



Fitorremediação como alternativa sustentável para o tratamento de efluentes de esgotos: estudo de caso em Novo Airão, Amazonas

Phytoremediation as a sustainable treatment alternative of sewage effluents: case study of Novo Airão, Amazonas

Fitorremediación como alternativa sostenible para tratamiento de aguas residuales: estudio do caso de Novo Airão, Amazonas

Júlia Coelho Grimaldi

Discente de Iniciação Científica, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, PUC-Campinas, Brasil.
Julia.cg5@puccampinas.edu.br

Vera Santana Luz

Professora Doutora, PUC-Campinas, Brasil.
veraluz@puc-campinas.edu.br



RESUMO

O artigo apresenta pesquisa sobre fitorremediação, no âmbito de Soluções baseadas na Natureza (SbN), tendo como estudo de caso o município de Novo Airão, Amazonas, pela necessidade de tratamento de esgotos sanitários no município, que é abrangido por importantes Unidades de Conservação. A área urbana de Novo Airão margeia o Rio Negro, maior ecossistema de águas pretas do planeta. Portanto, o município apresenta uma grande relevância socioambiental e de seus recursos hídricos. As técnicas de *wetlands* ou alagados construídos se constituem como processos que se caracterizam por processos naturais, podem consistir em tratamento descentralizado, gerar aspectos positivos à paisagem e promover benefícios sociais. São consideradas como SbN, pois produzem benefícios mútuos à qualidade de vida da população e aos ecossistemas. A pesquisa neste recorte amazônico objetivou a sistematização de possibilidades da técnica de Wetlands de Sistema Francês, adequando-se às características territoriais. Como metodologia, predicou-se a investigação socioterritorial do município, do escopo das SbN e da técnica de fitorremediação preconizada, mediante referências bibliográficas e a realização de ensaios de implantação no território se deu pela análise de imagens aéreas. Os resultados indicaram a factibilidade da técnica predicada, evidenciando possibilidades de sua realização concreta, no sentido da melhoria na qualidade socioambiental de áreas urbanas isoladas, na região amazônica.

PALAVRAS-CHAVE: Soluções baseadas na Natureza. fitorremediação de esgotos sanitários. alagados construídos.

ABSTRACT

The article presents research on phytoremediation, within the scope of Nature-Based Solutions (NbS), having as a case study the municipality of Novo Airão, Amazonas, due to the need for sewage treatment in the municipality, which is covered by Conservation Units, whose importance lies in the protection of biodiversity and maintenance of species of forest fauna and flora. The urban area of Novo Airão borders the Rio Negro, the largest blackwater ecosystem on the planet. Therefore, the municipality has great socio-environmental relevance and its water resources. The techniques of wetlands or constructed floodplains constitute processes that are characterized by natural processes, can consist of decentralized treatment, generate positive aspects to the landscape and promote social benefits. They are considered as NbS, as they produce mutual benefits to the quality of life of the population and to the ecosystems. The research in this Amazon region aimed to systematize the possibilities of the French System Wetlands technique, adapting it to the territorial characteristics. The methodology used was socio-territorial investigation of the municipality, the scope of the NBS and the recommended phytoremediation technique, using bibliographical references, and implementation tests in the territory were carried out through the analysis of aerial images. The results indicated the feasibility of the technique, highlighting possibilities for its concrete implementation, in order to improve the socio-environmental quality of isolated urban areas in the Amazon region.

KEYWORDS: Nature-based Solutions. phytoremediation of sewage. Constructed wetlands.

RESUMEN

E artículo presenta investigación sobre fitorremediación, en el ámbito de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), tomando como caso de estudio el municipio de Novo Airão, Amazonas, debido a la necesidad de tratamiento de aguas residuales sanitarias en el municipio, que está cubierto por importantes Unidades de Conservación. El área urbana de Novo Airão bordea el Río Negro, el mayor ecosistema de aguas negras del planeta. Por tanto, el municipio tiene gran relevancia socioambiental y de sus recursos hídricos. Las técnicas de humedales artificiales o humedales son procesos que se caracterizan por procesos naturales, pueden consistir en un tratamiento descentralizado, generan aspectos positivos al paisaje y promueven beneficios sociales. Se consideran SbN, ya que producen beneficios mutuos en la calidad de vida de la población y los ecosistemas. La investigación en este tramo amazónico tuvo como objetivo sistematizar las posibilidades de la técnica del Sistema Francés de Humedales, adaptándose a las características territoriales. Como metodología se basó en la investigación socioterritorial del municipio, los alcances del SbN y la técnica de fitorremediación recomendada, utilizando referencias bibliográficas y se realizaron pruebas de implementación en el territorio a través del análisis de imágenes aéreas. Los resultados indicaron la viabilidad de la técnica predicada, destacando posibilidades para su implementación concreta, para mejorar la calidad socioambiental de áreas urbanas aisladas, en la región amazónica.

PALABRAS CLAVE: Soluciones basada en la Naturaleza. fitorremediación de aguas residuales. humedales construídos.



1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa investiga a possibilidade de implementação de técnicas de fitorremediação para o tratamento de efluentes de esgotos sanitários, no âmbito de Soluções baseadas na Natureza (SbN), na área urbana do município de Novo Airão, Amazonas.

O estudo se baseou, primeiramente, na investigação sistemática e crítica do território. Compreendeu-se que o município apresenta um contexto socioambiental de grande relevância, pois está localizado no bioma amazônico, é abrangido por Unidades de Conservação de diferentes esferas, e a sua zona urbana está às margens do Rio Negro. Novo Airão depende, fundamentalmente, do recurso natural da água. Assim, entende-se a necessidade de garantir segurança hídrica, proteção e preservação da biodiversidade e de comunidades locais, contemplando várias etnias indígenas (Moura, 2009). Mediante as condições do território, evidencia-se que há um grande déficit de coleta e tratamento de esgotos sanitários em Novo Airão (Agência Nacional de Águas [ANA], s.d.; Infosnbas, s.d.). Assim, procurou-se investigar processos alternativos para o tratamento. Os sistemas estudados foram os jardins-filtrantes, *wetlands* ou alagados construídos, que utilizam processos bio-físico-químicos naturais, e podem gerar benefícios ao meio ambiente e ao bem-estar humano. Portanto, tais sistemas são considerados como Soluções baseadas na Natureza (SbN) (Luciani; Luz, 2022) e podem atender diretamente a alguns dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030 (Nações Unidas Brasil, c2022).

A pesquisa elegeu a técnica de “Wetlands de Sistema Francês”, considerada mais adequada para o território, dada a possibilidade de receber esgotos em estado bruto, sem necessidade de tratamento prévio, a menos de gradeamento simples para retenção de sólidos maiores (Trein; Moraes; Von Sperling, 2021). Foram realizados estudos sobre a técnica-construtiva e os processos físico-químico e biológicos, bem como procedeu-se a cálculos de dimensionamento da área superficial necessária para o sistema e realizou-se a investigação de áreas adequadas para sua implantação. Tem-se como premissa que o sistema estudado pode promover melhor qualidade de vida para a população, incremento da saúde humana, benefícios ecossistêmicos e qualificação da paisagem, com possibilidades concretas de implantação, o que pode se dar mediante políticas públicas e participação social e comunitária, função à qual se dirige esta pesquisa, no sentido de inspirá-las.

2 OBJETIVOS

A pesquisa teve como objetivo investigar processos de tratamento de esgotos por fitorremediação, por meio de “Wetlands de Sistema Francês”, verificando sua viabilidade no município de Novo Airão, Amazonas, como estudo de caso, considerando estas técnicas no universo de abrangência das Soluções baseadas na Natureza.

3 METODOLOGIA

A partir de referências bibliográficas, acadêmicas e documentais, foi proposta a investigação sistemática e crítica do município, de modo a configurar parâmetros para investigar

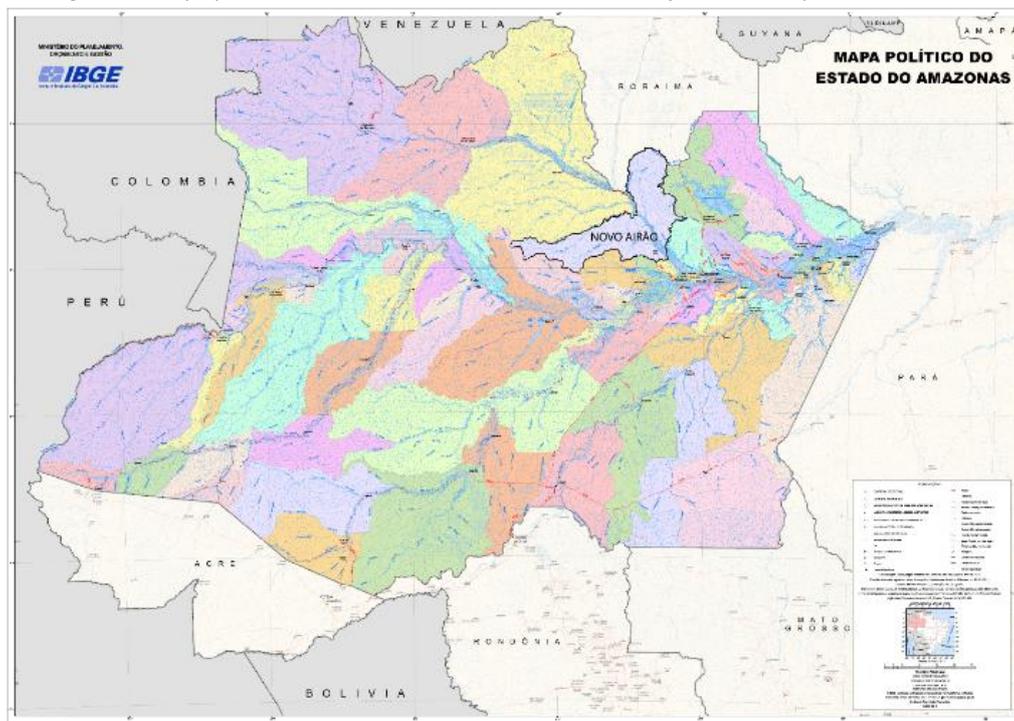
a exequibilidade deste sistema. Da mesma forma, foi investigado o conceito de Soluções baseadas na Natureza compreendendo a sua aplicabilidade no território brasileiro e no Sul Global, em adequação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030, como também as possibilidades de técnicas de fitorremediação para o tratamento de efluentes de esgotos sanitários em Novo Airão, compreendendo características técnico-construtivas e de funcionamento, mediante processos físico-químico e biológicos.

Perante o diagnóstico socioterritorial e a eleição da técnica de fitorremediação mais adequada, procedeu-se a cálculos de pré-dimensionamento a partir de referências bibliográficas e acadêmicas. A seleção de áreas adequadas e realização de ensaios de implantação no município estudo de caso, se deu a partir de bases cartográficas de imagens aéreas disponibilizadas em plataformas livres virtuais.

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TERRITÓRIO ESTUDO DE CASO: NOVO AIRÃO, AMAZONAS

Novo Airão está localizado no Estado do Amazonas, na região Norte do Brasil, na América do Sul (Figura 1). Encontra-se na Região Metropolitana de Manaus (RMM), na região hidrográfica amazônica, na Mesorregião Geográfica do Norte Amazonense, na Microrregião do Rio Negro, na Região Intermediária de Manaus e Imediata de Manacapuru, e na Amazônia Legal. O município contempla a área de 37.776,770 km² (IBGE, c2023). A sede municipal de Novo Airão está localizada a uma distância de, aproximadamente, 115 km em linha reta e 143 km por via fluvial de Manaus, capital do Estado (IDAM, 2012).

Figura 1 – Mapa político do Estado do Amazonas com demarcação do município de Novo Airão.



Fonte: IBGE (2015, p. 1).



O município apresenta um contexto socioambiental de grande relevância, visto que se encontra no bioma amazônico, que possui um papel fundamental para regulação climática, conservação e preservação de uma grande quantidade de espécies da fauna e flora, sendo considerado um dos maiores reservatórios naturais do mundo. A sede do município está localizada às margens do Rio Negro, curso d'água de águas pretas de maior extensão do mundo e com um dos volumes de água mais expressivos, proporcionando mobilidade na região e atividades relevantes para a vida da população local (Ministério do Meio Ambiente [MMA], s.d.).

O município apresenta clima tropical quente e úmido (IDAM, 2012), com altas temperaturas durante o ano todo, e precipitação média anual com pequenas variações; a umidade relativa do ar é, em média, de 80%, classificada como elevada. Novo Airão se localiza em uma região que tem três sistemas de circulação atmosférica, gerando frequentes chuvas. O município está na maior bacia do mundo, a Amazônica, formada por depósitos continentais e marinhos, resultando em rochas sedimentares e formação fluviolacustre. Assim, Novo Airão apresenta um solo de baixa qualidade em relação à sua fertilidade natural (Moura, 2009). Está localizado na unidade morfoestrutural do planalto dissecado do Rio Trombetas-Rio Negro, havendo duas unidades principais, as planícies fluviais, que são periodicamente inundáveis, e os platôs dissecados, que são denominados como áreas de terra firme e se caracterizam por rochas sedimentares da Formação Alter do Chão (Moura, 2009). A área urbana de Novo Airão está situada na unidade de platô alto, que é cortado por igarapés, cursos d'água característicos da região amazônica, que desaguam no Rio Negro e estão articulados ao regime anual hidrológico de cheias e vazantes (IPAM, s.d.).

O ciclo hidrológico impacta no nível dos rios e na vegetação amazônica, causando inundação das margens e modificações físico-química da fauna e flora. A formação vegetal predominante em Novo Airão é a floresta de igapó, localizada em áreas inundáveis, com vegetação de pequeno porte, e floresta densa de terra firme, encontrada nos platôs e caracterizada pela grande quantidade de árvores. Em dados de 2017, o município apresentava 96,55% de cobertura vegetal por flora nativa em seu território, sendo que os focos de desmatamento estão localizados próximos da sede municipal (PNUD, s.d.).

Figura 2 – Mapa das Unidades de Conservação e demarcações de terras indígenas no município de Novo Airão.



Fonte: ISA. (s.d.). Modificada pelas autoras.

Novo Airão dispõe de, aproximadamente, 80% de áreas protegidas por lei, com Unidades de Conservação (UC) de proteção integral, de uso sustentável ou terras indígenas (Paulino, 2019) (Figura 2). Assim, é abrangido por UCs de esfera federal como o PARNA de Anavilhanas, o segundo maior arquipélago do mundo (MMA, s.d.), e o PARNA do Jaú. Ambos os Parques Nacionais compõem o Mosaico de Áreas Protegidas do Baixo Rio Negro. O município também é abrangido por unidades de âmbito estadual e por terras indígenas, como a Waimiri-Atoari.

Historicamente, o território foi ocupado por comunidades indígenas, até o surgimento dos primeiros povoados de europeus, que buscavam ouro, em 1645. Há duas versões sobre o primeiro núcleo de povoamento, mas ambas contam como origem a missão de Santo Elias do Jaú, sendo indicada como uma das primeiras ocupações de portugueses no Estado (IBGE, c2023). Antigamente, a sua sede era Velho Airão, que foi abandonada pela decadência do ciclo da borracha e por lendas locais, como de ataques de formigas de fogo. Assim, em torno de 1950, os habitantes seguiram para Manaus e para a vila de Itaipuaçu, atualmente Novo Airão (Portal Amazônia, 2022).

A área urbana do município apresenta uma malha viária organizada, com quadras retangulares e vias lineares (Moura, 2009, p. 97). O processo de urbanização, ocorreu de forma lenta, porém progressivamente (Moura, 2009). Novo Airão tem acesso intermodal e sua tipologia urbana é caracterizada como uma “cidade de dinâmica ambiental e com forte influência local e microrregional” (IPEA, 2021, p. 17), além de sua dinâmica econômica ser voltada para o turismo. A cidade foi organizada ao longo do curso d’água e sua expansão segue às margens do Rio Negro e pelo acesso rodoviário, a AM-352, em direção a sul.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010 a população contava com 14.723 habitantes, e com uma estimativa de 20.395 pessoas, em 2021.



Entretanto, em dados de 2022, a população foi contabilizada como de 15.761 pessoas, com densidade demográfica muito rarefeita, correspondente a 0,42 hab./ km² (IBGE, c2023). O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDH-M) do município é de 0,57, classificado como baixo (Infosanbas, s.d.).

A coleta e tratamento de esgotos sanitários do município, é extremamente ineficiente, visto que, em 2010, apenas 15,4% da população contava com esgotamento considerado adequado (IBGE, c2023). Em 2013, 76,49% da população vivia sem coleta e sem tratamento, 21,73% possuíam uma solução individual e apenas 1,78% contavam com coleta, mas não havia tratamento dos esgotos coletados (ANA, s.d.) A maior parte da população utiliza fossas sedimentares, fossas sépticas, valas ou despejam seus efluentes nos cursos d'água (Infosanbas, s. d.), causando a contaminação dos mananciais, riscos à biodiversidade e à saúde pública, como de doenças associadas às condições precárias de saneamento básico. Até a presente pesquisa, o município não apresentava um Plano Municipal de Saneamento Básico e um atendimento de tratamento de esgotos adequado para população urbana, mesmo sendo predicada a universalização de saneamento básico pelo estatuto legal (Brasil, 2020). Pode-se concluir que Novo Airão apresenta ineficiência quanto a coleta e tratamento dos esgotos sanitários, o que justifica os objetivos deste estudo.

5 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SbN)

Para o tratamento de esgotos do município de Novo Airão, considerou-se viável a adoção de técnicas embasadas em processos naturais, como a fitorremediação, considerada como uma Solução baseada na Natureza (SbN).

As Soluções baseadas na Natureza são utilizadas e contemplam conceitos que existem há anos, de forma global. Porém, o termo é mais recente e apresenta algumas diferenças quanto a sua utilização e definição, com diversas interpretações de organizações internacionais, como da União Internacional para Conservação da Natureza (UICN), da Comissão Europeia (CE) e da Organização das Nações Unidas (ONU) (Luciani; Luz, 2022). Como constante, são predicadas como ações que se inspiram e são apoiadas na natureza, procurando promover benefícios mútuos aos ecossistemas e aos seres humanos, com o potencial de promover múltiplos benefícios (Luciani; Luz, 2022).

O termo está mais associado aos países do Norte Global, que apresentam especificidades, como aspectos relacionados as perspectivas econômicas, socioterritoriais, ambientais e políticas, consideradas diferentes daqueles do Sul, como de países latino-americanos, que, além de apresentarem desafios ambientais, como das mudanças climáticas, ainda contemplam problemas relacionadas ao uso do solo, vulnerabilidades sociais e biomas considerados *hotspots* da biodiversidade (Marques *et al.*, 2021). Pela lacuna de exemplos em larga escala no Brasil, há um grande desafio quanto à implementação, mesmo que as SbN sejam consideradas importantes instrumentos para a resiliência de ecossistemas.

No Brasil, o termo é relativamente recente, mas infraestruturas verdes, serviços ecossistêmicos e planos e políticas nacionais já são implementados no território, principalmente no meio urbano, com enfoque em adaptação climática e promoção de biodiversidade (Marques *et al.*, 2021). Para a implementação de SbN no Brasil, é também importante reconhecer as



técnicas vernaculares das comunidades originais, que já realizam diversos serviços ecossistêmicos, entendendo o contexto em que se inserem, como na Amazônia, que apresenta diversas comunidades tradicionais, considerado um patrimônio cultural fundamental.

6 FITORREMEDIAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS: SISTEMAS DE JARDINS-FILTRANTES, ALAGADOS OU WETLANDS CONSTRUÍDOS

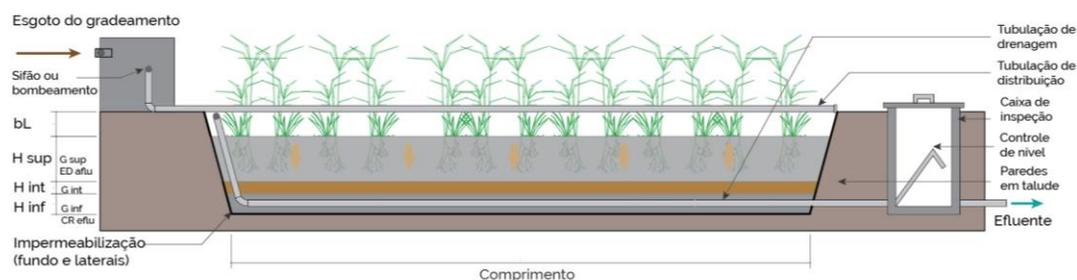
A técnica de fitorremediação realiza o tratamento da água a partir do ambiente radicular de plantas, consideradas remediadoras no processo, reduzindo os teores contaminantes a níveis seguros para o meio ambiente e à saúde humana. A técnica se caracteriza por custos relativamente reduzidos, especialmente relacionados à manutenção, em comparação aos sistemas convencionais, apresenta baixo ou nulo impacto de intervenção e de consumo de energia, pode ser implementada em áreas rurais e urbanas mais isoladas, e tem potencial de qualificação da paisagem. Tal solução alternativa pode ser descentralizada, contempla potencial de participação da população residente e de educação socioambiental (Von Sperling; Sezerino, 2018). Para a efetivação do sistema de fitorremediação compreende-se a importância em realizar uma governança colaborativa e participação de diversos atores, como de pesquisadores e da população local.

A técnica também se articula aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030, propostos pela ONU. Embora sejam articulados entre si, alguns são diretamente relacionados ao tema, como ODS 3 — Saúde e Bem-Estar, ODS 6 — Água potável e Saneamento, ODS 11 — Cidades e comunidades sustentáveis e ODS 13 — Ação contra a mudança global do clima (Nações Unidas Brasil, c2022).

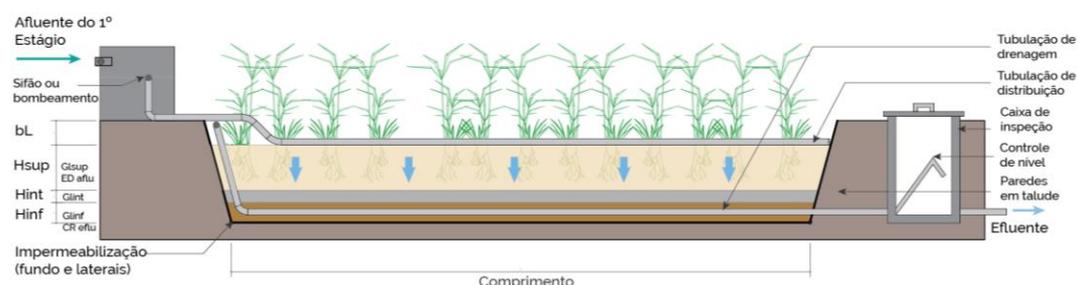
A fitorremediação se caracteriza por diferentes alternativa de tratamento e pode ser utilizada de forma híbrida. Os sistemas de *wetlands* construídos são formados essencialmente por plantas aquáticas, denominadas macrófitas, e solos hidromórficos, além de brita e areia, para realizar os processos bioquímicos e de filtração (Trein; Moraes; Von Sperling, 2021). As plantas realizam um papel significativo para remoção das moléculas que causam a contaminação hídrica, além de facilitarem as trocas gasosas, promovendo a redução da demanda de oxigênio (Von Sperling; Sezerino, 2018).

Figura 3 – Esquemas representativos dos perfis longitudinais de *wetland* construído de escoamento vertical – Sistema Francês dos 1º e 2º estágios.

1º ESTÁGIO



2º ESTÁGIO



LEGENDA			
bL	borda Livre;	Glint	granulometria do leito na camada intermediária
Hsup	altura da camada superior do meio (camada de filtração);	Glinf	granulometria do leito na camada inferior do meio de drenagem
Hint	altura da camada intermediária (camada de transição);	ED aflu	zona de entrada e distribuição do afluente
Hinf	altura da camada inferior (camada de drenagem);	CR eflu	zona de coleta e retirada do efluente
Gsup	granulometria do leito na camada superior do meio filtrante		

Fonte: Autoral com base em Von Sperling; Sezerino (2018, p. 38).

A técnica eleita como mais adequada para o estudo de caso foi o “Wetland de Sistema Francês”, pois não necessita de tratamento prévio do efluente, diferentemente de outros modelos. É caracterizada pelo escoamento vertical descendente, e o tratamento é realizado em dois estágios. O esgoto bruto é conduzido, após simples gradeamento, para o primeiro estágio, onde ocorre a retenção dos Sólidos em Suspensão Totais (SST), da matéria orgânica e o nitrogênio amoniacal é filtrado. O segundo estágio se resume à remoção complementar de matéria orgânica, e dos sólidos em suspensão dos efluentes e à retirada de nitrogênio total. Nas duas etapas, a divisão do meio filtrante se dá em três camadas, respectivamente a filtrante, a camada intermediária, e a de drenagem (Figura 3) (Von Sperling; Sezerino, 2018; Trein; Moraes; Von Sperling, 2021).

Para o funcionamento do sistema, são necessárias, em geral, três unidades para o primeiro estágio e duas unidades para o segundo, prevendo o tratamento por fases alternadas, de descanso e alimentação dos tanques. É necessária a realização de cálculos de dimensionamento da área superficial e observar especificidades do sistema técnico-construtivo para o funcionamento adequado do sistema. Segundo estudos já realizados, regiões de clima tropical e subtropical apresentam maior eficiência de tratamento, em consequência do desempenho bioquímico, pois o metabolismo microbológico é mais acelerado pelas altas



temperaturas, ou seja, há um alto crescimento biológico na alimentação e a mineralização da matéria orgânica ocorre de forma acelerada. Entretanto, há poucas experiências de *Wetlands* de Sistema Francês no Brasil e na América Latina, sendo necessário estudar a viabilidade, parâmetros e espécies de vegetações adequadas, adequando as características da região (Von Sperling; Sezerino, 2018; Trein; Moraes; Von Sperling, 2021).

7 DIMENSIONAMENTO E ENSAIOS DE IMPLANTAÇÃO

Para realizar o dimensionamento da área necessária para os “*Wetlands* de Sistema Francês” considerou-se a população de Novo Airão segundo o último censo do IBGE, de 2022, que contabilizou a população de 15.761 habitantes. A área superficial necessária foi calculada a partir de três critérios, sendo um preliminar e outros realizados mediante fórmulas técnicas, como apresentaremos em sequência.

Critério preliminar: Pré-dimensionamento a partir de estimativa de área superficial

Dados: Área superficial necessária para o primeiro estágio de 1,2m²/pessoa e para o segundo estágio, de 0,8 m²/pessoa, totalizando 2m² de área útil por pessoa (Sperling et al. 2018); Área necessária destinada para manutenção e infraestruturas do sistema, na proporção de 40% do total.

Fórmula: Área superficial total = (população x 2m²) + [(população x 2m²) x 0,4]

Cálculo: Área superficial total (Opção 1) = (15.761 (pessoas) x 2m²) + [(15.761 (pessoas) x 2m²) x 0,4] = 31.522 + 12.608,8 = 44.130,80 m²

Conforme recomendam Von Sperling e Sezerino (2018), dois critérios devem ser utilizados para o dimensionamento da área superficial de *Wetlands* de Sistema Francês: Critério 1 - de acordo com a Taxa de Aplicação Hidráulica Superficial (m³/m²/dia) e Critério 2 – mediante a Taxa de Aplicação Orgânica Superficial (gDBO/m².dia). A partir dos valores obtidos, é considerada a condição menos favorável para a o dimensionamento do sistema, ou seja, a com maior metragem necessária de área superficial necessária.

7.1 Critério 1: Área superficial necessária a partir da taxa de aplicação hidráulica

Dados: Taxa de aplicação hidráulica superficial máxima, ao valor de 0,40 m³/m².dia; Contribuição de esgotos por pessoa/residência como de 131 litros /dia.pessoa = 0,131 m³/dia.pessoa – padrão médio (Associação Brasileira de Normas Técnicas, a partir da NBR 7229 (ABNT, 1993, p. 4)).

Fórmulas: (I) Vazão média afluyente ao *wetland* = contribuição de esgotos por pessoa (litros/dia.pessoa) x população; (II) Área superficial requerida = Vazão média afluyente ao *wetland* (m³/dia) ÷ Taxa de aplicação hidráulica (m³/m². d); (III) Área superficial requerida no estágio (m²) = Área superficial requerida (m²) x n° unidades; (IV) Área superficial requerida total = (Área superficial requerida no 1° estágio + Área superficial requerida no 2° estágio) + [(Área superficial requerida no 1° estágio + Área superficial requerida no 2° estágio) x 0,4]

Cálculos: (I) Vazão média afluyente ao *wetland* = 0,131 (m³/dia.pessoa) x 15.761 (pessoas) = 2.064,70 m³/dia; (II) Área superficial requerida = 2.064,70 (m³/d) ÷ 0,4 (m³/m².d) = 5.161,75 m². Considerando que para 1º estágio são necessárias três unidades e para o 2º estágio são necessárias duas unidades: (III) Estágio 1 (3 leitos): Área superficial requerida no 1º estágio (m²)



= $5.161,75 \text{ m}^2 \times 3 = 15.485,25 \text{ m}^2$; Estágio 2 (2 leitos): Área superficial requerida no 2º estágio (m^2) = $5.161,75 \text{ m}^2 \times 2 = 10.323,5 \text{ m}^2$; (IV) Área superficial requerida total (Critério 1) com 40% de acréscimo para infraestruturas de apoio = $(15.485,25 \text{ m}^2 + 10.323,5 \text{ m}^2) + [(15.485,25 \text{ m}^2 + 10.323,5 \text{ m}^2) \times 0,4] = 25.808,75 + 10.323,5 = 36.132,25 \text{ m}^2$

7.2 Critério 2: Área superficial necessária a partir da carga taxa de aplicação orgânica superficial – Demanda Biológica de Oxigênio (DBO)

Dados: Carga per capita de esgotos domésticos brutos = 60 g/ hab.dia (Silva (s.d., p. 6); Taxa de aplicação orgânica varia em cada estágio, sendo, no primeiro, de 150 gDBO/ m^2 . dia e, no segundo estágio, de 20 gDBO/ m^2 . dia (Sperling; Sezerino, 2018).

Fórmulas: (I) Carga de DBO bruto (g/dia) = carga per capita (g/ hab.dia) x população total; (II) Carga DBO afluente aos *wetlands* = carga de DBO bruto (g/dia) x $[1 - (\text{eficiência de remoção do tratamento prévio (\%)/100}]$; (III) Área superficial requerida na etapa = Carga de DBO afluente (etapa) do *wetland* (gDBO/dia) ÷ Taxa de aplicação orgânica superficial (gDBO/ m^2 .d); (IV) Área superficial requerida total = (Área superficial requerida no 1º estágio + Área superficial requerida no 2º estágio) + $[(\text{Área superficial requerida no 1º estágio} + \text{Área superficial requerida no 2º estágio}) \times 0,4]$.

Cálculos: (I) Carga de DBO bruto (g/ dia) = 60 (g/ hab.dia) x 15.761 = 945.660 g/dia; (II) Estágio 1 (considerando que não há tratamento prévio) → Carga DBO afluente aos *wetlands* = 945.660 g/dia x $[1 - (0/100)] = 945.660 \text{ g/dia}$; Estágio 2 (considerando a eficiência de remoção do tratamento do 1º estágio de 80%): Carga DBO afluente aos *wetlands* = 945.660 g/dia x $[1 - (80/100)] = 945.660 \times 0,2 = 189.132 \text{ g/dia}$; (III) Estágio 1: Área superficial requerida na etapa = $945.660 \text{ (g/dia)} \div 150 \text{ (gDBO/ m}^2 \text{. dia)} = 6.304,40 \text{ m}^2$. Considerando, que há três unidades em paralelo: $6.304,40 \text{ m}^2 \times 3 = 18.913,20 \text{ m}^2$; Estágio 2: Área superficial requerida na etapa = $189.132 \text{ (g/dia)} \div 20 \text{ (gDBO/m}^2 \text{. dia)} = 9.456,60 \text{ m}^2$. Considerando que há duas unidades em paralelo: $9.456,6 \text{ m}^2 \times 2 = 18.913,20 \text{ m}^2$; (IV) Área superficial requerida total (Critério 2) com 40% de acréscimo para infraestruturas de apoio = $(18.913,20 \text{ m}^2 + 18.913,20 \text{ m}^2) + [(18.913,20 \text{ m}^2 + 18.913,20 \text{ m}^2) \times 0,4] = 37.826,4 + 15.130,56 = 52.956,96 \text{ m}^2$

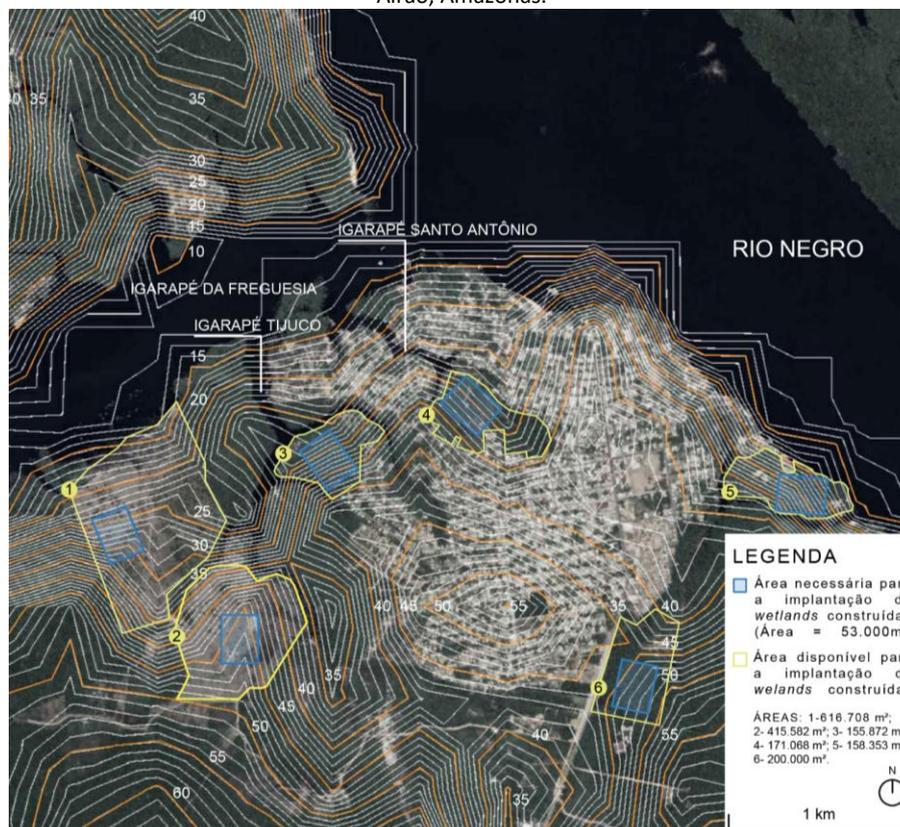
Adotou-se, a condição menos favorável, ou seja, mediante o Critério 2, pelo cálculo de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Desse modo, a área superficial necessária adotada é de, aproximadamente, 53.000 m^2 .

8 ENSAIOS DE IMPLANTAÇÃO

Mediante imagens de satélite da área urbana, pela plataforma Google Earth, e as curvas de nível disponibilizadas pelo *site* Contour Map Creator, possibilidades para implantação foram investigadas. Buscou-se delimitar as áreas disponíveis para implantação do sistema identificando espaços livres de edificações e de vegetação arbórea ou arbustiva, associados a eixos viários existentes, em proximidade à área urbanizada. Observou-se a topografia e a proximidade do sistema aos cursos d'água, como de Igarapés, prevendo o despejo da água tratada, bem como considerou-se áreas com possibilidade de expansão do sistema, além de

evitar terrenos com risco de alagamentos ou inundações, para não comprometer os dispositivos de fitorremediação. A Figura 4, abaixo, ilustra a seleção de localidades adequáveis.

Figura 4 – Áreas possíveis para a implantação do sistema de *wetlands* construídas de Sistema Francês em Novo Airão, Amazonas.

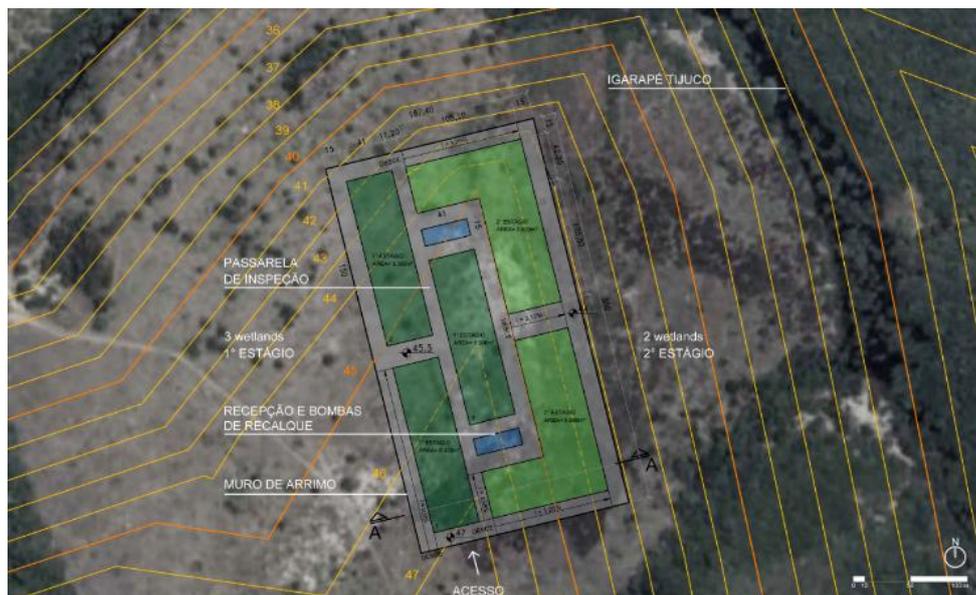


Fonte: Elaborado pela autora a partir de imagem satélite do Google Earth (capturado em junho de 2024) com a sobreposição de curvas de nível de 1 metro, conforme plataforma Contour Map Creator. (Versão 0.315 08 ago. 2021).

Na figura 4, o perímetro em amarelo define a área disponível para a implantação do sistema, enquanto a delimitação interna, em azul, representa a área necessária para as *Wetlands* de Sistema Francês, de modo a atender à demanda atual. Os locais disponíveis conformam áreas de, aproximadamente: Área 1 = 616.708 m²; Área 2 = 415.582 m²; Área 3 = 155.872 m²; Área 4 = 171.068 m²; Área 5 = 158.353 m²; e Área 6 = 200.000 m². Foi eleita a localidade 2 como a área mais adequada para a implantação, visto que está relativamente afastada do centro urbano, é conectada por um sistema viário, apresenta-se desmatada e próxima de igarapés, como do Igarapé Tijuco, facilitando o despejo da água tratada. Além disso, está em uma cota mais alta, em relação a primeira gleba analisada, evitando o alagamento do sistema. Porém, como o local escolhido se localiza em uma cota mais elevada em relação à área urbanizada, seria necessário contar com o bombeamento dos efluentes até o sistema.

Após a eleição da gleba mais adequada foram realizados ensaios de implantação dos *Wetlands* de Sistema Francês, seguindo o seguinte programa funcional: três unidades para o primeiro estágio, com 6.304,40 m² cada (em cor verde escuro na Figura 5); duas unidades para o segundo estágio, com 9.456,60 m² cada (e cor verde claro na Figura 5); áreas de apoio, manutenção e passarelas (em cores azul e cinza na Figura 5).

Figura 5 – Primeiro ensaio de implantação de *wetlands* construídas do Sistema Francês.



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir de imagem satélite do Google Earth (capturado em junho de 2024) com a sobreposição de curvas de nível de 1 metro em 1 metro, conforme plataforma Contour Map Creator. (Versão 0.315 08 ago. 2021).

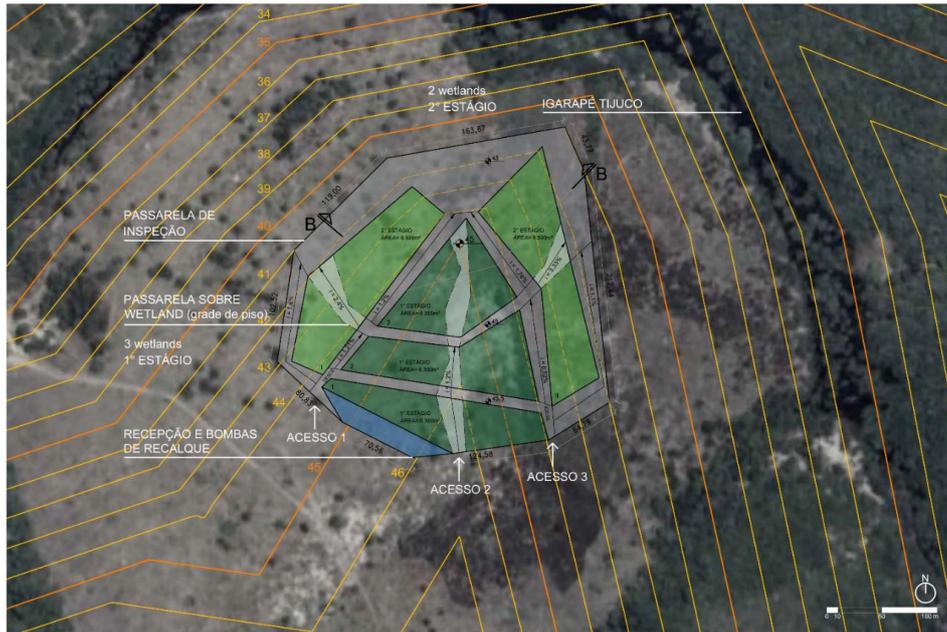
Procurou-se, em segundo estudo (Figura 7), reinterpretar características da cultura e das comunidades locais, valorizando expressões artísticas da comunidade indígena Waimiri-Atroari, que possui terras que abrangem o município de Novo Airão. Para a concepção formal dessa versão, foram considerados os artesanatos dessa comunidade, principalmente dos cestos, ilustrados nas Figuras 6. São artefatos inspirados nos elementos da natureza e expressam a visão de mundo da comunidade e de seu universo místico (Waimiriatroari, c2019).

Figura 6 – Esquerda: Cesto de Arumã – Waimiri-Atroari MOD7. Direita: Cesto Matyty – Waimiri Atroari.



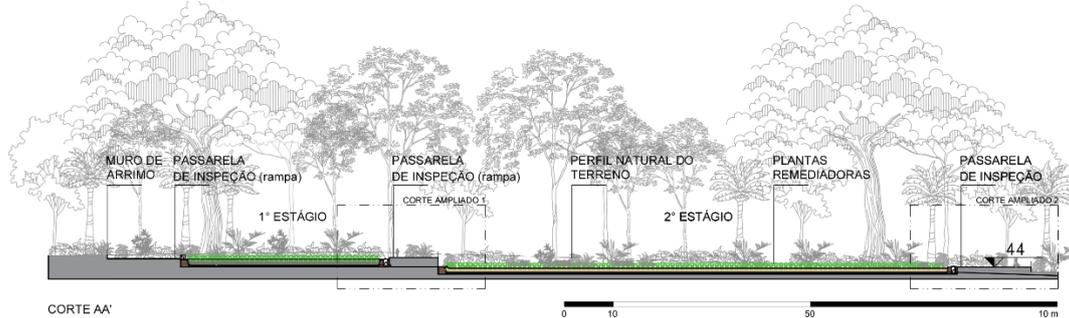
Fonte: Esquerda: Retobel, c2024. Direita: Tucum Brasil, c2016.

Figura 7 - Segundo ensaio de implantação de wetlands construídas do Sistema Francês.



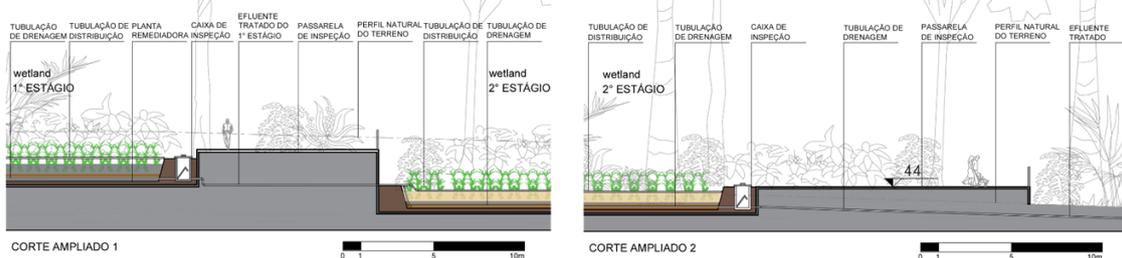
Fonte: Elaborado pela autora a partir de imagem satélite do Google Earth (capturado em junho de 2024) com a sobreposição de curvas de nível de 1 metro, conforme plataforma Contour Map Creator. (Versão 0.315 08 ago. 2021).

Figura 8 – Corte AA, esquemático, do desenho de wetlands proposto.



Fonte: Autoral.

Figura 9 – Cortes esquemáticos e setoriais ampliados do Corte AA.



Fonte: Autoral.

A implantação do sistema observou as curvas de nível, considerando a construção de muros de arrimo ou taludes, quando necessário. Os cortes esquemáticos, apresentados nas Figuras 8 e 9, demonstram a diferença de cotas entre cada estágio e as tubulações, que seriam articuladas, posteriormente, ao Igarapé Tijuco, onde o efluente tratado seria despejado. Os



cortes ilustram, também, a proposta de reflorestamento do entorno, com vegetação nativa da Amazônia, buscando trazer benefícios para a paisagem.

9 CONCLUSÃO

De acordo com as especificidades do território, concluiu-se que o município apresenta uma grande relevância socioambiental e um déficit na coleta e tratamento dos esgotos sanitários. Compreendeu-se a necessidade de propor alternativas ecológicas para a qualidade de vida da população e proteção dos ecossistemas envolvidos.

Mediante o dimensionamento da técnica escolhida, como mais adequada para o estudo de caso — os *Wetlands* de Sistema Francês — e a partir dos ensaios de implantação, conclui-se que o sistema é viável para aplicação no município estudo de caso, com potencial de gerar benefícios ambientais e qualidade de vida da população.

Espera-se, a partir dos resultados obtidos, inspirar políticas públicas e ações que promovam um planejamento urbano com maior sensibilização ecológica e social para o desenvolvimento de Novo Airão, de outras cidades brasileiras e do Sul-Global, que possuam especificidades semelhantes, procurando responder aos desafios do século 21 e incentivar a proteção e preservação da biodiversidade e de culturas locais.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **O saneamento no Brasil.** [s.d.]. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/saneamento/>>. Acesso em: 08 jun. 2023.

BRASIL. **Lei no. 14.026, de 15 de julho de 2020.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art6>. Acesso em: 14 set. 2023.

CONTOUR MAP CREATOR. Disponível em: <<https://contourmapcreator.urgr8.ch/#VHT>>. Acesso em: 01 abr. 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil. Amazonas. Novo Airão.** c2023. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/novo-airao/panorama>>. Acesso: 28 fev. 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa político do Estado do Amazonas.** 2015. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_estaduais_e_distrito_federal/politico/2015/am_politico2000k_2015.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2024.

IDAM. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E FLORESTAL SUSTENTÁVEL DO ESTADO DO AMAZONAS. **Novo Airão.** 2012. Disponível em: <<http://www.idam.am.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Novo-Air%C3%A3o-2012.pdf>>. Acesso em: 28 de fev. 2023.

INFOSANBAS. INFORMAÇÕES CONTEXTUALIZADAS SOBRE SANEAMENTO NO BRASIL. **Novo Airão — AM.** [s.d.]. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/novo-airao-am/>>. Acesso em: 12 out. 2022.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA E ECONÔMICA APLICADA. **Projeto Governança Metropolitana no Brasil. A construção do Urbano-territorial na Amazônia. Entendimentos práticos de Manaus e sua Região Metropolitana.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10438/1/Pgmb_rm_manaus_complemento_b.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.



ISA. INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Unidades de Conservação no Brasil**. [s.d.]. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br#pesquisa>>. Acesso: 29 out. 2023.

LUCIANI, Mirtes Maria; LUZ, Vera Santana. Soluções baseadas na Natureza. In: TRANI, Eduardo; LUCIANI, Mirtes (Orgs.), **Instrumentos de planejamento, licenciamento e gestão ambiental no estado de São Paulo: caderno de apoio para profissionais**. 1.ed. atualizada. São Paulo: CETESB, 2022, p. 199-216. Disponível em: <<https://semil.sp.gov.br/2022/12/instrumentos-de-planejamento-licenciamento-e-gestao-ambiental-no-estado-de-sao-paulo-caderno-de-apoio-para-profissionais/>>. Acesso em: 05 nov. 2023.

MARQUES, Taícia; RIZZI, Daniela; FERRAZ, Victor; HERZOG, Cecília. Soluções baseadas na Natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru. **Revista LABVERDE**, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Projeto, Dossier LABVERDE #1 | Soluções baseadas na Natureza para a resiliência urbana na América Latina, v. 11, n.1, 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/issue/view/12194/2183>>. Acesso: 09 nov. 2023.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Parque Nacional Anavilhanas, Amazonas, Brasil**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/parnaanavilhanas/>>. Acesso em: 19 out. 2022.

MOURA, Sarita de. **Diagnóstico Ambiental da cidade de Novo Airão – Amazonas**. 2009. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi. Co-orientação: Prof. Cr. Marcio Luiz da Silva. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4265/2268.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. c2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 09 nov. 2022.

PAULINO, Ricardo Cavalcante. **Desmatamento e Plano Diretor: um estudo multitemporal dos municípios da região metropolitana de Manaus**. 2019. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (PPGCASA), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Orientadora: Prof. Dra. Tatiana Schor. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7337>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

PNUD. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. IPEA. INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS. FJP. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Atlas BR. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. Novo Airão, AM**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/130320>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PORTAL AMAZÔNIA. FRAM. FUNDAÇÃO REDE AMAZÔNICA. Conheça a história de Airão Velho e a lenda das formigas de fogo, no Amazonas. **Portal Amazônia**, 08 jan. 2022. Disponível em: <<https://portalamazonia.com/estados/amazonas/conheca-a-historia-de-airao-velho-e-a-lenda-das-formigas-de-fogo-no-amazonas#:~:text=Air%C3%A3o%20Velho%20ou%20Velho%20Air%C3%A3o,ataque%20de%20formigas%20de%20fogo>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

RETROBEL. **Cesto de Arumã – Waimiri-Atroari MOD7**. c2024. Disponível em: <<https://retobel.com.br/products/cesto-de-aruma-waimiri-atroari-mod7>>. Acesso em: 18 jul. 2024.

SILVA, Carlos Ernando da. **Sistemas de tratamento de esgotos sanitários**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Tecnologia (CT), Santa Maria, RGS. [s.d.]. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A1.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

TREIN, Camila Maria; MORAES, Mirene Augusta de Andrade; VON SPERLING, Marcos. Capítulo 5. Wetlands construídos de escoamento vertical (modelo francês) adaptado à realidade brasileira para o tratamento de esgotos de pequenas comunidades. In: SEZERINO, Pablo Heleno; PELISSARI, Catiane (Orgs.). **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras [recurso eletrônico]** Curitiba: Brazil Publishing, 2021, p. 90-117. ISBN 978-65-5861-293-3. Disponível em: <<https://gesad.ufsc.br/files/2021/02/E-book-WETLANDS-BRASIL-Experi%C3%Aancias-Brasileiras-1.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2024.



TUCUM BRASIL. **Cesto Matyty | Waimiri Atroari**. c2016. Disponível em:

<[https://www.tucumbrasil.com/produto/cesto-matyty-waimiri-atroari-23558?srsId=AfmBOop_OJxQqRykOLQgUuq4Syajsfef2fHx](https://www.tucumbrasil.com/produto/cesto-matyty-waimiri-atroari-23558?srsId=AfmBOop_OJxQqRykOLQgUuq4Syajsfef2fHxBDALTTmOkf5fUJwDz5-pJok)>. Acesso em: 18 jul. 2024.

VON SPERLING, Marcos; SEZERINO, Pablo Heleno. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. Boletim. GESAD, Grupo de Estudos em Sistemas Wetlands Construídos Aplicados ao Tratamento de Águas Residuárias, **Wetlands Brasil**, Edição Especial, dez. 2018. Disponível em: <<https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-2.pdf>>. Acesso em: 13 out 2022. ISSN 2359-0548.

WAIMIRIATROARI. AMAZONAS - BRASIL. PROGRAMA WAIMIRI ATROARI. Convênio FUNAI/ ELETRONORTE. **Artefatos Waimiri Atroari**. c2019. Disponível em: <<https://www.waimiriatroari.org.br/artesanato>>. Acesso em: 18 jul. 2024.