



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado

**DANIELLE GONÇALVES TEIXEIRA DOS
SANTOS**

**Indicadores da qualidade de solo nas margens do Rio Meia Ponte, estado de Goiás:
fatores determinantes para monitoramento ambiental**

Anápolis, 2023

DANIELLE GONÇALVES TEIXEIRA DOS
SANTOS

**INDICADORES DA QUALIDADE DE SOLO NAS MARGENS DO RIO
MEIA PONTE, ESTADO DE GOIÁS: FATORES DETERMINANTES PARA
MONITORAMENTO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Profa. Dra. Samantha Salomão Caramori

Anápolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Wander Daniel T. dos Santos e Claudia Gonçalves, por todo incentivo e apoio durante a caminhada até aqui. Lembro-me bem de assistir a programas de curiosidades científicas, enquanto meu pai dizia que um dia eu conseguiria me formar e ser cientista. Mesmo sem muito acreditar durante a adolescência, tudo que ele almejava, me incentivava, mesmo que em segredo a nunca desistir e lhes proporcionar orgulho. Muito obrigada.

Agradeço também aos meus irmãos, Anna Caroline e Nicolas, que sempre estiveram ao meu lado. Que isso sirva-lhes de incentivo a prosseguir de alguma maneira, pois vocês são extremamente capazes também.

A minha namorada Emilly, por me acompanhar nessa reta decisiva, me apoia todos os dias. Sua paciência, amizade e conforto são pequenos exemplos de afeto e da vontade que temos de crescermos juntas. Muito obrigada.

Agradeço também aos meus grandes amigos Patricia, Lucas e Robson, que me acompanham desde a graduação. As brincadeiras, até mesmo puxões de orelha durante todo esse processo foram essenciais para o meu crescimento.

Agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Samantha Salomão Caramori, por aceitar desde o início essa missão. Lembro-me bem da época de graduação, de quando importunava sua aula de bioquímica como ouvinte, pensando que um dia gostaria de atingir a maestria e conhecimento que a senhora nos proporciona. Agradeço imensamente pelo companheirismo, amparo, paciência, oportunidades, conversas, enfim, sou muito grata por tudo, mesmo que não demonstre, a sua orientação me moldou como pessoa e me fez acreditar que posso ser uma profissional de excelência com dedicação e esforço.

Aos professores Elisa Flávia e Manuel Eduardo, pelas participações fundamentais durante todo o percurso, seja por meio de colaborações em nosso laboratório, oportunidades, como por críticas que me fizeram entender a necessidade de se construir um trabalho melhor, que possa contribuir para a conservação de recursos naturais.

“Eis o meu segredo. É muito simples: só se vê bem com o coração. O essencial é invisível para os olhos.” – Antoine de Saint-Exupéry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo	16
Figura 2. Tipos de solo observados na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte	18
Figuras 3. Pontos de coleta	25
Figura 4. Mapa de localização dos pontos de coleta	32
Figura 5. Mapas de uso e ocupação do solo	33
Figura 6. Gráfico de atividade enzimática total	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura, precipitação média anual e localização geográfica dos pontos de amostragem	28
Tabela 2. Características físico-químicas do solo	29
Tabela 3. Características de uso e cobertura do solo dos pontos de coleta localizados em cinco municípios do estado de Goiás, ao longo das margens do rio Meia Ponte	31
Tabela 4. Atividade da enzima β -glicosidase no solo dos pontos coletados	34
Tabela 5. Atividade da enzima fosfatase ácida no solo dos pontos coletado	35
Tabela 6. Atividade da enzima arilsulfatase no solo dos pontos coletados	36
Tabela 7. Atividade da enzimática total	38
Tabela 8. Resultado da análise de toxicidade de <i>Vibrio fischeri</i>	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Poluição de corpos hídricos	11
1.2 Poluição do solo	12
1.3 Parâmetros de avaliação da qualidade do solo	13
1.4 Atividade enzimática do solo	
2. Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte	13
2.1 Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto	19
2.1.2 Tratamento de efluentes	20
4.1. Objetivo Geral	23
4.2. Objetivos Específicos	23
5.1 Caracterização da área de estudo	23
5.2 Coleta do solo	23
5.3 Análises físico-químicas	26
5.4 Atividade enzimática do solo	27
5.5 Atividade enzimática total	28
5.7 Análise estatística	28
6.1 Características climáticas da área de estudo	29
6.2 Avaliação da influência do lançamento de efluente sob as propriedades físico-químicas do solo	30
6.3 Uso e ocupação do solo	31
6.4 Avaliação da influência do lançamento de efluente nas propriedades bioquímicas do solo	35
6.5 Atividade enzimática total	38
6.6 Avaliação da toxicidade do solo	39
7. CONCLUSÕES	41
8. REFERÊNCIAS	42

RESUMO

O lançamento de efluentes domésticos e industriais em corpos hídricos compromete a qualidade de água para o abastecimento público de municípios e para a manutenção de seres vivos nos ambientes naturais, tanto aquáticos quanto terrestres. As Estações de tratamento de esgoto (ETEs) são instituições responsáveis pela execução destes procedimentos; no entanto, a carga de matéria orgânica lançada nos rios urbanos após o tratamento pode ainda comprometer a qualidade da água e do solo nos trechos subsequentes, levando a um comprometimento de toda a bacia. O objetivo desta pesquisa é associar indicadores de qualidade do solo enzimáticos biológicos e de geoprocessamento ao longo do Rio Meia Ponte, corpo hídrico localizado no município de Goiânia, para identificação de contaminação por efluentes. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, durante os períodos de chuva e seca, em seis pontos ao longo do curso d'água do Meia Ponte (nos limites de cinco municípios do estado de Goiás). Foram avaliados pH, teor de umidade, assim como a atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase. Também foi avaliada a ecotoxicidade do solo pela variação da luminescência da bactéria *Vibrio fischeri*. Os dados foram analisados por meio de ANOVA Two-way e teste T^2 de Hotelling, considerando-se $p < 0,05$. Foram utilizadas as bases de dados disponíveis nos portais do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás e projeto MapBiomass, para confecção de mapas da área de estudo e do uso do solo. A atividade enzimática não apresentou variação significativa, considerando-se pontos anteriores e posteriores ao lançamento de efluentes. Quanto à avaliação do uso e ocupação do solo, verificou-se que a partir do ano de 1985 a bacia hidrográfica do Meia Ponte sofreu mudanças profundas em sua conversão. Mesmo assim, o teste de toxicidade revelou alto teor de degradação ambiental, principalmente em pontos de agricultura, tanto familiar, quanto de alta produtividade, evidenciando a necessidade de uma avaliação contínua destas áreas e o emprego de ferramentas bioindicadoras de qualidade do solo.

Palavras-chave: bioindicador do solo; atividade enzimática; efluente; toxicidade ambiental.

ABSTRACT

The discharge of domestic and industrial effluents into water bodies damage the quality of water for the public supply of municipalities and for the maintenance of living beings in natural environments, both aquatic and terrestrial. The Sewage Treatment Plants (STPs) are institutions responsible for performing these procedures; however, the load of organic matter discharged into urban rivers after treatment can still harm the quality of water and soil in subsequent stretches, leading to a impair of the entire basin. The objective of this research is to associate biological and geoprocessing soil quality indicators along the Meia Ponte River, a water body located in the municipality of Goiânia, to identify contamination by effluents. Soil samples were collected at a depth of 0-20 cm, during the rainy and dry periods, at six points along the Meia Ponte watercourse (in the limits of five municipalities in the state of Goiás). Moisture content, pH, as well as the activity of β -glucosidase, acid phosphatase and arylsulfatase enzymes were evaluated. Soil ecotoxicity was also evaluated by varying the luminescence of the bacterium *Vibrio fischeri*. The data were analyzed using Two-way ANOVA and Hotelling's T2 test, considering $p < 0.05$. The databases available on the portals of the Geoinformation State System of Goiás and the MapBiomias project were used to make maps of the study area and land use. The enzymatic activity did not show significant variation, considering points before and after the release of effluents. As for the evaluation of land use and occupation, it was found that from 1985 onwards, the Meia Ponte hydrographic basin underwent profound changes in its conversion. Even so, the toxicity test revealed a high level of environmental degradation, mainly in agriculture points, both family and high productivity, highlighting the need for a continuous evaluation of these areas and the use of bioindicator tools of soil quality.

Keywords: soil bioindicator; enzyme activity; effluent; environmental toxicity.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Poluição de corpos hídricos

A água é um recurso natural indispensável à sobrevivência dos seres vivos e à qualidade da vida humana, pois proporciona múltiplos usos. No entanto, alguns fatores, como as práticas desenvolvidas pela população e políticas de planejamento do uso do solo e da ciclagem de resíduos sólidos são condicionadores na conservação dos cursos de água em área urbana (Noori et al., 2019; Szymanska et al., 2020).

As águas superficiais são as mais vulneráveis à poluição devido à sua fácil acessibilidade para descarte de águas residuais. Processos naturais, bem como as influências antropogênicas, determinam a qualidade da água superficial em uma região. A contaminação do meio ambiente ocorre principalmente através da disposição de efluentes industriais, contendo metais pesados e compostos químicos nos corpos d'água (Pathak, 1994; Carpenter et al., 1998; Jarvie et al., 1998).

Grandes quantidades de esgoto doméstico e industrial são geradas devido ao rápido crescimento populacional, expansão das cidades e desenvolvimento industrial. Assim, as estações de tratamento de esgoto podem estar sobrecarregadas e/ou incapazes de produzir efluentes que atendam aos requisitos internacionais e/ou normas nacionais de descarga (Postel et al., 1996). O lançamento de esgotos em corpos d'água que contenham uma elevada demanda bioquímica de oxigênio provoca um forte crescimento de bactérias, cuja função é estabilizar ou decompor essa matéria orgânica, gerando a presença de determinados organismos que podem provocar vários inconvenientes, tanto para o próprio ambiente aquático quanto para o sistema de tratamento da água captada (Brasil, 2006).

No Brasil, os padrões de qualidade para os corpos de água são fixados pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17/03/2005, que dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes. Os parâmetros físicos são divididos em temperatura e transparência (cor, turbidez e presença de sólidos), enquanto os parâmetros químicos são o oxigênio dissolvido, pH, amônia e salinidade, seguidos pelos parâmetros biológicos, como a presença de coliformes e algas (Ferreira et al., 2005).

Nesse contexto, análises ecotoxicológicas podem ser utilizadas para determinar

possíveis impactos decorrentes da contaminação, estabelecendo a toxicidade através da verificação de presença de agentes químicos, efluentes líquidos e lixiviados de resíduos sólidos, determinando, assim, os critérios e padrões de qualidade das águas e limites máximos de lançamentos de efluentes (Arenzon, 2004; Abessa; Sousa; Tommasi; 2006).

1.2 Poluição do solo

O solo, considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como os resíduos domésticos e industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, apresenta-se com capacidade de atenuação limitada, devido ao efeito cumulativo do lançamento destes resíduos. A qualidade deste em determinado ecossistema natural ou manejado é definida como a capacidade de manutenção da biodiversidade, aumento da qualidade do ar e das águas subterrâneas e superficiais (Cetesb 1000, 1999; Karlen et al., 1997; Lisbôa, 2017).

A partir do ponto de vista sustentável, um solo de alta qualidade é capaz de produzir colheitas saudáveis e abundantes; descontaminação da água que passa por ele; não emissão de gases em quantidades prejudiciais ao meio ambiente; e comportando-se como um ecossistema maduro e sustentável, capaz de degradar insumos orgânicos (Gregorich et al., 1994; Brookes, 1995; Pankhurst et al., 1995; Trasar-Cepeda et al., 2000 apud Doran & Parkin, 1994).

Os maiores grupos de organismos do solo incluem vírus, bactérias, fungos, algas e macrofauna, como artrópodes e protozoários. Esses organismos têm nichos ecológicos e funções específicas, onde cada um contribui para várias atividades do ambiente. As populações microbianas do solo sofrem influência acentuada do ambiente, podendo os microrganismos ou seus processos serem inibidos em até 100% por diversos fatores estressantes, como, por exemplo, a deposição de metais pesados (Siqueira et al., 1994; Pepper et al., 1996).

Alguns indicadores de solo, como a produtividade agrícola, propriedades físicas e químicas, erosão e teor de matéria orgânica podem ser utilizados para monitorar a degradação do solo e seu potencial de biorremediação. Indicadores biológicos, como atividade enzimática, evolução de dióxido de carbono, teor de substâncias húmicas e podem fornecer informações adicionais sobre a produtividade de um solo sob condições

variadas, incluindo práticas de manejo (Carter, 2001; Schloter et al., 2003; Shukla et al., 2006).

1.3 Parâmetros de avaliação da qualidade do solo

As propriedades físicas ou mecânicas do solo são resultantes das diferentes partículas que integram o solo, frutos da intemperização e fragmentação da camada superficial da terra, que determinam a capacidade de uso, trabalhabilidade, facilidade à penetração das raízes, aeração, a capacidade de drenagem e armazenamento de água, plasticidade e a retenção de nutrientes no interior do solo (Costa et al., 2003).

As propriedades químicas do solo, resultantes da decomposição do seu material parental e da matéria orgânica, são responsáveis pela sua fertilidade e pelo fornecimento e disponibilidade de nutrientes às plantas, tais como o teor de fósforo e a acidez (Schoenholtz; van Miegroet; Burger, 2000; Brady & Weil, 2002).

Os indicadores biológicos, por sua vez, são constituintes vivos, presentes na parte superficial do solo e representados por uma grande diversidade de espécies, as quais desempenham inúmeras e complexas funções neste ambiente. Os principais atributos utilizados para observar e mensurar a dinâmica da matéria orgânica do solo são a biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico e os processos enzimáticos, recentemente apontados como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo, como as promovidas pela aplicação de resíduos orgânicos (Debosz et al., 2002; Mendes et al., 2021; Silva et al., 2021).

1.4 Atividade enzimática do solo

Embora plantas e animais também sejam fontes de enzimas do solo, os microrganismos são sua fonte primária. Essas enzimas são responsáveis por controlar diversos processos, com papéis fundamentais na síntese/decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e na ciclagem de nutrientes, e devido a essa estreita relação com diversos aspectos do funcionamento do solo, as atividades das enzimas do solo são consideradas indicadores de qualidade sensíveis (Moghimian et al., 2017; Mendes et al., 2021).

Dentre as enzimas que podem ser encontradas no solo, destacam-se as hidrolases (α

e β -glicosidases, ureases, fosfatases, desaminases, sulfatases, amidases, proteases, celulasas) e oxidorreduções (polifenoloxidasas, peroxidases), devido à importância dessas enzimas na manutenção do ciclo de nutrientes, disponibilização de minerais, como nitrogênio, fósforo e carbono, além da hidrólise de matéria orgânica (Bandick, 1999; Saiya-Cork, 2002; Purcena, 2014 apud Ajwa et al., 1999;).

A β -glicosidase do solo é uma enzima digestiva para celobiose/triose, catalisando a hidrólise enzimática de vários oligossacarídeos e β -glicosídeos. Assim, é vista como um indicador do volume de compostos orgânicos de carbono do solo, provenientes de cultura, resíduos, subprodutos biotecnológicos, esterco animal e lodo de esgoto (Eivazi; Tabatabai, 1988; Jiménez et al., 2007).

As fosfatases são enzimas que atuam na hidrólise de ésteres e anidridos de ácido fosfórico em fosfato inorgânico, produzidas quando os teores de fósforo (P) solúvel atingem níveis limitantes ao crescimento das plantas e microrganismos. Por outro lado, quando o teor de fósforo for alto, essas enzimas encontram-se menos presentes no solo, mostrando-se um indicador sensível da biodisponibilidade de P às plantas (FERNANDES, 1999). (Nahas & Assis, 1991; Fernandes, 1999; Guimarães et al., 2004).

Segundo Whalen & Warman (1996), a atividade de arilsulfatase é catalisar a hidrólise de sulfatos de éster presentes no solo. O enxofre é essencial para os organismos vivos, por fazer parte da constituição de proteínas e outros compostos orgânicos, e por ser fonte de energia para as bactérias litotróficas e receptor de elétrons oriundos do metabolismo respiratório das bactérias redutoras de sulfato (Tate, 1995).

A maioria das medições enzimáticas utiliza seus derivados, como ésteres, que se decompõem por hidrólise, liberando p-nitrofenol (pNP) quantificado por sua absorvância, geralmente a 410 nm. Embora esses tipos de métodos tenham sido desenvolvidos há algumas décadas, a análise espectrofotométrica de pNP requer medições precisas de pH e temperatura para obter determinações confiáveis (Syedd-Leon et al., 2020).

2. Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório ou foz. É composta basicamente de um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos

d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (Silveira, 2001).

As bacias hidrográficas localizadas próximas a áreas urbanas são caracterizadas pela vulnerabilidade ao lançamento de efluentes industriais e domésticos. Os processos naturais de contaminação das bacias hidrográficas incluem a precipitação pluviométrica, carregamento de sedimentos e erosão, além dos processos antropogênicos, como industrialização, urbanização e agricultura, com grande contribuição para a degradação dos recursos hídricos e determinantes na qualidade das águas (Singh et al., 2004).

A Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte localiza-se no centro-sul do Estado de Goiás, na região central do Brasil. As principais vias de acesso e deslocamento da região são formadas pelas rodovias federais BR-153/BR-060 (interligando a capital ao norte da região, no sentido Goiânia-Brasília; e ao sul, até a divisa com o Estado de Minas Gerais, nas rodovias estaduais GO-070, GO-040, GO-020 e GO-147. Sua área territorial corresponde a 3,6% do Estado, onde estão inseridos 39 municípios e onde se concentra 48% da população goiana (Veiga et al., 2013).

De acordo com Siqueira (1996), esta bacia está situada no centro-sul do Estado de Goiás, limitando-se ao norte com a Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, a oeste com a Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois, a nordeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbá e ao sul o Rio Meia Ponte deságua no Rio Paranaíba. O Rio Meia Ponte tem como principais afluentes pela margem esquerda os rios Inhumas, João Leite, Caldas e o Ribeirão Formiga e pela margem direita o Rio Dourados e o Ribeirão Boa Vista do Rancho.

No que se refere ao relevo, tem sua porção montante e central sobre os domínios das Faixas de Dobramentos do Brasil Central, drenando para as bacias sedimentares central. Do ponto de vista de formação geológica e história tectônica, a Bacia do Rio Meia Ponte está situada na porção Centro-Oeste do Brasil. A Bacia do Rio Meia Ponte encontra-se majoritariamente na Província Estrutural Tocantins, que se estende desde os estados do Pará, passando por Tocantins. Com as cabeceiras localizadas no planalto que divide a bacia hidrográfica do Rio Paranaíba com o Alto Tocantins, a bacia do Rio Meia Ponte é marcada por um relevo planáltico, bastante degradado, esculpido em litologias Pré-Cambrianas diversas em sua porção setentrional e central (Estudo Integrado de Bacias Hidrográficas do Rio Meia Ponte, 2012).

Segundo Calil (2009, apud Mamede et. al., 1983; Lacerda Filho, 1994) a geomorfologia da região é caracterizada como planalto central goiano, com dois tipos particulares de relevo compostos por: Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba, com feições geológicas diversificadas, e predomínio de Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos; Planalto Rebaixado de Goiânia, que abrange um amplo planalto rebaixado e dissecado, e solos dominantes nesta unidade geomorfológica são Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e os Latossolos Vermelhos distróficos.

O clima da região é do tipo tropical úmido, caracterizando-se com duas estações bem definidas: a seca, que ocorre entre os meses de abril a setembro, e a chuvosa, que ocorre entre os meses de outubro a março, com temperatura máxima variando de 29 °C a 31 °C e a mínima entre 17 °C a 18 °C. A umidade relativa do ar fica entre 68% e 70%. (Veiga et al., 2011).

Quanto à vegetação da área, segundo Rocha & Veiga (2018), podem ser encontradas fitofisionomias do Cerrado, Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, e Áreas de Tensão Ecológica. Além disso a Bacia Hidrográfica do Meia Ponte (BHMP) sofre problemas ambientais, como a ausência de mata ciliar e de galeria em vários segmentos de rios, lançamento clandestino de esgoto, lançamento clandestino de entulho, focos de erosão, assoreamento e ocupação irregular de faixa de APP – Área de Preservação Permanente, além de queimadas frequentes.

De acordo com Santos et al. (2010), o Rio Meia Ponte recebe contribuições poluidoras significativas ao longo dos seus cursos, decorrentes do crescimento demográfico ocorrido nas últimas décadas em áreas urbanas e também das atividades agropecuárias e industriais; além disso, há a presença de fontes pontuais de poluição, como a descarga de efluentes de ETEs.

Atualmente a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) encontra-se vigente. Criada pela Lei 20.417, de 06 de fevereiro de 2019 que altera a Lei estadual nº 17.257, de 25 de janeiro de 2011, realiza o monitoramento, implementação e promoção de diretrizes ambientais no estado de Goiás. O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHi), é um órgão participante da SEMAD, com atribuições diretamente relacionadas a política Estadual de Recursos Hídricos. Há a existência ainda de um Comitê integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos, criado em 1997, por meio da lei nº 13.123 (SEMAD, 2023; CBH Rio Meia Ponte, 2023).

Dos 39 municípios da bacia, apenas nove possuem coleta e tratamento de esgoto, em sua maioria com um índice menor de 65% de coleta e tratamento, com exceção de Goiânia (92,67; 91,29), Cachoeira Dourada, Itauçu (65,81; 100,00) e Itumbiara (95,89; 100,00)(Ranking Abes Da Universalização Do Saneamento, 2021). Os demais possuem índices baixos de coleta e tratamento e/ou despejam seu esgoto diretamente no rio Meia Ponte e/ou em sistemas individuais de tratamento (fossas negras/sépticas), que contaminam o lençol freático e o curso d'água da mesma maneira (Ministério Público do Estado de Goiás, 2020).

Dentre as diversas fontes de lançamento no corpo hídrico do Rio Meia Ponte, destaca-se a Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Brito (ETE Goiânia), por conter uma capacidade de vazão elevada e englobar diversas cidades goianas.

2.1 Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Brito

A Estação de Tratamento de Esgotos Dr. Hélio Seixo de Brito (ETE Goiânia) foi inaugurada no ano de 2004 e é operada pela companhia de saneamento básico de Goiás (Saneamento de Goiás S/A - SANEAGO). Situa-se às margens do Rio Meia Ponte na Avenida Perimetral Norte, Área GLT, Setor Goiânia II (Figura 3). Esta Estação foi planejada para atender uma população de 840 mil habitantes, possuindo capacidade para tratar 75% do esgoto coletado em Goiânia (Santos, 2012).

Segundo dados do Atlas Esgotos, a ETE Goiânia apresenta tratamento primário físico-químico, com a presença de filtração aeróbia, decantação e flotação. As etapas do processo de tratamento envolvem a fase líquida com adição de coagulante (FeCl_3) e auxiliar de floculação, e o da fase sólida do tipo desaguamento em centrífugas e higienização com cal (CaO). Até o ano de 2017, a ETE Goiânia atendia 1.0077.134 pessoas. A vazão do efluente é de 1.415,0 L/s, carga afluente de 58.165,3 Kg DBO/dia e lançada de 28.466,1 (Freitas et al., 2019).

2.1.2 Tratamento de efluentes

O tratamento prévio é a primeira fase de separação de sólidos, em que o esgoto

chega à ETE contendo materiais grosseiros, como resíduos dispostos e a retenção de partículas grandes por meio de gradeamento e desarenação (Telles; Costa, 2007; Rodrigues; Carvalho, 2016). Segundo Telles & Costa (2007), após o tratamento primário, o esgoto é constituído por processos físico-químicos, por meio de decantação, gerando o lodo bruto, material sedimentável resultante. Além disto, o esgoto é levado ao tratamento com flocladores, local de adição de químicos que promovem o agrupamento de partículas.

Após a desestabilização química da suspensão coloidal, tende-se a provocar o crescimento dos flocos, o que resultará no aumento da eficiência dos mecanismos de colisão entre bolhas e flocos, algo especialmente desejado quando o tamanho das partículas presentes é muito pequeno (Edzwald, 2010).

Após o tratamento secundário, segue-se com a degradação biológica de compostos carbonáceos, constituído de tanques ou reatores com grande quantidade de microrganismos aeróbios ou anaeróbios, que consomem a matéria orgânica existente. O tratamento terciário é exigido quando o tratamento secundário não remove nitrogênio e fósforo, ou quando há necessidade de desinfecção das águas residuárias para atender as exigências do órgão ambiental. A remoção de nitrogênio é normalmente realizada no processo de lodos ativados (processos de nitrificação e desnitrificação) (MMA, 2009).

Na Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto, o tratamento é realizado de forma primária: o lodo primário flui para o poço de lodo através da raspagem feita por uma ponte removedora de lodo e espuma que circula pelo tanque, raspando o fundo e removendo o material flutuante, que é retirado manualmente e acondicionado em caçamba e destinado para o aterro sanitário, juntamente com os detritos e a areia (etapa preliminar). Neste local, o lodo passa pelo processo de secagem mecânica por centrifugação (desaguamento) e é estabilizado por meio da calagem (cal), que propicia a diminuição de patógenos e melhora seu manuseio para destino final. Os efluentes clarificados dos decantadores primários são lançados diretamente no Rio Meia Ponte, por gravidade, através de um canal de concreto (Silva, 2017).

Os processos biológicos são procedimentos realizados após o tratamento primário, necessitando da ação de microrganismos aeróbios ou anaeróbios, para que haja a transformação de matéria orgânica. O efluente proveniente da elevatória de esgoto seguirá para fossas sépticas, unidades de sedimentação e digestão geralmente fechadas, de

escoamento horizontal e contínuo. Pela decomposição anaeróbia, tais partículas se transformam em substâncias sólidas parcialmente mineralizadas, líquidos e gases. Após o material será encaminhado para tanques de aeração, aos quais o material residuário é intimamente misturado ao lodo ativado (microrganismos aeróbios) e é submetido a uma “oxidação biológica”. Por fim, o tanque de decantação auxiliará na separação de resíduos sólidos ainda existentes (Embrapa, 2010).

Ainda segundo Stein (2012), adaptado de Jordão (1997), o tratamento terciário ou avançado nem sempre está presente nas ETEs. Geralmente é constituída de unidades de tratamento físico-químico, tendo como objetivo a remoção complementar da matéria orgânica e de compostos não biodegradáveis, nutrientes, poluentes tóxicos, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes, e de patogenias por desinfecção dos esgotos tratados.

3. Toxicidade ambiental

Características biológicas e bioquímicas do solo, como atividade enzimática, taxa de respiração, diversidade e biomassa microbiana são indicadores sensíveis que podem ser empregados no monitoramento de alterações ambientais (Turco; Kennedy; Jawson, 1994; Quilchano & Maranón, 2002).

O impacto ambiental é dependente do contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo. Esse tipo de arranjo afeta a interação entre a água e o solo no sistema maior, solo-água-planta-atmosfera que governa inúmeros processos, entre os quais o movimento da água, nutrientes e agroquímicos no solo e a absorção de água e nutrientes pela planta. Assim, a incorporação de sólidos em suspensão (partículas de solo) ou dissolvidos (íons oriundos da dissolução de rochas) ocorre, mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais (ocupação do solo com matas e florestas). Neste caso, têm grande influência a cobertura e a composição do solo (Tucci, 1997; Andrade et al., 1998).

Testes de toxicidade são ferramentas desejáveis para avaliar a qualidade das águas e a carga poluidora de efluentes, uma vez que somente as análises físico-químicas tradicionais, devido à complexidade comportamental das misturas de agrotóxicos no solo, são insuficientes para identificar o risco ecológico potencial, pois não conseguem revelar a

biodisponibilidade dos compostos presentes no ambiente (Costa et al., 2008).

Vibrio fischeri é uma bactéria marinha bioluminescente gram-negativa que pode ser encontrada em vida livre e em associação mutualística com certas lulas e peixes. Os bioensaios com *V. fischeri* são utilizados para detecção de toxicidade e têm demonstrado vantagens como simplicidade, rapidez e baixo custo. Sua utilização é pautada na redução da quantidade de luz produzida pela bactéria, estando esta diretamente relacionada com a toxicidade da amostra (Bennett; Cubbage, 1992; Pandey et al., 2002; Stramosk, 2004).

Este estudo consiste na avaliação de parâmetros físico-químicos e biológicos do solo que margeia o curso do Rio Meia Ponte, a fim de demonstrar modificações observadas na Bacia Hidrográfica, principalmente com relação a locais de poluição pontual, como o lançamento de efluentes ou uso de agrotóxicos. A hipótese deste trabalho é a de que há depósito e acúmulo de efluentes ou uso de agrotóxicos no solo das margens do Rio Meia Ponte, mesmo após o tratamento da ETE Goiânia.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

- Investigar e monitorar o efeito da descarga de efluentes lançados no corpo hídrico Meia Ponte, por meio da análise de mapas de uso do solo, do metabolismo microbiano.

4.2. Objetivos Específicos

- Mapear e caracterizar a área de estudo quanto ao uso e cobertura do solo;
- Avaliar a qualidade do solo coletado nos pontos determinados, a partir de testes de pH e teor de umidade;
- Analisar a atividade de fosfatase ácida, beta-glicosidase e aril sulfatase nas amostras de solo;
- Avaliar a toxicidade pelo lançamento e acúmulo de efluentes no solo ao longo do curso do Meia Ponte, pela variação na luminescência da bactéria *Vibrio fischeri*;
- Relacionar o uso do solo com os dados obtidos das coletas em campo analisadas em laboratório.

5. METODOLOGIA

5.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em 6 pontos distribuídos ao longo do curso d'água da BHMP, para maior cobertura da área, desde sua nascente, anterior e posterior a ETE Goiânia, e por fim em sua foz. Dados referentes a características climáticas de cada ponto foram obtidos por meio das plataformas de mapas do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) e Atlas de Pastagens e Plataforma de Conhecimento do Cerrado, ferramentas produzidas pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG-IESA/UFG). Também foram utilizadas informações sobre o uso e ocupação do solo obtidas por meio do projeto MapBiomas. A partir disto, foram confeccionados mapas da área contendo o uso do solo ao longo do rio Meia Ponte, com o uso de técnicas de geoprocessamento, empregadas no software *QGIS 3.16.14*.¹

¹ SIEG: <http://www.sieg.go.gov.br/>

Atlas de pastagens: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>

Plataforma de conhecimento do Cerrado: <https://cepf.lapig.iesa.ufg.br/#/usodosolo>

MapBiomas: <https://mapbiomas.org/>

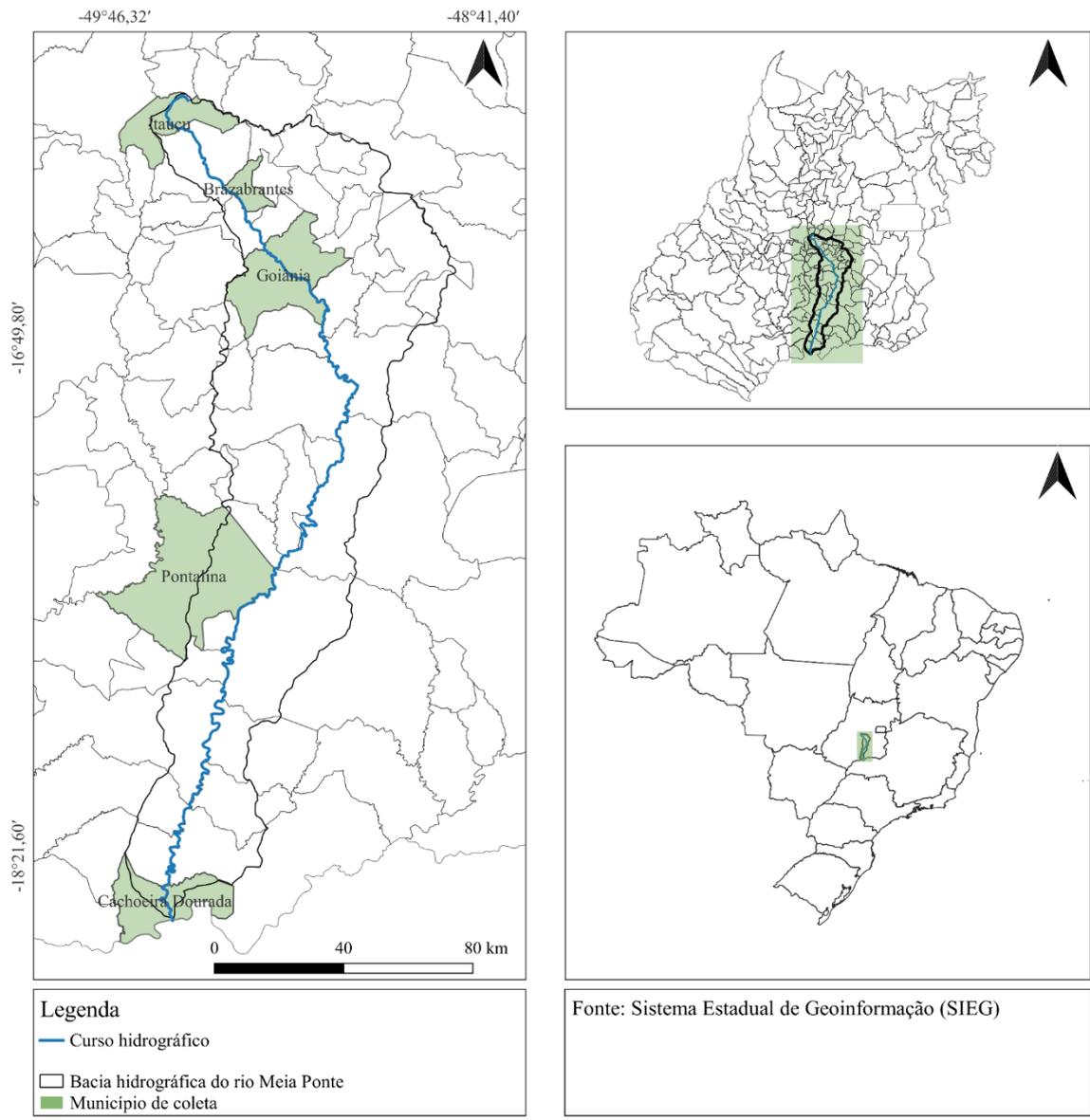


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, detalhando o limite da bacia do rio Meia Ponte e os municípios onde foram coletadas as amostras de solo deste trabalho.

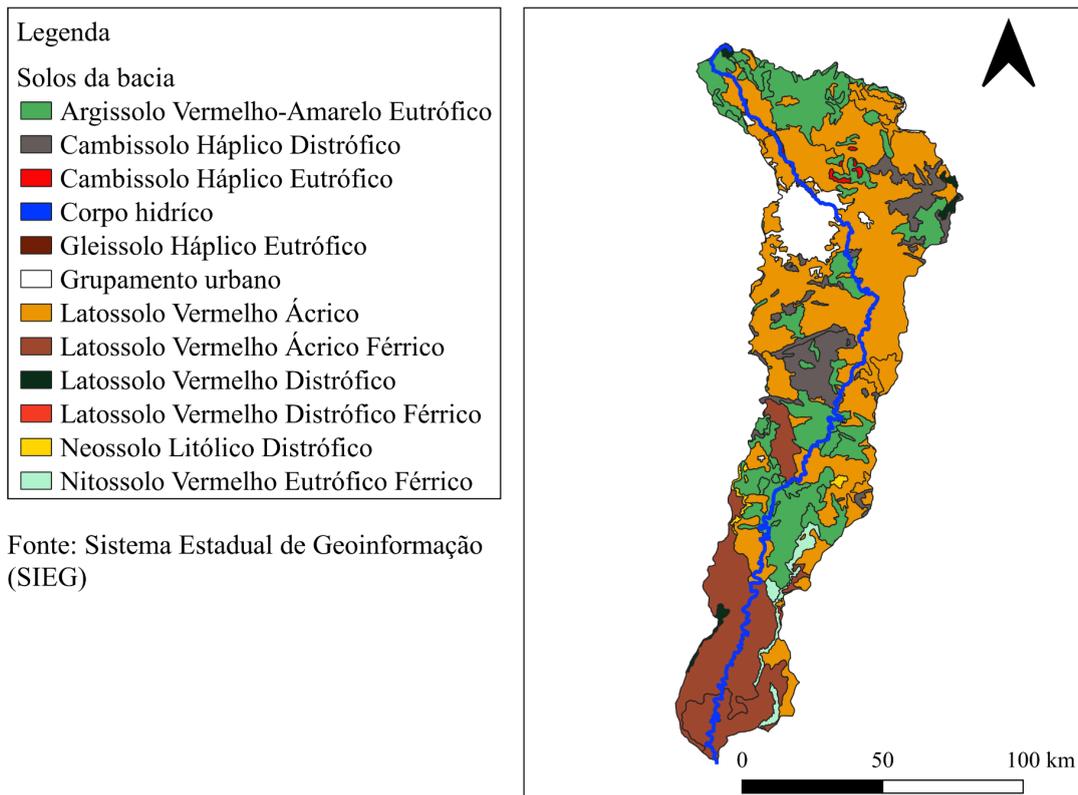


Figura 2. Tipos de solo observados na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte de acordo com classificação do Sistema Estadual de Geoinformação.

5.2 Coleta do solo

A coleta de material ocorreu em duas temporadas, verão (janeiro/2022 e fevereiro/2022) e outono (maio/2022), em 6 pontos distintos, distribuídos ao longo do rio Meia Ponte P1 – Itauçu, P2 – Brazabranes, P3 – Goiânia (Antes ETE), P4 – Goiânia (Após ETE), P5 – Pontalina e P6 – Cachoeira Dourada) (Figuras 3-4.) para verificação de possível variação em períodos climáticos distintos. Para cada ponto, foi recolhido material, formando amostras compostas por três subamostras, na profundidade de 0-0,2 m e a uma distância média de 5-10 m do leito do rio. O local de coleta foi delimitado em quadrados de (1x1m) segundo metodologia proposta por Babujia et al. (2010).

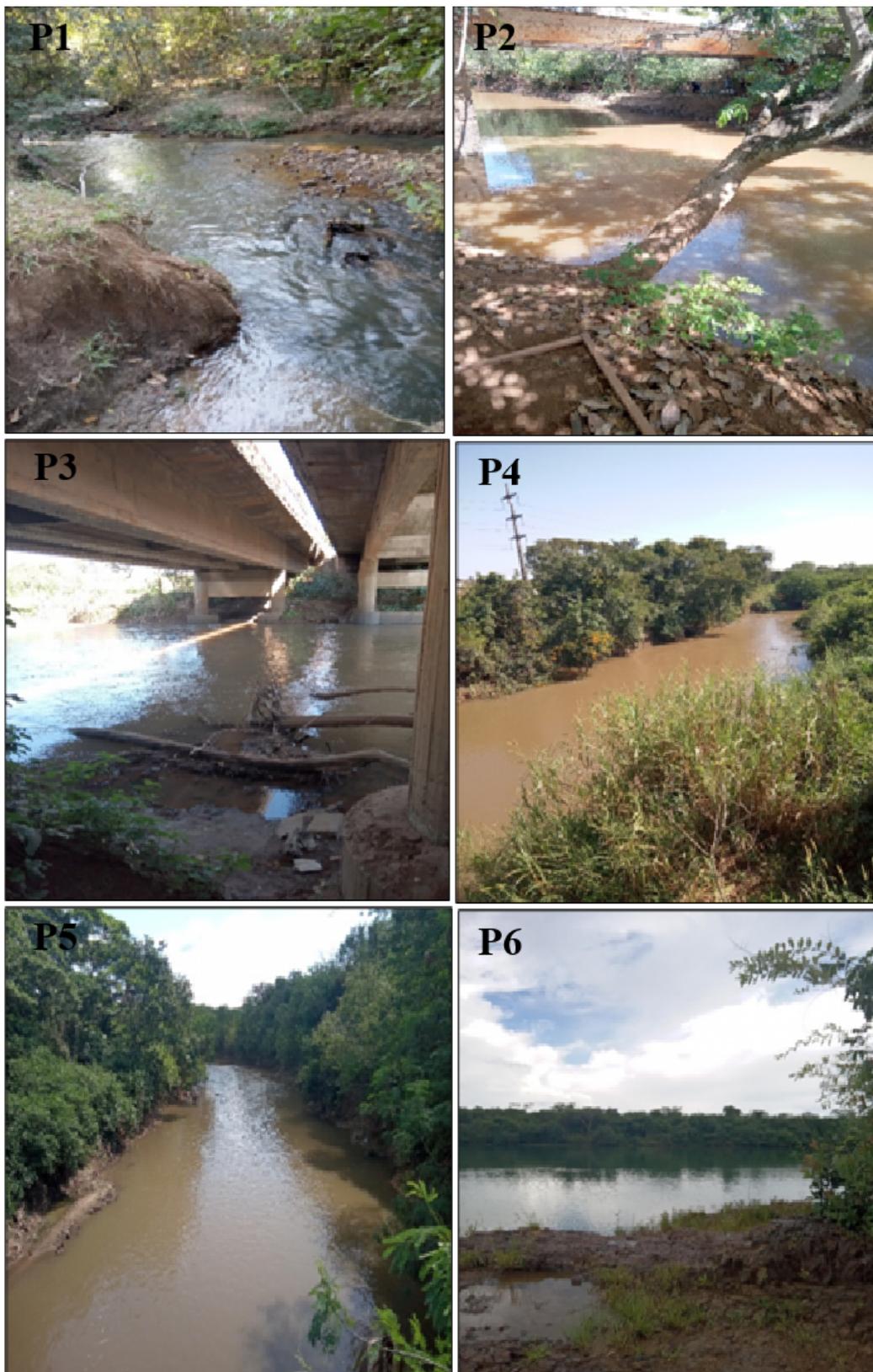


Figura 3. Pontos de coleta (respectivamente P1 – Itauçu, P2 – Brazabrantes, P3 – Goiânia anterior ETE, P4 – Goiânia após ETE, P5 – Pontalina e P6 – Cachoeira Dourada).

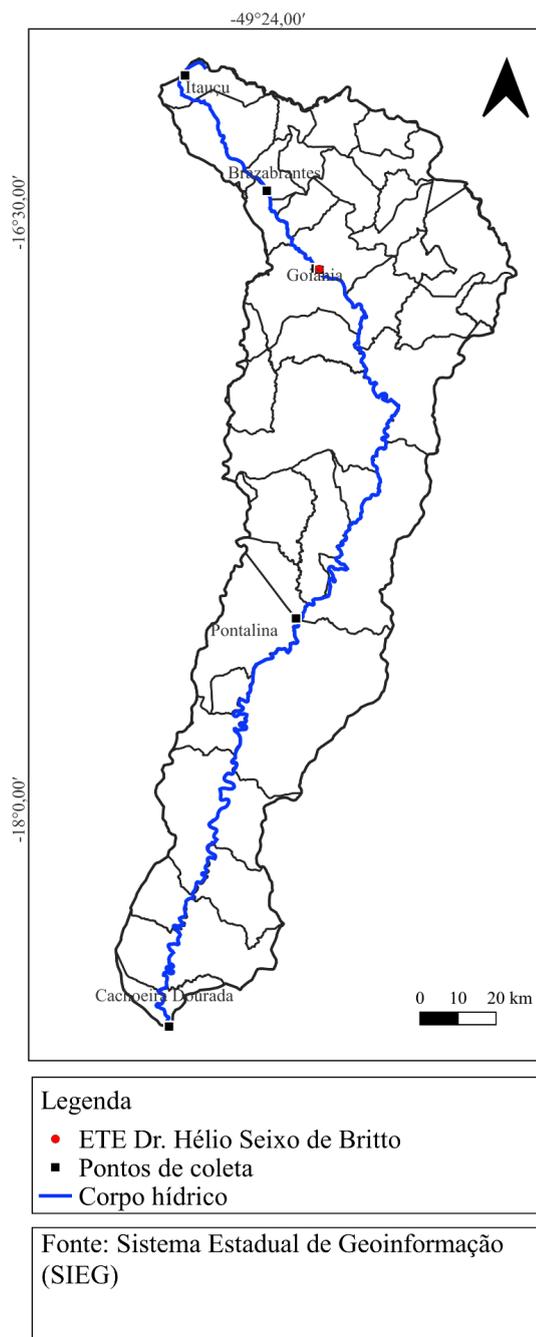


Figura 4. Mapa de localização dos pontos de coleta.

5.3 Análises físico-químicas

Após a coleta, as amostras foram homogeneizadas e tamisadas (2 mm) para remover materiais diversos, como raízes, folhas e estruturas de solo maiores, para

realização de ensaios físico-químicos. Por fim, todas as amostras preparadas e enumeradas foram armazenadas em sacos plásticos entre 4 °C e 8 °C (geladeira). As amostras foram submetidas a avaliações de pH e de retenção de umidade, ambas de acordo com metodologia proposta pela Embrapa (1997).

A determinação de umidade de cada amostra foi realizada após secagem de aproximadamente 3 g de solo, em estufa (Estufa microbiológica Fanem - 502) (a 105 °C, durante 48 h, realizada para padronizar a quantidade de solo utilizada nas análises enzimáticas, que foi baseada no teor de massa seca.

A determinação de pH foi feita a partir da suspensão de cada amostra em água e KCl, em uma proporção de 1:2,5. Após, a leitura foi realizada ao mergulhar os elétrodos do pHmetro (pHmetro com ATC Kasvi) na suspensão homogeneizada.

5.4 Atividade enzimática do solo

A atividade biológica do solo foi avaliada por meio da determinação de enzimas extracelulares integradas a ciclos de elementos indispensáveis ao solo, como o carbono (β -glicosidase), fósforo (fosfatase ácida) e enxofre (arilsulfatase), utilizando os métodos descritos por Baldrian et al. (2005) e adaptado por Zago et al. (2020). Tal metodologia baseia-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol (pNP) (coloração amarela) formado após a adição de substratos incolores específicos para cada enzima avaliada.

Para cada amostra de solo, coletada no campo, foram efetuadas três repetições analíticas no laboratório. A atividade enzimática do solo foi expressa em μg p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora de reação.

O solo foi inicialmente incubado (0,05 g) com substrato (p-nitrofenil- β -D-glicopiranosídeo ou p-nitrofenil-fosfato) a 40 °C por 1 h. Após a leitura de p-nitrofenol resultante da reação foi determinada por sobrenadante acrescido a carbonato de sódio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) em espectrofotômetro (Spectramax Paradygm, Molecular Devices) a 400 nm. Para o procedimento de arilsulfatase, o solo foi incubado (0,1 g) inicialmente com tolueno, a 20 °C por 1 h e depois com o substrato (p-nitrofenil sulfato), conforme metodologia de Whalen & Warman (1996). A leitura de p-nitrofenol resultante foi determinada por sobrenadante e NaOH ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$) em espectrofotômetro a 400 nm. e expressa em μg de p-nitrofenol por grama de solo por hora de reação.

O procedimento para a realização do controle diferiu-se apenas pela adição de

tampão acetato de sódio (0,05 mol L⁻¹; pH 5,0) em substituição ao substrato. A atividade enzimática foi determinada pela referência ao gráfico de calibração e expressa em micromol de produto formado por grama de solo seco por hora de reação ($\mu\text{mol de produto g}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

5.5 Atividade enzimática total

A atividade enzimática total foi calculada para cada ponto de amostragem. Foram utilizados os valores de atividade das enzimas relacionadas aos ciclos do carbono (β -glicosidase), fósforo (fosfatase ácida) e enxofre (arilsulfatase). Os dados foram reunidos, obtendo-se valores da somatória de atividade das três enzimas paracitadas.

5.6 Avaliação da toxicidade biológica do solo

O teste se pauta em monitoramento da ecotoxicidade aguda de amostras aquosas, utilizando bactérias luminescentes liofilizadas. A intensidade da luminescência das bactérias *Vibrio fischeri*, expostas à amostra é comparada com a intensidade da luminescência medida em um controle atóxico para as bactérias luminescentes (salina 2 %).

Foram utilizados 40 g de solo de cada ponto amostrado das duas coletas para realização do teste. Estes foram mantidos em câmara de germinação com fotoperíodo a 33 °C por 48 h. Em seguida, em cada amostra foram acrescidos 200 mL de água deionizada. As amostras foram homogeneizadas e posteriormente filtradas utilizando papel filtro tipo Whatman n. 1. O pH de cada amostra foi medido anteriormente, e ajustado entre 6,0 e 8,5 quando necessário para realização do ensaio.

5.7 Análise estatística

A partir da obtenção de dados referentes ao uso do solo, por meio do projeto Mapbiomas, foi realizada uma análise para verificar alterações existentes entre os anos de 1985 e 2020 quanto ao uso e ocupação do solo, através do software *R Studio*, e pacote estatístico *Hotelling*, disponível na plataforma.

Uma ANOVA Two-way foi construída para verificar a influência da proximidade a estação de tratamento de esgoto, assim como períodos de chuva e seca sobre a atividade enzimática. O teste de Tukey foi aplicado para avaliar as diferenças entre as médias de

atividade de cada enzima, nas quatro classes de uso do solo, dois períodos do ano e seis pontos de amostragem. Foram considerados significativos valores de $p < 0,05$.

6. RESULTADOS

6.1 Características climáticas da área de estudo

Conforme observado abaixo (Tabela 1), os valores referentes a dados climáticos em todos os pontos amostrados se mantiveram conforme literatura proposta por Nimer (1989), em que a temperatura média anual da região do Estado de Goiás varia entre 20 e 22 °C, podendo ser inferior a 20 °C em altitudes superiores a 1.200 m. A precipitação média anual varia de 1.500 a 1.750 mm, com um período chuvoso e quente entre os meses de outubro a abril e outro seco e frio de maio a setembro.

Tabela 1. Temperatura, precipitação média anual (últimos 15 anos) e localização geográfica dos pontos de amostragem.

Pontos de coleta	Coordenadas geográficas		T* (°C)	Precipitação anual* (mm)
	Latitude	Longitude		
P1 – Itauçu	16 °08'55" S	49 °36'16" O	22,8 °C	1440 mm
P2 – Brazabrantes	16 °26'05" S	49 °23'44" O	23,5 °C	1304 mm
P3 – Goiânia (Antes ETE)	16 °37'41" S	49 °16'13" O	23,4 °C	1270 mm
P4 – Goiânia (Pós ETE)	16 °38'31" S	49 °15'24" O	23,4 °C	1270 mm

P5 – Pontalina	17 °30'28" S	49 °18'14" O	24,0 °C	1231 mm
P6 – Cachoeira Dourada	18 °29'32" S	49 °31'03" O	25,0 °C	1349 mm

*T: temperatura e precipitação (Climate-data, 2022).

6.2 Avaliação da influência do lançamento de efluente sob as propriedades físico-químicas do solo

De acordo com Reatto et al. (1998), os solos do Cerrado apresentam pH ácido, elevado conteúdo de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes, tendo relação com a rocha de origem e com a vegetação que nele se estabelece. As áreas de rochas ricas em ferro e magnésio (como basalto, diabásio, gabro e granulitos ortodevivados) estão associadas a solos jovens e de maior fertilidade nas paisagens mais acidentadas, onde são mais facilmente intemperizáveis. Como observado a seguir (Tabela 2), o pH identificado nos pontos de coleta e estações variou entre 4,95 e 6,60, mantendo-se em uma faixa de acidez.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo ao longo do curso hídrico do rio Meia Ponte, Goiás.

Pontos de coleta	pH*		Umidade do solo* (%)	
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta	2ª coleta
P1 – Itauçu	6,60	5,42	7,29	10,43

P2 – Brazabrantes	4,95	5,65	9,35	9,78
P3 – Goiânia (Antes ETE)	5,80	6,02	5,98	7,69
P4 – Goiânia (Pós ETE)	6,05	6,41	4,96	6,91
P5 – Pontalina	6,48	6,55	2,75	4,52
P6 – Cachoeira Dourada	5,72	5,48	5,30	6,56

*pH e teor de umidade obtidos através de protocolo estabelecido pela Embrapa (1997).

No geral, a variação da acidez trocável não foi estatisticamente significativa, relacionada a pequena mudança nos valores de pH entre os tratamentos das amostras. Geralmente os solos brasileiros, em condições tropicais e subtropicais úmidas, são ácidos (pH < 7) e de acordo com a tabela 01 podemos verificar que mesmo com a adição de matéria orgânica no local os solos ainda se apresentam com pH abaixo de 7,0 (Santos; Lopes, 2013).

6.3 Uso e ocupação do solo

Nas últimas décadas, o Estado de Goiás passou por um grande processo de ocupação, em conformidade com a expansão agropecuária, a qual extinguiu aproximadamente 63% de sua vegetação natural. É, portanto, uma das áreas do Cerrado com maior déficit de remanescentes (Sano et al., 2008).

Segundo Borges & Oliveira (2021), no ano de 2018 houve um aumento de 1% nas áreas de vegetação e agropecuária na BHMP, o que pode ser observado por dados de área e

uso do solo nos pontos amostrados (Tabela 3; Figura 5.). Possivelmente, isto se dá pelo fato de que a utilização da agricultura de precisão e pecuária intensiva está se tornando mais presente para estas atividades.

Pontos de coleta	Área total (ha)*	Infraestrutura urbana	Área vegetada	Área não vegetada	Área de pastagem (ha)*	Área de cultura (ha)*	
						Soja	Milho
P1 - Itauçu	38.384,20	169,90	7.555,84	35,55	28.650,62	613.891.431	132.665.184
P2 – Brazabrantes	12.307,25 7	111,42	2.144,45	26,79	8.793,05	436. 893.545	54.341.838
P3/P4 – Goiânia	72.884,10	26.869,57	1.437,345	402,83	27.904,93	49.439,25	45.378,86

P5 – Pontalina	143.696,4 66	453,25	26.833,01	45,23	68.976,75	38.652,63	67.896,558
P6 – Cachoeira Dourada	52.820,60	349,59	4.549,869	114,44	14.190,19	2.839,827	64.600,065

*Dados obtidos por meio da Plataforma de Conhecimento do Cerrado.

Tabela 3. Características de uso e cobertura do solo dos pontos de coleta localizados em cinco municípios do estado de Goiás, ao longo das margens do rio Meia Ponte.

mercado interno, além de áreas direcionadas a pecuária, para a produção leiteira e de carne (SEPLAN, 2007; Goiás, 2016; Vilela & Costa e Silva, 2021).

Segundo a FAO (2006), a pecuária também exerce impactos ao meio, relacionados ao pastejo; à produção de grãos para alimentação do gado; poluição dos solos e recursos hídricos por meio da emissão de nutrientes e resíduos orgânicos que contenham patógenos e produtos químicos; emissão de gases de efeito estufa, alguns dos quais contribuem para a mudança climática e redução da biodiversidade devido à demanda por terra para pastagem.

Os desmatamentos desordenados para o desenvolvimento da agropecuária quase sempre são acompanhados da ablação dos horizontes orgânicos dos solos, empobrecendo-os bioquimicamente e intensificando o assoreamento dos leitos fluviais, potencializando o desequilíbrio hídrico em uma bacia hidrográfica (Nascimento, 2003; Calheiros, 2009).

Portanto, há programas direcionados ao monitoramento e governança de águas por parte do Governo de Goiás, como o Comitê de Bacia Hidrográfica do Meia Ponte (CBH-MP). No entanto, como observado através de referências e do próprio sítio do comitê, o objetivo primordial refere-se a “definição de uma agenda de recursos hídricos, identificando ações de gestão, programas, projetos, obras e investimentos prioritários, dentro de um contexto que inclua os órgãos governamentais, a sociedade civil, os usuários e as diferentes instituições que participam do gerenciamento dos recursos hídricos” (CBH-MP, 2021). Sendo assim, avaliações de outros parâmetros não são realizados, mesmo após inúmeras portarias, ofícios e reuniões ordinárias.

6.4 Avaliação da influência do lançamento de efluente nas propriedades bioquímicas do solo

Na análise bioquímica das amostras de solos coletados, as enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase não demonstraram sensibilidade proveniente do lançamento de efluentes.

Para β -glicosidase, os diferentes pontos, anteriores e posteriores a ETE, bem como o período de coleta não se diferiram estatisticamente (Tabela 4). Os solos coletados nos pontos 4, 5 e 6 (Goiânia, Pontalina e Cachoeira Dourada respectivamente) apresentaram os menores valores (5.077647, 5.072314 4.666647 $\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$), apesar de não

denotarem diferença significativamente estatística perante os demais pontos, mesmo em um único período de coleta.

Tabela 4. Atividade da enzima β -glicosidase no solo dos pontos coletados ao longo do rio Meia Ponte, estado de Goiás.

Pontos de coleta	Atividade de β -glicosidase ($\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) *	
	1 ^a coleta	2 ^a coleta
P1 – Itauçu	5.747314	5.383647
P2 – Brazabrantes	5.130647	5.319647
P3 – Goiânia (Antes ETE)	5.09898	5.072314
P4 – Goiânia (Pós ETE)	5.077647	5.08498
P5 – Pontalina	5.072314	5.075314
P6 – Cachoeira Dourada	4.666647	5.100314

*Dados referentes às médias obtidas.

Para a enzima fosfatase ácida, destaca-se o valor observado em P1 (Itauçu) ($11.14827 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). No entanto, com a realização de análises estatísticas, foi constatado que embora exista uma variação (Tabela 5), esta não é significativa, em ambos parâmetros, pontos anteriores e posteriores a ETE e período de coleta.

Tabela 5. Atividade da enzima fosfatase ácida no solo dos pontos coletados.

Pontos de coleta	Atividade de fosfatase ácida ($\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) *	
	1ª coleta	2ª coleta
P1 – Itauçu	11.14827	7.327606
P2 – Brazabrantes	5.915273	6.881606
P3 – Goiânia (Antes ETE)	7.340939	6.376273
P4 – Goiânia (Pós ETE)	6.564606	7.075273
P5 – Pontalina	7.867273	6.705606
P6 – Cachoeira Dourada	7.463939	5.401273

*Dados referentes às médias obtidas.

Para a enzima arilsulfatase, foi observado uma diferença significativa entre os grupos considerando-se os dados coletados em cada temporada de coleta, independente da localização do ponto (P-value: 0.01579) (Tabela 6). A arilsulfatase é constituída por um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de éteres de arilsulfatos orgânicos.

Tabela 6. Atividade da enzima arilsulfatase no solo dos pontos coletados.

Pontos de coleta	Atividade de arilsulfatase ($\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) *	
	1ª coleta	2ª coleta
P1 – Itauçu	6.341939	4.999273
P2 – Brazabrantes	5.575606	4.747606

P3 – Goiânia (Antes ETE)	5.426273	4.753273
P4 – Goiânia (Pós ETE)	4.847939	4.616939
P5 – Pontalina	5.211939	5.331939
P6 – Cachoeira Dourada	4.710606	4.764606

*Dados referentes às médias obtidas.

Boa parte do enxofre na superfície dos solos está presente na forma de éster sulfato (sulfato orgânico), sugerindo que a arilsulfatase pode ter um papel importante no processo de mineralização do enxofre orgânico do solo. Esse resultado demonstra que a enzima arilsulfatase apresenta potencial para predizer mudanças na atividade da biomassa microbiana em solos sob Cerrado. Variações na atividade enzimática, geralmente refletem mudanças nas propriedades físico-químicas do solo (Tababai, 1994; Yang et al., 2012).

Ao realizar-se a Análise multivariada (Manova), utilizada para comparação geral dos dados das atividades enzimáticas, pH e umidade do solo para os pontos anteriores e posteriores a Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto e a estação climática de coleta, obteve-se o valor de $P > 0.04904$.

6.5 Atividade enzimática total

A avaliação conjunta das atividades de enzimas relacionadas ao ciclo do carbono (β -glicosidase), juntamente com enzimas do ciclo do fósforo (fosfatase ácida) e ciclo do enxofre (arilsulfatase) para avaliar a influência do lançamento de efluente sobre a atividade biológica está apresentada na Figura 6.

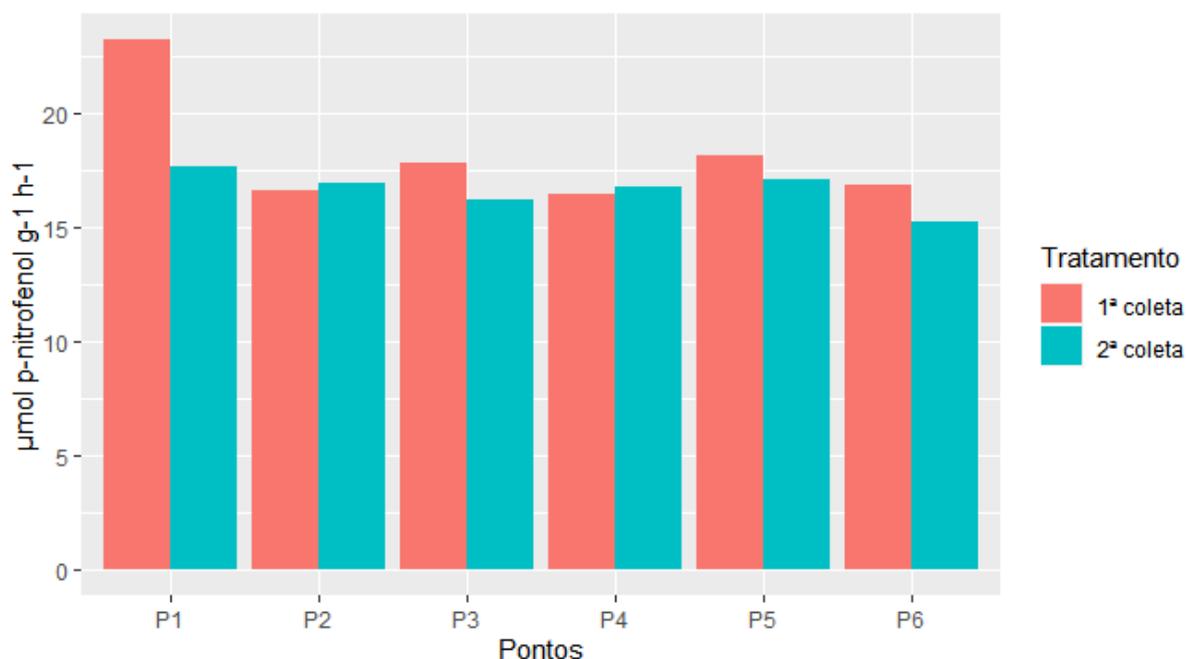


Figura 6. Gráfico de atividade enzimática total observada em cada ponto de coleta.

Como observado, a variação de atividade total não foi estatisticamente expressiva entre os pontos e períodos de coleta. No entanto, destaca-se P1 (Itauçu) em período de chuva. Conforme observado através da Tabela 7, este ponto obteve um valor de 23,237523 $\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Tal fator se deve principalmente ao valor da enzima fosfatase ácida, um pouco mais elevada.

Tabela 7. Atividade da enzimática total no solo dos pontos coletados.

Pontos de coleta	Atividade enzimática total ($\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) *	
	1ª coleta	2ª coleta
P1 – Itauçu	23,237523	17,710526
P2 – Brazabrantés	16,621526	16,948859

P3 – Goiânia (Antes ETE)	17,866192	16,20186
P4 – Goiânia (Pós ETE)	16,490192	16,777192
P5 – Pontalina	18,151526	17,112859
P6 – Cachoeira Dourada	16,841192	15,266193

*Dados referentes às médias obtidas para cada enzima e a somatória destas por ponto de coleta.

6.6 Avaliação da toxicidade do solo

Os resultados mostrados sugerem maiores taxas de toxicidade em ambas estações climáticas de solos localizados nos municípios de Itauçu, Brazabrantes (anteriores a ETE), Goiânia e Cachoeira Dourada (posteriores a ETE) (Tabela 8). Os pontos 3 (Goiânia – Anterior a ETE) e 5 (Pontalina – Posterior a ETE) não apresentaram toxicidade, em nenhum dos períodos climáticos avaliados.

Este resultado pode sugerir também que essas taxas de toxicidade estejam associadas ao lançamento de outros tipos de efluentes que não foram tratados pela ETE, como agrotóxicos. A atividade agropecuária é distribuída em aproximadamente 84,8% da área total da BHMP, sendo Goiatuba (soja, milho, cana-de-açúcar e algodão, posterior ao P5) e Cachoeira Dourada (algodão, P6) os principais municípios relacionados a esta atividade (SEMAD, 2001).

Tabela 8. Resultado da análise de toxicidade do solo coletado próximo ao Rio Meia Ponte expressa pela biomassa liofilizada de *Vibrio fischeri*.

Pontos de coleta	Resultado – 1ª coleta (%) *	Resultado – 2ª coleta (%) *
-------------------------	----------------------------------------	----------------------------------------

P1 - Itauçu	30,14%	29,03%
P2 – Brazabrantes	35,17%	22,80%
P3 – Goiânia (Antes ETE)	13,62%	14,21%
P4 – Goiânia (Pós ETE)	22,49%	37,60%
P5 – Pontalina	11,49%	17,92%
P6 – Cachoeira Dourada	38,38%	27,08%

*(%) referente a inibição de bioluminescência da bactéria *Vibrio fischeri*.

Ao analisar os dados referentes à toxicidade com relação ao Atlas Geográfico do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia (2017), observa-se que os municípios de Itauçu, Brazabrantes, Goiânia e Cachoeira Dourada (P1, P2, P4 e P6) apresentam taxa de 22,13 a 29,82%, evidenciando a degradação do ambiente natural presente na nascente. A avaliação de estudos sobre o comportamento dos agroquímicos no ambiente, em conjunto com resultados obtidos em bioensaios, realizados com diferentes organismos-teste, assume extrema importância para a criteriosa análise do risco potencial de impacto desses compostos sobre o meio ambiente (Resgalla Jr. et al., 2007).

Entretanto, outros efeitos influenciam fortemente a concentração dos metais e materiais tóxicos na água dependendo da pluviosidade. Ao mesmo tempo em que o escoamento superficial, e consequente carreamento dos metais para os corpos d'água, é mais intenso no período chuvoso, há o aumento da vazão que contribui para a diluição dos mesmos. Destaca-se ainda que o escoamento superficial pelas águas de chuva normalmente leva a picos de concentração de contaminantes após eventos de intensa precipitação que podem não ser detectados quando se utiliza esquema de amostragem pontual em datas pré-programadas, como foi o caso do presente estudo (Bian et al., 2011; Laabs et al., 2002).

7. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou a relação proposta entre o lançamento de efluentes em um corpo hídrico no estado de Goiás e a atividade enzimática, bem como toxicidade ambiental do solo desta região. Além disso, uma avaliação do uso e ocupação do solo da área também foi realizada, para determinar a possível degradação de uma bacia hidrográfica. Os resultados revelaram que a atividade de enzimas relacionadas aos ciclos de carbono, fósforo e enxofre comportaram-se de forma igualitária entre pontos anteriores e posteriores a ETE, principal fonte de resíduo efluente.

A atividade biológica também não expressou alterações significativas quanto ao período de coleta. Esses resultados demonstram que o fluxo do corpo hídrico, aliado ao lançamento de um efluente que passa por tratamento primário, propicia o não acúmulo de matéria orgânica, sendo assim, não há mudanças no metabolismo de organismos edáficos. No entanto, observa-se também distinções consideráveis no uso e ocupação do solo em toda a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, o que deve-se principalmente à implantação de culturas anuais e crescimento demográfico no estado, principalmente na região metropolitana, onde está localizada esta.

Quanto a toxicidade ambiental expressa através do teste de *V. fischeri*, é possível evidenciar o possível transporte e acúmulo de material tóxico ao longo de toda a bacia, principalmente em ambientes de agricultura familiar e de alta produtividade, como é o caso dos pontos localizados na nascente, no município de Itauçu e em sua foz, localizada no município de Cachoeira Dourada. Apesar de já existir um comitê responsável pelo monitoramento de recursos hídricos desta bacia, faz-se essencial a utilização de parâmetros múltiplos para uma avaliação contínua e possíveis estratégias de mitigação e preservação do ambiente natural da região. Sendo assim, as hidrolases podem ser úteis no monitoramento da qualidade do solo, aliadas a outros critérios avaliativos e recorrentes.

8. REFERÊNCIAS

ABESSA, D.s prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 31, p. 769-777, 1999.

AMADO, T. J. C., et. al. Cover crops, total soil nitrogen accumulation and corn yield. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.*, v. 23, p. 679-686, 1999.

ANDRADE, C. de L. T. de. et al. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1998.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, Academic Press, p. 576, 1995.

ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. S.; TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Sci. Technol. Maringá*, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* v. 22, p. 251–255, 1990.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ARENZON, A. Ensaio ecotoxicológicos no monitoramento da qualidade de águas subterrâneas potencialmente impactadas. Tese de doutorado em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BARDGETT, R. D.; STREETER, T. C.; COLE, L.; HARTLEY, I. R. Linkages between soil biota, nitrogen availability, and plant nitrogen uptake in a mountain ecosystem in the

- Scottish Highlands. *Appl. Soil Ecol.* v. 19, p. 121–134, 2002.
- BASU, S.; JOSHI, S. K.; PATI, D. P.; BEHERA, N. Soil respiration in relation to microbial biomass in a tropical deciduous forest floor from India. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* v. 28, p. 377–386, 1991.
- BENNETT, J.; CUBBAGE, J. Review and evaluation of Microtox test for freshwater sediments. Olympia, WA Washington State Department of Ecology, 1992.
- BERGSTROM, D. W.; MONREAL, C.M.; KING, D.J. Sensitivity of soil enzyme activities to conservative practices. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.62, p.1286-1294, 1998.
- BIAN, B.; CHENG, X.-J.; LI, L. Investigation of urban water quality using simulated rainfall in a medium size city of China. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 183, p. 217-229, 2011.
- BOMBARDI, L. M. Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a união europeia. FFLCH – Laboratório de Geografia Agrária – USP, 2017.
- BORGES, V. S.; OLIVEIRA, W. N. de. Análise multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio meia ponte. *REEC*, v. 17, n. 1, p. 79-93, 2021.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The Nature and Properties of Soils*. 13th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, p. 960, 2002.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006.
- BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils* v. 19, p. 269–275, 1995.
- BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto OuroVerde – Conchal, SP. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p.742-748, 2005.

CALIL, P. M. 2009. Potencial De Uso Por Atributos Morfométricos Dos Solos Da Bacia Hidrográfica Do Alto Rio Meia Ponte, Goiás. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água. Goiânia, GO – Brasil.

CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W., SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.* v. 8, p. 559–568, 1998.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B. C.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A., eds. Sustainable management of soil organic matter. Wallingford, CAB International, p. 9-2, 2001.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, p. 385, São Paulo, 1999.

CLIMATE-DATA. Dados climáticos para cidades mundiais, 2022. Disponível em: <http://pt.climate-data.org/>. Acessado em: 21/08/2022.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.; BOTTA, C.M.; ESPINDOLA, E.L.G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Revista Química Nova*, v. 31, n. 7, 2008.

COSTA, F. D. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CUNHA, A. C.; DA, CUNHA, H. F. A.; BRASIL JÚNIOR, A. C. P.; DANIEL, L. A.; SCHULZ, H. E. Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 322–328, 2004.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S. O.; KURE, L. K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage

sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Appl. Soil Ecol.*, v. 19, p.237-248, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. V.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Science Society of America, American Society of Agriculture, Madison, p. 3–21, 1994.

EDZWALD, J. K. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, p. 2077-2106, 2010.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.*, v. 20, p. 601-606, 1988.

EMBRAPA, 2010. *Manual de Operação e Manutenção da Estação de Tratamento de Efluentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos*, 21. ed.

FERNANDES, L.A. Formas de alumínio, de fósforo e fosfatase ácida em solos de várzea cultivados com feijoeiro: influência de calagem e fósforo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 111p. (Tese de Doutorado). 1999.

FERREIRA, R. R.; CAVENAGHI, A. L.; VELINI, E. D.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; BRAVIN, L. F. N.; TRINDADE, M. L. B.; PADILHA, F. S. Monitoramento de fitoplâncton e microcistina no Reservatório da UHE Americana. *Planta Daninha*, v. 23, p. 203-14, 2005.

GREGORICH, E. C.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* v. 74, p. 367–385, 1994.

GUIMARÃES, L. H. S.; TERENCEZI, H. F.; JORGE, J. A.; LEONE, F. A.; POLIZELI, M. de L. T. Characterization and properties of acid phosphatases with phytase activity produced by *Aspergillus caespitosus*. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, v. 40, p. 201-207, 2004.

JARVIE, H. P.; WHITTON, B. A.; NEAL, C. Nitrogen and phosphorus in east-coast British rivers: speciation, sources and biological significance. *Sci. Tot. Environ.*, p. 210–211, 1994.

JIMENEZ, P.; ORTIZ, O.; TARRASON, D.; GINOVART, M. & BONMATI, M. Effect of differently post-treated dewatered sewage sludge on β -glucosidase activity, microbial biomass carbon, basal respiration and carbohydrate contents of soils from limestone quarries. *Biol. Fert. Soils*, v. 44, p. 393-398, 2007.

JORDAN, D., et. al. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. *Biology and Fertility of Soils*, Heidelberg, v.19, p.297-302, 1995.

JORDÃO, E. P., et al. Controle microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – estudo em escala piloto. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997, Foz do Iguaçu (PR).

KARLEN, D. L., et. al. Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 61, p. 4-10, 1997.

KERN, J. S., JOHNSON, M. G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 57, p. 200-210, 1993.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, v. 170, p. 75-86, 1995.

MARÇAL, D. A; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 22, n.4, p. 761-772, 2017.

LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A. A.; WANTZEN, M.; SILVA, C. J.; ZECH, W. Pesticides in Surface Water, Sediment, and Rainfall of the Northeastern Pantanal Basin, Brazil. *Environmental Quality*, v. 31, p. 1636-1648, 2002.

LISBÔA, R. M. Avaliação toxicológica de solo contaminado com efluente sanitário. Dissertação (Conclusão de Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria., 2017.

MENDES, I. C. et al. Soil quality and grain yield: a win-win combination in clayey tropical Oxisols. *Geoderma*, v. 388, 2021.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa Nacional de capacitação de gestores ambientais: Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA, p. 67, 2009.

MOGHIMIAN, N. et al. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. *Catena*, v. 157, p. 407-414, 2017.

NAHAS, E.; ASSIS, L. C. Efeito da adição ao solo de fosfato solúvel obtido por via microbiológica a partir de fluorapatita. *Revista Latinoamericana de Microbiologia*, México, v. 33, n. 2/3, p. 225-229, 1991.

NIMER, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro.

NOORI, R.; BERNDTSSON, R.; HOSSEINZADEH, M.; ADAMOWSKI, J. F.; ABYANEH, M. R. A critical review on the application on the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, v. 244, p. 575-587, 2019.

OLIVEIRA, J. R. A. O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado. Brasília, Universidade de Brasília, p. 115, 2000.

PATHAK, S. P.; KUMAR, S. Potability of water sources in relation to metal and bacterial contamination in some northern and northern-eastern districts of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 33, p. 151-160, 1994.

PANKHURST, C. E.; HAWKE, B. G.; MCDONAL, H. J.; KIRKBY, C. A.; BUCKERFIELD, J. C.; MICHELSEN, P.; O'BRIEN, K. A.; GUPTA, V. V. S. R.; DOUBE, B. M. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 35, p. 1015–1028, 1995.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Disposição de lodo de ETE de indústria alimentícia no solo: efeitos na água subterrânea. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 36, n. 2, p. 275 – 283, 2017.

POSTEL, S. L.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Human appropriation of renewable fresh water. *Sci*, v. 271, n. 5250, p. 785–788, 1996.

Proposta de instituição do comitê da bacia hidrográfica do rio meia ponte, conforme resolução nº 003, de 10 de abril de 2001, do conselho estadual de recursos hídricos.

PURCENA, L. L. A. Prospecção de enzimas de solo de Cerrado sob cultivo de cana-de-açúcar. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia da Universidade Federal de Goiás, 2014.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.

RALISCH, R. et al. O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES. Procedimentos para amostragem. Preparo e manipulação da amostra de solo. Atribuição de notas de qualidade estrutural. Embrapa Soja, p. 2176-2937, 2017.

Ranking Abes Da Universalização Do Saneamento, 2021. Disponível em: http://abes-dn.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Ranking_2021_1917_7_compressed.pdf

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. p.47-86, 1998. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (ed.) Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, v. 12, p. 556.

RELATÓRIO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO MUNICIPAL. Atlas Esgotos (Despoluição de Bacias Hidrográficas), 2017.

RESGALLA, Jr. et al., Risk analysis of herbicide quinclorac residues in irrigated rice areas, Santa Catarina, Brazil. *Ecotoxicology*, v. 16, p. 565-571, 2007.

RODRIGUES, F. D. C.; CARVALHO, E. H. Analysis of the costs of operation and maintenance of the sewage treatment station Hélio Seixo de Britto.

SAIYA-CORK, D. R.; SINSABAUGH, R. L.; ZAK, D. R. The effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 34, p. 1309-1315, 2002.

SANO, E. E. et. al. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás, 2008. In: Ferreira Júnior, L. G. (Org). A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado. Goiânia-GO: Editora Universidade Federal de Goiás, p. 91 –

SANTOS, P. P., et al. Qualidade microbiológica de afluentes e efluentes de estações de tratamento de água e esgoto de Goiânia, Goiás. *Revista de patologia tropical*, v. 39, n. 3, p. 173-, 2010.

SANTOS, A. S.; LOPES, R.L. 2013. Características do solo das valas de infiltração de efluentes da ete ponta negra. IX CONGIC IFRN.

SEMAD (Secretária Estadual do Meio Ambiente). Proposta De Instituição Do Comitê Da Bacia Hidrográfica Do Rio Meia Ponte. Conforme 187 Resolução N° 003, De 10 De Abril De 2001, Do Conselho Estadual De Recursos Hídricos, 2011.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. Indicators for evaluating soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v. 98, p. 255-262, 2003.

SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage Res.*, v. 87, p. 194-204, 2006.

SILVA, S. B. ETE Goiânia-Go: estudo ambiental e gestão do lodo. Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS- IFG), 2017.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável Soil quality: biological indicators for sustainable management. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2ª Ed. Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS, ABRH, p. 35-51, 2001.

SIMPSON, J. M.; SANTO DOMINGO, J. W.; REASONER, D. J. Microbial source

tracking: state of the science. *Environ. Sci. Technol.*, v. 36, n. 24, p. 5279–5288, 2002.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study. *Water Research*, Amsterdam, v. 38, n. 18, p. 3980-3992, 2004.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M. et al. Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. EMBRAPA-CNPAF, p. 142, 1994.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter, mechanisms and controls. *Geoderma*, v. 74, n. 65, p.105, 1996.

SOUZA, R. A. S. Avaliação das frações de fosfato como indicadores de eutrofização de águas superficiais. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais, p. 243, 2005.

STEIN, R. T. Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia, visando o reuso. Trabalho de Conclusão de Curso II (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Centro Universitário Univates, 2012.

STRAMOSK, C. A. Uso de ensaios de biotoxicidade com bactérias luminescentes (LUMISTOX) para a avaliação da qualidade da água do Rio Itajaí-Açú- SC. Itajaí, Monografia (Graduação em Oceanografia), Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, 2004.

SZYMANSKA, M.; BURANDT, P.; BAKOWSKA, M.; SOWINSKI, P.; MROZINSKA, N.; OBOLEWSKI, K. Long-term effects of hydromorphological stream restoration on changes in microhabitats of *Ephemera Danica* (Ephemeroptera) and its population. *Ecological Indicators*, v. 109, p. 105810, 2020.

TABATABAI, M. A. Enzimas. IN: WEAVER, R. W. et. al. Métodos de análise do solo. Madison, Soil Science Society of America, p. 775-833, 1994.

TATE, R. L. The sulfur and related biogeochemical cycles. In: TATE, R. L. (Ed.). Soil

microbiology, New York: J. Willey, p. 359-373, 1995.

TELLES, D. A.; COSTA, R. H. P. G. Reuso da água: Conceitos, teorias e práticas. 1ª Edição, 2007.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 223-230, 2008.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M. C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 32, n. 13, p. 1867–1875, 2000.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2ªed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997.

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. C.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W., et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p.73- 90, 1996.

UTIDA, M. K., et. al. Atividade enzimática e diversidade funcional da microbiota de cinco ecossistemas em um solo de cerrado, 2004.

VEIGA, A. M.; CARDOSO, M. R. D.; LINO, N. C. Caracterização Hidromorfológica da Bacia do Rio Meia Ponte. XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos – Maceió, 2011.

VEIGA, A. M., et. al. Caracterização hidromorfológica da bacia do rio meia ponte. *Caminhos de Geografia*, v. 14, n. 36, p. 126-138, 2013.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgoto. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 2. 2ª ed. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. 211 p.

QUILCHANO, C.; MARANÓN, T. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils.

Biology and Fertility of Soils, Berlin, v. 35, n. 2, p. 102-107, 2002.

YANG, D. et al. Chemical and microbial properties in contaminated soils around a magnesite mine in northeast china. Land Degradation and Development, v.23, p.256-262, 2012.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola, Brasília Embrapa-CNPAF; Embrapa-CNPSO, p.419-436, 1994.