



UNESP

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

JARDINS DE TRATAMENTO PARA O SANEAMENTO URBANO:

**PLANEJAMENTO E PROJETO PARA O DISTRITO
CAMPINAL DE PRESIDENTE EPITÁCIO/SP**

TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO

Discente: Vanessa Lima de Souza

Orientador: Fernando Sérgio Okimoto

NOVEMBRO, 2024

VANESSA LIMA DE SOUZA

JARDINS DE TRATAMENTO PARA O SANEAMENTO URBANO:
PLANEJAMENTO E PROJETO PARA O DISTRITO CAMPINAL DE PRESIDENTE EPITÁCIO/SP

Trabalho Final de Graduação do Curso de
Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" -
FCT/UNESP. Campus de Presidente Prudente.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Sergio
Okimoto.

Presidente Prudente
2024

S729j Souza, Vanessa Lima
Jardins de tratamento para o saneamento urbano : planejamento e projeto para o distrito Campinal de Presidente Epitácio/SP / Vanessa Lima Souza. -- Presidente Prudente, 2024
131 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientador: Fernando Sergio Okimoto

1. Saneamento Urbano. 2. Sustentabilidade. 3. Infraestruturas verdes. 4. Wetlands. 5. Jardins de Tratamento. I. Título.

DECLARAÇÃO

Declaramos que os Professores:

- **Fernando Sérgio Okimoto (Orientador)**
- **Andre Aparecido da Silva Araujo**
- **Fernanda Nascimento Rigolo**

Participaram, sob a presidência do primeiro, como membros da Banca do Trabalho Final de Graduação 2, da graduanda **Vanessa Lima de Souza** do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho"- Campus de Presidente Prudente, no dia 03 de dezembro de 2024.

Título do Trabalho:

"JARDINS DE TRATAMENTO PARA O SANEAMENTO URBANO: PLANEJAMENTO E PROJETO PARA O DISTRITO CAMPINAL DE PRESIDENTE EPITÁCIO/SP"

Por ser verdade, firmamos a presente.

Presidente Prudente, 12 de dezembro de 2024.

**Solange
Moura Lima
de Aragão**

Assinado de forma
digital por Solange
Moura Lima de
Aragão
Dados: 2024.12.12
15:00:37 -03'00'

Profa. Dra. Solange de Aragão
Comissão do TFG

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pela força que me sustentou em cada passo para seguir em frente mesmo nos momentos mais difíceis. Sem a Sua luz, esta jornada não seria possível;

Ao meu orientador, Prof. Drº Fernando, cuja dedicação, paciência e ensinamentos foram essenciais não apenas para a realização deste trabalho, mas também para a construção de minha formação acadêmica e profissional. Suas palavras e conselhos moldaram minha maneira de enxergar o exercer da minha profissão. Levo comigo cada aprendizado com imenso respeito e gratidão;

Aos meus pais, Nolma e Cisero, que me ensinaram o significado de caráter, dignidade e perseverança. Vocês me sustentaram em todos os momentos, ensinando não apenas a "receber o peixe", mas principalmente, a "pescar". Sou eternamente grata pelo amor e apoio que vocês me deram para encarar a vida com coragem e sabedoria;

Ao meu irmão Vitor, meu parceiro de vida, que mesmo entre piadas e brincadeiras, sempre esteve ao meu lado, me apoiando e me fazendo sorrir. A cumplicidade que compartilhamos é um dos maiores presentes que a vida me deu;

À minha sobrinha Filipa, que com sua inocência e doçura me apresentou o amor mais puro e incondicional que já experimentei. Sua presença ilumina minha vida e me lembra da beleza das pequenas coisas;

Ao meu namorado Thiago, por toda a paciência, apoio e amor, nos dias bons e nos dias ruins. Obrigada por ser meu refúgio, meu companheiro e por trazer tanta alegria à minha vida;

A toda minha família, que me enche de amor, me apoia incondicionalmente e me inspira a ser uma pessoa melhor a cada dia;

Aos amigos que fiz ao longo desta jornada universitária, obrigada por tornarem esses anos muito mais leves, divertidos e marcantes;

E, por fim, a mim mesma. Obrigada por acreditar, por insistir, por seguir em frente, mesmo quando o caminho parecia difícil. Por enxergar beleza na vida e se deixar envolver por ela, por sonhar e trabalhar para tornar esse sonho realidade.

A todos vocês, o meu mais sincero e profundo **obrigada!**

“Todo o crédito pertence ao homem que está de fato na arena; cuja face está arruinada pela poeira e pelo suor e pelo sangue; aquele que luta com valentia; aquele que erra e tenta de novo e de novo; aquele que conhece o grande entusiasmo, a grande devoção e se consome em uma causa justa; aquele que ao menos conhece, ao fim, o triunfo de sua realização, e aquele que na pior das hipóteses, se falhar, ao menos falhará agindo excepcionalmente, de modo que seu lugar não seja nunca junto àquelas almas frias e tímidas que não conhecem nem vitória nem derrota.”

Theodore Roosevelt

RESUMO:

O saneamento urbano se configura como um conjunto de serviços, indispensável para as comunidades urbanas. A elaboração eficiente desse conjunto de sistemas é essencial, uma vez que a ausência ou ineficácia dele pode desencadear problemas urbanos, ambientais, econômicos e sociais tais como enchentes, enxurradas, aumento da disseminação de doenças, prejuízos materiais e perdas humanas. Infelizmente, o saneamento urbano não tem recebido a devida atenção por parte dos gestores na maioria dos municípios brasileiros, carecendo de um planejamento específico para o setor. Este estudo abordou o caso do Distrito Campinal de Presidente Epitácio/SP, onde têm diversos problemas relacionados ao abastecimento, resíduos sólidos e limpeza urbana, mas principalmente relacionados ao esgotamento e à drenagem urbana. O propósito foi formular um *masterplan* que apresente direcionamentos para possíveis soluções de enfrentamento dos desafios relacionados ao saneamento urbano. As wetlands e infraestruturas verdes propostas, operam independentes da rede de esgoto, assim atuando de forma híbrida complementando o sistema existente de forma sustentável. Essas soluções tratam tanto as águas de drenagem, quanto possíveis excedentes de esgoto descartados inadequadamente nas vias e reintegram a água ao ciclo natural, enquanto visam, no longo prazo, a implementação de um sistema de drenagem integrado e maior conexão à rede de esgoto. A urgência dessa abordagem se justifica pela exposição da população a diversos transtornos, que impactam significativamente sua segurança e qualidade de vida. A proposta equilibra soluções imediatas e uma visão de desenvolvimento sustentável, beneficiando gerações atuais e futuras, aumentando a resiliência ambiental e social, e preparando as comunidades para desafios futuros de maneira integrada, além de promover cidades mais humanas e agradáveis.

Palavras-Chave: Saneamento Urbano; Alagamentos; Jardins de Tratamento; *Masterplan*; Distrito Campinal.

ABSTRACT:

Urban sanitation is an essential set of services for urban communities. The efficient development of this set of systems is essential, since its absence or inefficiency can lead to urban, environmental, economic and social problems such as floods, flash floods, an increase in the spread of disease, material damage and human losses. Unfortunately, urban sanitation has not received due attention from managers in most Brazilian municipalities, and there is a lack of specific planning for the sector. This study looked at the case of the Campinal district of Presidente Epitácio/SP, where there are various problems related to supply, solid waste and urban cleaning, but mainly related to sewage and urban drainage. The aim was to formulate a *masterplan* that presents guidelines for possible solutions to tackle the challenges related to urban sanitation. The proposed wetlands and green infrastructures operate independently of the sewage system, thus acting as a hybrid to complement the existing system in a sustainable way. These solutions treat both drainage water and possible sewage surpluses disposed of inappropriately on roads and reintegrate water into the natural cycle, while aiming, in the long term, to implement an integrated drainage system and greater connection to the sewage network. The urgency of this approach is justified by the population's exposure to various inconveniences, which significantly impact their safety and quality of life. The proposal balances immediate solutions with a vision of sustainable development, benefiting current and future generations, increasing environmental and social resilience, and preparing communities for future challenges in an integrated manner, as well as promoting more humane and pleasant cities.

Keywords: Urban Sanitation; Flooding; Treatment Gardens; *Masterplan*; Campinal District

SUMÁRIO

RESUMO:	7
ABSTRACT:	8
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	17
2.1. Geral:	17
2.2. Específicos	17
3. METODOLOGIA	17
3.1. Revisão bibliográfica Narrativa:	17
3.2. Levantamentos documentais:	17
3.3. Levantamentos dos projetos técnicos da temática:	18
3.4. Levantamentos de projetos e obras de referência:	18
3.5. Planejamento e Projeto propostos:	18
4. RECORTE ESPACIAL	19
4.1 Breve Panorama Legislativo do Distrito Campinal	25
4.2 Plano diretor municipal	27
4.2.1 Aspectos sociais e econômicos	29
4.2.2 Mortalidade	29
4.2.3 Uso e ocupação do solo	32
4.2.4 Macrozoneamento	34
4.2.5 Perímetro Urbano	34
4.2.6 Vazios Urbanos	36
4.3 Aspectos Físico-Ambientais	38
4.3.1 Contexto Climático	38
4.3.2 Densidade Vegetativa - NDVI	40
4.4 Características Geomorfológicas	43
4.4.1 Pedologia	43
4.5 Topografia	45
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DOCUMENTAL	47
5.1. Urbanização	47
5.2. Negligência Ambiental	51
5.3. Planejamento Permacultural	54
5.3.1. Princípios de Planejamento	56
5.3.2. Metodologia	59
5.4. Saneamento Urbano	60
5.5. Saneamento Sustentável	63
5.5.1. Wetlands	66
5.5.2. Jardins de Tratamento	72
5.5.3 Infraestrutura do Sistema de Jardins de Tratamento	75

5.5.4 Vegetação Jardins de Tratamento	85
5.6. Conclusão da revisão	92
6. REVISÃO PROJETUAL	93
6.1. China	93
6.2. França	96
6.3. Recife - Brasil	97
6.4. Niterói - Brasil	99
7. PROPOSTA PROJETUAL	101
7. 1 Diretrizes Masterplan	101
7.2 Implantação	101
7.2.1 Demandas	101
7.2.2 Zoneamento	106
7.2.3 Ambiências e Usos	110
7.2.4 Detalhamento	118
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2004), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o seu bem-estar físico, mental e social. Ainda define saúde como o estado de completo bem-estar físico, social e mental, e não apenas a ausência de doença. Assim, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental. Estas definições, assim como outras elaboradas para esclarecer o conceito de saneamento, evidenciam que este engloba uma série de medidas relacionadas ao ambiente físico, centradas no controle ambiental, com o propósito de preservar a saúde humana (Bovolato, 2010). A falta de saneamento básico adequado é um fato que atinge 46% da população global, o equivalente a 3,6 bilhões (ONU, 2023). Esta realidade também assola o Brasil. Dados do IBGE (2022) apontam que ainda 37,5% da população não possui rede de esgotamento sanitário.

Situado a aproximadamente 30 km de Presidente Epitácio, sede municipal, o Distrito Campinal faz parte da parcela significativa de locais que não possuem sistema de saneamento adequado. Os domicílios do distrito possuem rede de abastecimento de água potável, e recentemente um sistema de tratamento de esgoto foi implantado, porém a maioria das residências ainda não estão conectadas ao sistema, onde ainda há o predomínio de utilização de fossas sépticas. Para além disso, a localidade não possui um sistema de drenagem de água pluvial suficiente, considerando a planicidade do distrito contendo apenas guias e sarjetas, o que leva a episódios de alagamento que afetam os moradores.

Diante do exposto, o trabalho visou estudar os assuntos inerentes ao tema, onde foi levantada e avaliada as problemáticas provocadas pela ausência de um tratamento satisfatório e, assim, foi proposto um sistema de tratamento eficiente para o local de estudo.

A partir de visitas de campo e de depoimentos dos residentes locais, constatou-se a presença de desafios significativos relacionados à drenagem urbana. Alagamentos recorrentes, manifestações patológicas nas estruturas edificadas

decorrentes da umidade excessiva do solo, emergem como alguns dos fatores primordiais que fundamentaram as necessidades premente de um projeto de drenagem urbana para a região.

Com grande parte da superfície impermeabilizada e sem um sistema adequado, a água da chuva fica acumulada e sujeita à contaminação e à infestação biológica. Essa água contaminada fica, por vezes, em contato direto com o solo, que pode vir a gerar graves problemas para a população local, como, por exemplo, a contaminação do subsolo, que por sua vez pode vir a provocar a contaminação da água subterrânea dos lençóis freáticos, aumentando os riscos para a saúde da população. As ocorrências de alagamentos incomodam muito a população local, sendo alvo de inúmeras e constantes reclamações, referindo-se principalmente ao mau odor gerado, resultante da combinação da água pluvial com o esgoto. Essa situação gera grande desconforto tanto para os residentes quanto para os visitantes, ao mesmo tempo em que aumenta os riscos para a saúde deles, visto que as águas residuais se acumulam nas ruas, possibilitando o contato direto ou indireto com elas.

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso foi o de desenvolvimento de um master plan, abrangente e eficiente de saneamento urbano para o Distrito Campinal, com um enfoque específico na gestão das águas pluviais e no tratamento do esgoto urbano fundamentado no planejamento permacultural e seus elementos agroecologia, bioconstrução e tecnologias sociais.

Para a presente proposta de pesquisa, foi adotada uma abordagem qualitativa, integrando métodos como pesquisas bibliográficas, análise documental, e levantamentos em campo. Essa escolha foi fundamentada na necessidade de compreender a conjuntura de elementos que influenciaram e influenciam na constituição urbana do distrito. Posto isto, se fez necessário entender a história da criação e as particularidades presentes no planejamento urbano do distrito, e em seguida, caracterizada a configuração da área escolhida e propondo diretrizes que atenuem as problemáticas enfrentadas no local.

Para alcançar os objetivos postos, alguns procedimentos se tornaram essenciais. Inicialmente uma revisão bibliográfica, forneceu uma base sólida de conhecimento para orientação e desenvolvimento do projeto. Analisando o contexto socioespacial, jurídico e político no qual o distrito está inserido, que podem impactar o

planejamento e a implementação do projeto. Foi avaliado os sistemas existentes que tange a microdrenagem e macrodrenagem urbanas e ao esgotamento do distrito. Isso ajudou a identificar lacunas e oportunidades de melhoria. Desenvolvimento de plano estratégico e proposta técnica, que guiará as melhorias necessárias nos sistemas de drenagem e esgotamento. Por fim, também avaliou os benefícios sociais, ambientais e econômicos que o projeto trará para a comunidade. Isto ajudará a garantir que o projeto seja economicamente viável e beneficie efetivamente a população local.

A concepção do direito à cidade abrange aspectos fundamentais, incluindo o direito à habitação, participação ativa na configuração de cidades justas, inclusivas, democráticas e sustentáveis. Nesse contexto, busca-se um urbanismo que atenda às quatro funções essenciais delineadas na Carta de Atenas: habitar; trabalhar; recrear; circular. (Scherer, 1986, p. 7).

Assim, a presente proposta possui expectativas de impacto social, ambiental e econômico significativas, refletindo uma abordagem sistêmica para melhorar a qualidade de vida no Distrito Campinal.

Do ponto de vista social, espera-se que o projeto proporcione um acesso mais efetivo e equitativo aos serviços de saneamento principalmente o tange drenagem urbana e esgotamento. Propiciando a diminuição de contaminação por doenças relacionadas à água contaminada e ao saneamento inadequado. Isso não apenas melhora a saúde da população, mas também promove a inclusão social, especialmente para grupos marginalizados que podem enfrentar desafios adicionais de acesso a esses serviços.

Em questões ambientais, buscou mitigar o impacto negativo da poluição da água, do solo e do ar, preservando ecossistemas locais e protegendo recursos naturais vitais. A implementação de um sistema eficiente de tratamento de resíduos pluviais pode reduzir a poluição e contribuir para a sustentabilidade ambiental a longo prazo e, dependendo das propostas, trazer outros benefícios ambientais como diminuição das ilhas de calor e melhorias paisagísticas.

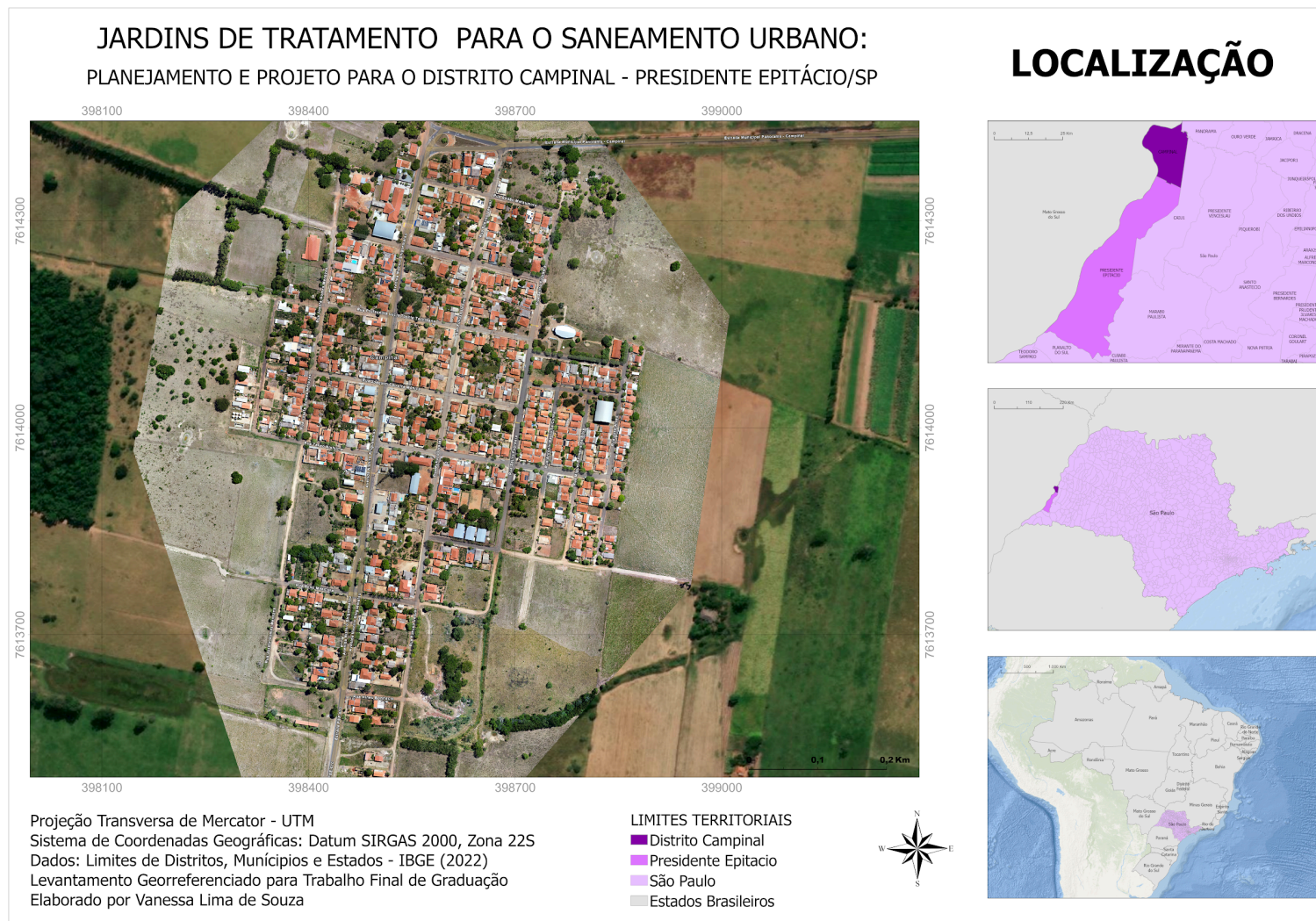
No que tange o aspecto econômico, investir em saneamento urbano pode gerar diversos benefícios, como: a melhoria das condições de saúde da população que resulta em uma redução dos gastos com saúde pública, aumentando a qualidade de vida dos habitantes. Além disso, a infraestrutura de saneamento adequada pode atrair

maior movimentação de turistas em busca desses atrativos ambientais, impulsionando o desenvolvimento econômico local e valorizando áreas urbanas e ambientais, beneficiando tanto os residentes quanto os negócios locais.

Em suma, um projeto bem-sucedido de saneamento urbano não apenas aborda questões imediatas de saúde pública e preservação ambiental, mas também contribui para o desenvolvimento econômico sustentável e a melhoria geral da qualidade de vida nas comunidades urbanas.

Campinal é um distrito do município de Presidente Epitácio, localizado a oeste no interior do estado de São Paulo, onde faz divisa com o estado do Mato Grosso do Sul, sendo banhado pelo Rio Paraná, a oeste (figura 1). Segundo Moroni (2011, p. 377) “Loteamento rural de 4.605,912 hectares, à margem esquerda do rio Paraná, pela empresa Lara Bueno e Companhia, em 30/9/1949, dá início à comunidade do Campinal.” A Lei Municipal nº 2.316, promulgada em 14/12/2010, oficializou esta data como o marco de origem do Campinal. Atualmente, segundo dados do IBGE (2022) possui 1.904 habitantes e 1.562 domicílios.

Figura 1. Mapa de localização do Distrito Campinal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O distrito tem como sede administrativa a Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio - SP. Campinal possui uma subprefeitura, porém se encontra inativa. O distrito tentou a emancipação político-administrativa e ser elevado à município, através de processo que deu entrada na Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo no ano de 1963, mas como não atendia os requisitos necessários exigidos por lei para tal finalidade, o processo foi arquivado.

Uma característica fortemente predominante do local é o turismo, a partir da Estância Turística de Presidente Epitácio, o distrito também recebe frequentemente turistas que realizam atividades como a pesca esportiva, além de lazer como banhos nas margens do Rio Paraná, apreciação da natureza e gastronomia.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral:

Elaborar um master plan de saneamento ambiental do distrito de Campinal de Presidente Epitácio/SP com foco na drenagem e no esgotamento urbanos, fundamentado na permacultura urbana e utilizando tecnologias socioambientais como jardins de tratamento e afins, híbridas à infraestrutura cinza existente.

2.2. Específicos

- A. Elaborar uma revisão bibliográfica de fundamentação
- B. Entender o recorte socioespacial, jurídico e político do Distrito Campinal/Presidente Epitácio/SP;
- C. Entender os projetos técnicos da microdrenagem e da macrodrenagem e do esgotamento do Distrito;
- D. Elaborar um master plan e uma proposta técnica orientadora de melhorias nos temas abordados;
- E. Avaliar os potenciais benefícios sociais, ambientais e econômicos.

3. METODOLOGIA

3.1. Revisão bibliográfica Narrativa:

Pesquisa em periódicos de alto impacto, avaliados através do Qualis ou do índice h, os temas urbanização, negligência ambiental, planejamento permacultural, saneamento ambiental urbano e saneamento sustentável.

3.2. Levantamentos documentais:

Pesquisa sobre leis, decretos, planos e notícias que contenham informações sobre o Distrito Campinal, Presidente Epitácio/SP.

3.3. Levantamentos dos projetos técnicos da temática:

Buscou os projetos e informações técnicas da microdrenagem e macrodrenagem urbana e do esgotamento urbano junto a Prefeitura de Presidente Epitácio/SP.

3.4. Levantamentos de projetos e obras de referência:

Pesquisa projetos de referência e obras executadas na WWW, em organizações governamentais, não governamentais, de notícias de arquitetura e urbanismo e afins.

3.5. Planejamento e Projeto propostos:

Propor medidas não estruturais e estruturais de remediação, de complementação e de reestruturação técnica da microdrenagem e macrodrenagem e do esgotamento fundamentada na permacultura e utilizando elementos técnicos ambientais como wetlands, jardins de tratamento, bacias de retenção e retenção, biovaletas, cobertura verdes, pavimentos permeáveis, reúso de águas pluviais e afins. Realizar uma análise crítica do planejamento e proposta. Utilizar-se-á a metodologia adaptada por Ferreira, Okimoto e Paiva (2024) que orienta realizar levantamentos primários de dados e utilizar cartografias técnicas e sociais para: 1. registrar a localização geográfica, o recorte espacial e o escopo legal da problemática (Cartografias R); 2. Organizar as demandas sociais (moradores e afins), administrativas (gestores), técnicas (empresas e regulamentações), jurídicas (planos, leis e afins sobre o tema) e acadêmicas e científicas que são verdades científicas ainda à margem do conhecimento geral (Cartografias D); 3. Organização dos elementos antrópicos e naturais que estão influenciando o contexto e, mesmo não conseguindo modificá-lo, é necessário entendê-lo para considerá-lo. A isto, a permacultura clássica chama de setorização (Cartografias S); 4. Organizar as tipologias de atividades que forem propostas por regiões no espaço que a permacultura chama de Zonas (de zero a 5) a partir de uma análise de eficiência da execução dessas atividades (Cartografias Z); e, por fim, 5. Planejar medidas não estruturais: ideias, diretrizes, procedimentos administrativos e afins e medidas estruturais que incluem as edificações, infraestruturas urbanas, que no

caso, se apoiam na bioconstrução civil a ser apresentada adiante. Propõem-se, então, as Ambiências e Usos específicos que comporão o planejamento permacultural (Cartografias AU).

Por fim, com esse planejamento de AU aprovado pelos diversos usuários, podem buscar os projetos técnicos de engenharia que detalharam as propostas.

4. RECORTE ESPACIAL

O Distrito do Campinal teve sua origem com o loteamento, feito pela empresa Lara Bueno e Cia, e o início das vendas de lotes de terra às margens do rio Paraná, em 1948, tornando-se apenas uma comunidade.

O nome Campinal originou-se pelo fato de que em 1921 a Companhia Agrária, que se dizia proprietária de uma grande gleba de terras que ia até o rio do Peixe, incumbiu seu funcionário Francisco Campinal de providenciar a demarcação de tal gleba. Este contratou Carlos Alberto Borromei, engenheiro prático para medir as terras. O engenheiro, então, passou a executar o serviço de medições indicado por Francisco Campinal. Ao referir-se ao trabalho que executava, dizia realizar medições das terras “do Campinal”, pois fora este que o contratara. Com o tempo isto fez com que o local passasse a ser conhecido como Campinal, nome que ficou consagrado. (Moroni, 2011. p. 377)

Os primeiros agricultores a se instalarem na região foram 60 famílias de japoneses. Inicialmente, a atividade agrícola na região consistia principalmente do cultivo de batatas. Com o tempo, houve uma diversificação da produção agrícola, incluindo o plantio de feijão, arroz, milho, hortelã e amendoim. Destaca-se que a comunidade japonesa local contribuiu para a construção de duas escolas, uma destinada ao ensino regular e outra voltada para preservar as tradições, língua e costumes japoneses, financiadas com recursos próprios.

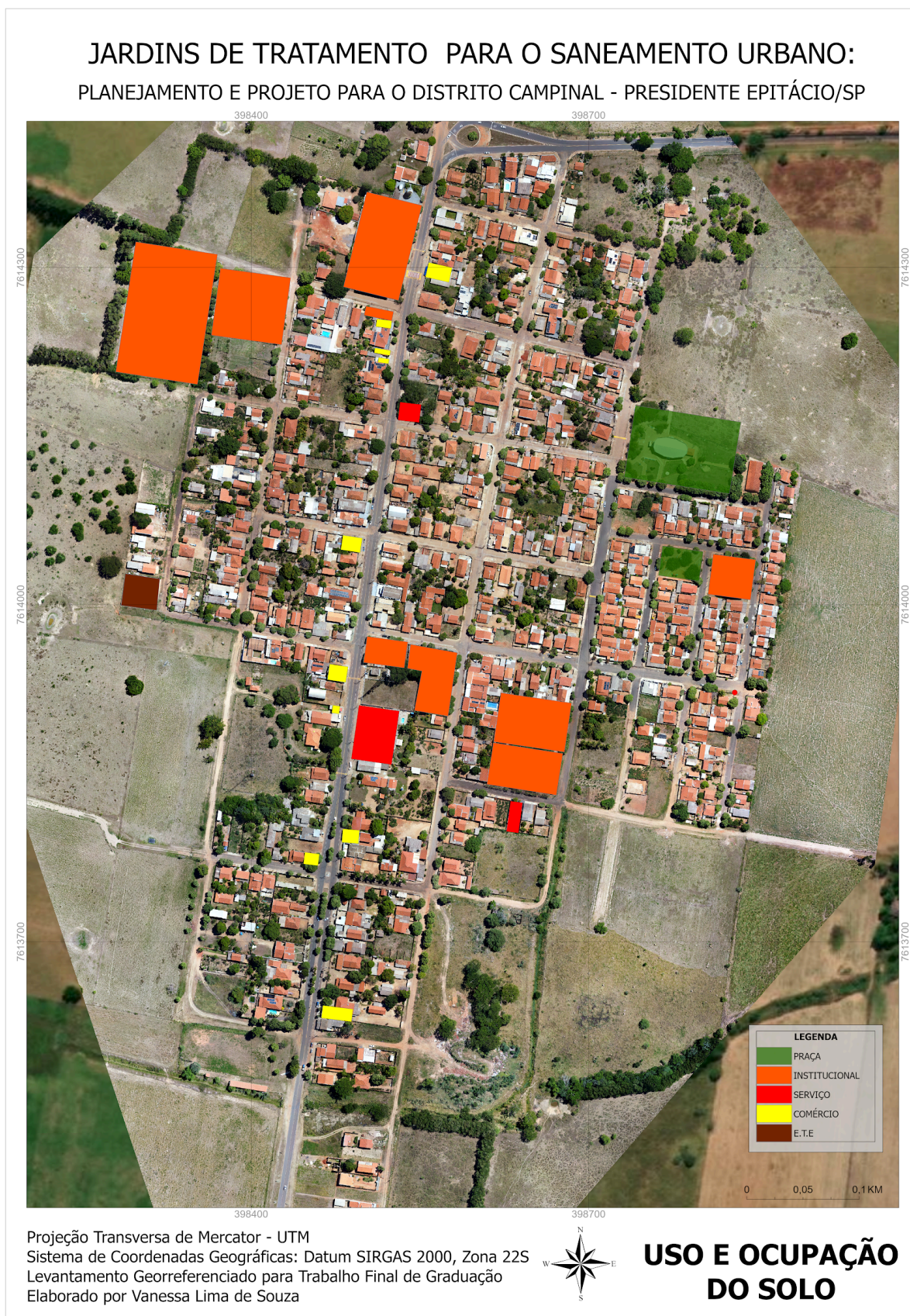
Essa preferência inicial em instalar-se nessa região, segundo depoimento pessoal de Yoshitake Kanji, se prendia ao fato de que terras compradas naquela região, com prestações anuais, eram mais baratas do que se pagava anualmente pelo arrendamento de terras em outras regiões. (Moroni, 2011. p. 96)

A Lei nº 4.954 de 27/12/1985 cria o distrito, com sede no Bairro de Campinal e com território desmembrado do distrito de Presidente Epitácio. O distrito tentou a emancipação político-administrativa e ser elevado à município, através de processo que deu entrada na Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo no ano de 1963, mas como não atendia os requisitos necessários exigidos por lei para tal finalidade, o processo foi arquivado.

Devido a alterações no nível do Rio Paraná causadas pelo represamento da usina Hidrelétrica Sérgio Motta, iniciou-se o projeto “Lagoa São Paulo” em 1981, sendo responsável pela formação das cinco agrovilas que se encontram entre o município de Presidente Epitácio e o Distrito Campinal, dentre elas três são pertencentes ao município de Presidente Epitácio, e outras duas pertencem ao município de Caiuá. O projeto buscou distribuir lotes de até 14 hectares entre os antigos arrendatários da região afetados pela alteração do nível do Rio. As principais atividades desenvolvidas pelas famílias que receberam os lotes foram a pecuária leiteira e de derivados de leite, além da agricultura.

Atualmente, o distrito conta com alguns estabelecimentos públicos, sendo eles: uma Escola Estadual Shiguetoshi Yoshihara, uma EMEI Creche Primeiros Passos um Centro Comunitário, um distrito Policial, uma sede dos Correios, uma Subprefeitura (inativa), uma ESF, uma Quadra Poliesportiva coberta, um campo de futebol. Além disso, o local conta com pequenos comércios e serviços, que atende as necessidades básicas locais.

Figura 2. Uso e ocupação do solo no Distrito



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Apesar de todos os imóveis no distrito Campinal terem acesso à rede de água, a região não contava com uma rede de esgoto. O esgoto gerado era despejado em fossas negras, presentes em todas as residências, comércios e estabelecimentos públicos. Em Abril/2014 a obra de implantação da rede coletora e estação de tratamento de esgoto no Distrito do Campinal foram iniciadas, com conclusão em Dezembro/2020. Contudo, o distrito ainda não conta com nenhum tipo de sistema de drenagem.

Figura 3. Vias sem sistema de microdrenagem



Fonte: Acervo do autor

Foram realizadas algumas visitas ao local de estudo, a fim conhecer e entender as características do Distrito para uma análise inicial da área. Durante as visitas, podemos constatar que a situação da localidade é preocupante. Muitas ruas apresentavam acúmulo de água em diversos pontos, como visto na Figura 4. É importante ressaltar que as visitas ocorreram durante a época de estiagem, mas mesmo assim encontramos acúmulo de água em diversos pontos. Os moradores relataram que a situação tende a se agravar durante as épocas de chuvas, quando o volume de água aumenta consideravelmente e não há um sistema adequado para o escoamento dessa água, o que agrava ainda mais a situação.

Figura 4. Acúmulo de água nas vias.



Fonte: Acervo do autor

Contudo, durante as visitas de campo também pode se observar que haviam esgoto presente nas vias, buscando entender o ocorrido, alguns moradores relataram que ainda não foram autorizados a conectar o esgoto doméstico ao sistema urbano, visto que o mesmo então implantado na localidade, ainda requer passar por trâmites burocráticos junto a SABESP, para que a mesma assuma a responsabilidade do funcionamento do sistema.

Figura 5. Despejo de esgoto doméstico nas vias.



Fonte: Acervo do autor

Segundo a Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio/SP, o sistema está em perfeito estado para funcionamento, e que de fato estão aguardando liberação da SABESP, mas que a população já poderia fazer as conexões para uso. Alguns moradores fizeram a ligação de seus imóveis à rede pública, porém os mesmos relataram que ainda há problemáticas sendo enfrentadas, diante tal sistema.

Figura 6. Despejo e acúmulo de esgoto urbano em frente às residências.



Fonte: Acervo do autor

4.1 Breve Panorama Legislativo do Distrito Campinal

Inserido na malha territorial e legislativa do município de Presidente Epitácio/SP, o Distrito Campinal está contemplado por toda legislação vigente no município, além de estar incorporado ao plano diretor municipal da cidade. Cabe destacar o distrito de Campinal, criado pela lei Estadual nº 4954, de 27 de dezembro de 1985, e anexado ao município de Presidente Epitácio. Assim, em sua última divisão territorial, o município era constituído de 2 distritos: Presidente Epitácio e Campinal.

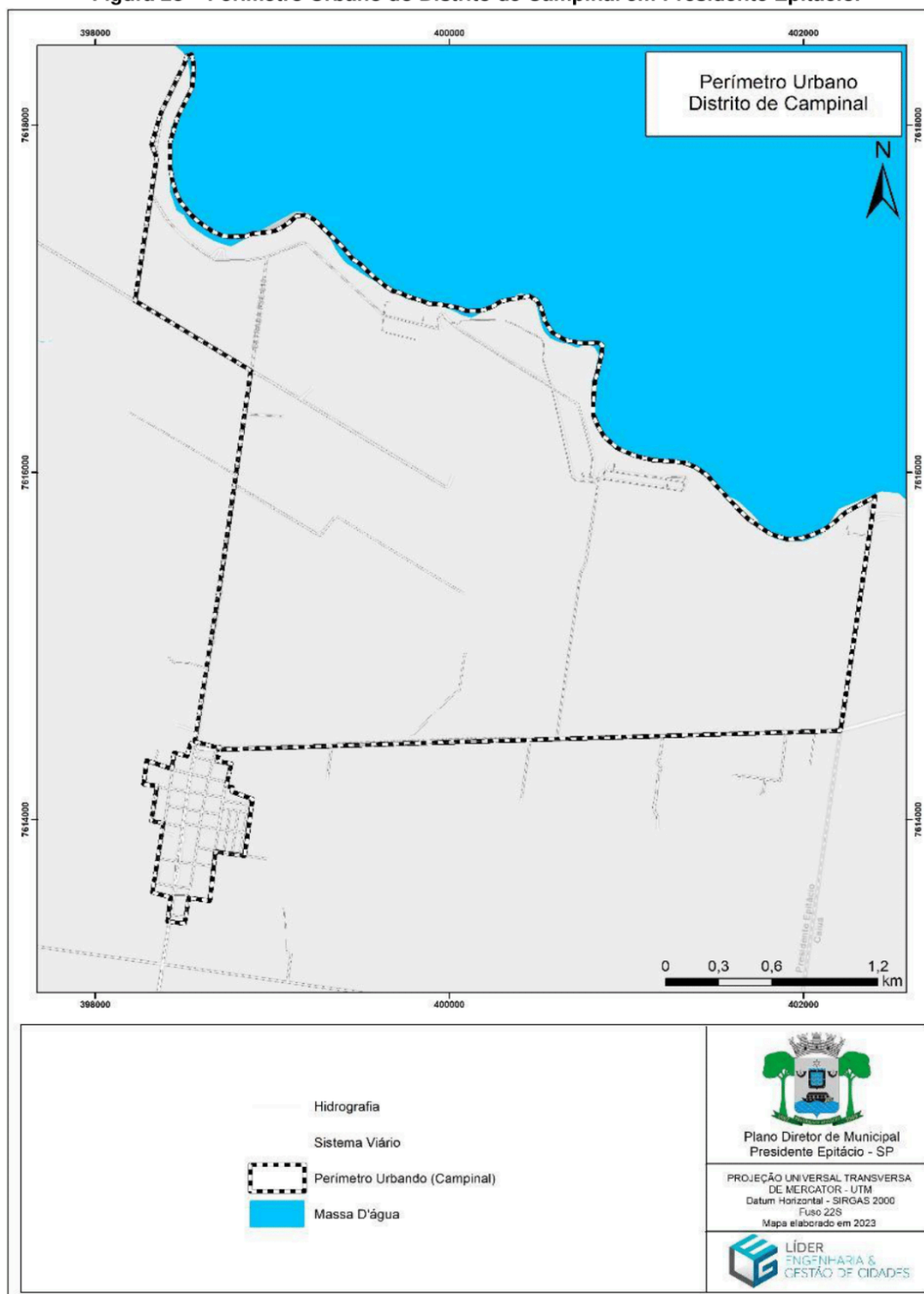
Figura 7: Perímetro Urbano do Distrito Campinal



PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO
 Prefeitura Municipal da Estância Turística de Presidente Epitácio – SP
 Diagnóstico Físico Territorial



Figura 28 – Perímetro Urbano do Distrito de Campinal em Presidente Epitácio.



Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2015

4.2 Plano diretor municipal

O vigente plano diretor municipal possui última revisão datada em 2006¹. O documento apresenta uma estrutura mais simplificada sem apresentar estudos, mapas e/ou especificidades que melhor qualifiquem o plano diretor municipal.

Arquivos datados de 2023, dispõe de ATAs de reuniões que tiveram por objetivo a formação de uma equipe técnica, e instrumentos necessários para elaboração da revisão do plano diretor municipal. Arquivo de 18 de abril de 2023, intitulado: “RELATÓRIO DA 1ª REUNIÃO TÉCNICA DE CAPACITAÇÃO”², marca como sendo a primeira reunião para tal objetivo. A partir do decreto Nº 4.171/2023, constitui-se uma equipe técnica municipal para revisão do plano diretor municipal. Cabe citar, que a prefeitura usou-se do instrumento da participação popular no processo de elaboração de revisão do plano diretor, foi possível encontrar ATAs de audiências públicas, que tinham como objetivo discutir com a população as necessidades da comunidade, além de explanar o andamento e propostas de tal.

A revisão do Plano Diretor Participativo (PDP) de Presidente Epitácio segue uma estratégia de ação estruturada em etapas, conduzida pela consultoria Líder Engenharia e Gestão de Cidades, em parceria com o poder público e a comunidade.

Etapa 1 – Plano de Trabalho

Reunião Técnica de Capacitação: Organização de formulários, definição de procedimentos e análise inicial de dados para orientar as próximas atividades.

Oficina de Leitura Técnica: Avaliação do desempenho do planejamento e da gestão urbana com base em dados coletados.

Audiência Pública: Apresentação do início do processo de revisão, com informações sobre cronograma, objetivos, métodos e técnicas, envolvendo a comunidade e outros representantes.

¹ Plano Diretor da Estância Turística de Presidente Epitácio
<https://www.presidenteepitacio.sp.gov.br/arquivos/plano_diretor-lei_complementar_n_50-2006_11022907.pdf>

² Relatório da 1ª Reunião Técnica de Capacitação
<https://www.presidenteepitacio.sp.gov.br/arquivos/ata_-_1_reuniao_tecnica_14111339.pdf>.

Etapas 2 – Macrozoneamento e Diagnóstico Físico-Territorial

Reunião Técnica de Capacitação: Discussão de métodos para mapear as condições do território, incluindo uso do solo, infraestrutura e serviços públicos.

Oficina de Leitura Comunitária: Consulta à população sobre problemas, conflitos e potencialidades do município, por meio de questionários e discussões coletivas.

Reunião Técnica: Planejamento de ações prioritárias e coleta de dados para a próxima etapa.

Audiência Pública: Apresentação das condições da cidade e das diretrizes propostas para reorganização territorial, com a participação da comunidade.

Etapas 3 – Minutas Normativas

Reunião Técnica de Capacitação: Discussão sobre a institucionalização do plano e sua gestão.

Reunião Técnica: Avaliação da legislação vigente e sua adequação ao novo plano.

Oficina de Leitura Técnica: Análise das minutas normativas, incluindo propostas legislativas e ajustes organizacionais.

Etapas 4 – Acompanhamento das Discussões Públicas

Assembleia do Conselho Municipal de Desenvolvimento Econômico: Revisão de minutas normativas e do processo como um todo.

Audiência Pública: Discussão das ações prioritárias, ajustes e estrutura organizacional com a comunidade.

Assembleia Final: Apresentação e aprovação da versão final preliminar do PDP, capacitando os envolvidos para sua implementação.

A revisão do plano ainda não foi concluída e sancionada. De acordo com informações obtidas junto à Prefeitura Municipal, não há previsão definida para a finalização do processo.

Buscando expor as características do recorte territorial contemplado neste presente trabalho de conclusão, a partir do atual documento de revisão plano diretor, o município possui determinadas características no que tange questões, tais como:

4.2.1 Aspectos sociais e econômicos

O plano de revisão apresenta os principais indicadores que refletem o desenvolvimento humano do município de Presidente Epitácio, incluindo o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que avalia três dimensões: educação, longevidade e renda. Em 2010, o município alcançou IDHM de 0,750, situando-se na faixa de Desenvolvimento Humano Alto.

Educação: Indicadores como taxa de alfabetização e matrícula escolar destacam a evolução positiva, com o IDHM Educação subindo de 0,560 (2000) para 0,700 (2010). A proporção de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo aumentou de 34,61% para 45,74% no mesmo período.

Longevidade: A esperança de vida ao nascer cresceu de 70,65 anos (2000) para 75,72 anos (2010), demonstrando avanços nas condições de saúde.

Renda: O IDHM Renda subiu de 0,689 (2000) para 0,714 (2010), com renda per capita crescendo de R\$ 581,34 para R\$ 680,56.

O estudo também destaca uma melhoria geral nos indicadores educacionais e na qualidade de vida, embora haja disparidades em relação ao estado de São Paulo.

4.2.2 Mortalidade

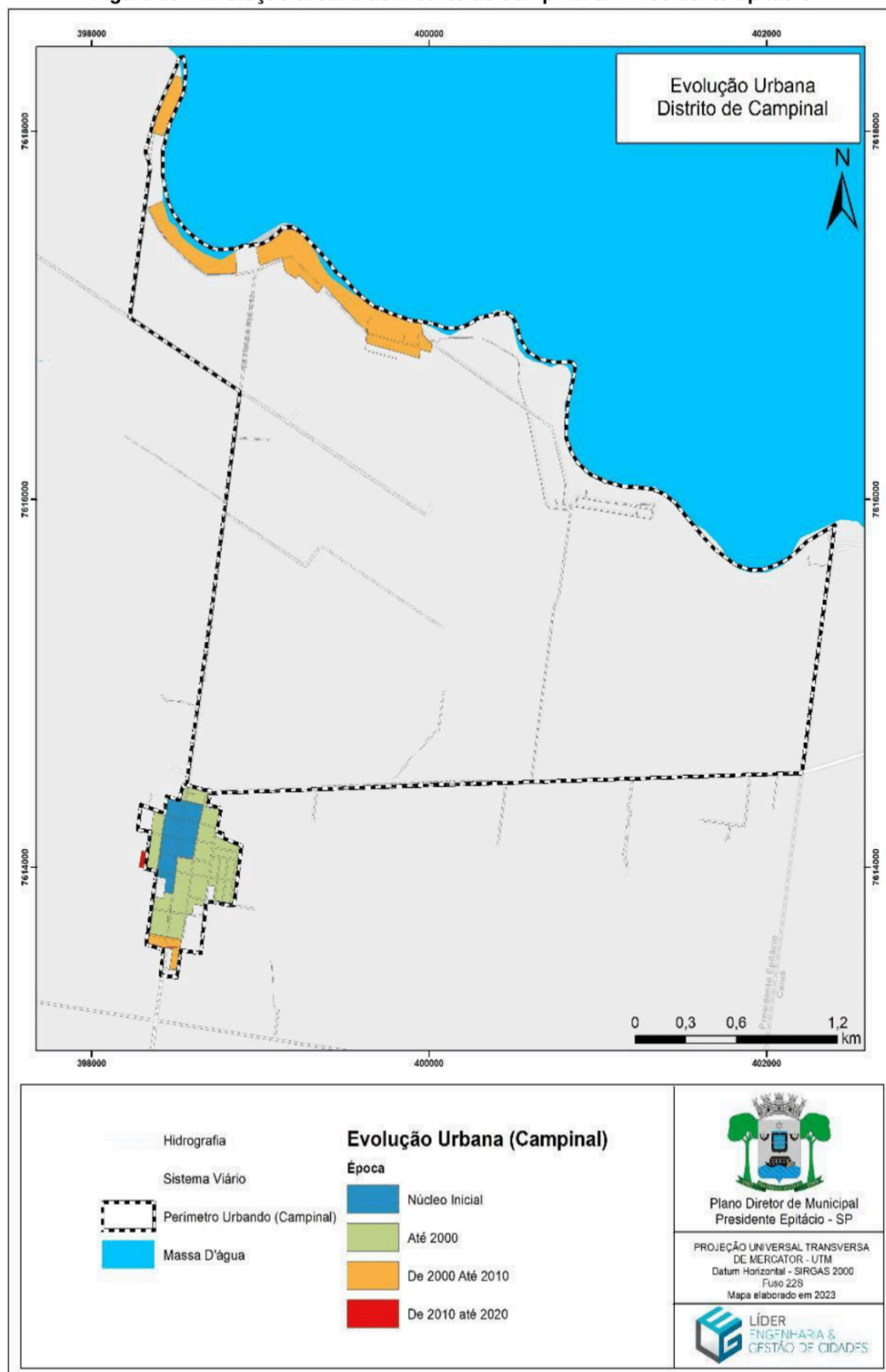
A taxa de mortalidade infantil reduziu de 22,20 óbitos por mil nascidos vivos em 2000 para 13,60 em 2010. Contudo, o município ainda não atingiu a meta dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que é de menos de 12 óbitos por mil até 2030. O envelhecimento da população é uma tendência, com aumento da proporção de idosos e redução na taxa de natalidade.

Figura 8: Evolução Urbana do Distrito Campinal



PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO
Prefeitura Municipal da Estância Turística de Presidente Epitácio – SP
Diagnóstico Físico Territorial

Figura 26 – Evolução urbana do Distrito de Campinal em Presidente Epitácio.



Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2015

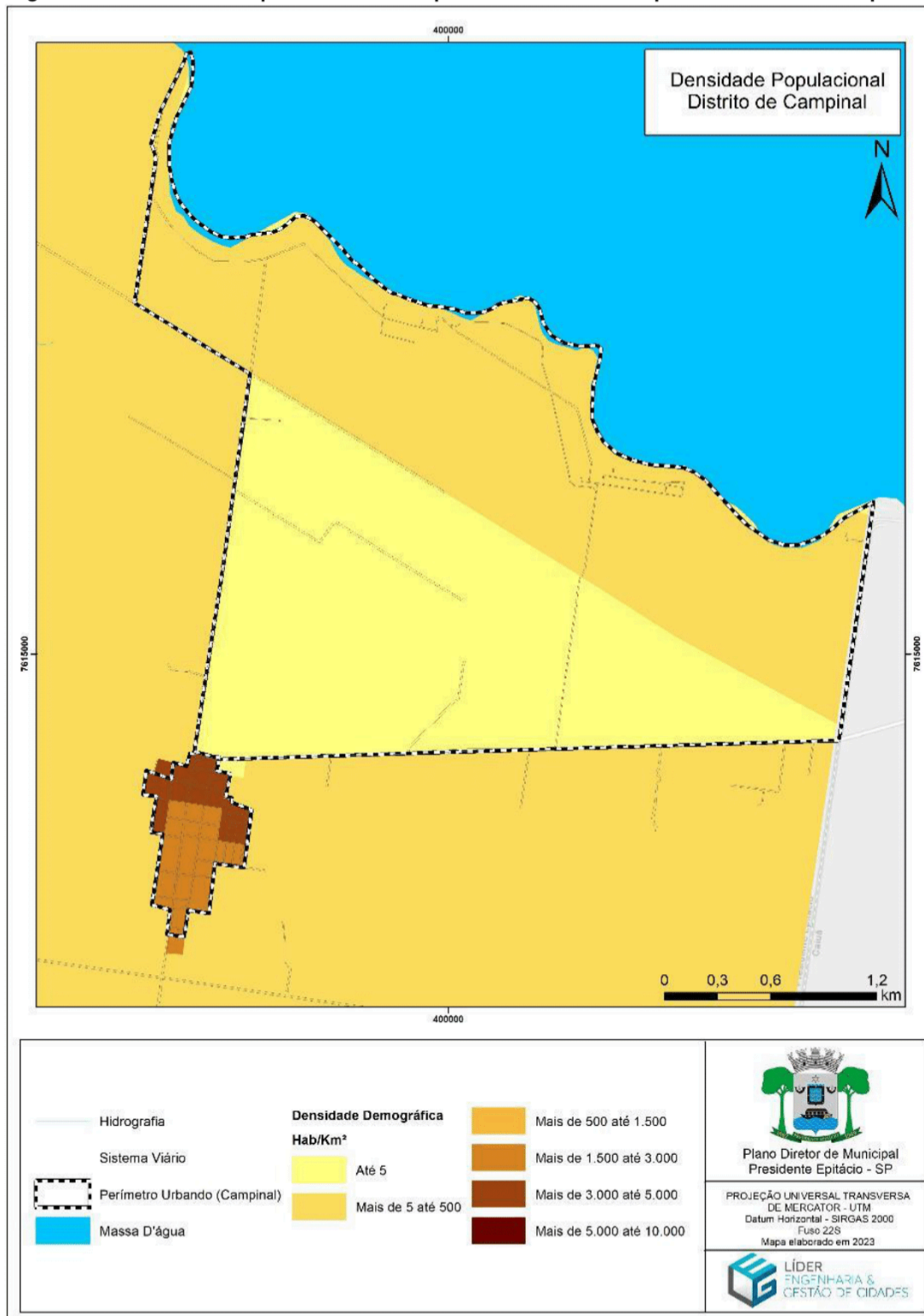
Figura 9: Densidade Populacional do Distrito Campinal



PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO
 Prefeitura Municipal da Estância Turística de Presidente Epitácio – SP
 Diagnóstico Físico Territorial



Figura 24 – Densidade Populacional Municipal no Distrito de Campinal em Presidente Epitácio.



Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2015

4.2.3 Uso e ocupação do solo

A fim de determinar o potencial de ocupação do território, o estado de revisão do plano analisou características ambientais, como clima, relevo, hidrografia e vegetação. Essas análises definiram três categorias de áreas:

Áreas Inaptas:

- Incluem regiões protegidas por legislação ambiental, como Áreas de Preservação Permanente (APPs), reservas naturais, áreas de proteção ambiental (APA), reservas de biodiversidade e outros espaços de preservação.
- A ocupação nessas áreas comprometeria a proteção ambiental e os ecossistemas associados.

Áreas Aptas com Restrição:

- São locais onde a declividade varia entre 15% e 30%, ou que apresentam riscos específicos, como alagamentos.
- Essas áreas podem ser ocupadas, mas necessitam de estudos adicionais e estratégias para mitigar possíveis impactos ambientais.

Áreas Aptas:

- Representam a maioria do território e não possuem restrições ambientais ou geográficas significativas.
- Incluem tanto áreas urbanas quanto rurais, sendo adequadas para expansão e ocupação sustentável.

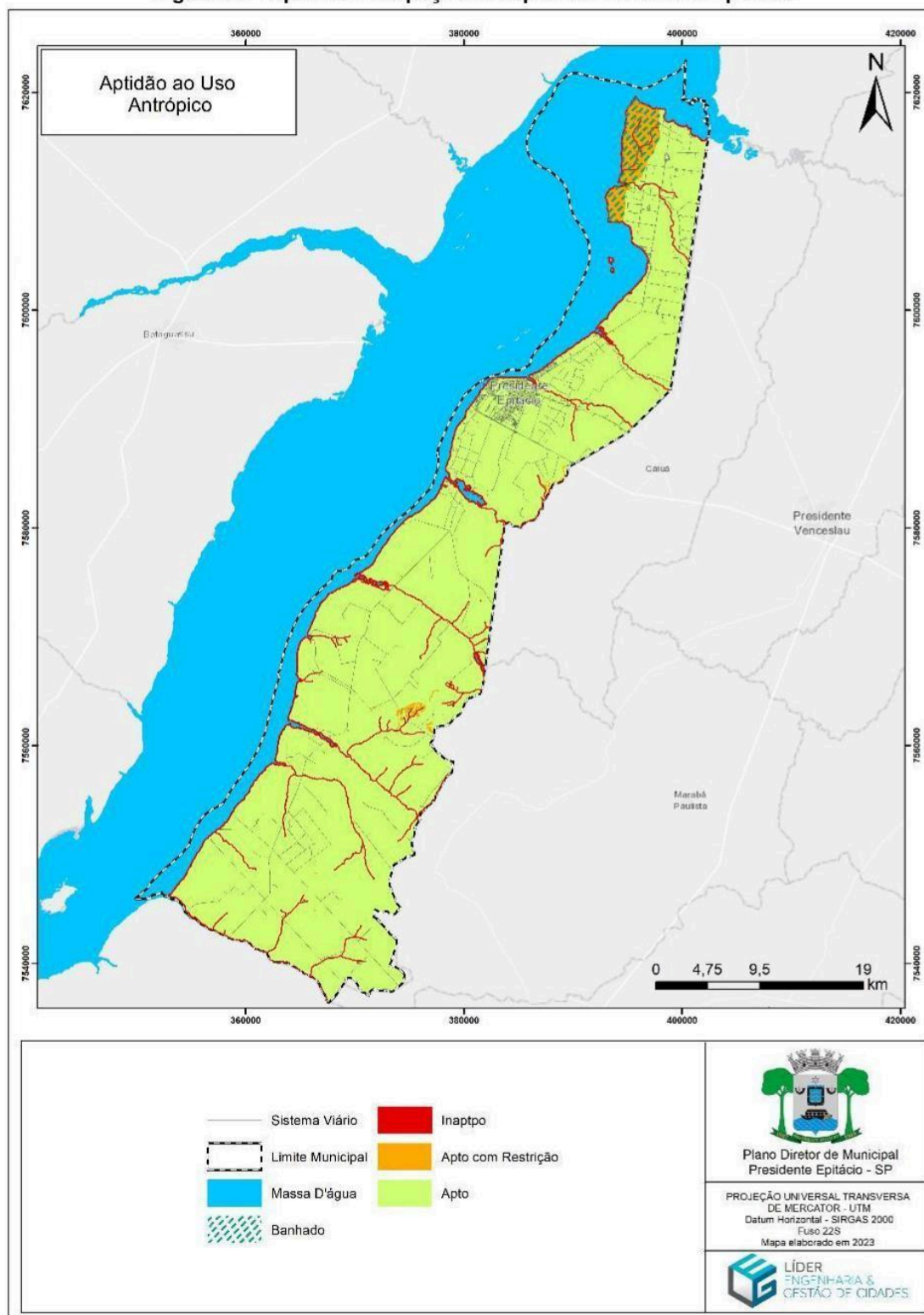
A maior parte do município é adequada para ocupação humana, facilitando tanto o crescimento urbano quanto o rural.

Figura 10: Áreas com aptidão antrópica em Presidente Epitácio -SP



PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO
Prefeitura Municipal da Estância Turística de Presidente Epitácio – SP
Diagnóstico Físico Territorial

Figura 20 – Aptidão à ocupação antrópica de Presidente Epitácio.



Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2015

4.2.4 Macrozoneamento

O macrozoneamento é um instrumento estratégico para orientar o uso e a ocupação do solo urbano e rural, promovendo o desenvolvimento sustentável. No caso de Presidente Epitácio, o município ainda não possui uma regulamentação própria de macrozoneamento. Assim, as atividades agrícolas e a ocupação em áreas rurais dependem de legislações estadual e federal, o que limita a autonomia municipal.

Quando implementado, o macrozoneamento deve:

- Definir regras claras para o ordenamento territorial.
- Estabelecer diretrizes para o uso do solo e aplicação de instrumentos urbanísticos.
- Delimitar zonas específicas para incentivo, qualificação ou restrição à ocupação.

Esse instrumento será fundamental para garantir coerência no desenvolvimento do território e na preservação ambiental.

4.2.5 Perímetro Urbano

O perímetro urbano é uma delimitação essencial que separa as áreas urbanas das rurais, permitindo ao município planejar políticas públicas adequadas para cada tipo de ocupação. A Lei nº 1.949/2005 define o perímetro urbano de Presidente Epitácio e do distrito de Campinal. No entanto, a revisão do plano diretor revelou um **superdimensionamento do perímetro**, o que pode causar problemas como:

- Dificuldade na distribuição de infraestrutura e serviços.
- Aumento desnecessário nos gastos públicos.
- Risco de ocupação desordenada.

Essa delimitação excessiva compromete a eficiência do planejamento urbano e pode ser revisada para atender melhor às necessidades atuais e futuras da população.

Parcelamento e Zoneamento

O parcelamento e o zoneamento são regulamentados pela Lei nº 150/2017 e pela Lei de Zoneamento Urbano de 2005. Esses instrumentos dividem o território em áreas urbanas, de expansão urbana e rurais. No entanto, há algumas falhas na implementação e acessibilidade das informações:

- A divisão territorial não está adequadamente representada em mapas, dificultando a consulta pública e a aplicação prática.
- A Lei de Zoneamento Urbano menciona tributos e zonas, mas não detalha as características de cada zona nem apresenta índices urbanísticos específicos.

Essas lacunas indicam a necessidade de uma atualização e maior clareza nos instrumentos de planejamento, garantindo que o município possa administrar eficientemente o território.

Conforme pesquisa realizada, foram localizados dois mapas de Zoneamento presentes no site da Prefeitura de Presidente Epitácio, um da sede e o outro do distrito de Campinal, neles somente são especializadas as zonas, não contendo a caracterização das mesmas bem como os índices urbanísticos estabelecidos para cada uma delas. Diante da coleta de informações é possível constatar que as informações localizadas estão disponíveis de forma incompleta. Caso estas definições existam, é necessário disponibilizá-las para consulta pública, mas caso elas não tenham sido definidas, a elaboração é de extrema importância para garantir o correto desenvolvimento urbano do território de Presidente Epitácio. Abaixo consta o mapa do zoneamento urbano atual do distrito de Campinal.

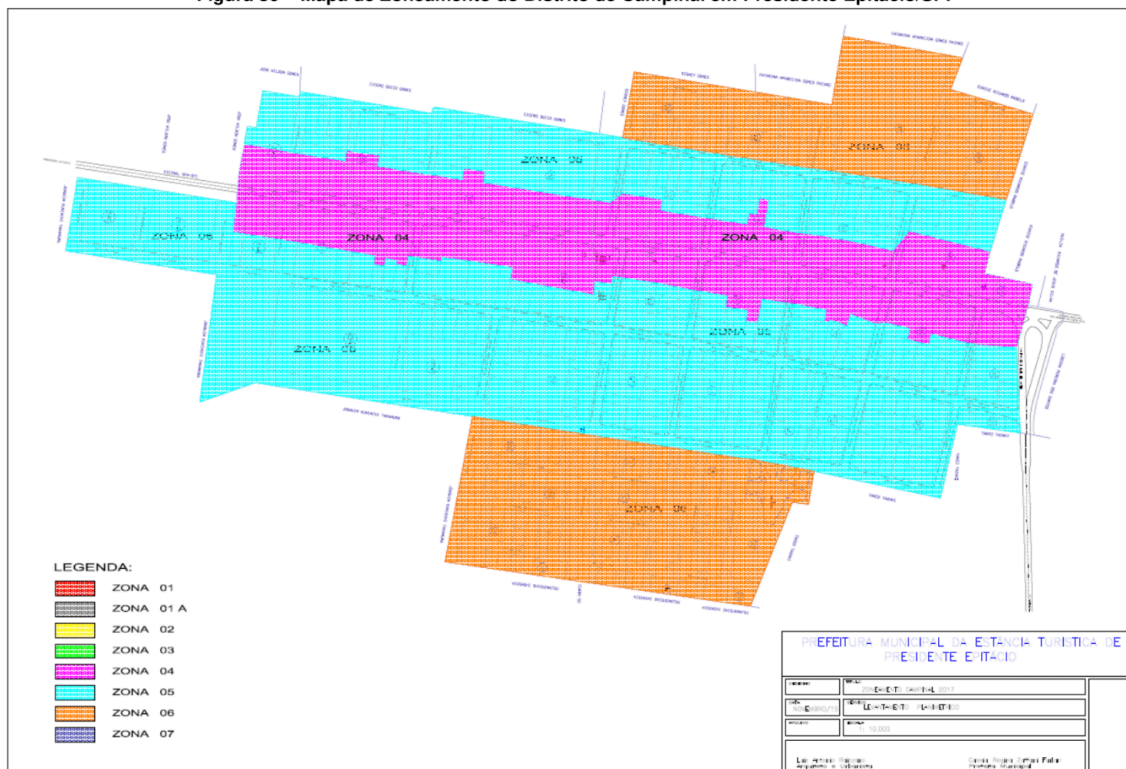
Figura 11: Mapa de zoneamento Distrito Campinal



PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO
Prefeitura Municipal da Estância Turística de Presidente Epitácio – SP
Diagnóstico Físico Territorial



Figura 30 – Mapa de Zoneamento do Distrito de Campinal em Presidente Epitácio/SP.



Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2015.

Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2015

4.2.6 Vazios Urbanos

Os vazios urbanos são áreas dentro do perímetro urbano que não estão ocupadas ou são subutilizadas. Um levantamento realizado por geoprocessamento identificou aproximadamente **1,6 milhão de metros quadrados** de vazios urbanos em Presidente Epitácio. Essas áreas:

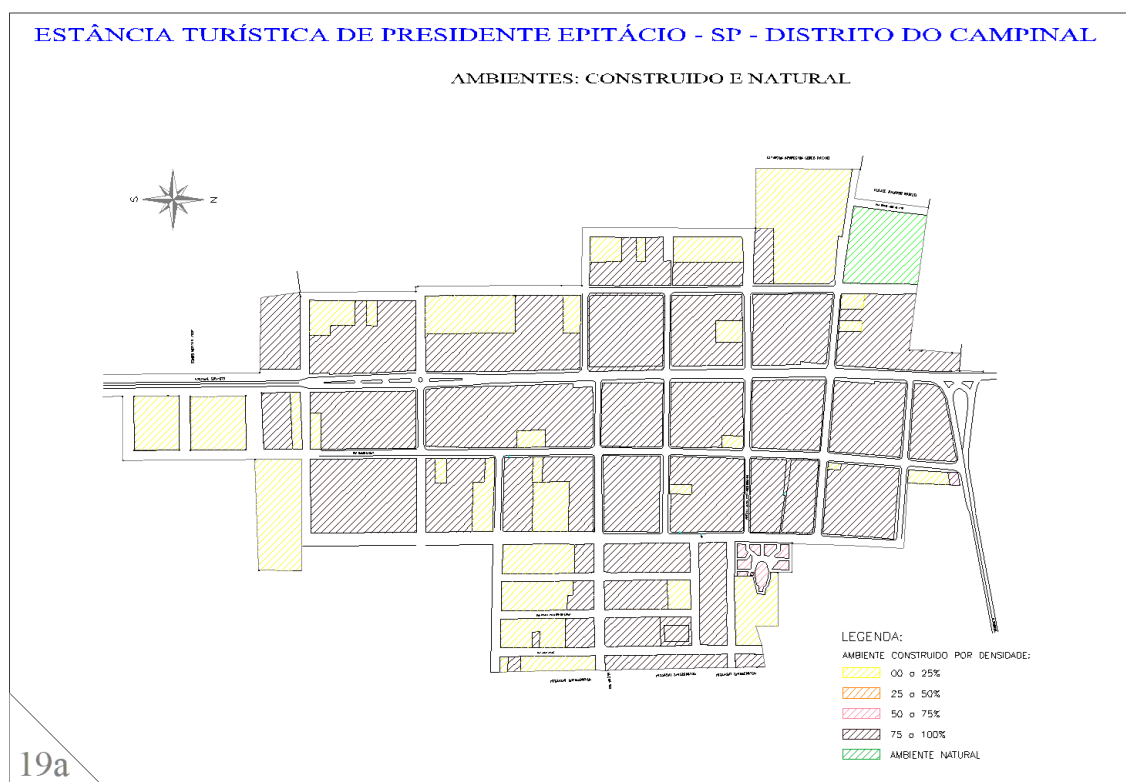
- ➔ Representam uma oportunidade para desenvolvimento sem a necessidade de expandir o perímetro urbano.
- ➔ Podem ser utilizadas para evitar especulação imobiliária e promover a função social da propriedade.

Para essas áreas, podem ser aplicados instrumentos como:

- **IPTU Progressivo no Tempo:** Incentiva a ocupação ou o desenvolvimento dos terrenos.
- **Direito de Preempção:** Dá prioridade ao município na aquisição de terrenos para projetos públicos.
- **Desapropriação com Pagamento em Títulos da Dívida Pública:** Para assegurar a função social da propriedade.

Embora os vazios urbanos ofereçam potencial, é essencial investir na infraestrutura urbana e garantir manutenção adequada para que essas áreas possam atender à demanda populacional e melhorar a qualidade de vida dos moradores.

Figura 12: Mapa de ambientes construídos e naturais do Distrito Campinal



Fonte: Prefeitura Municipal de Presidente Epitácio, 2006

Cabe pontuar que o município de Presidente Epitácio conta com alguns planos de ação, dentre eles torna-se válido ressaltar a LEI N° 2.806/2019 que conta com um Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Sustentável³. Tal plano dispõe de diversas

³ Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Sustentável
<https://www.presidenteepitacio.sp.gov.br/arquivos/plano_de_mobilidade_urbana_11022908.pdf>

informações, estudos e propostas, visando um melhor ordenamento da mobilidade na cidade. Entretanto, o plano não possui proposta para a malha urbana do Distrito, apenas contempla a readequação da pavimentação da vicinal Hélio Gomes que liga o distrito à cidade.

4.3 Aspectos Físico-Ambientais

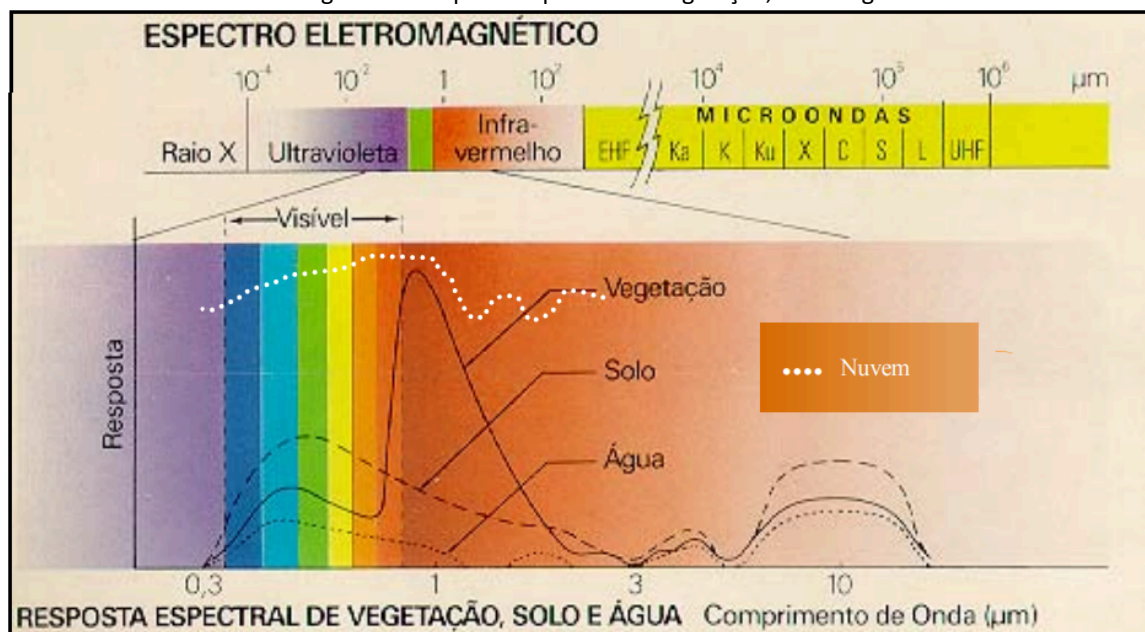
4.3.1 Contexto Climático

O Distrito Campinal encontra-se em uma latitude 21°45'53" S, longitude 52°06'19" W, estando a uma altitude de 310 metros. Estando inserido na mesma zona bioclimática de Presidente Prudente/SP, na qual possui características de um clima tropical subúmido, com período quente e chuvoso entre setembro e março e, outro mais ameno e seco, entre abril e agosto, não sendo raros eventos de temperaturas elevadas, causando desconforto térmico a população (PROJETEEE, 2024).

4.3.2 Densidade Vegetativa - NDVI

Segundo Liu (2007, p. 133) a refletância da radiação solar pela copa da vegetação é influenciada por uma combinação de fatores, incluindo a estrutura das plantas, o estágio de crescimento, as propriedades físicas e químicas dos solos superficiais e as condições atmosféricas. A diversidade natural da paisagem, embora fascinante, dificulta a identificação e a interpretação da refletância da radiação emitida pelos organismos. No entanto, devido à singularidade de cada ser vivo, expressa por sua assinatura espectral eletromagnética, é possível identificar informações distintas que seguem um padrão reconhecível.

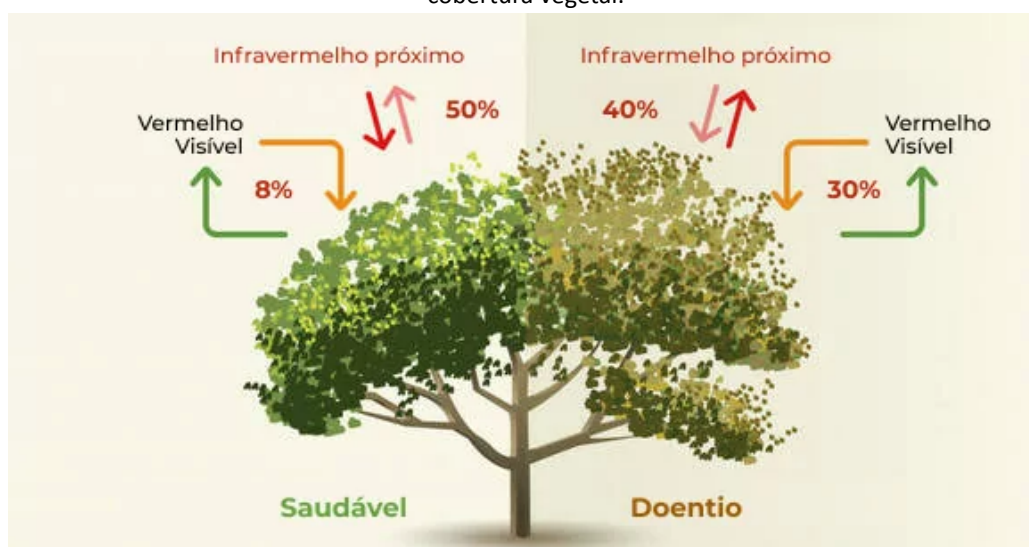
Figura 14: Resposta espectral de vegetação, solo e água



Fonte: Moraes, 2002

O pigmento de clorofila presente nas plantas saudáveis absorve grande parte da luz visível vermelha, enquanto a estrutura das células vegetais reflete a maior parte da luz infravermelha próxima. Isso quer dizer que uma planta com alta atividade fotossintética, característica de vegetação densa, reflete menos luz vermelha e mais luz infravermelha próxima. Ao comparar esses dois valores, podemos identificar e analisar a vegetação com precisão, diferenciando-a de outros tipos de cobertura natural do solo (EOS, 2023).

Figura 15: Parâmetros de reflectância de infravermelho próximo e vermelho, para detecção da cobertura vegetal.



Fonte: EOS, 2023

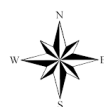
Assim, a partir do Mapa de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) do Distrito Campinal (Figura 16), é possível observar média densidade vegetativa, esta revela uma cobertura vegetal moderada, indicando que a região tem áreas consideráveis de vegetação, porém sem predominância de alta densidade.

Figura 16: Mapa com o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do Distrito Campinal.

JARDINS DE TRATAMENTO PARA O SANEAMENTO URBANO: PLANEJAMENTO E PROJETO PARA O DISTRITO CAMPINAL - PRESIDENTE EPITÁCIO/SP



Projeção Transversa de Mercator - UTM
Sistema de Coordenadas Geográficas: Datum SIRGAS 2000, Zona 22S
Levantamento Georreferenciado para Trabalho Final de Graduação
Elaborado por Vanessa Lima de Souza



NDVI
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA
DIFERENÇA NORMALIZADA

4.4 Características Geomorfológicas

4.4.1 Pedologia

No que diz respeito aos aspectos geológicos, na região do Distrito do Campinal, de acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981), predominam as rochas sedimentares das Formações Quaternárias Cenozóicas e as rochas sedimentares Mesozóicas das Formações Adamantina, Caiuá e Santo Anastácio pertencente ao Grupo Bauru.

A região faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná, esta unidade geotectônica, formada a partir do Devoniano Inferior (IPT, 1981 a: 46), possuindo uma vasta área, cerca de 1.100.000 km² dentro do território brasileiro. O Distrito do Campinal, em particular, está localizado sobre sedimentos aluvionares (Qa), que são depósitos de materiais como areia, argila e cascalho. Esses materiais se acumulam nas margens dos rios, em suas calhas ou em terraços fluviais, resultando de processos naturais de erosão e sedimentação ao longo do tempo (IPT, 1981)

Quando observamos o relevo da área, segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross; Moroz, 1997) , o distrito faz parte da morfoescultura do Planalto Ocidental Paulista, mais especificamente na subdivisão chamada Planalto Centro Ocidental. Nessa região, predominam relevos agradacionais, que são áreas planas formadas por rios, como planícies fluviais e terraços. Em outras partes, onde há relevos degradacionais, ou seja, áreas de erosão, o terreno é caracterizado por colinas largas e de baixa altura, com topos que variam entre formas tabulares (achatadas) e convexas (arredondadas).

Acerca dos solos, conforme os Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, et al, 1999), predominam na região os Argissolos Vermelho Amarelo, os Latossolos Vermelho, os Gleissolos Háplicos e os Neossolos Fúvicos e Quatzarênicos. Na área de estudo, predominam os Neossolos Quatzarênicos, que segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA, 2006) são:

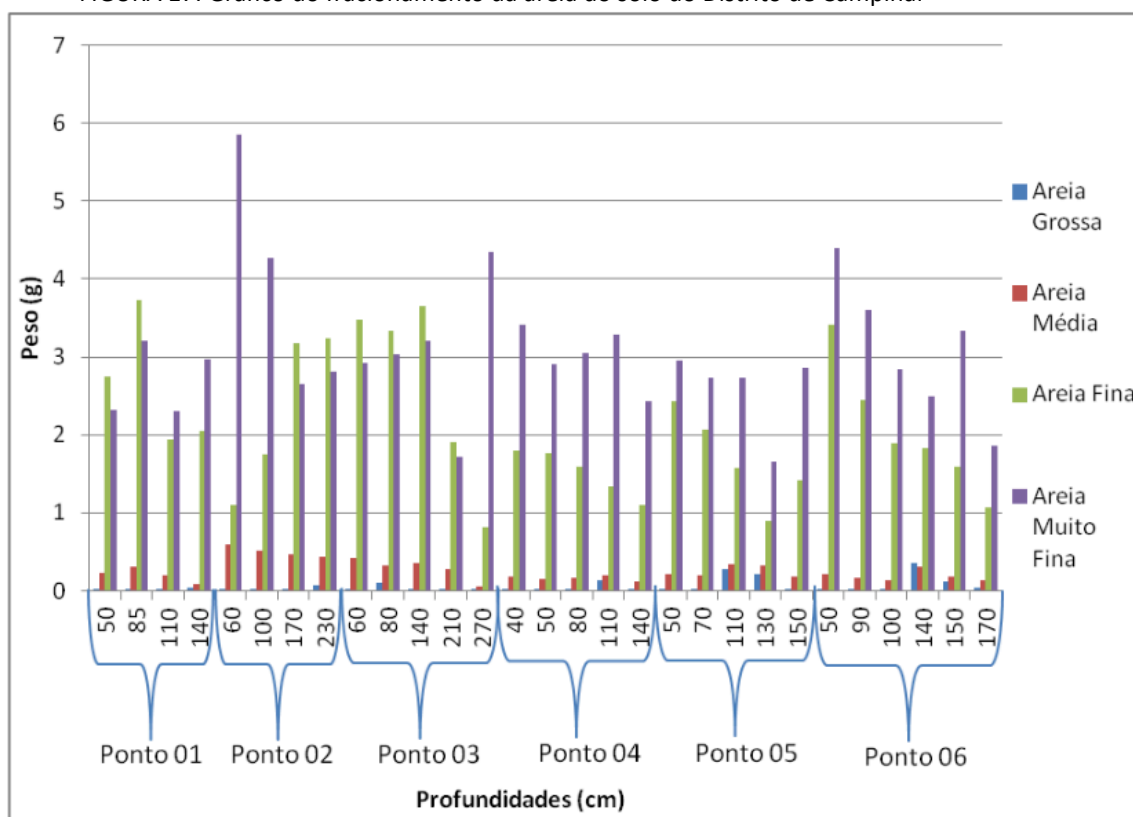
Outros solos sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia

franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

Okimoto e Fanta (2012) realizaram coletas e análise física de solo do Distrito Campinal. A partir dos resultados obtidos pode-se observar que as camadas de solos identificadas no distrito apresentaram características arenosas a uma profundidade média de 100 cm. A partir desta profundidade, passou a apresentar maior presença de material argiloso dentre as camadas dos solos.

Também, foi realizado o fracionamento da fração areia, obtendo resultados que mostraram que havia pouca quantidade de areia grossa, pequena quantidade de areia média, grandes quantidades de areia fina e areia muito fina. Desta forma identificou-se que as camadas arenosas são mais porosas.

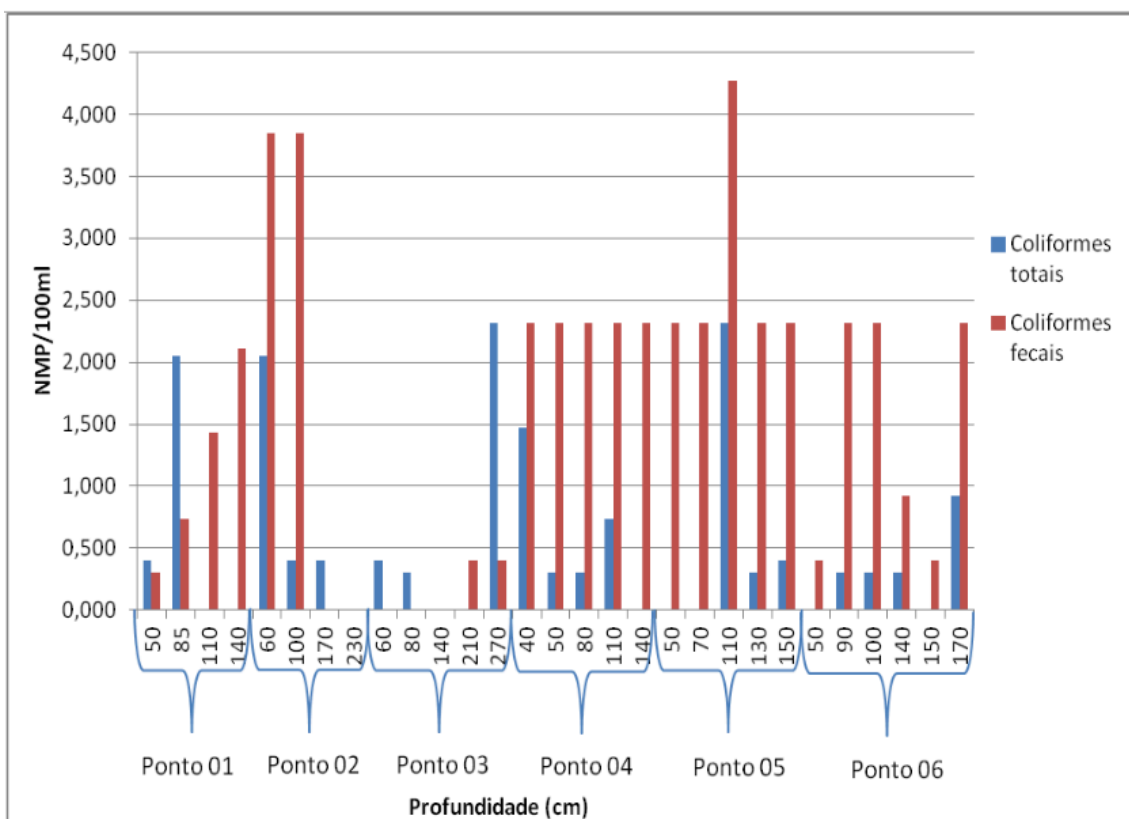
FIGURA 17: Gráfico do fracionamento da areia do solo do Distrito de Campinal



Fonte: (Okimoto; Fanta, 2012)

Para além, foram realizadas análises biológicas, onde pode-se observar uma presença considerável de bactérias termotolerantes, onde o maior número de NMP/100 ml de amostra encontrado foi de 2,312/100ml para coliformes totais e 4,272/100ml para coliformes fecais. Como apresentado na figura X é possível constatar que as maiores quantidades de coliformes fecais foram identificados a uma profundidade de 60 cm e 100 cm no ponto 02 e 110 cm no ponto 05. Também, as menores quantidades foram encontradas nas profundidades 170 cm e 230 cm no ponto 02 e 60 cm, 80 cm, e 140 cm no ponto 03. A partir dos resultados pode-se confirmar que a presença da bactéria *Escherichia coli* varia muito de acordo com as profundidades, por ser considerada aeróbia facultativa (Okimoto; Fanta, 2012).

FIGURA 18: Gráfico de Coliformes totais e Coliformes fecais

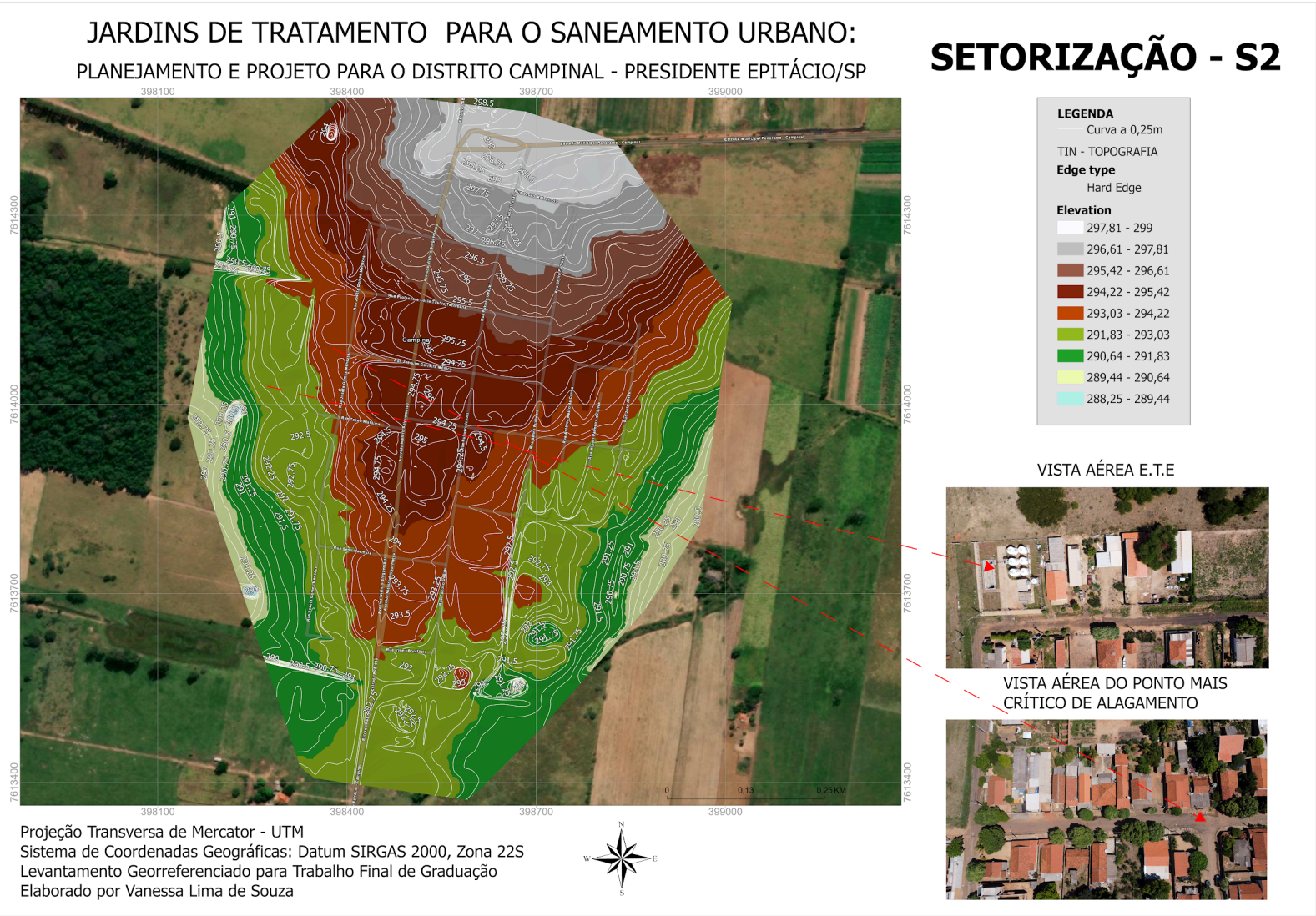


Fonte: (Okimoto; Fanta, 2012)

4.5 Topografia

O distrito se situa em uma planície fluvial, onde as declividades médias estão abaixo de 3%, sendo áreas amplas e muito planas (Altitude média: 293.75 m; Altitude mínima: 288.25 m; Altitude máxima: 299.25 m).

Figura 19: Mapa de Setorização com Topografia do Distrito Campinal.



5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E DOCUMENTAL

5.1. Urbanização

O crescimento desordenado das cidades tem sido objeto de intensos debates, especialmente durante a formulação de políticas públicas de planejamento urbano. Esse fenômeno de urbanização descontrolada está intrinsecamente ligado ao aumento populacional não acompanhado por medidas de planejamento adequadas. O aumento da urbanização nos países subdesenvolvidos é amplamente atribuído à sua estratégia de industrialização tardia. A atração exercida pelos centros industriais sobre a população rural expulsa, especialmente nos países que receberam investimentos de empresas multinacionais, como o Brasil e a Índia, levou à rápida expansão de grandes centros urbanos no terceiro mundo a partir da década de 60 (Ferreira, 2000).

No entanto, essas áreas urbanas não foram devidamente equipadas com habitação, infraestrutura e serviços básicos para garantir uma qualidade de vida adequada para os recém-chegados. Como consequência direta, surgem favelas em locais insalubres e sujeitos a riscos, exacerbando a falta de saneamento básico, o que por sua vez, propicia o surgimento de doenças e epidemias. Nessas condições precárias, as comunidades ficam mais suscetíveis aos impactos adversos de natureza social e ambiental. O resultado desse processo, que Ferreira (2000) denomina de "urbanização desigual", são as imensas metrópoles industriais subdesenvolvidas, centradas na produção industrial e na disponibilidade de mão de obra, caracterizadas pela divisão social do espaço urbano.

O desenvolvimento urbano acelerou na segunda metade do século XX com a concentração da população em espaço reduzido, produzindo grande competição pelos mesmos recursos naturais (solo e água), destruindo parte da biodiversidade natural. O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode levar a cidade ao caos (Tucci, 2008. p 97).

Assim como outros países da América Latina, o Brasil testemunhou um intenso processo de urbanização, especialmente durante a segunda metade do século XX. Em 1940, a parcela da população urbana representava apenas 26,3% do total, em

contrapartida, em 2000, essa proporção aumentou significativamente para 81,2%. Esse crescimento torna-se ainda mais notável ao considerarmos os números absolutos: em 1940, a população urbana era de 18,8 milhões de habitantes, enquanto em 2000, aproximadamente 138 milhões de pessoas residiam nas cidades. Isso significa que, ao longo de 60 anos, os assentamentos urbanos expandiram-se consideravelmente para acomodar mais de 125 milhões de habitantes (Maricato, 2000).

Segundo Maricato (2000), o autor Caio Prado Jr. chama a atenção para a devastação ambiental que acompanha cada ciclo econômico no Brasil. Além de mobilizar esforços e recursos do país, que acabam sendo deixados inativos e negligenciados quando o produto desse ciclo perde demanda no mercado internacional, também ocorre a destruição do território, como evidenciado nos ciclos da cana-de-açúcar, do ouro, do café, entre outros (Prado Jr., 1990 *apud* Maricato, 2000). Tais alterações não impactam apenas o campo, mas se alastram também aos centros urbanos, resultando em diversas catástrofes que debilitam sistemas como saúde, educação, trabalho, mobilidade e saneamento que aflige a população. Um dos impactos mais recorrentes é a ocorrência de inundações, principalmente durante períodos de intensas chuvas.

Com diferença de grau e de intensidade, todas as cidades brasileiras exibem problemáticas parecidas. O seu tamanho, tipo de atividade, região em que se inserem etc. São elementos de diferenciação, mas em todas elas problemas como os do emprego, da habitação, dos transportes, do lazer, da água, dos esgotos, da educação e saúde, são genéricos e revelam enormes carências. Quanto maior a cidade, mais visíveis se tornam essas mazelas. Mas essas chagas estão em toda parte. Isso era menos verdade na primeira metade deste século, mas a urbanização corporativa, isto é, empreendida sob o comando dos interesses das grandes firmas, constitui um receptáculo das consequências de uma expansão capitalista devorante dos recursos públicos, uma vez que estes são orientados para os investimentos econômicos, em detrimento dos gastos sociais. (Santos, 1993, p. 95).

A recessão que ocorreu durante os anos 80 e 90, quando as taxas de crescimento populacional ultrapassaram as do crescimento do PIB, resultando em uma evolução negativa do PIB per capita na década de 80, teve um impacto significativo

tanto social quanto ambiental, ampliando ainda mais o cenário da desigualdade social. Durante essas décadas, conhecidas como as "décadas perdidas", a concentração da pobreza tornou-se predominantemente urbana. Pela primeira vez na história do país, o Brasil testemunhou grandes aglomerações de pessoas vivendo em condições de pobreza em vastas áreas, incluindo morros, áreas alagadas, planícies e outras regiões caracterizadas pela homogeneidade da pobreza (Maricato, 2000).

As décadas perdidas não foram as únicas a testemunhar as origens daquilo que se pode descrever como a tragédia urbana brasileira enchentes, deslizamentos de terra, poluição dos recursos hídricos e do ar, impermeabilização do solo, desmatamento, superlotação habitacional, ressurgimento de epidemias, violência, entre outros problemas, também surgiram nesse período.

Ademais, essa conjuntura urbana não planejada também resulta em espaços que negligenciam as vivências e relações dos indivíduos que permeiam o meio urbano. Gehl (2013) observa que as pessoas que ainda frequentam ativamente os espaços urbanos estão cada vez mais sujeitas a condições adversas. O espaço é restrito, repleto de obstáculos, barulho, poluição e riscos de acidentes, criando condições desfavoráveis para os residentes em muitas cidades ao redor do mundo. A tradicional função dos espaços urbanos como locais de encontro e interação social tem sido progressivamente diminuída, ameaçada ou até mesmo eliminada à medida que o crescente fluxo de veículos automotores efetivamente empurra outras formas de vida urbana para fora do cenário urbano.

Diante do exposto, pode-se observar como o planejamento urbano é importante e necessário para o desenvolvimento das cidades e manutenção da qualidade de vida das pessoas.

Uma ferramenta importante nesta busca de desenvolvimento organizado e de qualidade de vida é o guia para elaboração e revisão de planos diretores. Este, foi criado com o propósito de auxiliar os municípios a planejar e gerir seu território com foco tanto nos problemas do passado quanto no desenvolvimento urbano sustentável para o futuro. O guia oferece uma nova abordagem baseada na experiência acumulada do primeiro ciclo de elaboração de planos diretores, nas novas pautas emergentes da última década e numa visão multiescalar, permitindo que os municípios se vejam como

parte de uma rede. Isso os capacita a tomar as melhores decisões de planejamento e gestão para o seu desenvolvimento (Ministério público do Estado de São Paulo, 2019).

O plano diretor pode influenciar na gestão da drenagem urbana de diversas formas, sendo essencial para o planejamento e controle do uso e ocupação do solo nas cidades. Na questão de saneamento urbano, principalmente no que tange alagamentos e enchentes, o guia aponta algumas maneiras pelas quais o plano diretor pode impactar a gestão da drenagem urbana, incluem:

- Estabelecimento de diretrizes de ocupação do solo: O plano diretor define as diretrizes para o uso do solo urbano, determinando áreas para preservação ambiental, áreas de expansão urbana e áreas sujeitas a restrições de ocupação, o que pode influenciar diretamente na capacidade de drenagem da cidade.
- Definição de normas e regras para o parcelamento do solo: O plano diretor pode estabelecer normas e regras para o parcelamento do solo urbano, como a exigência de áreas permeáveis, sistemas de drenagem sustentável e reservatórios de retenção de água, contribuindo para a redução de alagamentos.
- Integração com planos setoriais: O plano diretor deve se articular com outros instrumentos de planejamento urbano, como o Plano Municipal de Drenagem Urbana, para garantir a compatibilidade entre as diretrizes de ocupação do solo e as ações de drenagem, promovendo uma gestão integrada e eficiente.

Assim, o plano diretor municipal desempenha um papel fundamental na gestão da drenagem urbana, ao estabelecer diretrizes para o uso do solo, promover práticas sustentáveis de ocupação e contribuir para a prevenção de alagamentos e enchentes nas cidades. Também, tal preocupação com os impactos da ausência de políticas de saneamento eficiente e a promoção de estratégias sustentável pelos municípios se torna evidente, visto que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE⁴), na pesquisa de informações básicas municipais 2023 - Suplemento de Saneamento, buscou saber se os municípios adotam soluções baseadas na natureza no manejo de águas pluviais, tais como: Alagados construídos (wetlands), corredores verdes urbanos

⁴ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Disponível em <[https:// https://www.ibge.gov.br/](https://www.ibge.gov.br/)>. Acesso em 20 junho de 2024.

(greenways), ruas verdes (Green streets), canteiro pluvial, jardim de chuva, bioengenharia de solos ou engenharia natural, renaturalização ou restauração de cursos d'água, parques lineares urbanos, valas de infiltração.

5.2. Negligência Ambiental

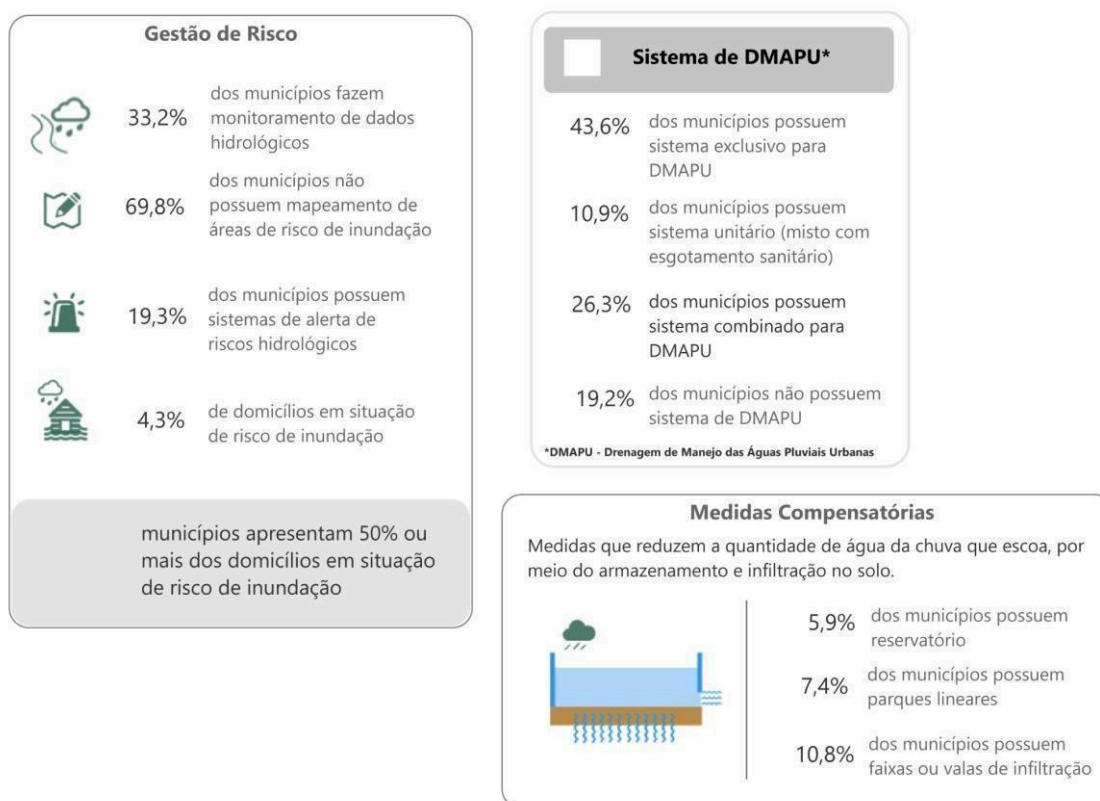
Outra ferramenta contemporânea é o uso dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS; promulgados em 2015), descrita oficialmente como “Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, são um conjunto intergovernamental de 17 objetivos e 169 metas constituintes. Dos acima citados apenas dois objetivos e 29 metas que abordam explicitamente as preocupações ambientais. Para Reid *et al.* (2017, p. 179) “[...] a manutenção da saúde dos ecossistemas (Objetivo 14: vida abaixo da água e Objetivo 15: vida na terra) é uma pré-condição necessária para alcançar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.”

O Brasil registrou o maior número de desastres naturais em 2023, segundo dados apresentados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2023). Foram registrados 1.161 eventos de desastres, sendo 716 associados a eventos hidrológicos, como transbordamento de rios, e 445 de origem geológica, como deslizamentos de terra. Em média, foram registrados pelo menos três desastres por dia. O número supera os registros de 2022 e 2020. Moura e Silva (2008, p. 69) afirmam que “Forças naturais raramente resultam em desastres humanos, salvo se as pessoas oferecerem condições que tornem possíveis os desastres.”

Cabe pontuar, que dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (2022), apontou que 50% ou mais dos municípios Brasileiros estavam em situação de risco de inundação. Contudo, apenas 24,1% dos municípios possuíam alguma medida compensatória de prevenção a inundação.

Figura 20. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2022

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO 2022



Observação: Até o encerramento da coleta de dados SNIS não foram divulgadas as informações de população urbana pelo censo IBGE 2022.

Observação 2: Todos os dados são referentes aos participantes da coleta SNIS 2023, ano de referência 2022 (Ver quadro Participantes do SNIS).

FONTE: (SNIS, 2022). Modificado pela Autora

Em 2021, teve-se um recorde de chuvas em uma parte da Europa, e morreram mais de 100 pessoas. Em 2022, houve recorde de chuva na Grande Recife e em Petrópolis. Em 2023, em fevereiro, houve o maior volume de chuva da história do Brasil com 600 milímetros (mm) em 24 horas no litoral norte de São Paulo, na cidade de São Sebastião e atualmente, as fortes chuvas assolam o Estado do Rio Grande do Sul, provocando o aumento do nível dos rios e desencadeando enchentes e inundações em várias cidades gaúchas, que em 23 de maio de 2024, segundo boletim da defesa civil, resultam em mais 163 óbitos, 72 desaparecidas, e 806 feridas. Chuvas intensas como as que ocorrem no Rio Grande do Sul são eventos extremos com tendência de serem mais frequentes em todo o mundo, precisa-se haver conscientização sobre as mudanças climáticas.

Figura 21. Causas de inundações urbanas.



FONTE: Elaborado pelo autor, a partir da revisão bibliográfica apresentada

Figura 22. Manchetes sobre as problemáticas das enchentes



FONTE: Elaborado pelo autor, a partir de imagens da internet

A ministra do meio ambiente, Marina Silva, durante anúncio de projetos de restauração da Amazônia, em 22 maio de 2024, falou sobre a necessidade de preparo para riscos e desastres naturais e destacou a calamidade do Rio Grande do Sul como uma “tragédia anunciada”, a ministra disse *“Estamos trabalhando e fazendo um esforço muito grande, para além da gestão dos desastres, a gente possa fazer a gestão do risco. Os investimentos são feitos corretamente na hora em que acontecem os desastres ambientais ou os eventos climáticos extremos que foram anunciados há*

tanto tempo. E como não tomamos as providências cabíveis e no tempo certo, agora estamos pagando o preço”⁵.

Desastres naturais se agravam em cidades que foram desenvolvidas em áreas ambientalmente instáveis, sem a infraestrutura necessária e com edificações frágeis. Essas situações afetam especialmente as populações vulneráveis, que muitas vezes vivem em condições de pobreza. A falta de infraestrutura adequada e a precariedade das construções comprometem a qualidade de vida urbana, colocando a população em risco diante de desastres naturais ou causados pelo homem, isso acelera a degradação ambiental e aumenta a vulnerabilidade social (Moura; Silva, 2008).

Ademais, segundo Moura e Silva (2008) a pior forma de degradação ambiental é impulsionada pelo modelo de desenvolvimento econômico atual e pelas escolhas energéticas que fazemos, e do crescimento exponencial do transporte individual, além de outros agravantes. Esses fatores contribuem significativamente para o efeito estufa e o aquecimento global. Embora as mudanças climáticas afetem toda a humanidade, suas consequências são mais devastadoras para as populações vulneráveis, especialmente os mais pobres.

5.3. Planejamento Permacultural

Emerge da movimentação contracultural e das discussões ambientalistas do início da década de 1970, a permacultura foi desenvolvida pelos australianos Bill Mollison e David Holmgren, visa servir como base à edificação de assentamentos humanos autogeridos e sustentáveis (Silva, 2013). A permacultura é mais do que um simples sistema de planejamento, é uma filosofia de design sustentável que busca reproduzir os padrões e processos da própria natureza para criar sistemas ecologicamente saudáveis, economicamente viáveis e socialmente justos.

[...] um sistema evolutivo integrado de espécies vegetais e animais perenes ou auto perpetuantes úteis ao homem. Em essência, é um ecossistema agrícola completo, modelado sobre exemplos existentes, porém mais simples. (Mollison; Holmgren, 1978, p. 15)

⁵ Folha de S. Paulo, 2024

Na permacultura, o planejamento é baseado em três princípios éticos e doze princípios de planejamento. Essa base conceitual foi continuamente aprimorada ao longo da história da permacultura, inspirada em exemplos de comunidades pré-industriais e em experiências de permacultores que se identificam com uma era pós-industrial.

Esses princípios éticos e de planejamento formam a base do processo de planejamento do espaço, considerado o método mais cartesiano da permacultura. “Permacultura é a evolução estendida e desenvolvida de uma base de apoio completa para o homem, além daquela desenvolvida pelas sociedades pré-industriais.” (Mollison; Holmgren, 1978, p. 18)

O objetivo principal é priorizar bons fluxos energéticos na paisagem a ser manejada.

A ética desempenha o papel de moderar os instintos de sobrevivência e outras ações pessoais e sociais em benefício próprio, que geralmente moldam o comportamento humano em qualquer sociedade. Os princípios éticos são ferramentas que evoluíram culturalmente para promover interesses pessoais menos egoístas, uma visão mais inclusiva do que constitui "nós", e uma compreensão de longo prazo das consequências, tanto positivas quanto negativas, de nossas ações. À medida que a civilização humana adquire mais poder, devido à disponibilidade energética, e concentra mais poder em escala social, a ética se torna cada vez mais crucial para garantir a sobrevivência cultural e até mesmo biológica a longo prazo. Essa perspectiva funcional ecológica da ética a torna central no desenvolvimento de uma cultura que utilize menos energia (Holmgren, 2007, p.8).

Quadro 1. Ética da Permacultura

CUIDAR DAS PESSOAS	CUIDAR DO PLANETA	PARTILHAS JUSTAS
cuide de si, da família, e da comunidade	reconstrua o capital natural	estabeleça limites para o consumo e reprodução, e redistribua o excedente

FONTE: Okimoto, 2021

5.3.1. Princípios de Planejamento



1. Observe e interaja – Sugere que para encontrar respostas, devemos observar como eventos e objetos se conectam no desenvolvimento de um fenômeno.

Muitas vezes, as soluções podem ser encontradas ao visualizar e correlacionar esses eventos com padrões observados na natureza. É importante analisar o sistema como um todo, de uma perspectiva ampla, considerando a interdependência entre os diferentes elementos. Devemos nos concentrar em identificar os pontos que podem influenciar mudanças no sistema como um todo.

Aplicado à construção civil, Okimoto (2021) exemplifica com escolhas inadequadas que fazemos, resultando em uma menor aplicabilidade e eficiência de tal elemento.



2. Capte e armazene energia – É essencial compreender como a natureza captura e armazena energia para podermos restaurar o capital natural energético em paisagens, regiões, microbacias, no ambiente doméstico e na cultura, além de planejar seu uso adequado. Não é suficiente simplesmente substituir combustíveis fósseis por energias renováveis, é crucial primeiramente reavaliar nosso nível de consumo. Devemos focar em reduzir o consumo, escolher produtos ou serviços que tenham maior durabilidade e reconsiderar a real necessidade de cada item antes de adquiri-lo.

Opção por usos de energias de fontes renováveis, e ou reuso de água para consumo não potável.



3. Obtenha rendimento – Além de buscar soluções a longo prazo para melhorar as condições de vida no planeta, é também necessário garantir um rendimento a curto prazo. As necessidades diárias das pessoas, como alimentação, abrigo e disponibilidade de água, precisam ser atendidas. Em nossas práticas cotidianas, devemos “desenhar sistemas e organizar nossas vidas de modo a obtermos rendimento através de meios que otimizem a potência de trabalho útil de tudo o que fazemos” (Holmgren, 2013, p. 125). Esse rendimento deve ser alcançado de forma saudável para todos os envolvidos e em harmonia com a dinâmica natural local e regional.



4. **Pratique a autorregulação e aceite conselhos (feedbacks)** – A

autorregulação é um dos objetivos do planejamento de um sistema, embora nunca seja totalmente alcançada. Como não temos controle sobre todos os fatores envolvidos em cada processo, às vezes são necessárias intervenções ou manutenções. A interação com a natureza pode fornecer feedbacks positivos, que aumentam a produção, ou feedbacks negativos, que podem diminuir a produção por algum motivo, evitando que o sistema entre em colapso. Essas consequências incluem comunidades afetadas por barragens, desmatamento, diminuição da fauna, desequilíbrio de ecossistemas inteiros, êxodo rural, perda de saberes tradicionais, descontrole climático e perda de biodiversidade.



5. **Use e valorize os serviços e recursos renováveis** - Segundo Holmgren

(2013), o design permacultural deve focar em usar ao máximo os recursos naturais renováveis para gerenciar e manter as produções. Embora seja necessário utilizar alguns recursos não renováveis ao estabelecer o sistema, é importante, antes de recorrer a esses recursos, considerar se existem outras estratégias que possam atender às necessidades sem consumir nenhum recurso.

Optar por materiais naturais, como bambu, madeira de reflorestamento e borracha natural são opções, afirma Okimoto (2021).



6. **Não produza desperdícios** - Para minimizar desperdícios, podemos

adotar cinco atitudes: recusar, reduzir, reaproveitar, reparar e reciclar. Na sociedade moderna, o discurso ambiental é frequentemente adotado apenas quando se percebe uma oportunidade de criar mercados para produtos e serviços rotulados como "ambientalmente corretos". Como resultado, as empresas geralmente focam apenas na reciclagem e pouco mencionam as outras quatro atitudes. No entanto, a reciclagem sozinha não é suficiente para resolver os problemas socioambientais causados pela sociedade de consumo.

O uso de pré-fabricados de concreto em lugar de moldados in loco onde há sobras na produção e aplicação.



7. **Design partindo de padrões para chegar aos detalhes** – Esse

princípio remete ao desenvolvimento de “uma linguagem de padrões de planejamento em permacultura ao focalizar exemplos de estruturas e organizações que

parecem ilustrar o uso equilibrado de energia e recursos” (Holmgren, 2013, p. 219). Para criar uma sociedade que se adapte aos ciclos naturais, devemos focar mais em nos alinhar com os padrões naturais locais, em vez de depender de inovações tecnológicas para corrigir nossos erros. Isso envolve utilizar escalas de planejamento, que na permacultura são organizadas principalmente por zonas, conforme a intensidade de uso e a inclinação do terreno. Além disso, consideramos a observação de fatores como sol, vento, umidade, água e fogo, entre outros.



8. Integrar ao invés de segregar – As relações estabelecidas, tanto entre

seres humanos quanto entre elementos naturais e outros animais, são extremamente importantes para a vida e a dinâmica desses grupos. A permacultura acredita que relações cooperativas e simbióticas contribuem mais para a construção de uma sociedade que pratica a harmonia com a natureza do que relações meramente competitivas.

Na construção civil, Okimoto (2021) aponta os projetos colaborativos onde os atores solucionam as necessidades projetuais de maneira concomitante.



9. Use soluções pequenas e lentas – A sociedade moderna valoriza a

rapidez em todos os aspectos, incluindo transporte, produção e consumo. Holmgren (2013, p.296) afirma que a crença de que "mais rápido é melhor" está profundamente enraizada como uma norma cultural, influenciando a agricultura, a indústria, o transporte, a comunicação, as viagens, a alimentação e quase todos os outros aspectos da vida. No entanto, estratégias de manejo pequenas e bem planejadas podem produzir resultados mais lentos, mas eficazes e duradouros.

Esse princípio pode ser aplicado em diferentes escalas tais como doméstica e pessoal e/ou local e regional.



10. Use e valorize a diversidade – O planeta que habitamos é composto

por uma enorme variedade de espécies animais e vegetais, culturas, solos, formando diversos biomas e paisagens. Já conhecemos as consequências negativas das monoculturas induzidas pelos seres humanos. Essas consequências incluem problemas de saúde devido à baixa diversidade de nutrientes na dieta e ao alto uso de agrotóxicos, além de conflitos entre povos, com guerras e atos violentos resultantes da imposição de uma cultura sobre outra, principalmente por disputas de poder territorial. A diversidade é naturalmente intrínseca à nossa vida, e devemos

apreciá-la, aprender com ela e cultivá-la, tanto na produção de alimentos quanto nas interações humanas. Somente através da aceitação e promoção da diversidade é possível garantir segurança alimentar e harmonia nas populações humanas.



11. Use os limites e valorize o marginal – Na natureza, as zonas periféricas, os limites e conexões entre diferentes sistemas, como ambientes, ecossistemas ou biomas, são áreas ricas em diversidade e energia. Esse princípio parte da premissa de que o valor e a contribuição das bordas e dos aspectos marginais e invisíveis de qualquer sistema não só devem ser reconhecidos e preservados, mas também quer ampliar esses aspectos pode aumentar a estabilidade e a produtividade do sistema. Por exemplo, aumentar a borda entre o terreno e a margem de uma represa pode aumentar a produtividade de ambos os ambientes. Um design que percebe os limites como oportunidades, e não como problemas, tem maiores chances de sucesso e adaptação (Holmgren, 2007).

Na construção civil, novas propostas projetuais inovadoras fazem com que outros segmentos interligados busquem soluções para que consigam atender tais inovações (Okimoto, 2021, p. 24)



12. Use a criatividade e responda às mudanças – Apesar do planejamento ocorrer em estágios mais amplos antes da execução ou no início, é crucial que seja constantemente reavaliado à medida que os resultados são obtidos. Holmgren (2013) argumenta que a permacultura diz respeito à durabilidade dos sistemas naturais vivos e da cultura humana, mas essa durabilidade depende paradoxalmente de uma grande flexibilidade e capacidade de adaptação. Fatores imprevistos podem influenciar resultados não esperados, tornando a criatividade essencial para superar essas mudanças inesperadas.

5.3.2. Metodologia

A metodologia clássica do planejamento permacultural consiste em setorização e zoneamento. Estas visam, organizar os elementos naturais e antrópicos relacionados à problemática e classificar as atividades em zonas, baseando-se na eficiência das

ações realizadas em cada área (Ferreira, Okimoto e Paiva, 2024; Holmgren, 2013; Mollison, Holmgren, 1978).

Para além, Ferreira, Okimoto e Paiva (2024) propõem incorporar novos métodos, tais eles: Recorte - identifica e delimita o território de interesse; Demandas - levante as diferentes demandas, incluindo necessidades sociais, administrativas, jurídicas, acadêmicas, entre outras; Setorizar - organize os elementos conforme a metodologia clássica de permacultura, considerando fatores como a localização dos elementos humanos e naturais; Zonear - classifique as diferentes áreas do território em zonas, de acordo com a metodologia clássica de permacultura, para definir como cada área será utilizada; Propor - desenvolva propostas que podem variar desde um plano mestre geral até projetos executivos detalhados, passando por vários níveis intermediários de planejamento.

Os autores acrescentam, que tal metodologia deve ser apresentada na forma de cartografias técnicas e sociais para orientar o planejamento.

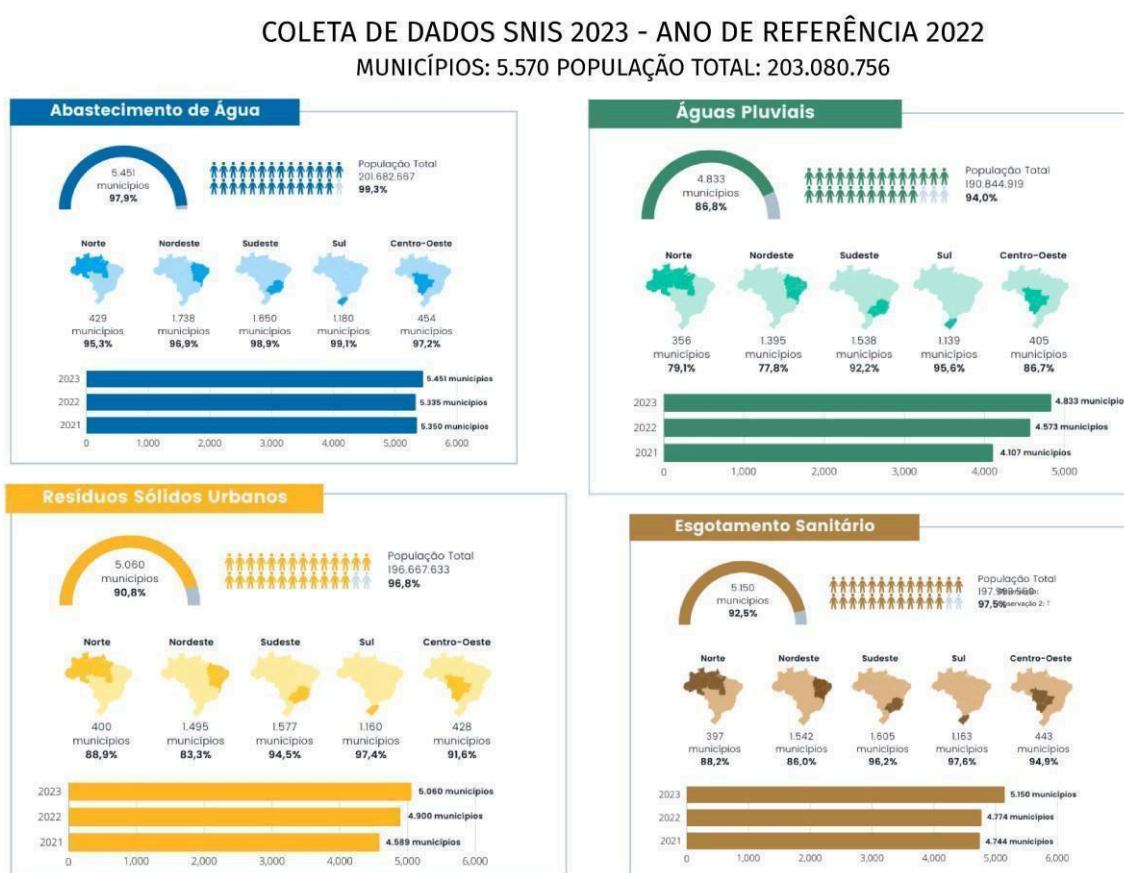
5.4. Saneamento Urbano

Dentre as adversidades decorrentes do processo de urbanização, talvez uma das mais graves esteja na área de saneamento. Uma política bem-sucedida de ampliação do acesso à rede de água tratada trouxe benefícios significativos à população. No entanto, durante a década de 80 e especialmente nos anos 90, houve uma diminuição nos investimentos em saneamento, resultando na impossibilidade de alcançar a universalização do fornecimento de água tratada e, ainda menos, na destinação adequada do esgoto. Em 1998, 55% dos lares no país, dos quais 11,4% eram urbanos, não tinham acesso à água potável. Dentro do ambiente urbano, 48,9% dos domicílios não estavam conectados à rede de esgoto. De acordo com dados do governo federal, "apenas 24% do esgoto doméstico produzido pelos lares atendidos pelas 27 principais empresas estaduais de saneamento recebe tratamento, (...) apenas 15% do esgoto doméstico brasileiro é tratado, e uma porcentagem ainda menor é adequadamente descartada no meio ambiente" (Presidência da República, 1998 *apud* (Maricato, 2000)). O destino das águas residuais e do esgoto, assim como grande parte do lixo sólido produzido, resulta no comprometimento desastroso dos corpos d'água,

mananciais, praias, mangues e outras áreas nos arredores das cidades que não despertam interesse do mercado imobiliário.

Atualmente, os dados do Censo Demográfico (IBGE 2022) apontam que houve um avanço expressivo no que tange o acesso à água potável pela população brasileira, 83,88% dos domicílios possuem água tratada. Entretanto, não houve um avanço significativo em relação a coleta de esgoto, ainda 35,31% das residências não estão conectadas a rede de tratamento de esgoto sanitário.

Figura 23. Coleta de dados SNIS 2023



FONTE: SNIS, 2023. Modificado pelo autor

Estabelecendo legislação para o Saneamento Básico e seus serviços, a Lei Nº 11.445 datada de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007) e atualizada treze anos mais tarde, pela Lei Nº 14.026 (Brasil, 2020) em 15 de julho de 2020, define saneamento básico como: “o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo

de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.” (Diagnóstico Temático Visão Geral AE SNIS, 2023 – quadro 2).

Quadro 2. Diagnóstico Temático Visão Geral AE SNIS, 2023

	Abastecimento de Água Potável: Constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição.
	Esgotamento Sanitário: Constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para a produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente.
	Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos: Constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana.
	Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas: Constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

FONTE: SNIS, 2023

A nova legislação passa por alterações significativas, atualizando metas e atribuições institucionais de gestão. Um dos principais destaques foi a atribuição à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) da responsabilidade de estabelecer normas de referência para a regulação da prestação dos serviços públicos de saneamento básico em todo o país.

Entre os destaques do Novo Marco do Saneamento Básico está a obrigatoriedade de todos os municípios do País ofertarem o acesso às redes de água e

esgoto até o dia 31 de dezembro de 2033, quando 90% dos brasileiros terão acesso à coleta de esgoto e 99% à água tratada.

Conforme o Art. 29, os serviços públicos de saneamento básico, como fornecimento de água, tratamento de esgoto, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais, devem ser sustentáveis financeiramente. Assim, sendo atribuídos pagamentos de taxas, tarifas e/ou outros preços públicos pelos usuários que a utilizam, garantindo sua continuidade e qualidade. Para isso, os custos desses serviços são cobrados de diferentes maneiras:

- de abastecimento de água e esgotamento sanitário, na forma de taxas, tarifas e outros preços públicos, que poderão ser estabelecidos para cada um dos serviços ou para ambos, conjuntamente;
- de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, na forma de taxas, tarifas e outros preços públicos, conforme o regime de prestação do serviço ou das suas atividades; e
- de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, na forma de tributos, inclusive taxas, ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou das suas atividades. (Brasil, 2020)

Ainda no inciso § 4º, dispõe que se esses serviços forem concedidos a empresas privadas para gerenciamento, elas podem cobrar diretamente os usuários pelas tarifas e preços estipulados. No entanto, a cobrança direta das taxas não é obrigatória, ficando a critério da empresa.

5.5. Saneamento Sustentável

Em conformidade com Brix (1999), atualmente o termo "verde" é amplamente empregado, e muitas vezes de forma inadequada, em relação a diversas tecnologias. Quando uma tecnologia é denominada como "verde", indica que ela requer menos recursos de energia não renovável do que outras alternativas. No entanto, é essencial considerar outros parâmetros, como sustentabilidade, capacidade de reciclagem, potencial de tratamento, conservação dos ecossistemas, entre outros, ao compará-la com as tecnologias convencionais de tratamento de águas residuais.

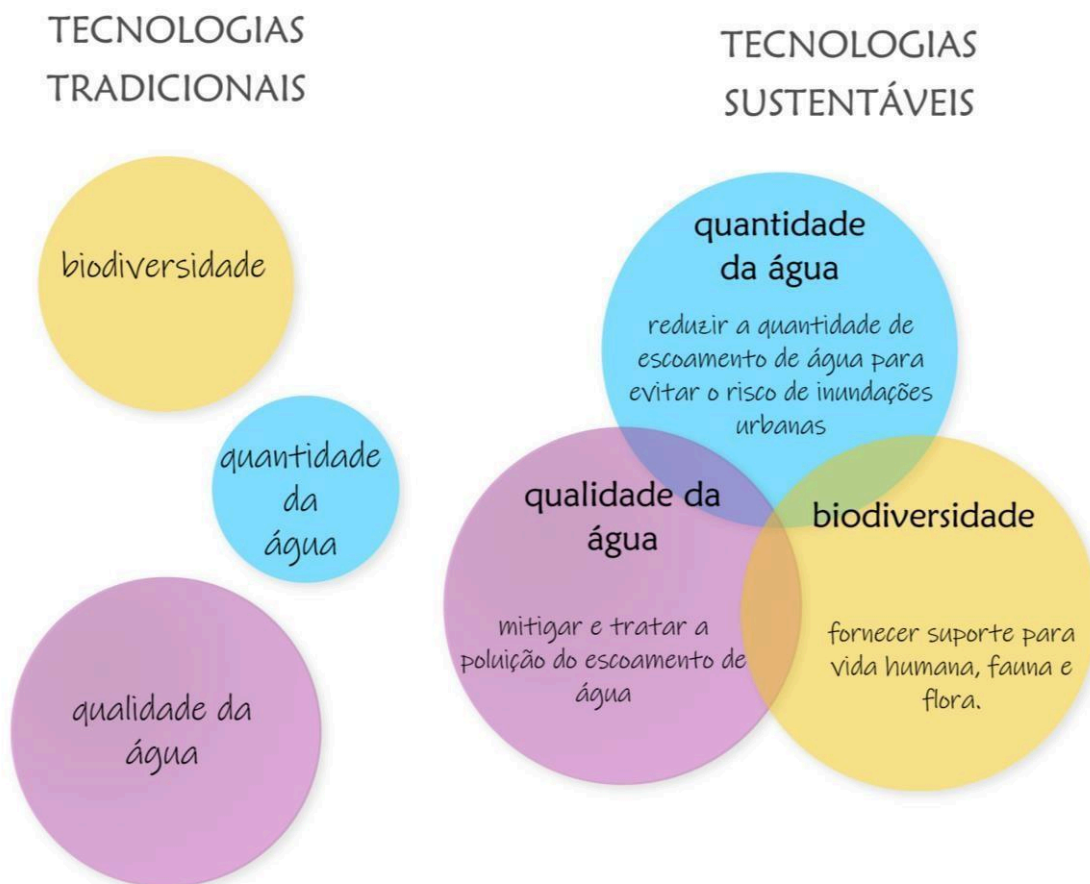
Enfrentar o desafio do gerenciamento sustentável dos recursos naturais é uma das questões mais urgentes de nossa época. A viabilidade das sociedades depende, em grande parte, da garantia de acesso a recursos hídricos de qualidade, do fornecimento seguro de alimentos e de uma gestão eficiente dos resíduos. O conceito de saneamento sustentável surgiu como uma resposta para superar as limitações dos sistemas tradicionais de saneamento, os quais muitas vezes não conseguem atender adequadamente às necessidades ambientais e de saúde pública.

O saneamento sustentável não se restringe a uma única tecnologia, mas é uma abordagem que adota uma série de princípios fundamentais. Existem diversas tecnologias que podem ser integradas para melhorar a sustentabilidade na gestão do saneamento e das águas residuais. O objetivo central desses sistemas é proteger e promover a saúde humana, garantindo um ambiente limpo e interrompendo os ciclos de doenças que podem surgir da má gestão dos resíduos (SSWM, 2012).

Para que um sistema de saneamento seja considerado sustentável, ele deve atender a várias exigências, dentre elas: Deve ser economicamente viável, ou seja, os custos de implementação e operação precisam ser gerenciáveis a longo prazo; o sistema deve ser socialmente aceitável, ganhando a aprovação e o apoio da comunidade que o utiliza; adequação técnica e institucional também é crucial, pois o sistema deve ser compatível com as capacidades locais de operação e manutenção.

Além desses aspectos, a sustentabilidade de um sistema de saneamento também exige que ele proteja o meio ambiente e os recursos naturais. Isso significa que o sistema deve minimizar a poluição e promover a conservação dos recursos hídricos. Assim, um saneamento sustentável busca um equilíbrio entre viabilidade econômica, aceitação social, adequação técnica e institucional, e a preservação ambiental, garantindo, assim, um ciclo de uso de recursos que seja benéfico e duradouro para a sociedade (Langergraber, 2013 *apud* Afifi; Alnahhal; Abdelall, 2015).

Figura 24. Diferenças entre as tecnologias tradicionais e as sustentáveis .



Fonte: Charlesworth, 2010 *apud* Nguyen *et al.*, 2019. Modificado pelo autor

Segundo SuSanA (2007) “o conceito de sustentabilidade é mais uma direção do que um estágio a ser alcançado” (*apud* Afifi; Alnahhal; Abdelall, 2015).

Para que os sistemas de saneamento sejam verdadeiramente sustentáveis, é essencial que sejam avaliados minuciosamente em todas as suas dimensões. Não se tem uma abordagem de saneamento que seja universalmente aplicável e igualmente eficaz em todos os contextos, a solução deve ser adaptada às circunstâncias específicas de cada local. Essa avaliação precisa considerar a estrutura local e as condições ambientais, técnicas, socioculturais e econômicas específicas de cada área. Assim, a escolha da solução mais apropriada deve ser feita caso a caso, levando em conta fatores como o clima, a disponibilidade de água, as práticas sociais e culturais, a acessibilidade, a segurança e os requisitos técnicos (SSWM, 2012).

O desenvolvimento sustentável urbano tem o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população e a conservação ambiental. É também essencialmente integrador na medida em que a qualidade de vida somente é possível com um ambiente conservado que atenda às necessidades da população, garantindo harmonia do homem e da natureza. (Tucci, 2008. p. 97)

Ao considerar todos esses critérios de sustentabilidade, as wetlands construídas se destacam como uma alternativa viável aos sistemas de saneamento convencionais. As áreas úmidas construídas não apenas tratam águas residuais de maneira eficaz, mas também oferecem benefícios ecológicos e sociais, sendo especialmente úteis tanto em regiões rurais quanto urbanas (Afifi; Alnahhal; Abdelall, 2015).

As wetlands construídas ajudam a melhorar a qualidade da água, promovem a biodiversidade, e podem ser integradas ao planejamento urbano e rural para criar espaços verdes que servem à comunidade e ao meio ambiente (Brix, 1999). Assim, ao adotar uma abordagem que considera todas essas variáveis, é possível desenvolver sistemas de saneamento que sejam sustentáveis, adaptados às necessidades locais e benéficos para o ambiente e a sociedade como um todo.

Em países onde a água doce é um recurso limitado e onde a capacidade econômica pode limitar a utilização de fertilizantes artificiais, o potencial de reutilização das águas residuais se torna de suma importância (Brix, 1999).

Diante o exposto, o desenvolvimento de tecnologia de saneamento econômica, aceitável, tecnicamente flexível e amiga do ambiente é a única forma de acelerar o desenvolvimento do saneamento (Hu *et al.*, 2016).

5.5.1. Wetlands

Nas últimas décadas, houve um aumento exponencial no consumo de água, acima da taxa de crescimento populacional (Guterres, 2020 *apud* Stefanatou *et al.*, 2024). Fatores como o crescimento populacional, a poluição, a má gestão da água, juntamente com a distribuição desigual de recursos hídricos, a urbanização e industrialização são os principais impulsionadores da crescente demanda por água (Maniam *et al.*, 2022). Além disso, as mudanças climáticas intensificam os fatores de

estresse existentes nos recursos hídricos (Zhou et al., 2018 *apud* Stefanatou et al., 2024).

A preocupação com a diminuição do abastecimento de água para as áreas urbanas, bem como com a degradação ambiental dos sistemas de água existentes tem sido estopim para discutir a reutilização de águas cinzentas, sugerida como uma forma de diversificar os atuais sistemas locais de abastecimento de água e, ao mesmo tempo, diminuir a carga sobre os ambientes e infraestruturas existentes (Arden; Ma, 2018).

Em face do exposto, motivou a investigação de estratégias de abastecimento de água mais resilientes e sustentáveis, como águas cinzas provenientes de chuveiros, banheiras e lavatórios, representando de 45 a 60% do total de águas residuais domésticas (Noutsopoulos et al., 2018) podendo ser reutilizadas para usos não potáveis, em descargas de vasos sanitários, lavanderia, irrigação de gramados e lavagem de carros (Matos et al., 2010 *apud* (Stefanatou et al., 2024). Contudo, as águas cinzas requerem tratamento para atender aos padrões mínimos de reutilização segura de água não potável, devido à presença de poluentes orgânicos e inorgânicos (Boyjoo et al., 2013 *apud* Stefanatou et al., 2024)s, bem como organismos patogênicos, que representam o principal risco para a saúde pública no reúso de águas cinzas (Maimon; Friedler; Gross, 2014). Assim, a fim de tratar águas cinzentas para fins de reutilização, as zonas úmidas construídas dentre outras tecnologias baseadas na natureza têm sido propostas como um processo unitário economicamente e energeticamente eficiente.

De acordo com Arden e Ma (2018) “As zonas úmidas são sistemas complexos que abrigam uma infinidade de processos abióticos e bióticos capazes de remover, degradar ou transformar muitos compostos considerados poluentes” (Garcia et al., 2010; Jasper et al., 2013; Kadlec e Wallace, 2008; Wetzel, 2001 *apud* Arden; Ma, 2018). Sharma e Malaviya (2022) também apontam que “Os Constructed Wetlands (CWs) são sistemas de remediação autossustentáveis que não requerem uma fonte externa de energia e abrangem mecanismos operacionais simples, incluindo processos biológicos (biorremediação e fitorremediação), químicos e físicos para remoção de poluentes.”

Um sistema de tratamento de águas cinzas bem-sucedido no local deve satisfazer vários critérios, tais como: a) remover eficientemente poluentes e patógenos, b) ter baixo custo de construção e operação, c) ser robusto, confiável e capaz de

suportar grandes variações na água qualidade e quantidade e d) ter aceitação pública (Maimon e Gross, 2018 *apud* Kotsia *et al.*, 2020). As áreas úmidas construídas são sistemas reconhecidos por sua simplicidade, baixo custo de manutenção e durabilidade.

São soluções eficazes para o tratamento local de águas cinzentas (Boano *et al.*, 2020)

As wetlands construídas têm evoluído rapidamente e podem ser projetadas e construídas em diferentes contextos hidrológicos e configurações para destacar características específicas que aprimoram o desempenho do tratamento (quadro 3). No entanto, o sistema possui tipos básicos que atualmente são amplamente utilizados.

Quadro 3. Tipos de wetlands construídas

TIPO DE CWs	CARACTERÍSTICAS
Superfície de água livre (FWS)	1) Grandes áreas de águas abertas que imitam de perto os pântanos naturais. 2) Atraia uma variedade de vida selvagem. 3) Usado principalmente para tratamento avançado. 4) Maior capacidade de lidar com fluxos pulsantes e mudanças nos níveis de água. 5) Custo de construção e operação de capital competitivo.
Fluxo subterrâneo Horizontal (HF)	1) A água flui abaixo da superfície e não é exposta ao homem. 2) Custo de construção relativamente mais elevado que o FWS. 3) Normalmente dimensionado menor que o FWS devido ao custo e espaço. 4) Comumente usado para tratamento secundário. 5) Alta tolerância ao frio. 6) O entupimento da mídia deve ser considerado operacionalmente.
Fluxo Vertical (VF)	1) Diversas variações nas operações de alimentação. 2) Alta capacidade de transferência de oxigênio e oxidação de amônio. 3) Custo de tubulações e consumo de energia de alimentação. 4) Alta tolerância ao frio. 5) O entupimento da mídia deve ser considerado operacionalmente.
Sistemas Combinados (CS)	1) Uma espécie de trem de tratamento que combina diferentes sistemas de áreas úmidas em sequência, com base em toda uma consideração de maximização dos méritos de desempenho e minimização de custos.

Sistemas Intensificados (IS)	1) Comumente usado para águas residuais fortes. 2) Alto desempenho de remoção de poluentes. 3) Custo operacional normalmente mais elevado, mas área de terreno minimizada.
------------------------------	--

Fonte: Wu *et al.*, 2015

A tecnologia de fitorremediação mais comumente utilizada é o sistema de fluxo submerso horizontal (HF), no qual o nível da água fica logo abaixo da superfície, criando um ambiente predominantemente anaeróbico dentro dos leitos. Ao redor dos rizomas das eleófitas, desenvolve-se uma microzona oxigenada bem definida, que facilita a formação de um filme bacteriano aeróbico. Essa alternância entre áreas aeróbicas e anaeróbicas permite o desenvolvimento de várias famílias de microrganismos especializados, resultando na quase total eliminação de patógenos, que são particularmente sensíveis a mudanças rápidas no conteúdo de oxigênio dissolvido. À medida que a matéria orgânica passa pela rizosfera das plantas, ela é decomposta pela ação microbiana. As substâncias nitrogenadas passam por processos de nitrificação e desnitrificação: a nitrificação é limitada pela falta de oxigênio e pelo tempo reduzido de retenção hidráulica, enquanto a desnitrificação predomina nas áreas anaeróbicas. O fósforo e os metais pesados são adsorvidos no material de enchimento e absorvidos pelas plantas. A alimentação dos canteiros é contínua e deve garantir uma distribuição uniforme ao longo de toda sua largura (Riggio *et al.*, 2018).

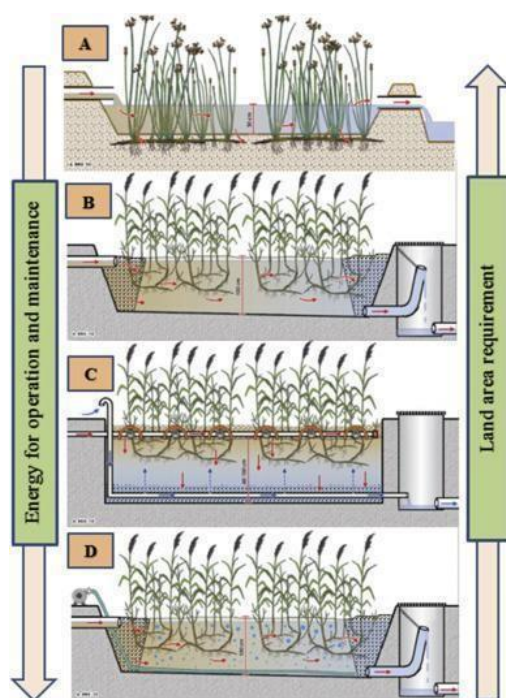
Outro tipo de tecnologia comumente utilizado, é o sistema de fluxo vertical submerso (VS). Nesse sistema, o fluxo a ser tratado é conduzido verticalmente através do meio de enchimento. A afluência ocorre de forma intermitente, com períodos de carga seguidos por períodos de pausa, utilizando bombas submersas ou sistemas de sifões, quando os gradientes permitem a entrada dos fluidos na bacia por gravidade. A alimentação intermitente promove uma alta oxigenação do meio, pois o líquido distribuído na superfície flui gradualmente até o fundo dos tanques, e o esvaziamento progressivo permite que o ar se infiltre nos interstícios do meio de enchimento. Durante a pausa, as camadas mais profundas alternam entre condições oxidantes e redutoras, permitindo a constante renovação dos gases presentes no solo. Embora os princípios de remoção de contaminantes sejam os mesmos dos sistemas HF, os sistemas de fluxo vertical são mais oxigenados, o que possibilita uma maior oxidação e

degradação da matéria orgânica, além de melhorar os processos de nitrificação (Riggio *et al.*, 2018).

A Figura 25 ilustra a relação entre as necessidades de energia, operação e manutenção e os requisitos de área de terra, abrangendo desde as zonas úmidas naturais passivas tradicionais até as zonas úmidas intensificadas.

Se for almejado um desempenho de tratamento igual, os CWs de fluxo superficial de água livre (FWS) precisam de menos energia para operação e manutenção, mas de maior área de terra. Caso contrário, as zonas úmidas intensificadas, como as zonas úmidas arejadas, levam a custos adicionais para a operação e manutenção da instalação, mas também ocupam certamente uma área muito menor. (Wu *et al.*, 2015)

Figura 25. A relação entre as necessidades de energia e O&M (operação e manutenção) através da área terrestre exige que as zonas húmidas naturais passivas tradicionais se transformem em zonas húmidas intensificadas (A: CWs FWS; B: CWs HSSF; C: CWs VF; D: CWs arejados).



Fonte: Wu *et al.*, 2015

Arden e Ma (2018) em seu estudo, apresentam que as zonas úmidas construídas para águas cinzentas como um processo único não podem satisfazer de forma confiável todos os critérios de reutilização. No entanto, o mesmo acontece com

os processos unitários de tratamento de águas residuais tradicionais, como evidenciado pela necessidade de “*sub processos finais*” de desinfecção nas estações de tratamento de águas residuais. Diante do exposto, cabe pontuar que os tradicionais e mais comumente processos unitários de desinfecção podem ser combinados com as zonas úmidas construídas para alcançar de forma fiável as reduções microbiológicas necessárias.

As wetlands construídas têm demonstrado eficácia em diversas configurações para o tratamento de águas residuais provenientes de diferentes fontes, como residências, sistemas de esgoto combinado, refinarias e atividades agrícolas. Apesar disso, há uma carência de estudos adicionais que explorem seu potencial para a reutilização de águas residuais industriais.

No Brasil, a nova NBR 17.076 regulamenta o uso da tecnologia wetlands para pequenas vazões, revogando as NBR 7.229/03 e NBR 13.969/97. Esta, traz avanços para o tratamento de efluentes descentralizado para estações de pequeno porte (até 12 m³/dia e/ou carga orgânica 3,8 kgDBO/dia) ao incorporar seis novas tecnologias, entre elas a tecnologia wetlands construídos, até então não previstas nas antigas resoluções: 1 Equipamento compacto de tratamento de esgoto (ECTE); 2 Reator anaeróbio compartimentado (RAC); 3 Lodo ativado fluxo contínuo; 4 Wetlands construídos; 5 Vermifiltro; 6 Tanque de evapotranspiração. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2024)

O avanço é importante pois consolida os wetlands como uma opção tecnológica para tratamento de efluentes sanitários. Por outro lado, a norma é limitada a vazões e cargas menores (limitada a população de até 90 habitantes), e não se aplica para o uso dos wetlands para: (1) tratamento de efluentes industriais e municipais de maior escala, para (2) tratamento de lodos orgânicos e para (3) tratamento de águas de mineração, aplicações já consolidadas da tecnologia.

Atualmente, a utilização de wetlands construídas para o tratamento local de águas cinzentas apresenta-se como uma alternativa altamente promissora. Para implementar com êxito essa solução baseada na natureza em uma escala ampla, é crucial conquistar a aceitação do público, assegurar viabilidade econômica e produzir águas cinzentas tratadas de alta qualidade.

As áreas úmidas construídas representam um método de tratamento com baixo consumo energético, com potencial para tratar eficazmente águas cinzentas para sua reutilização não potável. A remoção de contaminantes das águas cinzentas é um processo complexo, com reduções variáveis dependendo do contaminante e das condições operacionais. Contudo, com medidas adequadas de desinfecção, as wetlands podem se tornar uma opção segura e energeticamente eficiente para a reutilização descentralizada de águas não potáveis.

5.5.2. Jardins de Tratamento

Uma evolução no conceito de wetlands são os jardins de tratamento. O uso de plantas para o tratamento de águas poluídas começou a ser explorado mundialmente na década de 1950, diante dos estudos realizados pelo Instituto Max Planck na Alemanha. A ideia surgiu da observação de pântanos, brejos, várzeas e outras zonas úmidas, conhecidas como "wetlands" em inglês, onde as plantas mostraram uma notável capacidade de purificar a água. Inspirados por esses ecossistemas naturais, os pesquisadores desenvolveram jardins especialmente projetados para funcionar como estações de tratamento de esgoto. Esses sistemas foram inicialmente denominados "constructed wetlands" (CW) ou, em português, Sistemas de Alagados Construídos (SACs)⁶.

Com o passar do tempo, surgiram várias outras terminologias para descrever esses sistemas, tais como sistemas fitorremediadores, wetlands de tratamento, jardins filtrantes, jardins de tratamento, zonas de raízes, e leitos filtrantes plantados, entre outros.

Nas décadas de 1970 e 1980, as pesquisas sobre wetlands se intensificaram, e os resultados positivos levaram à rápida disseminação dessa tecnologia nos Estados Unidos, Canadá e Europa. No final dos anos 1990, o Brasil também adotou essa tecnologia. A adesão ocorreu durante a conferência "Wetlands Systems for Water Pollution Control" realizada em Águas de São Pedro, São Paulo, organizada pela

⁶ Ecclo. Disponível em <<https://www.ecclo.com.br/post/jardins-de-tratamento-o-poder-dasra%C3%ADzes-para-despolui%C3%A7%C3%A3o-da-%C3%A1gua>>. Acessado em 14 de mai. De 2024.

Universidade Estadual Paulista (UNESP) com o apoio da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) (Mendes, 2022).

O Jardim Filtrante é uma tecnologia desenvolvida na França pelo arquiteto paisagista Thierry Jacquet, o arquiteto realizou o projeto de despoluição do rio Sena em Paris, onde um parque filtrante que purifica as águas do rio, liberando água limpa para oxigenação do curso d'água sempre que necessário, permitindo a recuperação do efluente de forma natural. Esse método envolve a utilização de plantas especialmente escolhidas para eliminar poluentes da água através do processo de fitorremediação (ArchDaily Brasil, 2023).

O uso de plantas para despoluição (fitorremediação) é uma solução viável para o tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais. Pode ser utilizada tanto para o tratamento primário, substituindo as estações de tratamento de esgoto convencionais (ETEs), quanto para o polimento, com o objetivo de atender às normas reguladoras para reuso, infiltração ou descarte em corpos hídricos.

A fitorremediação é realizada através de tanques com diferentes configurações, escavados no solo, impermeabilizados e preenchidos com substratos específicos. Na superfície desses substratos são plantadas espécies vegetais que promovem o tratamento na zona das raízes. Esse sistema é natural, sem a aplicação de agentes químicos artificiais ou microrganismos exógenos. Além dos mecanismos diretamente envolvidos na fitorremediação, as diferentes camadas de substratos nos jardins de tratamento complementam os processos físicos e químicos, atuando como um filtro mecânico para retenção de sólidos e como superfície de adsorção para compostos como fósforo, sódio e metais.

De maneira a garantir a qualidade da água não potável, o estabelecimento de parâmetros de qualidade e seus respectivos limites (quadro 4) visa estabelecer um padrão para a água não potável que permite seu uso seguro, sem a necessidade de empregar processos de tratamento excessivamente rigorosos, o que poderia resultar em custos elevados. Isso possibilita a implementação e operação de sistemas de fontes alternativas, respeitando aspectos sanitários e considerações de viabilidade técnico econômica. Segundo o Guia Orientativo das Normas de Conservação de Água, Fontes Alternativas Não Potáveis e Aproveitamento de Água de Chuva em Edificações (2019)

apresenta sete parâmetros que incluem variáveis físicas, químicas e microbiológicas da água que a norma estabelece.

Quadro 4. Parâmetros de qualidade da água não potável

PARÂMETRO	LIMITE	OBSERVAÇÃO
pH	6,0 a 9,0	A faixa de valores deve ser mantida em todas as amostras
E. Coli	≤ 200 NPM/100mL	Pode ser realizado teste para detectar ausência ou presença das bactérias. Caso seja detectada presença, o NMP deve respeitar o limite determinado.
Turbidez	≤ 5 UT	Este valor deve ser respeitado em todas as amostras
DBO _{5,20}	≤ 20 mgO ₂ /L	Este valor deve ser respeitado em todas as amostras
Cloro Residual Livre (CRL)	Mínimo 0,5 mg/L - Máximo de 5,0 mg/L	Recomendável 0,5 mg/L - Máximo de 2,0 mg/L
Sólidos dissolvidos totais (SDT) ou Condutividade elétrica	≤ 2.000 mg/L ou ≤ 3.200 μ S/cm	Como é conhecida a correlação diretamente proporcional entre SDT e condutividade elétrica (condutividade/SDT $\approx 1,6$), o monitoramento pode ser realizado de ambas as formas.
Carbono Orgânico Total (COT)	< 4 mg/L	Aplicável somente para rebaixamento de lençol freático.

NOTA: padrões de qualidade não se aplicam a uso de água não potável em sistemas de resfriamento

(1) Portaria de consolidação nº05/2017 do Ministério da Saúde. Substitui a Portaria nº 2914/2011, mas mantém os mesmos valores de qualidade de água potável.

(2) 95% das amostras devem ter turbidez de até 1,0 UT, sendo aceitáveis valores até 5,0 UT dentro dos 5% restantes. **FONTE:**
 GUIA ORIENTATIVO DAS NORMAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA, FONTES ALTERNATIVAS NÃO POTÁVEIS E
 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES

Em estudo realizado por Kotsia *et al* (2020), foram analisados o desempenho e a viabilidade econômica dos jardins de tratamento ao longo de dois anos. A pesquisa mostrou que as plantas *Pittosporum tobira* e *Hedera helix* podem crescer em sistemas de zonas úmidas construídas com fluxo vertical (VFCW) utilizando águas cinzas, sem apresentar sintomas visíveis de estresse. Essas espécies demonstraram alta tolerância tanto a condições de seca quanto de inundação, o que as torna adequadas para uso em

edifícios residenciais, hotéis sazonais e casas de férias. Em contrapartida, observou-se desfolha parcial nas plantas de *Polygala myrtifolia* durante o inverno.

Os resultados indicaram altas eficiências médias de remoção de DBO (99%), DQO (96%) e SST (94%) em todos os sistemas VFCW examinados, incluindo aqueles sem plantas. No entanto, a eficiência de remoção de fósforo, que começou em 100% nos primeiros meses de operação, caiu para 15% no segundo ano. Além disso, a concentração de coliformes totais no efluente de todos os sistemas plantados foi reduzida em 2,2 unidades logarítmicas, enquanto a eficiência foi menor nos sistemas sem plantas. As concentrações médias de DBO e SST nas águas cinzas tratadas atenderam aos padrões para reutilização interna, com níveis inferiores a 10 mg/L.

Os estudos confirmam que as águas cinzas tratadas por VFCWs atendem a rigorosos critérios de reutilização para descarga em vasos sanitários. No entanto, essas zonas úmidas construídas não conseguem eliminar completamente os agentes patogênicos das águas residuais. Apesar disso, as baixas concentrações de matéria orgânica e sólidos suspensos observadas permitem a aplicação segura de métodos simples de desinfecção, com UV ou cloração, para eliminar os patógenos em um estágio de pós-tratamento.

5.5.3 Infraestrutura do Sistema de Jardins de Tratamento

A fitorremediação possui diversas vantagens, porém necessita-se seguir as especificidades necessárias para garantir sua eficiência. Para que as plantas realizem a limpeza, elas precisam estar localizadas no mesmo ambiente que o poluente e ser capaz de interagir diretamente com ele. Isso significa que as condições do solo, o nível de toxicidade e o clima devem ser favoráveis ao desenvolvimento das plantas. Se o solo for muito tóxico, é possível torná-lo mais adequado para o crescimento vegetal com a adição de reguladores (Negri *et al.*, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005).

Como os processos biológicos demandam de energia solar para acontecer, a fitorremediação tende a ser, em média, dez vezes mais econômica que os métodos de remediação baseados em técnicas de engenharia, como a escavação, lavagem ou

incineração do solo, ou ainda sistemas de bombeamento e tratamento (Glass DJ, 1999 *apud* Pilon-Smits, 2005)

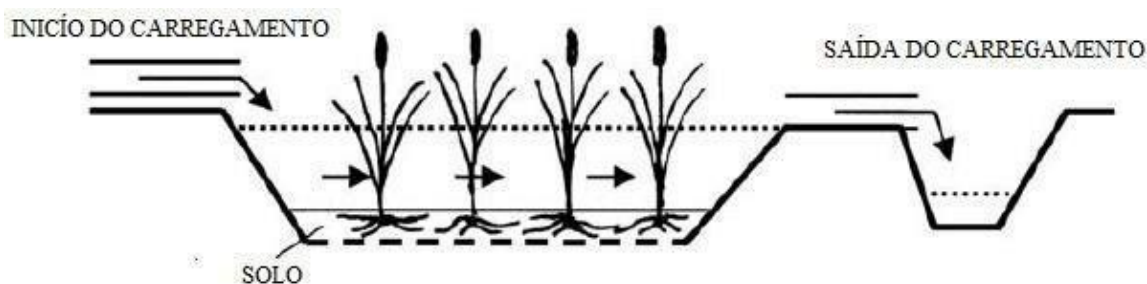
De maneira concisa, esses sistemas são alojados em concreto de cimento armado, alvenaria de pedra ou aterro de solo e consistem em uma contenção impermeável tipicamente abaixo do solo, 0,7 m de profundidade. Na parte inferior, uma camada de drenagem subterrânea de 0,3 m de pedra ou entulho, acima da qual há uma camada de 0,4 m de meio que abriga plantas de cultura e bioindicadoras (Kadam *et al.*, 2008).

Podem ser classificados em três tipologias principais: Jardins de fluxo superficial, Jardins de fluxo subsuperficial horizontal e Jardins de fluxo subsuperficial vertical. Cada tipo possui características específicas que os tornam adequados para diferentes situações de tratamento de efluentes. Abaixo encontra-se tais tipologias e suas especificidades:

A. WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (FWS)

As wetlands de fluxo superficial são caracterizadas por terem a lâmina d'água sobre a superfície do solo, com plantas que podem ou não estar enraizadas na camada de sedimentos no fundo da coluna de água (Figura 26). Visualmente, elas se assemelham às wetlands naturais, o que as torna especialmente indicadas para o tratamento de efluentes terciários. O ambiente dessas wetlands apresenta condições aeróbias na superfície da água, mas à medida que se aproxima do fundo, o ambiente se torna anóxico. Essa transição é fundamental para a remoção de nitrogênio dos efluentes (Pio; Antony; Santana, 2013).

Figura 26: Esquema de uma Wetland de fluxo superficial com macrófitas emergentes



Fonte: (Vymazal, 2007)

Também conhecidas como wetlands de fluxo livre, esse tipo de sistema é projetado de forma que a água residual escoe sobre a superfície do substrato, cobrindo parcialmente as plantas emergentes. Elas são particularmente eficazes para a remediação de solos com baixa permeabilidade, como os argilosos, e em terrenos com pouca inclinação. Devido à sua alta eficiência hidráulica, ou seja, à baixa velocidade de fluxo e ao longo tempo de retenção hidráulica, aliada às condições favoráveis de sedimentação, essas wetlands conseguem reter grandes quantidades de matéria orgânica e sólidos em suspensão (Ran; Agami; Oron, 2004).

Geralmente, essas áreas são habitats para uma diversidade de espécies, como insetos, moluscos, peixes, anfíbios, répteis, além de pequenas aves e mamíferos. Por essas características, elas são amplamente utilizadas no tratamento de águas pluviais urbanas, bem como em efluentes agrícolas, industriais e outros tipos (Kadlec; Wallace, 2009).

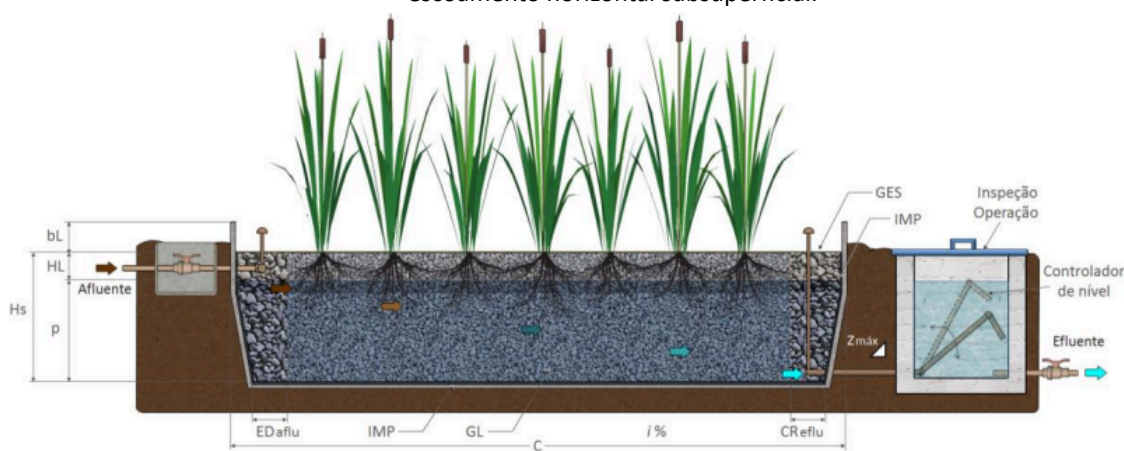
B. WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (WCH)

As wetlands construídas de fluxo subsuperficial são compostas por tanques preenchidos com materiais como cascalho, areia ou argila, nos quais são plantadas macrófitas. Esses tanques possuem pequenas inclinações que permitem que o efluente se mova no sentido horizontal ou vertical (Halverson, 2004). As wetlands de fluxo subsuperficial podem ser ajustadas a diferentes condições e configurações, mostrando grande eficiência no tratamento de efluentes.

Nesses sistemas, o processo de depuração e transformação dos componentes físicos, químicos e biológicos dos efluentes ocorre por meio de uma combinação de

elementos e mecanismos. O princípio fundamental é a formação de biofilme que se adere ao meio de suporte e às raízes das plantas. A depuração da matéria orgânica, bem como os processos de nitrificação e desnitrificação, são realizados por microrganismos aeróbios e anaeróbios. O oxigênio necessário para esses processos é fornecido tanto pelas plantas macrófitas quanto pela difusão atmosférica (Vymazal; Švehla, 2013). Essas características tornam os sistemas de fluxo subsuperficial amplamente utilizados para a remoção de contaminantes orgânicos (Vymazal, 2011).

Figura 27: Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial.



Legenda:

Hs - altura do meio suporte; p - profundidade útil do líquido; HL - distância vertical entre o nível superior do esgoto e o topo do meio suporte; Hs - altura do meio suporte (substrato); bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede. C - comprimento longitudinal; Zmáx - declividade máxima do talude interno (quando necessário);	IMP - impermeabilização (fundo e laterais); GES - granulometria da zona de entrada e saída; GL - granulometria do leito filtrante; ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente; CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente; i % - declividade longitudinal de fundo.
--	--

Fonte: (von Sperling; Sezerino, 2018)

No caso das wetlands de fluxo subsuperficial horizontal, o efluente é introduzido em uma área chamada de zona de entrada e percola através dos poros do material filtrante, seguindo um caminho predominantemente horizontal até chegar à zona de saída (Figura 27).

Durante esse trajeto, o efluente passa por diferentes zonas: aeróbicas, anóxicas e anaeróbicas. As zonas aeróbicas estão situadas próximas às raízes e rizomas das plantas. Ao atravessar a rizosfera, o efluente é degradado por meio da ação de

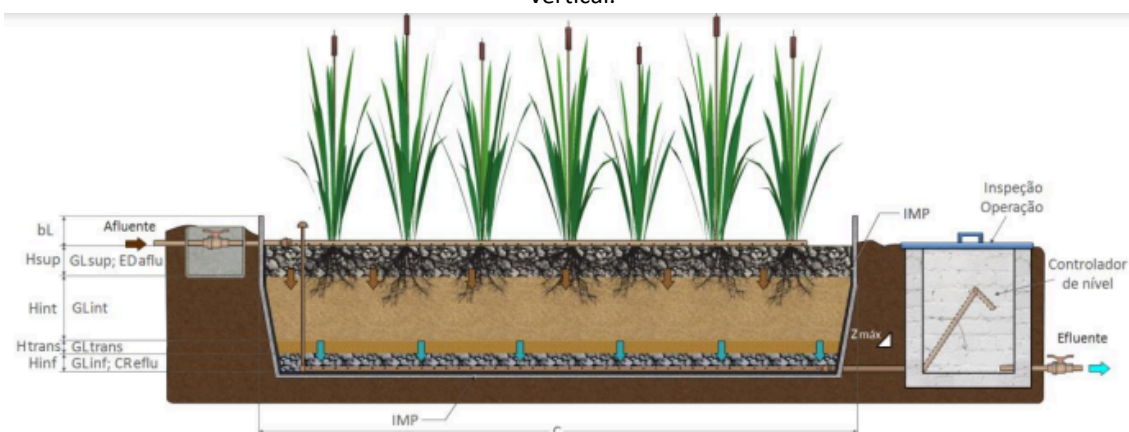
microrganismos e por processos físicos e químicos (IWA, 2000 apud (Pio; Antony; Santana, 2013)).

C. WETLAND CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL

As wetlands subsuperficiais de fluxo vertical apresentam diversas variações em suas características. O tipo mais comum utiliza o escoamento superficial como configuração de passagem única para a entrada do efluente (Kadlec; Wallace, 2009). Nessa configuração, o líquido a ser tratado é distribuído uniformemente sobre toda a área superficial do módulo de tratamento de forma intermitente. A água percola de forma descendente, passando pelo sistema radicular das macrófitas e pelos poros do material filtrante, que geralmente é composto por areia. Após esse processo, o líquido é coletado no fundo por um sistema de drenagem (Figura 28).

Nessa tipologia de wetlands, o meio permanece não saturado, ou seja, os espaços vazios entre os grãos do material filtrante estão preenchidos com ar e não com água. Isso resulta em um ambiente predominantemente aeróbio no leito filtrante (von Sperling; Sezerino, 2018).

Figura 28: Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento vertical.



Legenda:

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada opcional);	GLsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hmid - altura da camada intermediária, principal, de filtração;	GLmid - granulometria do leito na camada intermediária, principal, de filtração;
Htrans - altura da camada de transição;	GLtrans - granulometria do leito na camada de transição
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	GLinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede	EDaflu - zona de entrada e distribuição do afluente, na camada superior do meio filtrante;
C - comprimento;	CREflu - zona de coleta e retirada do efluente na camada de drenagem, no fundo.
Zmax - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

Fonte: (von Sperling; Sezerino, 2018)

As wetlands subsuperficiais de fluxo vertical são particularmente eficazes na remediação de sistemas aquáticos contaminados. As plantas utilizadas nesse tipo de sistema possuem boa tolerância e capacidade de absorção de micropoluentes (MP), o que aumenta sua eficiência no tratamento de efluentes (Yadav *et al.*, 2012).

D. WETLANDS CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL (SISTEMA FRANCÊS)

Os wetlands verticais do Sistema Francês clássico consistem em dois estágios: o primeiro recebe esgoto bruto (após gradeamento), enquanto o segundo trata o efluente do primeiro estágio. O escoamento é vertical e descendente, e o objetivo principal do primeiro estágio é remover matéria orgânica, sólidos em suspensão e parcialmente o nitrogênio amoniacal. O segundo estágio realiza um polimento no

tratamento, focando na remoção complementar de matéria orgânica e, principalmente, na nitrificação do nitrogênio amoniacal, em virtude das condições aeróbias do leito filtrante.

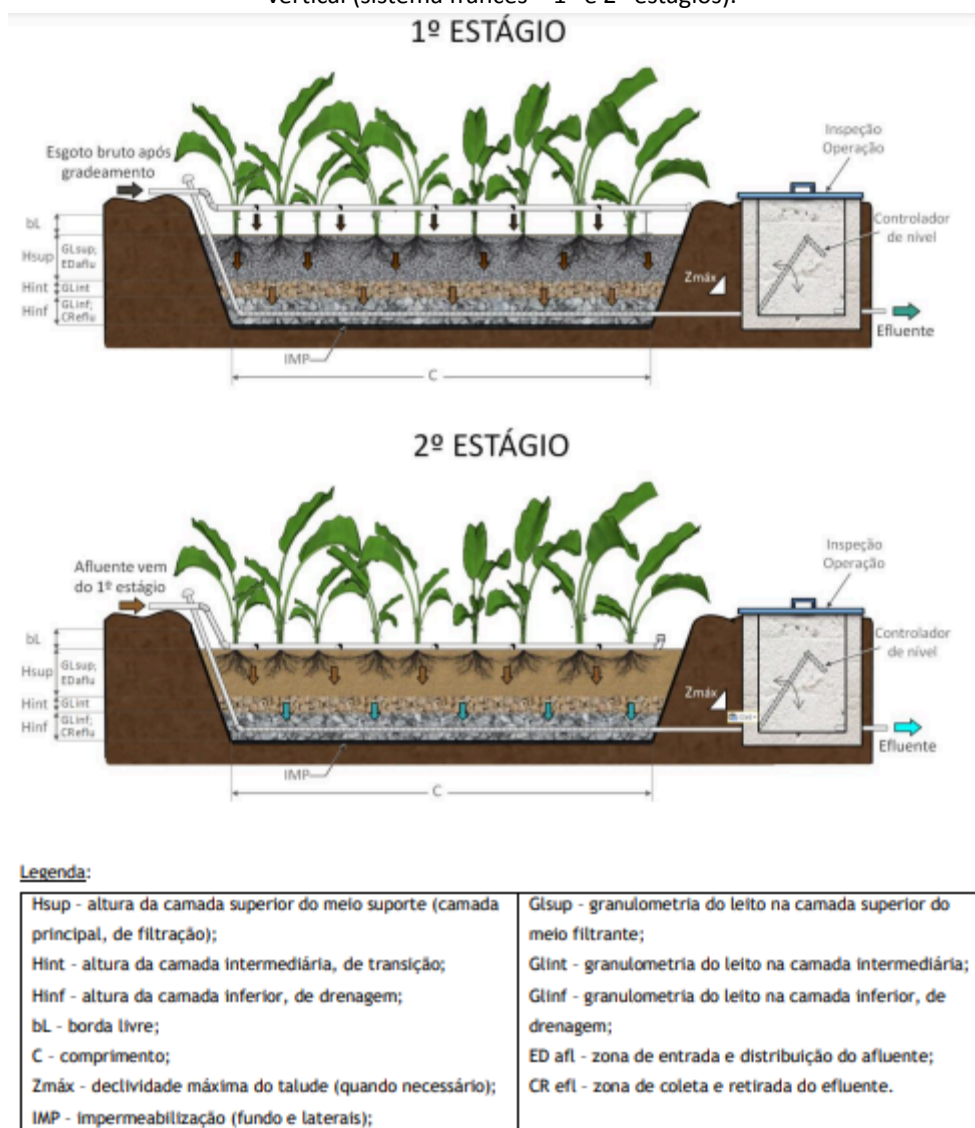
O sistema clássico envolve três unidades paralelas no primeiro estágio (uma em operação e duas em descanso) e duas no segundo estágio (uma em operação e uma em descanso). As unidades em operação são alimentadas intermitentemente, de 6 a 24 vezes por dia, mantendo o meio filtrante aeróbio. Durante o tempo de descanso, o lodo que se acumula na superfície do leito é mineralizado e seco, contribuindo para o processo de filtração. O lodo só precisa ser removido quando atingir uma espessura de 0,20 metros.

Em regiões de clima quente, há experiências que utilizam apenas o primeiro estágio, com duas ou três unidades em paralelo, para reduzir a área necessária. O segundo estágio pode ser substituído ou complementado por outras configurações, como wetlands de fluxo subsuperficial, filtros verticais com leito parcialmente saturado para promover desnitrificação, ou filtros verticais com recirculação. Essas alternativas visam adaptar o sistema para diferentes condições e exigências de tratamento.

As principais opções de configuração incluem:

- Apenas o primeiro estágio, com dois ou três filtros verticais.
- Pós-tratamento com o segundo estágio clássico do sistema francês.
- Pós-tratamento com wetlands de fluxo horizontal subsuperficial.
- Filtros verticais com leito parcialmente saturado para promover desnitrificação.
- Pós-tratamento com filtros verticais recirculados ou outros processos adicionais.

Figura 29: Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento vertical (sistema francês – 1º e 2º estágios).



Fonte: (von Sperling; Sezerino, 2018)

E. WETLAND CONSTRUÍDO DE SISTEMA HÍBRIDO

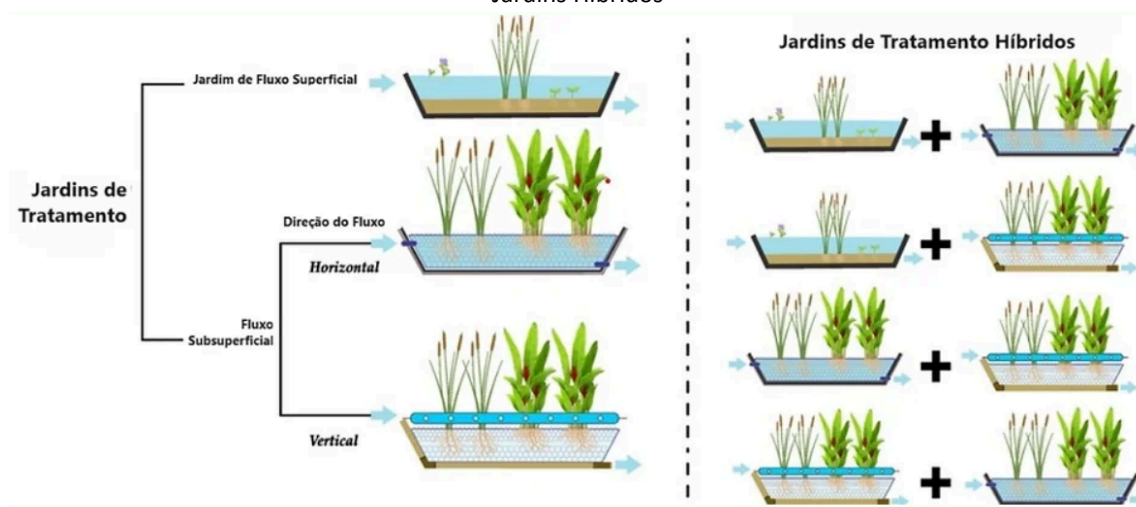
Diversos tipos de wetlands construídos podem ser integrados em combinações estratégicas para potencializar o tratamento de efluentes, com destaque para a remoção de nitrogênio. Essa abordagem, conhecida como wetlands híbridos, foi inicialmente desenvolvida na Alemanha durante os anos 1960 Seidel, K., 1965 apud (Vymazal, 2022).

O primeiro protótipo consistia em múltiplas wetlands de fluxo descendente dispostas em paralelo, chamados de “leitos de filtração”, seguidos por duas etapas de wetlands de alta pressão, denominadas “leitos de eliminação”. Nos leitos de filtração

iniciais, ocorria o processo de nitrificação, enquanto os leitos de eliminação eram responsáveis pela desnitrificação.

Desde a introdução desse conceito, diversas combinações de wetlands construídos têm sido exploradas, ampliando as possibilidades de tratamento eficiente para diferentes cenários (Vymazal, 2013).

Figura 30: Esquema demonstrando os Tipos de Jardins de Tratamento, incluindo exemplo de Jardins Híbridos



Fonte: ECCLLO

A seguir, o quadro 5 apresenta um resumo das principais características de cada tipo de sistema de wetlands.

Quadro 5: Principais características de cada Tipo de Jardim de Tratamento

TIPOLOGIAS	CARACTERÍSTICAS	VANTAGENS	APLICAÇÕES
WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (FWS)	A água flui sobre a superfície do solo ou substrato. São geralmente menos profundos, com uma profundidade típica de 0,3 a 0,6 metros. Utilizam plantas emergentes que crescem acima da linha d'água.	Baixo custo de construção e operação. Alta biodiversidade, promovendo habitats para a fauna local. Eficientes na remoção de nutrientes e matéria orgânica.	Tratamento de esgoto doméstico e agrícola. Remoção de nutrientes de águas de drenagem agrícola. Polimento de efluentes tratados em sistemas secundários.

WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (WCH)	A água flui horizontalmente através do substrato. Profundidade típica entre 0,5 e 1,0 metros. Utilizam uma combinação de plantas emergentes e flutuantes.	Menor risco de formação de odores e proliferação de insetos. Eficiente na remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. Menor área necessária em comparação aos FWS.	Tratamento de esgoto doméstico em áreas urbanas e rurais. Tratamento de efluentes industriais com cargas orgânicas moderadas. Polimento de lixiviados de aterros sanitários.
WETLAND CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL	A água é distribuída uniformemente na superfície e flui verticalmente. Profundidade típica entre 0,6 e 1,2 metros. Utilizam plantas emergentes, que ajudam na oxigenação do substrato.	Alta eficiência na remoção de amônia e patógenos. Melhora a oxigenação do substrato, promovendo condições aeróbicas. Menor área necessária comparada aos FWS e HSSF.	Tratamento de esgoto doméstico com alta eficiência. Tratamento de efluentes industriais com alta carga orgânica. Sistemas de polimento final em combinação com outros tratamentos.
WETLAND CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL (SISTEMA FRANCÊS)	2 estágios de tratamento Para remoção de matéria orgânica, o valor usualmente utilizado é de 0,40 m. Maiores alturas são utilizadas quando se deseja maiores eficiências, incluindo de remoção da amônia por	Remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão, além da remoção parcial do nitrogênio amoniacal	Processo mais complexo porém que resulta em alta eficiência na remoção de poluentes, obtendo uma água tratada com melhor qualidade para reúso.

	nitrificação Capim Tifton 85 (planta com registro de operação adequada por mais de 10 anos em uma ETE no Brasil)		
WETLAND CONSTRUÍDO DE SISTEMA HÍBRIDO	—	Maior flexibilidade e eficiência no tratamento de diversos tipos de efluentes. Possibilidade de atingir altos níveis de remoção de contaminantes. Adaptabilidade a variações sazonais e de carga de efluentes.	Tratamento de efluentes complexos, como os provenientes de indústrias químicas e farmacêuticas. Sistemas de tratamento em comunidades rurais e urbanas com variação de carga

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das referências utilizadas

5.5.4 Vegetação Jardins de Tratamento

As wetlands construídas são condições de tratamento natural simuladas que usam interações de microrganismos, solo e plantas na degradação de resíduos (Kadam et al., 2008). A fitorremediação é um método econômico que usa plantas para remediar locais contaminados (Phillips *et al.*, 2012; Pilon-Smits, 2005). Os jardins de tratamento têm várias funções para tratar ambientes aquáticos contaminados, incluindo filtragem ou absorção de nutrientes e metais pelas plantas, por exemplo (Shahid *et al.*, 2018). Águas poluídas que podem ser fitorremediadas incluem esgoto e águas residuais urbanas (nutrientes, metais), águas de escoamento/drenagem agrícola (nutrientes fertilizantes, metais, arsênio, selênio, boro, pesticidas orgânicos e herbicidas), águas residuais industriais (metais, selênio), escoamento de pilhas de carvão (metais), chorume de aterro, drenagem de minas (metais) e plumas de águas

subterrâneas (orgânicos, metais) (Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas, 2014; Hansen *et al.*, 1998).

As plantas, juntamente com os microrganismos presentes em suas raízes (rizosfera), podem ser utilizadas de diferentes maneiras no processo de fitorremediação (Figura 31). A exemplo, podem atuar como filtros em sistemas de wetlands construídas (Horne, 2000) ou em configurações hidropônicas (Raskin; Smith; Salt, 1997). Este último caso é conhecido como rizofiltração, em que plantas, em um meio hidropônico, são usadas para filtrar água contaminada. No entanto, a rizofiltração em ambientes fechados e controlados costuma ter um custo elevado, sendo mais indicada para o tratamento de pequenos volumes de águas residuais contendo substâncias inorgânicas perigosas, como radionuclídeos (Dushenkov S., Kapulnik Y., 2000; Negri MC, Hinchman RR, 2000 *apud* Pilon-Smits, 2005).

A fitoestabilização refere-se ao uso de plantas para estabilizar poluentes no solo (Berti WR, Cunningham SD, 2000 *apud* Pilon-Smits, 2005). Isso pode ocorrer através da prevenção da erosão, lixiviação ou escoamento, ou ainda convertendo os poluentes em formas menos disponíveis biologicamente, como por meio de sua precipitação na rizosfera. Este método é aplicado, por exemplo, quando plantas são usadas para cobrir áreas contaminadas com poluentes orgânicos ou inorgânicos, ou quando árvores são plantadas para criar barreiras que impeçam o escoamento ou a lixiviação desses contaminantes (Pilon-Smits, 2005).

Outro método envolve a extração de poluentes pelas plantas, acumulando-os em seus tecidos, que depois podem ser colhidos. Esse processo é chamado de fitoextração, onde as plantas absorvem e acumulam os poluentes em suas partes colhíveis (Blaylock MJ, Huang JW, 2000 *apud* Pilon-Smits, 2005). A fitoextração é particularmente eficaz para metais pesados e outros inorgânicos tóxicos, como selênio, arsênio e radionuclídeos (Bañuelos GS, Meek DW, 1990; Blaylock MJ, Huang JW, 2000 *apud* Pilon-Smits, 2005). O material vegetal coletado pode ser utilizado para fins não alimentares, como a produção de madeira ou papelão, ou então ser incinerado, com o descarte das cinzas em aterros sanitários. Se os metais extraídos tiverem valor econômico, pode-se optar pela reciclagem, processo conhecido como fitomineração (Chaney *et al.*, 2000).

As plantas também têm a capacidade de promover a biodegradação de poluentes orgânicos por microrganismos presentes em suas raízes, processo chamado de fitoestimulação ou rizodegradação, que ocorre devido à atividade microbiana (McCutcheon SC, Schnoor JL, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005). A fitoestimulação é adequada para poluentes orgânicos hidrofóbicos que as plantas não conseguem absorver, mas que podem ser degradados por micróbios, como é o caso de PCBs, PAHs e outros hidrocarbonetos derivados de petróleo (Hutchinson SL, Schwab AP, Banks MK, 2003; Olson PE, Reardon KF, Pilon-Smits EAH, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005). Um sistema radicular extenso favorece esse processo, pois aumenta a população microbiana, e a produção de compostos exsudados específicos pelas plantas pode melhorar ainda mais a degradação na rizosfera por meio de interações planta-micróbio (Olson PE, Reardon KF, Pilon-Smits EAH, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005).

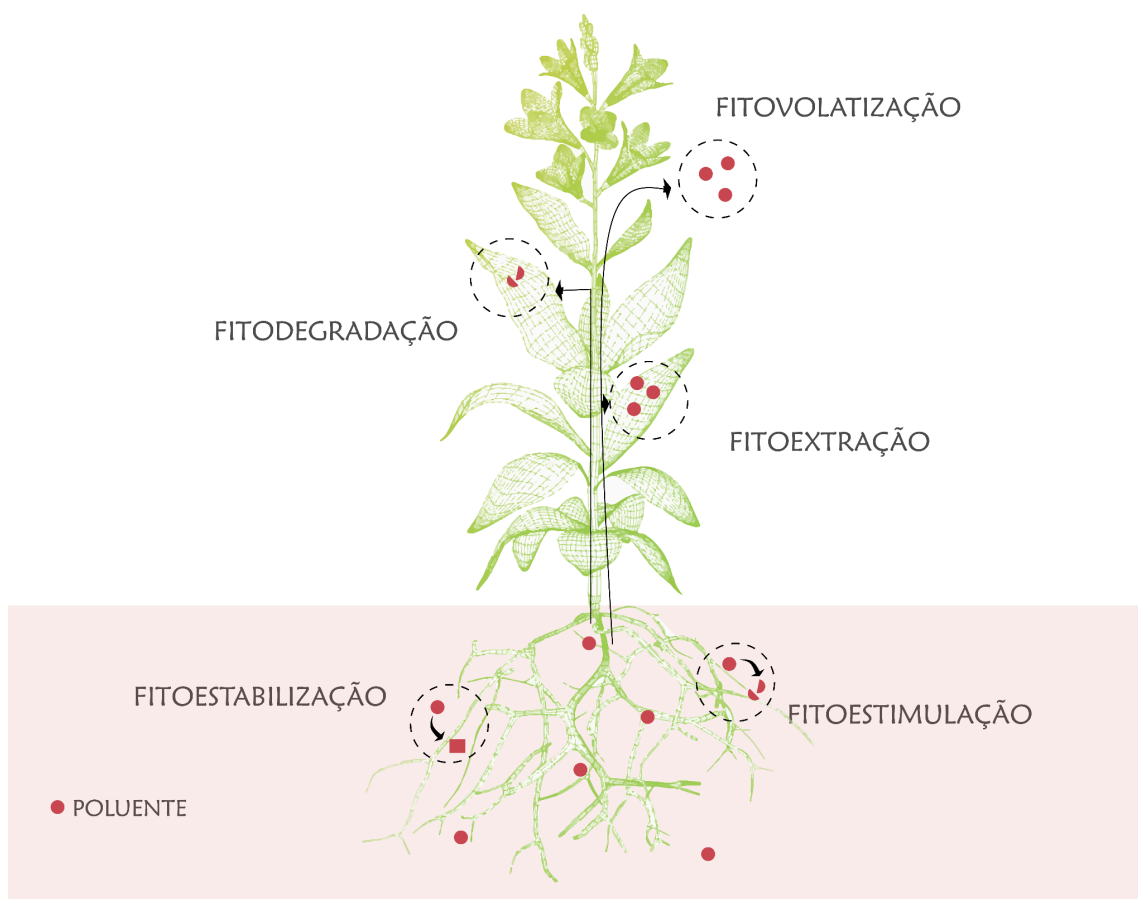
Além disso, as plantas podem degradar diretamente certos poluentes orgânicos através de suas enzimas, num processo conhecido como fitodegradação. Aqui, a quebra dos poluentes ocorre dentro dos tecidos vegetais, facilitada por enzimas da planta (McCutcheon SC, Schnoor JL, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005). Esse método é eficaz para compostos orgânicos que se movem facilmente através das plantas, como herbicidas, TNT, MTBE e TCE (Burken JG, 2003; Winnike-McMillan SK et al., 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005). As plantas mais eficazes para a fitodegradação possuem sistemas radiculares robustos e altos níveis de enzimas capazes de degradar poluentes. Uma vez que os poluentes entram no tecido vegetal, alguns podem ser liberados na forma gasosa, processo chamado fitovolatilização, em que as plantas emitem os poluentes como gases voláteis (Terry N et al., 1995 *apud* Pilon-Smits, 2005). Essas diferentes técnicas de fitorremediação podem ocorrer simultaneamente em algumas situações. Em um alagado construído, por exemplo, pode haver a acumulação, estabilização e volatilização de poluentes ao mesmo tempo (Hansen D, Duda PJ, Zayed A, Terry N, 1998 *apud* Pilon-Smits, 2005). A fitovolatilização pode ser aplicada para compostos orgânicos voláteis (COVs), como TCE e MTBE, ou para inorgânicos que podem se tornar voláteis, como selênio e mercúrio (Hansen et al., 1998; Rugh et al., 1996).

Como esses processos de fitorremediação ocorrem de forma natural, áreas contaminadas que possuem vegetação podem se autodepurar sem intervenção

humana. Este fenômeno é conhecido como atenuação natural, a forma mais simples de fitorremediação, que envolve apenas o monitoramento do local.

Figura 31: Processos da fitorremediação usadas para remediar água, solo ou ar poluídos. Os círculos vermelhos representam o poluente.

PROCESSOS DA FITORREMEDIAÇÃO



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

As diferentes fitotecnologias aproveitam características vegetais específicas, o que significa que normalmente são escolhidas diferentes espécies de plantas para cada aplicação. Entre as principais características desejáveis para fitorremediação, estão o rápido crescimento, a alta produção de biomassa, a competitividade, além da resistência e tolerância à poluição. Para fitoextração de compostos inorgânicos, é essencial que as plantas apresentem também uma elevada capacidade de absorção, translocação e acumulação de poluentes em tecidos que possam ser colhidos (Pilon-Smits, 2005).

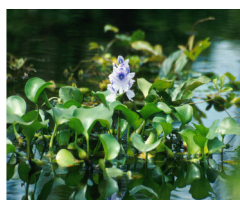
Nas wetlands construídas usadas para fitorremediação, diversas espécies aquáticas emergentes, submersas e flutuantes são aplicadas. Algumas das espécies mais comuns incluem a taboa (*Typha sp.*), a pena-de-papagaio (*Myriophyllum sp.*), *Elodea sp.*, *Azolla sp.*, lentilha-d'água (*Lemna sp.*), aguapé (*Eichhornia crassipes*) e *Spartina sp.* Nas margens dessas wetlands, podem ser plantados choupos (*Populus sp.*) e salgueiros (*Salix sp.*), que ajudam no controle da poluição. Para águas salobras, espécies de *Spartina* são eficazes, assim como o picles-marinho (*Salicornia sp.*) e o capim-salgado (*Distichlis spicata*) (Lin Z-Q et al., 2000 *apud* Pilon-Smits, 2005). No caso de poluentes inorgânicos, o aguapé, *Azolla* e a lentilha-d'água são bastante populares devido à sua alta capacidade de acumular metais e facilidade de colheita. A taboa e o choupo também são escolhidos por serem plantas tolerantes, de rápido crescimento e que produzem grande biomassa. Já para a remediação de compostos orgânicos, plantas aquáticas como a pena-de-papagaio e *Elodea* são ideais, pois possuem níveis elevados de enzimas que degradam substâncias orgânicas (McCutcheon SC, Medina VF, Larson SL, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005).

A rizofiltração, que exige aeração, não se limita às plantas aquáticas. Nesse processo, também são usadas espécies terrestres que possuem raízes grandes e boa capacidade de acumular inorgânicos. Exemplos comuns incluem o girassol (*Helianthus annuus*) e a mostarda indiana (*Brassica juncea*) (Dushenkov S, Kapulnik Y, 2000 *apud* Pilon-Smits, 2005).

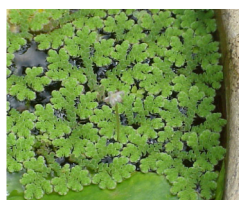
Figura 32: Gêneros/espécies aquáticas emergentes, submersas, flutuantes e terrestres mais popularmente usadas para processo de fitorremediação.

GÊNEROS/ESPÉCIES AQUÁTICAS EMERGENTES, SUBMERSAS, FLUTUANTES E TERRESTRES
MAIS POPULARMENTE USADAS PARA PROCESSO DE FITORREMEDIAÇÃO

INORGÂNICOS



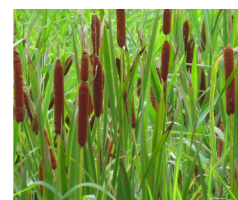
Aguapé
(*Eichhornia crassipes*)



Azolla sp.



Lentilha-d'água
(*Lemna sp.*)



São Taboa
(*Typha sp.*)



Spartina sp. Choupo
(*Populus sp.*)



*Girassol
(*Helianthus annuus*)



*Mostarda Indiana
(*Brassica juncea*)

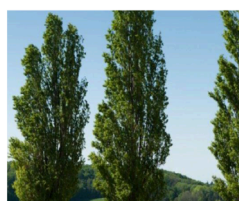
ORGÂNICOS



Pena de Papagaio
(*Myriophyllum sp.*)



Elodea sp.



**Choupo
(*Populus sp.*)



**Salgueiro
(*Salix sp.*)

ÁGUA SALOBA



Capim-Salgado
(*Distichlis spicata*)



Picles
(*Salicornia sp.*)

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de (Pilon-Smits, 2005)

Podendo ser usadas como uma barreira hidráulica, as árvores, possibilitam criar um fluxo de água ascendente na zona da raiz, evitando que a contaminação vaze para baixo, ou também a fim de evitar que uma pluma de água subterrânea contaminada se espalhe horizontalmente (Newman *et al.*, 1997).

As árvores também podem ser utilizadas em faixas de proteção, com o objetivo de interceptar a movimentação horizontal de plumas de águas subterrâneas

contaminadas, além de redirecionar o fluxo de água para cima (McCutcheon SC, Schnoor JL, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005). A atenuação natural, por sua vez, é mais indicada para áreas remotas, onde o uso humano é limitado e os níveis de contaminação são relativamente baixos.

Quando se trata de fitoestabilização com cobertura vegetal, uma combinação de árvores e gramíneas é comumente empregada. Árvores com alta capacidade de transpiração, como o choupo, são úteis para manter um fluxo ascendente, prevenindo a lixiviação para camadas mais profundas do solo. Já as gramíneas, com seus sistemas radiculares densos, ajudam a evitar a erosão causada pelo vento e o escoamento lateral. Ao contrário das espécies dicotiledôneas, as gramíneas tendem a acumular menos poluentes inorgânicos em seus brotos, o que reduz a exposição de animais selvagens a elementos tóxicos (Bennett LE, et al. 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005). Os choupos, por sua vez, são altamente eficazes em interceptar plumas horizontais de águas subterrâneas e redirecionar o fluxo de água devido a suas raízes profundas e à alta taxa de transpiração, que gera um forte movimento ascendente de água (Dawson TE, Ehleringer JR, 1991; McCutcheon SC, Schnoor JL, 2003 *apud* Pilon-Smits, 2005).

Para a fitoextração, espécies como a mostarda indiana e o girassol são bastante populares por apresentarem rápido crescimento, elevada biomassa e uma grande capacidade de tolerar e acumular metais e outros compostos inorgânicos (Salt *et al.*, 1995). Um grupo especial de plantas são os chamados hiperacumuladores, que são espécies capazes de acumular elementos inorgânicos em concentrações até 100 vezes maiores que outras plantas em condições similares (Brooks, 1998). Há registros de hiperacumulação de elementos como As, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Se e Zn (Baker *et al.*, 1999). Esses elementos podem ser hiperacumulados em concentrações que variam entre 0,1% e 1% do peso seco da planta, mesmo quando presentes em baixas concentrações no ambiente. No entanto, apesar dessas características, os hiperacumuladores não são amplamente utilizados na fitorremediação devido ao seu crescimento lento e baixa produção de biomassa. Até o momento, apenas a espécie hiperacumuladora *Alyssum bertolonii*, que acumula Ni, foi usada em aplicações de campo para fitorremediação (Chaney *et al.*, 2000). Outra espécie promissora é a samambaia *Pteris vittata*, recentemente descoberta como hiperacumuladora de arsênio (Ma *et al.*, 2001).

Para estimular a atividade microbiana na zona das raízes, a fitoestimulação faz uso de gramíneas como a festuca (*Festuca sp.*), azevém (*Lolium sp.*), *Panicum sp.* e gramíneas de pradaria, como a grama-búfalo (*Buchloe dactyloides*) e espécies de *Bouteloua*. Essas plantas são preferidas devido aos seus sistemas radiculares densos e relativamente profundos, que oferecem uma grande área superficial para o crescimento microbiano (Aprill; Sims, 1990). Além disso, amoreiras têm se destacado na fitoestimulação por sua capacidade de produzir compostos fenólicos que incentivam a expressão de genes microbianos que participam da degradação de PCBs e PAHs (Leigh et al., 2002; Fletcher JS, Hegde RS. 1995 *apud* Pilon-Smits, 2005). Já o choupo tem sido amplamente utilizado para a fitodegradação de poluentes como TCE e atrazina, devido à sua alta taxa de transpiração e capacidade de degradar e/ou volatilizar esses compostos (Burken; Schnoor, 1997; Schnoor, 1995).

O choupo também é uma das espécies mais usadas para a fitovolatilização de compostos orgânicos voláteis (COVs), graças à sua elevada taxa de transpiração, que facilita o transporte desses compostos até a atmosfera. Quando se trata da volatilização de inorgânicos, o elemento selênio (Se) foi o mais investigado. De forma geral, plantas que têm a capacidade de absorver e volatilizar compostos de enxofre também conseguem fazer o mesmo com o Se, uma vez que o enxofre e o selênio são quimicamente semelhantes e compartilham as mesmas rotas metabólicas (Anderson JW, 1993 *apud* Pilon-Smits, 2005). Entre as plantas, as espécies do gênero *Brassica* são especialmente boas na volatilização de selênio (Terry N, Carlson C, Raab TK, Zayed AM, 1992 *apud* Pilon-Smits, 2005). Já entre as plantas aquáticas, arroz, capim-coelho, *Azolla* e *piclesweed* têm se mostrado eficazes na volatilização do Se (Lin; Terry, 2003, p. 20).

5.6. Conclusão da revisão

Os jardins de tratamento, são sistemas planejados e construídos para melhorar a qualidade da água, com baixos requisitos de energia externa, além de serem de fácil operação e manutenção. Assim, são utilizados mundialmente como uma alternativa aos sistemas mecânicos convencionais no tratamento de águas residuais de pequenas comunidades (Wu *et al.*, 2015).

Para além da exposição, são lugares públicos e paisagísticos que integram a biodiversidade da fauna e flora locais. Eles podem constituir um meio natural pedagógico dentro de um parque público a exemplo, tendo impacto direto na conscientização da população e a relação com o meio ambiente. Em suma, os jardins de tratamento oferecem uma solução economicamente viável e tecnicamente eficaz para o tratamento de águas cinzas, com a vantagem adicional de melhorar a estética de áreas urbanas, semi urbanas e turísticas.

6. REVISÃO PROJETUAL

6.1. China

No início da década de 1980, a taxa de urbanização na China era de 20,2%, aumentando para 56,1% em 2015. Prevê-se que até 2030, o país ultrapasse um bilhão de habitantes, com uma taxa de urbanização de 70% (Shao *et al.*, 2020). Essa urbanização acelerada tem causado grandes impactos nas superfícies urbanas. O aumento das áreas impermeáveis tem alterado o fluxo superficial, reduzindo a infiltração e aumentando o risco de enchentes urbanas e desastres.

Diante desse cenário preocupante, o governo chinês, por meio do Ministério da Habitação e Construção Urbano-Rural (MOHURD), lançou em novembro de 2014 uma campanha nacional, denominada como Sponge City Program (Programa Cidade Esponja - SPC), onde foram divulgadas as Diretrizes Técnicas para a Construção de Cidades Esponjas. Essa iniciativa visa melhorar a resiliência⁷ das cidades às inundações decorrentes da rápida urbanização e das mudanças climáticas conforme Meng *et al* (2018).

⁷ Walker e Salt definem resiliência como “a capacidade que um sistema tem de absorver distúrbios e ainda assim manter suas funções básicas e estrutura.” (2006)

Figura 33. Cartaz de Divulgação do Programa Sponge City.



Fonte: <<https://waterbucket.ca/rm/2017/08/20/sponge-city-solutions-for-chinas-thirsty-and-flooded-cities/>>.

Acesso em 28/05/2024

De acordo com o Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural (MHURD), o conceito de "sponge city" (SC) apresenta uma cidade capaz de absorver e reter água como uma esponja, possibilitando que ela seja armazenada e tratada durante os dias de chuva e caso necessário é liberada (MHURD, 2014 *apud* Yuan *et al.*, 2024). A partir da experiência prática Shang *et al* (2023) diz que o conceito de cidade esponja evoluiu de um sistema abrangente de gestão de águas pluviais com desenvolvimento de baixo impacto para um novo modelo de desenvolvimento urbano e construção, com foco na melhoria da função global da cidade e na abordagem integrada das questões hídricas urbanas.

Assim, foram observados efeitos positivos na mitigação de inundações repentinas e alagamentos urbanos, bem como na redução da escassez de água nas áreas urbanas, em diferentes graus.

Figura 34. Implementação da estratégia sponge city



Fonte: Turenscape/CASACOR

Figura 35. Implementação da estratégia sponge city



Fonte: Turenscape/CASACOR

No entanto, Zeng (2023) afirma que o programa ainda não é suficiente para prevenir os riscos de inundações de maneira eficaz, e as construções já concluídas do programa possuem capacidade de prevenção a inundações limitadas. O mesmo aponta

que nos últimos oitos anos 24 de 34 províncias registraram episódios de inundações, resultando em mortes e perda econômicas.

Como fator principal para esse cenário, a falta de legislação nacional específica para implementação do programa (Zeng *et al.*, 2023). Para além, desafios técnicos de modelos que atendam as especificidades geomorfológicas, climática e hídrica de cada localidade, e diretrizes técnicas específicas para implantação e funcionamento (Li *et al.*, 2017; Nguyen *et al.*, 2019).

6.2. França

Em Nanterre, na França, entre uma estrada movimentada, uma linha de trem, o majestoso Rio Sena e uma área industrial, foi implantado o Parc du Chemin de l'Ile, ocupando uma área de 14,5 hectares. A ideia do parque começou a ganhar forma em fevereiro de 2006, quando o Conselho Geral de Hauts-de-Seine deu luz verde para sua construção como parte de um planejamento mais amplo, o projeto Sena Sustentável. Uma das características notáveis do parque é sua abordagem inovadora onde parte do parque foi transformada em zonas úmidas artificiais.

Na entrada, uma série de grandes piscinas funcionam como filtros, purificando a água do rio para uso dentro do parque e em hortas comunitárias. Este processo não apenas contribui para a manutenção do parque, mas também para a conservação da água. O sistema de purificação é feito a partir da fitorremediação, onde a água do rio é inicialmente bombeada, em seguida, passa por sete tipos diferentes de piscinas, cada uma projetada para despoluir e melhorar a qualidade da água de uma maneira específica. As plantas em cada uma dessas piscinas foram cuidadosamente selecionadas por sua capacidade de filtrar e limpar a água. Além disso, o parque inclui lodaçais projetados especificamente para atrair insetos e anfíbios, e locais para a desova de peixes, promovendo assim um ambiente mais diversificado e equilibrado (Cidades Sustentáveis, [s. d.]).

Figura 36. Implementação das wetlands em Paris



Fonte: (Trfihi, [s.d])

6.3. Recife - Brasil

Em 2023 a cidade de Recife - PE visando a despoluição do Riacho do Cavouco, afluente do Rio Capibaribe, implementou o projeto piloto de jardim filtrante. Financiado pelo projeto CITInova e coordenado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) por meio de tecnologias inovadoras e planejamento urbano integrado, o projeto visa promover a sustentabilidade nas cidades brasileiras. Com capacidade de filtrar 350 mil litros/dia de água do riacho antes de fluir para o rio, projeto de jardim filtrante ocupa uma área de 7 mil m² e inclui cinco filtros que operam por gravidade (ArchDaily Brasil, 2023).

De acordo com a diretora da Agência Recife para Inovação e Estratégias (ARIES), Mariana Pontes “Mesmo sem funcionar ainda com 100% da sua capacidade, o sistema já melhorou em 70% a oxigenação da água do riacho que corre para o Rio Capibaribe. A expectativa é que esse percentual chegue a 95%.” O local também recebeu novas áreas de lazer e convivência, com o projeto a região ganhou em biodiversidade, com a

reintrodução de espécies como sapos e borboletas, além da melhora do microclima, com a plantação da vegetação.

Figura 37. Implementação dos jardins de tratamento em Recife



Fonte: Diego Galba

Figura 38. Implementação dos jardins de tratamento em Recife



Fonte: Hélia Scheppa/PCR

Entretanto, após um ano de sua implantação não se obteve bibliografia que apresentasse o atual cenário da localidade, no que tange questões projetuais, de manejo, eficiência, e aceitação pública.

6.4. Niterói - Brasil

O projeto Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, em Niterói - Rio de Janeiro, visa a criação de um parque público na margem da Lagoa de Piratininga. A iniciativa tem como objetivo proporcionar um ambiente que, por meio de soluções baseadas na natureza, aproxime os usuários do meio natural, mesmo em um contexto urbano, e estimule o sentimento de pertencimento dos cidadãos ao espaço ambiental.

O projeto abrange a caracterização e recuperação dos ecossistemas, paisagismo, iluminação pública, requalificação de vias e acessos existentes, além da instalação de equipamentos esportivos e de um EcoMuseu, todos destinados ao uso público (PROSustentavel, [s. d.]).

Com uma área total de 680 mil m², incluindo as Ilhas do Modesto, Pontal e do Tibau, o Parque Orla Piratininga foi planejado para proteger e recuperar os ecossistemas da Lagoa de Piratininga e seus arredores. O projeto também busca melhorar a qualidade ambiental das águas da lagoa, evitando a entrada de sedimentos e nutrientes, e oferecer opções de lazer, recreação, contemplação, cultura e educação ambiental.

O POP conta com:

1. 35.290 m² de Jardins Filtrantes,
2. 4 píeres de contemplação e 6 de pesca,
3. 10.6 km de ciclovia que se integrará ao Sistema Ciclovitário da Região Oceânica,
4. 17 áreas de lazer,
5. 1 Ecomuseu com 2.800 m²,
6. 3 mirantes e
7. 8,3 km de vias de tráfego misto.

Figura 39. Projeto Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, em Niterói - Rio de Janeiro



Fonte: <<http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/parque-orla-piratininga/>>. Acesso em 28/05/2024

Figura 40. Projeto do Jardim de tratamento no Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis



Fonte: <<http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/parque-orla-piratininga/>>. Acesso em 28/05/2024

As obras tiveram início em fevereiro de 2020, e segundo a prefeitura de Niterói seguiam com previsão de entrega para 2022. No entanto, atualmente a obra ainda segue em andamento e não se obteve informações sobre possível finalização.

7. PROPOSTA PROJETUAL

7.1 Diretrizes *Masterplan*

Uma proposta de Sistema de Drenagem Urbana que trata o esgotamento cinza lançado nas ruas, como complementação dos sistemas de esgotamento e de drenagem urbanos existentes baseados no planejamento permacultural e no uso de jardins de tratamento e outras tecnologias socioambientais compatíveis.

7.2 Implantação

7.2.1 Demandas

O mapa apresenta uma visão espacial das demandas relacionadas ao saneamento urbano no Distrito Campinal, destacando questões sociais, legislativas e acadêmicas. Essas demandas refletem uma análise integrada, que combina a participação popular, as diretrizes do Plano Diretor Municipal em revisão, e contribuições acadêmicas.

Figura 41. Mapa de demandas do Distrito Campinal



As demandas são apresentadas em três categorias principais: sociais, legislativas e acadêmicas, que retratam a necessidade de cada, são elas:

Demandas Sociais

As demandas sociais refletem as solicitações e as necessidades mais imediatas da população local, evidenciados tanto pelos dados espaciais do mapa quanto pelas imagens anexas. Entre as principais solicitações destacam-se:

1. Mitigação de Enchentes e Alagamentos:

Observa-se que o distrito enfrenta problemas com acúmulo de água em vias urbanas, principalmente durante os períodos de chuvas intensas. Isso prejudica a mobilidade e aumenta os riscos de proliferação de doenças.

A infraestrutura de drenagem insuficiente afeta diretamente a qualidade de vida, causando transtornos no dia a dia e vulnerabilidade social.

2. Extravasamento das Fossas Caseiras:

A falta de um sistema efetivo de esgotamento sanitário leva a problemas de saúde pública, com contaminação do solo e das águas.

Essa situação exige ações urgentes para proteger a saúde da população e evitar impactos ambientais.

3. Saneamento Básico Completo:

A demanda por água potável, tratamento de esgoto e gestão de resíduos sólidos é geral. A ausência desses serviços afeta a cidadania e o bem-estar dos moradores.

4. Pavimentação e Mobilidade Urbana:

A população frequentemente solicita a pavimentação e manutenção das vias públicas, melhoria na qualidade das calçadas, iluminação pública eficiente e acessibilidade universal. Transporte público eficiente, com horários regulares e preços acessíveis, também é uma das principais reivindicações.

As imagens do mapa evidenciam vias em estado precário, dificultando o trânsito de veículos e pedestres.

5. Melhorias Climáticas e Ambientais:

A criação de áreas verdes e a requalificação de espaços públicos são demandas constantes da população. Esses elementos ajudam a mitigar as ilhas de calor e promovem bem-estar físico e psicológico.

6. Requalificação de Espaços Públicos:

Cidadãos desejam espaços públicos limpos e bem-cuidados, que ofereçam oportunidades de lazer, convivência e contato com a natureza. Tais espaços são essenciais para o bem-estar emocional e físico, além de contribuírem para a sustentabilidade urbana.

A demanda por melhorias em praças e áreas de lazer visa oferecer ambientes seguros e agradáveis para a convivência comunitária, atividades de lazer e esportes.

Demandas Legislativas Municipais

Com base no Plano Diretor Municipal em revisão e nas demandas sociais, identificam-se as principais ações que podem ser conduzidas pela gestão pública:

1. Zoneamento e Planejamento Urbano Sustentável:

É necessário ordenar o uso do solo no Distrito Campinal, definindo áreas para habitação, preservação ambiental e atividades econômicas, e incentivo à criação de áreas verdes nos bairros.

Um zoneamento adequado evita ocupações irregulares e garante que o desenvolvimento urbano seja sustentável.

2. Mapeamento de Áreas de Risco:

O levantamento de áreas sujeitas a alagamentos e outros riscos ambientais é essencial para planejar intervenções e reduzir danos futuros.

3. Gestão de Espaços Públicos e Mobilidade:

Regular a ocupação de áreas verdes e garantir manutenção contínua. Investimentos em calçadas acessíveis e ciclovias também podem melhorar a mobilidade.

4. Planos Integrados de Uso do Solo:

Integração entre áreas urbanas e rurais no Distrito Campinal para garantir a coesão territorial.

Essas ações são essenciais para evitar conflitos de uso e promover o desenvolvimento equilibrado.

5. Infraestrutura para Áreas de Expansão Urbana:

Planejar a instalação de infraestrutura básica (água, esgoto, energia, pavimentação) em áreas com potencial de expansão populacional.

6. Sustentabilidade e Resiliência Urbana:

Criar diretrizes para construções mais sustentáveis, incentivando o uso de materiais ecológicos e a reutilização de água.

Implementar políticas para combater mudanças climáticas, como reflorestamento urbano, retenção de águas pluviais e controle da impermeabilização do solo.

Essas medidas ajudam a proteger o meio ambiente e a preparar a cidade para eventos climáticos extremos.

Demandas Acadêmicas

A visão acadêmica e científica, especialmente de graduandos e pesquisadores nas áreas de arquitetura e urbanismo e de engenharia civil, é essencial para transformar demandas sociais e legislativas em projetos técnicos viáveis. Entre as contribuições destacam-se:

1. Planejamento Urbano Integrado:

Propor soluções que harmonizem o crescimento da cidade com a preservação ambiental e o bem-estar dos cidadãos. Isso inclui projetos de habitação social, mobilidade sustentável e revitalização de espaços públicos.

2. Pesquisas e Soluções Inovadoras:

Estudos para implementar práticas urbanísticas modernas, como jardins de chuva, aproveitamento de águas pluviais, fachadas verdes, urbanismo tático e arquitetura bioclimática.

3. Estudos de Impactos da Urbanização:

Pesquisas focadas em como a impermeabilização do solo e a ocupação desordenada afetam o ordenamento do espaço urbano. Além, da análise dos impactos ambientais e sociais das expansões urbanas que ajudam na tomada de decisões mais conscientes e baseadas em dados.

4. **Assistência na Elaboração de Planos:**

Auxiliar na elaboração de Planos Diretores mais detalhados e técnicos, que contemplem as necessidades reais da cidade.

Colaborar na criação de mapas urbanos atualizados que evidenciem áreas prioritárias para intervenções.

5. **Fortalecimento da Participação Social:**

Desenvolver metodologias participativas que envolvam a comunidade no desenho das políticas públicas e dos espaços urbanos. Ferramentas como mapeamento coletivo e consultas públicas guiadas podem trazer a população para o centro das decisões.

As demandas levantadas no mapa refletem os principais desafios enfrentados pelo Distrito Campinal, que envolvem questões básicas de saneamento, mobilidade e preservação ambiental. Enquanto a população clama por soluções que melhorem diretamente sua qualidade de vida, o poder legislativo municipal tem o papel de criar políticas que viabilizem essas melhorias de forma organizada. Por outro lado, a academia, com seu olhar técnico e inovador, oferece as ferramentas necessárias para transformar essas demandas em projetos concretos e sustentáveis.

7.2.2 Zoneamento

O planejamento permacultural é um modelo de planejamento da organização territorial que prioriza a integração entre o espaço construído e os ecossistemas naturais, focando no uso racional e sustentável dos recursos.

Diante o objetivo proposto no presente trabalho, considerando as especificidades locais apontadas nos mapas de recorte e setorização (Figuras 1,13,16,19) as zonas representadas no mapa (0 a 5) refletem diferentes intensidades de uso e interação humana com o território. Abaixo, as zonas são descritas e analisadas:

Zona 0: Centro Habitacional

→ Representa o núcleo central da ocupação humana, geralmente o local de moradia ou ponto de maior concentração de atividades urbanas. No mapa a

Zona 0 abrange todo distrito, pois contempla todas as moradias. Este espaço é onde se concentram as funções cotidianas, como residências e pequenos comércios e serviços.

Zona 1: Espaços de Uso Intensivo (menos que as zonas 0)

- Área de uso frequente e disperso por todo distrito, onde se realizam atividades diárias de manutenção e cuidado. A Zona 1 engloba áreas onde serão instalados os jardins de tratamento, incluindo pequenas praças, quintais e vias. Espaços próximos às residências, que sejam eficientes tanto para drenagem quanto para interação antrópica.

Zona 2: Intermediárias local e Comunidade

- Espaço que complementa e dá suporte às Zonas 1 como outras tecnologias de infraestruturas verdes. **No mapa, as Zonas 2** se manifestam em espaços que também servirão de suporte ao tratamento da drenagem urbana, mas que também são espaços públicos de interação.
- **Planejamento permacultural:** Reforça a criação de sistemas produtivos locais que envolvam a comunidade, como jardins de chuva para controle de drenagem e cultivo comunitário de alimentos.

Zona 3: Áreas de atividade física e cultura

- Áreas de média interação humana, espaços existentes que podem ser voltados para atividades esportivas e culturais com moderada frequência de uso humano diário. No mapa as Zonas 3 localizam-se na região noroeste do distrito, o centro comunitário, e a sudeste do distrito possui uma área de esportes que possuem potencial para adequação e produção de práticas esportivas e culturais. Esses espaços podem contribuir para a promoção da saúde, qualidade de vida, e bem estar da população local.

Zona 4: Áreas de lazer

- Área de menor interação humana, espaços que podem ser qualificados com o objetivo de atrair a população para uso em momentos de lazer e recreação. No mapa, as Zonas 4 correspondem a áreas já existentes, mas que necessitam de

requalificação. Essas áreas podem funcionar como zonas de retenção de água (para mitigar enchentes) e áreas de lazer.

Zona 5: Áreas de baixa/nenhuma interação

- Zona onde a interação humana é mínima ou inexistente. No mapa, a Zona 5 identifica-se a Estação de tratamento de Esgoto (E.T.E).

Figura 42. Mapa de Zoneamento do Distrito Campinal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

As zonas descritas no mapa representam uma hierarquização do uso do território que, quando alinhada aos princípios da permacultura, pode criar um sistema urbano equilibrado e sustentável. As principais recomendações incluem:

1. Adaptação da Drenagem Urbana:

Usar as Zonas 1, 2 e 4 como áreas de absorção de águas pluviais, com a implantação de jardins de tratamentos e afins.

2. Fortalecimento do lazer, cultura e atividades esportivas urbana:

Integrar as Zonas 3 e 4 para que sejam espaços que auxiliem a promoção da saúde, as práticas culturais e de lazer da população, visando um melhor bem estar local e promovendo a interação e o engajamento comunitário.

3. Conexão Verde:

Utilizar as Zonas 1, 2, 3, 4 e 5 como espaços sustentáveis de conexão com a natureza, que possam solucionar as demandas referentes ao distrito, mas que conectem áreas verdes ao centro urbano gerando uma paisagem mais atrativa, mitigando impactos climáticos e promovendo o bem-estar.

O mapa e as zonas indicadas fornecem uma base sólida para um planejamento urbano sustentável, fundamentado nos princípios permaculturais. Este modelo pode orientar ações que harmonizem o bem-estar humano com a preservação ambiental, criando um espaço urbano mais resiliente e integrado ao seu contexto natural.

7.2.3 Ambiências e Usos

Na porção sul do distrito, caracterizada como a área mais baixa da região, a infraestrutura de esgotamento sanitário ainda não foi implantada. Propõe-se, portanto, a instalação de uma wetland (01) de grande escala para tratar o esgoto gerado por essa parte do distrito. A localização sugerida é em uma vala pouco utilizada pela população, permitindo a implantação do sistema planejado junto a uma possível pista ou caminho para pedestres. Vale destacar que as wetlands não geram odores, diferentemente dos sistemas de tratamento cinza convencionais.

Ambiências e Usos 01:

Figura 43. Mapa de Ambiências e Usos - AU1 do Distrito Campinal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Além disso, recomenda-se a instalação de infraestruturas verdes de suporte para melhorar a drenagem local. Essas intervenções podem aproveitar o canteiro central existente, que é exclusivo dessa região do distrito, ampliando a eficiência do manejo das águas pluviais e melhorando a qualidade ambiental.

Ambiências e Usos 2:

Na porção central e leste do distrito, propõe-se a instalação de diversas wetlands de menor porte, estrategicamente posicionadas em áreas críticas que apresentam focos de alagamentos, calçadas de maior largura com potencial para uso de vagas de estacionamento em esquinas, e espaços com baixa arborização. Além disso, sugere-se a implantação de infraestruturas verdes complementares, que atuem como suporte à drenagem urbana, melhorando o manejo das águas pluviais.

Figura 44. Mapa de Ambiências e Usos - AU2 do Distrito Campinal



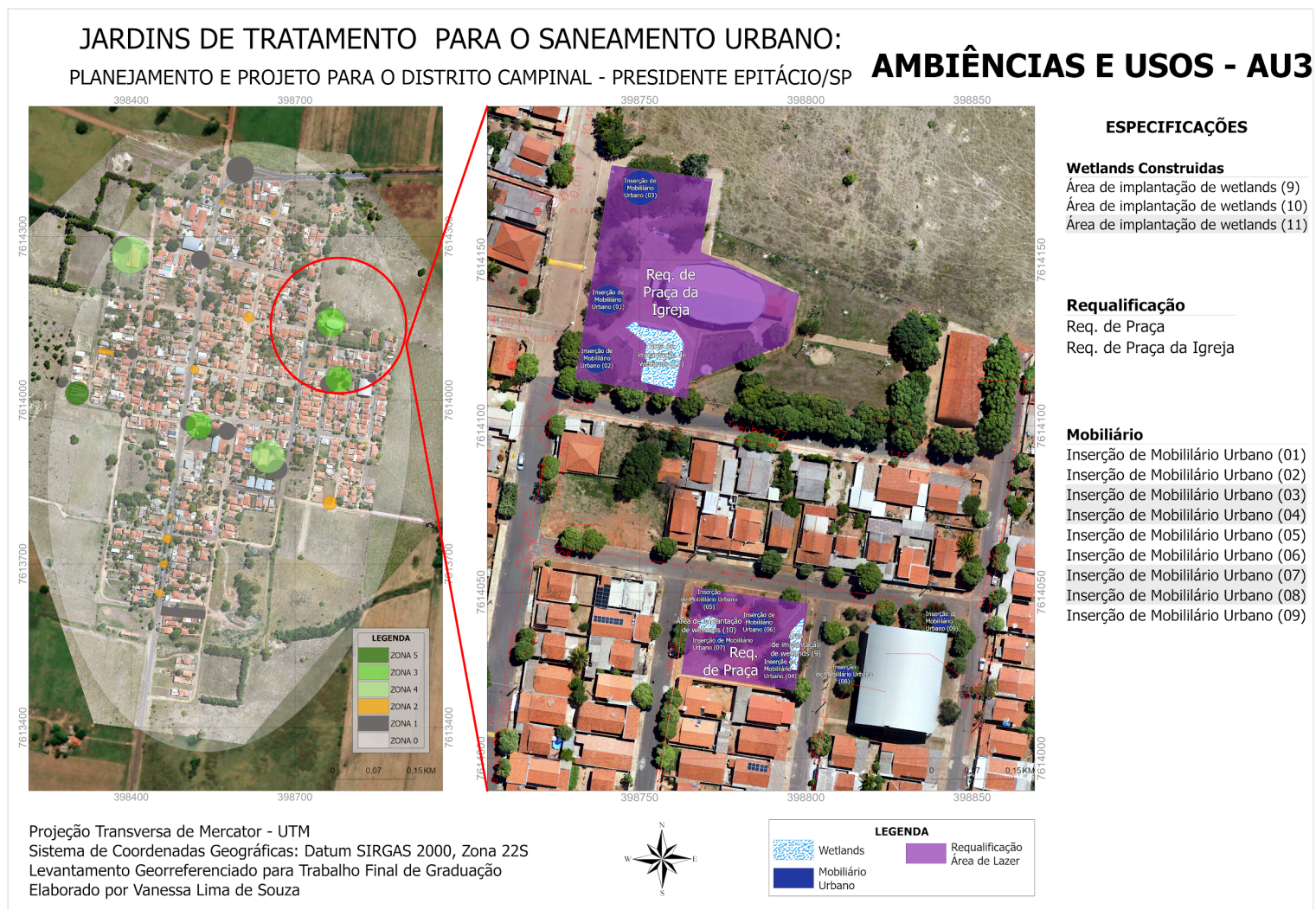
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Adicionalmente, propõe-se a requalificação do espaço ocupado pela subprefeitura, que há anos se encontra desativada. A proposta é a demolição do edifício e a transformação da área em uma praça central, com a implantação de uma wetland (02), mobiliários urbanos e áreas de convivência. Essa intervenção visa criar um espaço público atrativo para lazer e interação social, valorizando o centro do distrito.

Ambiências e Usos 03:

Na porção nordeste do distrito encontram-se duas praças existentes, que no entanto carecem de infraestrutura para se tornarem espaços atrativos à comunidade. Propõe-se a requalificação desses espaços por meio da instalação de mobiliários urbanos, tornando-os pontos de interesse para a população e promovendo maior uso e interação social.

Figura 45. Mapa de Ambiências e Usos - AU3 do Distrito Campinal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Além disso, sugere-se a implementação de wetlands nesses locais, com a finalidade de complementar o paisagismo e contribuir para o tratamento das águas pluviais. Essa intervenção alia a funcionalidade ambiental ao fortalecimento do convívio comunitário, transformando as praças em espaços multifuncionais e sustentáveis.

Ambiências e Usos 04:

Na porção norte do distrito, a região mais elevada, encontra-se o centro comunitário, atualmente subutilizado, mas com grande potencial para fomentar a cultura e fortalecer a integração da comunidade local. Propõe-se a revitalização desse espaço para atender melhor às demandas da população, promovendo atividades culturais e eventos sociais.

Figura 46. Mapa de Ambiências e Usos - AU4 do Distrito Campinal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Além disso, na extremidade norte do distrito, sugere-se a implantação de uma wetland (29), que servirá como suporte ao possível processo de expansão urbana nessa direção. Essa infraestrutura não apenas atenderá futuras necessidades de saneamento, mas também contribuirá para um planejamento mais sustentável do crescimento do distrito.

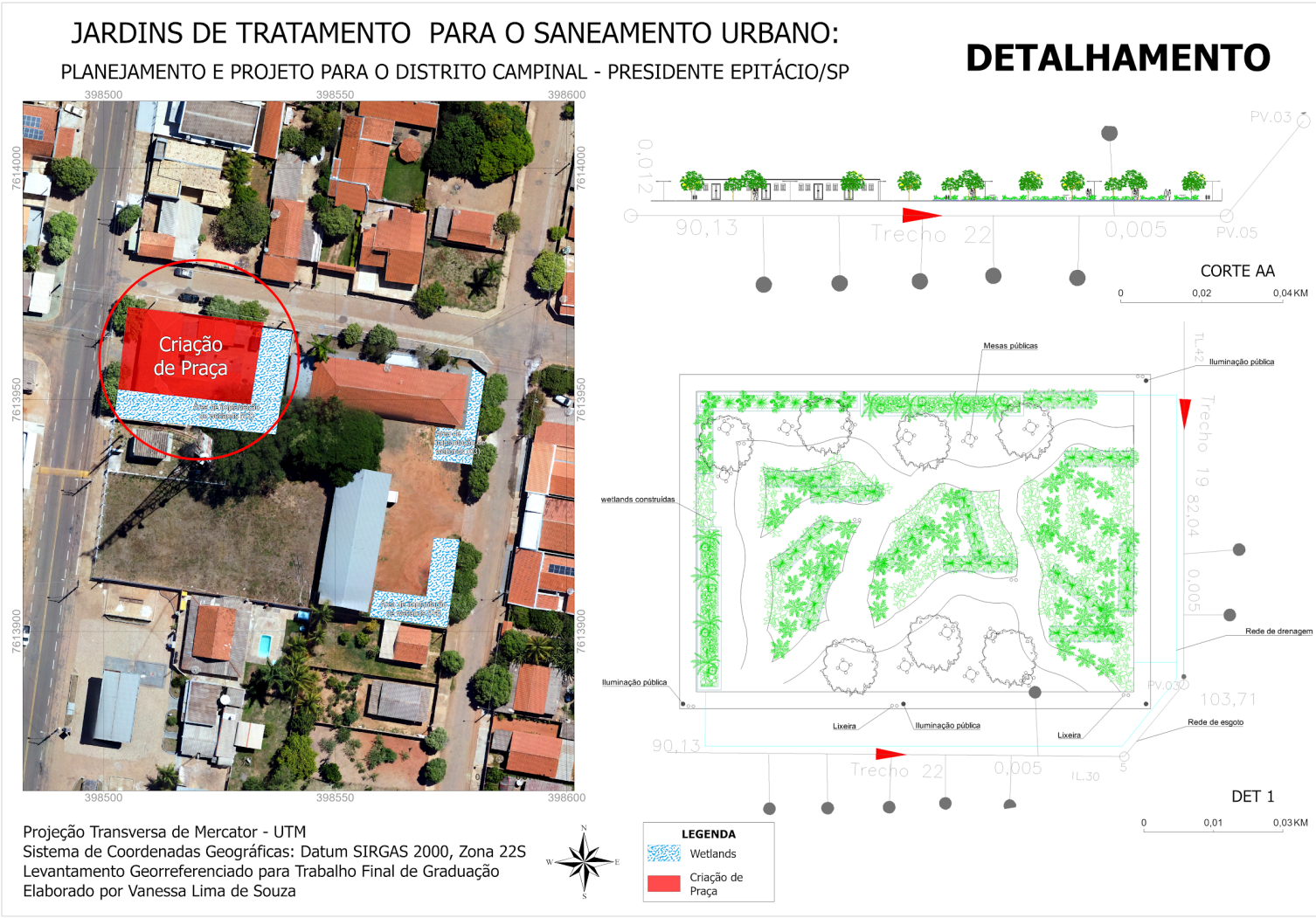
7.2.4 Detalhamento

O mapa a seguir (Figura 47) apresenta um detalhamento de uma possibilidade de proposta de requalificação do lote onde atualmente está a inativa subprefeitura. O projeto de criação de uma praça com funções de lazer e infraestrutura ambiental, incorporando wetlands construídos para auxiliar no saneamento urbano. As wetlands aparecem como áreas demarcadas em verde, sendo integrados ao paisagismo. A proposta da praça visa incluir:

- Caminhos sinuosos que conectam os diferentes trechos da área, promovendo circulação e integração.
- Áreas verdes arborizadas que geram sombra, melhoram a estética urbana e contribuem para o conforto térmico.
- Espaços de convivência, como mesas públicas, indicadas no detalhamento, incentivando o uso comunitário do espaço.
- Elementos de infraestrutura, como postes de iluminação pública, que garantem a segurança e o uso noturno.

Também, chama-se a atenção as linhas em azul projetadas no detalhamento, estas ilustrando o sistema de drenagem por boca de lobo, e condutores horizontais a ser projetado e implementado futuramente.

Figura 47. Detalhamento ilustrativo de requalificação da praça central



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O detalhamento também apresenta a rede de esgoto atualmente implementada no distrito, a mesma encontra-se instalada abaixo do solo, com direção e cotas de profundidade bem definidas. Entretanto, como evidenciado nas figuras 4 e 5, resíduos excedentes que deveriam ser direcionados à rede de esgoto acabam sendo descartados de maneira inadequada, misturando-se às águas pluviais ao serem lançados nas vias públicas. Isso evidencia a necessidade de um sistema que possa lidar com essa problemática.

Assim, as wetlands propostas no projeto foram planejadas para operar de modo sistema híbrido ao sistema de drenagem urbana e amenizando os efeitos negativos do lançamento clandestino de águas cinzas. Assim, são capazes de receber, tanto os poluentes associados às água pluviais, como realizar um prévio tratamento de águas cinzas de esgotamento, mais especificamente a Wetlands Construídos de Escoamento Subsuperficial Horizontal (WCH) (Quadro 5). Apesar de não estarem conectadas diretamente à rede de esgoto, elas são capazes de tratar os resíduos remanescentes que eventualmente cheguem às vias ou sejam carregados pelas águas de drenagem. Toda água cinza que chega às wetlands passam pelo processo de fitorremediação onde o tratamento ocorre resultando em uma água residual de qualidade significativamente superior e após sendo encaminhado diretamente aos córregos e rios da região. Essa abordagem não apenas contribui para a redução da carga poluente no ambiente, mas também funciona como uma solução eficiente para atender à demanda local enquanto se busca a expansão e a total integração das residências ao sistema de esgotamento.

Em se tratando de uma cidade essencialmente plana, e considerando as futuras expansões, resultando em um aumento da impermeabilidade, um sistema de drenagem se fará necessário. Nesse contexto, as wetlands atuam como uma medida intermediária, permitindo a gestão das águas pluviais e o tratamento de resíduos sem depender de uma rede de esgoto e drenagem completa e eficientemente instalada. No entanto, o projeto também antecipa a necessidade futura de implementar uma infraestrutura tradicional de drenagem, incluindo bocas de lobo, bueiros e condutores horizontais, para lidar com o volume crescente de águas urbanas.

O conjunto do detalhamento destaca a combinação de funcionalidade ambiental com espaços de convivência urbana, apresentando uma abordagem sustentável para saneamento e revitalização comunitária.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para embasar e justificar este projeto, foram analisados o local de intervenção e as legislações vigentes. Além disso, foi realizado um amplo levantamento bibliográfico, embasando a elaboração deste produto final.

O planejamento urbano é uma peça fundamental para a adaptação das cidades aos impactos das mudanças climáticas. A gestão do tamanho e da forma urbana de maneira integrada, por meio de um planejamento eficaz do uso da terra, pode proporcionar oportunidades mais significativas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Assim, a implementação bem-sucedida dessa proposta depende de uma visão integrada, manutenção e principalmente o envolvimento e aceitação da comunidade. A abordagem baseada na permacultura oferece um caminho viável para a gestão sustentável da água urbana. Esta proposta não apenas melhora a eficiência e a eficácia da drenagem e do esgotamento, mas também oferece uma via promissora para a criação de cidades mais sustentáveis, resilientes e harmoniosas com o meio ambiente.

As wetlands e outras infraestruturas verdes previstas neste *masterplan* são independentes da rede de esgoto, mas foram cuidadosamente propostas para operar de maneira complementar ao sistema existente. Essa escolha reforça o compromisso com soluções sustentáveis e resilientes, que não apenas tratam os resíduos urbanos, mas também promovem uma reintegração responsável da água ao ciclo natural. No longo prazo, espera-se que o distrito adote um sistema de drenagem integrado e amplie as conexões à rede de esgoto, consolidando um modelo de saneamento mais eficiente e abrangente.

A proposta não apenas aborda os desafios imediatos de drenagem e esgotamento, mas também promove uma visão de longo prazo para o desenvolvimento urbano sustentável, beneficiando tanto as gerações presentes quanto as futuras. Isso não só garante uma maior resiliência ambiental e social, mas também prepara as comunidades para enfrentar os desafios futuros de maneira mais integrada e sustentável.

A partir de toda análise realizada e apresentada, e no que compreende os limites do presente trabalho de conclusão, como próximo passo cabe dimensionar cada sistema e afins propostos e implementá-los, junto a uma equipe técnica especializada.

Em suma, o projeto reflete um planejamento cuidadoso, eficiente e inovador, utilizando soluções complementares, híbridas que conciliam infraestrutura verde e urbana. Com isso, busca-se atender às demandas imediatas de saneamento e drenagem, preparando o distrito para os desafios futuros de forma sustentável e integrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFIFI, Samir; ALNAHHAL, Samir; ABDELALL, Sadiq. Developing an Integrated Sustainable Sanitation System for Urban Areas: Gaza Strip Case study. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 26, 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Emerging Potentials, p. 767–774, 2015.

APRILL, Wayne; SIMS, Ronald C. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. **Chemosphere**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 253–265, 1990.

ARCHDAILY BRASIL. **Recife construirá jardim filtrante de 7 mil m² para despoluir riacho.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/999394/recifeconstruira-jardim-filtrante-de-7-mil-m2-para-despoluir-riacho>. Acesso em: 21 maio 2024.

ARDEN, S.; MA, X. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 630, p. 587–599, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte - Requisitos.** [S. l.]: Rio de Janeiro, 2024.

BAKER, A. J. M. *et al.* **Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils.** in: **Terry, N., Vangronsveld, J. and Banuelos.** G.ed. Florida: Boca Raton, 1999. (Phytoremediation of contaminated soils CRC Press).

BRAGA, Roberto. Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da Cidade. [s. l.], p. 15, 2012.

BAÑUELOS, Gary (org.). **Phytoremediation of Contaminated Soil and Water.** 1. ed. [S. l.]: CRC Press, 2000. p. 129–158. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781439822654/chapters/10.1201/9780367803148-7>. Acesso em: 8 nov. 2024.

BIANCO, H. et al. The role of urban land in climate change. In: ROSENZWEIG, c. et. alli. Climate change and cities: First assessment report of the urban climate change research network.. New York: Cambridge University Press, 2011. pp 217-248.

BOANO, Fulvio *et al.* A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 711, p. 134731, 2020.

BOVOLATO, Luís Eduardo. SANEAMENTO BÁSICO E SAÚDE. **Revista Escritas**, [s. l.], v. 2, 2010. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/escritas/article/view/1145>. Acesso em: 10 jun. 2024.

BRASIL, Presidência da República. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. [S. l.], 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 13 maio 2024.

BRASIL, Presidência da República. **Lei nº 12.041, de 5 de junho de 2024**. [S. l.], 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Decreto/D12041.htm. Acesso em: 17 jun. 2024.

BRASIL, Presidência da República. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 8 maio 2024.

BRIX, Hans. How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? **Water Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 45– 50, 1999.

BROOKS, RR. **Plants that hyperaccumulate heavy metals**. [S. l.]: Wallingford: CAB International. £55 (hard- back)., 1998. Disponível em: https://www.academia.edu/60303614/Brooks_RR_1998_Plants_that_hyperaccumulate_heavy_metals_384_pp_Wallingford_CAB_International_55_hardback_Greenland_DJ_1997_The_sustainability_of_rice_farming_279_pp_Wallingford_CAB_International_49_hardback_Hill_J_Becker_HC_Tigerstedt_PMA_1997_Quantitative_and_ecological_aspects. Acesso em: 11 nov. 2024.

BURKEN, Joel G.; SCHNOOR, Jerald L. Uptake and Metabolism of Atrazine by Poplar Trees. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 1399–1406, 1997.

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden/MCTI**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br>. Acesso em: 23 maio 2024.

CHANEY, Rufus L. *et al.* Improving Metal Hyperaccumulator Wild Plants to Develop Commercial Phytoextraction Systems: Approaches and Progress. *In*: TERRY, Norman;

CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Parc du Chemin-de-l'Île, em Nanterre, contribui para a despoluição do Rio Sena.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/197>. Acesso em: 7 jun. 2024.
FERREIRA, João Sette Whitaker. Globalização e urbanização subdesenvolvida. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 14, p. 10–20, 2000.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos.** 2ªed. [S. l.]: Embrapa Solos, 2006. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024.

EOS – EARTH OBSERVING SYSTEM. NDVI FAQ: All you need to know about NDVI. Última atualização em: 29.12.2023. Disponível em: <https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>. Acesso em: 09 out. 2024.

FERREIRA, N. R. A.; OKIMOTO, F. S.; PAIVA, L. A. de. **Permacultura e geotecnologias para o planejamento socioambiental urbano: parque do povo de Presidente Prudente/SP.** Scientific Journal ANAP, [S. l.], v. 2, n. 11, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4922>. Acesso em: 17 jun. 2024.

FOLHA DE S. PAULO. **Vídeo: “Estamos pagando o preço”, diz Marina sobre RS - 22/05/2024 - Brasília Hoje - Folha.** [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/blogs/brasil-hoje/2024/05/estamos-pagando-opreco-diz-marina-silva-sobre-despreparo-para-desastres-naturais.shtml>. Acesso em: 24 maio 2024.

GEHL, Jan. **Cidades para pessoas.** 2ªed. [S. l.]: Editora Perspectiva, 2013.

GUIA DE ELABORAÇÃO DE PLANOS DE INTERVENÇÃO PARA O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS. [S. l.]: Ipt, 2014.

HALVERSON, Nancy. **Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands.** [S. l.: s. n.], 2004. Disponível em: <http://www.osti.gov/servlets/purl/835229/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

HANSEN, Drew *et al.* Selenium Removal by Constructed Wetlands: Role of Biological Volatilization. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 591–597, 1998.

HOLMGREN, David. **Permacultura: princípios e caminhos além da sustentabilidade**. [S. l.]: Via Sapiens, 2013.

HORNE, Alex J. **Phytoremediation by Constructed Wetlands**. 1st Editioned. [S. l.: s. n.], 2000. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780367803148-2/phytoremediation-constructed-wetlands-alex-horne>. Acesso em: 7 nov. 2024.

HU, Ming *et al.* Constructing the ecological sanitation: a review on technology and methods. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 125, p. 1–21, 2016.

IBGE. **Panorama do Censo 2022**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html?localidade=3541307&recorte=distritos>. Acesso em: 10 jun. 2024.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. **Treatment wetlands**. 2nd eded. Boca Raton (Fla.): CRC press, 2009.

KOTSIA, D. *et al.* Converting treatment wetlands into “treatment gardens”: Use of ornamental plants for greywater treatment. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 744, p. 140889, 2020.

LI, Hui *et al.* Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities. **Water**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 594, 2017.

LIN, Zhi-Qing; TERRY, Norman. Selenium Removal by Constructed Wetlands: Quantitative Importance of Biological Volatilization in the Treatment of Selenium-Laden Agricultural Drainage Water. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 606–615, 2003.

LIU, WILLIAM TSE HORNG LIU. **Aplicações em sensoriamento remoto**. 2ª Ed. Ampliadaed. [S. l.]: Oficina de Textos, 2007. Disponível em: http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Aplica%C3%A7%C3%B5es%20de%20Sensoriamento%20Remoto%202ed_DEG.pdf. Acesso em: 9 out. 2024.

MA, Lena Q. *et al.* **A fern that hyperaccumulates arsenic**. [S. l.]: Nature 409:579, 2001. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35054664>. Acesso em: 11 nov. 2024.

MAIMON, Adi; FRIEDLER, Eran; GROSS, Amit. Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 487, p. 20–25, 2014.

MANIAM, Geetha *et al.* An assessment of technological development and applications of decentralized water reuse: A critical review and conceptual framework. **WIREs Water**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. e1588, 2022.

MARICATO, Ermínia. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 14, p. 21–33, 2000.

MENDES, Maria Estela Ribeiro. **Jardins de tratamento: o poder das raízes para despoluição da água**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.ecclo.com.br/post/jardins-de-tratamento-o-poder-das-raizes-paradespoluicao-da-agua>. Acesso em: 24 maio 2024.

MENEZES, Lucas Amorim Amaral *et al.* Cidades esponjas e suas técnicas compensatórias: uma revisão sistemática de literatura. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. e119111032606–e119111032606, 2022.

MHURD (Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural). **Padrões de Avaliação para o Desenvolvimento de Cidades Esponjas**. (2019). Obtido de <https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201904/20190410_240118.html>

MENG, Meng *et al.* Spatial Planning for Climate Adaptation and Flood Risk. *In*: SMART, RESILIENT AND TRANSITION CITIES. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 153–162. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128114773000195>. Acesso em: 5 jun. 2024.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. GUIA PARA ELABORAÇÃO E REVISÃO DE PLANOS DIRETORES. [s. l.], 2019.

MOLLISON, B.; HOLMGREN, D. **Permaculture One**. [S. l.], 1978. Disponível em: <https://permacoletivo.wordpress.com/wp-content/uploads/2007/08/permaculturaum.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2024.

MORAES, E. C. de. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. Capítulo 1. São José dos Campos: INPE, 2002

MORONI, Benedito de Godoy. **Histórias de Presidente Epitácio**. Volume 2. ed. rev. corrig. atual. e ampl. -: Edição do autor, Maringá (PR), 2011.

MOURA, Rosa; SILVA, Luís Antonio De Andrade E. DESASTRES NATURAIS OU NEGLIGÊNCIA HUMANA?. **Revista Geografar**, [s. l.], v. 3, n. 1, 2008. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/12910>. Acesso em: 23 maio 2024.

NEWMAN, Lee A. *et al.* Uptake and Biotransformation of Trichloroethylene by Hybrid Poplars. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 1062–1067, 1997.

NGUYEN, Thu Thuy *et al.* Implementation of a specific urban water management - Sponge City. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 652, p. 147–162, 2019.

NOUTSOPOULOS, C. *et al.* Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 216, Sustainable waste and wastewater management, p. 337–346, 2018.

PRADO Jr., C. **História econômica do Brasil**. São Paulo, Brasiliense (1945), 1990.

OKIMOTO, Carla Kayuri Da Silva; FAITA, Mayara Maezano. **ANÁLISE FÍSICA E BIOLÓGICA DO SOLO PARA VERIFICAR POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO POR FOSSAS NEGRAS NO DISTRITO DO CAMPINAL**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - UNOESTE, [s. l.], 2012. Disponível em: Acesso em: 18 set. 2024.

OKIMOTO, Fernando S. **PERMACULTURA URBANA: POLÍTICA(S) PÚBLICA(S) PARA A PRODUÇÃO E VIVÊNCIA NAS CIDADES DURANTE E PÓS-PANDEMIA**. [s. l.], 2021.

Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1zru2Tx-XCgJogvfWAcuN6JF3R65XE7Vj/view?usp=embed_facebook. Acesso em: 17 jun. 2024.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000). Campinas-SP: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro-RJ: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/EMBRAPA, 1999. 108 p.

ONU, News. **46% da população global vive sem acesso a saneamento básico**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712>. Acesso em: 10 jun. 2024.

PHILLIPS, Lori A. *et al.* Plant root exudates impact the hydrocarbon degradation potential of a weathered-hydrocarbon contaminated soil. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 52, p. 56–64, 2012.

PILON-SMITS, Elizabeth. PHYTOREMEDIATION. **Annual Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 56, n. Volume 56, 2005, p. 15–39, 2005.

PIO, Mauro; ANTONY, Lucas; SANTANA, Genilson. Wetlands Construídas (Terras Alagadas): Conceitos, Tipos e perspectivas para remoção de metais potencialmente

tóxicos de água contaminada: Uma revisão. **Scientia Amazonia**, [s. l.], v. 1, p. 28–40, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE EPITÁCIO - SP. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano da Estância Turística de Presidente Epitácio – PDDU/2006**. 10 out. 2006. Disponível em: https://www.presidenteepitacio.sp.gov.br/arquivos/plano_diretor-lei_complementar_n_50-2006_11022907.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE EPITÁCIO - SP. **Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Sustentabilidade**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: https://www.presidenteepitacio.sp.gov.br/arquivos/plano_de_mobilidade_urbana_11022908.pdf.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRESIDENTE EPITÁCIO - SP. **REVISÃO DO PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO ETAPA II – DIAGNÓSTICO FÍSICO TERRITORIAL**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://www.presidenteepitacio.sp.gov.br/arquivos/etapa_2_-_diagnostico_fisico-territorial_14111939.pdf. Acesso em: 8 nov. 2024.

PROSUSTENTAVEL. PARQUE ORLA PIRATININGA. *In*: [s. d.]. Disponível em: <http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/parque-orla-piratininga/>. Acesso em: 6 jun. 2024.

RAN, Noemi; AGAMI, Moshe; ORON, Gideon. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. **Water Research**, [s. l.], v. 38, n. 9, p. 2241–2248, 2004.

RASKIN, Ilya; SMITH, Robert D; SALT, David E. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. **Current Opinion in Biotechnology**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 221–226, 1997.

REID, Andrea J. *et al.* Post-2015 Sustainable Development Goals still neglecting their environmental roots in the Anthropocene. **Environmental Science & Policy**, [s. l.], v. 77, p. 179–184, 2017.

RIGGIO, Vincenzo A. *et al.* Constructed wetlands for the reuse of industrial wastewater: A case-study. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 171, p. 723–732, 2018.

ROSS, J. L. S & MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.10, p.41-56, 1997.

RUGH, C L *et al.* Mercuric ion reduction and resistance in transgenic Arabidopsis thaliana plants expressing a modified bacterial merA gene. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 93, n. 8, p. 3182–3187, 1996.

SALT, David E. *et al.* Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environment Using Plants. **Nature Biotechnology**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 468–474, 1995.

SANTOS, Milton. A urbanização brasileira. [s. l.], n. HUCITEC, 1993.

SCHERER, Rebeca. **Apresentação. In LE CORBUSIER. A carta de Atenas.** São Paulo: Hucitec: Edusp, 1993.

SCHNOOR, Jerald L. Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants. [s. l.], 1995. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22667744/>.

SHANG, Shouwei *et al.* Exploration of sponge city construction in China from the perspective of typical cases. **Frontiers in Earth Science**, [s. l.], v. 11, p. 1238203, 2023.

SHAHID, Munazzam Jawad *et al.* Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment. **CLEAN – Soil, Air, Water**, [s. l.], v. 46, n. 10, p. 1800120, 2018.

SHAO, Weiwei *et al.* Characteristics and effectiveness of water management methods for ‘sponge cities’ in China. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management**, [s. l.], v. 173, n. 4, p. 163–171, 2020.

SHARMA, Rozi; MALAVIYA, Piyush. Constructed wetlands for textile wastewater remediation: A review on concept, pollutant removal mechanisms, and integrated technologies for efficiency enhancement. **Chemosphere**, [s. l.], v. 290, p. 133358, 2022.

SILVA, Luis Fernando De Matheus E. Em busca de uma “criação ecológica do espaço”: problematizando a permacultura como alternativa à produção capitalista do espaço. **Agrária (São Paulo. Online)**, [s. l.], n. 18, p. 172–199, 2013.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **DIAGNOSTICO TEMATICO VISAO GERAL AE SNIS 2023.** [S. l.], 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-dosnis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf. Acesso em: 8 maio 2024.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/sistema-nacional-de-informacoes-sobresaneamento>. Acesso em: 21 maio 2024.

SODRÉ, Virginia D. de A.; FUKASAWA, Bruno N.; OLIVEIRA, Marina R. **GUIA ORIENTATIVO DAS NORMAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA, FONTES ALTERNATIVAS NÃO POTÁVEIS E**

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES. [S. l.], 2019. Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC. Disponível em: https://cbic.org.br/wpcontent/uploads/2019/11/Guia_Orientativo_Normas_de_Conse rvacao_de_Agua.pdf. Acesso em: 14 maio 2024.

SSWM. **Sustainable Sanitation.** [S. l.], 2012. Disponível em: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SEECON%202012%20SS WM%20Booklet.pdf. Acesso em: 22 maio 2024.

STEFANATOU, Aimilia *et al.* Vertical flow constructed wetlands as green facades and gardens for on-site greywater treatment in buildings: Two-year mesocosm study on removal performance. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 906, p. 167362, 2024.

SUSANA. Towards more sustainable sanitation solutions. **Sustainable sanitation alliance SuSanA**. Version 1.1 November 2007. <<https://www.susana.org/en/#>>

TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas. Estudos Avançados.** 22(63), 97-112. 2008. Recuperado: de <<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>>

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Boletim Wetlands Brasil - Edição Especial: Dimensionamento de Wetlands Construídos no Brasil.** [S. l.]: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto., 2018. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Esp ecial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezeri no-2018-2.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.

VYMAZAL, Jan. Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 37, n. 1, Special Issue: Enhancing ecosystem services on the landscape with created, constructed and restored wetlands, p. 54–63, 2011.

VYMAZAL, Jan. The Historical Development of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. **Land**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 174, 2022.

VYMAZAL, Jan. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development. **Water Research**, [s. l.], v. 47, n. 14, p. 4795–4811, 2013.

VYMAZAL, Jan; ŠVEHLA, Jaroslav. Iron and manganese in sediments of constructed wetlands with horizontal subsurface flow treating municipal sewage. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 50, Research and innovation on ecotechnologies applied to improve wastewater treatment efficiency, p. 69–75, 2013.

WALKER, B.H. and SALT, S. Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Island Press, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – **Water, Sanitation and Hygiene Links to Health**. November, 2004.

WU, Shubiao *et al.* Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: Challenges, operational strategies and overall performance. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 201, p. 107–120, 2015.

YADAV, Asheesh Kumar *et al.* The removal of heavy metals in wetland microcosms: Effects of bed depth, plant species, and metal mobility. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 211–212, p. 501–507, 2012.

YUAN, Yuan *et al.* Climate resilience of urban water systems: A case study of sponge cities in China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 451, p. 141781, 2024.

ZENG, Chen *et al.* Comments and recommendations on Sponge City — China's solutions to prevent flooding risks. **Heliyon**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. e12745, 2023.