



FITORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA, AMAZONAS

Kai Haru Rosandiski Hiratuka

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
helena_hiratuka@hotmail.com

Vera Santana Luz

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica de Campinas
veraluz@puc-campinas.edu.br

Resumo

O município São Gabriel da Cachoeira apresenta grande déficit de infraestruturas de saneamento de esgotos, constituindo riscos graves à proteção ambiental e à saúde pública, uma vez que se trata de um território integralmente inserido no bioma amazônico, localizado às margens do Rio Negro, que enfrenta altos índices de hospitalizações por doenças de veiculação hídrica e sofre periodicamente com crises epidêmicas. Este cenário se agrava tendo em vista a presença expressiva de indígenas na região, populações mais vulneráveis a epidemias, em que a destruição do meio ambiente representa uma ameaça à perpetuação da cultura, das formas de subsistência e do bem-estar físico. A presente pesquisa objetivou o estudo de técnica de fitorremediação de esgotos por “*Wetlands* de Sistema Francês”, para o tratamento de efluentes sanitários da área urbanizada do município de São Gabriel da Cachoeira, Amazonas. Os *wetlands* artificiais se enquadram como Soluções baseadas na Natureza, inseridas em um cenário internacional de abordagens que propõem relações entre homem e natureza, objetivando benefícios mútuos do ponto de vista ecossistêmico e social. Os métodos compreenderam a investigação socioterritorial e da técnica de saneamento ecológico preconizada, a partir de referências bibliográficas, acadêmicas e documentais. A investigação e seleção espacial para proposição de implantação dos “*Wetlands* de Sistema Francês” se deram a partir de imagens de satélite. Os resultados apresentam evidências da factibilidade do sistema predicado, em áreas livres de vegetação do tecido urbanizado.

Palavras-chave: meio ambiente e ecologia; direito sanitário; Soluções baseadas na Natureza; fitorremediação de efluentes; Amazônia.

Abstract

The municipality of São Gabriel da Cachoeira has a significant deficit in sewage sanitation infrastructure, posing serious risks to environmental protection and public health, since it is a territory entirely inserted in the Amazon biome, located on the banks of the Rio Negro, which faces high rates of hospitalizations due to waterborne diseases and periodically suffers from epidemic crises. This scenario is aggravated by the significant presence of indigenous people in the region, populations that are more vulnerable to epidemics, in which the destruction of the environment represents a



threat to the perpetuation of the culture, livelihoods and physical well-being. The present research aimed to study the sewage phytoremediation technique using “French System Wetlands”, for the treatment of sanitary effluents from the urbanized area of the municipality of São Gabriel da Cachoeira, Amazonas. Artificial wetlands are classified as Nature-Based Solutions, inserted in an international scenario of approaches that propose relationships between man and nature, aiming at mutual benefits from an ecosystemic and social point of view. The methods included socio-territorial investigation and the recommended ecological sanitation technique, based on bibliographic, academic and documentary references. The investigation and spatial selection for the proposed implementation of “French System Wetlands” were carried out based on satellite images. The results present evidence of the feasibility of the predicate system, in areas free of vegetation in the urbanized tissue.

Keywords: environment and ecology; health right; Nature-based solutions; phytoremediation of effluents; Amazon.

JEL Codes: Q53; Q57; I13.

1. Introdução

Os métodos de alagados construídos, ou *wetlands* para fitorremediação de esgotos, constituem sistemas cujas técnicas mimetizam os ecossistemas de alagados naturais, utilizando das relações químicas, físicas e biológicas presentes nestes meios para a purificação das águas (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2018). Estes processos apresentam, como pressuposto, a possibilidade de tratamento das águas a partir de abordagens ecossistêmicas, permitindo constituir relações diversas entre homem e natureza, no sentido de atingir diferentes ganhos sociais (Poças, 2015) e ecossistêmicos. Assim, classificam-se como Soluções baseadas na Natureza, uma vez que permitem a obtenção de benefícios mútuos ao bem-estar humano em conjunto a ações de conservação e proteção ambiental (International Union for Conservation of Nature [IUCN], 2020).

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) apresentam algumas definições propostas por diversas instituições internacionais, como a União Europeia, a União Internacional para Conservação da Natureza e as Nações Unidas (Luciani & Luz, 2022). Entre estas

definições, com suas particularidades e convergências — cujas interpretações variam sobre sua abrangência e escala — apresenta-se, como constante, as SbN como ações que devem produzir benefícios mútuos, necessariamente, humano e à biota.

Estes princípios apontam para premissas favoráveis a ensaios de aplicação destes métodos de saneamento ecológico no território de estudo, São Gabriel da Cachoeira, no Amazonas. Esta pesquisa iniciou uma série de investigações em municípios ao longo do Rio Negro, cujos resultados sugeriram sua factibilidade. No mesmo grupo de pesquisa, foram realizados estudos sequenciais em Barcelos e em Novo Airão, nos quais os resultados também se mostraram favoráveis, e está, atualmente em fase de início, a investigação no município de Santa Isabel do Rio Negro.

Estas cidades têm em comum: localização regional amazônica, tecidos urbanos envolvidos por importantes áreas de proteção ambiental, sem provimento público de saneamento de esgotos e população que conta com diversas etnias indígenas, geograficamente instaladas ao longo do Rio Negro. As Figuras 1 e 2 ilustram o território em tela.



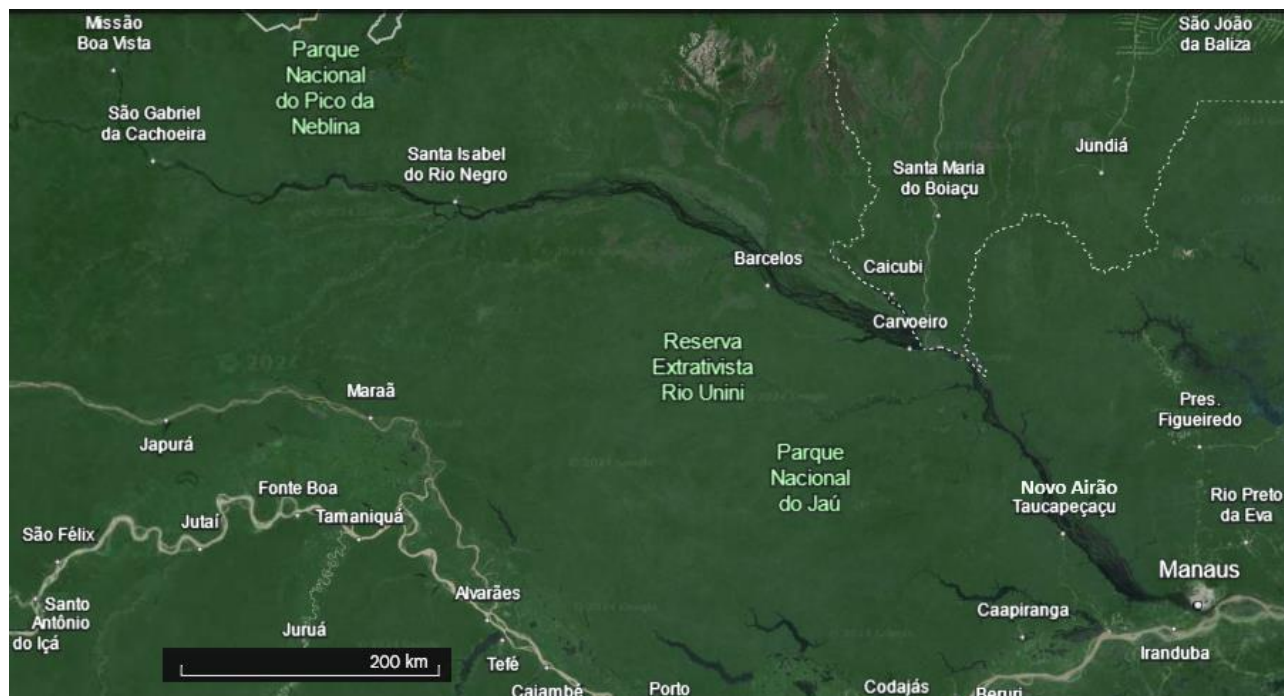
Figura 1: Imagem de satélite destacando em vermelho a localização do município de São Gabriel da Cachoeira, Amazonas



Fonte: Googlemaps, 2022.



Figura 2: Municípios ao longo do Rio Negro, entre São Gabriel da Cachoeira e Manaus, Amazonas



Fonte: os autores, a partir de imagem capturada do Google Earth, 2021.

São Gabriel da Cachoeira é um município brasileiro, localizado na fronteira com a Colômbia e a Venezuela. Seu território está inserido no bioma Amazônia e contempla grande quantidade de Unidades de Conservação Ambiental, cuja extensão recobre mais de 90% do território municipal (Instituto Socioambiental [ISA], s.d.). As áreas protegidas também incluem Terras Indígenas homologadas e autodeclaradas pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI), de modo que a população indígena representa, aproximadamente, 80% do total de habitantes de São Gabriel da Cachoeira (Ricardo & Calbazar Filho, 2006).

A falta de infraestruturas de esgotamento sanitário coloca em risco a proteção de toda a área ambientalmente significativa, presente no território, bem como as relações socioculturais, de salubridade e do bem-estar

físico dos povos originários (Scolfaro, Oliveira, Hernández & Gómez, 2014), o que resulta em condições favoráveis à disseminação de doenças e epidemias (Giatti, 2007), em particular na área de ocupação urbana. Nesse sentido, o estudo de alternativas sustentáveis para o tratamento de efluentes sanitários se faz urgente, como forma de consolidação do direito sanitário.

A pesquisa propõe, portanto, a investigação teórico-prática de técnica de alagados construídos, ou *wetlands*, já consagrados e registrados em literatura científica, conforme propostas de inúmeros autores (Kadlec & Wallace, 2009; Scolfaro, Oliveira, Hernández, & Gómez, 2014; Poças, 2015; Pastor, Arias, & Miglio, 2017; Fachine, 2019; Rodriguez-Dominguez, Konnerup, Brix, & Arias, 2020; Sezerino & Pelissari, 2021), especificamente para o estudo de caso as “*Wetlands* de



Sistema Francês”. Os *wetlands* construídos são, em geral, classificados como de escoamento superficial ou escoamento subsuperficial. Dentre os de escoamento subsuperficial, se dividem em escoamento horizontal e escoamento vertical. Os “*Wetlands* de Sistema Francês” compreendem uma tipologia de escoamento vertical, caracterizada pelo funcionamento em duas etapas, eleito, para a presente pesquisa, pela vantagem de poder receber os esgotos em bruto, após simples gradeamento para retenção de sólidos maiores e não requerer tratamento prévio.

Objetiva-se consolidar ensaios de aplicabilidade no território, para tratamento de esgotos sanitários. Os métodos da pesquisa envolveram a seleção e análise crítica de referências bibliográficas, acadêmicas e documentais, para a abordagem da investigação socioterritorial do estudo de caso e para a análise crítica da técnica proposta para o saneamento de esgotos. A análise de áreas para a implantação dos sistemas se realizou mediante investigação cartográfica e a partir de imagens de satélite. Os parâmetros para dimensionamento, neste estudo, seguem os predicados por Sezerino e Sperling (2018), dada a adaptação proposta por estes autores, para o caso brasileiro, mediante consenso entre pesquisadores e praticantes.

A partir do estudo socioterritorial, foram analisadas especificidades técnico-construtivas, realizado dimensionamento básico das áreas requeridas e condições necessárias para implantação destes sistemas, de modo conjunto à identificação e análise das áreas disponíveis no município, mediante ausência de vegetação arbórea e arbustiva.

A estrutura deste artigo se dá pela apresentação de conceitos que norteiam as Soluções baseadas na Natureza e por breve

exposição sobre alagados construídos para fitorremediação de esgotos. Em continuidade, se dá a investigação socioterritorial do município estudo de caso, São Gabriel da Cachoeira, Amazonas e a exposição de cálculos para a implantação da técnica de saneamento preconizada, de “*Wetlands* de Sistema Francês”, seguida da análise de áreas disponíveis para sua implantação, discussões e conclusão, contemplando, ao final, as referências bibliográficas.

2. Soluções baseadas na Natureza

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) se inserem em um panorama internacional, que propõe abordagens de gestão dos ecossistemas pautando-se em métodos que permitam vincular ações de benefício ecossistêmico e geração de benefícios sociais. Neste cenário, o ser humano apresenta papel ativo na restauração dos ecossistemas e no enfrentamento de fragilidades sociais (IUCN, 2020). A União Internacional para a Conservação da Natureza descreve as SbN como:

Ações para proteger, gerir de modo sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que abordem desafios sociais de forma eficaz e adaptativa proporcionando, simultaneamente, bem-estar humano e benefícios à biodiversidade (IUCN, 2016, p.1 *apud* Luciani & Luz, 2022, p. 200).

Conforme predica a IUCN (2020), a efetividade de uma SbN deve se basear em critérios que identifiquem claramente as demandas sociais a serem enfrentadas, compreendendo a abrangência e o papel das ações ambientais no enfrentamento da problemática observada em determinado contexto. Estes critérios, que consideram projeções favoráveis de viabilidade econômica a curto, médio e longo prazo, articulam-se em conjunto a bases de gestão



ambiental de caráter local ao multiescalar, permitindo uma participação ativa da comunidade em diferentes segmentos da sociedade (IUCN, 2020). Vale citar que as SbN apresentam acenos positivos perante diferentes religiões e crenças humanas, uma vez que pautam princípios simbólicos de equilíbrio entre homem e recursos naturais (UNESCO, 2018).

A UICN (2020) publicou um guia com padrões orientativos, no qual estabeleceu oito critérios para verificação de desempenho das Soluções baseadas na Natureza, para constituir uma ferramenta que possibilite sua mensuração quali-quantitativa. Estes critérios são: Critério 1 - Desafios Sociais; Critério 2 - Desenho em Escala; Critério 3 - Ganho Líquido de Biodiversidade; Critério 4 - Viabilidade Econômica; Critério 5 - Governança Inclusiva; Critério 6 - Balanceamento de Ganhos e Perdas; Critério 7 - Manejo Adaptativo; e Critério 8 - Integração e Sustentabilidade.

Os alagados construídos, *wetlands* ou jardins filtrantes enquadram-se como uma subcategoria de SbN, identificados como Soluções baseadas na Natureza de Gestão das Águas, as quais apresentam, como especificidade, a realização de ações ambientais atuantes sobre o ciclo hídrico, onde se destacam com respeito aos desafios sociais, o manejo da qualidade das águas, o saneamento básico, a segurança hídrica e a prevenção contra acidentes ambientais de origem hidrológica (UNESCO, 2018). Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos (UNESCO, 2018), as ações pautadas por SbN apresentam resultados similares às infraestruturas tradicionais da gestão hídrica, utilizando de sistemas com custos análogos ou inferiores aos tradicionais.

A presente pesquisa discute a temática do saneamento com enfoque nas infraestruturas de esgotamento e do direito sanitário, que são desdobráveis, do ponto de vista cultural e de gestão municipal.

3. Fitorremediação de esgotos: *wetlands* ou alagados construídos

Wetlands, ou alagados construídos, são sistemas de fitorremediação de esgotos cujo funcionamento se baseia na mimetização das condições ecológicas presentes nos meios alagados naturais, como pantanais e manguezais, tendo por objetivo a purificação de efluentes sanitários (Kadlec & Wallace, 2009; Sezerino & Sperling, 2021). Estes processos podem tratar diferentes tipos de efluentes, em escalas diversas, incluindo águas residuais domésticas, industriais e urbanas.

Os *wetlands* são sistemas artificiais, construídos, basicamente, a partir da articulação de três elementos: o meio hídrico; o solo ou meio filtrante; e as espécies vegetais, caracterizadas como macrófitas. Estes elementos podem ser articulados de diversas formas, visando objetivos distintos quanto ao tempo de tratamento, produto das águas e composição paisagística (Poças, 2015). As diferentes articulações destes sistemas também permitem prever a necessidade de tratamento prévio dos efluentes sanitários. Dentre as principais categorias de alagados construídos, os “*Wetlands* de Sistema Francês” dispensam tratamento prévio dos efluentes, passíveis de receber os esgotos de modo bruto (Sperling & Sezerino, 2018), como mencionado. Esta categoria foi a escolhida para desenvolvimento dos ensaios de aplicabilidade no território de estudo.

Os “*Wetlands* de Sistema Francês” são segmentados em duas etapas de tratamento. A primeira é composta por três leitos filtrantes,



dispostos paralelamente, que atuam, principalmente, na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão; a segunda etapa de tratamento apresenta dois leitos filtrantes em paralelo e atua sobre os processos de remoção de nitrogênio amoniacal dos efluentes (Sperling & Sezerino, 2018). Em ambas as etapas de tratamento, os leitos filtrantes funcionam de forma intercalada e alternada (Poças, 2015).

Ressalta-se que, como ferramentas de conservação ambiental, os alagados construídos se articulam como elementos da paisagem, o que permite a qualificação e ampliação de áreas livres urbanas, especialmente ao considerar, no estudo de caso, a biota amazônica e suas espécies nativas. De modo complementar, estes sistemas podem ser utilizados como ferramentas de educação e conscientização ambiental, pois fornecem benefícios diversos à saúde e bem-estar humano, em correspondência à conservação e proteção ambiental, classificando-se, portanto, como Soluções baseadas na Natureza (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2018).

4. Município de São Gabriel da Cachoeira

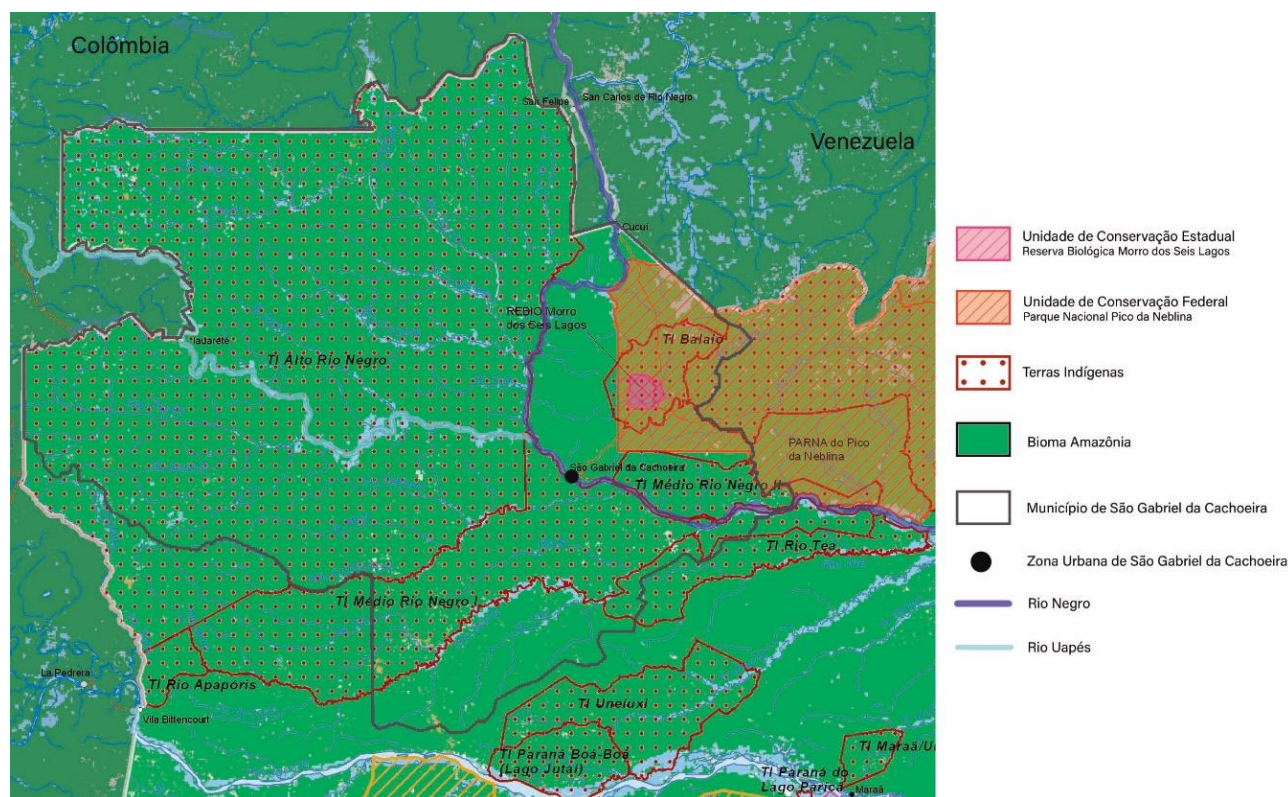
O município de São Gabriel da Cachoeira, localizado na região Norte, é o terceiro maior município brasileiro do ponto de vista da extensão territorial. Seu território é irrigado por diversos cursos hídricos, inserido na sub-bacia do Rio Negro, cuja abrangência engloba tanto territórios nacionais, tais quais os estados de Roraima e Amazonas, como também porções da Colômbia e da Venezuela. A sub-bacia do Rio Negro é uma das principais bacias que compõem a Região Hidrográfica do Amazonas (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico [ANA], s.d.). O Rio Negro, principal curso hídrico desta

bacia, irriga a cidade de São Gabriel da Cachoeira, pois a sede urbana se localiza às margens do rio. O município apresenta a maior parte de seu território com áreas de vegetação nativa preservadas, inserindo-se integralmente no bioma amazônico, caracterizado por uma grande diversidade de espécies animais e vegetais e de extrema importância ecossistêmica do ponto de vista local, nacional e mundial (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], s.d.).

As Unidades de Conservação (UC) do município incluem a Reserva Biológica do Morro dos Seis Lagos e o Parque Nacional Pico das Neblina, como UCs de âmbito estadual e federal, respectivamente (ISA, s.d.). As reservas protegidas presentes no território consistem nas Terras Indígenas do Alto Rio Negro, Médio Rio Negro I e II, Cué-Cué ou Marabitanas, Yanomami, Rio Tea e Balaio (ISA, s.d.). São Gabriel da Cachoeira, do ponto de vista ambiental e cultural, contempla áreas protegidas que recobrem aproximadamente 90% da extensão municipal, condição visualizada na Figura 3, abaixo.



Figura 3: Município de São Gabriel da Cachoeira, com indicação de áreas protegidas, sede urbana e principais cursos hídricos



Fonte: ISA, 2009, trabalhada pelos autores.

Estima-se que 23 etnias indígenas habitam esta região (Ricardo & Cabalzar Filho, 2006), que se destaca do ponto de vista da diversidade étnica-cultural. Além do português, o município oficializa as línguas Baniwa, Tukano e Nheengatu, sendo a população indígena do município correspondente a 80% do total, conforme disponibiliza a plataforma Infosambas (Informações Contextualizadas sobre Saneamento no Brasil [Infosambas], s.d.). Salienta-se a representação indígena expressiva, do ponto de vista da gestão municipal, uma vez que o Plano Diretor vigente se orienta a partir de princípios fundamentais baseados no respeito aos direitos culturais e territoriais das comunidades tradicionais, no cumprimento da função socioambiental da propriedade e na

democratização da gestão territorial, preconizando, na questão do saneamento ambiental, a adoção de tecnologias ambientalmente adequadas e métodos compatíveis às crenças, tradições e usos do território pelas comunidades locais (Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira, 2006). A preservação ambiental se relaciona diretamente à preservação cultural dos povos originários, uma vez que as relações estabelecidas entre estas populações e a natureza compreendem princípios culturais e espirituais, que conferem à paisagem natural relações simbólicas com o sagrado e, portanto, essenciais para a manutenção de costumes, tradições e sobrevivência desses povos (Scolfaro et al., 2014).

São Gabriel da Cachoeira se caracteriza como o principal centro urbano de sua



respectiva Região Geográfica Imediata (IBGE, 2017). Um estudo socioeconômico realizado pelo Instituto Socioambiental indicou que a população urbana era composta por: 13,6% de pessoas vindas de fora da região e 43,8% de pessoas da região, englobando pelo termo região os municípios de Barcelos, Santa Isabel do Rio Negro e áreas não urbanizadas de São Gabriel da Cachoeira; os habitantes nascidos nas cidades correspondiam a 42,6% do total. Trata-se de um polo atrativo, que ainda induz fluxos migratórios intensos vinculados, principalmente, à busca por complementação escolar, trabalhos remunerados, produtos a preços mais acessíveis e pelo serviço militar (Ricardo & Cabalzar, 2016).

Novas instituições militares se instalaram no território, após as décadas de 1970 e 1980, de modo que a cidade sedia, atualmente, um destacamento fluvial da Marinha do Brasil, um posto avançado da Polícia Federal, a 2ª Brigada de Infantaria de Selva e o 7º Comando Aéreo, além do 5º Batalhão de Infantaria e Selva e da 1ª Companhia do 1º Batalhão de Engenharia e Construção, que passou a ser denominada como 21ª Companhia de Engenharia e Construção (Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira, 2006).

Quanto à educação, a cidade possui diversos equipamentos de ensino em nível fundamental e médio e é a única nesta região que apresenta instituições de ensino e pesquisa em nível superior, de âmbito federal e estadual. O setor terciário se mostra muito ativo em São Gabriel da Cachoeira, especialmente nas áreas de comércio e serviços, favorecendo as oportunidades de empregos remunerados na cidade; o centro urbano se localiza próximo ao Porto de Camanaus, ponto de parada obrigatório de

embarcações de transporte, tanto de pessoas como de mercadorias, o que permite a chegada de produtos e materiais de regiões variadas, principalmente vindos de Manaus, o que contribui para um mercado provido de produtos agroindustriais, compatível com uma demanda vinculada a populações compostas majoritariamente por não-indígenas, que detém maior poder aquisitivo no contexto social de São Gabriel da Cachoeira (Eloy, Tourneau, & Théry, 2005).

Na Figura 4, é possível identificar a disposição das instalações militares próximas à zona urbana, assim como algumas instituições de ensino e pesquisa; estes equipamentos estão localizados ao longo da rodovia BR-307, a leste da área de maior concentração urbana. Está assinalada, também, a Estrada de Camanaus, que conecta o Aeroporto de São Gabriel da Cachoeira e o Porto de Camanaus à cidade, afastados aproximadamente 18km.



Figura 4: Zona urbana de São Gabriel da Cachoeira e entorno imediato, destacando principais sistemas de transporte, equipamentos militares e de educação



Fonte: Googlemaps, 2021, trabalhada pelos autores.



Na Figura 5, a seguir, é possível visualizar os onze bairros nos quais se distribui a cidade de São Gabriel da

Cachoeira, com as respectivas morfologias de seus tecidos urbanos e espaços livres.

Figura 5: Área urbana de São Gabriel da Cachoeira e respectivos bairros



Fonte: Google Earth, 2021, trabalhada pelos autores, com base em dados do Plano Diretor de São Gabriel da Cachoeira, Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira, 2006.

A falta de infraestruturas adequadas de esgotamento sanitário no município representa riscos graves à proteção ambiental e à salubridade das populações, bem como das relações socioculturais neste território. Segundo o Censo de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, s.d.), o esgotamento adequado no município abrangia apenas 11% da população, indicando um déficit sanitário que já apresentava indícios de contaminação das águas do Rio Negro e influências diretas sobre os altos índices de internações hospitalares por doenças de veiculação

hídrica (Giatti, 2007). De modo semelhante, a deficiência de saneamento contribui para os quadros recidivos de surtos de malária, tais quais os que ocorreram na região em 2018 e 2020 (Radler, 2020) e, para o cenário de calamidade perante a pandemia de Covid-19, em que São Gabriel da Cachoeira se apresentou como o município com maior incidência da doença em relação a sua população total, durante o período de julho de 2020 (Madeiro, 2020).

O Plano Diretor, é o principal instrumento de ordenação do desenvolvimento e expansão



urbana na escala municipal (Brasil, 2001). O Plano Diretor de São Gabriel da Cachoeira foi elaborado em 2006, sob coordenação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Turismo e Cultura, com assessoria técnica do Instituto Polis e parceria técnica do Instituto Socioambiental (Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira, 2006). O Capítulo I dispõe sobre os princípios fundamentais que ordenam as diretrizes de planejamento urbano e municipal previstas pelo Plano Diretor, sendo estes indicados no Título I – Dos Princípios Fundamentais e Objetivos da Política Territorial, Capítulo I – Dos Princípios Fundamentais:

[...] São princípios do Plano Diretor de São Gabriel da Cachoeira:

I - respeito aos direitos culturais e territoriais das comunidades tradicionais;

II - cumprimento da função socioambiental da cidade e da propriedade;

III - democratização do planejamento e gestão territorial. (Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira, 2006, art. 3º, grifo nosso).

As propostas de gestão urbana devem, portanto, respeitar a diversidade étnica presente no território de São Gabriel da Cachoeira, considerando seus valores culturais e socioambientais, territorialidades e suas formas de organização coletiva. A função socioambiental da cidade e da propriedade está alinhada a esta premissa, de modo que compreende o direito à cidade como princípio fundamental acessível a todos, sendo explicitada no Capítulo I, § 2 e 3, do Plano Diretor:

§ 2º A função socioambiental do município de São Gabriel da Cachoeira [...] compreende:

I - a eliminação da pobreza, a redução das desigualdades sociais e a promoção da justiça social;

II - a universalização dos acessos à moradia adequada, ao saneamento ambiental, às condições adequadas de mobilidade, à infra-estrutura urbana, aos equipamentos comunitários de educação, saúde, esporte, lazer e cultura.

§ 3º A propriedade cumpre sua função socioambiental quando:

I - seu uso e a ocupação estiver de acordo com o interesse coletivo;

II - for utilizada de maneira ambientalmente sustentável;

III - garantir os direitos originários dos povos indígenas sobre as terras que tradicionalmente ocupam;

IV - Não favorecer a especulação imobiliária;

V - Atender às exigências deste Plano Diretor;

VI - Atender às necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida e à justiça social. (Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira, Cap. I, 2006, grifo nosso).

Em 2012, foi redigido um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) para São Gabriel da Cachoeira, sob orientação do Programa de Apoio à Elaboração dos Planos Municipais de Saneamento e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos dos Municípios do Estado do Amazonas ([PLANSAM] (2012), que não obteve efetivação legal no município, até o momento.

Com respeito aos dados de saúde, diretamente vinculados aos problemas de saneamento, o PMSB assinala que a mortalidade infantil — equivalente a 34,2



mortes de crianças menores de um ano de idade por mil nascidos vivos — e taxa de fecundidade — 3,2 filhos por mulher —, são superiores às médias nacional e do Estado do Amazonas e a expectativa de vida em anos é inferior, correspondendo a 68,9 anos. Apresenta, também, dados sobre número de casos de doenças no município, de acordo com o Anuário Estatístico do Amazonas 2009/2010 da SEPLAN, que foram definidos como 3.170 casos de diarreia aguda, em 2007, 9.356 casos de malária, em 2010, entre outros. Com respeito a doenças de veiculação hídrica, o PMSB de São Gabriel da Cachoeira tem a preocupação de elencá-las em tabela e as definir, como:

As doenças de veiculação hídrica [...] são caracterizadas principalmente pela ingestão de água contaminada por microrganismos patogênicos de origem entérica (intestino), animal ou humana, transmitidos basicamente pela rota fecal-oral (rota de transmissão são passadas quando patógenos em partículas fecais de um hospedeiro são introduzidas na cavidade oral de outro). (PLANSAM, 2012, p. 126).

Embora não implementado, o Plano apresenta, entretanto, um levantamento de dados referentes à carga orgânica e vazão média por habitante, considerando projeções populacionais de 2012 até 2036. Estes dados foram adotados pela presente pesquisa, para elaboração de dimensionamento básico e ensaios espaciais de “*Wetlands* de Sistema Francês” em São Gabriel da Cachoeira, como alternativa passível de implantação imediata, relativa simplicidade de realização técnica e de manutenção, possibilidade de ser instrumento de educação ambiental e realização em moldes participativos. Seus custos são considerados menores ou equivalentes para implantação, em relação às infraestruturas de saneamento de esgoto tradicionais, centralizadas e de molde

industrial, porém sua manutenção é expressivamente mais barata e seu impacto ambiental é relativamente nulo ou negativo (Sperling & Sezerino, 2018; Sezerino & Pelissari, 2021; Rodriguez-Dominguez, Konnerup, Bris & Arias, 2020; Kadlec & Wallace, 2009).

5. Cálculos de dimensionamento de *Wetlands* de Sistema Francês, para São Gabriel da Cachoeira

Esta seção apresenta a sequência de cálculos para o dimensionamento do sistema adotado para o saneamento de esgotos em processos naturais, da área urbana de São Gabriel da Cachoeira, para a definição da área superficial necessária. Foram adotados dois critérios, conforme indicados por Sperling e Sezerino (2018), como será exposto a seguir. Estes dois critérios se estabeleceram para duas alternativas de prazo, a saber, para aplicação imediata, mediante a demanda atual, de 2023 (um ano após a finalização da pesquisa) e para o horizonte de demanda de 2036, para o que foram adotados os dados referentes ao Plano de Saneamento Básico de São Gabriel da Cachoeira (PLANSAM, 2012), com respeito às projeções populacionais e as respectivas vazões médias de esgotos sanitários.

Segundo Sperling e Sezerino (2018), os “*Wetlands* de Sistema Francês” podem ser dimensionados para sua área superficial cotejando dois critérios: I - a razão entre a vazão média afluente e a taxa de aplicação hidráulica no sistema; e, II – a razão entre a carga orgânica afluente e a taxa de aplicação superficial orgânica aplicada ao sistema. A área superficial considerada deve ser aquela resultante do maior valor obtido, sendo adicionados 40% deste total para destinação de áreas técnicas. O sistema funciona em duas etapas, para as quais deve-se aplicar os



referidos critérios. Assim, as fórmulas utilizadas podem ser descritas como:

Critério I: razão entre vazão média afluente e taxa de aplicação hidráulica

Área requerida pelo sistema (m^2) = vazão média afluente (m^3/dia) ÷ taxa de aplicação hidráulica ($m^3/m^2.dia$)

Critério II: razão entre carga orgânica afluente e taxa de aplicação orgânica

Área requerida pelo sistema (m^2) = carga orgânica afluente ($gDBO.dia$) ÷ taxa de aplicação orgânica ($gDBO/m^2.dia$)

A taxa de aplicação hidráulica nos “*Wetlands* de Sistema Francês” deve ser equivalente a 0,4 ($m^3/m^2.dia$) para ambas as etapas do sistema; a taxa de aplicação orgânica deve ser de 150 ($gDBO/m^2.dia$), na primeira etapa de tratamento, e 20 ($gDBO/m^2.dia$), na segunda etapa, devido ao tratamento da primeira etapa já ter eliminado poluentes de modo significativo.

Os valores são também ponderados de acordo com o número de leitos filtrantes em cada etapa de tratamento, dado seu funcionamento alternado e, no caso dos cálculos relacionados à taxa de aplicação orgânica, é estabelecida uma redução de 80% da carga orgânica entre a primeira e a segunda etapa de tratamento, pela mesma razão, de que o tratamento da primeira etapa já realizou eliminação considerável de poluentes (Sperling & Sezerino, 2018). Ou seja, como a 1ª etapa prevê três leitos alternados de tratamento, sendo que um deles fica ativo enquanto os demais descansam e, na 2ª etapa conta-se com dois leitos alternados, o cálculo da área necessária deve ser multiplicado, respectivamente, pelo número de leitos, dada a atividade de apenas um deles em cada etapa.

Como mencionado, os cálculos para dimensionamento, realizados nesta pesquisa, incluem projeções de áreas requeridas por “*Wetlands* de Sistema Francês”, tanto para implantação imediata, considerando dados referentes às projeções populacionais de 2023, que correspondem a 27.342 habitantes, como também a longo prazo, tendo como base as projeções populacionais para 2036, que são estimadas em 35.708 habitantes, conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico de São Gabriel da Cachoeira não efetivado (PLANSAM, 2012).

Apresentamos, inicialmente, os cálculos para dimensionamento para implantação imediata, ou seja, para o ano de 2023, e, a seguir, para longo prazo, correspondentes ao ano de 2036, segundo os dois critérios mencionados (Sperling & Sezerino, 2018).

5.1. Cálculo da área requerida referente à implantação imediata — ano de 2023

Para cálculo da área necessária para implantação imediata de “*Wetlands* de Sistema Francês”, foram considerados, primeiramente, os seguintes dados, a saber:

Taxa de aplicação hidráulica = 0,4 ($m^3/m^2.dia$) para ambas as etapas (1)

Taxa de aplicação orgânica na primeira etapa de tratamento = 150 ($gDBO/m^2.dia$) (2)

Taxa de aplicação orgânica na 2ª etapa de tratamento = 20,00 ($gDBO/m^2.dia$) (3)

O cenário mais desfavorável, referente às vazões medias de esgotos, na área urbana do município, segundo as projeções feitas pelo PMSB (PLANSAM, 2012), equivale a 54,76 l/s. Convertem-se as unidades de medidas para m^3/dia :

Vazão média afluente ao sistema (m^3/dia) = 4.731,264 (4)



Carga orgânica afluyente à primeira etapa de tratamento (gDBO) = 2.129.000,00 (PLANSAM, 2012) (5)

Carga orgânica remanescente afluyente à segunda etapa de tratamento (gDBO) = 20% de 2.129.000 = 425.800,00 (Sperling & Sezerino, 2018) (6)

Segundo o Critério I (Sperling & Sezerino, 2018), relativo à razão entre vazão média afluyente (a) e taxa de aplicação hidráulica:

Área requerida por um leito filtrante = $4.731,264(\text{m}^3/\text{dia}) \div 0,4(\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}) = 11.828,16 \text{ m}^2$ (7)

Consideram-se três leitos filtrantes na primeira etapa de tratamento. Assim, tem-se:

Área requerida na primeira etapa de tratamento = $3 \times 11.828,16 \text{ m}^2 = 35.484,48 \text{ m}^2$ (8)

Consideram-se dois leitos filtrantes na segunda etapa de tratamento; tem-se:

Área requerida na segunda etapa de tratamento = $2 \times 11.828,16 \text{ m}^2 = 23.656,32 \text{ m}^2$ (9)

Desse modo, a área total requerida pelo sistema segundo o Critério I provém da soma de todos os leitos filtrantes correspondentes às 1ª e 2ª etapas:

$35.484,48 \text{ m}^2 + 23.656,32 \text{ m}^2 = 59.140,80 \text{ m}^2$ (10)

Segundo Critério II (Sperling & Sezerino, 2018), referente à razão entre carga orgânica afluyente e taxa de aplicação orgânica, resulta:

Área requerida por um leito filtrante na primeira etapa de tratamento = $2.129.000,00(\text{gDBO}) \div 150(\text{gDBO}/\text{m}^2.\text{dia}) = 14.193,33 \text{ m}^2$ (11)

Consideram-se três leitos filtrantes na primeira etapa de tratamento. Assim, tem-se:

Área total requerida na primeira etapa de tratamento = $3 \times 14.193,33 \text{ m}^2 = 42.580,00 \text{ m}^2$ (12)

Área requerida por um leito filtrante na segunda etapa de tratamento = $425.800,00(\text{gDBO}) \div 20(\text{gDBO}/\text{m}^2.\text{dia}) = 21.290,00 \text{ m}^2$ (13)

Consideram-se dois leitos filtrantes:

Área total requerida na segunda etapa de tratamento = $2 \times 21.290,00 = 42.580,00 \text{ m}^2$ (14)

Desse modo, a área total requerida pelo sistema segundo o Critério II provém da soma de todos os leitos filtrantes correspondentes às 1ª e 2ª etapas:

Área total requerida pelo sistema segundo o Critério II = $42.580,00 \text{ m}^2 + 42.580,00 \text{ m}^2 = 85.160,00 \text{ m}^2$ (15)

Para o prazo de aplicação imediata, preconiza-se, portanto, a utilização dos valores obtidos segundo o Critério II, referente à taxa de aplicação orgânica, dado ser a condição mais desfavorável e, portanto, que requer maior área. Deve-se, ainda, prever o acréscimo de 40% do valor obtido, para destinação de áreas técnicas, do que se obtém:

Área total requerida para implantação imediata de “Wetlands de Sistema Francês” = $85.160,00 \text{ m}^2 + (0,4 \times 85.160,00 \text{ m}^2) = 119.224,00 \text{ m}^2$ (16)

5.2. Cálculo da área requerida referente a horizonte de demanda de longo prazo — ano de 2036



Para os cálculos das áreas requeridas a longo prazo, referentes ao ano de 2036, para implantação ou ampliação dos sistemas de “Wetlands de Sistema Francês” no município, foram utilizados os respectivos valores:

$$\text{Vazão média (m}^3\text{/dia)} = 9.423,65 \text{ (PLANSAM, 2012)} \quad (17)$$

$$\text{Carga orgânica afluyente à primeira etapa de tratamento (gDBO)} = 4.242.000 \text{ (PLANSAM, 2012)} \quad (18)$$

$$\text{Carga orgânica afluyente à segunda etapa de tratamento (gDBO)} = 20\% \text{ de } 4.242.000,00 = 848.400,00 \text{ (Sperling \& Sezerino, 2018)} \quad (19)$$

Segundo o Critério I (Sperling & Sezerino, 2018), relativo à razão entre vazão média afluyente e taxa de aplicação hidráulica, obtém-se:

$$\text{Área requerida por um leito filtrante} = 9.423,65(\text{m}^3\text{/dia}) \div 0,4(\text{m}^3\text{/m}^2\text{.dia}) = 23.559,13 \text{ m}^2 \quad (20)$$

Consideram-se três leitos filtrantes na primeira etapa de tratamento:

$$\text{Área requerida na primeira etapa de tratamento} = 3 \times 23.559,13 \text{ m}^2 = 70.677,375 \text{ m}^2 \quad (21)$$

Consideram-se dois leitos filtrantes na segunda etapa de tratamento:

$$\text{Área requerida na segunda etapa de tratamento} = 2 \times 23.599,13 = 47.118,25 \text{ m}^2 \quad (22)$$

$$\text{Assim, a área total requerida pelo sistema segundo o Critério I, acrescentados 40\% para apoio} = 70.677,375 \text{ m}^2 + 47.118,25 \text{ m}^2 = 117.795,625 \text{ m}^2 \quad (23)$$

Segundo o Critério II (Sperling & Sezerino, 2018), correspondente à razão entre carga

orgânica afluyente e taxa de aplicação orgânica calcula-se:

$$\text{Área requerida por um leito filtrante na primeira etapa de tratamento} = 4.242.000,00(\text{gDBO}) \div 150(\text{gDBO/m}^2\text{.dia}) = 28.280,00 \text{ m}^2 \quad (24)$$

Consideram-se três leitos filtrantes na primeira etapa de tratamento:

$$\text{Área total requerida na primeira etapa de tratamento} = 3 \times 28.280,00 \text{ m}^2 = 84.840,00 \text{ m}^2 \quad (25)$$

Para a segunda etapa de tratamento:

$$\text{Área requerida por um leito filtrante na segunda etapa de tratamento} = 848.400,00(\text{gDBO}) \div 20(\text{gDBO/m}^2\text{.dia}) = 42.420,00 \text{ m}^2 \quad (26)$$

Consideram-se dois leitos filtrantes:

$$\text{Área total requerida na segunda etapa de tratamento} = 2 \times 42.420,00 \text{ m}^2 = 84.840,00 \text{ m}^2 \quad (27)$$

$$\text{Assim, área total requerida pelo sistema, segundo o Critério II} = 84.840,00 \text{ m}^2 + 84.840,00 \text{ m}^2 = 169.680,00 \text{ m}^2 \quad (28)$$

Foram utilizados, para a opção de longo prazo, os valores obtidos segundo o Critério II, dado serem mais desfavoráveis aos quais se adicionou 40% do valor obtido para destinação de áreas de apoio e manutenção, quando se obtém:

$$\text{Área total requerida para implantação e ampliação a longo prazo de sistemas de Wetlands de Sistema Francês} = 169.680,00 \text{ m}^2 + (0,4 \times 169.680,00 \text{ m}^2) = 237.552,00 \text{ m}^2 \quad (29)$$

A Tabela 1 apresenta a síntese dos valores obtidos para a aplicação imediata, relativa ao



ano de 2023 e para aplicação a longo prazo, correspondente a 2036.

Tabela 1: Resumo comparativo das áreas requeridas para o horizonte de demanda imediata referente ao ano de 2023 e de demanda a longo prazo, relativo ao ano de 2036, mediante os critérios I e II de dimensionamento

PRAZOS	Horizonte de demanda imediata – ano de 2023		Horizonte de demanda de longo prazo – ano 2036	
CRITÉRIOS	Critério I (Razão entre vazão média afluente e taxa de aplicação hidráulica)	Critério II (Razão entre carga orgânica afluente e taxa de aplicação orgânica)	Critério I (Razão entre vazão média afluente e taxa de aplicação hidráulica)	Critério II (Razão entre carga orgânica afluente e taxa de aplicação orgânica)
ÁREAS NECESSÁRIAS (m²)				
1ª ETAPA	35.484,48	42.580,00	70.677,375	84.840,00
2ª ETAPA	23.656,32	42.580,00	47.118,25	84.840,00
TOTAL 1ª E 2ª ETAPAS	59.140,80	85.160,00	117.795,625	169.680,00
TOTAL 1ª E 2ª ETAPAS COM 40% DE ACRÉSCIMO PARA APOIO E INFRAESTRUTURAS	82.797,12	119.224,00	164.913,875	237.552,00 (valor adotado)

Fonte: autoral.

6. Análise das áreas disponíveis em São Gabriel da Cachoeira

A análise das áreas disponíveis no município foi realizada a partir de imagens aéreas, quantificadas mediante ferramentas de medição do Google Earth. Para a implantação dos sistemas de tratamento de “Wetlands de Sistema Francês”, foi verificada a disponibilidade de áreas livres de edificações ou vegetação arbórea ou arbustiva. Foram identificadas doze localidades (Figura 6) com estas condições, em São Gabriel da Cachoeira, cuja soma das superfícies totalizou aproximadamente 500.000,00 m², valor superior àquele requerido pelos sistemas de tratamento estudados,

considerando, inclusive, as necessidades a longo prazo, relativas ao ano de 2036.



Figura 6: Áreas disponíveis em São Gabriel da Cachoeira para implantação de “Wetlands de Sistema Francês”



Fonte: Os autores, com base em dados de agosto de 2022, do Google Earth.

Priorizou-se, para implantação imediata dos sistemas estudados, os espaços livres localizados nas porções do território próximas a tecidos urbanos já consolidados, elegendo-se as localidades 4, 5, 12 e 2. Estas totalizam a área de 147.037,00 m², que supera os valores necessários calculados, para aplicação imediata, correspondentes a 119.224,00 m² — com excedente de 27.813,00 m², para médio prazo.

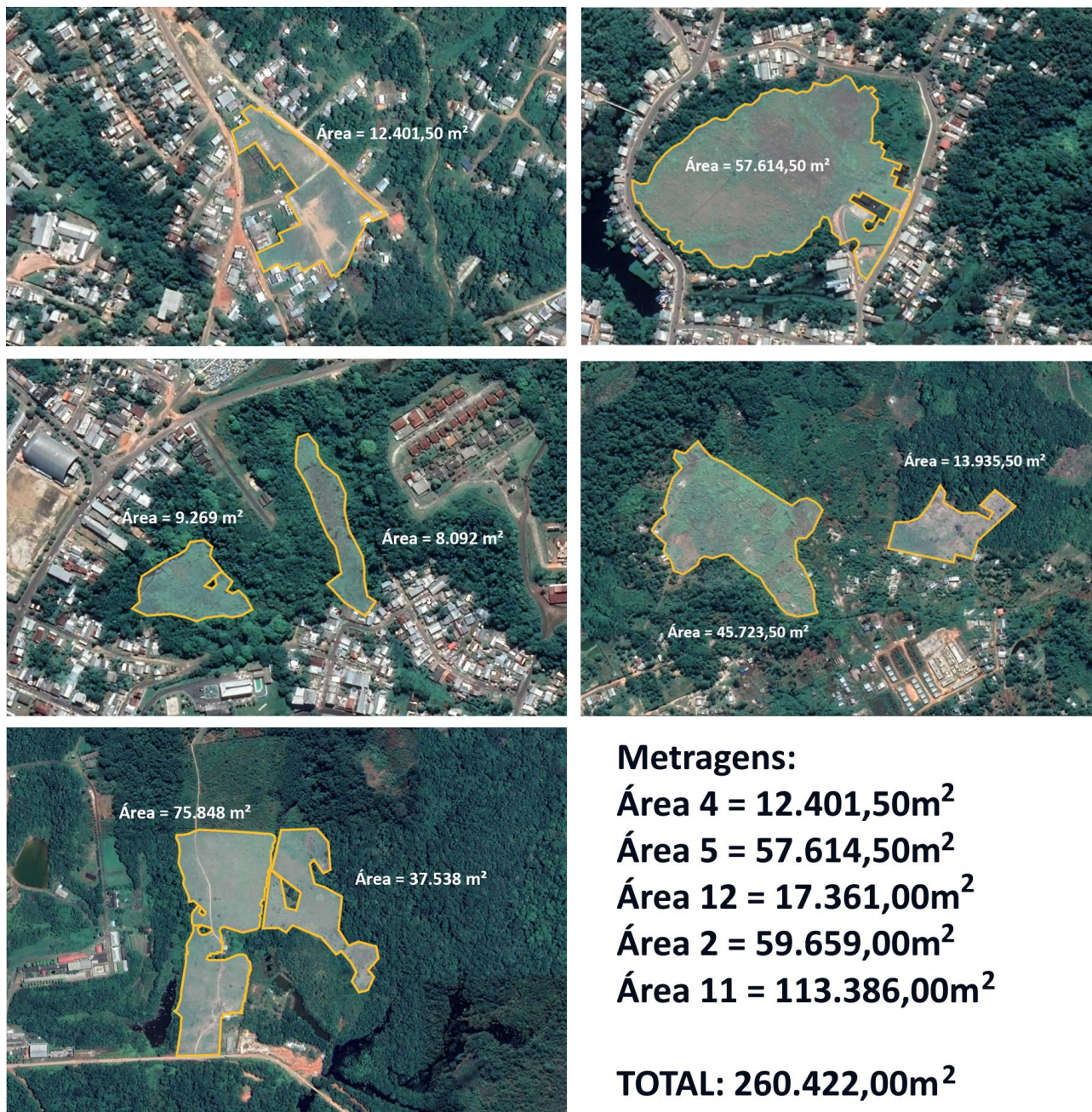
Os espaços livres destinados à implantação e ampliação destes sistemas foram previstos em localidades próximas a vetores de possíveis eixos de expansão urbana, elegendo-se a localidade 11, cuja área totaliza

aproximadamente 113.386,00 m², de modo que, em conjunto às demais localidades escolhidas, soma-se 260.422,00 m² que suprem o valor necessário de 237.552,00 m², relativo às necessidades de espaço para o ano de 2036, com excedente de 22,870,00 m² (Figura 7).

As demais localidades indicadas no estudo permitem outras demandas municipais, como reflorestamento, ou mesmo utilizações futuras como áreas de reserva para expansão destes métodos de saneamento no município.



Figura 7: Áreas disponíveis 4, 5, 12, 2 e 11, em São Gabriel da Cachoeira, para implantação de “Wetlands de Sistema Francês” até longo prazo, relativo ao ano de 2036



Fonte: os autores, com base em dados do Google Earth de agosto de 2022.

O município de São Gabriel da Cachoeira apresenta uma sede urbana que se insere em contexto de Divisão Regional, englobando uma rede de centros urbanos que se dispõem ao longo do Rio Negro até Manaus, incluindo os municípios de Santa Isabel do Rio Negro,

Barcelos e Novo Airão. Até 2017, a Divisão Regional do Brasil, pautada em especificidades de quadros ambientais e de estruturas de produção, reconhecia estes municípios como pertencentes à Microrregião do Rio Negro; atualmente os municípios de Santa Isabel do Rio Negro e Barcelos



correspondem à Região Geográfica Intermediária de São Gabriel da Cachoeira, reconhecendo as relações urbanas intermunicipais como principal critérios para subdivisão regional (IBGE, 2017). Nesse sentido, São Gabriel da Cachoeira apresenta maior influência dentro de sua respectiva Região, observando-se, também, características semelhantes do ponto de vista ambiental e sociocultural, entre os demais municípios citados.

Estes municípios contemplaram, analogamente, segundo o último Censo IBGE (s.d.), índices de esgotamento sanitário precários, de modo que o saneamento adequado em Santa Isabel do Rio Negro, em Barcelos e Novo Airão correspondiam a 6,3%, 14,5% e 15,4%, respectivamente, em relação às suas populações. Observa-se, portanto, situações de vulnerabilidade semelhantes às do município em estudo, que caracterizam cenários de riscos ambientais e sociais.

Assim, a pesquisa propôs discussões a respeito da replicabilidade dos métodos estudados para São Gabriel da Cachoeira em situações similares, atualmente correspondentes a pesquisas finalizadas, como é o caso de Barcelos, em curso, correspondente a Novo Airão e inicial, em Santa Isabel do Rio Negro. Reforça-se, neste sentido, aspectos que fortalecem a aplicação de Soluções baseadas na Natureza, uma vez que permitem compreender abordagens socioambientais em equilíbrio, enquanto sistema regional e multiescalar, que fornecem formas de organização intergovernamental e de parcerias entre diferentes setores, ampliando, consequentemente, a chance de sua eficácia (IUCN, 2020).

Os cálculos de área necessária, realizados seguindo critérios adaptáveis ao contexto brasileiro, apontaram para a o critério de razão entre carga orgânica afluenta e taxa de

aplicação orgânica como mais adequado, pois resultou na necessidade de maior área superficial dos sistemas.

De acordo com os valores resultantes e mediante a análise das morfologias do tecido urbano e das áreas livres sem vegetação arbórea ou arbustiva, evidenciou-se a possibilidade de factibilidade de implantação dos sistemas de saneamento de esgotos em bases ecológicas, por processos de fitorremediação, como se dá nos “*Wetlands* de Sistema Francês”.

A investigação socioterritorial do estudo de caso aponta para a possibilidade de ganhos expressivos de qualidade socioespacial e sanitária em situações urbanas ou comunidades isoladas, especialmente, quando se trata de regiões ambientalmente estratégicas, cuja proteção dos ecossistemas é imperativa, como é o caso de São Gabriel da Cachoeira.

Salienta-se que a implantação de sistemas de menor envergadura nos espaços livres da área urbana é desejável, uma vez que requer menor impacto na distribuição de tubulações de coleta.

7. Conclusão

A carência de saneamento básico de esgotos no município de São Gabriel da Cachoeira representa graves ameaças ao meio ambiente, à saúde pública e às populações originárias, colocando em risco as premissas de proteção ambiental e sociocultural. Este cenário se estende para além de São Gabriel da Cachoeira, incluindo os municípios próximos de Santa Isabel do Rio Negro, Barcelos e Novo Airão, compreendendo riscos ambientais de caráter regional, bem como de pequenos assentamentos com características semelhantes, onde sistemas piloto poderiam ser desenvolvidos, com facilidade.



Conclui-se, portanto, que a adoção de “Wetlands de Sistema Francês” são viáveis e compreendem medidas adequadas para aplicação no território de estudo, em resposta ao déficit sanitário, uma vez que, enquanto ações compreendidas como Soluções baseadas na Natureza, condizem com premissas de proteção ambiental e sociocultural presentes no território, além de predicarem possibilidades de replicabilidade e abordagens multiescalares. As demandas espaciais requeridas pelo sistema adotado são integralmente atendidas pelas áreas livres disponíveis em São Gabriel da Cachoeira.

A utilização dos métodos preconizados para o tratamento natural de esgotos apresenta-se

como hipótese favorável no município, uma vez que permite a obtenção de benefícios sociais, em conjunto às abordagens de conservação ambiental e benefícios ecossistêmicos, permitindo desdobramentos como ferramentas de conscientização ambiental e qualificação da paisagem urbana. Considera-se que as Soluções baseadas na Natureza se alinham à legislação vigente, adequando-se às tradições e crenças locais e permitem pontes entre os saberes tradicionais e as tecnologias de esgotamento sanitário propostas, como instrumento capaz de potencializar formas de democratização da gestão socioterritorial, conforme recomendado pelo Plano Diretor.

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (s.d.) Sub-bacias hidrográficas DNAEE. Dados abertos. https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/1048069211f443bb5a38d9bb156851f_0/explore?location=-14.248300%2C-54.384400%2C4.69

Brasil. Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm

Câmara Municipal de São Gabriel da Cachoeira. (2006). Lei Municipal nº 209, de 21 e novembro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de São Gabriel da Cachoeira e dá outras providências. <https://www.saogabrieldacachoeira.am.leg.br/leis/lei-organica-municipal/Plano%20Diretor%20PDF.pdf/view>

Eloy, L., Tourneau, F. M., & Théry, H. (2005, mar.). Uma cidade na floresta: São Gabriel da

Cachoeira, capital isolada do Alto Rio Negro. *Cybergeo – European Journal of Geography – Espace, Société, Territoire*, 304. <https://journals.openedition.org/cybergeo/3238>

Fechine, V. Y. (2019). Avaliação do desempenho e da rotina operacional em wetlands construídos verticais empregados no tratamento de esgoto sanitário. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214708>

Giatti, L. L. (2007). Reflexões sobre água de abastecimento e saúde pública: um estudo de caso na Amazônia Brasileira. *Saúde e Sociedade*, 16(1), pp. 134-144. <https://www.scielo.org/pdf/sausoc/2007.v16n1/134-144/pt>

Google Earth. (2021, 1 jan.) <https://earth.google.com/web/search/s%3%a3o+gabriel+da+cachoeira,+amazonas/@-1.068111,-63.40409502,360.99819054a,620104.05187301d,49.80750627y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCR1AYIRM0DbAEec6MES->



jbAGSKSSH4kb0fAlUqy_0TykEfAQgIIAToDC
gEwSg0l_____ARAA

Google Maps (2022).
https://www.google.com/maps/place/S%C3%A3o+Gabriel+da+Cachoeira,+AM,+69750-000,+Brasil/@-0.1421588,-67.0167065,59454m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x92000ddd72dcd115:0x977b2eaf862de1ab!8m2!3d-0.1307918!4d-67.0877374!16s%2Fg%2F11bxfyyzt4?entry=tu&g_ep=EgoyMDI0MDkxNS4wKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (s.d.). Cidades e Estados.
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). Divisão regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>

Informações Contextualizadas sobre Saneamento no Brasil Infosambas. (s.d.). São Gabriel da Cachoeira, AM.
<https://infosambas.org.br/municipio/sao-gabriel-da-cachoeira-am/>

Instituto Socioambiental. (s.d.). Unidades de Conservação Ambiental no Brasil.
<https://uc.socioambiental.org/pt-br>

Instituto Socioambiental. (2009). Amazônia Brasileira 2009.
<https://acervo.socioambiental.org/index.php/acervo/mapas-e-cartas-topograficas/amazonia/amazonia-brasileira-2009>

International Union for Conservation of Nature. (2016). Nature-based Solutions to address global society changes. Gland, Switzerland: IUCN.

International Union for Conservation of Nature. (2020). IUCN global standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. Gland, Switzerland: IUCN.

<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf>

Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2009). Treatment wetlands. London, New York: CRC Press Taylor & Francis Group.

Luciani, M. M., & Luz, V. S. (2022). Soluções baseadas na Natureza. In Trani, E., & Luciani, M. M. (Orgs.). Instrumentos de planejamento, licenciamento e gestão ambiental no Estado de São Paulo. São Paulo, CETESB.
https://smastr20.blob.core.windows.net/download/instrumentosplanejamento_2022.pdf

Madeiro, C. (2020, jun. 9) AM: cidade indígena faz testagem em massa e lidera casos de covid no país. UOL.
<https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2020/06/09/am-cidade-indigena-lamenta-e-comemora-ser-lider-em-casos-de-covid-no-pais.htm>

Pastor, R., Arias, C., & Miglio, R. (2017). Humedales construidos para la depuración de aguas residuales. Lima: UNALM.

Programa de Apoio à Elaboração dos Planos Municipais de Saneamento e Gestão Integrada de Resíduos dos Municípios do Estado do Amazonas. (2012). Plano Municipal de Saneamento Básico: São Gabriel da Cachoeira/AM.
<https://www.aam.org.br/planos-municipais-de-saneamento-e-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-dos-municipios-de-estado-do-amazonas>

Poças, C. D. (2015). Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP.
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015-122556/pt-br.php>

Radler, J. (2020, out. 8). São Gabriel da Cachoeira tem surto de malária e lidera o ranking de casos no país. Instituto Socioambiental.
<https://www.socioambiental.org/pt-br/noticias->



socioambientais/sao-gabriel-da-cachoeira-tem-surto-de-malaria-e-lidera-ranking-de-casos-no-pais

Ricardo, C. A., Cabalzar Filho, A. (Eds.). (2006). Povos indígenas do Rio Negro: uma introdução à diversidade socioambiental do noroeste da Amazônia brasileira. (3ª ed.). São Gabriel da Cachoeira, São Paulo: FOIRN, ISA.

Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A. (2020). Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: a review of experiences during the last decade. *Water*, 12 (6) p. 1744. <https://doi.org/10.3390/w12061744>

Scolfaro, A., Oliveira, A. G., Hernández, N., & Gómez, Silvia (Orgs.). (2014). Cartografia dos sítios sagrados: iniciativa binacional Brasil-Colômbia. Primeiro informe de avanços. São Paulo, Brasília, Bogotá: ISA; IPHAN; Ministerio de Cultura de Colombia.

Sezerino, P. H., & Pelissari, C. (Orgs.). (2021). Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras. Curitiba: Brazil Publishing.

Sperling, M.; Sezerino, P. H. (Orgs.). (2018). Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. Wetlands Brasil, Ed. Especial. <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>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for water. Paris: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424?posInSet=1&queryId=df63108-307f-46f3-88dd-e1affd3caf08>