universo e de todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser tão maravilhoso comigo e por todas as bênçãos derramadas na minha vida.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha mãe Maria Betânia de Almeida Lacerda e ao meu pai Domingos Sávio Querino de Albuquerque por todos os ensinamentos, educação, apoio e incentivo nesta caminhada.

Agradeço ao meu professor e orientador Wilton Silva Lopes por me oferecer uma oportunidade e acreditar no meu trabalho.

Agradeço a todos os amigos de trabalho, que colaboraram com meu desenvolvimento, proporcionando a possibilidade de cursar este doutorado, colaborando com o meu crescimento profissional.

Agradeço a Universidade Estadual da Paraíba, satisfação em fazer parte desta instituição, primeiramente como servidor público desde o ano de 2009 e também como aluno de mestrado e doutorado. Gratidão a esta instituição que faz parte da minha vida, obrigado por todas as oportunidades.

Agradeço aos amigos que fiz na cidade de Campina Grande, todos de alguma forma tem participação na minha caminhada e acompanharam minha luta nesta caminhada de pesquisa nesses últimos quatro anos.

O senhor é meu pasto e nada me faltará.

Salmo 23

RESUMO

As práticas de tratamento de água e esgoto tem obtido uma crescente demanda por tecnologias que promovam uma ecoeficiência, a necessidade de monitoramento constante e precisão dos biorreatores exige o uso de equipamentos com alta tecnologia. Desse modo a proposta do estudo por meio da aplicação destes recursos é buscar a integração dessas tecnologias empregadas com a confecção de uma bancada para testes em biorreatores anaeróbios de membrana tanto frontal quanto tangencial e um software de controle de pressão em reatores tanto para testes BMP (Potencial bioquímico de Metano) quanto para teste de Atividade Metanogênica Específica (AME) com custo acessível para uso no mercado e pesquisa. Tais controles serão empregados através da utilização de uma placa Arduino e sensores de pressão da série MPX5700AP, permitindo o monitoramento remoto, além de possuir um sistema de código aberto baseado na plataforma Arduino, e os resultados experimentais obtidos através do Sistema de Monitoramento Online de Biorreatores (SISMONBIO). O sistema foi implementado no laboratório da Universidade Estadual da Paraíba na cidade de Campina Grande, Paraíba - Brasil. Neste trabalho são descritos os parâmetros a serem monitorados, bem como a operação do sistema baseado em Arduino. Finalmente, será possível monitorar os biorreatores de qualquer local apenas através do acesso remoto com uma ferramenta que apresenta uma tecnologia com uma precisão de resultados e baixo custo quando comparado ao que há no mercado atualmente, atendendo as demandas existentes.

Palavras chave: Potencial Bioquímico de Metano (BMP). Atividade Metanogênica Específica (AME), biogás, Arduino. Sensores de Pressão.

ABSTRACT

The water and sewage treatment practices have obtained a growing demand for technologies that promote eco-efficiency, the need for constant monitoring and precision of bioreactors requires the use of high-tech equipment. Thus, the purpose of the study through the application of these resources is to seek the integration of these technologies employed with the construction of a bench for testing in anaerobic membrane bioreactors, both frontal and tangential and a pressure control software in reactors for both BMP tests (Methane Biochemical Potential) and for Specific Methanogenic Activity (AME) testing at affordable cost for market and research use. Such controls will be employed through the use of an Arduino board and pressure sensors from the MPX5700AP series, allowing remote monitoring, in addition to having an open source system based on the Arduino platform, and the experimental results obtained through the Bioreactor Online Monitoring System (SISMONBIO). The system was implemented in the laboratory of the State University of Paraíba in the city of Campina Grande, Paraíba - Brazil. This work describes the parameters to be monitored, as well as the operation of the Arduino-based system. Finally, it will be possible to monitor the bioreactors from any location only through remote access with a tool that presents a technology with a precision of results and low cost when compared to what is currently on the market, meeting the existing demands.

Keywords: Methane Biochemical Potential (BMP). Specific Methanogenic Activity (AME). Biogas. Arduino, Pressure Sensors.

QUADRO DE IMAGENS

Figura 1 - Níveis de tratamento de esgoto	22
Figura 2 – Sistema SISLIC - Chesf	26
Figura 3 – Explicação sobre os componentes da placa Arduino	27
Figura 4 – Arduino Mega R3.....	32
Figura 5 – Esquema da pressão manométrica	33
Figura 6 – Esquema da pressão absoluta	34
Figura 7 – Esquema da pressão diferencial	34
Figura 8 – Sensor de pressão MPX5700AP	36
Figura 9 – Módulo Ethernet W5100.....	37
Figura 10 – Estrutura de um banco de dados.....	51
Figura 11–Ferramenta analítica construída para realização de testes anaeróbios em lote 43	
Figura 12 - Biorreator Anaeróbio de Membrana com fluxo tangencial	44
Figura 13 - Biorreator Anaeróbio de Membrana com fluxo frontal	45
Figura 14- Esquema de conexão entre os componentes utilizados na montagem do sistema para realização de testes anaeróbios em lote	46
Figura 15 – Estrutura de um banco de dados.....	51
Figura 16 - Função escrita na linguagem PHP para cálculo da pressão transmembrana	56
Figura 17 - Função PHP para editar configurações de biorreator (Teste BMP).....	57
Figura 18- Função PHP escrita para gerar dados para plotagem de gráficos de pressão	58
Figura 19 - Código PHP para cálculo do número de mols, volume de biogás e volume de metano	60
Figura 20 Modelo Entidade Relacionamento (MER) – SISMONBIO.....	63
Figura 21 - Listagem dos dados de um biorreator anaeróbio com membrana de fluxo frontal	68
Figura 22 - Gráfico Pressão Transmembrana	69
Figura 23 - Listagem dos dados de um Teste BMP realizado	71
Figura 24 - Tela para configuração de reator no Teste BMP	72
Figura 25 - Gráfico de Pressão a cada 24 horas	73
Figura 26 - Gráfico do tipo volume de biogás acumulado	74
Figura 27 - Gráfico de produção média diária de biogás	75
Figura 28 - Interface permite visualizar sistemas monitorados.....	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problemática	14
1.2	Justificativa	14
1.3.	Objetivo Geral	15
1.4	Objetivos Específicos	15
1.5	Motivação para o trabalho	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Tecnologia da informação e gestão ambiental	17
2.1.1	<i>Tecnologia da Informação e suas premissas</i>	17
2.1.2	<i>Internet das coisas (IoT) – Evolução tecnológica</i>	18
2.1.3	<i>Processos de Tratamento de Água e Esgoto</i>	21
2.1.4	<i>Gestão Ambiental: Uma visão tecnológica para as organizações</i>	22
2.1.5	<i>Sistemas de Informação para Gestão Ambiental</i>	24
2.2–	Dispositivos eletrônicos para o monitoramento de biorreatores	26
2.2.1	<i>Microcontrolador Arduino</i>	26
2.2.2	<i>Arduino UNO</i>	30
2.2.3	<i>Arduino Mega</i>	31
2.2.4	<i>Sensores de pressão MPX5700AP</i>	32
2.2.5	<i>Módulo Ethernet W5100</i>	36
3	PRODUTOS E POSSIBILIDADES EXISTENTES NO MERCADO ATUAL	38
3.1	Biorreatores de membrana	38
3.2	Teste BMP	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	Descrição do local de estudo	40
4.2	Levantamento de requisitos	40

4.3	Esquema de conexão e montagem dos dispositivos eletrônicos	42
4.3.1	<i>Biorreatores Anaeróbios de Membrana com fluxo tangencial</i>	43
4.3.2	<i>Biorreatores Anaeróbios de Membrana com fluxo frontal</i>	44
4.3.3	<i>Esquema De Conexão Para Montagem Do Teste BMP</i>	46
4.4	Desenvolvimento do software	48
4.4.1	<i>Tecnologias Utilizadas Para O Desenvolvimento Do Software</i>	48
4.4.2	<i>Linguagens de programação PHP</i>	48
4.4.3	<i>Linguagens de marcação HTML e CSS</i>	49
4.4.4	<i>Banco de Dados MySQL</i>	50
4.4.5	<i>Framework Bootstrap</i>	53
4.4.5	<i>Biblioteca para gerar gráficos – Charts.js</i>	53
4.4.6	<i>Servidor Web de hospedagem</i>	54
4.5	Biorreatores anaeróbios com membrana	55
4.5.1	<i>Funcionalidade para cálculo da pressão transmembrana</i>	55
4.6	Ferramenta teste BMP	56
4.6.1	<i>Funcionalidade listar dados</i>	56
4.6.2	<i>Funcionalidade configurar biorreator</i>	57
4.6.3	<i>Funcionalidade gerar gráficos de pressão</i>	58
4.6.4	<i>Funcionalidade gerar gráficos de volume de biogás</i>	59
4.7	Padrão de desenvolvimento MVC	61
4.7.1	<i>Modelo Entidade Relacionamento (MER)</i>	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1	Monitoramento de biorreatores anaeróbios de membrana	67
5.1.2	<i>Funcionalidade listar dados</i>	67
5.1.3	<i>Funcionalidade gerar gráfico de pressão transmembrana</i>	68
5.2	Ferramenta analítica teste BMP	70
5.2.1	<i>Funcionalidade configurar biorreator</i>	71

5.3	Funcionalidade gerar gráficos	72
5.3.1	<i>Gráficos de Pressão</i>	72
5.3.2	<i>Gráficos de Volume</i>	73
5.3.3	<i>Gráficos de Produção</i>	74
5.4	Funcionalidade listar sistemas	75
6	SUGESTÕES	77
7	CONCLUSÕES	78
	REFERENCIAS	79
	APÊNDICES	85

1. INTRODUÇÃO

A adoção de práticas ambientais não é apenas uma resposta a políticas ambientais cada vez mais rígidas, mas também pode ser considerada uma fonte de vantagem que enriquece o potencial competitivo quando ocorre a busca por tecnologias limpas que iniciam um novo mercado. Embora a legislação ambiental ainda esteja voltada para práticas de tratamento, a busca por iniciativas proativas e preventivas podem ser observadas no Brasil para atender a demanda do mercado mundial. Com grande riqueza natural e crescimento industrial e econômico pelo país, o Brasil merece destaque pela adoção de iniciativas e medidas ambientais que promovam o equilíbrio entre crescimento econômico e responsabilidade ambiental.

A produção mais limpa utilizando-se de recursos tecnológicos é uma estratégia contínua para promover a ecoeficiência produtiva, minimizando o uso de insumos e geração de resíduos. É um mecanismo eficaz para as indústrias melhorarem seus processos de produção e meios de controlar seus aspectos e impactos ambientais. Além disto, a produção mais limpa utiliza técnicas que previnem a degradação ambiental na exploração de recursos naturais, com foco na minimização do uso de insumos, bem como na redução da poluição causada pela geração de resíduos, através de práticas que permitem minimizar o uso de recursos e geração de emissões, promovem a reutilização desses recursos e as práticas de reciclagem (YUSUP, *et. al.*, 2014).

Baseando-se em uma produção sistêmica mais limpa, denota-se a importância dos processos de tratamento para esgoto, utilizando-se de técnicas que permitam a avaliação constante, monitoramento, controle total, com qualidade, eficiência e eficácia, empregando recursos de T.I para chegar neste resultado. A digestão anaeróbia é um método de tratamento de esgotos amplamente utilizado, devido ao seu bom desempenho na redução de resíduos e recuperação de energia na forma de biogás. A aplicação da tecnologia de digestão anaeróbia está crescendo em todo o mundo, por causa dos seus benefícios econômicos e ambientais. Como consequência, vários estudos e atividades de pesquisa, que tratam da determinação do potencial de biogás de substratos orgânicos sólidos foram realizados nos últimos anos (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2010).

Para avaliar a implementação e otimização de biotecnologias anaeróbias, são adotadas técnicas analíticas como o teste do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) e teste de Atividade Metanogênica Específica (AME). O teste do Potencial Bioquímico de Metano

(BMP), monitora o volume do biogás gerado em uma fração de resíduos sólidos urbanos, avaliando a capacidade de biodegradação dos resíduos através da produção total de metano (CH_4).

Os ensaios são monitorados através de medições constantes de pressões e temperaturas internas além da pressão ambiente (SILVA, MORAIS JR & ROCHA, 2016). Conforme Aquino *et al.* (2007), a Atividade Metanogênica Específica (AME) pode ser definida como a capacidade máxima de produção de CH_4 por um consórcio de microrganismos anaeróbios, realizada em condições controlada de laboratório, para viabilizar a atividade bioquímica máxima de conversão de substratos orgânicos a biogás.

Pesquisadores necessitam de equipamentos analíticos que possibilitem a realização de testes laboratoriais, como os testes de BMP e AME. Vários autores utilizam em suas pesquisas equipamentos desenvolvidos por empresas especializadas, no desenvolvimento de soluções na área de instrumentos analíticos de baixo fluxo de gás, para aplicações relacionadas à biotecnologia em áreas diversas.

YU, *et al.* (2015), utiliza em sua pesquisa uma unidade de monitoramento online de um medidor de fluxo de gás, para monitorar a taxa de diminuição de produção de biogás. Em pesquisa recente, Ersahin, Tao, *et al.*, (2017), mencionam que a produção de biogás em cada um de seus sistemas foi medida por um contador de gás (Ritter, Milligas Counter MGC-1).

As ferramentas mencionadas anteriormente, utilizadas atualmente por pesquisadores, possuem como desvantagem o custo elevado de aquisição. Entretanto, esta pesquisa propõe o desenvolvimento um equipamento de baixo custo em comparativo com o mercado, com características semelhantes aos equipamentos existentes e que possa atender as demandas dos pesquisadores. Diante da popularização do acesso a tecnologia de ponta se faz necessário o desenvolvimento de equipamentos que desenvolvam esse tipo de tecnologia de forma mais acessível para que mais pesquisadores tenham acesso.

A tecnologia Arduino possui esta característica, trata-se de uma plataforma de hardware livre, projetada com um micro controlador com suporte de entrada/saída embutido e uma linguagem de programação personalizada. O objetivo do Arduino é permitir a criação de ferramentas que sejam acessíveis e de baixo custo. Carre e Williamson (2017), em sua pesquisa publicada recentemente, desenvolveram um equipamento de baixo custo para avaliação da qualidade de ambientes internos utilizando a tecnologia Arduino.

Desse modo, esta pesquisa procura contribuir com uma solução tecnológica de baixo custo, criando um equipamento alternativo, baseado na plataforma Arduino™ que possa

promover o monitoramento de biorreatores anaeróbios, este sistema promoverá pleno acompanhamento on-line, possibilitando principalmente monitorar e, se necessário, manipular as principais variáveis deste processo em acesso remoto. E como consequência causar maior eficiência nos sistemas de tratamento de água e esgoto.

1.1. Problemática

De acordo com a necessidade de tecnologias emergentes para o controle operacional e avaliativo de reatores capazes de viabilizar o monitoramento com a geração de modelos gráficos que evitem a demanda de operadores em sistemas de tratamento de esgoto, este trabalho tem como objeto de estudo busca através da implantação de um software de controle, o monitoramento operacional do tratamento de esgoto, porém com um custo totalmente acessível para empresas, órgão competentes, associações, entre outros.

1.2. Justificativa

De acordo com as diretrizes de controle ambiental, os processos decorrentes na pressão de saída dos reatores com membrana se desgastam periodicamente, tornando-se necessário o monitoramento constante, principalmente pelas ocorrências de incrustações (processo físico que acontece devido à formação de uma camada de partículas torta sobre esta membrana), provocando o decaimento do fluxo de permeação ao longo do tempo de operação, ocasionando diversos fatores para a causa da incrustação como (PELEGRIN, 2004):

- a) Adsorção de macromoléculas e material coloidal;
- b) Crescimento de biofilme na superfície da membrana;
- c) Precipitação de matéria orgânica ou envelhecimento da membrana.

A necessidade desse monitoramento constante descreve a viabilidade do uso de uma tecnologia que promova esse de forma remota, obtendo seus devidos resultados. A identificação da incrustação da membrana é de fundamental importância para um desempenho adequado do biorreator. É através desta identificação que se pode estimar o momento da limpeza da membrana. Sistemas com operação com pressões elevadas na saída da membrana podem gerar um maior consumo de energia, uma colmatação mais rápida ou irreversível podendo até causar danos à membrana.

Outra preocupação relacionada aos biorreatores anaeróbios de membrana, diz respeito a sua configuração que pode sofrer alterações em relação a quantidade de sensores instalados, ocasionando duas situações de monitoramento, ou seja, a membrana com fluxo frontal (nesse

caso o software poderá monitorar a pressão na entrada e saída na membrana gerando relatórios e gráficos através das informações colhidas) e também a membrana com o fluxo tangencial (onde o software monitorará a pressão na entrada, saída e permeado na membrana).

Nesse contexto a implantação do software é uma possibilidade do controle através de outra ferramenta que será disponibilizada através do sistema SISMONBIO, relacionada ao Teste BMP. Através de uma ferramenta analítica, cujo o processo de desenvolvimento é baseado através de uma série de componentes físicos, o software possibilitará resultados colhidos sob o sistema Arduino, essa placa que funciona como um microcontrolador que irá processar os dados colhidos identificando as informações e disponibilizando relatórios precisos que ajudarão no controle operacional e no monitoramento das ações relativas ao tratamento de água e esgoto.

1.3. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento analítico para monitoramento remoto de biorreatores anaeróbios como possibilidade de controle das ações relativas ao tratamento de água e esgoto.

1.4. Objetivos Específicos

- Desenvolver um equipamento automatizado de custo acessível baseado na plataforma Arduino;
- Construir um manual para montagem da ferramenta analítica;
- Propor um modelo para construção de um equipamento analítico;
- Desenvolver um hardware conectado a internet viabilizando o acesso ao monitoramento e coleta de dados de forma remota dos sistemas de pressão em reatores;
- Desenvolver um software para monitoramento online de biorreatores anaeróbios de membrana;
- Apresentar resultados de testes experimentais obtidos remotamente através do SISMONBIO.

1.5. Motivação para o trabalho

A motivação principal são as inúmeras aplicabilidades que pesquisadores, alunos, profissionais da área de gestão ambiental, terão condições de testar através do ambiente do software, situações relacionadas a biorreatores anaeróbios de membrana (fluxo frontal e tangencial), para tratamento de resíduos relacionados a água e esgoto aplicando em diversas áreas como agrícola, urbanismo, entre outros.

A ferramenta irá propor a melhoria no acesso ao monitoramento e na capacidade de realiza-lo sem a necessidade de uma monitoria presencial, viabilizando o controle da pressão dos biorreatores anaeróbios no tratamento de água e esgoto para um acesso remoto que poderá ser realizado de forma constante e de qualquer lugar, apenas através do acesso ao software desenvolvido.

Além disso, a ferramenta também disponibilizará através dos testes focados em BMP, condições para que pesquisadores possam analisar por exemplo se o efluente encontrado no esgoto poderá servir como agente direto na produção de biogás, gerando resultados e dimensionando por exemplo, quando o gás poderia ser liberado. Através do endereço (www.thaleslacerda.com/sismonbio) será possível realizar tais testes através de login e senha de autorização, além de permitir hierarquizar os níveis de acesso dentre os membros da equipe de trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tecnologia da informação e gestão ambiental

As novas tecnologias da informação surgiram nos anos 60 e 70 como decorrência dos avanços da indústria eletrônica. A década de 1990 recebeu a denominação de Sociedade da Informação. A revolução tecnológica e a Sociedade da Informação criaram um cenário cultural, social e econômico absolutamente distinto para o século XXI (ECKHARDT & LEMOS, 2007). Com essa nova forma de interação, as empresas buscam através da informação, meios tecnológicos, ou seja, a empregabilidade do conhecimento e tecnologias disponíveis no mercado para operação de rotinas internas e externas, ligadas por exemplo ao meio ambiente. É relatado concepções sobre as questões ambientais, bem como o uso da tecnologia verde (TI verde). A tecnologia da informação (T.I) pode e deve contribuir para a gestão ambiental, caminhando lado a lado com ela, e dessa forma proporcionar diretrizes capazes de contribuir sistematicamente nos processos que possibilitem que as questões ambientais possam ser monitoradas mais de perto.

2.1.1 *Tecnologia da Informação e suas premissas*

A tecnologia da informação (TI) pode ser descrita como o uso de todo e qualquer recurso tecnológico capaz de processar informações sejam essas de armazenamento, rede e outros dispositivos físicos, infraestrutura e processos para criar, processar, armazenar, proteger e trocar todas as formas de dados eletrônicos. Normalmente, a TI é usada no contexto de operações corporativas, em oposição a tecnologias pessoais ou de entretenimento. O uso comercial de TI abrange tanto a tecnologia de computadores quanto a telefonia.

O termo tecnologia da informação foi consignado pela *Harvard Business Review*, a fim de fazer uma distinção entre máquinas criadas para o propósito de projeção e execução de escopos limitados de funções, e máquinas de computação de propósito geral que poderiam ser programadas para várias tarefas. Quando se menciona em *software* e *hardware* de TI, inclui várias camadas de equipamento físico (*hardware*), ferramentas de virtualização e gerenciamento ou automação, sistemas operacionais e aplicativos (*software*) usados para executar funções essenciais.

Os aplicativos de negócios incluem bancos de dados como o *SQL Server*, sistemas transacionais como entrada de pedidos em tempo real, servidores de e-mail como o *Exchange*,

servidores da Web como *Apache*, gerenciamento de relacionamento com clientes e sistemas de planejamento de recursos empresariais. Esses aplicativos executam instruções programadas para manipular, consolidar, dispersar ou afetar dados para fins comerciais.

Buscando outras aplicações, pode-se mencionar a educação em TI e funções de trabalho, onde uma equipe de administradores e outros funcionários técnicos implantam e gerenciam a infraestrutura e os ativos de TI da empresa. As equipes de TI dependem de uma ampla gama de habilidades e conhecimentos especializados em informações e tecnologia para dar suporte a equipamentos, aplicativos e atividades. Terceirizados e pessoal de suporte de fornecedores de TI aumentam a equipe de TI.

A profissão de tecnologia da informação é extremamente diversificada. Os profissionais de TI podem se especializar em áreas como desenvolvimento de *software*, gerenciamento de aplicativos, componentes de *hardware*, como suporte a *desktop*, administrador de armazenamento ou servidor e arquitetura de rede. Muitas empresas procuram profissionais de TI com conjuntos de habilidades misturadas ou sobrepostas (MILHOLLAND, 2019).

Profissionais de TI precisam de constante evolução, pois a tecnologia e a velocidade que a mesma se renova, atualmente é assustadora, onde muitas vezes não conseguimos dominar um dispositivo que acabamos de comprar, e já tem uma versão nova no mercado, com inúmeros recursos e atrativos que antes não tinham. A necessidade das empresas se atualizarem, estarem preparadas para o bom uso destas “informações tecnológicas” são garantias de que o futuro de seus produtos e serviços precisam sim acompanhar tais tendências, ou estarão sujeitas a falência.

O profissional de TI possui grande relevância nos tempos modernos, o avanço da tecnologia e a necessidade de inserção dela nos setores da sociedade fazem desses profissionais essenciais para a geração de resultados, a tecnologia assume um papel essencial em todos os ramos de empreendimento, e é neste contexto que o papel do setor de Tecnologia da Informação atua de forma intensa e exige que este profissional traga consigo o conhecimento necessário para trazer benefícios aos mais diversos setores, sabendo orientar e conduzir o meio de inserção para inovações tecnológicas.

2.1.2 *Internet das coisas (IoT) – Evolução tecnológica*

O uso de da tecnologia da informação na sociedade exerce influência sobre os diversos aspectos da vida dos indivíduos e do seu relacionamento em sociedade. Quando se trata de TI inclui-se as atividades de reunir, organizar, armazenar, publicar e usar informações na forma de som, gráfico de imagem, texto, número por meio de softwares, ou seja, ferramentas de computador e de telecomunicações.

Ao longo dos anos, a tecnologia revolucionou os modelos de interação da sociedade com o meio ambiente por meio de elementos físicos conectados a elementos virtuais, emergindo avanços em diversas áreas como a comunicação e o sensoriamento por meio de sistemas “inteligentes”. Nesse contexto surge o conceito de Internet das Coisas do inglês *Internet of Things* representada pelo acrônimo IoT, esse apresentado pela Sociedade Brasileira de Computação (2015) como à integração de objetos físicos e virtuais em redes conectadas à Internet, permitindo que “coisas” colem, troquem e armazenem uma enorme quantidade de dados numa nuvem, em que uma vez processados e analisados esses dados, gerem informações e serviços em escala inimaginável.

A IoT possui diversos conceitos que se divergem entre si, contudo possuem algo em comum a hiperconectividade existente na interação entre computadores, sensores e objetos para processamento de informações e dados. O que hoje é chamado de internet das coisas é um conjunto de tecnologias e protocolos associados que permitem que objetos se conectem a uma rede de comunicações e são identificados e controlados através desta conexão de rede (CAVALLI, 2016).

As novas tecnologias, permitiram a integração de muitas formas de comunicação e fizeram surgir uma inédita rede interativa que propõe relações diferenciadas, nas quais as organizações podem interagir com maior dinâmica (ECKHARDT & LEMOS, 2007). A Internet das Coisas proporciona aos objetos do dia a dia, com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à internet. Essa conexão viabilizará controlar remotamente os objetos, e acessá-los como provedores de serviços, e se tornarão objetos inteligentes ou *smart objects*. Os objetos inteligentes possuem capacidade de comunicação e processamento aliados a sensores (MACINI, 2018).

A proposta dessa forma de tecnologia é que a informação esteja disponível em qualquer lugar, a qualquer momento, em qualquer situação, de forma integrada às atividades do cotidiano. Fazem parte desse conceito os dispositivos que são equipados com “sensores capazes de captar aspectos do mundo real, como por exemplo temperatura, umidade e

presença, e enviá-los a centrais que recebem estas informações e as utilizam de forma inteligente” (MAGRANI, 2018).

Kevin Ashton, do MIT, em 1999 propôs o termo internet das coisas. E em 2009 reafirmou a expressão com seu artigo “A coisa da internet das coisas” para o *RFID Journal*. De acordo com Ashton, as pessoas necessitam conectar-se com a internet por meio de variadas formas devido à falta de tempo proporcionada pela rotina do novo cotidiano. Desse modo, de acordo com Kevin, deverá ser possível armazenar dados com uma precisão cada vez mais acurada, para economia de recursos naturais e energéticos por exemplo (ASTHON, 2009).

Nos últimos anos, a IoT é aumentada com sensores e atuadores, a tecnologia se torna uma instância da classe mais geral de sistemas ciberfísicos, que também engloba outras tecnologias como redes inteligentes, usinas de energia virtuais, casas inteligentes, transporte inteligente e cidades inteligentes, substituindo as antigas. Por causa dos módulos de microcontroladores de baixo custo e conectáveis em rede, a Internet das Coisas é considerada a tecnologia-chave para estabelecer uma subestação inteligente (ZHAO *et.al.* 2013)

Casola (2019) descreve que devido à heterogeneidade envolvida e aos problemas de integração resultantes, projetar sistemas IoT seguros é muito desafiador e requer um conhecimento profundo das tecnologias adotadas e da configuração de implantação, incluindo os dispositivos específicos instalados, as tecnologias de rede usadas para sua comunicação as interações do usuário planejadas e as tecnologias de *back-end*.

Uma das maneiras de automatizar processos é usar microcontroladores tanto em circuitos de controle quanto em sistemas que fornecerão informações para o controle; no entanto, em ambos os casos, a programação é necessária para que o microcontrolador saiba o que fazer. Essas instruções são feitas de software preparado para converter a linguagem de programação usada para a máquina língua. Assim, os microcontroladores são considerados por muitos como pequenos computadores em um único circuito integrado, que contém processadores, memória e periféricos de entrada e saída. Eles são usados em aplicações específicas ou para aplicações de uso geral. Este tipo de equipamento é cada vez mais se tornando economicamente viável para o controle digital de muitos dispositivos e processos, devido ao seu poder de processamento e memória, principalmente devido ao seu baixo consumo de energia consumo, tamanho e preço (SILVA, 2020).

O impacto econômico da internet das coisas será de 3,9 a 11,1 trilhões por ano em 2025, significando 11% da economia mundial. Neste cenário, os usuários serão o maior

potencial econômico, cerca de US\$ 7,5 trilhões, que lhes trará maior conveniência, melhores produtos e serviços com o uso de sistemas de Internet das Coisas para capturar esse valor (MACINI, 2018).

2.1.3 Processos de Tratamento de Água e Esgoto

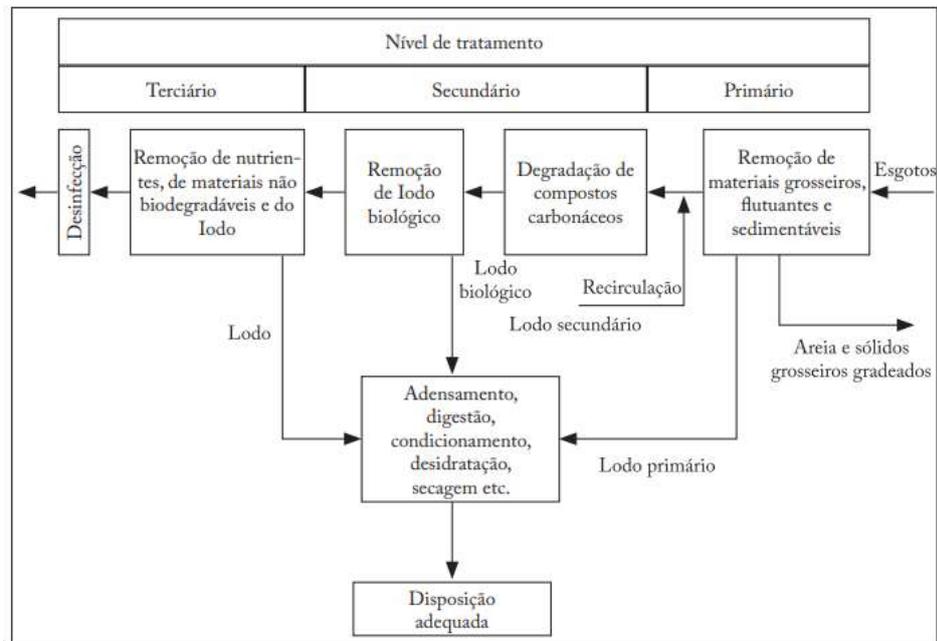
Como principal usuária da natureza, a humanidade é responsável por garantir que seus impactos ambientais sejam benignos e não catastróficos. O profissional de gestão ambiental deve ter a capacidade de desenvolver métodos, ações, projetos que promovam a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental, garantindo ações voltadas para reduções ou impactos diretos causados através de ações humanas na natureza, além de buscar a preservação constante das biodiversidades.

Para este objeto de estudo, o foco está relacionado em sistemas de tratamento de água e esgoto. O tratamento de esgoto é uma medida de saneamento básico que objetiva acelerar o purificação da água antes de ser devolvida para o ambiente, reduzindo os impactos ambientais, esse processo de remoção de contaminantes inclui diversos processos físicos, químicos e biológico que são realizados para remoção dos poluentes.

O tratamento de resíduos se faz importante, pois seu objetivo é produzir uma água de esgoto ambientalmente segura, chamada efluente, e um resíduo sólido, chamado lodo ou biosólido, adequado para descarte ou reutilização. A reutilização é muitas vezes para fins agrícolas, mas recentemente, o lodo está sendo usado como fonte de combustível (LAUREATE, 2018). Para tornar as águas residuais aceitáveis para reutilização ou para retornar ao meio ambiente, o tratamento utilizado deve reduzir a um nível seguro de retorno, geralmente com um padrão definido pela Agência Ambiental.

O esgoto pode ser tratado próximo de onde é criado (em tanques sépticos e seus drenos associados ou estações de tratamento de esgoto), ou coletado e transportado através de uma rede de tubulações e estações de bombeamento para uma estação de tratamento municipal. O antigo sistema está ganhando popularidade para muitas novas cidades ECO, já que 60% do custo da rede de esgoto está na tubulação para transportá-lo para um local central e não é sustentável. Chama-se 'Descentralização' dos sistemas de tratamento de esgotos (CAMPOS, J.R. 1999). A figura 1 descreve as etapas de tratamento de esgoto desde o seu recebimento até a disposição adequada para reutilização, recebendo tratamento preliminar, em seguida primário, secundário e terciário, até concretizar a etapa de desinfecção.

Figura 1 - Níveis de tratamento de esgoto



Fonte: CAMPOS, J.R. (1999).

Campos (1999) ainda relata que é usada uma variedade de sistemas projetados e naturais para atender ao nível de tratamento requerido, usando métodos físicos, químicos, biológicos e de tratamento de efluentes. O resultado é a limpeza de água e efluentes de esgoto, ambos os quais devem ser adequados para descarga ou reutilização de volta ao meio ambiente.

2.1.4 *Gestão Ambiental: Uma visão tecnológica para as organizações*

A inovação tecnológica é um meio importante para as empresas obterem competitividade sustentável, vantagem e também um tema fundamental de preocupação para o governo brasileiro e empresas. A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico (OCDE) juntamente com outros órgãos, definiram inovação como:

Deve basear-se no conhecimento de novas tecnologias, incluindo inovação tecnológica de processos, que também é nova para a empresa e pode ser aplicada ao mercado produção (novos produtos devem entrar no mercado ou novos processos devem ser aplicados a empresa) (OCDE, 2018).

O desempenho da inovação tecnológica é de construção multidimensional e muitos estudiosos estudaram a medição da inovação tecnológica, mas não há um índice de medida uniforme. Hagedoorn e Cloudt (2003), propuseram a avaliação do desempenho da inovação

tecnológica a partir do número de patentes, novos produtos, investimento em P & D, citações de patentes. Além disso, propuseram a avaliação do desempenho da inovação tecnológica com base nos índices de medida: venda de produtos inovadores, custo e velocidade de desenvolvimento de novos produtos, taxa de vendas de novos produtos, taxa de sucesso de projetos inovadores, e liderando ou participando no desenvolvimento de padrões industriais.

Esses análogos supracitados são relevantes, pois auxiliam na compreensão da complexidade de mensuração sobre inovações tecnológicas, e nesta sessão o foco é dimensionar a importância destas inovações voltadas para a sustentabilidade ambiental. Muito tem se falado em TI Verde no contexto da sustentabilidade. Com a crescente demanda pelo desenvolvimento científico e tecnológico que vem acontecendo nos últimos anos, teve como fator primordial a falta de inclusão dos processos entre economia e ecologia, facilitando para que os recursos do planeta se esgotem cada vez mais rápido. (SANTOS, 2011).

Vale ressaltar que tais impactos, principalmente os ocasionados por processos industriais, além do forte crescimento populacional, contribuíram significativamente não só para a desigualdade social, mas também ao surgimento de problemas ambientais esgotando recursos não renováveis de uma forma assustadora. Áreas que apontam claramente para um desenvolvimento insustentável, socialmente injusto, ambientalmente desequilibrado e economicamente inviável (CLARO, CLARO & AMÂNCIO, 2008).

Devido a amplitude dos resultados da discussão abordadas no trabalho de Claro, Claro & Amâncio (2008), menciona-se as interpretações adotadas pelo conceito de *Triple Bottom Line* (TBL), que afirma que o desenvolvimento sustentável deve compreender as dimensões social, ambiental e econômica.

Tais conceitos (TBL), quando aplicados as organizações buscam relacionar as atividades de medida tradicional interpretando-as através das linhas de lucro destas organizações. Assim sendo, busca-se a quebra de novos paradigmas voltados para a gestão empresarial, com o intuito de impulsionar a sustentabilidade, gerando novas economias conscientes (BARATA, *et al.*, 2014).

Cada vez mais a “consciência” destas empresas tem sido alarmada por órgãos competentes a fim de garantir as problemáticas que são geradas pelos impactos socioambientais e a realizar ações voluntárias e contínuas para mitigá-los. Ressalta-se também que o número de empresas que vem buscando através de ações sustentáveis diretrizes que possam mensurar tais impactos, controlar e promover meios e métodos de evitá-los, tem crescido. Nota-se através de pesquisas que tais práticas ambientais em suas estratégias e

operações diárias, essas empresas visam reduzir o consumo de energia, as emissões de pegada de carbono, a quantidade de recursos não renováveis que utilizam e a quantidade de resíduos que geram (OZTURK *et,al.,*, 2011).

Santos (2011) retrata que tais problemas relacionados a gestão ambiental quando empregados em TI são de fácil percepção, porém a empregabilidade de diretrizes voltadas para a TI verde, tem trazido inúmeras vantagens para a resolução destes problemas. A empregabilidade dos recursos de TI, ajudam a controlar ações, técnicas de sustentabilidade, melhorando o desenvolvimento econômico e ambiental das organizações, além de promover pontos centrais para a resolução de conflitos ligados à economia e ecologia.

2.1.5 Sistemas de Informação para Gestão Ambiental

Sistemas de Informação Ambiental de Gestão Ambiental (EMIS) refere-se a sistemas técnicos organizacionais para obter sistematicamente, processar e disponibilizar informação ambientalmente relevante nas empresas. Acima de tudo, esses sistemas auxiliam na determinação do dano ambiental causado pelas empresas e na elaboração de medidas de apoio para evitá-lo e reduzi-lo (BAPTISTA, *et. al.* 2012).

Em contraste com os sistemas de informações ambientais gerais ou supra empresariais, as tarefas do EMIS não estão confinadas ao domínio ambiental, mas devem ser entendidas como blocos de construção para sistemas de aplicativos de gerenciamento mais complexos que servem aos propósitos da empresa.

O ponto de partida para o desenvolvimento do EMIS nos últimos anos não foi apenas o aumento da necessidade interna de informação, por exemplo, para levar em conta as regulamentações legais no âmbito da proteção ambiental da empresa, mas também das demandas externas feitas às empresas por informações sobre danos ambientais causados por seus produtos e processos de fabricação.

Do ponto de vista de uma empresa industrial, o ambiente natural serve, do lado da entrada, como um meio de fonte para recursos naturais (não renováveis) que entram em manufatura como matéria-prima e, no lado da saída, como um meio receptor para a emissão de materiais sólidos, líquidos e gasosos. A fabricação industrial é, portanto, causa de dano ambiental (BAPTISTA, *et. al.*, 2012).

O ambiente natural é considerado, do ponto de vista da gestão industrial, como um fator de produção para cuja preservação as seguintes máximas devem ser seguidas:

- a) Ter em conta as limitações do ambiente;

- b) Estabilizar ecossistemas;
- c) Minimizar intervenções ambientais;
- d) Use processos de produção ambientalmente saudáveis.

Para o domínio industrial, o cumprimento dessas máximas implica que não apenas a extração de materiais ambientais, mas também os danos ambientais causados pela emissão de resíduos sejam reduzidos. Uma tendência de aditivo para medidas integradas de proteção ambiental é atualmente observável no domínio industrial. A proteção ambiental aditiva é encontrada onde as medidas são tomadas antes ou depois dos processos reais de produção, que, no entanto, não são afetadas por estas medidas (as chamadas tecnologias de "fim-de-tubo") (SANTANA, *et. al.* 2015).

Exemplos disso são a adição de sistemas de purificação ou filtragem aos processos de produção. Fala-se em proteção ambiental integrada à produção, se os próprios processos de produção forem alterados, de modo que a quantidade de insumos e poluentes emitidos seja reduzida. Em princípio, podemos distinguir entre três tipos de estratégia para atender às demandas ecológicas da produção (BAPTISTA, *et.al*, 2012):

- a) mudança de processos de produção;
- b) reciclando;
- c) mudança de produtos.

Santana *et al.* (2015) menciona que o objetivo de mudar os processos de produção é evitar emissões indesejáveis e uso inevitável de matérias-primas. Este objetivo pode ser sistematicamente alcançado, sobretudo através da adoção de medidas de proteção ambiental integradas à produção, o que muitas vezes requer uma reorganização do processo de produção. A reorganização dos processos de produção é uma estratégia para evitar danos ambientais e, portanto, deve ter a maior prioridade, antes da reciclagem e medidas aditivas.

Um produto resultado destas concepções é o *software* da Chesf que possui tradição no mercado em soluções de T.I para gestão ambiental a mais de 70 anos (CHESF 2016). Através do SISLIC (Sistema de Gestão de Licenciamento Ambiental) apresentado na figura 2 como exemplo de alinhamento entre a tecnologia e a gestão ambiental, esse apresenta implementação dos processos de gestão, agregando funcionalidades de gestão ambiental, licenças ambientais, processos administrativos, entre outras funções, todas baseadas em instruções normativas que regulamentam as áreas.

Figura 2 – Sistema SISLIC - Chesf



Fonte: Baptista (2012), modelo adaptado

Esse exemplo reforça o objetivo deste trabalho sobre a usabilidade da tecnologia agregada juntamente com ações de gestão ambiental, a fim de proporcionar meios de monitorar, controlar, fornecer dados técnicos sobre o sistema de tratamento de água e esgoto, conforme será explorado mais adiante.

2.2 – Dispositivos eletrônicos para o monitoramento de biorreatores

Muitos dos dispositivos eletrônicos utilizados para monitoramento trazem resultados satisfatórios, porém à um alto custo. No caso deste objeto de estudo, o foco é chegar ao resultado (teste de pressão em membranas) utilizando recursos de baixo custo, e com isso faz-se necessário um entendimento sobre as recursividades do Arduino. Nesta seção será abordada o microcomputador em especial o Arduino utilizado para o projeto, como também é abordado sobre Arduino Uno, Mega, suas diferenças, além de sensores de pressão e o *Shield* W5100.

2.2.1 Microcontrolador Arduino

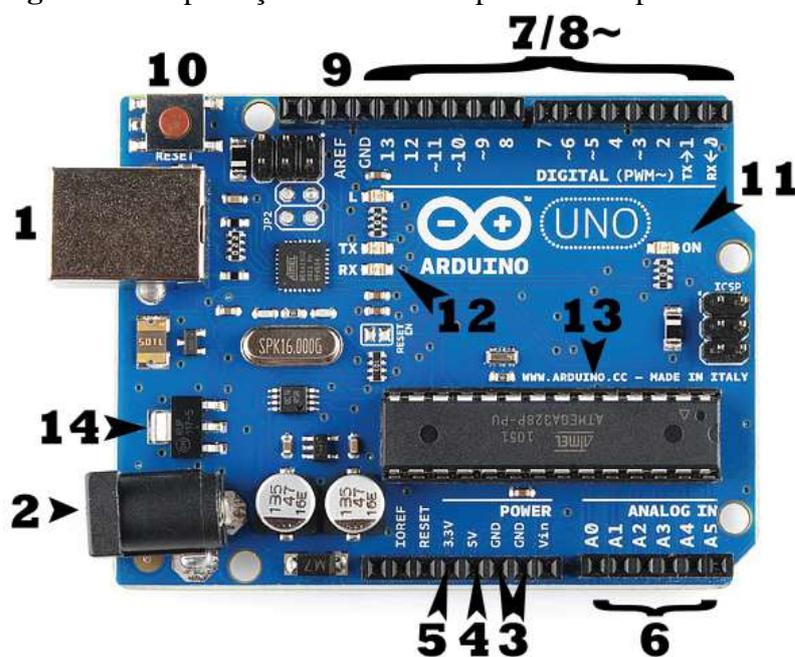
O Arduino é uma plataforma de código aberto usada para construir projetos de eletrônica. O Arduino consiste de uma placa de circuito físico programável (geralmente chamada de microcontrolador) e um *software*, ou IDE (*Integrated Development Environment*) que processa em seu computador, usado para escrever e fazer *upload* de código de computador para a placa física (ARDUINO, 2019).

A plataforma Arduino tornou-se bastante popular entre as pessoas que estão começando com a eletrônica e por um bom motivo. Ao contrário da maioria das placas de circuito programáveis anteriores, o Arduino não precisa de um *hardware* separado (chamado programador) para carregar um novo código na placa, ou seja, pode-se simplesmente usar um cabo USB. Além disso, o Arduino IDE usa uma versão simplificada do C ++, facilitando o aprendizado do programa. Finalmente, o Arduino fornece um fator de forma padrão que divide as funções do microcontrolador em um pacote mais acessível (CAVALCANTE, *et. al.* 2014).

O *hardware* e *software* Arduino foi projetado para artistas, designers, amadores, *hackers*, novatos e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode interagir com botões, LEDs, motores, alto-falantes, unidades de GPS, câmeras, a internet e até mesmo smartphones ou TV. Essa flexibilidade combinada com o fato de que o software Arduino é gratuito, as placas de hardware são muito baratas e tanto o software quanto o hardware são fáceis de se aprender, levando a uma grande comunidade de usuários que contribuíram com código e lançaram instruções para uma enorme variedade de projetos baseados em Arduino.

Existem muitas variedades de placas Arduino que podem ser usadas para diferentes propósitos. Algumas placas parecem um pouco diferentes da abaixo, mas a maioria dos Arduinos tem alguns componentes em comum como os apresentados na figura 3 abaixo.

Figura 3 – Explicação sobre os componentes da placa Arduino



Fonte: ARDUINO (2019), modelo adaptado.

Baseado nas especificações técnicas contidas no portal ARDUINO (2019), segue as explicações sobre os componentes relacionados a imagem 4 – Componentes que “formam” uma placa Arduino:

- a) Potência (USB / Barrel Jack): toda placa Arduino precisa de uma maneira de estar conectada a uma fonte de energia. O Arduino pode ser alimentado por um cabo USB vindo do computador ou uma fonte de alimentação de parede que é terminada em um conector de barril. Na imagem (4), a conexão USB é rotulada (1) e o conector barril está rotulado (2). A conexão USB também permite o carregamento do código (scripts) na sua placa Arduino. Vale ressaltar que não se deve usar uma fonte de alimentação maior que 20 Volts, pois assim irá destruir seu Arduino. A voltagem recomendada para a maioria dos modelos Arduino é entre 6 e 12 Volts.
- b) Pinos (5V, 3.3V, GND, analógico, digital, PWM, AREF): os pinos no Arduino são os lugares onde se conecta os fios para construir um circuito (provavelmente em conjunto com uma placa de montagem e algum fio). Eles geralmente têm 'cabeçalhos' de plástico preto que permitem que se conecte um fio direto na placa. Tem vários tipos diferentes de pinos, cada um deles rotulado na placa e usado para diferentes funções. De acordo com a imagem (4) temos:
 - GND (3): abreviação de "*Ground*". Existem vários pinos GND no Arduino, qualquer um dos quais pode ser usado para aterrar seu circuito;
 - 5V (4) e 3.3V (5): Como se pode imaginar, o pino de 5V fornece 5 volts de energia, e o pino de 3,3V fornece 3,3 volts de energia. A maioria dos componentes simples usados com o Arduino são executados com folga de 5 ou 3,3 volts;
 - Analógico (6): A área dos pinos sob a etiqueta "*Analog In*" (A0 até A5) são pinos *Analog In* (este exemplo é baseado em placas Arduino UNO). Esses pinos podem ler o sinal de um sensor analógico (como um sensor de temperatura) e convertê-lo em um valor digital que se pode ler;
 - Digital (7): Em frente aos pinos analógicos estão os pinos digitais (0 a 13 na UNO). Esses pinos podem ser usados tanto para entrada digital (como dizer se um botão é pressionado) quanto para saída digital (como alimentar um LED);

- PWM (8): Deve se notar o til (~) ao lado de alguns dos pinos digitais (3, 5, 6, 9, 10 e 11 no UNO). Esses pinos funcionam como pinos digitais normais, mas também podem ser usados para algo chamado PWM (*Pulse Width Modulation*, modulação por largura de pulso). Esses pinos são capazes de simular a saída analógica (como o desvanecimento de um LED para dentro e para fora);
 - AREF (9): representa a referência analógica. Na maioria das vezes pode deixar este pino sozinho. Às vezes, é usado para definir uma tensão de referência externa (entre 0 e 5 Volts) como o limite superior para os pinos de entrada analógica;
- c) Botão de reset: o Arduino tem um botão de reset (10). Empurrar este botão irá conectar temporariamente o pino de reset à terra e reiniciar qualquer código que esteja carregado no Arduino;
 - d) LED indicador de energia: Logo abaixo e à direita da palavra "UNO" (no caso da imagem 4) na placa de circuito, há um pequeno LED ao lado da palavra "ON" (11). Este LED deve acender sempre que se conectar o Arduino a uma fonte de energia. Se esta luz não acender, há uma boa chance de que algo esteja errado;
 - e) LEDs TX RX: TX é a abreviação de transmitir, RX é curto para receber. Essas marcações aparecem um pouco na eletrônica para indicar os pinos responsáveis pela comunicação serial. No caso, existem dois lugares no Arduino, onde TX e RX aparecem - uma vez pelos pinos digitais 0 e 1, e uma segunda vez ao lado dos LEDs indicadores TX e RX (12). Esses LEDs darão algumas indicações visuais agradáveis sempre que o Arduino estiver recebendo ou transmitindo dados (como quando carregamos um novo programa no quadro);
 - f) IC principal: A “coisa” preta com todas as pernas de metal é um IC, ou Circuito Integrado (13). É o cérebro do Arduino. O IC principal no Arduino é um pouco diferente entre as placas de Arduino (depende do modelo), mas geralmente é da linha “ATmega” do IC da empresa ATMEL;
 - g) Regulador de voltagem: O regulador de tensão (14) não é realmente algo que se possa (ou deveria) interagir com o Arduino. Mas é potencialmente útil saber que está lá e para o que serve. O regulador de tensão faz exatamente o que diz - controla a quantidade de tensão que é colocada na placa do Arduino. Pense

nisso como uma espécie de porteiro; ele irá afastar uma voltagem extra que pode prejudicar o circuito.

Quando conectado através de um cabo USB no sistema operacional *Windows* (um exemplo), ele possui uma “plataforma” ou “ambiente” de programação no qual permite a entrada do código fonte (baseado na estrutura de C++), permitindo a realização de testes, entre outros. O software ou ambiente de programação pode ser adquirido de forma gratuita através do site oficial da plataforma Arduino.

Vale ressaltar que o Arduino é constituído de uma série de placas denominadas “Família Arduino”, onde cada uma delas possui um conjunto de características próprias que adaptarão ao projeto. Dentre elas (Arduino UNO R3, Arduino *LilyPad*, *RedBoard*, Arduino Mega R3 e Arduino Leonardo) este objeto de estudo abordará especificadamente sobre dois modelos sendo: Arduino UNO R3 e o Arduino Mega R3), com o objetivo de atender as especificações do projeto de análise e controle de pressão no tratamento de água e esgoto.

2.2.2 Arduino UNO

Atualmente a última versão do *hardware* Arduino UNO é o R3. Este Arduino Uno além de todos os recursos da placa anterior, o Uno agora usa um ATmega16U2 ao invés do 8U2 encontrado no Uno (ou o FTDI encontrado nas gerações anteriores). Isso permite taxas de transferência mais rápidas e mais memória. Nenhum driver necessário para Linux ou Mac (arquivo inf para Windows é necessário e incluído no Arduino IDE), e a capacidade de ter o UNO aparece como um teclado, *mouse*, *joystick*. No caso de descargas elétricas acidentais, o Uno R3 também inclui uma placa de base de plástico para proteção.

O Uno R3 também adiciona pinos SDA e SCL ao lado do AREF. Além disso, existem dois novos pinos colocados perto do pino RESET. Uma é a IOREF que permite que as blindagens se adaptem à tensão fornecida pela placa. O outro não está conectado e está reservado para propósitos futuros. O Uno R3 trabalha com todos os escudos existentes, mas pode se adaptar a novos escudos que usam esses pinos adicionais (MULTILOGICA, 2018).

Em sua primeira versão o ‘Arduino Uno’ era baseada no ATmega328. Possuía 20 pinos de entrada / saída digitais (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM e 6 podem ser usados como entradas analógicas), um ressonador de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de energia, um sistema de programação em circuito (ICSP) cabeçalho e um botão de reset. Continha o básico e necessário para suportar o microcontrolador; bastando conectá-lo a

um computador (ou adaptador de energia de parede apropriado) com um cabo USB ou ligá-lo a um adaptador AC-to-DC ou bateria para iniciar (SAKIYAMA, 2017).

Sakayama (2017) ainda menciona que o Uno difere de todas as placas anteriores por não usar o chip do driver FTDI USB-*to*-serial. Em vez disso, ele possui um ATmega16U2 programado como um conversor USB para serial. Este microcontrolador auxiliar tem seu próprio *bootloader* USB, que permite que usuários avançados o reprogramem.

O Arduino tem uma grande comunidade de suporte e um extenso conjunto de bibliotecas de suporte e “escudos” adicionais de *hardware* (por exemplo, se pode facilmente tornar o Arduino wireless com o *shield Wixel*), tornando-o uma ótima plataforma introdutória para eletrônicos embarcados. Tenha em atenção que normalmente um kit iniciante inclui um Arduino Uno, juntamente com uma variedade de componentes (por exemplo, placa de ensaio, sensores, fios de ligação em ponte e LEDs) que possibilitam a criação de vários projetos introdutórios divertidos (ARDUINO, 2019).

2.2.3 Arduino Mega

O Arduino Mega é uma placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador ATmega. Arduino Mega é compatível com a ‘família’ Arduino *Duemilanove* / UNO. Isso significa que os escudos projetados para o *Duemilanove* também caberão no Mega *board*. No entanto, existem algumas diferenças entre as funções de pinos específicos, portanto, nem todas as blindagens podem ser usadas com o Arduino Mega. Pode-se dizer que o Arduino Mega é o irmão mais velho do Arduino UNO - maior memória, mais pinos de entrada / saída, por isso é dedicado a aplicações mais avançadas que o UNO (ARDUINO, 2019).

O Mega possui 54 entradas / saídas digitais (incluindo 14 com capacidade de operação PWM), 16 entradas analógicas, 4 portas seriais (UART), interfaces SPI e I2C, como apresentado na figura 4. A memória disponível é de 256 KB de flash, 8 KB de RAM e 4 KB de EEPROM. O processador trabalha com frequência de 16 MHz (“o dobro do Arduino UNO”).

O Arduino Mega também é equipado com chip USB (assim como o Arduino UNO) - ATmega16U2 (em vez de chips ATmega8U2 ou FTDI usados anteriormente). O que isso significa? O regulador de tensão adicional de 3,3 V fornece 150 m.A de corrente de saída máxima geral. Além disso, na versão do ATmega16U2 ele possui seu próprio *firmware*, que pode ser reprogramado quando necessário. Graças a isso, o Arduino pode aparecer como um

tipo diferente de hardware (dispositivo de armazenamento em massa, teclado ou outro dispositivo HID) quando conectado ao PC (SAKIYAMA, 2017).

Figura 4 – Arduino Mega R3



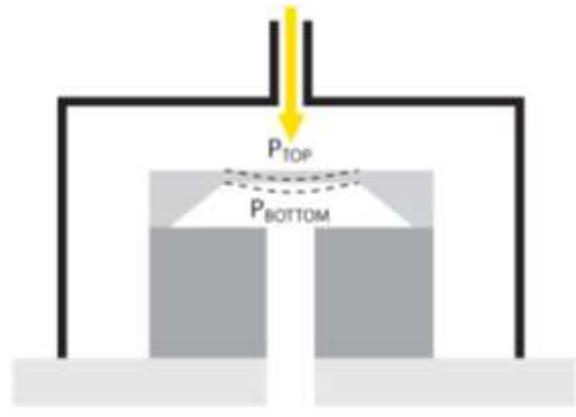
Fonte: ARDUINO (2019). Modelo Adaptado.

2.2.4 Sensores de pressão MPX5700AP

Antes de aprofundar no sensor de pressão MPX5700AP que faz parte deste objeto de estudo, é necessário para uma melhor compreensão delinear primeiramente o que é um sensor de pressão. De um modo geral, os sensores de pressão convertem a pressão da atmosfera, gás ou líquido a que estão expostos em um sinal elétrico. Existem três tipos diferentes de pressões que podem ser medidas: manométrica, absoluta e diferencial (MARTINS, 2012), são elas:

- a) Pressão manométrica: é a pressão medida em relação à pressão atmosférica ambiente. Pode ser positivo para pressões superiores à atmosférica ou negativas para pressões mais baixas. A pressão atmosférica ambiente é geralmente sentida através de um orifício na embalagem. Uma aplicação típica para um sensor de pressão manométrica é medir os níveis de líquido em um tanque ventilado usando a diferença na pressão hidrostática e na pressão atmosférica ambiente. A figura 5 apresenta esse esquema;

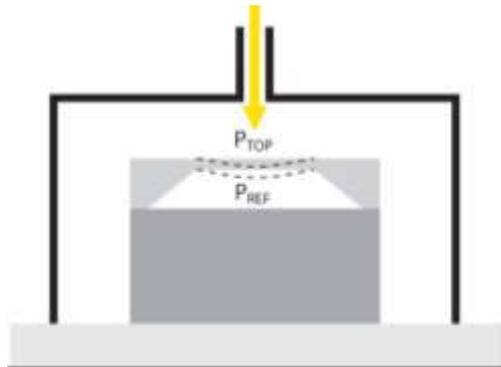
Figura 5 – Esquema da pressão manométrica



Fonte: MARTINS (2012).

- b) Pressão absoluta: sensores de pressão absoluta darão o resultado em relação a zero (um vácuo perfeito). Isso é útil em aplicações que estão medindo a pressão atmosférica, talvez para determinar a altitude. Sensores de pressão absoluta também são usados em aplicações de medição de pressão que serão usadas em diferentes altitudes, já que a pressão atmosférica varia com a altitude, a pressão manométrica não daria uma leitura precisa. Este tipo de sensor é usado em sistemas de monitoramento da pressão dos pneus para otimizar o desempenho do pneu (exemplo), descrito na figura 6;

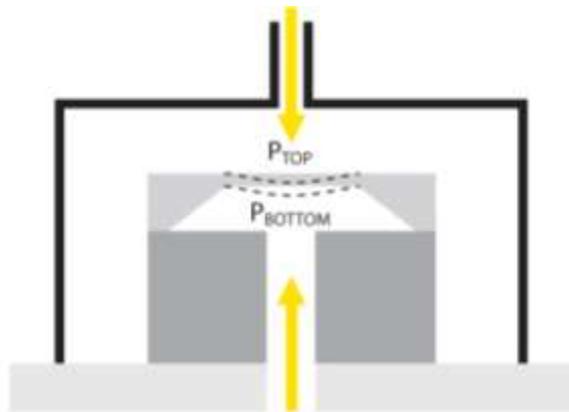
Figura 6 – Esquema da pressão absoluta



Fonte: MARTINS (2012).

- c) Pressão diferencial: Os sensores de pressão diferencial medem a diferença de pressão entre duas amostras, semelhante ao funcionamento de um sensor de calibre, mas sensores diferenciais são usados às vezes para detectar a diferença de pressão de cada lado de um objeto, por exemplo. Sensores de pressão diferencial são frequentemente usados para monitorar o fluxo de ar em aplicações de HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning* – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), apresentado na figura 7;

Figura 7 – Esquema da pressão diferencial



Fonte: MARTINS (2012).

Através das explicações acima, sob a concepção de Martins (2012), vale ressaltar que especificar sensores de pressão absoluta onde eles não são realmente necessários é um erro comum; a maioria das aplicações industriais pode usar pressão manométrica. É importante

entender completamente os requisitos do aplicativo antes de fazer uma seleção para garantir uma escolha precisa, eficiente e econômica.

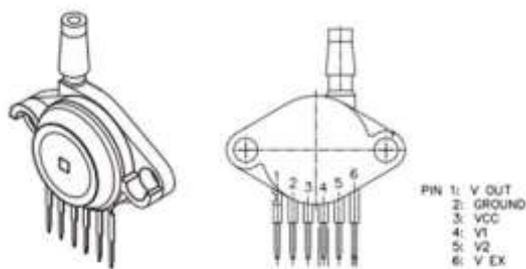
Sensores de pressão vêm em vários tipos diferentes, é preciso conhecer especificamente os sensores de pressão descritos: como sensores, transdutores e transmissores, e embora esses termos às vezes sejam usados de forma intercambiável, os dispositivos que eles descrevem não são tecnicamente os mesmos (MARTINS, 2012).

Sendo assim, o sensor MPX5700AP é um sensor de pressão de silício integrado de porta única e absoluta em um pacote SIP de 6 pinos. Este transdutor piezo resistivo é um sensor de pressão de silício monolítico de última geração projetado para uma ampla gama de aplicações. Esse transdutor de elemento único patenteado combina técnicas avançadas de micro usinagem, metalização de filme fino e processamento bipolar para fornecer um sinal de saída analógico preciso e de alto nível que seja proporcional à pressão aplicada (MORAES, 2016), veja a figura 8.

Entre suas características, Moraes (2016) destaca:

- a) Sinal *on-chip* condicionado, temperatura compensada e calibrada;
- b) Erro máximo de 2,5% entre 0 ° C e 85 ° C;
- c) Idealmente adequado para sistemas baseados em microprocessadores ou microcontroladores;
- d) Tensão de cisalhamento de silício patenteada;
- e) Faixa de pressão de 15KPa a 700KPa;
- f) Faixa de tensão de alimentação de 4,75 a 5,25 VCC;
- g) Sensibilidade de 6.4mV / KPa;
- h) Tempo de resposta de 1 ms;
- i) Elemento *unibody epoxy* durável;
- j) Faixa de temperatura de operação de -40 ° C a 125 ° C.

Figura 8 – Sensor de pressão MPX5700AP



Fonte: FREESCALE (2012) Imagem adaptada.

2.2.5 Módulo Ethernet W5100

O Módulo Ethernet W5100 é um chip de interface de rede monolítica multifuncional, integrado internamente a um controlador Ethernet 10/100, que se aplica a um sistema embarcado que é de alta integração, alta estabilidade, alto desempenho, mas de baixo custo. Ao usá-lo, pode-se completar a ligação da Internet sem suporte ao sistema operacional. W5100 é compatível com IEEE802.3 10BASE-T e 802.3u100BASE-TX. W5100 é integrado com TCP / IP, MAC, PHY com controle total de hardware. Basta ter uma simples programação de soquete em vez de considerar o controle da Ethernet quando utiliza-se o W5100 (ARDUINO, 2019).

A blindagem *ethernet* se conecta a uma placa Arduino usando cabeçalhos longos que se estendem através da blindagem. Isso mantém o layout do pino intacto e permite que outro escudo seja empilhado na parte superior.

A revisão mais recente da blindagem também inclui um controlador de reinicialização, para garantir que o módulo Ethernet do W5100 seja redefinido corretamente na inicialização. As revisões anteriores da blindagem não eram compatíveis com o Mega e precisavam ser reiniciadas manualmente após a energização. A revisão original do escudo continha um slot para cartão SD de tamanho completo.

O Arduino se comunica tanto com o W5100 quanto com o cartão SD usando o barramento SPI (através do cabeçalho ICSP). Isto está nos pinos digitais 11, 12 e 13 no *Duemilanove* e nos pinos 50, 51 e 52 no Mega. Nas duas placas, o pino 10 é usado para selecionar o W5100 e o pino 4 para o cartão SD. Esses pinos não podem ser usados para E / S geral. No Mega, o pino SS do hardware, 53, não é usado para selecionar o W5100 ou o cartão

SD, mas deve ser mantido como saída ou a interface SPI não funcionará (ARDUINO, 2019). A figura 9 abaixo apresenta a estrutura desse módulo.

Figura 9 – Módulo Ethernet W5100



Fonte: Elaboração do autor (2019).

3. PRODUTOS E POSSIBILIDADES EXISTENTES NO MERCADO ATUAL

Esta seção busca disseminar sobre o entendimento de MBR e testes BMP dentro do projeto de desenvolvimento deste objeto de estudo, além de buscar novos produtos ou possibilidades existentes no mercado atual, suas viabilidades financeiras, diferenças, características, entre outros.

3.1 Biorreatores de membrana

O "Biorreator de membrana" (MBR) é geralmente um termo usado para definir processos de tratamento de águas residuais onde uma membrana pré-seletiva, por exemplo microfiltração ou ultra filtração, é integrada com um processo biológico - especificamente um biorreator de crescimento suspenso. Os MBRs diferem dos processos de "polimento" em que a membrana é empregada como uma etapa de tratamento terciário discreta sem retorno da biomassa ativa ao processo biológico (KIPPER, 2009)

Quase todos os processos comerciais de MBR atualmente disponíveis utilizam a membrana como filtro, rejeitando os materiais sólidos que são desenvolvidos pelo processo biológico, resultando em um efluente do produto clarificado e desinfetado. Um biorreator de membrana é essencialmente uma versão do sistema convencional de lodo ativado (CAS).

Enquanto o processo CAS usa um clarificador secundário ou um tanque de assentamento para separação sólido / líquido, um MBR usa uma membrana para essa função. Isso fornece várias vantagens relacionadas ao controle de processo e à qualidade da água do produto.

Os biorreatores à membrana tornaram-se um fenômeno global no tratamento de efluentes nas últimas décadas, e o aumento no número e escala de plantas de MBR para o tratamento de efluentes tem sido exponencial. Os números brutos na lista das maiores instalações municipais de MBR pintam um quadro de sua ascensão em popularidade.

Belli *et. al.*, (2012) menciona que os biorreatores de membrana para tratamento de águas residuais são uma combinação de um método de tratamento biológico de crescimento suspenso, geralmente lodo ativado, com equipamento de filtração por membranas, normalmente microfiltração de baixa pressão (MF) ou membranas de ultra filtração (UF). As membranas são usadas para realizar a função crítica de separação sólido-líquido.

Em instalações de lodos ativados, isso é tradicionalmente realizado usando clarificadores secundários e terciários juntamente com filtração terciária. Os dois tipos gerais

de sistemas MBR são sistemas a vácuo (ou acionados por gravidade) e acionados por pressão. Os sistemas de vácuo ou gravidade são imersos e normalmente utilizam membranas de fibra oca ou planas instaladas em biorreatores ou em um tanque de membrana subsequente. Os sistemas acionados por pressão são sistemas de cartuchos no tubo localizados externamente ao biorreator (BELLI *et. al.*, 2012).

Uma alternativa no mercado atual para “medir” a pressão em biorreatores de membrana seriam os manômetros. O manômetro é um instrumento que serve para medir a pressão atmosférica de líquidos ou gases e também pode ser utilizado para determinar a velocidade de fluidos. Normalmente este aparelho é bastante utilizado em industriais que auxilia na medição de fluidos de máquinas industriais.

Apesar de ser um equipamento mais barato quando comparado aos sistemas construídos utilizando microcontroladores e sensores de pressão, os biorreatores de membrana podem utilizar manômetros para a realização da leitura de pressão, tornando o processo da leitura manual, ou sensores de pressão acoplados aos microcontroladores permitindo assim a leitura automática da pressão de membrana.

3.2 Teste BMP

O teste Potencial Bioquímico de Metano (BMP), é bastante utilizado para o monitoramento do volume de metano gerado por uma fração de resíduos através da produção total de CH_4 . Normalmente os ensaios são monitorados constantemente através das medições de pressões e temperaturas internas e também da temperatura ambiente. (SILVA, *et. al.* 2016).

Vale ressaltar que utilizar estas ferramentas trazem vários benefícios como monitoramento constante, controle, precisão, porém a um alto custo, onde muitas vezes a aplicação de ferramentas terceirizadas fica inviável realizar processos e análises em projetos de amplitude menor.

Neste sentido o autor preocupou-se em desenvolver uma ferramenta analítica que seja capaz de realizar os testes BMP e disponibilizar para estudos futuros, tornando viável a implementação em qualquer tipo de projeto que necessite da análise. No teste BMP são 12 reatores, cada um possui um sensor para monitoramento da pressão interna em cada reator. A ferramenta realiza testes BMP de fermentação em lote anaeróbio, incluindo a realização com até 12 frascos de teste, além de auxiliar nas análises de biodegradabilidade anaeróbia, ensaios de atividade Metanogênica específica, entre outros.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição do local de estudo

O objeto de estudo compreende duas etapas, a análise dos sistemas experimentais e o *software* desenvolvido para o gerenciamento e monitoramento dos testes de forma remota. Os sistemas experimentais em estudo, biorreatores anaeróbios de membrana e a ferramenta analítica para realização de testes anaeróbios em lote, denominada, Teste BMP, foram instalados na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), no bairro do Catolé, na cidade de Campina Grande – PB, em uma área que pertence à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, mas, que se encontra à disposição da Universidade Estadual da Paraíba para realização de pesquisas na área de saneamento ambiental.

O *software* foi desenvolvido pelo autor deste objeto de estudo mediante as aplicações de programação, ou seja, linguagem de programação PHP, banco de dados MYSQL, linguagens de marcação HTML e CSS, *framework Bootstrap* e a hospedagem da página através de um servidor WEB.

4.2 Levantamento de requisitos

A fase de requisitos é uma fase importante e essencial no desenvolvimento de qualquer *software*. Normalmente é nesta fase que se descobre antes de se construir o sistema, processos com base na exigência do cliente a partir de documentos informais. Um requisito bem definido retrata diretamente na funcionalidade do *software* que satisfaz as necessidades dos clientes.

Ressaltasse que requisitos de *software* são definidos como as funções do sistema, seus objetivos, propriedades, as restrições que terão, padrões de configuração baseados em usuários ou grupos de usuários, parâmetros, ou seja, pode-se resumir que um requisito é uma condição que é extremamente necessária para satisfazer os objetos gerais do *software*. (FRANCHI, 2016).

Existe uma inter-relação entre homem e máquinas para coleta de requisitos que pode ajudar a produzir qualidade e produtos de *software* quantitativos. Requisitos de *software* são classificados como funcionais e não funcionais.

Um requisito funcional é um requisito de *software* que executa uma ação específica por um sistema sem considerar quaisquer restrições físicas. Um requisito não funcional é um

requisito de *software* específico para as propriedades do sistema, como condições ambientais e restrições de implementação, dependências de desenvolvimento de plataforma de escalabilidade, manutenção, extensibilidade, confiabilidade, documentação (FRANCHI, 2016).

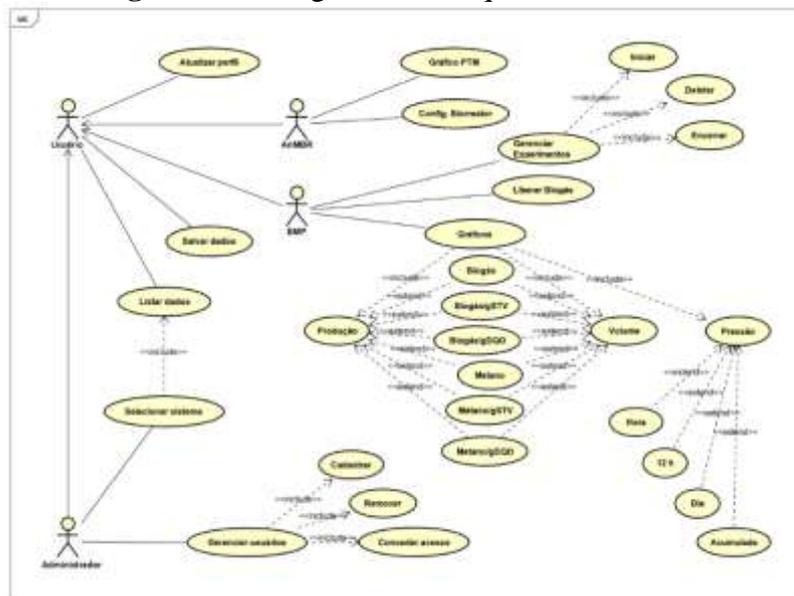
Através da imagem 10, segue o levantamento dos requisitos de sistema do software em estudo (SISMONBIO) por meio de um diagrama.

Conforme diagrama apresentado na Figura 16, três tipos de atores constituem o sistema: Aluno, que pode ser do tipo AnMBR ou BMP, e Professor. Estes atores representam os usuários do sistema. Os atores BMP e AnMBR herdam as funcionalidades listar dados, salvar dados e atualizar perfil do ator Aluno, ou seja, todos os alunos possuem estas funcionalidades.

Um aluno do tipo AnMBR possui as funcionalidades de Aluno e também outras específicas, como gerar gráfico PTM e configurar biorreator. Gerenciar experimentos, gerar gráficos de pressão, produção e volume de biogás e metano são funcionalidades do aluno do tipo BMP.

Como questão hierárquica do sistema o professor é o tipo de usuário que possui mais funcionalidades agregadas ao seu perfil, pois herda todas as funcionalidades de Aluno, podendo este visualizar os dados de qualquer sistema, através da funcionalidade selecionar sistema, que inclui o requisito listar dados. O Professor pode também gerenciar usuários, que inclui cadastrar, editar, conceder acesso ou remover usuários.

Figura 10 – Diagrama dos requisitos do sistema



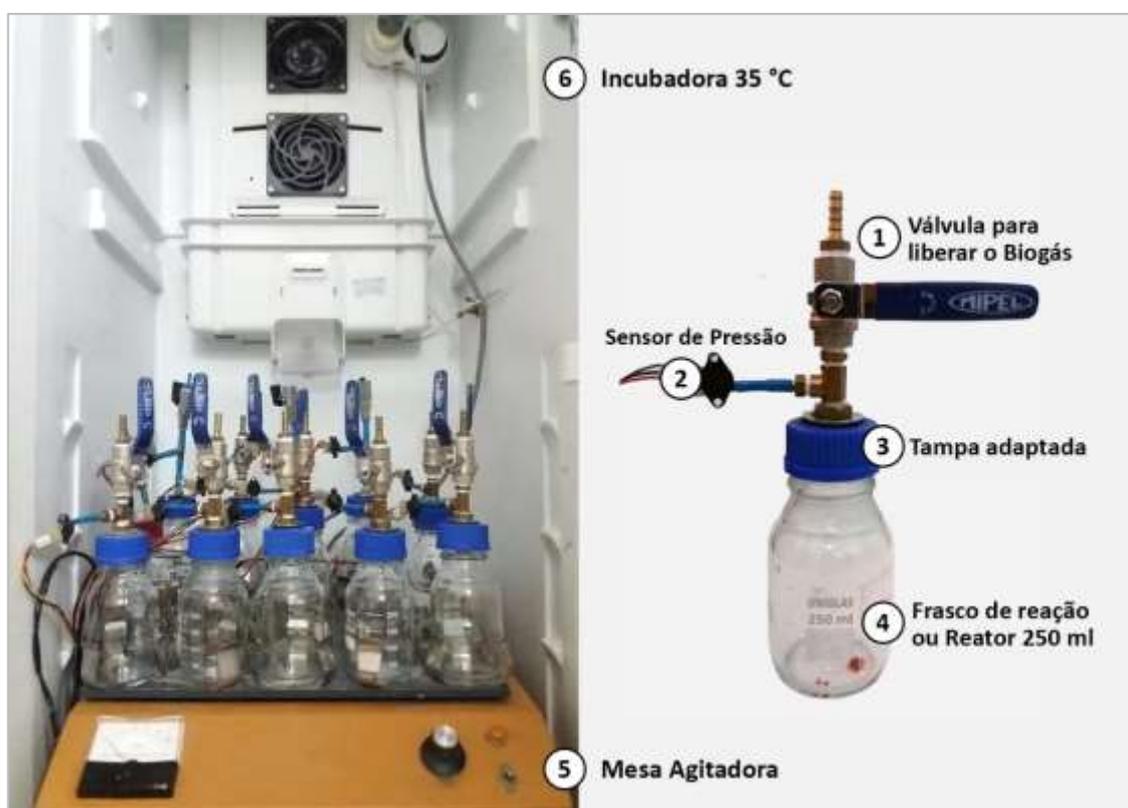
Fonte: Elaboração do Autor (2019), modelo adaptado.

O desenvolvimento do *software* baseado no levantamento de requisitos apresentados na Figura 10, foram construídos a partir das ferramentas citadas anteriormente neste objeto de estudo, ressaltando a inclusão do padrão de arquitetura muito utilizado para WEB, ou seja, o padrão MVC que será explanado na posteriormente.

4.3 Esquema de conexão e montagem dos dispositivos eletrônicos

O objetivo desta seção é apresentar o esquema de conexão realizado entre os dispositivos eletrônicos utilizados para tornar possível o monitoramento online de biorreatores anaeróbios de membrana. Para a construção da ferramenta Teste BMP, além de sensores de pressão, módulos e placa Arduino, utilizou-se uma mesa agitadora e uma incubadora na montagem do equipamento.

Figura 11 - Ferramenta analítica construída para realização de testes anaeróbios em lote



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

A Figura 11 mostra detalhes relacionados à construção física da ferramenta analítica construída para a realização de testes anaeróbios em lote. De acordo com esta figura temos:

- 1) Válvula para liberar biogás (1): Esta válvula deve ser aberta para liberação do biogás acumulado pelo operador do sistema após sensor de pressão detectar que a pressão no reator atingiu valor limite definido no experimento realizado.
- 2) Sensor de pressão (2): Local onde o sensor de pressão MPX5700AP é instalado no reator.
- 3) Tampa adaptada (3): Modelo de tampa adaptado utilizado para instalar a válvula para a liberação do biogás e o sensor de pressão.
- 4) Frasco de reação (4): Frascos de reação utilizado no experimento, da marca UNIGLASS, com capacidade volumétrica de 250 mililitros.
- 5) Mesa agitadora (5): A mesa agitadora permite que os doze frascos de reação sejam acoplados, possibilitando que as amostras sejam homogêneas conforme necessidades do experimentalista.
- 6) Incubadora (6): Equipamento utilizado para manter o experimento em condições controladas de temperatura.

O experimentalista, ao realizar testes anaeróbios, inicialmente preenche os frascos de reação conforme suas necessidades experimentais e solicita ao administrador da ferramenta a criação de um usuário para utilização do *software*. Após o acesso concedido ao experimentalista, este deve iniciar um novo experimento através do *software*, onde a partir deste momento o sistema inicia o processo de leitura e armazenamento dos dados de pressão em cada frasco de reação. A partir deste momento os dados são apresentados na tela inicial do *software*, onde nesta é realizada a listagem tabelada dos dados de pressão.

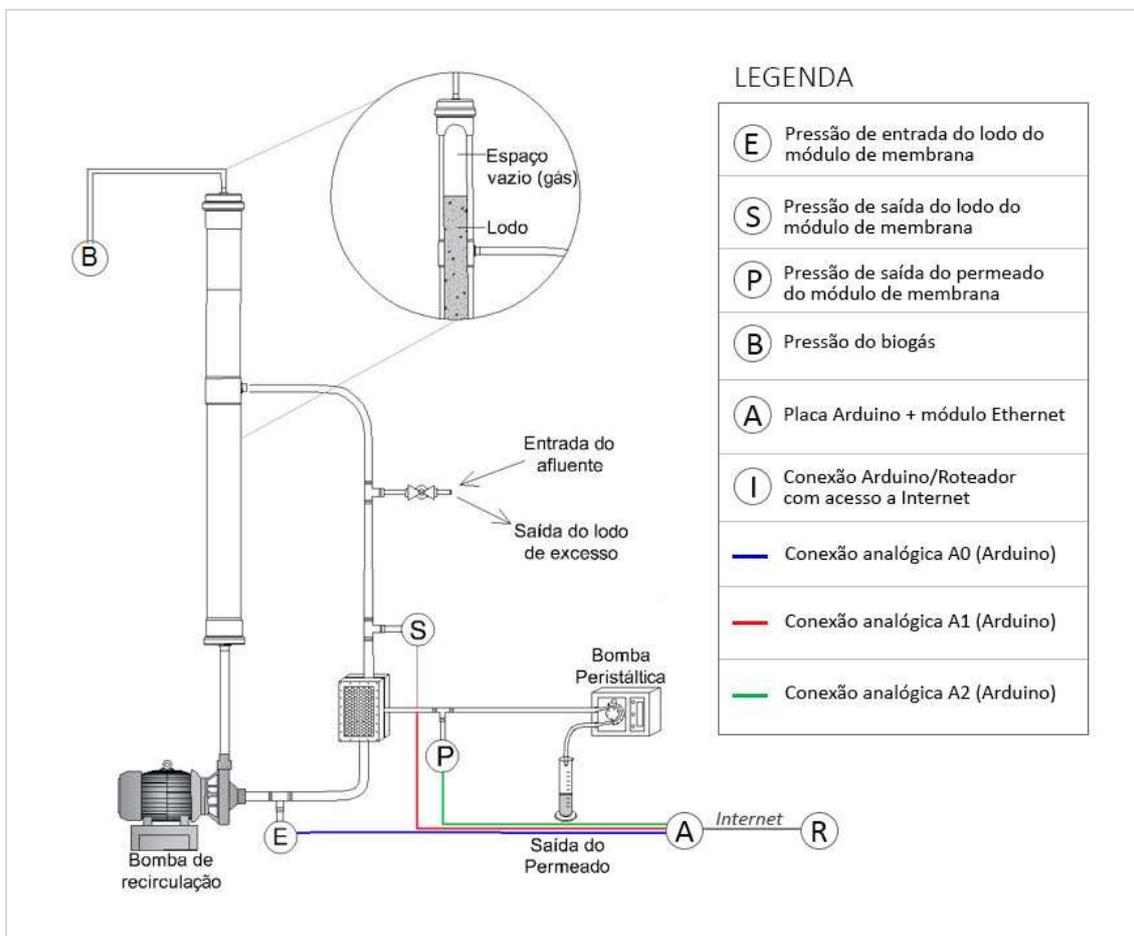
4.3.1 Biorreatores Anaeróbios de Membrana com fluxo tangencial

Em um biorreator anaeróbio de membrana com fluxo tangencial, a instalação dos sensores de pressão deve ser realizada conforme modelo ilustrado na Figura 12. No módulo de membrana três sensores de pressão da série MPX5700AP são instalados, um na entrada e na saída do efluente deste módulo e outro na saída do permeado. No topo do biorreator, um sensor de pressão do mesmo tipo é instalado para leitura de dados relacionados a produção do biogás.

Em membranas com fluxo tangencial, os sensores de pressão estão conectados ao Arduino através das portas analógicas. Os sensores de pressão na entrada, saída da membrana

e saída do permeado estão ligados através das portas analógicas A0, A1 e A2 respectivamente. A porta analógica A3 é ligada ao sensor de pressão do biogás.

Figura 12 - Biorreator Anaeróbio de Membrana com fluxo tangencial



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019), modelo adaptado Lopes (2020).

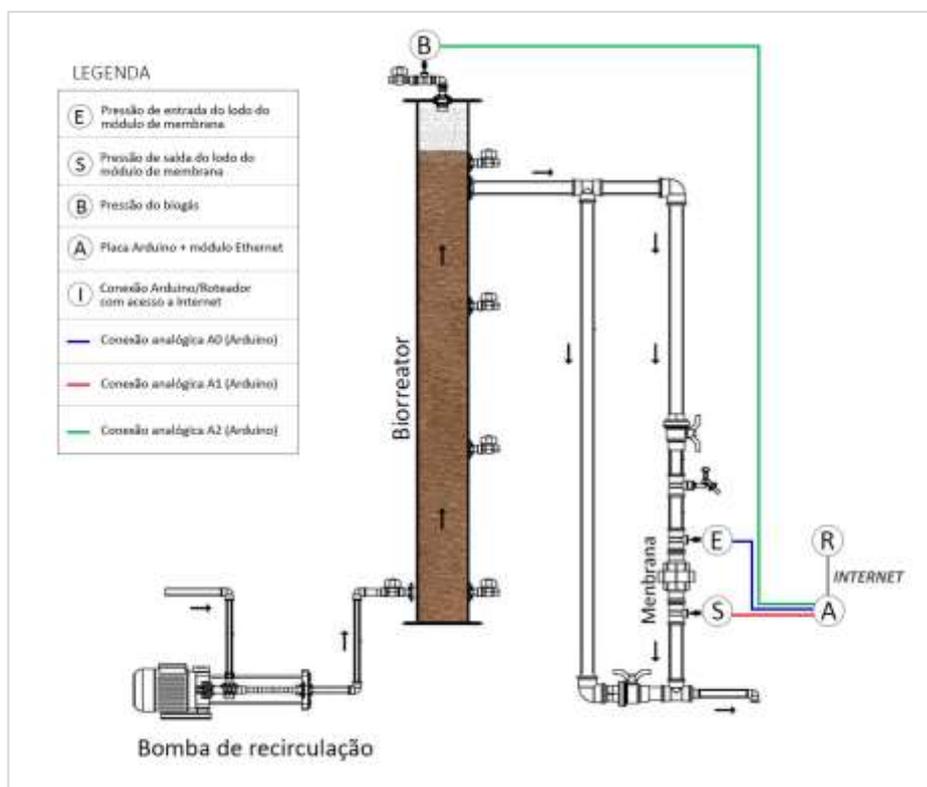
Vale ressaltar que a função dos sensores de pressão instalados conforme figura 12, possuem a mesma função no projeto de monitorar a pressão interna trazendo resultados evitando a incrustação, ou seja, não existe um tipo específico de parametrização realizado através do software, onde os valores registrados estão sempre em uma faixa de 0 a 700 kPa (KiloPascals). A conversão dos valores se dá pela função do Arduino *getPressao*, ela lê o valor analógico na porta do sensor (passado como parâmetro) e converte para kPa.

4.3.2 Biorreatores Anaeróbios de Membrana com fluxo frontal

Conforme modelo apresentado na Figura 13, os biorreatores anaeróbios de membrana com fluxo frontal requerem a instalação de sensores de pressão na entrada e saída da

membrana. Na parte superior do reator também é instalado um sensor de pressão para leitura de dados relacionados a produção do biogás.

Figura 13 - Biorreator Anaeróbico de Membrana com fluxo frontal



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019), modelo adaptado Lopes (2020).

Em membranas com fluxo frontal, os sensores de pressão estão conectados ao Arduino através das portas analógicas. Os sensores de pressão na entrada e saída da membrana estão ligados através das portas analógicas A0 e A1, respectivamente. A porta analógica A2 é ligada ao sensor de pressão do biogás.

Em ambos os modelos de biorreatores, ou seja, os que possuem membranas com fluxo frontal e tangencial, os sensores estão conectados ao Arduino que é conectado a um módulo Ethernet. Este módulo torna possível o envio dos dados de pressão na membrana obtidos através dos sensores de pressão, estes dados são enviados e armazenados através do software SISMONBIO.

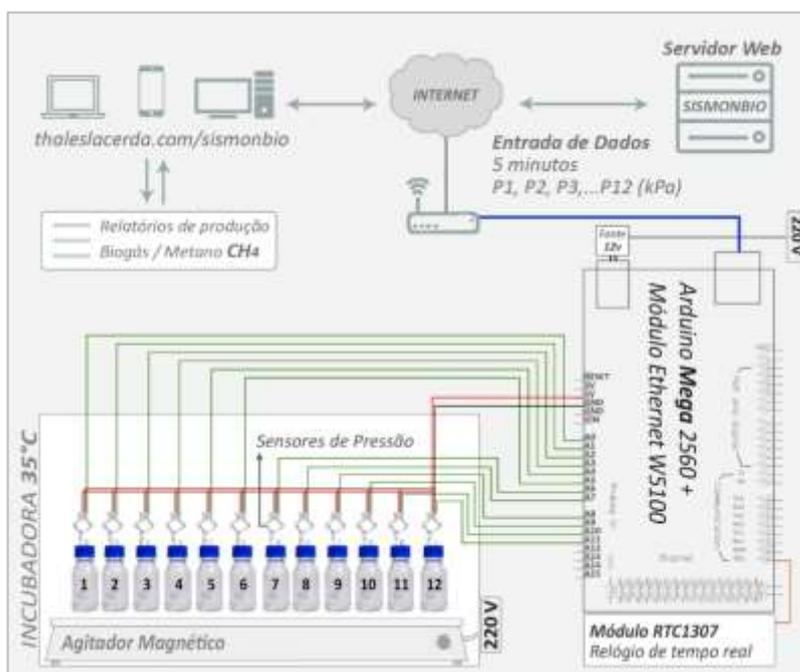
SISMONBIO (Sistema de Monitoramento On-line de Biorreatores) é o nome do *software* desenvolvido para monitoramento online de biorreatores, com duas principais possibilidades de monitoramento. Pode-se dizer que o sistema possui dois módulos de

monitoramento, que são: monitoramento de biorreatores anaeróbios de membrana e realização de experimentos através da ferramenta analítica Teste BMP.

4.3.3 Esquema De Conexão Para Montagem Do Teste BMP

Considerando os benefícios inerentes ao monitoramento constante e precisão para esse estudo, no teste BMP adaptado pelo autor, são 12 reatores, cada um possui um sensor para monitoramento da pressão interna. Para cada tampa de cada frasco de reação, é instalado um adaptador permitindo a instalação de um sensor de pressão e uma válvula para liberar o biogás acumulado, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14- Esquema de conexão entre os componentes utilizados na montagem do sistema para realização de testes anaeróbios em lote



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

O equipamento construído para realização de testes anaeróbios em lote é constituído por doze frascos de reação da marca UNIGLAS de 250 mililitros (ml) de capacidade volumétrica. Portanto, o sistema projetado suporta a realização de análises com até doze frascos de reação, possibilitando a realização de testes anaeróbios em duplicata ou triplicata. Em relação ao volume de cada frasco de reação, 200 ml são destinados ao substrato e os 50 ml restantes na parte superior constituí o *readspace*, destinado ao armazenamento do biogás gerado.

Os frascos de reação são acoplados em uma mesa agitadora (*New Brunswick Scientific*, mod. G 33) permitindo que as amostras sejam homogeneizadas de forma automática, inseridos em uma incubadora, programada para manter a temperatura em 35° Celsius. O experimento é realizado em condições controladas de laboratório, para viabilizar a atividade bioquímica máxima de conversão de substratos orgânicos a biogás.

De acordo com a literatura Holliger e Alves, *et.al.*, (2016), há diferentes métodos para a medição de biogás, os quais podem ser classificados em manométricos ou volumétricos. Os métodos manométricos se baseiam na medição da pressão exercida sobre um sensor acoplado ao frasco de reação. Dependendo da configuração do sistema a pressão medida pode ser devido à mistura de gases do biogás, que é constituído principalmente por metano e dióxido de carbono, ou devido somente ao metano.

No decorrer do experimento, a pressão no frasco de reação aumenta e é registrada progressivamente pelo sensor MPX5700AP até atingir um valor limite de 200 kPa, ao atingir este valor, o gás precisa ser liberado de forma manual através da válvula, esta tarefa é de responsabilidade do operador do sistema, devendo abrir esta válvula e liberar o biogás.

O sensor do primeiro frasco é conectado através do pino 1, ao canal analógico A0 do Arduino, o sensor do segundo frasco é conectado, através do pino 1, ao canal analógico A2 do Arduino, seguindo esta mesma lógica, conecta-se os sensores de todos os doze frascos de reação, desta forma o frasco de reação número doze é conectado através do pino 1, ao canal analógico A11 do Arduino.

O pino 2 de ambos os sensores é conectado ao canal *ground* do Arduino e o pino 3 dos sensores é conectado ao canal 5V (Volts) do Arduino. Portanto, cada sensor é conectado a uma saída analógica do microcontrolador, de modo que, a partir do algoritmo implementado e a partir dos valores medidos através dos sensores, eles possam ser visualizados através do acesso ao software SISMOMBIO.

Conecta-se a placa Arduino Ethernet W5100 ao Arduino Mega, um sobre o outro utilizando os pinos de conexão disponíveis nas placas. Utiliza-se um cabo de rede para fazer uma conexão de internet entre as placas conectadas e o roteador que disponibiliza sinal de internet, esta conexão é feita através de uma porta LAN disponível no roteador.

Com essa conexão, é possível monitorar o estado dos sensores a partir de qualquer navegador do seu computador ou celular. Portanto, desta forma o Teste BMP está programado para funcionar como um cliente web, ou seja, uma ferramenta capaz enviar e receber informações através da internet.

4.4 Desenvolvimento do software

Um dos propósitos deste objeto de estudo é propor meios mais acessíveis financeiramente para o estudo e compreensão dos Sistemas de Monitoramento Online de Biorreatores, é para tal foi desenvolvido um *software* (SISMONBIO), cuja a função é permitir tais estudos através dos testes de pressão propostos.

Através das ferramentas descritas neste objeto de estudo (PHP, MYSQLQ) entre outras, foi possível a construção de um ambiente online capaz de monitorar e fornecer dados sobre os testes de pressão que são realizados pelo sistema (físico) e (lógico).

O desenvolvimento do software se inicia na fase de levantamento de requisitos, seguindo para o padrão de desenvolvimento utilizado para implementar os requisitos levantados, bem como construir uma base de dados de acordo com a modelo entidade relacionamento.

4.4.1 Tecnologias Utilizadas Para O Desenvolvimento Do Software

Nesta seção aborda-se sobre as tecnologias inerentes ao software SISMONBIO. Ressalta-se que o objetivo deste capítulo é mencionar mediante a literatura técnica revisada, sobre os principais conceitos das ferramentas, linguagens, banco de dados, entre outros.

Portanto, esta sessão limita-se a compreensão básica sobre as ferramentas que serão discutidas, bem como a interpretação básica das linguagens de programação, recursos de estilos, gráficos, entre outros. Outro ponto importante nesta sessão é a utilização do *framework Bootstrap*, suas vantagens, facilidades, além da compreensão sobre hospedagem de sites e domínios.

4.4.2 Linguagens de programação PHP

Buscando em sua concepção histórica o PHP (Hypertext Preprocessor) como é bastante conhecido hoje, na verdade é o sucessor de um produto chamado de PHP/FI, criado na década de 90 por Rasmus Lerdof, onde na oportunidade sua primeira contribuição foi um conjunto simples de códigos binários *Common Gateway Interface* (CGI), escrito na linguagem de programação C. Na verdade Rasmus Lerdof, utilizava estes scripts para gerenciar seu curriculum pessoal, e veio o nome de “*Personal Home Page Tools*”. Ao longo do tempo, várias outras funcionalidades foram sendo acrescentadas, inclusive implementações de recursividades para conexão à banco de dados (PHP, 2019).

Em 1995 Rasmus Lerdof simplesmente permitiu que o código que havia escrito fosse compartilhado de maneira gratuita na WEB e de certa forma encorajou vários programadores a aperfeiçoar o código que é bastante difundido na atualidade.

Fazendo um análogo mais técnico o PHP é uma linguagem de *script* do lado do servidor, que é usado para desenvolver sites estáticos ou sites dinâmicos ou aplicativos da Web. Após inúmeras evoluções e adaptações da sigla, hoje o PHP significa *Hypertext Pre-processor*, que anteriormente significava *Personal Home Pages*. Scripts PHP só podem ser interpretados em um servidor que tenha o PHP instalado. Os computadores clientes que acessam os scripts PHP exigem apenas um navegador da *web*. Um arquivo PHP contém *tags* PHP e termina com a extensão ".php".

Ainda sobre a concepção, um *script* é um conjunto de instruções de programação que é interpretado em tempo de execução. Uma linguagem de *script* é uma linguagem que interpreta *scripts* em tempo de execução. Os *scripts* geralmente são incorporados em outros ambientes de *software*.

A finalidade dos *scripts* é geralmente melhorar o desempenho ou executar tarefas de rotina para um aplicativo. Os *scripts* do lado do servidor são interpretados no servidor, enquanto os scripts do lado do cliente são interpretados pelo aplicativo cliente. PHP é um *script* do lado do servidor que é interpretado no servidor enquanto o *Javascript* é um exemplo de um script do lado do cliente que é interpretado pelo navegador do cliente. Tanto o PHP quanto o *Javascript* podem ser incorporados em páginas HTML (BAZÍLIO, 2018).

4.4.3 Linguagens de marcação HTML e CSS

HTML (*Hypertext Markup Language*) e CSS (*Cascading Style Sheets*) são duas das principais tecnologias para a criação de páginas da Web. HTML fornece a estrutura da página, CSS o *layout* (visual e auditivo), para uma variedade de dispositivos. Juntamente com gráficos e scripts, HTML e CSS são a base da construção de páginas da Web e aplicativos da Web (W3C, 2011).

HTML é a linguagem para descrever a estrutura das páginas da Web. O HTML fornece aos desenvolvedores os meios para que se publique documentos online com títulos, textos, tabelas, listas, fotos, entre outros. Recuperar informações *on-line* através de *links* de hipertexto, com o clique de um botão, desenha formulários para a realização de transações com serviços remotos, para uso na busca de informações, reservas, pedidos de produtos.

Além disso ainda permite a inclusão de planilhas, vídeos, clipes de som e outros aplicativos diretamente em documentos. Com HTML, os desenvolvedores descrevem a estrutura das páginas usando marcação. Os elementos das partes do rótulo da linguagem de conteúdo, como "parágrafo", "lista", "mesa" e assim por diante.

XHTML é uma variante do HTML que usa a sintaxe do XML, a linguagem de marcação extensível. XHTML tem todos os mesmos elementos (para parágrafos, etc.) que a variante HTML, mas a sintaxe é ligeiramente diferente. Como XHTML é um aplicativo XML, que se pode usar outras ferramentas XML com ele (como XSLT, uma linguagem para transformar conteúdo XML) (W3C, 2011).

CSS é o idioma para descrever a apresentação de páginas da *Web*, incluindo cores, *layout* e fontes. Permite adaptar a apresentação a diferentes tipos de dispositivos, como telas grandes, telas pequenas ou impressoras. CSS é independente de HTML e pode ser usado com qualquer linguagem de marcação baseada em XML. A separação entre HTML e CSS facilita a manutenção de sites, o compartilhamento de folhas de estilo em páginas e a personalização de páginas em diferentes ambientes. Isso é chamado de separação da estrutura (ou: conteúdo) da apresentação (GAVAZONI e ROMANI, 2010).

De forma geral, vale ressaltar que a utilização do HTML e do CSS de certa forma padronizam os sites na *WEB*, facilitam sua manutenção, além de permitir a utilização de vários estilos dentro de cada página.

4.4.4 Banco de Dados MySQL

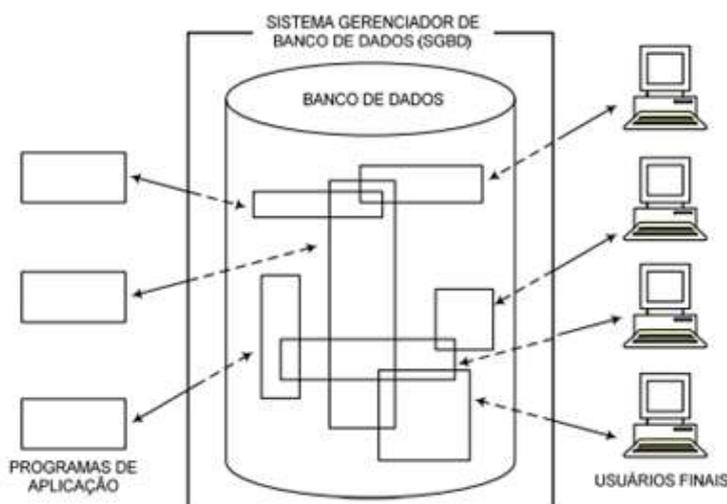
É de extrema importância frisar que nem sempre os processos de armazenamento das informações se deram através dos bancos de dados. É coerente que o primeiro banco de dados desenvolvido com este intuito já faz algum tempo, mas antigamente os processos eram armazenados em dispositivos de menor capacidade, como fitas magnéticas, pequenos discos rígidos, disquetes, cartões perfurados, entre outros.

Com o constante crescimento por armazenamento e acesso à informação e principalmente depois do surgimento dos sistemas de armazenamento através de uma rede de dados denominada "nuvem", houve a necessidade de se criar / adaptar os tradicionais bancos de dados que disponíveis no mercado para estruturas que fossem permitidas não só um processo diferenciado no sistema de armazenamento, mas também uma forma totalmente inusitada de acessar estes dados (HEUSER, 2010).

Date (2003) menciona sobre a importância de se armazenar informações. Explanando sobre o assunto pode-se considerar: Dados podem ser compreendidos como um “fato puro” ou “isolado”, sem tratativa ou importância. Já a informação é um conjunto destes dados agrupados de forma coerente que através da interpretação possa contribuir para a geração de conhecimento.

As grandes organizações (empresas) tratam as informações como um dos maiores bens patrimoniais que elas podem possuir. Já imaginou quanta informação importante sobre projetos futuros que as empresas como a *Microsoft* ou a *Google* guardam em seus bancos de dados? Pois é, a vazão ou invasão à estas informações poderiam causar um enorme “estrigo” financeiro comprometendo o futuro das empresas e consequentemente de seus produtos (DATE, 2003).

Figura 15 – Estrutura de um banco de dados



Fonte: DATE (2003) – Modelo adaptado

Mediante tais concepções e de acordo com a evolução dos bancos de dados, o MySQL merece destaque neste objeto de estudo por diversos fatores como: O MySQL é um SGDB (Sistema Gerenciador de Banco de Dados), que possui como base a linguagem SQL (*Structured Query Language*), que nada mais é do que uma linguagem de consulta a base de dados totalmente estruturada, possuindo assim um padrão de gerenciamento dos dados que de certa forma interagem com os principais bancos de dados existentes na atualidade.

Historicamente, o MySQL foi criado na Suécia por *Davi Axmark*, *Allan Larsson* e *Michael Widenius*, onde os mesmos começaram o projeto na década de 80 e

consequentemente tornou-se um dos SGDBs mais utilizados no mundo. Como vantagens destaca-se sua interface intuitiva, de fácil acesso, simples, integridade entre vários sistemas operacionais. Outra vantagem é o sistema de banco de dados possuir uma licença de *software* livre, desenvolvida pela GNU e normalmente um dos programas padrões do GNU/Linux, utilizados por programadores em diversas ocasiões como *e-commerces*, *softwares* para cadastros online em geral, entre outros (MYSQL.COM, 2018).

O MySQL possui código aberto, e isto significa que os programadores podem alterar padrões de configuração e códigos de programação de acordo com suas necessidades, porém é claro que é preciso ter bastante domínio sobre a linguagem. O MySQL pode ter diferentes tipos de formatos de tabelas (atualmente pode-se escolher entre três tipos) normalmente conhecidos como: *ISAM*, *HEAP* e o *MyISAM*. A compilação mais utilizada é o *MyISAM* por suportar tecnologias adicionais como a *InnoDB* (mecanismo de armazenamento com suporte a chave estrangeira) e o *DBD* (Drivers para banco de dados), lembrando que um banco de dados pode ter diferentes tipos de tabelas, dependendo é claro da necessidade (MYSQL.COM, 2018).

As expressões de programação utilizadas no MySQL são bastante conhecidas entre os programadores, por possuir sua estrutura voltada ao SQL que praticamente é uma linguagem universal para a construção de banco de dados. Segue um exemplo, de uma pequena estrutura de código fonte utilizada no MySQL referente ao sistema em estudo (SISMONBIO).

```
CREATE TABLE usuarios (  
    id int(11) NOT NULL,  
    nome char(70) NOT NULL,  
    email varchar(255) NOT NULL,  
    usuario char(50) NOT NULL,  
    senha char(61) NOT NULL,  
    nivel int(11) NOT NULL,  
    PRIMARY KEY(id)  
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1;
```

Vale ressaltar que existem diversas comunidades na internet relacionadas a utilização do banco de dados MySQL. Comunidades que trocam experiências de programação com o propósito de auxiliar desde programadores iniciantes até os mais experientes, além da divulgação da comunidade, exposição de cursos e certificados na área e outras informações pertinentes. O MYSQL.COM (2018) disponibiliza tutoriais para programadores com foco na linguagem, estrutura de comandos, testes, exemplos, entre outros, facilitando muito sua compreensão.

4.4.5 Framework Bootstrap

Conhecido como um dos *frameworks* de *front-end* (lado do cliente do website) mais utilizados na atualidade (2019), possui uma interface elegante, intuitiva e praticamente adaptável a todos os navegadores conhecidos atualmente, dentre eles o *Mozilla Firefox*, *Internet Explorer*, *Google Chrome*.

Atualmente suporta HTML, CSS e *Javascript*. Lançado como um produto de código aberto em 2011 no GitHub por Mark Otto e Jacob Thornton, em sua primeira abordagem a estrutura já trazia toda a mobilidade para dispositivos móveis e poderosas bibliotecas com funções específicas para todos os navegadores (W3SCHOOLS, 2019).

Através das suas funcionalidades, o *Bootstrap* disponibiliza uma série de recursos, que ajudam os programadores no desenvolvimento de websites personalizados, responsivos (que se ajustam automaticamente para uma boa exibição em diferentes tipos de dispositivos) podendo ser um *desktop*, tablet, *smatphone*, entre outros.

Normalmente um *framework Bootstrap* necessita de um arquivo de estilos, já abordado neste objeto de estudo (CSS), uma biblioteca *jQuery* para aplicações de *Javascript*, uma biblioteca *Popper* (normalmente utilizada para exibições de *popovers* e *tooltips*) além do arquivo de código do *JavaScript*.

Vale ressaltar que os arquivos de referência do *Bootstrap* podem ser adquiridos de forma gratuita através do portal oficial, devendo ser incluídos nas referências do código HTML, diretamente na página a ser utilizada.

É importante frisar que o *Bootstrap* possui particularidades que devem ser “acionadas” para que o website seja totalmente responsivo. O *Bootstrap* fornece recursos próprios para gerencia de tabelas em HTML, cores, botões, alertas, ícones, entre outros, sendo necessário a utilização de cada classe responsável pelo “componente” para que a responsividade seja perfeitamente adequada ao dispositivo.

4.4.5 Biblioteca para gerar gráficos – *Charts.js*

Certamente não é novidade que a visualização de dados se tornou uma parte muito crítica do mundo da TI hoje. A enorme quantidade de dados gerados por diferentes tecnologias da *Web* precisa ser refinada e visualizada adequadamente para o mundo usar e obter resultados. As vantagens de compreender os dados são enormes e levam a decisões bem

informadas ao longo do tempo. A capacidade de uma organização de obter seus dados extraídos, limpos, visualizados e analisados pode ser a diferença entre o lucro ou a perda.

Como um desenvolvedor web de *front-end*, as bibliotecas *Charts.js*, são um ótimo conjunto de habilidades para visualizar dados tanto quanto um programador pode criar belas páginas interativas. Essas bibliotecas *Javascript* tornaram a tarefa mais fácil, pois os desenvolvedores não precisam suportar uma mudança de sintaxe de idioma para converter esses números mágicos em gráficos compreensíveis.

Destaca-se que dentre as bibliotecas disponíveis no Java para esta finalidade como (*Echarts*, *Tau Charts*, *Chartist*, *C3.js*, *Highcharts*, *Recharts*, *Nvd3*, *Flot*) entre outras, este objeto de estudo destaca uma das mais utilizadas pelos programadores a *Chart.js*.

A biblioteca *Chart.js* é considerada pelos programadores como uma biblioteca simples e limpa, agradando a maioria dos seus usuários. A biblioteca Chart JS é uma biblioteca *JavaScript* baseada em HTML5 para criar gráficos e gráficos animados, interativos e personalizáveis. Com o Chart JS, pode-se facilmente visualizar tipos de gráficos mistos sem problemas, criando páginas da Web responsivas por padrão.

Esta biblioteca permite começar a visualizar dados rapidamente. Fácil de configurar e amigável para iniciantes. Com isso, não precisa se envolver em problemas de compatibilidade de navegador, pois ela suporta navegadores mais antigos. Documentação adequada e alguns tutoriais sobre esta biblioteca existem em seu site oficial e na página do *GitHub*.

Através do portal *Chart.js* é possível conhecer mais sobre a ferramenta e acessar vários exemplos disponíveis para os usuários da biblioteca.

4.4.6 Servidor Web de hospedagem

Um servidor de hospedagem para sites web, funciona como um serviço de armazenamento de dados (páginas) onde o usuário (programador ou administrador) possui acesso constante através de uma plataforma online que possibilita ambientes de programação, upload, configuração de recursos, entre outros recursos, permitindo que a página (site) seja visualizada 24h por dia de qualquer lugar do planeta.

Normalmente programadores de WEB desenvolvem suas páginas localmente através de recursos que já citamos neste objeto de estudo, porém precisam de um ambiente online para testes, conferências de recursividades, entre outros, e o serviço de hospedagem garante que esta etapa seja cumprida com sucesso.

Hoje existem várias empresas dedicadas ao serviço de hospedagem que podem ser serviços gratuitos ilimitados ou limitados, ou ainda serviços pagos. Destaca-se entre as empresas que fornecem serviço de hospedagem de sites pessoais gratuitamente, a própria Google, porém são páginas pessoais que são constantemente monitoradas pela gigante, a 2 *Hosting Freie* (<https://www.hostinger.com.br/>), a *Babidoos Hosting* (<https://babidoos.com.br/>), algumas com particularidades diferentes de outras.

É preciso ressaltar que o serviço de hospedagem de um site não inclui o registro de domínio do mesmo. Normalmente o serviço é oferecido no Brasil pelo órgão regulamentador Registro.br que procura entre os domínios disponíveis de acordo com as opções de registro do site e cobra uma taxa anual pelo registro. No portal da empresa existem várias diretrizes para quem busca o registro do domínio de uma empresa, segmento ou qualquer situação do gênero. Vale ressaltar que existem processos jurídicos legais na legislação nacional que implicam diretamente na punição através do cumprimento prisional em regime fechado além do pagamento de multa para qualquer tipo de usuário que utilizar-se dos recursos em má fé (CGI.BR e NIC.BR, 2019).

4.5 Biorreatores anaeróbios com membrana

4.5.1 Funcionalidade para cálculo da pressão transmembrana

Funcionalidade responsável por calcular a pressão transmembrana em biorreatores anaeróbios de membrana com fluxo frontal ou tangencial. O código desenvolvido em linguagem de programação PHP para executar esta função é exibido na Figura 16. Na linha 130 desta figura o código é responsável em criar uma instância da classe sistemas para poder chamar o método tipo Membrana através da linha 132 e assim então poder calcular a pressão transmembrana de acordo com o tipo, frontal ou tangencial.

Biorreatores anaeróbios com membrana do tipo frontal, a pressão transmembrana é igual a pressão na entrada menos a pressão na saída (linha 134, figura 16), enquanto para biorreatores anaeróbios com membrana do tipo tangencial, a pressão transmembrana é a soma da pressão na entrada mais a pressão na saída, tudo dividido por dois, menos a pressão do permeado (linha 138, figura 15).

Responsável por listar os valores de pressão na membrana, os valores são obtidos a cada cinco minutos e são apresentados em formato de lista. Para cada leitura realizada tem-se os valores de pressão nos pontos da membrana, de acordo com o fluxo, frontal ou tangencial.

Figura 16 - Função escrita na linguagem PHP para cálculo da pressão transmembrana

```

127
128 public function ptm($id_sistema, $pressao)
129 {
130     $sistemas = new Sistemas(new Config());
131
132     if($sistemas->tipoMembrana($id_sistema) == 'frontal')
133     {
134         $ptm = ($pressao['p_entrada'] - $pressao['p_saida']);
135     } else
136     {
137         $ptm = (((($pressao['p_entrada'] + $pressao['p_saida'])/2) - $pressao['p_permeado']));
138     }
139
140 }
141
142 return round($ptm, 2);
143 }
144
145

```

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Na linha 142, da Figura 17 a função retorna o valor da pressão transmembrana e arredonda para duas casas decimas e retorna o valor da pressão calculada em kPa.

4.6 Ferramenta teste BMP

4.6.1 Funcionalidade listar dados

O código escrito em php para esta funcionalidade realiza uma consulta na base de dados e retorna os valores de pressão armazenados na tabela (pressão biogás) do mysql.

Figura 17 - Listagem de dados do teste BMP

```

16
17 public function listar($data=null, $id_sistema)
18 {
19     if($_SESSION['usuario']['nivel'] == 1)
20     {
21         $sql = 'SELECT * FROM pressao_biogas WHERE id_sistema=:id_sistema AND data LIKE :data';
22         $listar = $this->mysql->prepare($sql);
23         $listar->bindValue(':data','%'. date('Y-m-d', strtotime($data)) . '%', PDO::PARAM_STR);
24         $listar->bindValue(':id_sistema', $id_sistema, PDO::PARAM_INT);
25
26     } else
27     {
28         $sql = ' SELECT pb.*
29             FROM pressao_biogas pb, experimentos e, usuarios u
30             WHERE pb.id_exp = e.id
31             AND e.id_usuario = u.id
32             AND pb.id_sistema=:id_sistema
33             AND e.id_usuario=:id_usuario
34             AND data LIKE :data';
35         $listar = $this->mysql->prepare($sql);
36         $listar->bindValue(':data','%'. date('Y-m-d', strtotime($data)) . '%', PDO::PARAM_STR);
37         $listar->bindValue(':id_sistema', $id_sistema, PDO::PARAM_INT);
38         $listar->bindValue(':id_usuario', $_SESSION['usuario']['id'], PDO::PARAM_INT);
39     }
40     $listar->execute();
41     return $listar->fetchAll();
42 }

```

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Em caso de usuários com perfil de administradores, os valores podem ser listados para todos os experimentos cadastrados referentes a um determinado usuário, caso contrário, apenas são listados valores relacionados ao experimento do usuário logado.

4.6.2 Funcionalidade configurar biorreator

Esta funcionalidade permite ao usuário do sistema definir configurações para cada um dos doze reatores, que está relacionado com um experimento. Ao definir estes valores, o usuário terá disponibilizada em sua interface de monitoramento do reator através do software SISMONBIO, gráficos de volume e produção de metano e biogás e volume e produção de metano e biogás em relação a gramas de Sólidos Totais Voláteis (STV) e gramas de Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Figura 18 - Função PHP para editar configurações de biorreator (Teste BMP)

```

33
34 public function editarConfigBiorreator($dados, $id_sistema)
35 {
36     if($_SERVER['REQUEST_METHOD'] == 'POST')
37     {
38         if(!empty($dados['id_exp']) && !empty($dados['reator']))
39         {
40             if($this->checkRow($dados['id_exp'], $dados['reator'], $id_sistema))
41             {
42                 $sql = ' UPDATE config SET stv=:stv, st=:st, osv=:osv, dqo=:dqo, metano=:metano, head_space=:head_space
43                     WHERE id_sistema=:id_sistema
44                     AND id_exp=:id_exp
45                     AND reator=:reator';
46             }
47             else
48             {
49                 $sql = ' INSERT INTO config (id_sistema, id_exp, reator, stv, st, osv, dqo, metano, head_space)
50                     VALUES(:id_sistema, :id_exp, :reator, :stv, :st, :osv, :dqo, :metano, :head_space)';
51             }
52
53             $query = $this->mysql->prepare($sql);
54             $query->bindValue(':stv', $dados['stv'], PDO::PARAM_STR);
55             $query->bindValue(':st', $dados['st'], PDO::PARAM_STR);
56             $query->bindValue(':osv', $dados['osv'], PDO::PARAM_STR);
57             $query->bindValue(':dqo', $dados['dqo'], PDO::PARAM_STR);
58             $query->bindValue(':metano', $dados['metano'], PDO::PARAM_STR);
59             $query->bindValue(':head_space', $dados['head_space'], PDO::PARAM_STR);
60             $query->bindValue(':reator', $dados['reator'], PDO::PARAM_STR);
61             $query->bindValue(':id_exp', $dados['id_exp'], PDO::PARAM_INT);
62             $query->bindValue(':id_sistema', $id_sistema, PDO::PARAM_INT);
63         }
64         return $query->execute();
65     }
66 }
67

```

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Para cada reator em um experimento realizando na ferramenta analítica Teste BMP, é possível definir valores iniciais de configurações, como volume do *head space* e porcentagem de metano (obtida através da técnica analítica cromatografia).

Através da linha de código 40 da Figura 17 é realizado um teste para verificar se alguma configuração já foi definida no sistema, caso verdadeiro, os valores serão atualizados no banco de dados após envio de requisição de atualização do usuário através da interface

disponibilizada na interface de configuração, caso contrário, será inserido um novo registro na tabela do banco de dados que armazena as configurações do reator e experimento.

4.6.3 Funcionalidade gerar gráficos de pressão

Os gráficos de pressão possuem diversos tipos de visualização, são eles: pressão por hora, pressão a cada doze horas, pressão a cada vinte e quatro horas e pressão acumulada. Em ambos os modelos, os valores de pressão são plotados a partir do cálculo da média dos valores obtidos. Em uma hora, o sistema armazena até 12 registros de pressão para cada reator, totalizando 288 registros durante um dia, ou seja, a média será calculada a partir da soma destes valores pela quantidade de registros. A função PHP responsável por executar esta tarefa é apresentada na figura 19, o código responsável por calcular a média é escrito na linha 372 e 385 desta figura.

Figura 19 - Função PHP escrita para gerar dados para plotagem de gráficos de pressão

```

362
363     public function listaDadosGrafico($tipo, $id_sistema, $reator, $id_exp)
364     {
365         $groupBy = $this->tipoGrafico($tipo, 'GROUP_BY');
366         $dtFormat = $this->tipoGrafico($tipo, 'DATE_FORMAT');
367
368         if($_SESSION['usuario']['nivel'] == 1)
369         {
370             $sql = " SELECT DATE_FORMAT(data, '". $dtFormat. "') as datagrafico,
371                     DATE_FORMAT(data, '%Y-%m-%d') as dataQry,
372                     ROUND(SUM(".$reator."/COUNT(pb.id), 2) as valor
373                     FROM pressao_biogas pb, experimentos e
374                     WHERE pb.id_exp = e.id
375                     AND pb.id_sistema=:id_sistema
376                     AND e.id=:id_exp
377                     GROUP BY " . $groupBy;
378
379             $dados = $this->mysql->prepare($sql);
380
381         } else
382         {
383             $sql = " SELECT DATE_FORMAT(data, '". $dtFormat. "') as datagrafico,
384                     DATE_FORMAT(data, '%Y-%m-%d') as dataQry,
385                     ROUND(SUM(".$reator."/COUNT(pb.id), 2) as valor
386                     FROM pressao_biogas pb, experimentos e, usuarios u
387                     WHERE pb.id_exp = e.id
388                     AND e.id_usuario = u.id
389                     AND pb.id_sistema=:id_sistema
390                     AND e.id_usuario=:id_usuario
391                     AND e.id=:id_exp
392                     GROUP BY " . $groupBy;
393
394             $dados = $this->mysql->prepare($sql);
395             $dados->bindValue(':id_usuario', $_SESSION['usuario']['id'], PDO::PARAM_INT);
396         }
397         $dados->bindValue(':id_exp', $id_exp, PDO::PARAM_INT);
398         $dados->bindValue(':id_sistema', $id_sistema, PDO::PARAM_INT);
399         $dados->execute();
400         return $dados->fetchAll();
401     }
402

```

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

A linha 368 do código apresentado na figura 19 verifica se o usuário que está logado no sistema possui nível um, ou seja, usuários administrados, onde através do código SQL gera-se uma lista todos os sistemas em produção para todos os usuários configurados. Para usuários não administradores, o monitoramento é concedido apenas para um sistema (AnMBR ou Teste BMB) em específico.

4.6.4 Funcionalidade gerar gráficos de volume de biogás

Para calcular o volume do biogás acumulado, inicialmente é necessário conhecer o número de mols, utilizando a equação de estado do gás ideal, conforme Equação (1), obtém-se este valor:

$$PV = nRT \rightarrow n_{\tau} = \frac{PV}{RT} \quad (1)$$

Onde,

n_{τ} = número de mols na temperatura (308 Kelvin) do experimento

$R = 8,314462 \text{ L kPa K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ (constante universal dos gases perfeitos)

$T = 308 \text{ Kelvin}$ (temperatura do experimento)

P = Pressão interna no reator

V = volume do *head-space*

A função escrita na linguagem de programação PHP conforme código exibido na Figura 20, entre as linhas 149 e 157, é responsável em calcular o número de mols de acordo com a Equação 1.

Figura 20 - Código PHP para cálculo do número de mols, volume de biogás e volume de metano

```

148
149 public function calculaNumMols($pressao, $id_exp, $reator)
150 {
151     $constR      = 8.3144; // L · kPa
152     $temp        = 308;    // K
153     $confBio     = $this->confBio->listar($id_exp, $reator);
154     $volHeadSpace = 0.05;
155     if($confBio['head_space'] > 0) $volHeadSpace = $confBio['head_space']/1000;
156     return $pressao * $volHeadSpace/($constR * $temp);
157 }
158
159
160 public function volBiogas($pressao, $id_exp, $reator, $param=null)
161 {
162     $constR = 0.082; // atm
163     $Pcntp = 1; //atm
164     $Tcntp = 273.15;
165     $numMols = $this->calculaNumMols($pressao, $id_exp, $reator);
166     $vBiogas = round(($numMols * $constR * $Tcntp)/$Pcntp, 8);
167     $confBio = $this->confBio->listar($id_exp, $reator);
168     $vBio = 0;
169
170     if(empty($param)) $vBio = $vBiogas;
171     else if($confBio[$param] > 0) $vBio = $vBiogas/$confBio[$param];
172     return $vBio;
173 }
174
175
176 public function volMetano($pressao, $id_exp, $reator, $param=null)
177 {
178     $confBio = $this->confBio->listar($id_exp, $reator);
179     $vCH4 = $this->volBiogas($pressao, $id_exp, $reator)/$confBio['metano']/100;
180     $vMetano = 0;
181
182     if(empty($param)) $vMetano = $vCH4;
183     elseif($confBio[$param] > 0) $vMetano = $vCH4/$confBio[$param];
184     return $vMetano;
185 }

```

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Calcula-se o número de mols, obtido a partir da Equação (1) e calcula-se o volume de biogás utilizando a mesma equação de estado do gás ideal, aplicando os valores nas condições normais de temperatura e pressão (CTNP), conforme Equação (2).

$$V_{\text{Biogas}} = \frac{n_T * R * T_{\text{CNTP}}}{P_{\text{CNTP}}} \quad (2)$$

Onde,

n_T = número de mols na temperatura (308 Kelvin) do experimento

$R = 0,082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ (constante universal dos gases perfeitos)

$T_{\text{CNTP}} = 273 \text{ Kelvin}$

$P_{\text{CNTP}} = 1 \text{ atm}$

O código mostrado na Figura 20, entre as linhas 160 e 173 mostra a função PHP que calcula o volume de biogás conforme Equação (2) apresentada anteriormente.

4.7 Padrão de desenvolvimento MVC

Model view controller (MVC) é um padrão de arquitetura normalmente usados em aplicativos baseados na web. Ele fornece três camadas principais; modelo, visão e controlador. Muitos desenvolvedores usam o MVC como padrão de design. É um framework completo. O MVC fornece três tipos de classes (LUCIANO e ALVES, 2011):

- a) Classes *Model*: são usadas para implementar a lógica dos domínios de dados. Essas classes são usadas para recuperar, inserir ou atualizar os dados no banco de dados associado ao aplicativo;
- b) Classes *View*: são usadas para preparar a interface do nosso aplicativo. Ao usar essa interface, os usuários interagem com nosso aplicativo;
- c) Classes *Controller*: são usadas para responder às solicitações do usuário. Classes de controladores executam as ações solicitadas pelos usuários. Essas classes trabalham com classes de modelo e selecionam a visualização apropriada que deve ser exibida ao usuário de acordo com as solicitações do usuário.

Lemos *et. al.*, (2013) menciona que a arquitetura de padrão MVC é basicamente uma arquitetura de três camadas. Ela separa as características da aplicação. Sua primeira camada está relacionada à lógica de entrada do usuário, a segunda camada está relacionada à lógica de negócios e a terceira camada é usada para implementar a lógica da interface do usuário. O MVC fornece um acoplamento muito solto entre essas três camadas. O padrão MVC é usado para especificar a localização de cada lógica na aplicação. Os padrões MVC fornecem a facilidade de desenvolvimento paralelo. Isso significa que cada camada do aplicativo independente um do outro, ou seja, três desenvolvedores podem trabalhar no aplicativo único simultaneamente.

Um desenvolvedor estará trabalhando na lógica de entrada do usuário (lógica do controlador), outro desenvolvedor estará trabalhando na lógica da interface do usuário (*view*) e o terceiro desenvolvedor estará trabalhando na lógica de negócios (modelo) ao mesmo tempo.

A arquitetura de padrão MVC dá a ideia de separação de interesses, ajuda a implementar a separação de interesses entre as classes de modelo, visualização e controlador nas aplicações.

A separação de interesses torna fácil testar a aplicação, já que a relação entre os diferentes componentes da aplicação é mais clara e coerente. O MVC ajuda a implementar uma abordagem de desenvolvimento orientada a testes, na qual implementa-se casos de teste automatizados antes de escrever o código. Esses casos de teste de unidade ajudam a pré-definir e verificar os requisitos de um novo código antes de escrevê-lo.

Diante tal concepção pode-se apontar vantagens na utilização deste modelo como (LEMES, *et. al.*, 2013):

- a) Arquitetura MVC nos ajuda a controlar a complexidade do aplicativo dividindo-o em três componentes, ou seja, modelo, visualização e controlador.
- b) O MVC não usa formulários baseados em servidor, por isso é ideal para desenvolvedores que desejam ter controle total sobre o comportamento de seus aplicativos.
- a) A abordagem de desenvolvimento orientada a teste é suportada pela arquitetura MVC.
- b) O MVC usa o padrão do controlador frontal. O padrão do controlador frontal manipula as diversas solicitações recebidas usando uma única interface (controlador). O controlador frontal fornece controle centralizado. É preciso configurar apenas um controlador no servidor da Web, em vez de muitos.
- c) O *front controller* fornece suporte a comunicações de roteamento avançadas para projetar aplicativos da web.

É possível perceber através dos levantamentos dos requisitos dispostos através da Figura 16, que o projeto inicial foi idealizado sobre as concepções e padrões MVC, tornando as implementações e funcionalidades de fácil manipulação (ou seja, é possível reestruturar posteriormente) caso haja necessidade de adaptação, inclusão ou remoção de alguma funcionalidade.

O desenvolvimento através de camadas permite não só focar no objetivo principal do *software*, mas também prever sua manutenção (futuros ajustes), baseado na inclusão de novas camadas, permitindo que o software seja gerenciado sem grandes custos, pois o reaproveitamento dos padrões facilita o processo e composição do mesmo.

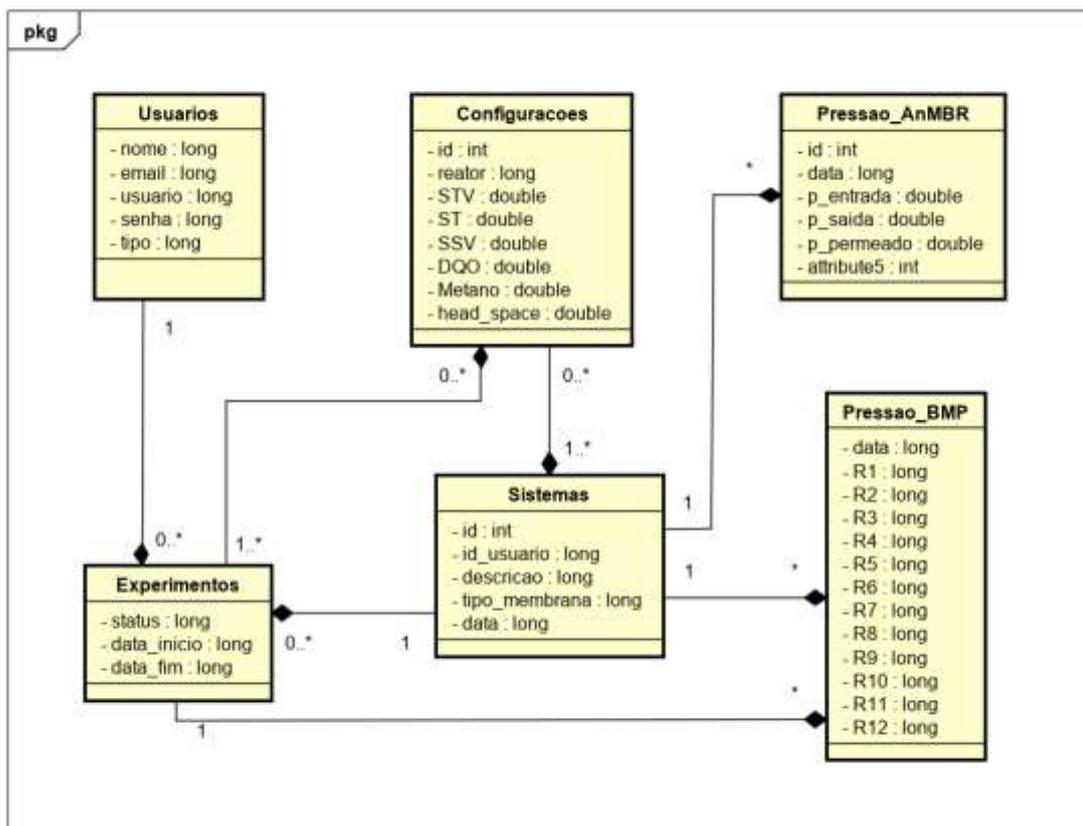
4.7.1 Modelo Entidade Relacionamento (MER)

Segundo Moraes (2015) o modelo de relacionamento de entidade, também chamado de diagrama de entidade-relacionamento (ER) é uma representação gráfica de entidades e seus relacionamentos entre si, normalmente usados na computação em relação à organização de dados em bancos de dados ou sistemas de informação. Uma entidade é uma peça de dados, ou seja, um objeto ou conceito sobre o qual os dados são armazenados.

Por meio da figura (16), percebe-se que através dos fluxos o sistema tem como agente principal os usuários (que no caso são responsáveis pela realização dos testes no SISMONBIO), onde um usuário pode criar nenhum ou vários experimentos (de acordo com a relação da amostra 1 para 0).

Já a tabela experimentos possui nenhuma ou várias configurações (tabela). Nesse caso o usuário através dos experimentos pode configurar as ações de acordo com os testes a serem realizados, permitindo adaptação às suas necessidades. Na tabela (sistema), pode possuir nenhum ou vários experimentos relacionados as várias pressões (tabela AnMBR e BMP) do sistema.

Figura 21. Modelo Entidade Relacionamento (MER) – SISMONBIO



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019), modelo adaptado.

A partir do modelo apresentado na Figura 21, inicia-se a construção dos scripts de banco de dados SQL para criação das entidades conforme modelo apresentado.

Script 01 – Tabela de Usuários

```
CREATE TABLE usuarios (
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  nome char(70) NOT NULL,
  email varchar(255) NOT NULL,
  usuario char(50) NOT NULL,
  senha char(61) NOT NULL,
  nivel int(11) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);
```

Script 02 – Tabela de Sistemas

```
CREATE TABLE sistemas (
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  id_usuario int(11) NOT NULL,
  nome varchar(100) DEFAULT NULL,
  descricao varchar(255) DEFAULT NULL,
  tipo_membrana varchar(45) DEFAULT NULL,
  url varchar(100) NOT NULL,
  data datetime NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);
```

Script 03 – Tabela de Usuário Sistema

```
CREATE TABLE usuario_sistema (
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  id_usuario int(11) NOT NULL,
  id_sistema int(11) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);
```

Script 04 – Tabela de Pressão_AnMBR

```
CREATE TABLE pressao_anmbr (
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  data datetime NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  p_entrada float NOT NULL,
  p_saida float NOT NULL,
  p_permeado float NOT NULL,
  p_biogas float NOT NULL,
  id_sistema int(11) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);
```

Script 05 – Tabela de Pressão Biogás referente a dados do Teste BMP

```

CREATE TABLE pressao_biogas (
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  data datetime NOT NULL,
  R1 double DEFAULT NULL,
  R2 double DEFAULT NULL,
  R3 double DEFAULT NULL,
  R4 double DEFAULT NULL,
  R5 double DEFAULT NULL,
  R6 double DEFAULT NULL,
  R7 double DEFAULT NULL,
  R8 double DEFAULT NULL,
  R9 double DEFAULT NULL,
  R10 double DEFAULT NULL,
  R11 double DEFAULT NULL,
  R12 double DEFAULT NULL,
  id_sistema int(11) NOT NULL,
  id_exp int(11) DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);

```

Script 06 – Tabela de Configuração

```

CREATE TABLE config (
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  id_sistema int(11) NOT NULL,
  id_exp int(11) NOT NULL,
  reator varchar(45) DEFAULT NULL,
  stv double DEFAULT NULL,
  st double DEFAULT NULL,
  ssv double DEFAULT NULL,
  dqo double DEFAULT NULL,
  metano double DEFAULT NULL,
  head_space double DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);

```

Script 07 – Tabela de Experimentos

```

CREATE TABLE experimentos (
  id int(10) unsigned NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  status varchar(30) NOT NULL,
  data_inicio datetime NOT NULL,
  data_fim datetime DEFAULT NULL,
  id_sistema int(11) DEFAULT NULL,
  id_usuario int(11) DEFAULT NULL,
  PRIMARY KEY (id)
);

```

Script 08 – Tabela de Liberação de Biogás

```
CREATE TABLE libera_biogas (  
  id int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,  
  id_sistema int(11) NOT NULL,  
  data datetime NOT NULL,  
  reator text NOT NULL,  
  id_exp int(11) NOT NULL,  
  PRIMARY KEY (id)  
);
```

A partir dos scripts apresentados acima, consegue-se chegar ao modelo de entidade e relacionamento apresentado através da Figura 16, representando o sistema SISMONBIO.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante dos resultados obtidos a construção de um *software* para o monitoramento remoto e foram todos cumpridos com êxito, objetivando a exploração e a fundamentação teórica exposta neste projeto.

A construção de uma ferramenta tecnológica *software* (SISMONBIO), apresentada no estudo, elaboração e desenvolvimento de diretrizes que norteiam o monitoramento online de biorreatores para gerenciamento de informações ambientais, relacionadas ao tratamento de águas residuais, permitiu aos seus “usuários” a possibilidade de analisar o potencial de produção de biogás a partir do reuso de lodos de esgoto, auxiliando através de dados precisos o apoio necessário para à tomada de decisão.

Dessa forma, mostrou-se a possibilidade de realizar tais monitoramentos, tendo como seu diferencial custo e acessibilidade, ou seja, “automatizar” um biorreator, tornando um equipamento eletrônico que envia informações para um servidor web, o que possibilita ser acessado basicamente de qualquer dispositivo que contenha acesso à internet, sendo fácil a sua utilização por usuários que não detenham elevado nível de conhecimento de informática.

Os resultados e discussões apresentados têm como principal objetivo demonstrar de forma simplificada as principais funcionalidades do sistema computacional desenvolvido.

5.1 Monitoramento de biorreatores anaeróbios de membrana

Nesta seção, são apresentadas funcionalidades relacionadas ao monitoramento de biorreatores anaeróbios de membrana.

5.1.2 *Funcionalidade listar dados*

Listagem dos dados de biorreatores anaeróbios de membrana com fluxo frontal ou tangencial. A Figura 22 mostra uma tela do *software* SISMONBIO que apresenta resultados de pressão na entrada e saída de um biorreator anaeróbio de membrana com fluxo frontal.

Figura 22 - Listagem dos dados de um biorreator anaeróbio com membrana de fluxo frontal

Data / Hora	Biogás (kPa)	Entrada (kPa)	Saída (kPa)	Transmembrana (kPa)
05.03.2019 23:56	93,64	108,51	107,84	0,67
05.03.2019 23:51	87,88	103,4	102,74	0,66
05.03.2019 23:46	88,99	104,51	103,85	0,66
05.03.2019 23:41	90,98	106,07	105,18	0,89
05.03.2019 23:36	89,21	104,73	104,07	0,66
05.03.2019 23:31	90,54	106,07	105,4	0,67
05.03.2019 23:26	90,32	106,07	105,4	0,67
05.03.2019 23:21	90,54	106,29	105,62	0,67
05.03.2019 23:16	90,76	106,73	106,07	0,66
05.03.2019 23:11	89,21	104,96	104,29	0,67
05.03.2019 23:06	91,2	107,17	106,29	0,88
05.03.2019 23:01	88,32	106,51	105,4	1,11

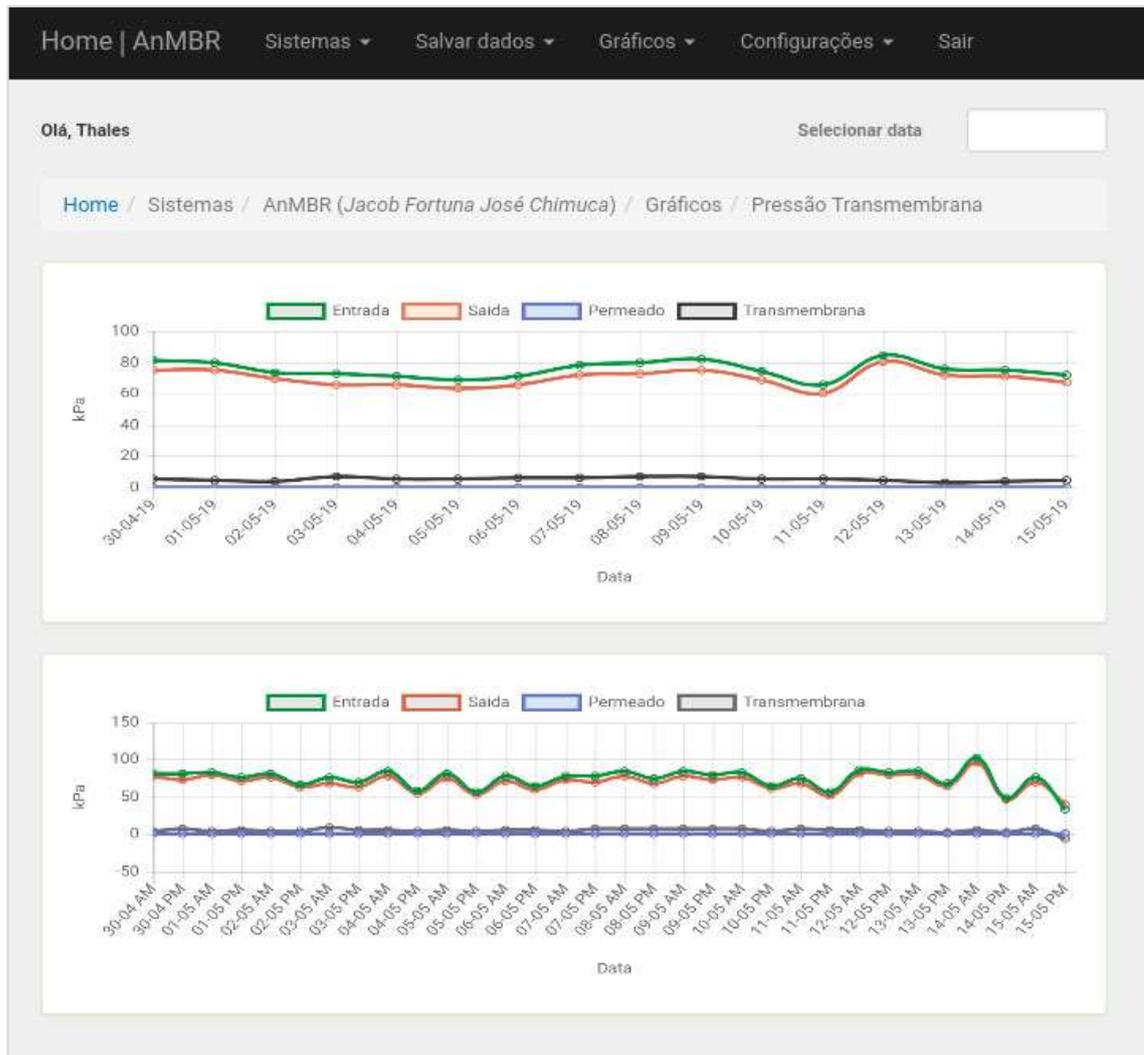
Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Conforme ilustrado na figura anterior, a interface de listagem de biorreatores anaeróbios de membrana apresenta na segunda coluna da tabela, valores de pressão do biogás, esses valores são listados caso exista instalado um sensor de pressão na parte superior deste biorreator, caso o *software* identifique este sensor instalado a informação é apresentada para o usuário.

5.1.3 Funcionalidade gerar gráfico de pressão transmembrana

Nesta página dois gráficos são apresentados, pode-se observar na figura 23. Os gráficos trazem valores da data em função da pressão exercida no ponto específico da membrana. A diferença entre eles é que no primeiro gráfico os valores são exibidos com intervalo de 24 horas, o segundo traz o intervalo de 12 horas.

Figura 23 - Gráfico Pressão Transmembrana



Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Conforme ilustrado na figura 23, observe que a pressão na saída da membrana segue continua durante o intervalo de tempo apresentado. Caso houvesse o processo conhecido como incrustação da membrana, seria possível identificar através deste gráfico, pois os valores de pressão não seriam continua, e sim, valores crescentes.

A incrustação é um processo físico que acontece devido à formação de uma camada de partículas (torta) sobre a membrana, provocando o decaimento do fluxo de permeação ao longo do tempo de operação (PELEGRIN, 2004).

Esse fenômeno também é conhecido como *fouling*. Segundo Radjenovic *et al.* (2007) se trata de um fenômeno muito complexo, com diversos fatores intervenientes, além disso, é difícil defini-lo claramente. Esses autores citam como principal causa da incrustação os seguintes fatores: Adsorção de macromoléculas e material coloidal; Crescimento de biofilme

na superfície da membrana; precipitação de matéria orgânica ou envelhecimento da membrana.

A identificação da incrustação da membrana é de fundamental importância para um desempenho adequado do biorreator. É através desta identificação que se pode estimar o momento da limpeza da membrana. Sistemas com operação com pressões elevadas na saída da membrana podem gerar um maior consumo de energia, uma colmatação mais rápida ou irreversível podendo até causar danos à membrana.

Portanto, pode-se destacar que o *software* apresenta uma característica importante neste processo, mostrando ao operador do sistema qual o momento adequado para realizar uma limpeza na membrana.

5.2 Ferramenta analítica teste BMP

Nesta seção são apresentados detalhes físicos da construção da ferramenta analítica Teste BMP e funcionalidades relacionadas ao uso do software. O modelo de construção utilizado para montagem da ferramenta para realização de testes anaeróbios em lote é apresentado a seguir.

No Teste BMP, a funcionalidade listar dados exibe os valores de pressão em cada um dos doze reatores, estes valores são exibidos em formato kPa com intervalo de atualização de cinco minutos entre as leituras, nesta tela é possível selecionar uma data para filtrar os valores de acordo com a data escolhida.

Figura 24 - Listagem dos dados de um Teste BMP realizado

Data / Hora	IF	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
18.03.2019 23:59		141,75	107,81	145,66	217,24	108,84	108,32	97,6	182,04	108,92	114,39	109,95	108,47
18.03.2019 23:54		141,75	107,66	144,63	217,24	108,84	108,4	97,68	194,91	109,06	114,46	109,95	108,55
18.03.2019 23:49		141,82	107,88	145,81	217,24	108,69	108,4	97,75	182,12	109,06	114,39	109,95	108,55
18.03.2019 23:44		141,82	107,73	145,22	217,24	108,84	108,32	97,75	194,54	108,77	114,46	109,95	108,62
18.03.2019 23:39		141,75	107,73	145,29	217,16	108,84	108,4	97,68	185,96	108,92	114,31	107,66	108,62
18.03.2019 23:34		141,82	107,73	144,63	217,24	108,77	108,32	97,82	182,93	108,77	114,39	110,1	108,55
18.03.2019 23:29		141,82	107,81	144,7	217,09	108,69	108,4	97,68	194,32	108,84	114,46	109,65	108,55
18.03.2019 23:24		141,82	107,73	145,44	217,16	109,06	108,32	97,53	181,75	109,14	114,31	110,17	108,55

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

5.2.1 Funcionalidade configurar biorreator

Ao realizar um experimento através da ferramenta analítica Teste BMP, o usuário pode configurar cada reator conforme seu experimento, as opções de configurações são: gramas por litro de Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), porcentagem de metano e volume do *head space*.

Figura 25 - Tela para configuração de reator no Teste BMP

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Ao iniciar um experimento, configurar valores do experimento é opcional, porem ao ser definidas pelo usuário através da interface apresentada na figura anterior, os gráficos de volume e produção de biogás e metano podem ser gerados e visualizados.

5.3 Funcionalidade gerar gráficos

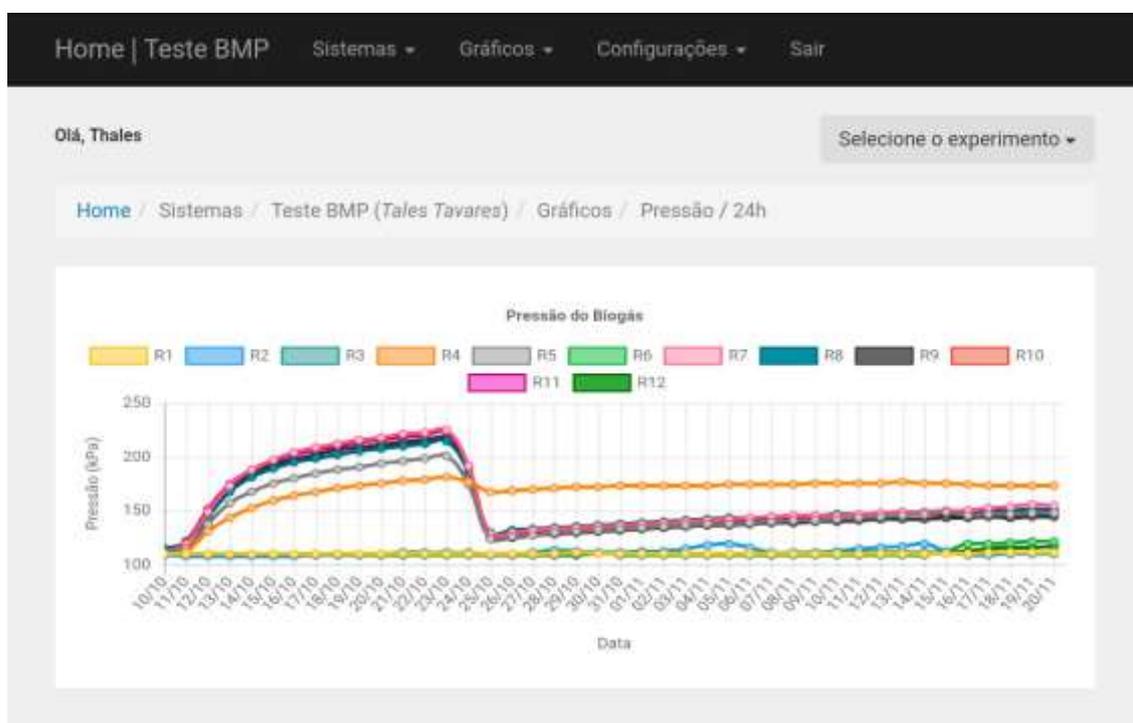
5.3.1 Gráficos de Pressão

Os gráficos de pressão auxiliam na visualização dos resultados e podem ser do tipo pressão a cada hora, pressão a cada 12 horas, pressão por dia e pressão acumulada. A Figura 27 a seguir apresenta um modelo de gráfico de pressão do por dia, onde os valores são agrupados a cada vinte e quatro horas. Nessa tela é possível selecionar o experimento o qual deseja-se visualizar o gráfico.

Os valores são calculados a partir das médias de pressão dos registros obtidos no banco de dados para cada reator. O decaimento da pressão no gráfico indica a abertura da válvula para liberar o biogás acumulado no reator selecionado. Esse decaimento só é possível

de ser visualizado em gráficos de pressão do tipo: pressão por hora, pressão a cada 12 horas e pressão por dia. Nos gráficos de volume e pressão acumulada, apresentados nas próximas seções, os valores são calculados de forma acumulativa durante todo o período do experimento.

Figura 26 - Gráfico de Pressão a cada 24 horas



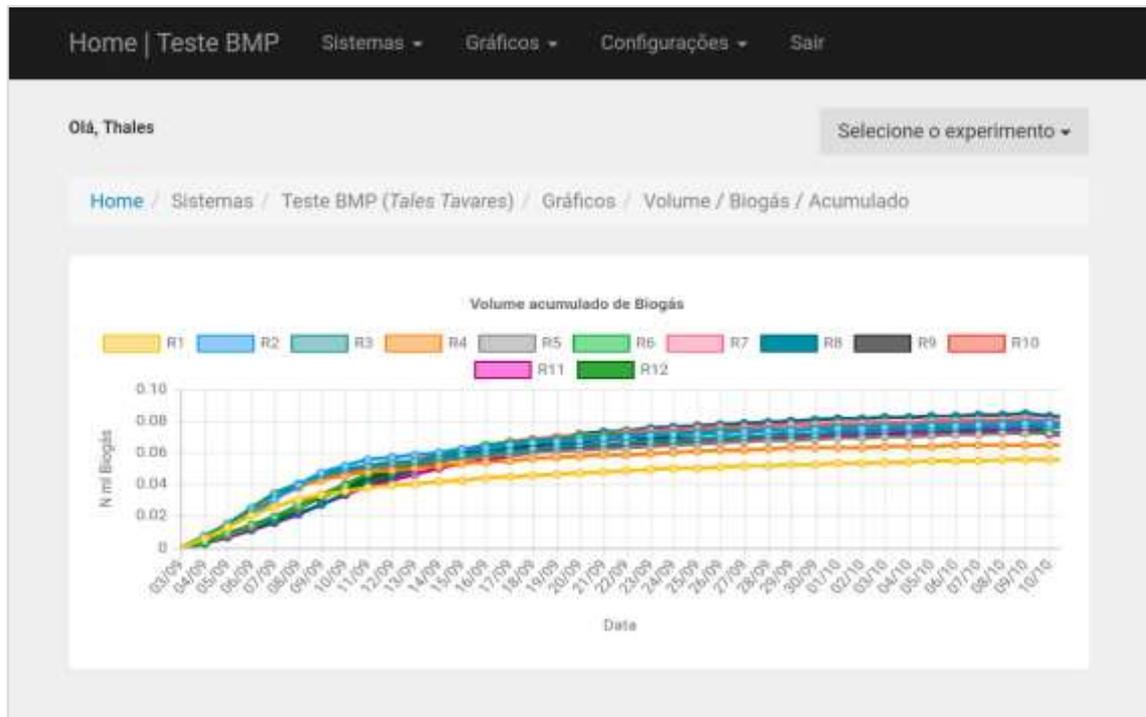
Fonte: Elaboração do Autor (2019).

De acordo com Holliger, Alves *et.,al* (2016) ao utilizar o método manométrico para medir a produção de metano, a pressão no frasco de análise não deve exceder 300 kPa para evitar a dissolução excessiva de CO₂ e acidentes por explosão. No entanto, para este experimento, foi definido que ao atingir valores próximos a 200 kPa o biogás acumulado deve ser liberado. Conforme gráfico exibido na Figura 25 é possível observar que o biogás foi liberado em alguns reatores no dia 24-10-2018 após atingir valores próximos ao estabelecido.

5.3.2 Gráficos de Volume

Nesta interface é possível visualizar através de gráficos, o volume acumulado de: biogás, biogás por gramas de STV, biogás por gramas de DQO, metano, metano por gramas de STV e metano por gramas de DQO. A seguir na Figura 26 é apresentado um gráfico de volume de biogás acumulado.

Figura 27 - Gráfico do tipo volume de biogás acumulado



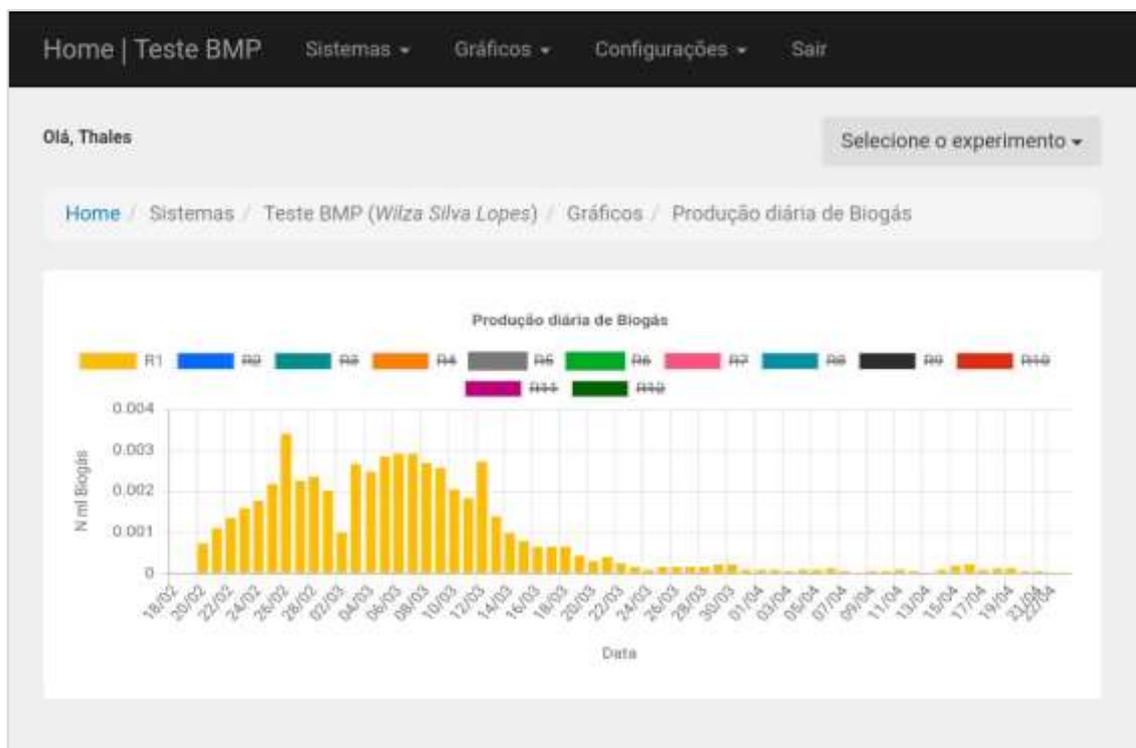
Fonte: Elaboração do Autor (2019).

O gráfico de volume apresentado na figura anterior exibe o resultado de um experimento realizado pelo usuário através da ferramenta analítica teste BMP. O teste foi realizado entre os dias 03-09-2018 e 10-10-2018.

5.3.3 Gráficos de Produção

Nesta interface é possível visualizar através de gráficos, a produção média diária de: biogás, biogás por gramas de STV, biogás por gramas de DQO, metano, metano por gramas de STV e metano por gramas de DQO. A seguir na Figura 28 é apresentado um gráfico de produção média diária de biogás.

Figura 28 - Gráfico de produção média diária de biogás



Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Nesta tela é possível selecionar o experimento o qual se deseja visualizar o gráfico, como também, a visualização de cada reator pode estar visível ou oculta de acordo com clique do mouse sobre o retângulo que identifica cada reator.

5.4 Funcionalidade listar sistemas

Esta funcionalidade é disponibilizada somente para usuários com perfil de administrador (acesso total ao sistema). Nesta pesquisa, professores que fazem uso do software possuem perfil administrador, ou seja, herda todas as funcionalidades dos usuários do tipo BMP e AnMBR (de acordo com o diagrama de requisitos apresentado na Figura 16, no tópico 3.4.1 deste documento), sendo possível monitorar todos os reatores cadastrados e configurados através do software SISMONBIO.

Figura 29 - Interface permite visualizar sistemas monitorados

Sistema	Responsável	Localização	Data	Ação
Teste BMP - Teste de Potencial Bioquímico de Metano	Thales Lacerda	EXTRABES, UEPB - Campina Grande - PB	10.10.2017 11:00	Adicionar usuário
AnMBR - Biorreator Anaeróbico de Membrana frontal	Rafaela Barbosa Santos	EXTRABES, UEPB - Campina Grande - PB	20.12.2017 11:00	Adicionar usuário
AnMBR - Biorreator Anaeróbico de Membrana frontal	Juane Nogueira Nascimento	EXTRABES, UEPB - Campina Grande - PB	05.07.2018 11:00	Adicionar usuário
AnMBR - Biorreator Anaeróbico de Membrana frontal	Jacob Fortuna José Chimuca	EXTRABES, UEPB - Campina Grande - PB	30.10.2018 10:00	Adicionar usuário
AnMBR - Biorreator Anaeróbico de Membrana frontal	Marilia Patrício Alves	EXTRABES, UEPB - Campina Grande - PB	01.11.2018 10:00	Adicionar usuário

Fonte: Elaboração do Autor (2019).

Nesta interface é possível adicionar novos biorreatores, caso deseje expandir o monitoramento, ou seja, além dos biorreatores já monitorados através do *software*, novos podem ser adicionados, expandindo as possibilidades de monitoramento de sistemas de tratamento e reuso de águas residuais.

Na Figura 29, a primeira e segunda coluna mostra o nome do sistema e a pessoa responsável por este sistema, respectivamente. Na terceira coluna da tabela de listagem de sistemas, é possível visualizar a localização física do biorreator, onde nesta pesquisa todos estão localizados na EXTRABES, UEPB, Campina Grande – PB, no entanto, isto não quer dizer que todos os reatores precisam estar fisicamente neste local.

A ferramenta permite que o biorreator seja instalado “fisicamente” em qualquer localização, pois, através do código de configuração da placa micro controladora Arduino de um biorreator em específico, é realizada uma configuração para envio dos dados deste biorreator para o software SISMONBIO.

6. SUGESTÕES

Este tópico propõe algumas ideias que podem ser adotadas para melhoria do projeto desenvolvido nesta pesquisa.

Como proposta para uma primeira melhoria, seria expandir as funcionalidades para permitir que a liberação do biogás dos reatores através da ferramenta analítica Teste BMP possa ser realizada de forma automatizada. Para tal, é necessária a instalação de uma válvula solenoide em cada reator. Após instalação da válvula, torna-se necessário programar a placa Arduino, bem como desenvolver uma nova função, criando a funcionalidade para liberar o gás de forma automática, tarefa esta, que poderia ser realizada através do *software* de monitoramento online, tornando a ferramenta totalmente automatizada.

O problema neste sentido seria a geração de custo extra, que para este projeto seria inviável no momento, porém ressalta-se que esta melhoria ajudaria na gerencia e monitoramento online, ficando como proposta para projetos futuros.

Outra proposta seria adicionar aos sistemas monitorados (AnMBR ou Teste BMP) um módulo denominado Arduino GSM GPRS, onde, este sistema, permitiria realizar chamadas telefônicas e envio de mensagens de texto (SMS) de forma automática, após configuração e programação.

Com esta tecnologia será possível enviar alertas informando o estado de um sensor ou sistema. Para biorreatores anaeróbios de membrana, alertas poderiam ser enviados caso a pressão transmembrana chegasse a um valor maior que o desejado, indicando a necessidade de manutenção da membrana, evitando problemas futuros no sistema de tratamento. Para a ferramenta analítica Teste BMP, alertas poderiam ser enviados caso a pressão em um reator ultrapasse o valor limite de 200 kPa, valor estabelecido nesta pesquisa.

7. CONCLUSÕES

Esse objeto de estudo teve como foco principal o desenvolvimento de um software que fosse capaz de fornecer subsídios de gerenciamento e monitoramento online de biorreatores, ressaltando que este objetivo foi cumprido com êxito mediante registros evidenciados anteriormente, onde o equipamento de monitoramento constante e remoto, com resultados precisos, foi construído e descreve um ponto positivo para o tratamento de água e esgoto.

Desenvolveu-se uma ferramenta de análise de custo acessível para o mercado e para fins de pesquisa baseado na plataforma Arduino, associado a esse construiu-se um manual de montagem da ferramenta. Além disso, alcançou-se o modelo proposto de construção do equipamento analítico para realização de monitoramento anaeróbios em lote, como com o teste de AME e BMP.

Desenvolveu-se um software viabilizando o monitoramento online de sistemas de pressão em reatores de forma remota aliado ao equipamento de monitoramento online de biorreatores anaeróbios de membrana para estações de tratamento de água e esgoto, apresentando os resultados obtidos remotamente através do SISMONBIO.

Para tal, foi realizado um estudo através da revisão da literatura buscando conceitos e aplicabilidade que auxiliasse nos processos para a composição da ferramenta. Através do controle de AME e BMP, disponibilizado na ferramenta, juntamente com a construção de um equipamento capaz de realizar testes anaeróbios em lote, foi possível proporcionar a comunidade acadêmica um conjunto específico de *hardware* e *software* de custo baixo capaz de monitorar os biorreatores anaeróbios de membrana.

Através do SISMONBIO, produto deste objeto de estudo, é possível monitorar e controlar sistemas de pressão em reatores e biorreatores anaeróbios de membrana de forma online, ou seja, não é mais necessário a presença do técnico no local, além do software permitir a realização de testes através de parâmetros de configuração, relatando a amostra dos resultados, ajudando a técnicos e alunos na compreensão dos resultados e controle de biogás.

Ressalta-se também que este objeto de estudo se buscou durante sua compreensão e empregabilidade destacar possíveis processos de melhorias, analisar e empregar novas ferramentas (*hardware* e *software*) proporcionando maior aplicabilidade aos processos de monitoramento, porém a um certo custo, que para esta proposta ficou inviável financeiramente.

REFERENCIAS

- ARAS, M.S.M, ABDULLAH, S.S, SHAFEI S.S. *Investigation and Evaluation of Low cost Depth Sensor System using Pressure Sensor for Unmanned Underwater Vehicle*. *Majlest Journal of Electrical Engineering*, Vol.6, N.2, June 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267752434_Investigation_and_evaluation_of_low_cost_depth_sensor_system_using_pressure_sensor_for_unmanned_underwater_vehicle Acessado em: 03 Abr. 2019.
- ARDUINO, CC. **What is Arduino?** (2019) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>, acessado em: 25 mar. 2019.
- ASHTON, Kevin. **That “internet of things” thing**. RFID Journal, 22 jun. 2009.
- BAPTISTA, Claudio de S., PAES, Roberta F. de C., DUARTE, Brígida. **Gestão Ambiental Apoiada por Sistemas de Informação**. UFCG, 2012. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/pdi/Documents/Sistema%20Ambiental%20Dados%20Geoespaciais-Roberta%20Falc%C3%A3o%20Rev%20Will.pdf>, acessado em 28 de fev. 2019.
- BARATA, J., QUELHAS, O., COSTA, H., GUTIERREZ, R., LAMEIRA, V. de J., & MEIRINO, M. (2014). **Multi-criteria indicator for sustainability rating in suppliers of the oil and gas industries in Brazil**. *Sustainability*, 6(3), 1107-1128. doi:10.3390/su6031107. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/3/1107/htm> acessado em: 27 de fev. 2019.
- BAZÍLIO, Carlos. *Linguagens de Programação: Linguagens de Script*. Universidade Federal Fluminense – Prefeitura Municipal do Rio das Ostras (PURO), 2018. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~bazilio/cursos/lp/material/LinguagensScript.pdf> Acesso em: 05 Abr. 2019.
- BELLI, Tiago Jose., AMARAL, Pauline A. P., RECIO, Maria A., VIDAL, Carlos M.S., LAPOLLI, Flávio R. **Biorreator à membrana em batelada sequencial aplicada ao tratamento de esgoto visando à remoção de nutrientes**. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n2/a03v17n2> Acesso em: 10 Abr. 2019.
- BOOCH, Grady. *Object-Oriented Analysis And Design: With Applications*. Second Edition. Santa Clara, Califórnia. 1998. Disponível em: <http://kmvportal.co.in/Course/OOAD/object-oriented-analysis-and-design-with-applications-2nd-edition.pdf>. Acessado em: 23 abr. 2019.
- CAMPOS, J.R., coordenador (1999). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. PROSAB. Rio de Janeiro. 435 p.
- CASOLA, Valentina; BENEDICTIS, Alessandra de; RAK, Massimiliano; VILLANO, Umberto. *Toward the automation of threat modeling and risk assessment in IoT systems*. **Internet Of Things**, [S.L.], v. 7, p. 100056, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iot.2019.100056>.
- CAVALCANTE, Michele M., SILVA, João Lucas., VIANA, Esdriane C., DANTAS, Jamilson R. **A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ**. Departamento de Engenharia Elétrica – Instituto Federal de

Educação, Ciências e Tecnologia – Paulo Afonso – BA – 2014. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wei/2014/0037.pdf>, acessado em: 26 mar. 2019.

CGI.BR e NIC.BR. Trabalhando para a melhoria da internet no Brasil. Disponível em: <https://registro.br>. Acesso em: 08 Abr. 2019.

CHART.JS. **Guia de Documentação, Instalação e Exemplificação**. 2019. Disponível em: <https://www.chartjs.org/docs/latest/>. Acesso em 08 Abr. 2019.

CHIMUCA, J. F. J.; SOUSA, T. J.; LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; CANTO, C. S. A. **Decentralized treatment of domestic sewage in dynamic membrane bioreactor. Desalination and Water Treatment**, v. 197, p.76-89, 2020.

CLARO, P., CLARO D., & AMANCIO, R. (2008). **Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações**. RAUSP-Revista de Administração da Universidade de Sao Paulo, 43(4), 289-300. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rausp/article/view/44483/48103>, acessado em: 27 de fev. 2019.

COMPUTAÇÃO, Sociedade Brasileira de. **Computação Brasil: internet das coisas**. Internet das Coisas. 2015. Disponível em: https://www.sbc.org.br/images/flippingbook/computacaobrasil/computa_29_pdf/comp_brasil_2015_4.pdf. Acesso em: 26 ago. 2021.

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de banco de dados**, 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

DEITEL, H. M.; DEITEL P. J. **Java: Como Programar**, 8a. Edição. Pearson, 2010. Y Capítulo 1: Seções 1.5 a 1.10 Y Capítulo 3: Seções 3.1 a 3.7. Disponível em: <http://www.koflinux.com.br/java.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

EMBARCADOS, Sistemas. (2019). **Portal Técnico sobre Hardware, firmware e IoT**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/placas-arduino/>, acessado em: 26 mar. 2019.

FIORAVANTI, Maria C.A. Onofre. **A Aplicação da tecnologia da informação no desenvolvimento de produtos em projetos automotivos**. Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde-26122014-181602/publico/Diss_MARIA_CLAUDETE.pdf, acessado em: 26 fev. 2019.

FRANÇA, Sulivan. **O que é Inteligência Motivacional?** SLAC Coaching, 2018. Disponível em: <https://www.slacoaching.com.br/artigos-do-presidente/o-que-e-inteligencia-organizacional>, acessado em 26 fev. 2019.

FRANCHI, Tais Guidolin. **Levantamento de Requisitos de Software para Gestão de Laboratórios de Calibração de Ensaio Baseado na ABNT NBR ISSO/IEC 17025**. 2016. Disponível em: https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/engenharia-de-producao/wp-content/uploads/sites/445/2018/12/TCC_Ta%C3%ADs_Guidolin_Franchi_92_1.pdf Acessado em: 24 abr. 2019.

FREESCALE, 2012. **Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated** Freescale Semiconductor Datasheet: Technical Data. www.freescale.com. Rev 10, 10/2012.

FRONDEL, M., HORBACH, J., & RENNINGS, K. (2007). **End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries**. *Business Strategy and the Environment*, 16(8), 571-584. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.496>, acessado em 01 de mar. 2019.

GAVAZONI, Vinícius., ROMANI, Luciana Alvim Santos. **Benefícios e dificuldades do uso de CSS para criação de websites**. 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/982010/1/beneficios.pdf> Acessado em: 05 abr. 2019.

GETBootstrap. **Build Responsive and Mobile Projects**. Disponível em: <https://getbootstrap.com/docs/4.3/getting-started/introduction/>, acessado em: 08 Abr. 2019.

HAGEDOORN, J.; CLOODT, M. **Measuring Innovative Performance: Is There an Advantage in Using Multiple Indicators?** *Res. Policy* 2003, 32, 1365–1379. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/6787231.pdf>, acessado em: 27 de fev. 2019.

HAMIDI, Farideh. MESHKAT, Maryam. REZAEI, Maryam. JAFARI, Mehdi. **Information Technology n Education**. *Procedia Computer Science* 2011. Elsevier.

HEUSER, C. A. **Projeto de Banco de Dados**. Editora Sagra Luzzatto, 2010. Disponível em: <http://www.fernandozaidan.com.br/> Acessado em 08 abr. 2019.

HOLLIGER, C. et al. Towards a standardization of biomethane potential tests. **Water Science & Technology**, 2016.

KIPPER, Maurício da Silva. **Biorreatores com Membranas: uma Alternativa para o Tratamento de Efluentes**. Tese de Doutorado, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18994/000732821.pdf?sequence=1>. Acessado em: 10 Abr. 2019.

LAUREATE, Universidade Internacional. **Gestão Ambiental: O que é, o que faz e quanto ganha?** Disponível em: <https://www.eadlaureate.com.br/ondefor/gestao-ambiental-o-que-e-o-que-faz-e-quanto-ganha/>, acessado em 27 fev. 2019.

LEMOS, Maxmilian F., OLIVEIRA, Patricia C., RUELA, Leandro C., SANTOS, Matheus S., SILVEIRA, Thallis C. **Aplicabilidade da Arquitetura MVC em uma Aplicação WEB (WebApps)**. 2013. UNIFENAS. Disponível em: <http://revistas.unifenas.br/index.php/RE3C/article/download/54/13>. Acesso em: 24 abr. 2019.

LOPES, W. da S. **Caracterização, solubilização e tratamento de lodos de esgotos com recuperação de subprodutos**. 2019. 131f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

LUCIANO, Josué., ALVES, Wallison J. B. **Padrão de Arquitetura MVC: Model-View-Controller**. Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro, SP. 2011. Disponível em: <http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaepqfafibe/sumario/20/16112011142249.pdf> Acesso em: 23 abr. 2019.

MANCINI, Monica. (2018). **Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios**.

MAESTRI, Rodrigo Silva. **Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reuso da água**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89968/244815.pdf?sequence=1>, acesso em 15 abr. 2019.

MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas** / Eduardo Magrani. — Rio de Janeiro : FGV Editora, 2018. 192 p.

MARTINS, Leonardo de Lucena. **Desenvolvimento de um regulador de pressão microprocessado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. 2012. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-14092012-160419/publico/Leonardo_de_Lucena_Martins_revisada.pdf. Acessado em: 03 Abr. 2019.

MILHOLLAND, Terry. **Leading IT: Lessons from the front line**. (2019). Disponível em: <https://www.computerweekly.com/opinion/Leading-IT-Lessons-from-the-front-line>, acessado em: 26 fev. 2019.

MORAES, Diogo Luiz. **Desenvolvimento de um sistema de controle e medição de vazão para bombas peristálticas**. Universidade Federal de Ouro Preto – UPOP: Colegiado de Engenharia e Controle e Automação – CECAU – Ouro Preto, MG – 2016. Disponível em: http://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/277/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentodoSistemaControle.pdf. Acesso em: 03 Abr. 2019.

MORAES, Larissa Cristina. **Representação de variabilidade estrutural de dados por meio de famílias de esquemas de banco de dados**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo. 2015. Disponível em: https://www.ime.usp.br/~kellyrb/files/quali_ms_lmoraes.pdf. Acesso em: 23 abr. 2019.

MULTILOGICA, Shop. **Guia Arduino para Iniciantes**. (2018). Versão 1.0. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3252633/mod_resource/content/1/Guia_Arduino_Iniciante_Multilogica_Shop.pdf, acessado em: 26 mar. 2019.

MYSQL.COM. **MySQL 8.0 – Reference Manual, Including MySQL NDB**. Disponível em: <https://downloads.mysql.com/docs/refman-8.0-en.pdf>. Acesso em 08 Abr. 2019.

OECD. **Relatórios Econômicos Brasil 2018**. Construindo um Brasil mas próspero e mais produtivo. Disponível em: <https://www.oecd.org/brazil/economic-survey-brazil.htm>, acessado em: 27 de fev. 2019.

OZTURK, A., UMIT, K., MEDENI, I. T., UCUNCU, B., CAYLAN, M., AKBA, F., & MEDENI, T. D. (2011). **Green ICT (information and communication technologies): A review of academic and practitioner perspectives**. *eBusiness and Government Studies*, 3(1),

1-16. Disponível em: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/257058> acessado em: 27 de fev. 2019.

PETE Tele – Pesquisa Ensino e Extensão: **Tutorial de Programação Orientada a Objeto**. Vers. 2k9. Universidade Federal Fluminense – Centro Tecnológico. Escola de Engenharia – Programa de Educação Tutorial – Grupo PET-Tele, 2009. Disponível em: http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/ooop/tut_ooop_2k100127.pdf. Acessado em: 24 abr. 2019.

PHP – **A história do PHP: PHP tools, Fi, Kit de Construção, e PHP/FI**. (2019). Disponível em: https://www.php.net/manual/pt_BR/history.php.php Acessado em: 05 abr. 2019.

POSSETTI, Alex D. **As Aplicações da Tecnologia da Informação na Logística**. 2010. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/producao-academica/as-aplicacoes-da-tecnologia-da-informacao-na-logistica/3122/>, acessado em 26 fev., 2019.

SAKIYAMA, Taynara B., SANTOS, Ricardo R., FONSECA, Érica., FERREIRA, Caroline., OLIVEIRA, Nayara R. M., WALTER, Cesar. **Desenvolvimento de protótipo de baixo custo para análise das variáveis ambientais no ambiente construído**. (2017) Revista Eletrônica Núcleo do Desenvolvimento. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/desenvolvimento-de-prototipo>, acessado em: 26 de mar. 2019.

SANTANA, Jaindson V., FIGUEIRÊDO, Hugo Feitosa de. **Gestão Ambiental Apoiada por Sistemas de Informação**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Monteiro. 2015. Disponível em: <http://www.ria.net.br/index.php/ria/article/view/154/163>, acessado em: 28 de fev. 2019.

SANTOS, Mateus Carlos dos. **Desenvolvimento Sustentável – Interpretações Crítico-Científicas**. Centro de Ciências Exatas, Departamento de Geociências – Universidade Estadual de Londrina-PR, 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/projetos/ternopar/pages/arquivos/tcc%20Matheus%20Santos.pdf>, acessado em: 27 de fev. 2019.

SILVA, Gardenia Azevedo., MORAIS JR., Joácio A., ROCHA, Elisângela R. **Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos**. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n1/1413-4152-esa-21-01-00011.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

SILVA, Marcos Cleve Alves da; TARGA, Marcelo dos Santos; CEZAR, Vicente Rodolfo Santos. Arduino system and ultrasonic sensor for automation of the determination of water infiltration rate in soil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 1-13, 7 dez. 2020. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2543>.

STEWART, Rodney. **A framework for the life cycle management of Information technology projects: ProjectIT**, 2008. Griffith University. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/461f/8feadc21b4a2a9b51e0b148b3121014a0e8f.pdf>, acessado em: 26 fev. 2019.

STURM, Junior., SILVA, Madalena P. da. **Aplicação de padrões de projeto no desenvolvimento de software para a melhoria da qualidade e da manutenibilidade.** Universidade do Planalto Catarinense – Lages, SC. Brasil. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275771590_Aplicacao_de_padroes_de_projeto_no_desenvolvimento_de_software_para_a_melhoria_da_qualidade_e_da_manutenibilidade. Acesso em: 24 abri. 2019.

W3C. **O Futuro da WEB HTML5 – WEB Semântica.** (2011) SENAC – Ribeirão Preto. Disponível em: http://www.w3c.br/pub/Agenda/PalestraSenacRibeiraoHTML5WebSemantica/W3C_HTML5_WebSem.pdf. Acesso em: 05 Abr. 2019.

W3SCHOOLS. **Bootstrap 4 – Tutorial.** Disponível em: <https://www.w3schools.com/bootstrap4/default.asp>. Acesso em 08 Abr. 2019.

YUSUP, M. Z., MAHMOOD, W. H. W., SALLEH, M. R., & MUHAMAD, M. R. (2014). ***The influence factor for the successful implementation of cleaner production: a review.*** *Jurnal Teknologi*, 67(1), 89-97. Disponível em: <https://jurnalteknologi.utm.my/index.php/jurnalteknologi/article/view/2160>, acessado em: 01 de mar. 2019.

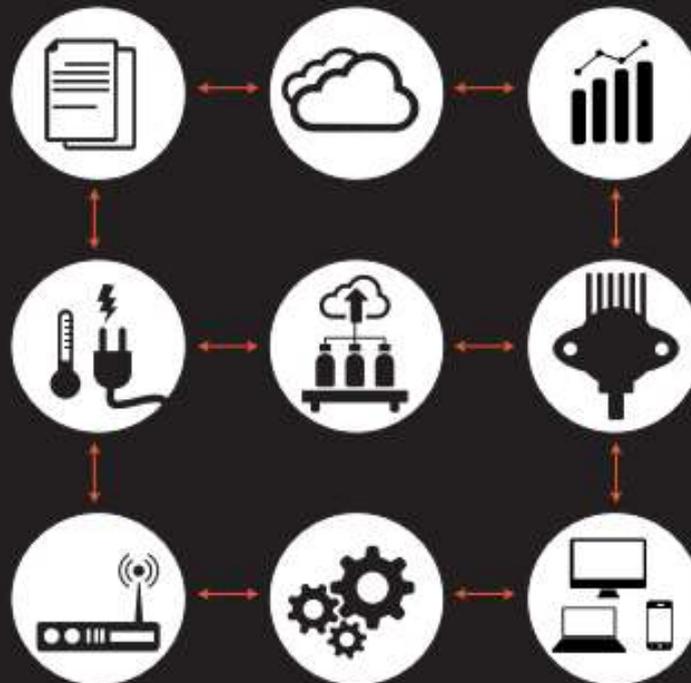
ZHAO, L *et al.* **Journal of Networks.** Remote Ethernet Data Transmission System based on Hardware Protocol Stack Chip. Vol. 8(1285-1291), N. 6, JUNE 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE I

(((MANUAL TÉCNICO)))

Montagem de Ferramenta Analítica
Baseada em Arduino: realização de
testes anaeróbios com
monitoramento on-line



Thales Lacerda Querino de Albuquerque / Milton Silva Lopes

**REVISADO POR ELIZETE AMARAL DE MEDEIROS
(LINGUÍSTICA E NORMALIZAÇÃO)**

**MANUAL TÉCNICO PARA MONTAGEM DE UMA FERRAMENTA ANALÍTICA
PARA REALIZAÇÃO DE TESTES ANAERÓBIOS EM LOTE COM
MONITORAMENTO ONLINE BASEADO EM PLATAFORMA ARDUINO**

**MANUAL TÉCNICO PARA MONTAGEM DE UMA FERRAMENTA ANALÍTICA
PARA REALIZAÇÃO DE TESTES ANAERÓBIOS EM LOTE COM
MONITORAMENTO ONLINE BASEADO EM PLATAFORMA ARDUINO**

Autores

Thales Lacerda Querino de Albuquerque
Wilton Silva Lopes

**EDUEPB
CAMPINA GRANDE -PB
2021**

SUMÁRIO

<u>CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO</u>	90
<u>CAPÍTULO 2 – CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA</u>	91
<u>2.1 COMO CONSTRUIR SUA FERRAMENTA ANALÍTICA</u>	92
<u>2.1.1 Componentes físicos e <i>hardwares</i> necessários para montagem</u>	92
<u>CAPÍTULO 3 CONFIGURAÇÃO DA FERRAMENTA</u>	102
<u>3.1 VARIÁVEIS E CONSTANTES</u>	102
<u>3.2 ESTRUTURAS</u>	103
<u>3.3 FUNÇÕES</u>	104
<u>2.4 DOWNLOAD E ENVIO DO SKETCH PARA PLACA ARDUINO</u>	106
<u>CAPÍTULO 4 – SOFTWARE PARA ANÁLISE DE RESULTADOS</u>	108
<u>4.1 SOBRE O <i>SOFTWARE</i> SISMONBIO</u>	108
<u>4.2 EXPERIMENTOS</u>	108
<u>4.2.1 Iniciar um novo experimento</u>	109
<u>4.2.2 Encerrar um experimento</u>	110
<u>4.2.3 Exportar dados do experimento</u>	110
<u>4.3 Listar dados</u>	110
<u>4.4 Funcionalidade configurar biorreator</u>	111
<u>4.5 Funcionalidade para gerar gráficos de pressão</u>	112
<u>4.6 Funcionalidade para gerar gráficos de volume</u>	113
<u>4.7 Funcionalidade para gerar gráficos de produção</u>	114
<u>CAPÍTULO 5 - SUGESTÕES</u>	116
<u>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES</u>	117
<u>REFERÊNCIAS</u>	118

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento de metodologias e ferramentas que envolvem uma gestão ambiental “limpa” é algo imprescindível para o desenvolvimento sustentável. A criação do Sistema de Informação e Gestão Ambiental proporciona melhorias contínuas nos processos de tratamento de água e esgoto, por exemplo, sem agredir a natureza, com custo baixo, integrando equipes para o gerenciamento e monitoramento constante, tudo *online* o que possibilita mais organização, produtividade e segurança.

O monitoramento online reduz significativamente as demandas de mão de obra para a realização de testes de potencial de metano quando comparado aos métodos tradicionais, otimizando a coleta de dados, organizados na nuvem, facilitando o acesso aos pesquisadores envolvidos, ajudando diretamente a produção científica e tecnológica.

Podemos tirar o máximo proveito da tecnologia moderna para processar e distribuir dados medidos de um módulo da internet das Coisas (IoT) que é como podemos classificar essa ferramenta analítica, levando em conta que a essência de um dispositivo IoT é, portanto, um chip eletrônico com capacidade de comunicação com a internet, seja Wi-Fi, BLE (*Bluetooth Low Energy*), LoRa, ZigBee, Arduino e outros padrões.

Para a construção desse instrumento são necessárias algumas etapas essenciais, que serão explicadas nesse manual, que tem como objetivo apresentar um passo a passo para construção de uma ferramenta analítica que realiza testes anaeróbios em lote. Isso inclui a realização de testes de potencial bioquímico de metano (BMP), estudos de biodegradabilidade anaeróbia e ensaios de atividade metanogênica específica (AME). Isso é realizado com fácil acesso à amostragem, análise, registro e geração de relatórios; com a facilidade de monitoramento online através de qualquer dispositivo com acesso à internet (SILVA; MORAES JR; ROCHA, 2016).

Este projeto pode ser de grande interesse a cientistas e engenheiros ambientais, envolvidos em pesquisas de energia renovável e processos de produção de biogás, que buscam um mecanismo eficaz para as empresas e indústrias melhorarem seus processos de produção e meios de controlarem seus aspectos e impactos ambientais.

CAPÍTULO 2 – CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA

A ferramenta proposta é um dispositivo analítico desenvolvido para medições online de baixos fluxos de metano e biogás, produzidos a partir da digestão anaeróbia de qualquer substrato degradável biológico em escala laboratorial.

Para avaliar a implementação e otimização de biotecnologias anaeróbias, são adotadas técnicas analíticas como o teste do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) e teste de Atividade Metanogênica Específica (AME). O teste do Potencial Bioquímico de Metano (BMP) monitora o volume do biogás gerado em uma fração de resíduos sólidos urbanos, avaliando a capacidade de biodegradação dos resíduos através da produção total de metano (CH₄).

Os testes, mencionados acima, podem ser realizados através de equipamentos analíticos existentes no mercado, no entanto, o custo de aquisição é alto e muitas vezes se torna inviável. Buscando uma solução de custo acessível, utilizando a plataforma Arduino para informatização da ferramenta, tornando-a um dispositivo analítico de monitoramento online em tempo real.

Esta ferramenta permite a realização de ensaios de BMP, biodegradabilidade anaeróbia e AME em tempo real, com amostragem, análise, registro e geração de relatórios totalmente integrados e online.

Foi concedido para proteção da criação técnica duas patentes de privilégio de inovação. Ambas estão sob sigilo de 18 meses conforme normas do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, entretanto possuem liberação de citação.

Patente 1: RAMOS, R.O; ALBUQUERQUE, T.L.Q; LOPES, W.S. Método Baseado em Medida Eletrônica de Pressão e Temperatura para Monitoramento da Produção de Biogás em Reatores Anaeróbios. 2020, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do Registro: BR102020025574-6, título: “Método Baseado em Medida Eletrônica de Pressão e Temperatura para Monitoramento da Produção de Biogás em Reatores Anaeróbios”. Instituição de registro: INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 15/12/2020; apresentada no apêndice III.

Patente 2: RAMOS, R.O; ALBUQUERQUE, T.L.Q; LOPES, W.S. Ferramenta Analítica Baseada em Sistema Embarcado para Monitoramento Online de Produção de Biogás em Reatores Anaeróbios. 2020, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do Registro: BR102020025463-4, título: “Ferramenta Analítica Baseada em Sistema Embarcado para Monitoramento Online de Produção de Biogás em Reatores Anaeróbios”. Instituição de

registro: INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 14/12/2020; apresentada no apêndice II.

2.1 Como construir sua ferramenta analítica

A primeira etapa para construção da ferramenta analítica para realização de testes anaeróbios em lote está relacionada com os componentes físicos e *hardwares* necessários para montagem, itens como incubadora, mesa agitadora, frascos de reação, placa microcontroladora Arduino, e sensores de pressão devem ser interligados e conectados conforme esquema ilustrado na Figura 1, estes componentes são listados e descritos na seção 2.1.1.

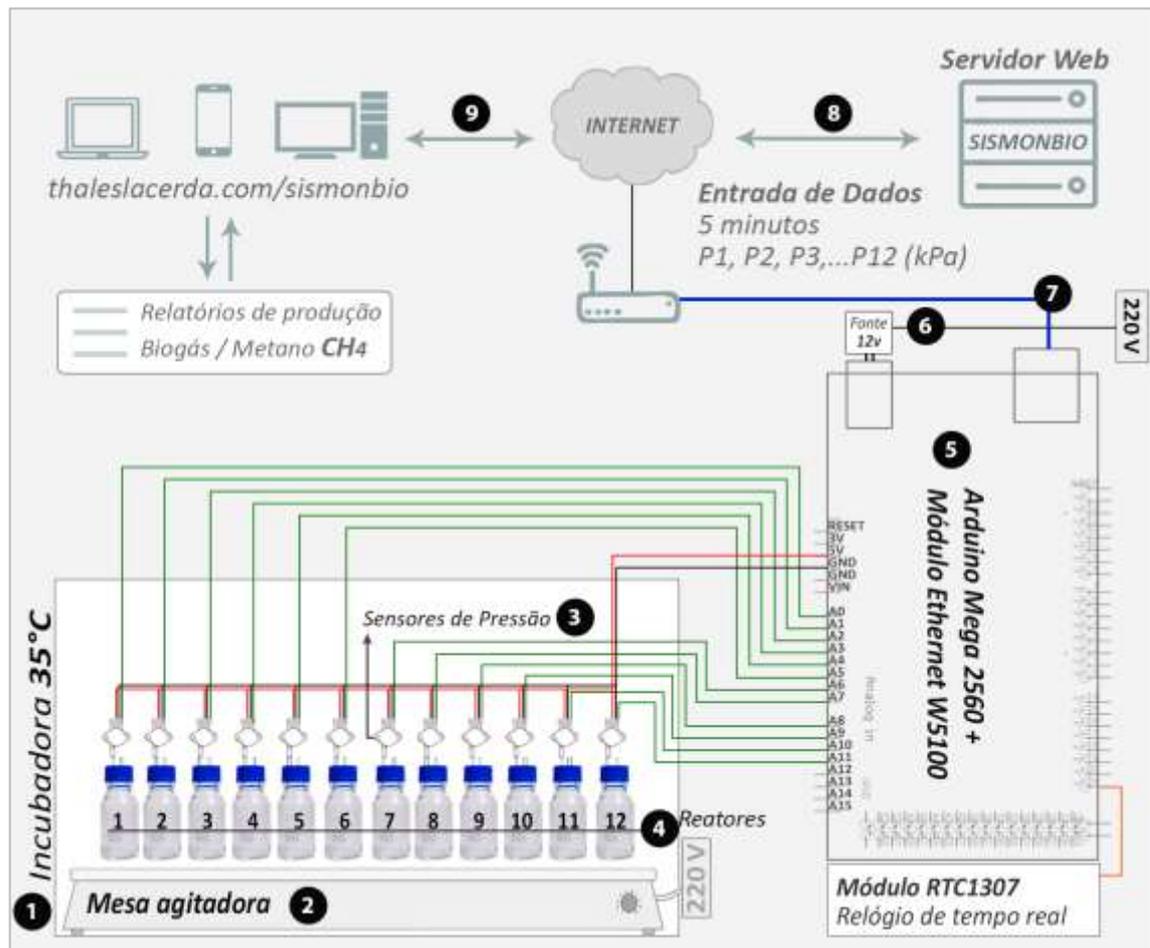
A segunda etapa, após montagem e conexão dos componentes físicos é configurar a placa microcontroladora Arduino, esta placa realiza a comunicação entre a ferramenta analítica construída e o *software* para monitoramento *online* dos experimentos, ou seja, a placa Arduino envia para o *software* dados de pressão obtidos através dos sensores. O código desenvolvido para realizar tal comunicação é apresentado na seção 3.1.

Após concluir as etapas um e dois, os requisitos necessários para construção está concluído, no entanto, para monitoramento *online* dos experimentos, uma terceira etapa é necessária, refere-se à solicitação de utilização do *software*. Esta solicitação deve ser realizada através do envio de um e-mail para o endereço *sismonbio@gmail.com*, com solicitação de cadastro de novo usuário e permissão de uso ao *software* SISMONBIO. Todas as informações relacionadas à utilização e acesso *online* ao *software* são descritas no capítulo 4.

2.1.1 Componentes físicos e hardwares necessários para montagem

Esta seção descreve sobre os componentes físicos e *hardwares* utilizados na construção da ferramenta analítica. O esquema de conexão entre estes dispositivos é ilustrado na Figura 1 e descrito a seguir.

Figura 1. Esquema de conexão entre dispositivos e *hardwares* utilizados para construção da ferramenta analítica para realização de testes anaeróbios em lote.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

2.1.1.1 Incubadora

Com relação à temperatura, há consenso na literatura de que testes de biodegradabilidade anaeróbia devam ser feitos na faixa de 30 a 35 °C, para que os microrganismos metanogênicos mesofílicos tenham as melhores condições de crescimento. Alguns pesquisadores utilizam a temperatura de 30 °C (CHERNICHARO, 1997; SOUZA *et al.*, 2005) enquanto outros preferem a temperatura de 35 °C (ALVES *et al.*, 2005; MONTEGGIA, 1997; FDZ-POLANCO, 2005). O experimento é realizado em condições controladas de laboratório para viabilizar a atividade bioquímica máxima de conversão de substratos orgânicos a biogás. Para isso pode ser utilizado qualquer equipamento que mantenha a temperatura desejada, por exemplo, incubadoras.

2.1.1.2 Mesa agitadora

Sua principal função é agitar as amostras, promove agitação padrão, orbital e homogênea. Durante os testes anaeróbios, mantém o contato da biomassa com o substrato e evita a limitação de transferência de massa do substrato e nutrientes. Sendo assim, é comum incubar os frascos de reação sob agitação constante. Os frascos de reação são acoplados em uma mesa agitadora permitindo que as amostras sejam homogeneizadas de forma automática.

2.1.1.3 Sensores de pressão MPX5700AP

Antes de aprofundar no sensor de pressão MPX5700AP que faz parte deste objeto de estudo, é necessário para uma melhor compreensão delinear primeiramente o que é um sensor de pressão. De um modo geral, os sensores de pressão convertem a pressão da atmosfera, gás ou líquido a que estão expostos em um sinal elétrico. Existem três tipos diferentes de pressões que podem ser medidas: manométrica, absoluta e diferencial (MARTINS, 2019).

O sensor MPX5700AP é um sensor de pressão de silício integrado de porta única e absoluta em um pacote SIP de 6 pinos. Este transdutor piezo resistivo é um sensor de pressão de silício monolítico de última geração projetado para uma ampla gama de aplicações. Esse transdutor de elemento único patenteado combina técnicas avançadas de microusinagem, metalização de filme fino e processamento bipolar para fornecer um sinal de saída analógico preciso e de alto nível que seja proporcional à pressão aplicada (MORAES, 2016).

Entre suas características, Moraes (2016) destaca:

- Sinal on-chip condicionado, temperatura compensada e calibrada;
- Erro máximo de 2,5% entre 0 °C e 85 °C;
- Idealmente adequado para sistemas baseados em microprocessadores ou microcontroladores;
- Tensão de tensão de cisalhamento de silício patenteada;
- Faixa de pressão de 15KPa a 700KPa;
- Faixa de tensão de alimentação de 4,75 a 5,25 VCC;
- Sensibilidade de 6.4mV / KPa;
- Tempo de resposta de 1 ms;
- Elemento *unibody epoxy* durável;
- Faixa de temperatura de operação de -40 °C a 125 °C.

Um sensor de pressão MPX5700AP é instalado para cada frasco de reação, a conexão deste sensor com a placa Arduino é realizada através de seus pinos de conexão, este sensor possui seis pinos, no entanto, apenas os pinos um, dois e três são utilizados. Os detalhes técnicos deste sensor podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2 - Sensor de pressão MPX e seus pinos de conexão

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Ao conectar este sensor à placa Arduino, utiliza os pinos de alimentação um (V OUT), dois (GROUND) e três (VCC). No sensor, o pino 1 de saída é conectado à placa Arduino através da porta analógica definida, este apresentará variação na sua tensão conforme for a pressão apresentada no reator. Para instalação dos doze sensores de pressão, a seguinte conexão foi definida:

Tabela 1 - Conexão entre sensores de pressão e pinos da placa Arduino

Sensor	Pino 1	Pino 2	Pino 3
Reator 1	Porta analógica A0	GND	VCC
Reator 2	Porta analógica A1	GND	VCC
Reator 3	Porta analógica A2	GND	VCC
Reator 4	Porta analógica A3	GND	VCC
Reator 5	Porta analógica A4	GND	VCC
Reator 6	Porta analógica A5	GND	VCC
Reator 7	Porta analógica A6	GND	VCC
Reator 8	Porta analógica A7	GND	VCC
Reator 9	Porta analógica A8	GND	VCC
Reator 10	Porta analógica A9	GND	VCC
Reator 11	Porta analógica A10	GND	VCC
Reator 12	Porta analógica A11	GND	VCC

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

O pino 2 de ambos os sensores é conectado ao canal GROUND do Arduino e o pino 3 dos sensores é conectado ao canal 5V (Volts) do Arduino. Portanto, cada sensor é conectado a uma saída analógica do microcontrolador, de modo que, a partir do algoritmo implementado e

a partir dos valores medidos através dos sensores, eles possam ser visualizados através do acesso ao software SISMOMBIO.

2.1.1.4 Reatores (1 a 12)

O equipamento construído para realização de testes anaeróbios em lote é constituído por doze frascos de reação tipo duran com tampa rosqueável, possibilitando a realização de testes anaeróbios em duplicata ou triplicata. As tampas dos frascos são adaptadas, permitindo a instalação de um sensor para leitura da pressão interna no reator, e uma válvula para liberar o biogás acumulado (Figura 3).

Figura 3 - Frasco de reação com tampa modificada para instalação de sensor de pressão e válvula para liberar biogás acumulado durante o experimento.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Com capacidade volumétrica de 250 mililitros (ml), 200 ml são destinados ao substrato e 50 ml são reservados para o *readspace*, proposto ao armazenamento do biogás gerado.

2.1.1.5 Conexão entre placa Arduino Mega 2560 e módulo Ethernet w5100

O Arduino é uma plataforma de código aberto usada para construir projetos de eletrônica. O Arduino consiste de uma placa de circuito físico programável (geralmente chamada de microcontrolador) e um *software*, ou IDE (*Integrated Development Environment*) que roda

em seu computador, usado para escrever e fazer *upload* de código de computador para a placa física (FOLTYNEK, *et al.* 2019).

A plataforma Arduino tornou-se bastante popular entre as pessoas que estão começando com a eletrônica e por um bom motivo. Ao contrário da maioria das placas de circuito programáveis anteriores, o Arduino não precisa de um *hardware* separado (chamado programador) para carregar um novo código na placa, ou seja, pode-se simplesmente usar um cabo USB. Além disso, o Arduino IDE usa uma versão simplificada do C ++, facilitando o aprendizado do programa. Finalmente, o Arduino fornece um fator de forma padrão que divide as funções do microcontrolador em um pacote mais acessível (CAVALCANTE, *et. al.* 2014).

O *hardware* e *software* Arduino foi projetado para artistas, *designers*, amadores, *hackers*, novatos e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode interagir com botões, LEDs, motores, alto-falantes, unidades de GPS, câmeras, a internet e até mesmo *smartphones* ou TV. Essa flexibilidade combinada com o fato de que o *software* Arduino é gratuito, as placas de *hardware* são muito baratas e tanto o *software* quanto o *hardware* são fáceis de se aprender, levando a uma grande comunidade de usuários que contribuíram com código e lançaram instruções para uma enorme variedade de projetos baseados em Arduino.

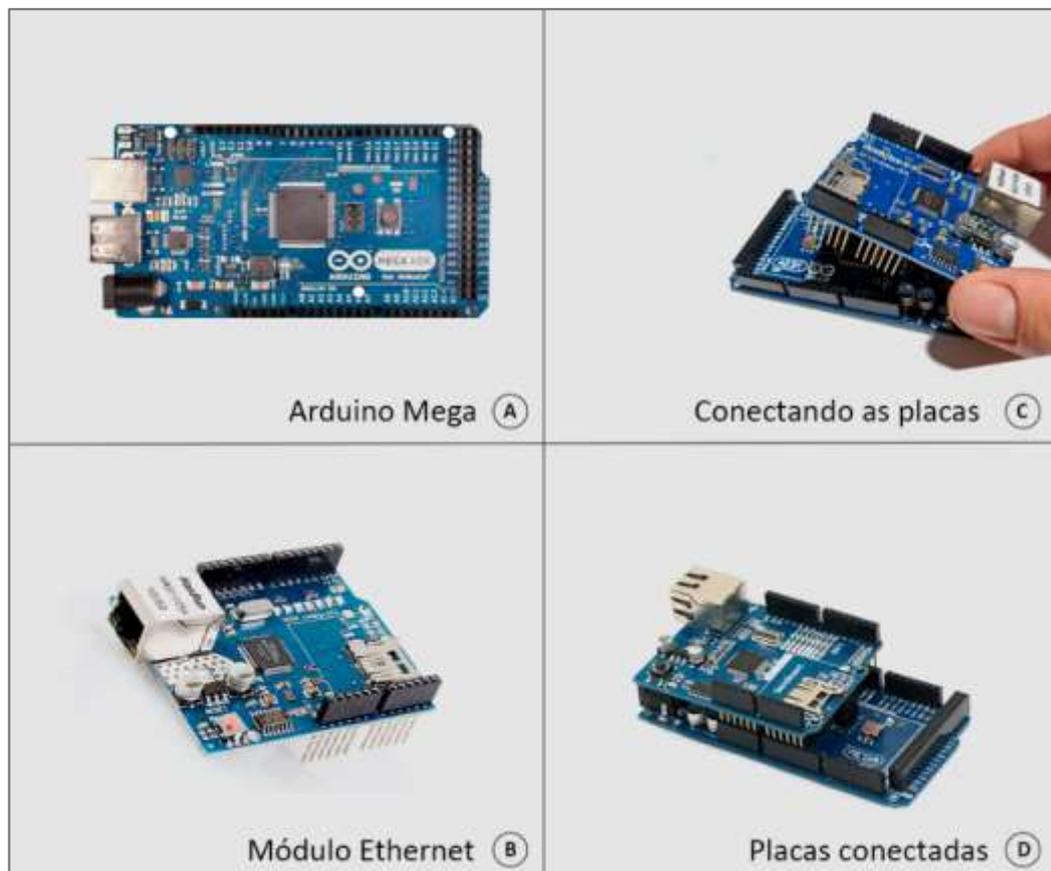
Existem muitas variedades de placas Arduino que podem ser usadas para diferentes propósitos. Vale ressaltar que o Arduino é constituído de uma série de placas denominadas “Família Arduino”, em que cada uma delas possui um conjunto de características próprias que adaptarão ao projeto. Dentre elas, (Arduino UNO R3, Arduino *LilyPad*, *RedBoard*, Arduino Mega R3 e Arduino Leonardo), este objeto de estudo abordará especificadamente sobre o modelo Arduino Mega R3, justamente por melhor atender às especificações do projeto de análise e monitoramento de pressão em sistemas de tratamento de esgoto.

O módulo Ethernet W5100 é um chip de interface de rede monolítica multifuncional, integrado internamente a um controlador Ethernet 10/100, que se aplica a um sistema embarcado que é de alta integração, alta estabilidade, alto desempenho, mas de baixo custo. Ao usá-lo, pode-se completar a ligação da internet sem suporte ao sistema operacional. W5100 é compatível com IEEE802.3 10BASE-T e 802.3u100BASE-TX. W5100 é integrado com TCP / IP, MAC, PHY com controle total de *hardware*. Basta ter uma simples programação de soquete em vez de considerar o controle da Ethernet quando se utiliza o W5100 (ARDUINO, 2019).

A conexão entre estes dois módulos possibilita que a ferramenta analítica realize requisições, de forma *online*, através da internet. Em cada requisição, são enviados os valores de pressão dos doze reatores, o identificador do sistema monitorado e a data e hora da leitura realizada. Requisições são realizadas para o software SISMONBIO hospedado em um servidor *web*. Estas são realizadas a cada cinco minutos conforme algoritmo armazenado na placa Arduino, esta configuração de ciclo de medições pode ser alterada modificando o código e reenviando para a placa Arduino.

Conecta-se a placa Arduino Mega ao módulo Ethernet W5100, um sobre o outro utilizando os pinos de conexão disponíveis no módulo, conforme ilustrado na Figura 4. Esta conexão possibilita que os dados obtidos através dos sensores sejam enviados para o *software* SISMONBIO, hospedado em um servidor *web*.

Figura 4 - Conexão placa Arduino ao módulo Ethernet W5100



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

2.1.1.6 Conexão placa Arduino à rede de energia

Esta placa pode funcionar com uma fonte de alimentação externa de 6 a 20 volts. No entanto, se a alimentação for inferior a 7V, o pino 5V pode fornecer menos de cinco volts e a placa pode se mostrar instável. E se a alimentação for maior do que 12V, o regulador de voltagem pode superaquecer e danificar a placa. A faixa recomendada é de 7 a 12 volts.

2.1.1.7 Conexão módulo Ethernet ao roteador

Esta conexão é realizada através de um cabo de rede do tipo par trançado com conectores RJ-45. Primeiramente, conecta-se uma extremidade do cabo à placa Ethernet, a outra ponta deste cabo deve ser conectada a uma porta LAN disponível no roteador que possui acesso à internet.

Figura 5 - Conexão placa Arduino à rede de energia (A) e conexão módulo Ethernet ao roteador (B)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

2.1.1.8 Entrada de dados

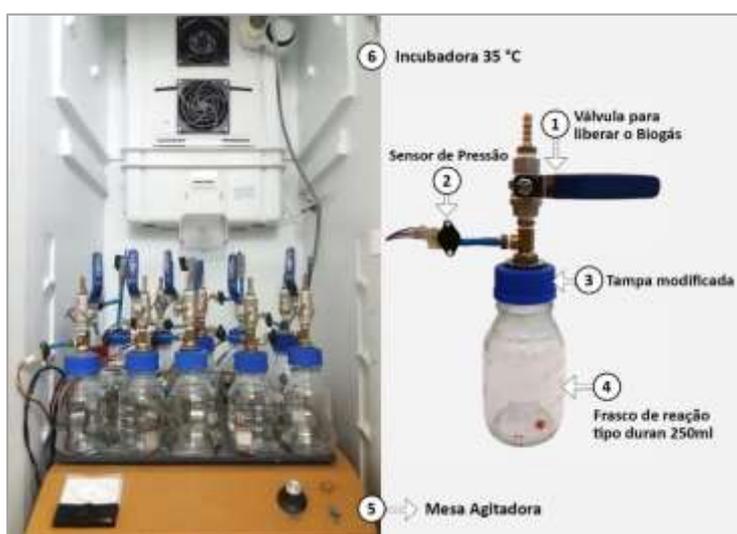
Após conexões dos dispositivos e conexão com a internet estabelecida, a placa Arduino é programada para enviar, a cada cinco minutos, dados de pressão dos doze reatores para o servidor *Web* de hospedagem; neste servidor, estão armazenados o *software* e o banco de dados que compõem o sistema SISMONBIO.

2.1.1.9 Acesso online ao software

O endereço eletrônico para acesso *online* ao *software* SISMONBIO é <http://thaleslacerda.com/sismonbio>. Após cadastro e autenticação neste endereço, o usuário está apto a realizar experimentos, o que inclui testes de BMP, estudos de biodegradabilidade anaeróbia e ensaios de atividade metanogênica específica (AME). O acesso pode ser realizado a partir de qualquer dispositivo (*notebooks, tablets, desktops* ou *smartphones*) que disponha de acesso à internet, após autenticação o usuário terá acesso *online* ao *software*. O *software* armazena os dados e disponibiliza relatórios de forma integrada e personalizada, com padronização de procedimentos de medição, interpretação de dados e relatórios de forma operacional, amigável e com acesso *online*.

Esse capítulo descreveu o primeiro passo para construção da ferramenta analítica para realização de testes anaeróbios em lote, em que os componentes físicos, suas conexões e os *hardwares* necessários foram listados e descritos. A Figura 6 mostra uma foto do equipamento construído conforme itens mencionados anteriormente.

Figura 6 - Foto da ferramenta analítica construída.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Após concluir o procedimento indicado nesse capítulo, que corresponde à parte física do projeto (conexão e ligação dos componentes e placas), a etapa seguinte é relacionada à parte lógica, referente à implementação do código fonte Arduino e envio para a placa microcontroladora. Este procedimento é descrito em detalhes no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3 - CONFIGURAÇÃO DA FERRAMENTA

Esta seção apresenta o algoritmo do projeto desenvolvido através da IDE do Arduino, que é um aplicativo da plataforma escrito em funções de C e C++, um ambiente de desenvolvimento integrado, usado para gravar e fazer *upload* de programas em placas compatíveis com esta plataforma. Um projeto do Arduino é chamado *sketch*, e pode ser dividida em três partes principais: valores (variáveis e constantes), estruturas e funções. O código foi dividido em partes para melhor compreensão do leitor, no entanto, através da numeração das linhas é possível compreender a sequência do código.

3.1 Variáveis e constantes

A Figura 7 mostra a parte inicial do algoritmo que corresponde aos valores definidos através de variáveis e constantes do programa.

Figura 7 - Tipos de dados e constantes do código desenvolvido

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <SD.h>
3 #include <Ethernet.h>
4 #include <Wire.h>
5 #include "RTClib.h"
6
7 File myFile;
8 RTC_DS1307 RTC;
9
10 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
11
12 IPAddress ip(192, 168, 241, 245);
13 IPAddress gateway(192, 168, 241, 1);
14 IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);
15 IPAddress myDns(200, 129, 73, 131);
16 EthernetClient client;
17
18 char server[] = "www.thaleslacerda.com";
19 unsigned long lastConnectionTime = 0;
20 const unsigned long postingInterval = 300L * 1000L;
21
22 // MPX5700 pressure sensor (700kPa)
23 int rawValue; // A/D readings
24 int offset = 163; // zero pressure adjust
25 int fullScale = 9630; // max pressure (span) adjust
26 float pressure; // final pressure
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Na linha 1 até a linha 5, algumas declarações de *include*, usadas para incluir bibliotecas externas ao *sketch*. Isso dá acesso a um grande número de bibliotecas padrão da linguagem C

(grupos e funções prontas) e, também, bibliotecas escritas especialmente para a linguagem Arduino.

Na linha 7, tem-se a definição de uma variável para trabalhar com arquivos do tipo texto (.txt). Uma variável do tipo RTC (Real Time Clock) é definida na linha oito, isto possibilita obter a hora e data atual. As configurações relacionadas ao módulo Ethernet estão escritas entre as linhas 10 e 16 e devem ser definidas de acordo com a conexão de internet do local onde o equipamento será instalado.

Finalizando esta seção, entre as linhas 23 e 26, estão os valores de variáveis utilizados no cálculo da pressão implementado através da função *getPressao*.

3.2 Estruturas

Na parte da estrutura, todo código criado para o Arduino deve obrigatoriamente possuir duas funções: *setup* e *loop*. A função *setup* é chamada quando um *sketch* inicia. Usada para iniciar variáveis, configurar o modo dos pinos e inicializar as bibliotecas, esta função será executada apenas uma vez, após a placa ser alimentada ou acontecer um *reset*.

Figura 8 - Função setup e loop

```
28 void setup()
29 {
30   Serial.begin(9600);
31   Wire.begin();
32   RTC.begin();
33
34   if (! RTC.isrunning()) {
35     Serial.println("RTC is NOT running!");
36   }
37   if (!SD.begin(4)) {
38     Serial.println("Falha na inicialização do cartão SD");
39   }
40   delay(1000);
41   Ethernet.begin(mac, ip, myDns, gateway, subnet);
42 }
43
44 void loop()
45 {
46   if (client.available()) {
47     char c = client.read();
48     Serial.write(c);
49   }
50   if (millis() - lastConnectionTime > postingInterval) {
51     httpRequest();
52   }
53 }
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

A função *setup* escrita conforme mostrada na Figura 8, entre as linhas 28 e 42, inicializa as bibliotecas RTC (utilizada para obter data e hora em tempo real) e Ethernet, para obter conexão com a internet para envio dos dados de forma *online*. A função *loop* verifica se existe conexão com a internet, em caso de sucesso, verifica se passaram cinco minutos desde sua última conexão, conecta-se novamente e envia os dados, através da função *httpRequest*.

3.3 Funções

O código implementado, na placa Arduino, é escrito com o propósito de ler os valores de pressão dos doze reatores e enviar, a cada cinco minutos, os dados através de uma requisição GET para o *software* SISMONBIO. O código que realiza esta requisição pode ser visualizado na Figura 9, entre as linhas 65 e 88.

Figura 9 – Função *httpRequest* realiza requisição http através do método GET e função *getPressao* que retorna a pressão obtida através do sensor MPX5700AP

```

65 // this method makes a HTTP connection to the server:
66 void httpRequest() {
67   client.stop();
68   if (client.connect(server, 80)) {
69     String getUrl = "";
70     getUrl += "?id_sis=1";
71     getUrl += "&p1=" + String(getPressao(0)) + "&p2=" + String(getPressao(1));
72     getUrl += "&p3=" + String(getPressao(2)) + "&p4=" + String(getPressao(3));
73     getUrl += "&p5=" + String(getPressao(4)) + "&p6=" + String(getPressao(5));
74     getUrl += "&p7=" + String(getPressao(6)) + "&p8=" + String(getPressao(7));
75     getUrl += "&p9=" + String(getPressao(8)) + "&p10=" + String(getPressao(9));
76     getUrl += "&p11=" + String(getPressao(10)) + "&p12=" + String(getPressao(11));
77     client.println("GET /sismonbio/arduino.php" + getUrl + " HTTP/1.1");
78     client.println("Host: www.thaleslacerda.com");
79     client.println("User-Agent: arduino-ethernet");
80     client.println("Connection: close");
81     client.println();
82     lastConnectionTime = millis();
83   } else {
84     Serial.println("connection failed...Saving the data in the sd card");
85     salvaSD();
86     delay(300000);
87   }
88 }
89
90 /*
91  * Returns the pressure obtained through the MPX5700AP sensor
92  * Param: SensorPort (Analog port of verified sensor)
93  */
94 float getPressao(int SensorPort)
95 {
96   rawValue = 0;
97   for (int x = 0; x < 10; x++)
98     rawValue = rawValue + analogRead(SensorPort);
99   pressure = (rawValue - offset) * 700.0 / (fullScale - offset);
100   return pressure;
101 }
102

```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Ainda em relação à função *HttpRequest*, na linha 70, define-se o identificador do sistema através do parâmetro (*id_sis*). Este identificador corresponde ao código obtido pelo usuário após solicitação de utilização enviada ao administrador do *software*, o procedimento a ser realizado para solicitação de acesso é detalhado no capítulo 4 deste manual.

Entre as linhas 71 e 76, a *url* é escrita com passagem dos parâmetros (p1, p2, p3, ..., p12) relacionados aos sensores de pressão, estes valores são obtidos com a chamada da função *getPressao*. Entre as linhas 77 e 80, é estabelecida a conexão com o servidor *web* e os parâmetros são enviados para a *url* definida. Caso seja retornado algum problema de conexão com a internet, uma mensagem é exibida através do monitor serial e os valores de pressão são armazenados no cartão de memória, evitando que os dados sejam perdidos.

Ainda relacionada à Figura 9, a função *getPressao*, definida entre as linhas 94 e 101, recebe como parâmetro a porta analógica a qual o sensor é conectado, converte o valor obtido em Kilopascal (kPa) e retorna este dado.

A Figura 10 traz algumas funções complementares. A função denominada *zero* verifica se um número é menor que dez, quando verdade, acrescenta o numeral 0 antes deste número. A função *getDataHora* retorna data e hora no formato estabelecido e a função *getData* retorna apenas a data atual.

Figura 10 - Funções complementares

```

102
103 // Check if the number is less than ten, and if it is, add 0 before
104 String zero(int n)
105 {
106     int num = n < 10 ? "0" + String(n) : String(n);
107     return num;
108 }
109
110 // Returns date and time in format dd-mm-YYYY hh:mm:ss
111 String getDataHora()
112 {
113     DateTime now = RTC.now();
114     String data = zero(now.day()) + "/" + zero(now.month()) + "/" + now.year() + " ";
115     data += zero(now.hour()) + ":" + zero(now.minute()) + ":" + zero(now.second());
116     return data;
117 }
118
119 // Returns date in format dd-mm-YYYY
120 String getData()
121 {
122     DateTime now = RTC.now();
123     String data = zero(now.day()) + zero(now.month()) + now.year();
124     return data;
125 }
126

```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Finalizando o *sketch*, a Figura 11 mostra o código implementado através da função *salvaSD*. Esta função tem como objetivo principal salvar os dados em um arquivo de texto armazenado em um cartão de memória introduzido no módulo Ethernet W5100, o mesmo formato salvo no servidor *web* é utilizado para armazenamento local; portanto, cada registro é constituído por data, hora, e valores de pressão de doze reatores.

Figura 11 - Função criada para armazenamento dos dados localmente no cartão de memória

```

128 // Saves pressure data to a TXT file on the SD card
129 void salvaSD()
130 {
131     String arquivo = getData() + ".txt";
132     myFile = SD.open(arquivo, FILE_WRITE);
133     String dados = getDataHora() + ";";
134     dados += getPressao(0) + ";" + getPressao(1) + ";" + getPressao(2) + ";"
135     dados += getPressao(3) + ";" + getPressao(4) + ";" + getPressao(5) + ";"
136     dados += getPressao(6) + ";" + getPressao(7) + ";" + getPressao(8) + ";"
137     dados += getPressao(9) + ";" + getPressao(10) + ";" + getPressao(11) + ";"
138
139     if (myFile) {
140         myFile.println(dados);
141         myFile.close();
142     } else {
143         Serial.println("error opening " + arquivo);
144     }
145     // re-open the file for reading:
146     myFile = SD.open(arquivo);
147     if (myFile) {
148         Serial.println(arquivo);
149         while (myFile.available()) {
150             Serial.write(myFile.read());
151         }
152         myFile.close();
153     } else {
154         Serial.println("error opening " + arquivo);
155     }
156 }

```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

2.4 Download e envio do sketch para placa arduino

O arquivo referente a este projeto pode ser baixado para seu computador local através do endereço eletrônico <http://thaleslacerda.com/sismonbio/download>. Após *download*, realize as modificações necessárias e realize o envio do arquivo para sua placa Ardiomp. Para fazer o envio (*upload*) de um *sketch* para uma placa Arduino, siga as instruções a seguir:

- Conecte seu Arduino usando o cabo USB;
- Escolha Ferramentas → Placa → Arduino Mega - para encontrar sua placa no menu Arduino;
- Escolha a porta serial correta para sua placa;

- Clique no botão *Upload*.

Ao realizar o envio com sucesso do sketch para a placa Arduino, a ferramenta analítica está pronta para iniciar e realizar experimentos. Após concluir a etapa de desenvolvimento e envio do sketch e a etapa de montagem de componentes e hardwares necessários, a placa Arduino está programada e configurada para se comunicar com o software SISMONBIO.

CAPÍTULO 4 – SOFTWARE PARA ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Sobre O *Software* Sismonbio

SISMONBIO (Sistema de Monitoramento *On-line* de Biorreatores) é o nome do *software* utilizado nesta pesquisa para monitoramento *online* de biorreatores. Este *software* possibilita aos seus usuários que realizem análises dos dados e resultados dos experimentos realizados através da ferramenta analítica para realização de testes anaeróbios em lote.

Para tanto, o *software* foi registrado, emitida uma patente pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 20/02/2020, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de fevereiro de 1998.

Patente: RAMOS, R.O; ALBUQUERQUE, T.L.Q; LOPES, W.S. Sistema de Monitoramento On-line de Biorreatores (SISMOBIO). 2020, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do Registro: BR512020002858-6, título: “Sistema de Monitoramento On-line de Biorreatores (SISMOBIO)”. Instituição de registro: INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Linguagem: HTML; JAVA SCRIPT; PHP. Campo de aplicação: BL-04; EN-02; EN-03; EN-04; SM-01; SM-02; SM-05. Tipo de programa: IT-04. Expedido: 22/12/2020.

Para acessar o *software*, primeiramente o operador da ferramenta construída deverá enviar uma solicitação de uso para o endereço eletrônico *sismonbio@gmail.com*, com solicitação de cadastro de novo usuário e permissão de uso ao *software*.

Após obter dados de acesso, considera-se que a ferramenta analítica construída está configurada e conectada com o *software* SISMONBIO. O endereço eletrônico para acessar o *software*, que permite realizar experimentos e analisar os dados da ferramenta construída é <http://thaleslacerda.com/sismonbio/> e deve ser realizado através de qualquer navegador de internet de sua preferência.

O *software* possui algumas funcionalidades, são as funções do *software*, que são relacionadas aos experimentos, listagem e modo de exibição dos dados, disponibilizando opções em formato gráfico. Com o objetivo de auxiliar seus usuários no monitoramento online de seus experimentos, as principais funcionalidades são descritas a seguir:

4.2 Experimentos

Os usuários podem acessar a página de experimentos através do menu principal do SISMONBIO (Configurações/Experimentos). Nesta página, são listados todos os

experimentos vinculados ao usuário conectado. Algumas opções são disponibilizadas, os experimentos podem ser iniciados, encerrados, ou transferidos para seu computador local através da opção *download*. Estas funcionalidades relacionadas aos experimentos são descritas a seguir nos próximos capítulos.

Figura 12 - Página de experimentos do software SISMONBIO

Status	Data início	Data final	Usuário	Ação
Iniciado	28.05.2020 22:57		Thales Lacerda	Deletar Download Encerrar
Finalizado	13.01.2020 15:08	24.02.2020 09:15	Timóteo Ferreira	Deletar Download
Finalizado	06.01.2020 22:12	13.01.2020 11:43	Timóteo Ferreira	Deletar Download
Finalizado	06.01.2020 12:07	06.01.2020 22:11	Thales Lacerda	Deletar Download
Finalizado	18.02.2019 10:39	27.05.2019 08:40	Wiza Silva Lopes	Deletar Download
Finalizado	19.12.2018 00:00	04.02.2019 16:40	Tales Tavares	Deletar Download
Finalizado	10.10.2018 11:01	20.11.2018 23:59	Tales Tavares	Deletar Download
Finalizado	03.09.2018 00:00	10.10.2018 11:00	Tales Tavares	Deletar Download

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

A Figura 12 mostra a tela experimentos do *software* SISMONBIO. Esta tela exibe o status (iniciado ou finalizado), data de início, data de encerramento e usuário responsável para cada experimento criado. Na última coluna desta listagem, denominada “Ação”, o usuário pode fazer o *download*, apagar ou encerrar um experimento, para executar alguma destas ações é necessário clicar sobre a ação desejada e confirmar a operação.

4.2.1 Iniciar um novo experimento

Após obter acesso ao *software*, o operador precisa acessar o *software* através das credenciais obtidas por meio do administrador do sistema e endereço de acesso conforme descrito no capítulo anterior. Após digitar seu nome de usuário e senha, o usuário é direcionado para a página principal do *software*; nesta página, são exibidos os valores mais

recentes obtidos do seu experimento, no entanto, ao acessar pela primeira vez, o usuário deve iniciar um novo experimento através do acesso ao menu principal (Configurações/Experimentos) e clicar sobre o botão Iniciar novo experimento, confirme a ação e seu experimento está iniciado e os dados começam a ser coletados, a partir deste momento, os dados são obtidos com intervalo de atualização de cinco minutos.

O *software* possibilita que apenas um experimento seja executado individualmente. Para iniciar um novo experimento, você deve encerrar o experimento que não foi finalizado. Caso haja tentativa de iniciar dois experimentos ao mesmo tempo, uma mensagem de erro é exibida, informando que já existe um experimento em andamento. Certifique-se de encerrar o experimento após concluir sua análise.

4.2.2 Encerrar um experimento

Ao concluir sua pesquisa, ou seu teste anaeróbio em lote, você deve “informar” ao *software* que o experimento foi finalizado. Esta ação deve ser realizada através do menu principal (Configurações/Experimentos). Uma listagem com todos os experimentos vinculados ao seu usuário é exibida, escolha qual experimento deseja finalizar e clique sobre o botão Encerrar localizado abaixo da coluna “Ação” na tabela de listagem de experimentos. Confirme a operação e seu experimento será finalizado.

4.2.3 Exportar dados do experimento

O *software* possibilita que os dados sejam importados da ferramenta para seu computador pessoal; com acesso ao *software*, esta ação pode ser realizada a qualquer momento, ou seja, durante todo o experimento ou após concluí-lo. O *software* armazena em seu banco de dados todas as informações de cada experimento, estas informações podem ser acessadas através do menu principal (Configurações/Experimentos). Escolha o experimento e clique sobre o botão *Download* para importar os dados para seu computador; após importar estas informações, você pode trabalhar os dados em um editor de planilhas eletrônicas de sua preferência.

4.3 Listar dados

Esta página sempre é exibida para o usuário, após entrar com seu nome de usuário e senha, ou seja, esta é a “página principal” do *software* SISMONBIO. Nesta página, os valores de pressão são exibidos para cada um dos doze reatores, estes valores são exibidos em

formato kPa com intervalo de atualização de cinco minutos entre as leituras, nesta tela é possível selecionar uma data para filtrar os valores de acordo com a data escolhida.

Figura 13 - Página principal do software SISMONBIO para listagem dos dados

Data / Hora	IT	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
05.02.2020 23:56		109,8	129,84	143,96	155,05	109,21	108,62	113,87	129,99	167,4	126,50	119,93	106,48
05.02.2020 23:51		109,86	128,51	143,96	155,94	109,21	108,53	114,39	129,91	168,96	134,79	117,71	106,77
05.02.2020 23:46		109,89	124	143,89	250,36	109,21	108,62	116,16	130,38	168,96	132,3	117,42	106,7
05.02.2020 23:41		109,8	129,54	143,67	148,35	109,14	108,62	116,01	130,14	173,54	121,26	119,93	106,7
05.02.2020 23:36		109,65	128,21	142,56	154,61	109,21	108,69	115,64	129,91	174,72	121,04	120,01	106,55
05.02.2020 23:30		109,73	128,29	142,06	154,61	109,43	108,47	115,2	129,91	174,87	128,21	120,01	106,55
05.02.2020 23:25		109,73	128,14	142,63	154,83	109,21	108,62	115,72	129,91	174,72	132,13	119,93	106,48
05.02.2020 23:20		109,90	129,99	142,06	154,39	109,21	108,50	116,75	130,14	174,30	114,68	119,71	106,84
05.02.2020 23:15		109,88	130,06	142,48	143,45	109,21	108,77	118,48	138,57	174,57	120,38	118,82	106,55
05.02.2020 23:10		109,88	129,25	142,48	399,13	109,21	108,47	116,83	139,23	174,72	126,88	118,5	106,62
05.02.2020 23:05		109,58	127,99	143,67	150,1	109,14	108,55	114,46	129,99	171,69	125,35	119,56	106,33
05.02.2020 22:50		109,73	123,26	143,45	145,81	109,14	108,77	117,34	131,32	169,84	116,09	119,34	106,77
05.02.2020 22:45		109,73	124	143,22	148,07	109,21	108,69	114,61	132,06	174,43	134,72	118,76	106,25
05.02.2020 22:29		109,58	126,14	143,89	151,28	109,21	108,62	113,65	129,25	171,99	120,48	118,16	106,25

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

A Figura 13 mostra uma tela de listagem de dados referente a um experimento realizado pelo usuário Timóteo, durante o mês de fevereiro de 2020. É possível observar, ao lado superior direito desta tela, que existe uma opção para filtrar os dados, clique sobre a caixa de texto para escolher uma data, e as informações relacionadas serão listadas.

4.4 Funcionalidade configurar biorreator

Ao realizar um experimento através da ferramenta analítica Teste BMP, o usuário pode configurar cada reator conforme seu experimento, as opções de configurações são: gramas por litro de Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), porcentagem de metano e volume do *headspace*, que é o espaço entre o lodo e a tampa do frasco. Ao iniciar um experimento, configurar valores do experimento é opcional, porém ao serem definidos pelo usuário através desta funcionalidade, os gráficos de volume e produção de biogás e metano podem ser gerados e visualizados instantaneamente.

O acesso a esta página de configurações de biorreator deve ser realizado através do menu principal (Configurações/Biorreator), uma cópia desta página é exibida na Figura 14.

Figura 14 – Página do software referente às configurações de biorreatores e experimentos

Configurações de Biorreator		
Experimento	18.02.2019	▼
Reator	R1	▼
STV	58	g/L
ST	0	g/L
SSV	0	g/L
DQO	0.435	g/L
Metano (CH4)	60	%
HEAD Space	50	mL
<input type="button" value="Salvar"/>		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

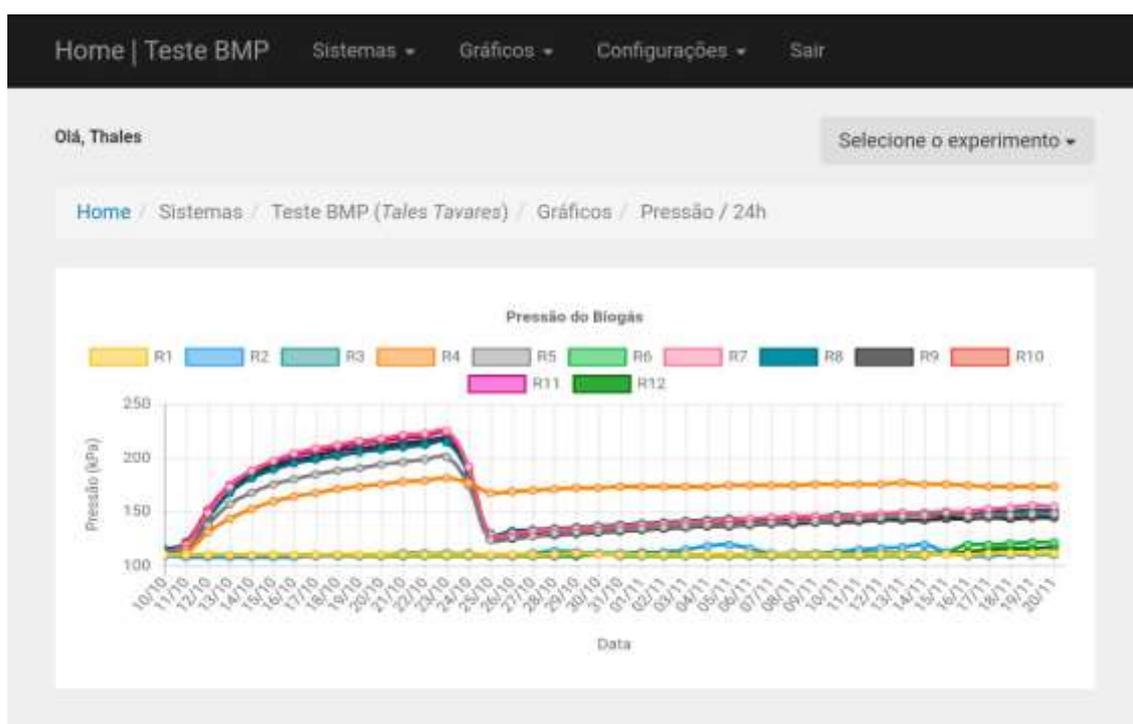
Defina os parâmetros solicitados de acordo com seu experimento e clique sobre o botão Salvar. Após concluir estas configurações, algumas opções de visualização de dados em formato gráfico serão disponibilizadas.

4.5 Funcionalidade para gerar gráficos de pressão

Os gráficos de pressão auxiliam na visualização dos resultados e podem ser do tipo pressão a cada hora, pressão a cada 12 horas, pressão por dia e pressão acumulada. A Figura 15 apresenta um modelo de gráfico de pressão do por dia, em que os valores são agrupados a cada vinte e quatro horas. Nesta tela, é possível selecionar o experimento no qual se deseja visualizar o gráfico.

Os valores são calculados a partir das médias de pressão dos registros obtidos no banco de dados para cada reator. O decaimento da pressão no gráfico indica a abertura da válvula para liberar o biogás acumulado no reator selecionado. Este decaimento só é possível de ser visualizado em gráficos de pressão do tipo: pressão por hora, pressão a cada 12 horas e pressão por dia. Nos gráficos de volume e pressão acumulada, apresentados nos próximos capítulos, os valores são calculados de forma acumulativa durante todo o período do experimento.

Figura 15 - Gráfico de Pressão a cada 24 horas



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

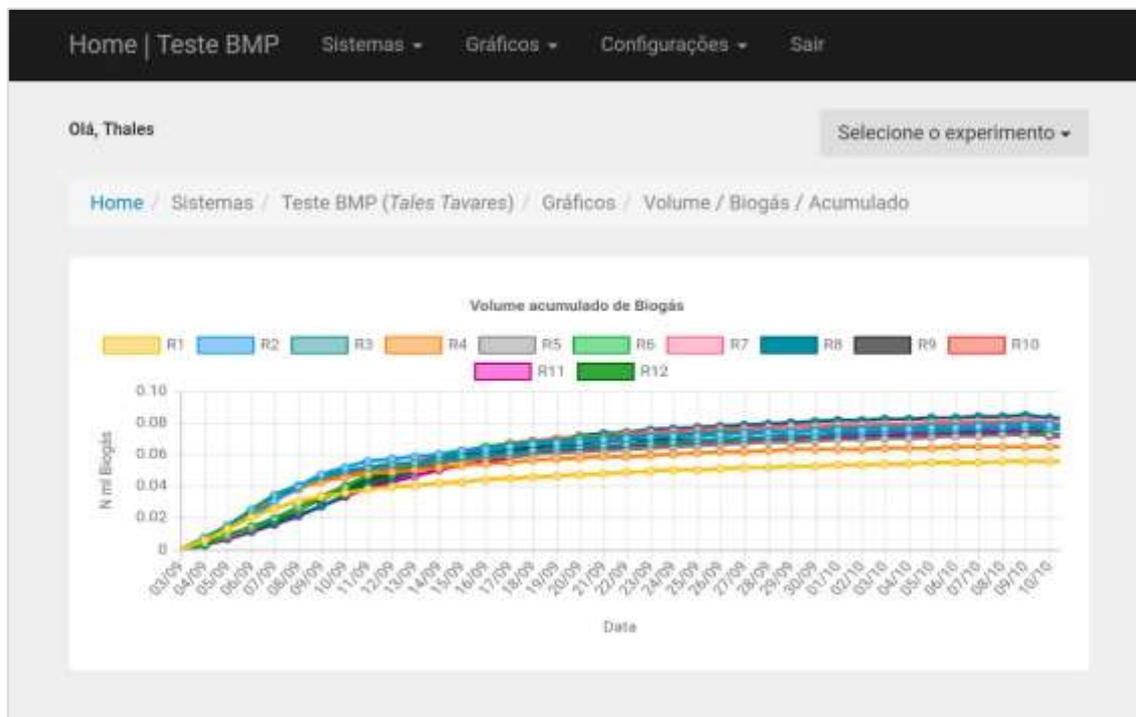
De acordo com Holliger, Alves, *et al.* (2016), ao utilizar o método manométrico para medir a produção de metano, a pressão no frasco de análise não deve exceder 300 kPa para evitar a dissolução excessiva de CO₂ e acidentes por explosão. No entanto, para este experimento, foi definido que ao atingir valores próximos a 200 kPa o biogás acumulado deve ser liberado. Conforme gráfico exibido, na Figura 15, é possível observar que o biogás foi liberado em alguns reatores no dia 24-10 após atingir valores próximos ao estabelecido.

4.6 Funcionalidade para gerar gráficos de volume

Nesta interface, é possível visualizar, através de gráficos, o volume acumulado de: biogás, biogás por gramas de STV, biogás por gramas de DQO, metano, metano por gramas de STV e

metano por gramas de DQO. A seguir, na Figura 16, é apresentado um gráfico de volume de biogás acumulado.

Figura 16 - Gráfico do tipo volume de biogás acumulado



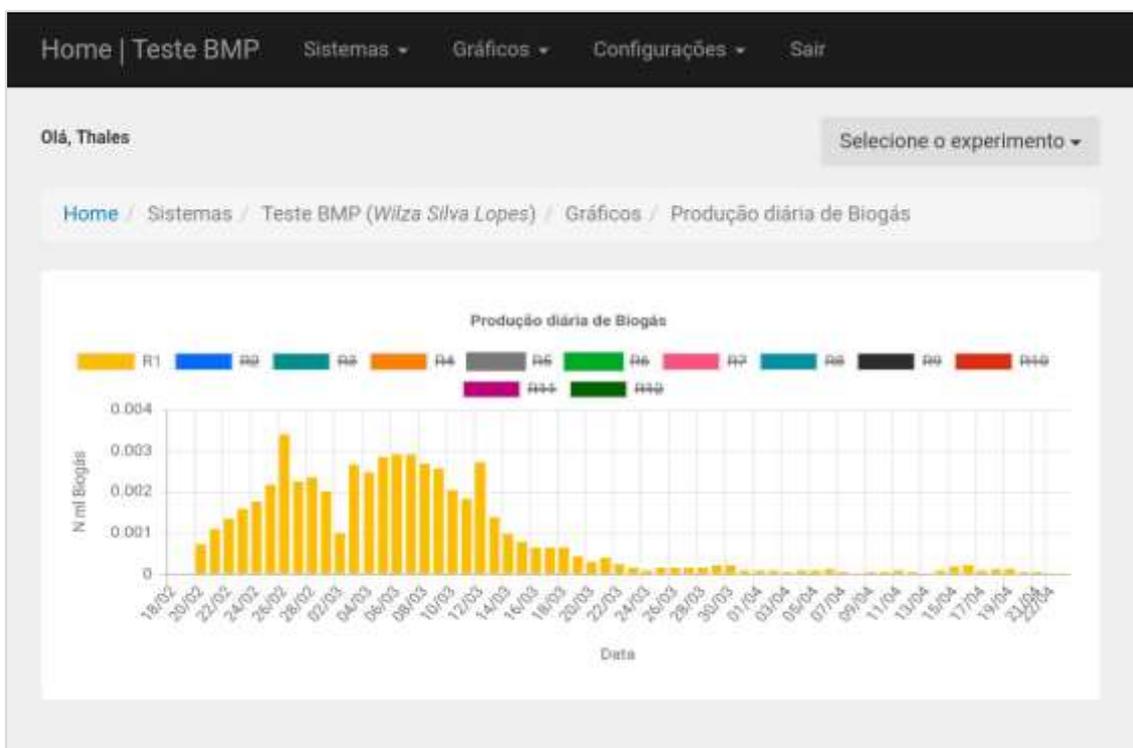
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

O gráfico de volume apresentado na figura anterior exibe o resultado de um experimento realizado pelo usuário Tales Tavares, através da ferramenta analítica construída nesta pesquisa para realização de testes anaeróbios em lote. O teste foi realizado entre os dias 03-09-2018 e 10-10-2018.

4.7 Funcionalidade para gerar gráficos de produção

Nesta interface, é possível visualizar, através de gráficos, a produção média diária de: biogás, biogás por gramas de STV, biogás por gramas de DQO, metano, metano por gramas de STV e metano por gramas de DQO. A seguir, na Figura 17, é apresentado um gráfico de produção média diária de biogás.

Figura 17 - Gráfico de produção média diária de biogás



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Nessa tela, é possível selecionar o experimento no qual se deseja visualizar o gráfico, como também a visualização de cada reator pode estar visível ou oculta de acordo com clique do mouse sobre o retângulo que identifica cada reator.

CAPÍTULO 5 - SUGESTÕES

Este tópico propõe algumas ideias que podem ser adotadas para melhoria do projeto desenvolvido neste manual.

Como proposta para uma primeira melhora seria expandir as funcionalidades para permitir que a liberação do biogás dos reatores através da ferramenta analítica possa ser realizada de forma automatizada. Para tal, é necessária a instalação de uma válvula solenoide em cada reator. Após instalação da válvula, torna-se necessário programar a placa Arduino, bem como desenvolver uma nova função, criando a funcionalidade para liberar o gás de forma automática, tarefa esta que poderia ser realizada através do *software* de monitoramento *online*, tornando a ferramenta totalmente automatizada.

O problema neste sentido seria a geração de custo extra, que para este projeto seria inviável no momento, porém ressalta-se que esta melhoria ajudaria na gerência e monitoramento *online*, ficando como proposta para projetos futuros.

Outra proposta seria adicionar aos sistemas monitorados um módulo denominado Arduino GSM GPRS, em que este sistema permitiria realizar chamadas telefônicas e envio de mensagens de texto (SMS) de forma automática, após configuração e programação.

Com esta tecnologia, será possível enviar alertas informando o estado de um sensor ou sistema. Para biorreatores anaeróbios de membrana, alertas poderiam ser enviados caso a pressão transmembrana chegasse a um valor maior que o desejado, indicando a necessidade de manutenção da membrana, evitando problemas futuros no sistema de tratamento. Para a ferramenta analítica Teste BMP, alertas poderiam ser enviados caso a pressão em um reator ultrapasse o valor limite de 200 kPa, valor estabelecido nesta pesquisa.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

O foco principal deste manual foi detalhar o procedimento realizado para construção da ferramenta analítica para realização de testes anaeróbios em lote, utilizando o *software* SISMONBIO que é capaz de fornecer subsídios de gerenciamento e monitoramento *online* de biorreatores, com foco em testes BMP (Potencial Bioquímico de Metano) e AME (Atividade Metanogênica Específica).

Através da determinação de testes de AME (Atividade Metanogênica Específica) e BMP (Potencial Bioquímico de juntamente com a construção de um equipamento capaz de realizar testes anaeróbios em lote, foi possível proporcionar a professores e alunos um conjunto específico de *hardware* e *software* de custo baixo capaz de monitorar tais ações.

Através do SISMONBIO, produto deste objeto de estudo, é possível monitorar testes anaeróbios em lote de forma *online*, ou seja, não é mais necessário a presença do técnico no local, além do *software* permitir a realização de testes através de parâmetros de configuração, relatando a amostra dos resultados, ajudando a técnicos e alunos na compreensão dos resultados e controle de biogás.

Ressalta-se também que este objeto de estudo buscou, durante sua compreensão e empregabilidade, destacar possíveis processos de melhorias (conforme citado no capítulo 5 – sugestões) analisar e empregar novas ferramentas (*hardware* e *software*) proporcionando maior aplicabilidade aos processos de monitoramento, porém a um certo custo, que para esta proposta ficou inviável financeiramente.

Destacam-se ainda a importância e compreensão dos processos que envolvem uma gestão ambiental “limpa”, voltada para uma tecnologia verde, ou seja, Sistemas de Informação Ambiental de Gestão, proporcionando às empresas projetos de melhoria contínua nos processos de tratamento de água e esgoto (no caso deste objeto de estudo) sem agredir a natureza, com custo baixo, integrando equipes para o gerenciamento e monitoramento, além de proporcionar uma constante “vigília” *online*.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO, CC. **What is Arduino?** (2019) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- CAVALCANTE, Michele M.; SILVA, João Lucas; VIANA, Esdriane C.; DANTAS, Jamilson R. **A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ**. Departamento de Engenharia Elétrica – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia – Paulo Afonso-BA – 2014. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wei/2014/0037.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.
- FOLTYNEK, P; BABIUCH, M; SURANEK, P. Measurement and data processing from Internet of Things modules by dual-core application using ESP32 board. **Measurement and Control**, vol. 52(7-8) 970-984, 2019.
- HOLLIGER, C. et al. Towards a standardization of biomethane potential tests. **Water Science & Technology**, 2016.
- MARTINS, Leonardo de Lucena. **Desenvolvimento de um regulador de pressão microprocessado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo. 2012. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-14092012-160419/publico/Leonardo_de_Lucena_Martins_revisada.pdf. Acesso em: 03 Abr. 2019.
- MORAES, Diogo Luiz. **Desenvolvimento de um sistema de controle e medição de vazão para bombas peristálticas**. Universidade Federal de Ouro Preto – UPOP: Colegiado de Engenharia e Controle e Automação – CECAU – Ouro Preto-MG – 2016. Disponível em: http://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/277/1/MONOGRAFIA_Desenvolvimen doSistemaControle.pdf. Acesso em: 03 Abr. 2019.
- SILVA, G. A; MORAIS JUNIOR, J. A.; ROCHA, E. R. **Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos**. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p.11-16, mar. 2016.

APÊNDICE II



15/12/2020 870200157028
08:34
29409161926690698

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2020 025574 6

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 2

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 12671814000137

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Rua Baraúnas, 351

Cidade: Campina Grande

Estado: PB

CEP: 58429-500

País: Brasil

Telefone: (83) 3315 3383

Fax:

Email: inovatecuepb@uepb.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 15/12/2020 às 08:34, Petição 870200157028

Depositante 2 de 2

Nome ou Razão Social: ALCALITECH FABRICAÇÃO DE APARELHOS E EQUIPAMENTOS DE MEDIDA E CONTROLE LTDA
Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica
CPF/CNPJ: 37234421000197
Nacionalidade: Brasileira
Qualificação Jurídica: Pessoa Jurídica
Endereço: Rua Baraúnas, 351, Sala Lab. Eng.
Cidade: Campina Grande
Estado: PB
CEP: 58429-500
País: BRASIL
Telefone: (83) 215 34555
Fax:
Email: alcalitec@gmail.com

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): MÉTODO BASEADO EM MEDIDA ELETRÔNICA DE PRESSÃO E TEMPERATURA PARA MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM REATORES ANAERÓBIOS

Resumo: O presente invento trata de um método baseado em medidas eletrônicas de pressão para monitoramento da produção de biogás em sistemas anaeróbios, aplicável a biorreatores em escala de bancada, piloto ou industrial. Este método está inserido no campo da automação e instrumentação analítica voltada ao controle de processos e sistemas de produção de biogás, com aplicação na área de alimentos, bebidas, sanitária, combustíveis, dentre outras.

Figura a publicar: 01

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 3**Nome:** RAILSON DE OLIVEIRA RAMOS**CPF:** 09295256476**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins**Endereço:** Rua comerciante Alfredo Ferreira da Rocha N° 740 B, Mangabeira**Cidade:** João Pessoa**Estado:** PB**CEP:** 58055-540**País:** BRASIL**Telefone:** (83) 996 279150**Fax:****Email:** railson_uepb@outlook.com**Inventor 2 de 3****Nome:** THALES LACERDA QUERINO DE ALBUQUERQUE**CPF:** 06650980498**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Analista de sistemas, desenvolvedor de software, administrador de redes e bancos de dados e outros especialistas em informática (exceto técnico)**Endereço:** Rua Maestro Nelson Ferreira N° 171, Nações**Cidade:** Campina Grande**Estado:** PB**CEP:** 58402-605**País:** BRASIL**Telefone:** (83) 994 031366**Fax:****Email:** thaleslqa@gmail.com**Inventor 3 de 3**

Nome: WILTON SILVA LOPES
CPF: 02064721452
Nacionalidade: Brasileira
Qualificação Física: Professor do ensino superior
Endereço: Avenida das Barúnas Nº 131, Cidade Universitária
Cidade: Campina Grande
Estado: PB
CEP: 58109-753
País: BRASIL
Telefone: (83) 321 67438
Fax:
Email: wiltonuepb@gmail.com

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Resumo	Resumo_metodo_final14122020.pdf
Relatório Descritivo	Relatório descritivo_metodo_final14122020.pdf
Reivindicação	Reivindicações_metodo_final14122020.pdf
Desenho	figuras_metodo_final14122020.pdf
Contrato de trabalho	Comprovante de Vínculo - Railson.pdf
Contrato de trabalho	Comprovante de Vínculo - Thales.pdf
Contrato de trabalho	Comprovante de Vínculo - Wilton.pdf
Procuração	Procuração de Cotitularidade_Alcalitech.pdf
Comprovante de pagamento de GRU 200	GRU_29409161926690698_Pedido de Patente_Prof.Wilton_Método_Comprovante.pdf

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

APÊNDICE III

**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT****Número do Processo:** BR 10 2020 025463 4**Dados do Depositante (71)****Depositante 1 de 2****Nome ou Razão Social:** UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica**CPF/CNPJ:** 12671814000137**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa**Endereço:** Rua Baraúnas, 351**Cidade:** Campina Grande**Estado:** PB**CEP:** 58429-500**País:** Brasil**Telefone:** (83) 3315 3383**Fax:****Email:** inovatecuepb@uepb.edu.br**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 14/12/2020 às 08:59, Petição 870200156208

Deposante 2 de 2

Nome ou Razão Social: ALCALITECH FABRICACAO DE APARELHOS E EQUIPAMENTOS DE MEDIDA E CONTROLE LTDA
Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica
CPF/CNPJ: 37234421000197
Nacionalidade: Brasileira
Qualificação Jurídica: Pessoa Jurídica
Endereço: Rua Baraúnas, 351, Sala Lab. Eng.
Cidade: Campina Grande
Estado: PB
CEP: 58429-500
País: BRASIL
Telefone: (83) 215 34555
Fax:
Email: alcalitec@gmail.com

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)
Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): FERRAMENTA ANALÍTICA BASEADA EM SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO ONLINE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM REATORES ANAERÓBIOS
Resumo: O presente invento trata de uma ferramenta analítica baseada em sistema embarcado para monitoramento online da produção de biogás em reatores anaeróbios, aplicável a biorreatores em escala de bancada, piloto ou industrial.
Figura a publicar: 01

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 3**Nome:** RAILSON DE OLIVEIRA RAMOS**CPF:** 09295256476**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins**Endereço:** Rua comerciante Alfredo Ferreira da Rocha N° 740 B, Mangabeira**Cidade:** João Pessoa**Estado:** PB**CEP:** 58055-540**País:** BRASIL**Telefone:** (83) 996 279150**Fax:****Email:** railson_uepb@outlook.com**Inventor 2 de 3****Nome:** THALES LACERDA QUERINO DE ALBUQUERQUE**CPF:** 06650980498**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Analista de sistemas, desenvolvedor de software, administrador de redes e bancos de dados e outros especialistas em informática (exceto técnico)**Endereço:** Rua Maestro Nelson Ferreira N° 171, Nações**Cidade:** Campina Grande**Estado:** PB**CEP:** 58402-605**País:** BRASIL**Telefone:** (83) 994 031366**Fax:****Email:** thaleslqa@gmail.com**Inventor 3 de 3**

Nome: WILTON SILVA LOPES**CPF:** 02064721452**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Fielis:** Professor do ensino superior**Endereço:** Avenida das Barúnas Nº 131, Cidade Universitária**Cidade:** Campina Grande**Estado:** PB**CEP:** 58109-753**País:** BRASIL**Telefone:** (83) 321 67438**Fax:****Email:** wiltonuepb@gmail.com**Documentos anexados**

Tipo Anexo	Nome
Comprovante de pagamento de GRU 200	GRU_29409161926567160_Comprovante.pdf
Desenho	figuras Equipamento_final_11_12_2020.pdf
Reivindicação	Reivindicações Equipamento_final_11_12_2020.pdf
Relatório Descritivo	Relatório descritivo Equipamento_final_11_12_2020.pdf
Resumo	Resumo Equipamento_final_11_12_2020.pdf
Procuração	Procuração de Cotitularidade_Acalitech.pdf
Contrato de trabalho	Comprovante de Vínculo - Railson.pdf
Contrato de trabalho	Comprovante de Vínculo - Thales.pdf
Contrato de trabalho	Comprovante de Vínculo - Wilton.pdf

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

PETICIONAMENTO ELETRÔNICO

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 14/12/2020 às 08:59, Petição 870200156208

APÊNDICE IV





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: BR512020002858-6

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 20/02/2020, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Sistema de Monitoramento On-line de Biorreatores (SISMOBIO)

Data de publicação: 20/02/2020

Titular(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA; ALCALITECH FABRICACAO DE APARELHOS E EQUIPAMENTOS DE MEDIDA E CONTROLE LTDA

Autor(es): RAILSON DE OLIVEIRA RAMOS; THALES LACERDA QUERINO DE ALBUQUERQUE; WILTON SILVA LOPES

Linguagem: HTML; JAVA SCRIPT; PHP

Campo de aplicação: BL-04; EN-02; EN-03; EN-04; SM-01; SM-02; SM-05

Tipo de programa: IT-04

Algoritmo hash: OUTROS

Resumo digital hash: 27873D7C9F619D33AB91E62DB73B6622D66EC84B

Expedido em: 22/12/2020

Aprovado por:
Helmar Alvares
Chefe da DIPTO - Portaria/INPI/DIRPA Nº 09, de 01 de julho de 2019