

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA - CVRM**

**SERGIO GABRIEL RIBEIRO RAMOS**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA ALAGADO  
CONSTRUÍDO EM ESCOAMENTO VERTICAL (SAC-EV) COMO FERRAMENTA  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO DESCENTRALIZADO**

**HUMAITÁ - AM  
2023**

SERGIO GABRIEL RIBEIRO RAMOS

ANÁLISE DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA ALAGADO  
CONSTRUÍDO EM ESCOAMENTO VERTICAL (SAC-EV) COMO FERRAMENTA  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO DESCENTRALIZADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Agricultura, Educação e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof.º Dr. Marcelo Dayron Rodrigues Soares.

DR. MARCELO DAYRON RODRIGUES SOARES.

HUMAITÁ - AM  
2023

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

R175a Ramos, Sergio Gabriel Ribeiro  
Análise da viabilidade da utilização de sistema alagado  
construído em escoamento vertical (SAC-EV) como ferramenta de  
tratamento de esgoto descentralizado / Sergio Gabriel Ribeiro  
Ramos . 2023  
40 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
TCC de Graduação (Engenharia Ambiental) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Saneamento básico. 2. Esgotamento sanitário. 3. Sistema de  
tratamento. 4. Sistema alagado construído. I. Soares, Marcelo  
Dayron Rodrigues. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

SERGIO GABRIEL RIBEIRO RAMOS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMA ALAGADO  
CONSTRUÍDO EM ESCOAMENTO VERTICAL (SAC-EV) COMO FERRAMENTA  
DE TRATAMENTO DE ESGOTO DESCENTRALIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 17/03/2023.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Dayron Rodrigues Soares**

**Instituição: Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/UFAM**

---

**Membro: Me. Tayson Antonio Ceron Rodrigues da Costa**

**Instituição: Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente/UFAM**

---

**Membro: Eng. Ludimila Souza Oliveira**

**Instituição: PPGGEO/UFAM**

## **AGRADECIMENTOS**

Eu gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por sempre derramar sua infinita misericórdia, graças e bênçãos sobre a minha vida, me permitindo lutar todos os dias.

Quero agradecer os meus pais por sempre me apoiarem em todos esses anos, mesmo estando distante deles, eu os amo muito.

Quero agradecer a Universidade Federal do Amazonas por me permitir adquirir uma profissão tão nobre.

Quero agradecer a minha namorada por sempre estar ao meu lado e me conceder apoio nas horas difíceis.

Quero agradecer também a todos os meus amigos e familiares que acompanharam a minha jornada acadêmica, com a ajuda de cada um de vocês eu pude chegar até aqui.

Por fim, grato a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

*“Mas buscai primeiro o Reino de Deus, e a sua justiça, e todas essas coisas vos serão acrescentadas.”*

*Evangelho de Mateus 6:33*

## RESUMO

No Brasil mais da metade do esgoto gerado pela população é tratado, porém, essa é uma realidade somente pelo fato do serviço de saneamento básico, o que inclui a prestação de serviço de esgotamento sanitário está concentrada nas regiões mais populosas do país e em suas capitais, as cidades interioranas localizada principalmente no Norte e Centro-Oeste do país não tem acesso a esse tipo de serviço. O presente trabalho teve como objetivo a implementação de um projeto pioneiro de um Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical (SAC-EV) como ferramenta alternativa de tratamento de esgoto descentralizado, o projeto foi realizado no Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente - IEAA/UFAM, localizado no município de Humaitá, estado do Amazonas. Foram realizadas quatro coletas para análises dos parâmetros de pH, Sólidos Totais, Turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Coliformes termotolerantes. Dentre os oito parâmetros analisados e comparados diretamente com os padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA 357 e 430, o SAC-EV foi capaz de atender cinco deles, ressaltando os resultados de DBO onde foi removendo cerca de 49,36% de matéria orgânica e de Nitrogênio Total onde foi degradado dentro do sistema cerca de 69,15% do poluente, mostrando ser um provável caminho a ser seguido, contudo faz-se necessários mais estudos para adaptar o sistema a todas as particularidades da região.

**Palavras-chave:** Saneamento básico; Esgotamento Sanitário; Sistema de Tratamento; Sistema alagado construído;

## ABSTRACT

In Brazil, more than half of the sewage generated by the population is treated, however, this is a reality only because the basic sanitation service, which includes the provision of sanitary sewage services, is concentrated in the most populous regions of the country and in its capitals, inland cities located mainly in the North and Midwest of the country do not have access to this type of service. The objective of this work was the implementation of a pioneering project of a Constructed Flooded System with Vertical Flow (SAC-EV) as an alternative tool for decentralized sewage treatment, the project was carried out at the Institute of Education, Agriculture and Environment - IEAA/UFAM, located in the municipality of Humaitá, state of Amazonas. Four collections were carried out to analyze the parameters of pH, Total Solids, Turbidity, Biochemical Oxygen Demand, Dissolved Oxygen, Total Phosphorus, Total Nitrogen, Thermotolerant Coliforms. Among the eight parameters analyzed and compared directly with the standards established by CONAMA resolutions 357 and 430, the SAC-EV was able to meet five of them, highlighting the BOD results where it was removing about 49.36% of organic matter and Nitrogen Total where about 69.15% of the pollutant was degraded within the system, proving to be a likely path to be followed, however further studies are needed to adapt the system to all the particularities of the region.

**Keywords:** Basic sanitation; Sanitary Sewerage; Treatment System, Constructed flooded system,



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do corpo receptor do esgoto tratado da UFAM/IEAA	25
Figura 2: Locação do projeto de implementação do projeto	26
Figura 3: Sistema hidráulico do SACV	27
Figura 4: Análise de pH	30
Figura 5: Análise de Sólidos Totais	31
Figura 6: Análise de Turbidez	32
Figura 7: Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio.	33
Figura 8: Análise de Oxigênio Dissolvido	33
Tabela 8: Análise de Fósforos Totais	34
Tabela 9: Análise de Nitrogênio Total	35
Tabela 10: Análise de Coliformes Termotolerantes	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Composição granulométrica do leite filtrante das unidades do SACV	26
Tabela 2: Parâmetros analisados e métodos utilizados	27
Tabela 3: Resultado das amostras analisadas	29

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de meio ambiente
CT	Coliformes Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
SAC	Sistema Alagado Construído
SAC-EV	Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
ST	Sólidos Totais

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICOS.....	16
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
3.1 Avanços da Discussão Ambiental.....	17
3.1.1 Contexto Mundial.....	17
3.1.2 Contexto Brasileiro.....	18
3.2 Saneamento.....	19
3.2.1 Definição.....	19
3.2.2 A Importância do Saneamento.....	20
3.3 Esgotamento Sanitário.....	21
3.4 Sistema alagado construído (SAC).....	23
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
4.1 Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical (SAC-EV).....	25
4.2 Características da Área de Estudo.....	26
4.3 Construção do sistema piloto.....	27
4.4 Condições de operação do sistema piloto e monitoramento.....	28
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
5.1 Potencial Hidrogeniônico - pH.....	30
5.2 Sólidos Totais.....	31
5.3 Turbidez.....	32
5.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	33
5.5 Oxigênio Dissolvido.....	34
5.6 Fósforo Total.....	35
5.7 Nitrogênio Total.....	36
5.8 Coliformes Termotolerantes.....	37
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Através de dados retirados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS (2023), no Brasil apesar do abastecimento de água alcançar a maioria da população cerca de 84,2%, o mesmo cenário não se repete tratando-se coleta e tratamento de esgoto, onde 55,8% dos brasileiros tem acesso a esse tipo de serviço, especialmente, somente 14% das pessoas moradoras da região norte do país essa prestação de serviço.

Os serviços de saneamento básico são indispensáveis para o ser humano, pois estão diretamente ligados às questões de saúde, educação, trabalho, alimentação, moradia entre outras e por estes motivos exercem influência direta e visível sobre a vida de cada pessoa, tornando-se um serviço indispensável para a vida. (GARCIA E FERREIRA, 2017).

A ausência ou deficiência de serviços tão essenciais é uma questão importante, dado que podem causar variados impactos negativos, como por exemplo, doenças de veiculação hídrica, desnutrição ou diarreia crônica, que são muito comuns em países em desenvolvimento atingindo jovens e crianças, comprometendo seu crescimento físico e intelectual. (LEILAS et al, 2015; MENDONÇA E MOTTA, 2009)

Os Sistemas Alagados Construídos (SACs), são projetos idealizados buscando emular fenômenos que acontecem naturalmente em regiões alagadas, onde o solo, plantas e microorganismos dessas regiões operam mutuamente na degradação de substâncias presentes na água, tendo em vista o mesmo objetivo, os SAC's buscam replicar tal processo em um ambiente mais controlado. (VYMAZAL, 2010)

Segundo Molle et al (2005), a singularidade desse sistema é que nos permite realizar o tratamento diretamente com esgoto bruto no primeiro estágio, facilitando assim o gerenciamento de lodo se comparado com um tanque de decantação.

Tratando-se de uma tecnologia de baixo custo, fácil operacionalização e manutenção, que é capaz de receber uma grande gama de efluentes líquidos, onde estes detêm uma notável quantidade de carga de matéria orgânica, os Sistemas Alagados Construídos (SAC) têm despertado um maior interesse nas últimas décadas. (BRASIL et al, 2007)

A grande extensão territorial do nosso país torna difícil do trabalho da universalização do saneamento, em destaque o esgotamento sanitário, visto que para se obter um maior custo benefício com Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), são necessários grandes volumes de efluentes a serem tratados e tal quantidade não é obtida em pequenas cidade, principalmente ao norte do Brasil, mas a implementação de estações de tratamento individuais, à exemplo os SAC, torna-se possível que os serviços de esgotamento sanitário alcancem uma maior parcela da população.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Avaliar as características físico-químicas do esgoto sanitário tratado em Sistema Alagado Construído em Escoamento Vertical (SAC – EV) em diferentes camadas do leito.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- I. Avaliar as características físicas do esgoto sanitário no decorrer da infiltração do efluente em cada camada do SAC-EV;
- II. Avaliação das características químicas do esgoto sanitário no decorrer da infiltração do efluente em cada camada do SAC-EV;
- III. Comparar os parâmetros físico-químicos na recirculação do segundo SAC-EV.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Avanços da Discussão Ambiental**

##### **3.1.1 Contexto Mundial**

Atualmente é indiscutível que o ser humano seja capaz de viver sem adquirir bens, produtos ou serviços, porém, tais benefícios são direta ou indiretamente ligados a exploração de recursos naturais, que por sua vez, devido ao capitalismo que é o modelo econômico predominante na maior parte do mundo faz com que a exploração ocorra de maneira desenfreada, causando assim um grande impacto ambiental negativo.

A subsistência e desenvolvimento do homem frequentemente está ligada à exploração dos recursos naturais que o cercam, sendo motivo de prosperidade ou decadência de civilizações e nações. Por conta dessa dependência, no século XX, a discussão ambiental aos poucos foi ganhando uma maior visibilidade com debates envolvendo assuntos como desenvolvimento e conservação da natureza (IFPI, 2016).

Em junho de 1972, na capital de Estocolmo, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano, sendo considerado um marco histórico. Tal evento reuniu cerca de 113 países com o objetivo de discutir os problemas ambientais, como resultado foi elaborada a Declaração de Estocolmo contendo 26 princípios e a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (CETESB, 2020).

Na cidade do Rio de Janeiro, ocorreu a II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, chamada ECO-92, que teve resultados importantes do ponto de vista diplomático, científico, político, social e da comunicação. Destacou-se a importância da divulgação de informações científicas para a população em geral, tornando-se uma poderosa ferramenta de educação ambiental (NOVAES, 1992).

Faziam-se presentes 117 países, que tiveram como propósito reafirmar as declarações realizadas na conferência de 1972, em Estocolmo, contudo, apesar de divergências apresentadas durante a ECO-92, foram obtidos como resultado: Agenda 21; Declaração do Rio Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Fundo



para o Meio Ambiente, Declaração para o Desenvolvimento Sustentável das Florestas, Quadro de Mudanças Climáticas, Convenção sobre a Diversidade Biológica (SIRVINSKAS, 2013).

Na cidade de Johannesburgo, em 2002, aconteceu a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, popularmente conhecida como Rio+10. Desta vez, 191 países reuniram-se para debater métodos efetivos para auxiliar a África do Sul na busca da paz, erradicação da pobreza e no desenvolvimento sustentável. Da mesma forma que objetivou-se a procurar por soluções para combater o efeito estufa através da diminuição do consumo de combustíveis fósseis por meio da utilização de energia limpa e a proteção da biodiversidade, buscou-se também, determinar medidas para a implementação das Metas de Desenvolvimento do Milênio e fazer uma verificação das declarações firmadas na ECO-92 (SIRVINSKAS, 2013).

Em 2012 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável ou Rio+20, a qual 193 países reuniram-se para discutir temas relacionados a questões sociais, gerais e metas para 2032. Porém, a dificuldade de consenso recaiu sobre a responsabilidade comum, mas diferenciada, onde os países ricos seriam os mais afetados, como resultado, foi formulado o documento chamado O Futuro que Queremos, que reafirma os 27 princípios que foram reconhecidos na ECO-92 entre outros diversos pontos (SIRVINSKAS, 2013).

### **3.1.2 Contexto Brasileiro**

Ao longo dos anos, os instrumentos legais utilizados pelas políticas públicas ambientais brasileiras foram moldados pelas particularidades econômicas, políticas e sociais de suas épocas. Buscando atender essas demandas, esses instrumentos foram desenvolvidos e aperfeiçoados, atualmente, o Brasil dispõe de uma diversa rede de ferramentas, operacionadas por múltiplos órgãos governamentais, o que por sua vez fundamentam os mecanismos ambientais legais (SILVA et al, 2019).

As primeiras leis ambientais a serem promulgadas no Brasil foram a Lei nº 4.504/1964 - Estatuto da Terra e a Lei nº 4.771/1965 - Código Florestal, que estabelecem respectivamente, “Art. 1º Esta Lei regula os direitos e obrigações concernentes aos bens imóveis rurais, para os fins de execução da Reforma Agrária e promoção da Política Agrícola.” (BRASIL, 1964, p.1) e fica determinado que toda a forma de vegetação dentro do território nacional que tenha um utilidade comprovada

para a terra onde está, é assegurada como propriedade pública, desta forma, ultrapassando os direitos de propriedade privada (BRASIL, 1965).

No ano 1975 o Brasil promulgou a Lei nº 1.413/1975 a qual designou que a Secretaria de Meio Ambiente deveria ser responsável pelo monitoramento e controle da poluição ambiental, essa lei serviu como incentivo para que outras esferas governamentais pudessem criar suas próprias prerrogativas legais. Outro episódio que contribuiu para criação dos atuais formatos de gestão ambientais foi a Lei de nº 6.938/1981, conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente, que por consequência consolidou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que possibilitou a criação de inúmeros outros instrumentos e políticas objetivando a temática ambiental (SILVA et al, 2019).

Por fim, nas últimas décadas, as políticas ambientais que mais provocaram mudanças e atualizações nos mecanismos e ferramentas ambientais nacionais foram as Lei nº 9.433 - Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 12.305/2010 - Instituição da Política Nacional dos Resíduos Sólidos e a Lei nº 12.651 - Aprovação do Código Florestal, tais políticas fundamentam ainda hoje a gestão de políticas ambientais no país.

## **3.2 Saneamento**

### **3.2.1 Definição**

O saneamento básico no Brasil é definido pela Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que em seu Art.1º determina “Esta Lei estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.” (BRASIL, 2007, p.1).

De acordo com o Art.2º da mesma lei, alguns dos princípios fundamentais para o serviço público de saneamento são: o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana, o manejo dos resíduos sólidos e o serviço de drenagem e manejo das águas pluviais, buscando a conservação de recursos naturais, a proteção da saúde pública e do meio ambiente, bem como a adoção de mecanismos e procedimentos que melhor se adequem às características e particularidades de cada região (BRASIL, 2007).

Em seu Art.3º a Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, considera “saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações

operacionais” (BRASIL, 2007, p. 2). Igualmente no mesmo artigo, os termos abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são definidos como:

Abastecimento de águas potável: composto pelos serviços de captação e distribuição pública de água potável até os instrumentos de medição das edificações, bem como pela atividade, disponibilização e manutenção da infraestrutura das instalações necessárias para realizar tais serviços (BRASIL, 2007).

Esgotamento sanitário: formado pela atividade, disponibilidade, manutenção e infraestrutura das instalações operacionais necessárias para realização dos serviços de coleta, transporte e disposição ambientalmente adequada dos esgotos sanitários, desde a residência até o local de sua disposição final (BRASIL, 2007);

Limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos: constituído pelos atos de varrição manual ou mecanizada, limpeza e conservação urbana, coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e da limpeza urbana, incluindo as atividades, disponibilidade, manutenção da infraestrutura e instalações operacionais necessárias para efetuar tais demandas (BRASIL, 2007).

Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas: integralização da atividade, infraestrutura, operacionalização e manutenção das redes responsáveis pela da drenagem, transporte, detenção ou retenção das águas pluviais urbanas com o objetivo de se controlar as vazões de cheia e seu tratamento e disposição final (BRASIL, 2007).

### **3.2.2 A Importância do Saneamento**

De acordo com a FUNASA (2019), o aumento populacional e a modernização urbana realizaram no ambiente diversas alterações como a impermeabilização do solo, aumento na geração de efluentes líquidos, de resíduos sólidos e consumo excessivo de água potável. Estes, por sua vez, geram situações de risco à saúde pública e ao meio ambiente. A percepção do saneamento e a sua funcionalidade sofreram modificações ao longo dos anos, visto que as expressões culturais homem e natureza também sofreram alterações, bem como a ampliação do acesso ao

conhecimento, a ascensão às novas classes sociais igualmente transformam esta percepção.

A falta de saneamento básico é responsável por grandes gastos relacionados ao tratamento de doenças infecciosas e parasitárias, a falta de efetivo em locais de trabalho, degradação ambiental e queda de produtividade (BNDS, 2016). Segundo a ONU (2010, p. 01). "A água potável segura e o saneamento adequado são fundamentais para a redução da pobreza, para o desenvolvimento sustentável e para a prossecução de todos e cada um dos Objectivos de Desenvolvimento do Milénio."

O saneamento básico, portanto, figura não somente uma função ambiental ou econômica, mas também social, pois representa um importante instrumento de promoção da dignidade e, por conseguinte, dos direitos humanos, uma vez que estabelece condições mínimas e essenciais para a subsistência, ou seja, tratar do habitat é tratar do indivíduo. Uma vez que medidas em vista de preservar o meio ambiente de impactos gerados pelos efluentes de esgoto ou de água contaminada verifica-se também melhores na qualidade de vida da população que passa a gozar de uma qualidade de água melhor, de nascentes limpas e ar atmosférico menos poluído o que conseqüentemente, implica em uma melhoria da saúde pública e da expectativa de vida. O nível de saneamento básico de uma população é um espectro de sua dignidade, da valorização do meio ambiente e, sobretudo, da pessoa humana enquanto dotada de valores e direitos fundamentais. Saneamento básico é, portanto, respeito à vida (Garcia e Ferreira, 2017).

Por conta desses motivos, a Resolução nº430, de 13 de maio de 2011, dispõe em seu Art.1 sobre os parâmetros, condições e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e ainda complementa e altera relativamente a Resolução nº 357, de 13 de março de 2005. Em seu Art. 3 determina que somente os efluentes que foram tratados seguindo os padrões e diretrizes determinados na mesma resolução poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores, não importando qual seja a sua fonte de lançamento (BRASIL, 2011).

### **3.3 Esgotamento Sanitário**

O Brasil por meio da Lei nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, que por sua vez "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos

respectivos usos” (BRASIL, 2007, p.1). As regiões com uma maior densidade populacional como capitais ou regiões metropolitanas, se tornam um complicado desafio a ser superado, por conta da dificuldade de garantir a infraestrutura mínima de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário para toda a população, tal realidade se tornou ainda mais evidente devido aos acontecimentos críticos dos últimos anos, que deixou claro a necessidade de um maior investimento nas áreas de gestão de recursos hídricos, garantindo assim um melhor desenvolvimento social e econômico (ANA, 2017).

A água é utilizada de inúmeras formas pelo ser humano, por conta disso, se torna indispensável o uso de mecanismos que sejam capazes de realizar o afastamento desta água que agora é denominada de esgoto, águas servidas ou residuárias, pois suas características básicas foram alteradas em razão da finalidade a qual foi destinada. O retorno imediato dessas águas residuais ao ambiente, pode causar distúrbios na saúde pública como doenças de veiculação hídrica e impactos ambientais negativos, especialmente a contaminação e poluição de águas superficiais e subterrâneas. Os países emergentes detêm os maiores percentuais de déficit de infraestruturas de saneamento básico, o consumo de água potável e geração de esgoto são impulsionados pelo crescimento urbano e desenvolvimento tecnológico, provocando assim, o descarte descontrolado de águas servidas (FUNASA, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), o Brasil em 2021 tem uma população estimada de 213.317.639 habitantes, onde cerca de 85,5% dos domicílios brasileiros estão ligados a rede de abastecimento de água, porém, apenas 68,3% de domicílios estão ligados a rede coletora de esgotamento sanitário. O Estado do Amazonas conta com uma população estimada de 4.269.995 habitantes para 2021, contudo não são apresentados dados referentes ao panorama geral de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário do estado. (IBGE, 2021). Por sua vez o Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento - SNIS, informa que a média de atendimento do sistema de esgotamento sanitário no país é de 55,8% e a porcentagem da população atendida por região é de: Sul 48,4; Sudeste 81,7%; Centro-Oeste 61,9%; Nordeste 30,2% e Norte 14% (SNIS, 2021).

O país conta com dois tipos de modalidade de prestação de serviço de esgotamento sanitário, a primeira delas é a forma indireta, quando ocorre a

transmissão desta responsabilidade para uma autarquia municipal, companhia estadual ou instituição privada, a segunda é a direta, quando não é instituído um prestador de serviço. No entanto, a primeira é mais presente nas regiões nordeste, sudeste e sul, abrangendo dessa forma cerca de 88,9% da população que está concentrada em capitais e centro urbanos, já a segunda, é predominante nas regiões norte e centro-oeste, com municípios de menor ou pequeno porte alcançando somente 11,1% da população, vale ressaltar que em ambas as modalidades existe déficit de fornecimento de serviço, mas tal deficiência se torna mais evidente na modalidade direto, pois apenas 5% dos municípios apresentam algum tipo de sistema de esgotamento sanitário (ANA, 2017).

A região norte do país, conta com o pior percentual de serviço de esgotamento sanitário, somente 14% dos municípios são contemplados, onde apenas 22% do esgoto é coletado e 19% é tratado (ANA, 2017; SNIS, 2021).

São presentes no Brasil cerca de 2.768 estações de tratamento de esgoto (ETE) distribuídas entre 1.592 cidades, diversas formas de tratamento são encontradas no país, desta maneira, as ETE's foram classificadas através do agrupamento de taxa de remoção de matéria orgânica ou demanda química de oxigênio (DBO), onde 9,35% enquadram-se em até 60% de remoção, 51,58 estão classificadas entre 60% até 80%, as estações de tratamento de alcançam uma taxa maior que 80% são um total de 30,31%, já as estações que ultrapassam 80% e ainda realizam a retiradas de nutrientes são cerca de 4,73% e cerca de 4,01% não atingem o valor mínimo de 60% de remoção. Observa-se então a predominância de ETE's com eficiência de 60% até 80% de remoção (ANA, 2017).

### **3.4 Sistema alagado construído (SAC)**

Os sistemas alagados construídos (SAC) são uma tecnologia de pré-tratamento bastante difundida no mundo, contendo diversas variações, mas seus três principais sistemas são o SAC de escoamento horizontal subsuperficial, SAC de escoamento vertical e SAC de escoamento vertical (Sistema Francês) (SPERLING E SEZERINO, 2018).

Segundo Matos (2010) os Sistemas Alagados Construídos (SAC) são compostos por meios porosos que agem como um filtro natural, geralmente constituídos de brita ou cascalho. Esse meio filtrante serve de base para o cultivo de vegetais e para a criação de um biofilme, esses dois elementos efetuam a remoção

de matéria orgânica, atrelado a isso, mecanismos físicos e químicos de remoção de poluentes também ocorrem.

A utilização de Sistemas Alagados Construídos (SAC) vem ganhando força desde a década de 70, devido aos mecanismos bióticos e abióticos na mineralização da matéria orgânica, absorção de nutrientes, sedimentação e adsorção de íons no meio filtrante. (LIN et al, 2005). Tratando-se de uma tecnologia de baixo custo, fácil operacionalização e manutenção, que é capaz de receber uma grande gama de efluentes líquidos, onde estes detêm uma notável quantidade de carga de matéria orgânica, os Sistemas Alagados Construídos (SAC) têm despertado um maior interesse nas últimas décadas (BRASIL et al, 2007).

Vale ressaltar que para países em desenvolvimento, onde as condições de saneamento básico são desiguais em diversas regiões, à exemplo o Brasil, o Sistema Alagado Construído, por ser uma tecnologia com baixo custo de implementação e fácil entendimento técnico, pode ser uma ferramenta para auxiliar no progresso de tratamento de esgoto em diversas cidades. A disposição de efluentes não tratados em corpos hídricos representam um perigo real à saúde, por meio de doenças de veiculação hídrica, para o meio ambiente, como a eutrofização exemplificando desequilíbrios ambientais e sociais, pois lagos, rios e córregos contaminados causam um grande impacto, seja pelo mal cheiro ou pelo aspecto poluído.

## **4. METODOLOGIA**

O trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento de esgoto sanitário doméstico no Sistema Alagados Construídos em Escoamento Vertical (SAC-EV), composto por duas unidades com escoamento vertical e que operam em paralelo. Esse sistema, segue as características típicas do Sistema Francês (French system) e foi projetado de acordo com as recomendações detalhadas por Molle et al. (2005). Foi realizada uma visita no local onde foi implementado o sistema com o objetivo de analisar as características do esgoto gerado pela comunidade, a variação de vazão e o local onde o efluente tratado pelo sistema seria disposto, como recomendado por Sperling e Sezerino (2018).

### **4.1 Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical (SAC-EV)**

Os Sistemas Alagados Construídos (SACs), são projetos idealizados buscando emular fenômenos que acontecem naturalmente em regiões alagadas, onde o solo, plantas e microorganismos dessas regiões operam mutuamente na degradação de substâncias presentes na água, tendo em vista o mesmo objetivo, os SAC's buscam replicar tal processo em um ambiente mais controlado (VYMAZAL, 2010).

Segundo Molle et al (2005), a singularidade desse sistema é que nos permite realizar o tratamento diretamente com esgoto bruto no primeiro estágio, facilitando assim o gerenciamento de lodo se comparado com um tanque de decantação.

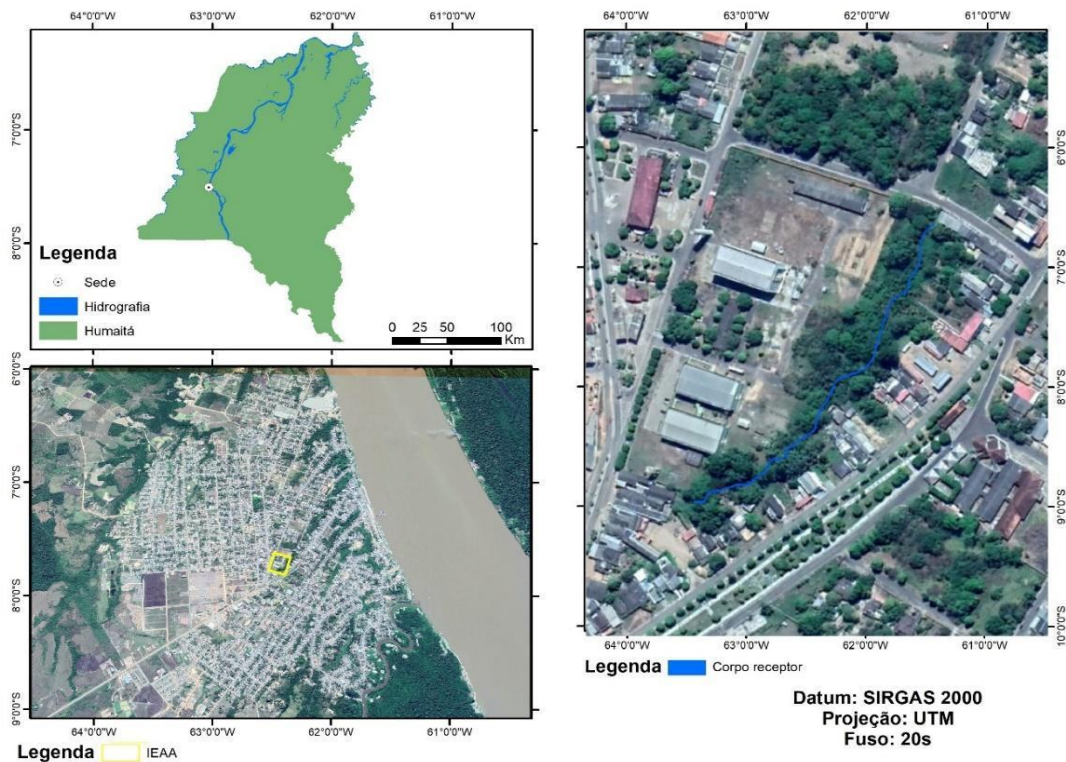
O Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Vertical (SAC-EV) são compostos por dois estágio em sequência, o primeiro recebe após o gradeamento, o esgoto bruto ele objetiva primariamente a remoção de sólidos em suspensão e a matéria orgânica, da mesma forma contribuindo com uma retirada parcial de nitrogênio amoniacal por nitrificação. Como são postos em sequência, o segundo estágio recebe diretamente o efluente do primeiro, dessa maneira ele realiza um refinamento do processo, aumentando a remoção de sólidos em suspensão e de matéria orgânica remanescentes do primeiro estágio, mas sobretudo atua na retirada de nitrogênio amoniacal através do processo nitrificação (SPERLING E SEZERINO, 2018).



## 4.2 Características da Área de Estudo

O Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente - IEAA é um campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM que está localizado no município de Humaitá, ao Sul do estado do Amazonas à margem esquerda do Rio Madeira, realiza fronteira com os municípios de Tapauá e Canutama à Oeste, Manicoré ao Leste e Norte e ao Sul com o Estado de Rondônia (IBGE, 2023). Segundo INMET (2009) o clima da região é classificado como tropical chuvoso, com precipitação média anual de 2.193,6 mm, o período de chuva ocorre entre os meses de outubro e março, já o período de estiagem abrange os meses de junho a Agosto e os meses que não estão enquadrados no período chuvoso ou seco são considerados como período de transição.

Figura 1 - Localização do corpo receptor do esgoto tratado da UFAM/IEAA



Fonte: elaborada pelo autor.

### 4.3 Construção do sistema piloto

A Figura 1 demonstra a unidade experimental construída que foi implementada ao nível do solo utilizando 2 caixas d'água com volume de 500 L, com altura de 80 cm e diâmetro de 110 cm. O meio suporte foi selecionado levando em consideração a suas frações granulométricas, dessa forma adquiriu-se um meio poroso composto por brita, areia grossa e areia fina. Desta maneira, na Tabela 1 são apresentados os valores de altura de cada leito juntamente com o valor granulométrico de cada material de suporte. O SAC-EV foi projetado para receber efluente do tanque séptico do IEAA com vazão de 0,081 L/s.

Figura 2 - Localização do projeto de implementação do projeto.



A – Sistema filtro aeróbio antes da locação do SACV; B – Sistema alagado construído implantado no lugar do filtro aeróbio em operação.

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 1 - Composição granulométrica do leito filtrante das unidades do SACV

CAMADA	MATERIAL	ALTURA DO LEITO (cm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)
Superior	Areia Fina	5	0,3
Transição	Areia Grossa	20	3 - 12
Drenagem	Brita	40	20 - 60

Foram selecionadas tubulações de PVC de 50 mm para o sistema hidráulico das unidades do SAC-EV, para alimentar com efluente oriundo do Tanque Séptico (TS) e coletar o efluente tratado com tubos perfurados nas laterais dispostos na extensão rente ao fundo do SAC-EV.

Figura 3 - Sistema hidráulico do SACV



A - Registro manual para regulagem da vazão; B – Entrada do efluente no SACV.

Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.4 Condições de operação do sistema piloto e monitoramento

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira foi considerada a fase de aclimatação do sistema que teve como objetivo melhorar o desenvolvimento do biofilme no meio suporte, por meio da alimentação de esgoto proveniente da fossa séptica do IEAA mantendo-os saturados por duas semanas, do mesmo modo auxiliando no crescimento e boa adaptação da vegetação escolhida para compor o sistema que foi o capim *Brachiaria subquadripara*. Após a adaptação do vegetal no sistema, foi feita a coleta de material para análise do tecido vegetal com intuito de avaliar a eficiência de remoção da matéria orgânica e nutrientes.

Na segunda fase foi realizada a avaliação da eficiência de cada leito do SAC-EV, através da coleta e análise de amostras de efluentes. Os seguintes parâmetros físico-químicos foram averiguados: pH, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos em suspensão voláteis, turbidez, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio e fósforo. A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados e a metodologia utilizada.

Durante a realização do projeto, foram realizadas quatro coletas, durante os meses outubro à março período esse chuvoso na região, para cada leito do SAC – EV.

Tabela 2. Parâmetros analisados e métodos utilizados.

PARÂMETROS AVALIADOS	UNIDADE	MÉTODO ANÁLITICO
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	Potenciométrico
Sólidos Totais (ST)	mg/L	Gravimétrico
Turbidez	mg/L	Espectrofotométrico – Salicilato

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	Método Sulfanílico
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	Eletrométrico
Fósforo (P)	mg/L	Espectrofotômetro
Nitrogênio Total (NT)	mg/L	Titulométrico
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	Tubos múltiplos

pH – Potencial hidrogeniônico; ST - Sólidos totais; Turbidez; DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; OD – Oxigênio dissolvido; P - Fósforo; NT – Nitrogênio Total; Coliformes Termotolerantes

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análises das amostras retiradas dos quadros pontos de coleta do SAC-EV, com o objetivo de verificar a sua eficiência estão presentes na Tabela 3, constando as médias aritméticas para cada parâmetro. Vale ressaltar a notória eficiência do sistema atuando em todos os padrões analisados.

Tabela 3: Resultado das amostras analisadas

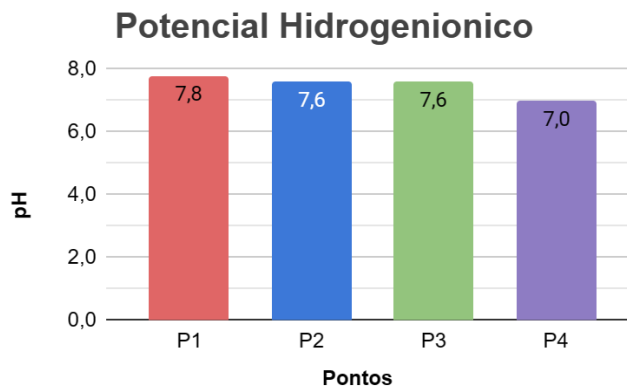
PARÂMETRO	UNIDADE	P1	P2	P3	P4
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	7,8	7,6	7,6	7
Sólidos Totais (ST)	mg/L	250	220	200	190
Turbidez	mg/L	68,1	34,3	33,1	24,4
Demanda Bio-química de Oxigênio (DBO)	mg/L	55,29	28,32	27,64	27,29
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	2	2,1	4,1	4,3
Fósforo Total (P)	mg/L	10,65	9,55	8,15	5,35
Nitrogênio Total (NT)	mg/L	10,21	16,81	9,51	3,15
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	$3,2 \times 10^5$	$2,8 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$

pH – Potencial hidrogeniônico; ST - Sólidos totais; Turbidez; DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; OD – Oxigênio dissolvido; P - Fósforo Total; NT – Nitrogênio Total; Coliformes Termotolerantes

### 5.1 Potencial Hidrogeniônico - pH

É possível observar no Gráfico 1 que os valores de pH do efluente analisado já estavam na faixa de valor de um solução básica e também estavam enquadrados nos parâmetros exigidos pelas resoluções CONAMA 357 e 430, que determinam dos padrão de lançamento de efluentes tratados, contudo, o SAC-EV efetuou o processo de neutralização do efluente.

Figura 4: Análise do pH.



Fonte: Autor

Segundo Sperling (2005) essa redução se dá devido ao metabolismo celular dos microrganismos presentes no meio suporte, no ato da degradação de matéria orgânica para a obtenção de energia e seus subprodutos gerados são ácidos voláteis, que por sua vez quando presentes em uma solução básica tendem a reduzir o seu pH e tal fato confirma a degradação de substâncias pelo biofilme do SAC-EV. Os valores de pH presentes em um corpo hídrico é comumente são considerados pouco representativos, devido a alta quantidade de compostos que podem influenciar tal parâmetro (CETESB, 2017).

## 5.2 Sólidos Totais

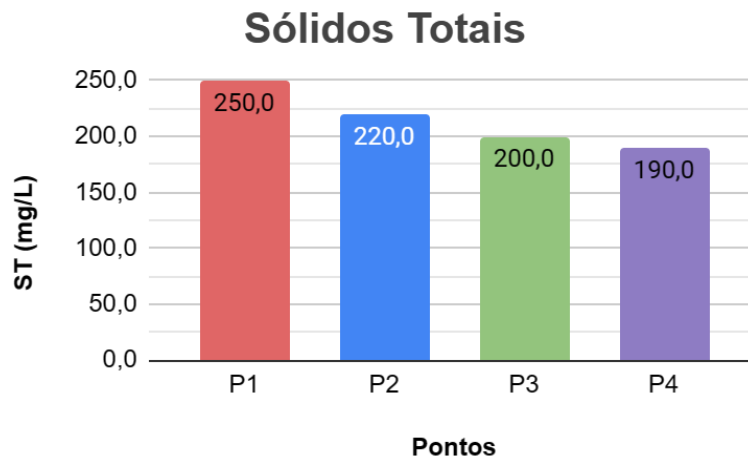
Os sólidos totais estão dentre os parâmetros utilizados para classificar fisicamente as águas. Eles fornecem indicadores prévios importantes para a caracterização química da água (Piveli, 2010). Assim como também afirma Poletto e Laurenti (2008), a avaliação dos sólidos carregados é crucial para uma melhor interpretação dos potenciais poluidores.

Através de estudos preliminares de caracterização do efluente líquido que será tratado, consegue-se uma estimativa da fração de sólidos presentes no esgoto e mediante a isso é possível traçar um quadro geral de seu tamanho e natureza, se tornando uma importante ferramenta para entender o comportamento da água em questão (CETESB, 2017).

No Gráfico 2, é possível observar que o efluente ao entrar no primeiro estágio, ou seja P1, está com 250ml/L de ST, mas ao alcançar o P3 que está localizado na estrada do segundo estágio, está com 200ml/L, é fácil notar que a

maior parte da retenção aconteceu no primeiro estágio. Seguindo os parâmetros estabelecidos pelas resoluções CONAMA 357 e 430, o efluente já estaria dentro dos padrões permitidos por mais, mas vale ressaltar que o SAC-EV realizou a melhoria desses valores.

Figura 5: Análise de Sólidos Totais



Fonte: Autor

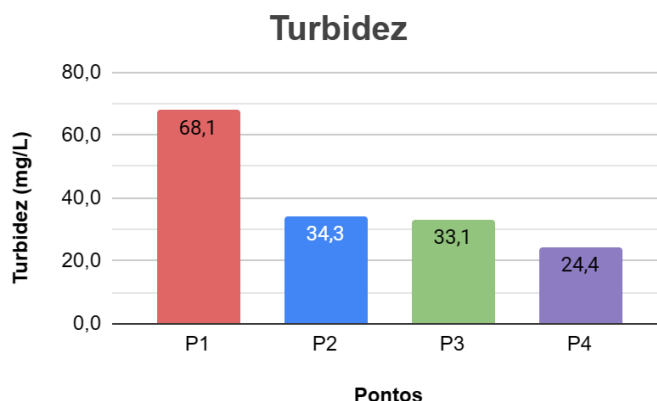
### 5.3 Turbidez

A turbidez representa a capacidade da matéria que está suspensa em um fluido afetar o fluxo de energia luminosa, ou seja, de interferir na passagem de luz, tornando assim a água turva (SINCERO E SINCERO, 2002).

Conforme consta no Gráfico 3, é possível é notável o declínio dos índices de turbidez a partir do ponto P1 (68,1 mg), passando em sequência pelos pontos P2 (34,3 mg), P3 (31,1 mg) até chegar ao ponto P4(24,4 mg). Uma vez que nas resoluções CONAMA 357 e 430 os padrões exigidos são de 57,67 mg/L, o SAC-EV conseguiu alcançar os padrões estabelecidos pela legislação.



Figura 6: Análise de Turbidez



Fonte: Autor

#### 5.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio

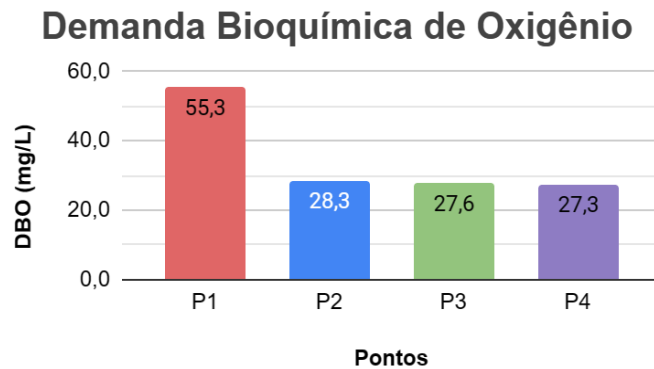
Os elevados valores de DBO presentes em um corpo hídrico estão comumente ligados a altas cargas de matéria orgânica dispostas naquele ambiente, o que pode acarretar no esgotamento de oxigênio da água, gerando mau odor e na proliferação de microflora local (CETESB, 2017).

Segundo Freire (2010) a DBO é um importante parâmetro para o controle da qualidade ambiente, pois ela afeta diretamente a capacidade de autodepuração do corpo receptor.

O Gráfico 4 demonstra que ocorreu uma redução dos indicativos de DBO nos ponto P1 até P2 e para P3 e P4 a redução foi pouco considerável. A diminuição da DBO mostra que a carga orgânica presente no efluente tratado está sendo consumida pelos microrganismos presentes no sistema. Uma vez que nas resoluções CONAMA 357 e 430 os padrões exigidos são de no máximo 120 mg/L, o efluente já estaria atendendo aos padrões, mas o SAC-EV realizou a melhoria deste parâmetro.



Figura 7: Análise de DBO



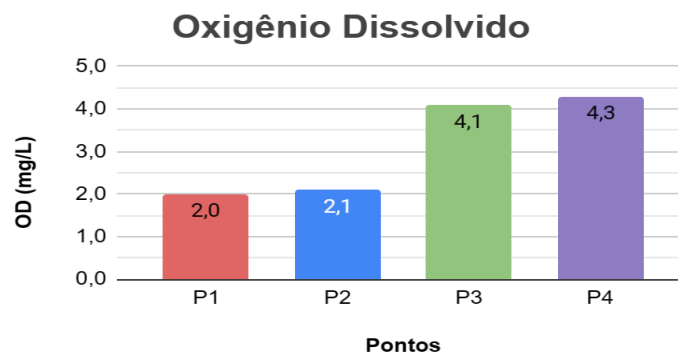
Fonte: Autor

### 5.5 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido afeta diretamente o mecanismo de autodepuração de um corpo hídrico, sendo essencial para toda forma de vida, sendo um indicativo da qualidade do corpo receptor (VON SPERLING, 2005).

Ao avaliar os valores obtidos apresentados no Gráfico 5, é possível perceber o claro aumento da taxa de oxigênio disponível no efluente tratado, enfatizando também que somente a partir do pontos 3 e 4 foi onde ocorreu essa maior disponibilidade de oxigênio. Isso devido à presença da vegetação atribuindo principalmente ao transporte do gás ao sistema de raízes e à rizosfera através do seu tecido formado por aerênquimas (LAWSON, 1985; STOTTMEISTER et al., 2003). Uma vez que nas resoluções CONAMA 357 e 430 os padrões exigidos são de no mínimo 6 mg/L, o SAC-EV não foi capaz de alcançar esse parâmetro.

Figura 8: análise OD



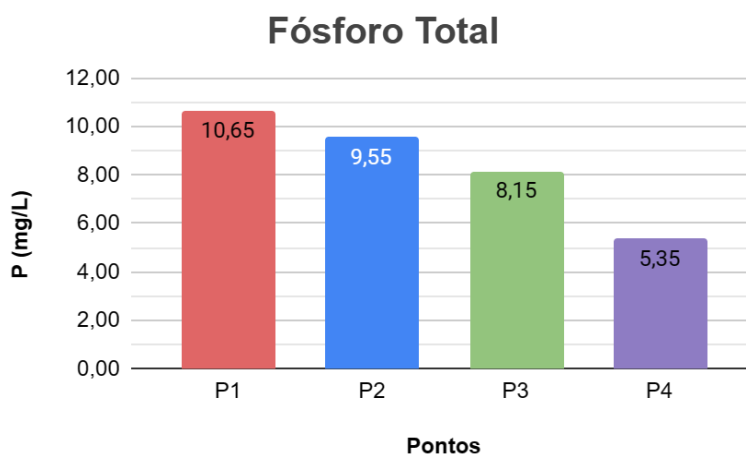
Fonte: Autor

## 5.6 Fósforo Total

As altas concentrações de fósforo presente em corpos d'água, são originários das descargas de esgotos sanitários que são dispostos irregularmente no ambiente, dentro deste, o fósforo se faz presente na urina, nas fezes humanas e em produtos de limpeza usados diariamente em residências são as principais fontes desse poluente (CETESB, 2017). Esse poluente é uma das principais fontes de nutriente para a realização de processos biológicos, com conta disso, sua disponibilidade indiscriminada em rio e principalmente lagos pode acarretar no agravamento do crescimento de algas, indicando um processo conhecido como eutrofização (PAIVA E PAIVA, 2003). Von Sperling (2005) define eutrofização como o agravado crescimento de algas em um meio aquático, causando um grande consumo de oxigênio dissolvido, causando um impacto ambiental negativo.

No Gráfico 6 está representado as análises de Fósforo presente dos quatro pontos de coletas, durante a operacionalização do SAC-EV.

Figura 9:: Análise de Fósforo Total



Fonte: Autor

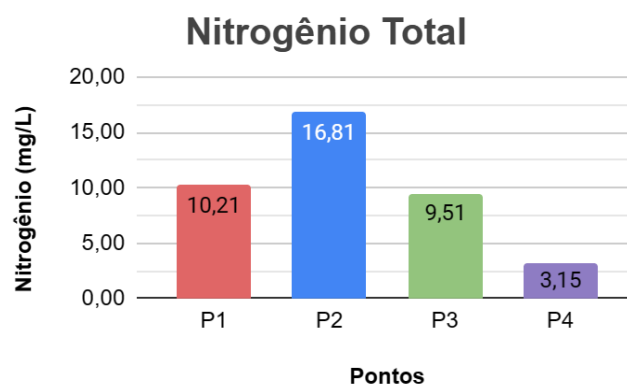
É possível observar que durante todo o processo de tratamento do SAC-EV ocorreu a degradação do poluente em questão, que antes de adentrar sistema apresentava o valor de 10,65 mg/L, 9,55 mg/L, 8,15 mg/L, 5,35 mg/L, respectivamente nos pontos 1, 2, 3 e 4, contudo processo que ocorreu entre os pontos 3 e 4 foi o mais significativo, apresentando a maior eficiência. Essa diferenciação pode ser atribuída a presença do capim *Brachiaria subquadripata* que

como afirma Chung et al. (2007) a presença de plantas podem evidentemente realizar a remoção de fósforo, pois elas estão prontas para isso. Uma vez que nas resoluções CONAMA 357 e 430 os padrões exigidos são de 0,020 mg/L, o SAC-EV não conseguiu alcançar os parâmetros exigidos pela legislação.

## 5.7 Nitrogênio Total

Como é afirmado por Von Sperling (2005), a principal fonte de inserção do Nitrogênio e Fósforo no meio ambiente, mas especificamente em corpos d'água é por intermédio de esgotos domésticos que são ricos em matéria orgânica e ureia. Após a análise dos valores de nitrogênio presentes no efluente tratado pelo SAC-EV, apresentados no Gráfico 7, é visível a interação dos composto químico com os microrganismos e vegetação presente no sistema, visto a divergência de valores apresentados nos pontos 1 e 2, que são respectivamente 10,21 mg/L e 16,81 mg/L, onde segundo Von Sperling (2005), o nitrogênio amoniacal é o primeiro subproduto gerado oriundo da degradação da matéria orgânica. Já nos pontos 3 e 4 com a DBO reduzida a mais da metade, os valores de nitrogênio chegaram ao patamar de 3,15 no último ponto, sendo metabolizado pelo capim *Brachiaria subquadrifera*. Uma vez que nas resoluções CONAMA 357 e 430 os padrões exigidos são de no máximo 3,7 mg/L quando o pH for 7,5 o SAC-EV atendeu aos padrões exigidos pela legislação.

Figura 10: Análise de Nitrogênio Total



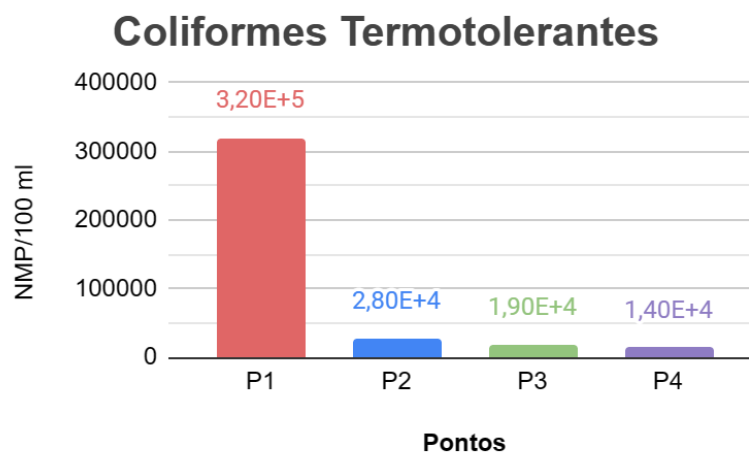
Fonte: Autor

## 5.8 Coliformes Termotolerantes

Os Coliformes são um grupo de microrganismos que realizam a fermentação do leite entre 44 e 45°C, sendo a mais conhecida *Escherichia coli*, sempre presente em ambientes contaminados com fezes, mas as outras dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* podem estar presentes em ambientes não contaminados, contudo, o parâmetro de coliformes fecais ou termotolerante são um padrão exigido da legislação brasileira (CETESB, 2017).

No Gráfico 8, é apresentado os resultados da análise de Coliformes Termotolerantes, onde é possível verificar que a camada de biofilme presente no primeiro estágio, realizou uma grande degradação das bactérias de Coliformes Termotolerantes presentes no efluente, dado que o valor de CT em P1 era de 320.000 NMP/100ml e no P2 seu valor passou a ser de 28.000 NMP/100ml, chegando até 14.000 NMP/100ml ao final do sistema como demonstrado em P4, no entanto, não foi possível alcançar os padrões estabelecidos na resolução CONAMA 357 e 430 é de 200 NMP/100ml.

Figura 11: Análise de Coliformes Termotolerante



Fonte: Autor

## 6. CONCLUSÃO

A necessidade do fornecimento de saneamento básico para o bem estar da sociedade é inegável, pois tal infraestrutura afeta diretamente à saúde, educação, trabalho e convívio da população, mas infelizmente esse é um direito garantido através de leis que nem todos os brasileiros têm acesso. As regiões com o maior déficit desse atendimento são principalmente as regiões Centro-Oeste e Norte do país, onde a maior parte do atendimento fornecido está centralizado nas capitais dos estados, deixando os pequenos municípios sem essa prestação de serviço público.

Dessa forma a implementação do Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical (SAC-EV) como ferramenta de estudo para o solucionar o problemas de esgotamento sanitário de forma descentralizada no município de Humaitá-AM foi de grande valia, em uma região onde fornecimento público de saneamento básico é quase inexistente se faz necessária a busca por alternativas que possam suprir as necessidades da população.

O SAC-EV mostra-se sendo uma possibilidade promissora, tendo em vista o seu baixo custo de implementação, facilidade de operacionalização e resultados obtidos. Dentre os oito parâmetros analisados e comparados diretamente com os padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA 357 e 430, o SAC-EV foi capaz de atender cinco deles, ressaltando os resultados de DBO onde foi removendo cerca de 49,36% de matéria orgânica e de Nitrogênio Total onde foi degradado dentro do sistema cerca de 69,15% do poluente, mostrando ser um provável caminho a ser seguido, contudo faz-se necessários mais estudos para adaptar o sistema a todas as particularidades da região.

## REFERÊNCIAS

BONIFÁCIO, Cássio Maria; NÓBREGA, Maria Teresa de. **Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental**

Brasil, **Lei nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965, As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 1965

BRASIL, **Lei nº 4.504**, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1964

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. **Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha sp.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.12, p. 266-272, 2007.

Brasil, **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, 2011

BRASIL. Decreto-lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978.

CETESB. Conferência de Estocolmo. PROCLIMA, mar. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencias-internacionais-sobre-o-meio-ambiente/estocolmo/>. Acesso em: 22 mar. 2022

CETESB. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das águas e dos sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 44. 2017

CHUNG, A. K. C. et al. Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. **Ecological Engineering**, v. 32, n. 1, p. 81-89, 2008.

FREIRE, Rosane. **Monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Maringá**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

GARCIA, Mariana Silva Duarte; FERREIRA, **Mateus de Paula**. **Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana**. Dignidade Re-Vista, v. 2, n. 3, p. 12, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Amazonas. 2017.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília, DF. 465p. 2009.

LAWSON, G. J. **Cultivating reeds for root zone treatment of sewage**. Project Report 965, Inst. Terrestrial Ecol., Cumbria, UK. 1985.

LEIVAS, Pedro Henrique Soares; GONÇALVES, Rodrigo da Rocha; SANTOS, Anderson Moreira Aristides; SOUZA, Osmar Tomaz; **Sustentabilidade, saneamento e saúde infantil no Brasil: uma análise a partir de macro e micro dados**. XVIII Encontro de Economia da Região Sul – ANPEC/SUL 2015, Porto Alegre, 2015.

LIN, Y.F. et al. **Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate**. Environmental Pollution, v.134, pp.411-421, 2005.

MATOS, A.T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: UFV, Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2010. 140p

MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso de; MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Saúde e saneamento no Brasil**. 2005.

MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. **How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems**. Water Science & Technology, v.51, n.9, p.11-21, 2005.

NOVAES, Washington. **Eco-92: avanços e interrogações**. Brasília: Estudo Avançados, 1992

PAIVA, João BD; PAIVA, Eloiza. M CD Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. **FINEP, ABRH, Porto Alegre**, 2003.

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Juiz de Fora, MG, v. 13, 2010.

Saneamento básico no Brasil: desafios e perspectivas (bndes.gov.br). Em 28 de Julho de 2010 a **Assembleia Geral das Nações Unidas através da Resolução A/RES/64/292 declarou a água limpa e segura e o saneamento um direito humano essencial para gozar plenamente**. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - PIAUÍ. Curso Técnico em Química: 2016. Piauí: e- Tec Brasil. 2016

SILVA, Leandro Muniz Barbosa da; SILVA, Julio Pergentino da; Borges, Maria Alice de Lira. **Do global ao contexto nacional: evolução da política ambiental brasileira**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 6(14), p. 593-608, 2019

SINCERO, Arcadio P.; SINCERO, Gregoria A. **Physical-chemical treatment of water and wastewater**. CRC press, 2002.

SIRVINSKAS, Luís Paulo. **Manual de direito ambiental**. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2013

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Gov.br**, 2021, Esgotamento Sanitário 2021. Disponível em:<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/es>. Acessado em: 10/03/2023.

SPERLING, Marcos Von; SEZERINO, Pablo Heleno. **Dimensionamento de wetlands construídas no Brasil**. Wetlands Brasil. Ed. Especial, p. 1s-65s, 2018.

STOTTMEISTER, U. *et al.* Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. **Biotechnology Advances**, 22, p. 93-117. 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2005.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v. 3, p. 452, 2005.

VYMAZAL, Jan. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Water 2010, n.2, p. 530-549.