

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU SENSU* EM  
SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA**

**JOICE MACHADO GARCIA**

**QUALIDADE HÍDRICA DE PROPRIEDADE RURAL  
NO ÂMBITO DO PROGRAMA DE PAGAMENTO  
POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA-ÁGUA)  
CAMPINAS/SP**

**CAMPINAS**

**2021**

**JOICE MACHADO GARCIA**

**QUALIDADE HÍDRICA DE PROPRIEDADE RURAL  
NO ÂMBITO DO PROGRAMA DE PAGAMENTO  
POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA-ÁGUA)  
CAMPINAS/SP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como exigência para a obtenção do Título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Regina Márcia Longo

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Adélia de Jesus Nobre Nunes

**CAMPINAS**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

628.1 Garcia, Joice Machado  
G216q

Qualidade hídrica de propriedade rural no âmbito do programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA-Água) Campinas/SP / Joice Machado Garcia. - Campinas: PUC-Campinas, 2021.

133 f.: il.

Orientador: Regina Márcia Longo; Coorientador: Adélia de J. Nobre Nunes.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana ) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana , Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Água - Qualidade. 2. Solo - Uso. 3. Bacias hidrográficas. I. Longo, Regina Márcia. II. Nunes, Adélia de J. Nobre III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana . IV. Título.

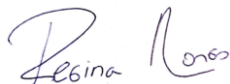
CDD - 18. ed. 628.1

**JOICE MACHADO GARCIA**

**QUALIDADE HÍDRICA DE PROPRIEDADE RURAL  
NO ÂMBITO DO PROGRAMA DE PAGAMENTO  
POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA-ÁGUA)  
CAMPINAS/SP**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.  
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.  
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Regina Márcia Longo.  
Co-orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Adélia de Jesus Nobre Nunes.

Dissertação defendida e aprovada em 5 de fevereiro de 2021 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Profa. Dra Regina Márcia Longo  
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas




---

Prof. Dr. Rodrigo Custódio Urban  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Profa. Dra. Adélia de Jesus Nobre Nunes  
Universidade de Coimbra



---

Prof. Dr. Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima  
Coordenador de Informações Ambientais - Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Município de Campinas

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a Deus pela vida e saúde e pelas pessoas colocadas em meu caminho que o tornaram mais leve e prazeroso.

À Profa. Dra. Regina Márcia Longo, pela amizade e orientação, pelo incentivo constante e suporte necessário ao desenvolvimento deste trabalho. Por ter estado ao meu lado ao longo dos anos de graduação e pós-graduação. Pela parceria e cuidado.

À Profa. Dra. Adélia de Jesus Nobre Nunes pela disposição e contribuição na coorientação deste trabalho.

À Banca examinadora de defesa por ter atendido ao convite para desempenhar este papel, dispondo de seu tempo e conhecimento para analisar este trabalho e pelas pertinentes colaborações.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas pela infraestrutura necessária à realização deste projeto e aos técnicos e funcionários dos laboratórios de saneamento, solos, química e instalações elétricas da referida universidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento de materiais para análise laboratorial.

À Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura Municipal de Campinas pela solicitude, auxílio e acompanhamento na coleta em campo e fornecimento de dados necessários a esta pesquisa.

Aos proprietários da fazenda de estudo, pela possibilidade de desenvolvimento do projeto e entusiasmo na pesquisa.

À família e amigos, por serem presentes, pela paciência e pelo incentivo dedicado ao longo destes anos de aprendizado, tornando possível a concretização de mais esta etapa.

# RESUMO

GARCIA, Joice Machado. **Qualidade hídrica de propriedade rural no âmbito do programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA-Água) Campinas/SP**. 2021. 133 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

A atual escala de intervenção antrópica na dinâmica da paisagem, aliado ao agravamento das condições ambientais frente a mudanças climáticas tornou evidente a necessidade de se compreender os serviços ecossistêmicos como essenciais para a sobrevivência da espécie humana. É neste contexto que surgiu o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como um mecanismo de estímulo à proteção ambiental. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estabelecer indicadores e avaliar a qualidade da água em uma propriedade rural inserida na Zona de Proteção e Recuperação de Mananciais de Campinas participante do programa de PSA desde 2018. Para tanto, o trabalho consistiu em um estudo de caso do PSA-Água Campinas na referida propriedade, mais especificamente sobre pontos de interesse em que se deu o levantamento de indicadores físico-químicos da água (oxigênio dissolvido – OD, demanda bioquímica de oxigênio – DBO, pH, turbidez, temperatura, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais – SDT, fósforo e nitrogênio total e coliformes totais) submetidos a análise estatística descritiva e multivariada, solo e vegetação. Como resultados observou-se que os indicadores de qualidade hídrica apresentaram heterogeneidade espaço-temporal, sendo esta evidenciada pelas análises estatísticas aplicadas, de maneira que, para os parâmetros de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, fósforo total e nitrogênio total foi observada maior oscilação frente a localização espacial dos pontos amostrais e para os parâmetros de turbidez, temperatura e condutividade elétrica, maior alteração entre amostragens. No âmbito de gestão municipal, como parte de um programa de monitoramento do instrumento de PSA, sugere-se o acompanhamento continuado da propriedade de estudo bem como a inclusão de outras e também de pontos de interesse nas microbacias prioritárias por meio de monitoramento de indicadores do solo, água, vegetação, microclima e socioeconômicos cuja frequência atenda as especificidades e necessidades de cada indicador considerado.

**Palavras-chave:** Pagamento por Serviços Ambientais; qualidade da água; uso e ocupação do solo; bacias hidrográficas urbanas.

## ABSTRACT

GARCIA, Joice Machado. **Water quality of rural property within the scope of the Payment for Environmental Services program (PES-Water) Campinas/SP.** 2021. 133 f. Qualification document (Master in Urban Infrastructure Systems) – Postgraduate Program in Urban Infrastructure Systems, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021.

*The current scale of anthropic intervention in landscape dynamics, coupled with the worsening of environmental conditions in the face of climate change, made evident the need to understand ecosystem services as essential for the survival of the human species. It is in this context that the Payment for Environmental Services (PES) instrument emerged as a mechanism to encourage environmental protection. In view of the above, the present study aimed to establish indicators and assess water quality in a rural property located in the Protection and Recovery of Watersheds of Campinas participating in the PES program since 2018. Therefore, the work consisted of a study case study of PSA-Água Campinas in that property, more specifically on points of interest in which the survey of physical-chemical indicators of water (dissolved oxygen - DO, biochemical oxygen demand - BOD, pH, turbidity, temperature, electrical conductivity, total dissolved solids - SDT, total phosphorus and nitrogen and total coliforms) submitted to descriptive and multivariate statistical analysis, soil and vegetation. As a result, it was observed that the water quality indicators showed spatial-temporal heterogeneity, which is evidenced by the applied statistical analysis, so that, for the dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, pH, total phosphorus and total nitrogen was observed greater oscillation in view of the spatial location of the sampling points and for the parameters of turbidity, temperature and electrical conductivity, greater change between samples. In the scope of municipal management, as part of a monitoring program for the PES instrument, it is suggested the continued monitoring of the study property as well as the inclusion of others and also points of interest in the priority micro-basins by monitoring indicators of the soil, water, vegetation, microclimate and socioeconomic conditions whose frequency meets the specificities and needs of each indicator considered.*

**Keywords:** *Payment for Environmental Services; water quality; land use and occupation; urban river basins.*

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de documentos publicados por país na base de dados Web of Science .....	24
Figura 2 - Número de documentos publicados por ano nas bases de dados Web of Science e OASIS.BR .....	25
Figura 3 - Número de documentos publicados por periódico na base de dados Web of Science .....	26
Figura 4 - Palavras-chave dos documentos analisados na base de dados Web of Science .....	27
Figura 5 – Fluxograma de execução da pesquisa .....	40
Figura 6 - Localização da área de estudo no município de Campinas e estado de São Paulo .....	41
Figura 7 - Áreas prioritárias para implantação do PSA-Água em Campinas com destaque para a região da propriedade de estudo .....	43
Figura 8 - Pontos de amostragem na propriedade de estudo, Campinas (SP) .....	46
Figura 9 - Dados climáticos no município de Campinas para o período de estudo .....	49
Figura 10 - Conjunto fotográfico para obtenção de fotografias hemisféricas .....	51
Figura 11 – Análise de micronutrientes do solo para os pontos amostrados na propriedade .....	63
Figura 12 – Análise de macronutrientes do solo para os pontos amostrados na propriedade .....	63
Figura 13 – Parâmetros físico-químicos do solo nos pontos amostrados na propriedade .....	64
Figura 14 – Análise de vegetação: Índice de Área Foliar (IAF) para os pontos amostrados na propriedade .....	66
Figura 15 – Análise descritiva para o indicador oxigênio dissolvido – OD (mg/L) .....	71
Figura 16 – Análise descritiva para o indicador demanda bioquímica de oxigênio - DBO (mg/L).....	73
Figura 17 – Análise descritiva para o indicador pH.....	75
Figura 18 – Análise descritiva para o indicador temperatura (°C).....	77
Figura 19 – Análise descritiva para o indicador condutividade elétrica (µs/cm) .....	78
Figura 20 – Análise descritiva para o indicador turbidez (NTU) .....	80
Figura 21 – Análise descritiva para o indicador sólidos dissolvidos totais (mg/L) .....	82
Figura 22 – Análise descritiva para o indicador coliformes totais (NMP/100 ml) .....	84
Figura 23 – Análise descritiva para o indicador fósforo total (mg/L).....	86
Figura 24 – Análise descritiva para o indicador nitrogênio total (mg/L) .....	88
Figura 25 - Gráfico Scree para os autovalores: a) Abril/19, b) Julho/19, c) Setembro/19, d) Novembro/19, e) Janeiro/20 .....	90
Figura 26 – Carga fatorial PCA: a) Abril/19, b) Julho/19, c) Setembro/19, d) Novembro/19, e) Janeiro/20 .....	92



Figura 27 – Matriz de correlações entre as variáveis de qualidade de água, solo e vegetação nos componentes principais selecionados .....	95
Figura 28 – Fluxograma para implantação do programa de monitoramento do PSA-água .....	98
Figura 29 – Perguntas norteadoras para a implantação de monitoramento de PSA-Água .....	99
Figura 30 – Respostas-base para a implantação de monitoramento de PSA-Água.....	100

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da propriedade de estudo, Campinas (SP) .....	44
Tabela 2 - Intervalos de IAF segundo Oliveira <i>et al.</i> (2011) .....	51
Tabela 3 - Caracterização ambiental: Ponto 1 .....	55
Tabela 4 - Caracterização ambiental: Ponto 2 .....	56
Tabela 5 - Caracterização ambiental: Ponto 3 .....	57
Tabela 6 - Caracterização ambiental: Ponto 4 .....	58
Tabela 7 - Caracterização ambiental: Ponto 5 .....	59
Tabela 8 - Caracterização ambiental: Ponto 6 .....	60
Tabela 9 - Caracterização ambiental: Ponto 7 .....	61
Tabela 10 - Caracterização ambiental: Ponto 10 .....	62
Tabela 11 – Classificação dos parâmetros de fertilidade do solo nos pontos amostrados .....	67
Tabela 12 – Classificação dos parâmetros referentes a micronutrientes, IAF e classe textural nos pontos amostrados .....	67
Tabela 13 – Parâmetros de qualidade de água dos pontos de diagnóstico: 8 e 10. ....	68
Tabela 14 - Comparação de médias para o parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L) .....	71
Tabela 15 - Comparação de médias para o parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (mg/L) .....	74
Tabela 16 - Comparação de médias para o parâmetro pH .....	75
Tabela 17 - Comparação de médias para o parâmetro temperatura (°C) .....	77
Tabela 18 - Comparação de médias para o parâmetro condutividade elétrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) .....	79
Tabela 19 - Comparação de médias para o parâmetro turbidez .....	81
Tabela 20 - Comparação de médias para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L) ..	82
Tabela 21 - Comparação de médias para o parâmetro coliformes totais (NMP/100 ml) ..	84
Tabela 22 - Comparação de médias para o parâmetro fósforo total (mg/L) .....	87
Tabela 23 - Comparação de médias para o parâmetro nitrogênio total (mg/L) .....	88
Tabela 24 - Variância explicada dos dados amostrais .....	89
Tabela 25 – Matriz de carga fatorial das variáveis da qualidade de água nos componentes principais selecionados .....	91

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Indicadores de qualidade da água.....	38
Quadro 2 - Melhorias implantadas na propriedade de estudo no período entre 02/2018 e 08/2020.....	45
Quadro 3 - Parâmetros de qualidade da água e métodos de medição .....	47
Quadro 4 – Classes de enquadramento das águas doces e usos respectivos segundo CONAMA 357/2005.....	48
Quadro 5 - Parâmetros de qualidade do solo e métodos de medição .....	50

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESE BÁSICA .....</b>	<b>14</b>
2.1. Hipótese básica .....	14
2.2. Objetivo geral .....	14
2.3. Objetivos específicos .....	14
<b>3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>15</b>
3.1. Capital natural, serviços ecossistêmicos e ambientais .....	15
3.2. Valoração ambiental sob a ótica da economia ambiental: o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) .....	18
3.3. Levantamento bibliométrico: pesquisa sobre o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais.....	<b>23</b>
3.4. Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) .....	28
3.4.1. Âmbito internacional e nacional .....	28
3.4.2. PSA Campinas .....	32
3.5. Indicadores de qualidade ambiental e monitoramento de programas de PSA .....	35
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
4.1. Fluxograma de execução da pesquisa .....	40
4.2. Caracterização da área de estudo .....	40
4.2.1. Campinas: região metropolitana e bacias hidrográficas .....	40
4.2.2. Bacia hidrográfica do rio Atibaia e microbacia 22 .....	43
4.2.3. PSA Campinas: propriedade de estudo .....	44
4.3. Qualidade hídrica .....	46
4.4. Qualidade do solo .....	49
4.5. Qualidade da cobertura vegetal .....	50
4.6. Análise dos dados .....	51
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
5.1. Diagnóstico ambiental dos pontos amostrais .....	54
5.2. Análise da qualidade hídrica .....	68
5.2.1. Pontos de diagnóstico .....	68
5.2.2. Pontos de monitoramento bimestral .....	70
5.3. Análise de Componentes Principais (PCA) .....	89
5.4. Correlação entre os aspectos água, solo e vegetação .....	94
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE A – Bacia do rio Atibaia: geoindicadores .....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE B – Bacia do rio Atibaia: uso e ocupação do solo .....</b>	<b>129</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A percepção de constante e crescente degradação do ambiente natural tornou possível a conscientização por parte da comunidade científica, das autoridades governamentais e da sociedade civil acerca da necessidade de harmonização entre interesses econômicos e ecológicos para a manutenção da espécie humana (MENDES; FREIRIA, 2017; REIS; SILVA, 2019).

A razão mais importante para se preservar os componentes bióticos e abióticos do meio ambiente é o papel que estes desempenham no fornecimento de serviços à sociedade (LAMIM-GUEDES *et al.*, 2017).

Estes serviços, denominados ecossistêmicos, caracterizam-se por serem benefícios proporcionados, de forma direta ou indireta, pelos elementos biofísicos e funções ecológicas aos seres humanos, tais como provisão de alimentos, água potável, regulação climática, atividades de lazer e proteção a desastres naturais, e sua existência se associa diretamente à integridade dos ecossistemas, biodiversidade e ações antrópicas (ARAÚJO *et al.*, 2018).

No entanto, majoritariamente em centros urbanos, o fornecimento dos serviços ecossistêmicos tem se tornado escasso, dado que a expansão urbana acarreta alterações do uso e cobertura da terra com vistas ao benefício da economia, sobretudo para o setor industrial e de construção (BURKHARD *et al.*, 2014).

Ainda, além de sua redução, cresce-se como elemento de risco o fato destes serviços não serem precificados pelo mercado econômico (CASTRO; YOUNG; PEREIRA, 2018). Segundo Mattos *et al.* (2007) o meio ambiente não era considerado na contabilidade econômica, pois se acreditava que os serviços provenientes deste eram gratuitos, apesar de serem utilizados na produção de bens e serviços.

Diante desse cenário, a identificação, a gestão e a valoração dos serviços ecossistêmicos configuram alguns dos maiores desafios para o planejamento urbano no século XXI. É neste contexto que surge o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), um mecanismo com intuito de corrigir a falha do mercado por meio do reconhecimento de práticas que garantam, recuperem ou melhoram a oferta de serviços ecossistêmicos, utilizando-se de incentivos monetários ou não (GREGORI, 2017).

Uma proposta de PSA parte do pressuposto de que práticas conservacionistas geram benefícios para a sociedade como um todo, e, mais diretamente, para agentes que usufruem da redução de custo ou melhoria da qualidade de insumos necessários aos seus processos produtivos. Em termos gerais, o PSA objetiva criar incentivos para alinhar decisões de uso da terra com o interesse social na gestão de recursos naturais ao dividir com os beneficiários dos serviços ambientais os custos de execução das ações praticadas pelos provedores, ou seja, é a internalização dos benefícios externos (CHIODI; MARQUES, 2018).

O PSA apresenta uma perspectiva econômica de conservação, uma vez que o provedor do serviço encontra no pagamento o estímulo para mudar o seu comportamento e, assim, garantir o equilíbrio ecológico de suas atividades produtivas (JARDIM; BURSZTYN, 2015). Contudo, para seu correto funcionamento, os programas de PSA necessitam da definição de componentes principais: quais serviços são prioritários, ou seja, por qual serviço existe uma demanda; quais as práticas que levam à geração desse serviço; qual a predisposição ao pagamento e possíveis pagadores (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

No caso específico de Campinas, elemento de estudo desse trabalho, a motivação para implantação do programa de PSA se deu frente à crise hídrica que acometeu sua Região Metropolitana no período de 2013 a 2015. O pacote de combate à escassez hídrica proporcionou a elaboração da Lei Municipal nº15.046 de 2015 que instituiu o programa de PSA e o Decreto Municipal nº19.441 de 2017 que regulamentou o subprograma de PSA-Água.

A elaboração da proposta de PSA se baseou em experiências nacionais e internacionais de sucesso, tal como o programa “Conservador de Águas” de Extrema/MG, de notável reconhecimento. Desde sua implantação no ano de 2017 até o fim de 2020, o PSA-Água Campinas já beneficiou 127 propriedades que foram contempladas com o plantio de mais de 109 mil mudas e com a instalação de 230 sistemas de esgotamento sanitários (SVDS, 2020).

Ressalta-se que não existe fórmula única de aplicação do PSA; os projetos/programas são elaborados de forma a atender caso a caso, sem, no entanto, deixar de contemplar as etapas descritas anteriormente, bem como o monitoramento dos serviços prestados, a fim de analisar os progressos alcançados (TÁVORA; SILVA; TURETTA, 2018).

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESE BÁSICA**

### **2.1. Hipótese básica**

O monitoramento da qualidade hídrica em propriedades rurais no âmbito do Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA – Água) no município de Campinas/SP pode vir a colaborar para a implantação das ações previstas.

### **2.2. Objetivo geral**

Analisar e discutir a implantação do PSA-Água no município de Campinas/SP, verificando em campo, por meio de indicadores de qualidade da água, os eventuais benefícios trazidos pela implantação do programa em uma propriedade rural participante.

### **2.3. Objetivos específicos**

- Promover o diagnóstico do meio físico e antrópico de pontos selecionados em propriedade rural participante do PSA-Água Campinas;
- Verificar a qualidade hídrica dos pontos selecionados;
- Estabelecer indicadores mínimos de qualidade hídrica relevantes para o monitoramento de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA);
- Propor fluxograma de monitoramento de ações de PSA-Água a fim de colaborar para a aplicação do mesmo no município e;
- Verificar se o período de estudo de um ano foi suficiente para atribuir às alterações de qualidade de água as melhorias implantadas na propriedade no âmbito do PSA.

### 3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1. Capital natural, serviços ecossistêmicos e ambientais

À medida que a população global cresce, aliada aos padrões de consumo e produção atuais, com indústrias demandando por recursos naturais acima das capacidades biológicas do planeta, percebeu-se a necessidade de reconhecimento da natureza como fator de geração de valor e consequente importância do capital natural e dos serviços prestados pelo ecossistema para atendimento das necessidades básicas da população (DOMINATI; PATTERSON; MACKAY, 2010; CAMPOS, 2018).

Segundo Andrade e Romeiro (2009) a utilização do termo “capital natural” se deu inicialmente como uma referência a todo o recurso disponível ao ser humano, entretanto, a partir do fim do século XX, o termo passou a ser incorporado de forma técnica juntamente a outros tipos de capitais, tais quais o manufaturado, o social e o financeiro.

O capital natural é definido por Costanza *et al.* (1997) como um estoque natural de recursos – água, solo, vegetação que gera um fluxo de bens ou serviços úteis ao longo do tempo. Para O’Connor (1999), o termo capital natural é formado a partir de conceitos econômicos e ecológicos, e segundo mesmo autor, a qualidade ambiental deve ser pré-condição para o bem estar da sociedade humana no longo prazo. De forma complementar, Gómez-Baggethun e de Groot (2007) explicitam que o capital natural abrange, inclusive, processos e interações entre componentes bióticos e abióticos presentes nos diversos ecossistemas.

Os serviços ecossistêmicos emergem no entendimento acadêmico originalmente como fruto destas citadas interações. Historicamente, o conceito de serviço ecossistêmico remete a elaboração de um relatório escrito em preparação para a primeira cúpula mundial sobre questões ambientais realizada em Estocolmo no ano de 1972. Para os autores do documento, a noção de serviço ambiental estava atrelada às funções ecológicas proporcionadas pelo ecossistema, e o intuito não era conservar estes serviços e/ou ecossistemas, mas reduzir o impacto negativo da atividade humana sobre os mesmos (PESCHE *et al.*, 2012).

O livro de Daily em 1997 atuou como marco no reconhecimento do conceito de serviços ecossistêmicos. Segundo este autor os serviços



ecossistêmicos são caracterizados como os fluxos de benefícios gerados pelo estoque de capital natural (DAILY, 1997). Em concordância com o exposto, a definição mais difundida para serviços ecossistêmicos provém da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005): os serviços ecossistêmicos são entendidos como condições e processos pelos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os compõem sustentam a vida humana.

Segundo referida avaliação, os serviços podem ser classificados em diferentes grupos, de acordo com a função desempenhada por cada um: i) serviços de provisão: produtos fornecidos pelos ecossistemas, tal como alimentos, água, fibras e recursos genéticos; ii) serviços de regulação: obtidos pela regulação de processos ecossistêmicos, a citar regulação climática, purificação da água e polinização; iii) serviços culturais: abrangem benefícios não materiais de natureza recreativa, educacional, espiritual e estético-paisagística; e iv) serviços de suporte, necessários para a produção dos demais serviços, como formação de solo, produção de oxigênio e ciclagem de nutrientes (MEA, 2005).

Fisher, Turner e Morling (2009) observam que, apesar do termo “serviços ecossistêmicos” ter sido amplamente difundido após a publicação da citada Avaliação, o que possibilitou maior compreensão acerca de sua existência e definição em grupos funcionais de provisão, regulação, culturais e de suporte, esta diferenciação não é capaz de atender a diferentes propósitos, sobretudo no âmbito da contabilidade ambiental e gestão da paisagem.

Esta lacuna na definição do termo possibilitou a abertura para o desenvolvimento de novas definições e classificações, a citar Boyd e Banzhaf (2007). Para estes autores, os serviços ecossistêmicos são os aspectos do ecossistema utilizados ativa ou passivamente para produzir o bem-estar humano.

Em oposição a Daily (1997), Boyd e Banzhaf (2007) ressaltam a necessidade de não se adotar o termo benefício como um sinônimo de serviços, pois, os serviços são essencialmente ecológicos, enquanto os benefícios incidem em impactos explícitos no bem-estar humano, e correspondem não apenas a uma função do ecossistema, mas também consideram outros insumos como o capital humano e o capital construído. Como exemplo, os autores julgam que o “serviço” de recreação não é um serviço provido pelo ecossistema, mas um benefício.

Subjacente às múltiplas maneiras pelas quais os serviços ecossistêmicos podem ser classificados, observa-se ainda a necessidade de

diferenciação entre os termos “serviços ecossistêmicos” e “serviços ambientais”. Embora os termos supracitados sejam comumente empregados como sinônimos, diversos autores reconhecem que, ao passo em que os primeiros são percebidos como “presentes” do ecossistema natural, os segundos são definidos como os benefícios à qualidade de vida humana obtidos como resultado de intervenções intencionais na dinâmica do ecossistema, por meio da adoção de práticas de manejo de recursos naturais (MURADIAN *et al.*, 2010; GOMES *et al.*, 2018; DERISSEN; LATA CZ-LOHMANN, 2013).

Assim sendo, observa-se que a utilização do termo “serviços ambientais” se encontra mais associada e difundida no debate político, em relação à economia e gestão ambiental, enquanto “serviços ecossistêmicos” tem sua difusão no campo da ecologia, sob a noção de ecossistema (PEREVOCHTCHIKOVA; OGGIONI, 2015).

A partir dos conceitos de serviços ecossistêmicos e ambientais, entende-se como serviços ambientais hídricos a modalidade de serviços ecossistêmicos que se relaciona aos processos hidrológicos, cuja provisão pode ser garantida, mantida ou recuperada por intervenções humanas de proteção e conservação, mediante práticas de gestão adequadas nas diversas atividades produtivas beneficiárias dos recursos hídricos (FIDALGO *et al.*, 2017).

Segundo Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005), os serviços ambientais hídricos são passíveis de serem tratados em duas frentes: uma referente à provisão de água, e, portanto, manejo de forma a assegurar o abastecimento para a população; e a outra relacionada às características de regulação hídrica no que diz respeito às ações adotadas no ecossistema que incidem sobre a quantidade e qualidade de água.

Para Schuler *et al.* (2017), os serviços ambientais hídricos têm papel de destaque na sociedade ao passo em que os ecossistemas presentes nas bacias hidrográficas vêm sendo reconhecidos como fundamentais para a segurança hídrica. Neste sentido, entender a bacia hidrográfica como elemento de planejamento e gestão dos recursos hídricos é primordial.

No Brasil, a Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos possibilitou reconhecimento da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos a partir do momento em que determinou, em seus fundamentos, esta unidade como a unidade territorial

para implementação da política propriamente dita e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (MORAIS; FADUL; CERQUEIRA, 2018).

A conservação de bacias hidrográficas é, então, uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos cada vez mais escassos. É necessário compreender que a alteração do uso e manejo do solo pode comprometer uma série de processos ecológicos que ocorrem dentro das bacias, sobretudo o fornecimento dos serviços ecossistêmicos com destaque aos hídricos (ANDRADE *et al.*, 2012; POLASKY *et al.*, 2010; BOUMANN *et al.* 2010; QUINTAS-SORIANO *et al.*, 2016).

### **3.2. Valoração ambiental sob a ótica da economia ambiental: o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)**

Compreender o capital natural e os serviços ecossistêmicos, cuja importância para o sistema econômico e o bem-estar humano vem sendo crescentemente reconhecida tem como objetivo principal subsidiar uma melhor tomada de decisões, que resulte em melhores ações no que concerne ao uso do solo e dos recursos naturais (CAMPOS, 2018).

O início de tal reconhecimento se deu, sobretudo no final da década de 60 e início da década de 1970. No artigo de Hardin publicado em 1968, denominado “A tragédia dos comuns” já se discutia a ideia de que os recursos comuns como os recursos hídricos e florestas estavam sujeitos à degradação massiva, sendo visualizada na privatização ou submissão ao Estado a alternativa de manutenção dos mesmos (CUNHA, 2005).

A aproximação entre a questão ambiental e a economia obteve maior reconhecimento a partir da divulgação do documento “Os limites do crescimento” em 1972 pelo Clube de Roma. Neste documento foi abordada a provável insustentabilidade ecológica frente ao aumento populacional e condições de produção e consumo. Por meio desse reconhecimento surgiram os termos “economia ambiental”, “economia verde” e “economia ecológica”, que visam estudar o ambiente ecológico dentro do contexto econômico (OLIVEIRA, 2017).

De forma simplificada, Oliveira (2017) associa a economia ambiental à ótica monetária, em que o crescimento econômico é verificado concomitantemente à preservação dos recursos naturais; a economia ecológica como um subsistema

do meio ambiente, de forma que a economia “humana” é subsistema da natureza, atribuindo à natureza a condição de suporte insubstituível; e a economia verde como aquela preocupada com o uso eficiente de recursos, diminuição da poluição (por meio de incentivo a inovações) e igualdade social, estando atrelada ao modelo de desenvolvimento sustentável.

No âmbito da ciência econômica, a valoração dos recursos naturais, cujo objetivo é atribuir valor a um serviço natural tem sido um desafio devido à necessidade de se avaliar o complexo ecossistêmico e a existência de valores ecológicos e sociais. Segundo Gimenes e Oliveira (2019), a valoração ambiental serve para incorporar impactos ambientais à economia e tornar evidentes os custos decorrentes da expansão da atividade humana.

De forma mais ampla, Mota (2006) estabelece que a valoração de recursos naturais se faz em diversas nuances de maneira a justificar sua aplicação. Para tanto, a valoração é aplicada sob o campo da ética de preservação do meio ambiente, de forma a proteger e tornar sustentável o uso dos recursos; como elemento de análise da capacidade de suporte dos recursos e como forma de mensuração monetária tanto dos bens ignorados pelo mercado quanto das externalidades oriundas da ação humana; como suporte à formação de políticas públicas e consequentes indenizações judiciais no caso de não cumprimento das mesmas; como subsídio às ações mitigadoras de degradação entre outras.

A literatura aborda diversos métodos de valoração cuja aplicação na economia ambiental permite determinar o valor dos recursos naturais, apresentando cada qual suas limitações. Entretanto, de forma genérica, o valor econômico do recurso ambiental (VERA) pode ser desmembrado em valor de uso, valor de opção e valor de existência (MARQUES, 2020).

O valor de uso, subdivide-se em: (i) valor de uso direto, quando há consumo e utilização do recurso por meio, por exemplo, de extração; e (ii) valor de uso indireto, quando se verifica a presença de benefícios associados às funções ambientais, aqui tratadas por “serviços ambientais”. O valor de opção ocorre quando se reconhece a importância do ecossistema natural para a provisão de benefícios vindouros e ao valor de existência interessa assegurar a existência do recurso, independente de algum uso presente ou futuro (MOTTA, 1997).

Há basicamente duas abordagens para classificação dos métodos de valoração ambiental, conforme verificado por Constantino *et al.* (2018), sendo estes

diferenciados em métodos diretos (função de demanda) e indiretos (função da produção). Os métodos diretos mensuram a Disposição a Pagar (DAP) das pessoas pela preservação do meio ambiente; de maneira a considerar que a acessibilidade aos recursos ambientais altera a DAP de cada indivíduo. São exemplos desta categoria a Valoração Contingente – MVC, o Mercado de Bens Complementares, Preços Hedônicos – MPH e Custo de Viagem – MCV. Já os métodos indiretos, de menor custo e maior simplicidade, estimam o valor do meio ambiente comparando os danos causados por alterações ambientais a produtos comercializáveis no mercado, ou seja, tomam por base o valor dos recursos disponíveis no mercado para mensurar os valores ambientais. Enquadram-se nessa categoria as metodologias de Produtividade Marginal – MPM, Mercado de Bens Substitutos (Custos evitados – MCE, Custos de controle – MCC, Custos de reposição – MCR, Custos de oportunidade – MCO) (CONSTANTINO *et al.*, 2018).

Ressalta-se que a tarefa de valorar economicamente um recurso ambiental tem por objetivo ponderar benefícios ao bem-estar humano ou ausência destes frente a mudanças na quantidade ou qualidade de bens e serviços ambientais, tendo seu uso diretamente associado ou não (MOTTA, 1997; COSTANZA *et al.*, 1997).

Apesar do método de valoração ser reconhecidamente um instrumento de inserção do viés ambiental na riqueza econômica, este há de ser pensado juntamente à dimensão sociocultural e ainda, numa esfera qualitativa, eliminando o pensamento de que só seria válido conservar a natureza quando se é rentável (CARRILHO; SINISGALLI, 2019).

A valoração econômica ambiental ganha notoriedade quando realizada em conjunto com programas de Pagamento por Serviços Ambientais, contribuindo para a eficiência destes e servindo como base na determinação do preço final a ser pago (BARRETO, 2016).

O instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) foi apresentado, na década de 90, como um mecanismo baseado no mercado para o financiamento da conservação. De acordo com Eloy, Coudel e Toni (2013), os princípios de condicionalidade, adicionalidade e voluntarismo são elementos-chave na criação de mercados de serviços ambientais.

A condicionalidade constitui pressuposto básico no esquema de PSA, pois o pagamento só deve ocorrer se o provedor garantir o provimento do serviço

ambiental. Na prática, esse é o critério mais difícil de ser alcançado, pois envolve complexidades biofísicas ligadas aos ecossistemas e seus processos, que dificultam a comprovação da relação de causalidade entre os diversos usos da terra (CAETANO; MELO; BRAGA, 2016). Qualquer garantia de que um pagamento irá garantir ou fornecer tal serviço está sujeita às incertezas ecológicas, mas também sociais (ZANELLA; SCHLEYER; SPEELMAN, 2014).

De forma complementar, Wunder (2007) estabelece que a definição do serviço ambiental, a existência de demanda e provedores são as bases para a existência de um programa de PSA. São exemplos de possíveis demandantes: organizações não-governamentais (ONGs), empresas privadas, o governo e a própria pessoa física. Além destes interessados é necessária a existência de provedores que se comprometam em gerar e manter os serviços (GUEDES; SEEHUSEN, 2016).

Tal como ressalta Wunder (2007), a voluntariedade em programas de PSA é o que distingue esse instrumento de outros de comando e controle, eliminando-se o caráter de obrigatoriedade, e pode ou não ser verificada, sendo a última situação observada quando de sua aplicação em políticas públicas. Godecke, Hupffer e Chaves (2014) citam a falta de voluntariedade para pagamento como uma das principais complicações para o correto funcionamento de programas de PSA, além de outras: a) inexistência de condições institucionais exigidas pelas partes para a negociação, cumprimento de contratos e garantias para, por exemplo, comunidades pobres e remotas; e b) dificuldades de comunicação entre quem propõe os programas de PSA e os povos locais.

Apesar das dificuldades, os sistemas de PSA apresentam vantagens como: (i) servir como ferramenta para a conscientização do valor dos recursos naturais; (ii) facilitar a resolução de conflitos e a construção de consensos entre as partes interessadas; (iii) melhorar a eficiência na alocação dos recursos naturais, sociais e econômicos; (iv) gerar novas fontes de financiamento para a conservação, restauração e valorização dos recursos naturais; (v) criar indicadores de importância para os recursos naturais; (vi) transferir recursos para setores economicamente vulneráveis (GODECKE; HUPFFER; CHAVES, 2014).

Existem dois tipos básicos de programas de PSA: (i) aqueles em que os prestadores de serviço são pagos pelos usuários dos serviços e (ii) programas em que os prestadores são pagos por um terceiro, geralmente o governo. Os primeiros

são mais propensos a serem eficientes, uma vez que os usuários dos serviços concedem financiamento e também informações sobre quais serviços são mais valiosos. Neste caso, os usuários podem facilmente observar se estão recebendo o serviço desejado e têm um forte incentivo para garantir que os pagamentos sejam utilizados de forma eficaz. Por outro lado, os segundos geralmente cobrem áreas maiores e são menos propensos a serem eficientes porque os governos não têm informação direta sobre o valor ou prestação do serviço. Ainda, há a necessidade dos governos de responder a numerosas pressões que muitas vezes são alheias aos objetivos do programa (PAGIOLA; VON GLEHN; TAFFARELLO, 2013).

O mecanismo de PSA pode ser um instrumento auxiliar eficaz de gestão ambiental e inclusão social quando tratado como instrumento de política de Estado. Isto significa, teoricamente, aceitar a utilização de um conceito de mercado, que confere transparência e eficácia a uma medida de política, em que se estabelecem objetivos e prioridades sociais e ambientais (SHIKI; SHIKI, 2010).

Por fim, existem as precondições relacionadas à necessidade de definição e mensuração dos serviços ambientais pelos quais os provedores serão recompensados, o monitoramento de sua provisão e a negociação de contratos. A principal justificativa para considerar os pagamentos por serviços ambientais como um importante instrumento de política pública e investimentos em preservação da natureza é a de que os custos desses serviços devem ser assumidos por toda a sociedade (MORAES, 2012).

Quando se trata de PSA em recursos hídricos o que se torna valorizado é o uso do solo, considerado gerador de serviços de água, e não a comercialização da qualidade ou quantidade de água. Considerando o fato de as atividades rurais serem as grandes causadoras da poluição hídrica no país, juntamente às indústrias, cabe aos proprietários rurais a maior parcela da responsabilidade de conservar as áreas ripárias, essenciais para a preservação dos corpos hídricos. Por consequência, o produtor rural se torna o principal alvo de um esquema de PSA que visa à conservação dos recursos hídricos, ficando majoritariamente restritos a ele os custos da conservação, embora os benefícios sejam coletivos (JARDIM; BURSZTYN, 2015).

Para que os agricultores optem por participar de iniciativas no âmbito do PSA, além das vantagens econômicas a serem obtidas pelos mesmos, por meio por exemplo do recebimento financeiro, devem ser vantajosos também os fatores

não econômicos, como confiança e possibilidade de participação no desenho do esquema. Segundo Zanella, Schleyer e Speelman (2014), em pesquisa realizada com três programas de PSA implantados em território brasileiro, o acesso à informação surgiu como um fator relevante na condução da participação. Os agricultores podem optar por recusar a participação quando, por exemplo, os custos de oportunidade ultrapassam os pagamentos recebidos pelo programa. Além disso, em alguns contextos, os agricultores podem ter dificuldade em entender a informação formal, como já citado anteriormente como sendo uma desvantagem da implantação de programas de PSA.

### **3.3. Levantamento bibliométrico: pesquisa sobre o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais<sup>1</sup>**

A técnica de levantamento bibliométrico consiste na quantificação e análise estatística dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico a partir das informações – parâmetros – geradas por grandes bases de dados, a citar: veículos de publicação e periódicos, autores, instituições e países, palavras-chave dos autores, número de publicações e citações (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). Sua aplicação se dá, sobretudo para identificar destaques e tendências sobre determinado tema e quando existe o interesse em se medir o impacto das publicações encontradas (TREINTA *et al.*, 2013).

Esta seção apresenta um levantamento quantitativo das produções que tratam do instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no que diz respeito aos documentos publicados entre 2015 e 2019 nas bases de dados Web of Science e OASIS.BR: a primeira para análise de publicações no âmbito internacional, e para tanto, utilizou-se o termo de busca “*payments for ecosystem services*”; e a segunda para análise da pesquisa em PSA no Brasil, utilizando-se, portanto, do termo de busca “Pagamento por Serviços Ambientais”. Em ambos os casos se optou pela restrição de busca nos títulos e retorno por documentos de acesso aberto ou texto completo. Desta forma, alcançou-se um total de 88 documentos para a plataforma Web of Science e 146 para a base OASIS.BR.

---

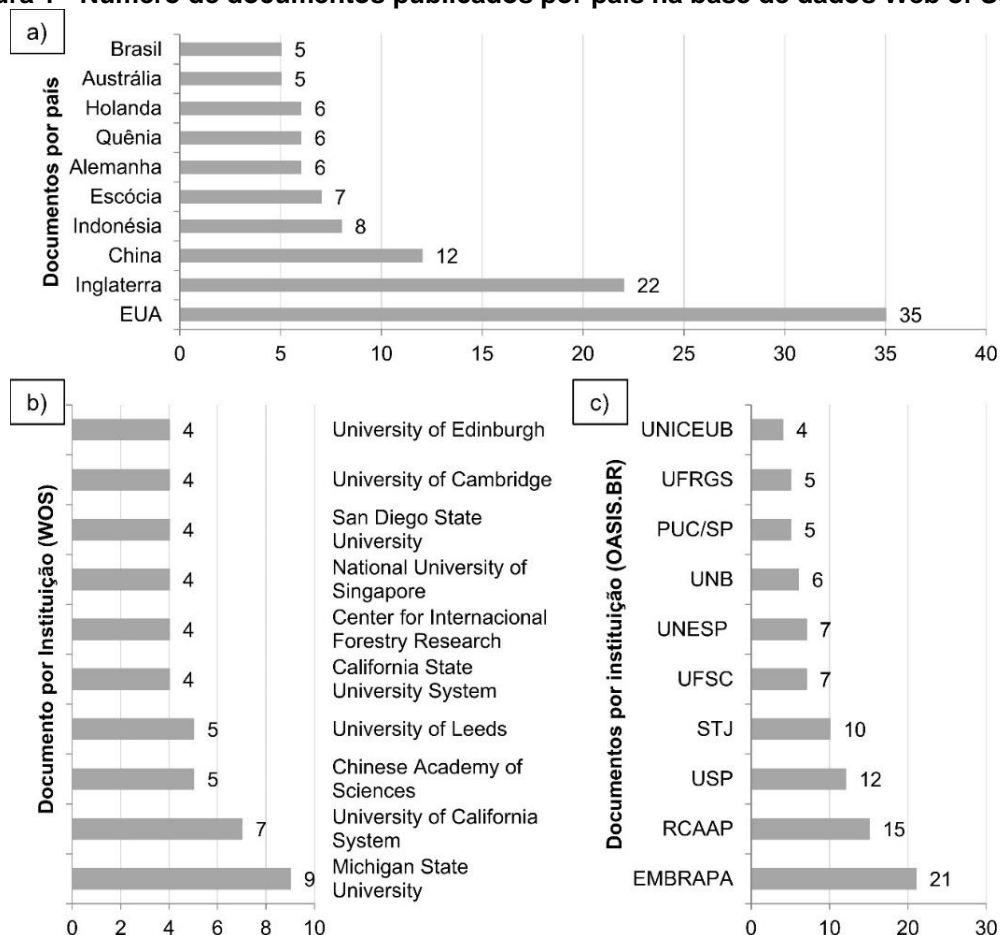
<sup>1</sup> Parte de artigo publicado pela Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v 7, n. 48, 2019.



As iniciativas de PSA estão presentes em vários locais do mundo, as quais serão descritas no tópico 3.4. *Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA)*. Estima-se que, desde suas implantações até 2008 esses programas tenham movimentado em torno de US\$50 bilhões e protegido 3,24 bilhões de hectares de área territorial (BOLFE *et al.*, 2013).

Analisando o cenário internacional do período entre 2015 a 2019, percebe-se pela Figura 1a) que na base de dados *Web of Science* o maior volume de documentos publicados por país se deu nos Estados Unidos, corroborando o estudo de Seppelt *et al.* (2011) e Aznar-Sánchez *et al.* (2019), seguido de Inglaterra e China. O Brasil aparece em décimo lugar, com apenas cinco documentos publicados no período de interesse.

**Figura 1 - Número de documentos publicados por país na base de dados Web of Science**

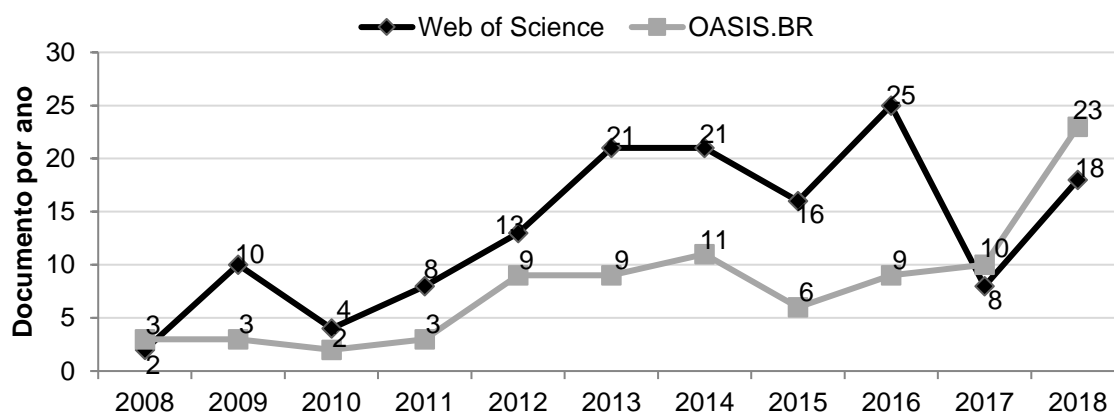


Com relação às instituições que mais publicaram no período considerado, analisando as dez primeiras colocadas tal qual se apresenta na Figura 1b) e 1c), verifica-se predomínio de centros geradores de conhecimentos, como as

universidades e centros de pesquisa. Em concordância com os países que mais publicam sobre o tema internacionalmente, destacam-se na lista de instituições as universidades americanas de Michigan e Califórnia e a Academia Chinesa de Ciências, sobretudo em função da grande ascensão da pesquisa da academia chinesa em serviços ecossistêmicos e ambientais. No Brasil, destaque para a EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, empresa pública de pesquisa vinculada ao ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e as universidades de São Paulo, de Santa Catarina e Universidade Estadual Paulista.

O panorama mundial entre o período de 2015 a 2019 revelou predominância de publicações internacionais, sendo apenas superada pelo número de documentos publicados pela base brasileira no ano de 2018 (Figura 2), demonstrando a evolução no interesse por programas de PSA no território brasileiro, sobretudo frente a visualização dos casos de sucesso.

**Figura 2 - Número de documentos publicados por ano nas bases de dados Web of Science e OASIS.BR**

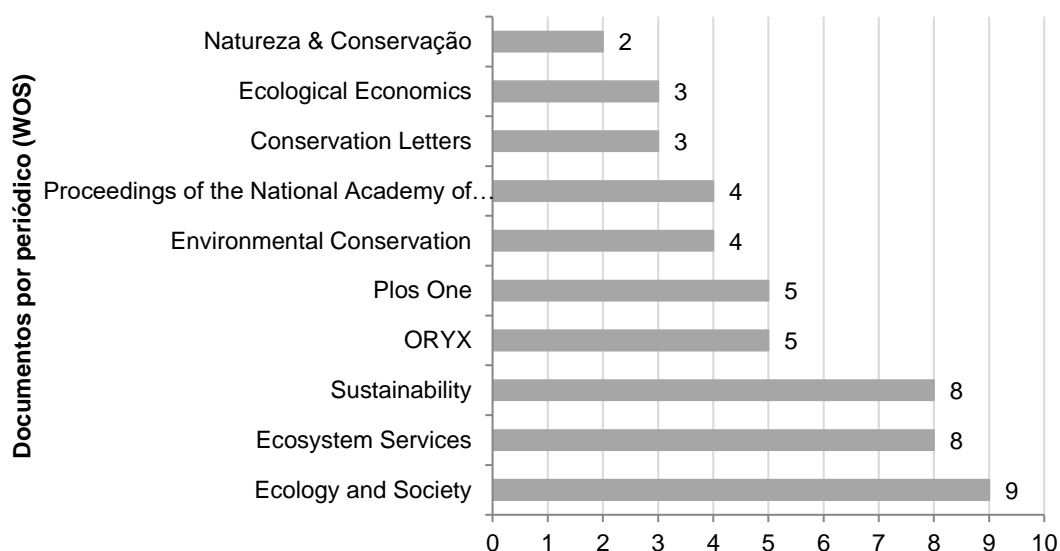


Segundo nota técnica da Coalizão Brasil, Clima, Florestas e Agricultura (2020), as experiências de Pagamento por Serviços Ambientais já em curso no Brasil, desenvolvidas com recursos públicos, privados ou ambos têm demonstrado adicionalidade nos resultados alcançados uma vez que o uso deste instrumento se mostra capaz de promover uma mudança de comportamento em prol da provisão e/ou recuperação de serviços ambientais, os quais na ausência de tal incentivo estariam inviabilizados.

Ao comparar os tipos de documento publicados em cada plataforma, observa-se que no território brasileiro a maior fonte de divulgação ainda se dá por

teses, dissertações e trabalhos de conclusão do curso, representando 47,5% do total produzido. Simultaneamente, apenas 23% da produção sobre PSA se dá na forma de artigo, enquanto, internacionalmente, conteúdo do mesmo tema e classificação somam 82% de toda publicação. Dessa forma, tornou-se relevante o conhecimento acerca de periódicos mais buscados para publicação do tema (Figura 3). Ressalta-se que o maior retorno por artigos na plataforma Web of Science já era esperado por se tratar de um característica intrínseca da mesma, tendo em vista a indexação de periódicos indexados nas diversas áreas do conhecimento.

**Figura 3 - Número de documentos publicados por periódico na base de dados Web of Science**



Três periódicos despontam como divulgadores, em maior quantidade, de publicações científicas relativas ao tema da pesquisa: *Ecology and Society*, *Ecosystem Services* e *Sustainability*. O primeiro periódico, cujo SJR foi de 1,679 no ano de 2019, possui caráter inter e multidisciplinar e publica artigos das disciplinas das ciências naturais, sociais e humanidades preocupadas com a relação entre a sociedade e os ecossistemas, refletindo, portanto, uma característica intrínseca dos serviços ecossistêmicos e ambientais. O periódico “Ecosystem Services”, apesar de ter surgido apenas no ano de 2012, se posiciona entre os dez avaliados como o periódico de maior prestígio científico (SJR 2,672), apresentando conteúdos de relevância sobre ciência, política e prática de serviços ecossistêmicos. Em terceiro lugar, o periódico *Sustainability* consiste em uma revista internacional sobre

sustentabilidade ambiental, cultural, econômica e social cujo prestígio científico SJR (Scientific Journal Rankings) no ano de 2019 foi de 0,581. O aparecimento de um periódico brasileiro na listagem -Natureza & Conservação- demonstra a busca pela inserção do conteúdo produzido em território nacional nas plataformas internacionais.

Por fim, a análise das palavras-chave utilizadas pelos autores nos documentos avaliados foi realizada com o intuito de verificar as tendências e destaques da pesquisa em PSA no âmbito internacional, sendo a nuvem de palavras apresentada na Figura 4.

**Figura 4 - Palavras-chave dos documentos analisados na base de dados Web of Science**



As palavras que aparecem com mais frequência nos trabalhos publicados sintetizam o próprio tema estudado, no que diz respeito a própria sigla de pesquisa: “services” (62 vezes), “ecosystem” (45 vezes), “payments” (38 vezes), “environmental” (25 vezes) e “PES” (20 vezes). Em contrapartida, palavras tais como “forest” (13 vezes), “biodiversity” (11 vezes), “carbon” (6 vezes) e “watershed” (5 vezes) demonstram o foco principal dos programas de PSA mundo afora, de forma que projetos relacionados à preservação de florestas ainda configuram a

maioria. Tal resultado confirma o fato levantado por Pocidonio e Turetta (2012), de que atualmente são comercializados no mundo quatro serviços ambientais com maior intensidade e frequência: carbono, água, biodiversidade e beleza cênica.

### **3.4. Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA)**

#### **3.4.1. Âmbito internacional e nacional**

Pelo seu grande potencial como instrumento de remuneração pela provisão de serviços ecossistêmicos e estimulação para proteção dos mesmos, durante os últimos anos o conceito do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) tem despertado um amplo interesse mundial. Em 2009, mais de 150 programas e projetos estavam em operação na América Latina, abrangendo cerca de 2,5 milhões de hectares. Em 2011 havia 205 programas ativos em todo o mundo correspondentes a uma área total aproximada de 117 milhões de hectares (FIDALGO *et al.*, 2017).

Analisando-se um panorama histórico de PSA no mundo, observa-se na década de 1990 a Colômbia como pioneira em promover a compensação por serviços ambientais no Vale do Rio Cauca, envolvendo os proprietários das nascentes e os plantadores de cana-de-açúcar, embora a expressão Pagamentos por Serviços Ambientais não fosse ainda utilizada (FIDALGO *et al.*, 2017)

O crédito de primeira ação de fato relacionada a PSA é dado à Costa Rica, que no ano de 1997 instituiu o Programa de Pagos por Servicios Ambientales (PPSA) como resposta a um processo de desmatamento acentuado ocorrido no país entre os anos 60 e 70 e tem evoluído desde então, servindo como modelo para outros países (HERCOWITZ; MATTOS; SOUZA, 2011).

Os Estados Unidos se encontram em posição de destaque quando se trata de PSA hídrico, principalmente após terem sido referência na criação de um plano de manejo dos mananciais nos sistemas Catskill e Delaware, responsáveis por cerca de 90% da água consumida em Nova York. Em virtude do alto investimento necessário para operação e manutenção de sistemas de filtragem para melhora na qualidade da água, a cidade de Nova York optou por elaborar e colocar em prática um plano de proteção ambiental de mananciais que garantisse a qualidade hídrica. Tal medida, além de poupar gastos ao governo, tornou possível

a restauração ecossistêmica das referidas bacias e beneficiou os donos das propriedades da região (ARAÚJO JÚNIOR; CICILIATO, 2012).

Na Europa, a Espanha tem direcionado esforços para criação e implantação de programas de PSA. Essa motivação se origina devido a problemas de poluição em suas bacias hidrográficas (ARAÚJO JÚNIOR; CICILIATO, 2012). A Finlândia também apresenta um programa de mitigação das perdas da biodiversidade florestal na região sul da nação, denominado *Forest Biodiversity Program for Southern Finland*, em vigor desde 2010 (BARBOSA, 2015).

Um interessante exemplo envolvendo empresa privada é da empresa Nestlé, que garante a qualidade da água nos Alpes Franceses compensando os agricultores da região que não poluem os rios. A empresa engarrafa e vende a água da região e para que suas fontes possam ser mantidas limpas, a colaboração de proprietários rurais é fundamental (ARAÚJO JÚNIOR; CICILIATO, 2012).

O tema de PSA aos poucos tem despertado o interesse no continente asiático. Na China o programa de Pagamento por Serviços Ambientais se deu frente as fortes inundações em bacias hidrográficas no ano de 1998, como consequência da extensa exploração madeireira e do cultivo em terras de declive acentuado. Segundo Pan *et al.* (2017), após o êxito do projeto *Grain for Green*, iniciado em 1999, outros programas de conservação e PSA foram desenvolvidos ou aprimorados: sistema nacional de Fundo de Eco-Compensação Florestal, política ecológica de linhas vermelhas e política de zonas úmidas e dois programas nacionais de pagamentos por serviços ambientais: Programa de Conservação de Florestas Naturais (NFCP) e Programa de Grão a Verde (GTGP) (JIANG, 2017).

Ainda no continente asiático, existem casos de PSA ou estudos de PSA na Indonésia e Filipinas, onde a gestão de bacias hidrográficas tem substituído a abordagem comando e controle (MONTEIRO, 2013).

No continente africano, existem iniciativas na África do Sul, Tanzânia e Quênia (TRES, 2011). Turpie, Marais e Blignaut (2008) observam que, no âmbito do PSA com enfoque hídrico, os programas de PSA-Água na África do Sul surgiram em grande parte através do estabelecimento do programa *Working for Water* (WfW) em 1995, iniciado pelo governo em resposta à percepção da gravidade da ameaça que as plantas exóticas representavam para o abastecimento de água.

No Brasil o estabelecimento de políticas públicas sobre PSA ganhou mais relevância com a promulgação da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei

nº 12.651/2012 – Código Florestal Brasileiro), uma vez que o artigo 41 dessa norma legal passou a autorizar o poder público federal a instituir programas de PSA como forma de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente (FGB *et al.*, 2017).

Nos primeiros anos de implementação do PSA no Brasil houve uma grande diversidade de projetos quanto a objetivos e arranjos institucionais. Segundo Pagiola, Von Glehn e Taffarello (2013), o desafio atualmente é conseguir ampliar a escala das ações para ganhar coerência e eficiência. Durante os anos 2000 houve uma abundância de iniciativas de PSA nos quatro maiores biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica), sendo mapeadas 220 experiências com foco nos serviços de armazenamento ou sequestro de carbono, na conservação de recursos hídricos e na certificação de produtos florestais e agropecuários (TITO; ORTIZ, 2013).

O PSA é realidade no Brasil, embora não regulamentado por legislação federal. Entretanto, o programa PROAMBIENTE administrado pelo Ministério do Meio Ambiente apresenta algumas características de PSA. Assim sendo, o PSA no Brasil é instituído por legislações estaduais e municipais, a citar-se como exemplos a Lei 2.100/2005, de Extrema (MG), instituindo o projeto Conservador das Águas; a Lei 3.545/2006, de Montes Claros (MG), criando o Ecocrédito; a Lei 58/2009, criando o Projeto Oásis em Apucarana (PR); a Lei 514/2010 referente ao Programa Produtores de Água e Florestas em Rio Claro no Rio de Janeiro, entre outras (MONTEIRO, 2013; FGB *et al.*, 2017).

O PSA para a conservação dos recursos hídricos foi adotado pelas políticas públicas brasileiras frente ao crescimento das grandes metrópoles do Sul e do Sudeste, que estimula uma demanda local por serviços ecossistêmicos, principalmente por conservação da água. Diversas organizações trabalham com o tema, dentre as quais o Ministério do Meio Ambiente, Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO), Cooperação Alemã, Agência Nacional de Águas, Banco Mundial e The Nature Conservancy (ELOY; COUDEL; TONI, 2013).

Ainda no âmbito dos recursos hídricos, em 2001 a Agência Nacional de Águas (ANA) visando o desenvolvimento de incentivos econômicos para práticas conservacionistas em propriedades rurais idealizou o programa “Produtor de Águas”, que fornece suporte técnico aos usuários que queiram desenvolver programas de PSA-água com intuito de melhorar a qualidade da água, a ampliação e a regularização da oferta em bacias hidrográficas (MORAES; MOREIRA, 2015).

No portal desse programa – Produtor de Águas é possível visualizar diversas iniciativas de adesão voluntária com o escopo definido pela ANA, predominantemente, nos estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil (MORAES, 2012). Entre eles, encontra-se o projeto “Conservador de Águas” desenvolvido no município de Extrema e pioneiro no estabelecimento de programa de PSA no Brasil.

Localizada na Serra da Mantiqueira na divisa entre Minas Gerais e São Paulo e na parte alta das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), Extrema possui população de 36.225 pessoas (IBGE, 2020) e 244,6 km<sup>2</sup> de extensão, cuja área abrange grande percentual de uso rural e inúmeras nascentes de primordial importância para o abastecimento de água de 9 milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo e 3 milhões de pessoas na Região Metropolitana de Campinas (ANA, 2020a).

Frente a políticas de incentivo para desenvolvimento industrial e consequente aumento na ocupação humana, Extrema apresentou nas últimas décadas degradação vegetativa e fragmentação florestal. Aliado a isto, a atividade de pecuária extensiva desenvolvida no município permitia o uso de extensas áreas de terra com pastagens inclusive em altas declividades, colaborando para formação de erosão e carreamento de sedimentos aos leitos hídricos (PEREIRA *et al.*, 2016).

O programa Conservador das Águas, concebido em 2005 através da Lei municipal nº2100 de Extrema remonta a uma preocupação antiga do município com as questões ambientais, sobretudo após verificação de degradação acelerada (PEREIRA *et al.*, 2016).

Inserido em uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (Área de Proteção Ambiental Fernão Dias), o município de Extrema apresenta desde o ano de 1996 medidas visando a recuperação e preservação de mananciais. A criação de projetos tais quais “Recuperar e Preservar a Quantidade e Qualidade das Águas dos Mananciais de Consumo e Desenvolvimento do Médio Sapucaí” em 1996, “Água é Vida – Manejo e Monitoramento em Sub-bacias Hidrográficas” de 1999 e a criação da “Agenda 21” em 2003 serviu como base para a criação do programa de PSA em 2005 e seu efetivo funcionamento em 2007 (PEREIRA *et al.*, 2016).

O programa de PSA-Água em Extrema foi idealizado com o objetivo de manter a qualidade dos mananciais desse município e promover a adequação ambiental das propriedades rurais, tendo caráter preventivo. Além da gestão continuada e eficaz, que colaborou para o bom andamento do projeto, o programa



considerou em suas metas práticas de conservação do solo, técnicas de conservação e recuperação de cobertura vegetal e saneamento ambiental em propriedades rurais (PEREIRA, 2017).

Desta forma, apesar de ser um programa com vistas a qualidade hídrica, o programa acaba por adotar como objeto de conservação a biodiversidade, visto que em suas metas estabelece implantação de reserva legal e formação de corredores ecológicos (DERANI; JODAS, 2015).

Segundo relatório de 2017, doze anos após implantação do programa, 224 contratos foram firmados em propriedades rurais, com maior adesão em 2012 com a promulgação do Novo Código Florestal.

Ao longo de sua execução, o programa possibilitou o plantio de aproximadamente 1,3 milhões de árvores nativas e a consequente proteção de 6.378 ha de área territorial (PEREIRA, 2017). Ainda no aspecto vegetativo, no ano de 2015, contemplou-se a criação da unidade de conservação Reserva Particular do Patrimônio Natural Jacuaçú com área aproximada de 433 mil m<sup>2</sup> por meio da implantação de um Sistema Municipal de Unidades de Conservação – SMUC, que figura como expectativa pós Conservador das Águas e cujo intuito é transformar áreas de preservação em um mosaico de UC (PEREIRA, 2017).

No âmbito de saneamento rural, verificou-se a instalação de 50 biodigestores, 50 caixas d'água e caçamba para coleta seletiva. Ainda, fez-se a construção de 1000 bacias de contenção de água pluviais visando a conservação do solo (PEREIRA, 2017).

No que diz respeito às parcerias envolvidas nos projetos do Programa Produtor de Água, destacam-se as prefeituras, as secretarias de agricultura, de meio ambiente, de cidades e de recursos hídricos dos estados e municípios, ONGs internacionais como *The Nature Conservancy* (TNC) e *World Wide Fund for Nature* (WWF) e locais, entidades de assistência técnica, agências reguladoras do uso da água, companhias de saneamento, Ministério Público, sindicato rural, cooperativas e associações de produtores rurais (LIMA; RAMOS, 2018).

### **3.4.2. PSA Campinas**

O Programa de Pagamento por Serviços Ambientais no município de Campinas, instituído pela Lei Municipal nº 15.046 de 23 de julho de 2015 tem por

objetivo promover o desenvolvimento sustentável e fomentar a manutenção e a ampliação da oferta dos seguintes serviços e produtos ecossistêmicos:

- (i) o sequestro, a conservação, a manutenção e o aumento do estoque de carbono, bem como a diminuição da emissão de carbono;
- (ii) a conservação da beleza cênica natural;
- (iii) a conservação da sociobiodiversidade;
- (iv) a conservação das águas e dos serviços hídricos;
- (v) a regulação do clima;
- (vi) a valorização cultural e do conhecimento tradicional ecossistêmico, e
- (vii) a conservação e recuperação do solo.

O PSA é implementado por meio de Subprogramas e Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais, com vistas a atender aos critérios de prioridade de conservação e recuperação dos recursos naturais (PMC, 2015).

O subprograma de Pagamento pela Conservação das Águas e dos Recursos Hídricos, regulamentado através do Decreto Municipal 19.441/17 foi contemplado no Plano Municipal de Recursos Hídricos com o objetivo de "assegurar a quantidade e a qualidade das águas, valorizando as potencialidades e reduzindo a vulnerabilidade hídrica no Município de Campinas" (PMC, 2019).

As ações implementadas no âmbito do PSA-Água incluem a adoção de práticas conservacionistas de solo com finalidade de redução efetiva de erosão; implantação e manutenção da cobertura vegetal dentro e fora das APP, seguindo os critérios da Lei Federal nº 12.651/2012, do Decreto Federal nº 7.830/2012 e seus dispositivos; implantação e/ou adequação do saneamento rural dos domicílios existentes na propriedade rural e apoio técnico aos proprietários, visando a eficácia das ações supracitadas. Cada proprietário habilitado no PSA-Água terá um Projeto Personalizado da Propriedade (PPP), onde constará a descrição e quantificação das ações a serem implantadas no âmbito do Programa (SVDS, 2018).

De acordo com o Edital SVDS nº01/2018 (SVDS, 2018), o programa de PSA-Água visa atingir proprietários de áreas rurais, pessoas físicas ou jurídicas. O direito de se habilitar aos benefícios previstos no PSA somente se constituirá após:

- (i) a inscrição da propriedade rural no Cadastro Municipal dos Provedores de Serviços Ambientais;

- (ii) o preenchimento dos critérios de elegibilidade, conforme sua localização e seu enquadramento ambiental e legal.

As áreas verdes, as matas ciliares, as APPs e os demais ecossistemas objeto de condicionantes, compensações, mitigações e contrapartidas de projetos do Licenciamento Ambiental concedidos pelos órgãos públicos competentes nas esferas federal, estadual e municipal estão impedidos de se habilitarem ao PSA (PMC, 2015).

O enquadramento ambiental da área se dará por meio da comprovação da titularidade da propriedade e da aceitação do Projeto Personalizado da Propriedade (PPP). O enquadramento legal se dará por meio de avaliação da propriedade e suas obrigações legais, com base na classificação (PMC, 2015):

- (i) pleno: proponente que, além de cumprir suas obrigações legais, promove serviços ambientais de forma proativa, com recurso próprio ou de parcerias e na área submetida ao PSA;
- (ii) em conformidade: proponente que cumpre suas obrigações legais nos termos da legislação ambiental vigente;
- (iii) em não conformidade: proponente que apresenta pendências legais, conforme definido em decreto regulamentador específico;
- (iv) em condição de infrator ambiental: aquele proponente responsabilizado penal, civil ou administrativamente, conforme definido em decreto regulamentador específico.

Atendidos os requisitos de elegibilidade, o Conselho Diretor habilitará o Provedor de Serviços em uma das seguintes classes (PMC, 2015):

- i) Classe I) dará direito à certificação de Promotor Pleno de Serviços Ambientais e ao recebimento de até 100% do benefício estabelecido e calculado de acordo com o Valor da Unidade de Referência de cada Subprograma ou Projeto, sendo aptos a essa classificação somente aqueles proponentes enquadrados como Promotor Pleno;
- ii) Classe II) dará direito ao recebimento de até 50% do benefício estabelecido e calculado de acordo com o Valor da Unidade de Referência de cada Subprograma ou Projeto;
- iii) Classe III) dará direito a incentivos não monetários (entende-se por incentivos não monetários as ações que visem à conservação

dos recursos hídricos e que não envolvam o repasse direto de recursos financeiros ao proprietário, tais como recuperação de áreas ciliares; instalação de equipamentos de monitoramento hidrológico; fossas sépticas e conservação do solo).

Os Programas pilotos serão financiados pelos fundos ambientais PROAMB (Fundo de Recuperação, Manutenção e Preservação do Meio Ambiente), FUNDIF (Fundo Estadual de Defesa de Direitos Difusos), bem como por outras fontes de recurso (usuário), visando o pagamento monetário associado a projetos de plantio orientados pelo Banco de Áreas Verdes - BAV, além de outros incentivos não monetários, destacando-se o apoio técnico (SVDS, 2018).

O incentivo monetário fornecerá ao proprietário rural habilitado por hectare/ano, considerando a área total da propriedade, respectivamente: (i) - 250 UFICs (unidade fiscal de Campinas) caso seja classificado como pleno; (ii) - 125 UFICs caso esteja em conformidade. O teto para incentivo monetário é de 20 ha. Os valores serão pagos em duas parcelas ao longo do ano, sendo aprovadas após a vistoria de monitoramento e acompanhamento semestral do programa elaborado através de CT/CDPSA (PMC, 2015). \*UFICs Campinas 2020: R\$ 3,6161

O Conselho Diretor do Programa de PSA promoverá o monitoramento do PSA através de vistorias semestrais nas propriedades contempladas pelo Programa, emitindo relatório técnico a fim de aferir o cumprimento das metas estabelecidas no Projeto e no Termo de Habilitação. Caso o provedor dos serviços ambientais descumpra as obrigações do Termo de Adesão, o mesmo será advertido e notificado a adequar-se, podendo ter sua habilitação revogada caso as irregularidades não sejam sanadas. Caso o provedor dos serviços ambientais pratique condutas lesivas ao meio ambiente, os pagamentos serão suspensos e a habilitação revogada, não podendo o proponente inscrever a propriedade novamente no PSA, enquanto enquadrar-se como infrator ambiental (PMC, 2015).

### **3.5. Indicadores de qualidade ambiental e monitoramento de programas de PSA**

Segundo Lima *et al.* (2015), o monitoramento de programas de PSA tem sido um dos principais gargalos para sua concreta eficiência devido a falha na obtenção e/ou divulgação de informações ou ainda sua ausência, comprometendo

o alcance dos objetivos estabelecidos. Bernardes (2010) afirma que essas atividades de divulgação dos dados e detalhamento das metodologias são essenciais como instrumentos de validação, além de serem importantes fontes de informação para subsidiar futuros projetos.

Ainda segundo Lima *et al.* (2015), para se obter um monitoramento que possibilite a obtenção de dados fiéis e de maneira contínua é preciso estabelecer parâmetros apropriados, de baixo custo, eficazes e de fácil aplicação que sejam capazes de medir as alterações ambientais e sociais que se espera ocorrer na área de interesse. Além disso, é preciso estabelecer uma frequência mínima do monitoramento, o que requer conhecimento e apoio técnico.

O monitoramento e o diagnóstico da qualidade ambiental, bem como as ações de fiscalização, envolvem a medida de uma ou mais variáveis, cujos resultados serão utilizados para avaliar as condições de um ambiente e dar subsídios para a tomada de medidas preventivas e corretivas, com base na legislação existente. Nesse sentido, os objetivos do trabalho, as estratégias de amostragem e os métodos de análises a serem empregados, devem ser definidos para obter resultados robustos (ANA; CETESB, 2011).

Estas variáveis, por ora identificadas como “indicadores” proporcionam informações agregadas sobre certos fenômenos, e ainda configuram tipo particular de estatística que deve comunicar claramente seu sentido, servindo como sinal de alerta sobre um fenômeno, problema, desafio ou meta estabelecida (MARTÍNEZ, 2009), podendo ser aplicados para os mais diversos fins, como para mensuração de biodiversidade, de qualidade da água e de equidade social.

Segundo Novaes (2014), a classe de indicadores mais monitorada por programas de PSA é aquela relacionada a recursos naturais, sobretudo em função da área com cobertura vegetal ou área em recuperação vegetal. Ainda no levantamento de Novaes (2014), indicadores relacionados a água foram empregados em 26% dos casos analisados, de forma que o número é mais expressivo em programas focados especificamente no recurso (56%). O autor salienta que indicadores socioeconômicos têm sido tratados como secundários, sendo verificado um percentual de 17% de adoção em programas de PSA.

Já Pocidonio e Turetta (2012) observam que, pelo fato dos programas mais frequentemente realizados no Brasil terem por objetivo a proteção hídrica, os indicadores referentes à água têm maior aplicação, como regulação do fluxo hídrico

e erosão do solo. Os autores atentam para o fato da necessidade de integração entre os indicadores citados com aqueles de cunho social e econômico a fim de se obter uma avaliação mais refinada do andamento dos projetos.

Como indicadores do meio físico, a categoria de geoindicadores é capaz de evidenciar mudanças em ambientes fluviais e montanhosos pela avaliação de impactos ambientais e riscos geológicos. Os geoindicadores são definidos como medidas (magnitude, frequência, taxa e tendência) de processos geológicos e dos fenômenos que ocorrem na superfície ou próximos a ela e que estão sujeitos a variações em função do interesse específico do estudo em desenvolvimento e da dinâmica de seus processos (TAVARES; CRUZ; LOLLO, 2007).

Os geoindicadores são aplicados como uma ferramenta para auxiliar na avaliação integrada de ambientes naturais e ecossistemas: como descritores dos processos do meio físico que operam em um cenário terrestre, os geoindicadores concentram em si mesmo os componentes inanimados da litosfera, pedosfera, hidrosfera, e suas interações com a atmosfera e a biosfera (DINIZ, 2002). Neste contexto, os geoindicadores são ferramentas essenciais no contexto de caracterização inicial, planejamento e conservação ambiental, podendo envolver desde características gerais como o tipo de vegetação a características específicas como a estabilidade, geomorfologia e tipo de solo (SILVA; LONGO, 2018).

Devido à complexidade das informações ambientais, nas quais se incluem os geoindicadores, fenômenos naturais, interações humanas e necessidade de avaliações abrangentes, existe um desafio constante, no sentido de arquivar e tornar o sistema de monitoramento disponível, em formato acessível para usuários (DINIZ, 2002). Briguenti (2005) afirma que há a necessidade de se formar sistemas contínuos e apurados de coleta de dados, utilizando-se de sistemas de informação geográfica (SIG), modelos e uma variedade de outras técnicas para a avaliação e análise de dados. O emprego de técnicas de análise espacial em ambiente de SIG fornece um conjunto de alternativas para mensurar relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo (RUDORFF; BONETTI, 2010).

As informações obtidas pelo consórcio de geoindicadores e o SIG podem ser usadas como base para um planejamento estratégico, auxiliando na gestão de riscos e na precaução de impactos negativos. A facilidade de integração de dados de diversas fontes e para produção de mapas tornam o SIG uma potente

ferramenta. Quando associado a indicadores, podem capturar a noção de que espaço geográfico está em permanente mudança (FOGAROLI, 2013).

Para análise da qualidade hídrica atualmente são encontradas centenas de variáveis que podem ser empregadas para caracterizar um corpo d'água, envolvendo parâmetros físicos, químicos, biológicos e toxicológicos. Fiore, Bardini e Novaes (2017) verificaram que os indicadores de qualidade das águas adotados nos programas de PSA-Água são em sua maioria semelhantes aos que integram o Índice de Qualidades de Águas (IQA), estando estes dispostos no Quadro 1.

**Quadro 1 - Indicadores de qualidade da água**

<b>Parâmetros</b>	<b>Interpretação do parâmetro</b>
Oxigênio Dissolvido (OD)	O teor de OD está associado a processos físicos, químicos e biológicos. Geralmente este valor decai com aportes de substâncias orgânicas, como efluentes domésticos e industriais. No entanto, algumas condições naturais, como temperatura, espessura da lâmina de água, pressão e salinidade podem rebaixar os valores deste parâmetro (IAP, 2019).
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>(5,20)</sub> )	A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição aeróbia. Altas taxas de DBO indicam provável lançamento de carga orgânica (LEANDRO, 2014).
Potencial Hidrogeniônico (pH)	O pH indica a concentração de íons de hidrogênio presentes na água, indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade. Bonnet (2007) associa o pH a variáveis afins à matéria orgânica, como turbidez, cor aparente e coliformes totais adsorvidos a sedimentos carregados por escoamento superficial. Assim, o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre.
Temperatura	A temperatura influencia a cinética dos processos metabólicos oxidativos, a solubilidade de gases e a densidade da água. Alguns fatores influenciam na temperatura da água, como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade e lançamento de efluentes (CETESB, 2016).
Turbidez	A turbidez reflete o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água devido à presença de sólidos em suspensão, como argilas e matéria orgânica (IAP, 2019). O aumento no valor da turbidez pode ser verificado, por exemplo, devido a erosão das margens dos rios em estações chuvosas (MONTEIRO-DA-COSTA; FLAUZINO, 2009).
Condutividade elétrica	Relaciona-se à concentração de íons dissolvidos no corpo d'água e à geologia local. Águas naturais tendem a apresentar menores teores de CE quando comparados a ambientes poluídos por matéria orgânica doméstica ou industrial (VON SPERLING, 2005)
Sólidos Dissolvidos Totais SDT	Os sólidos totais representam toda a matéria que resta num recipiente quando se faz a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante determinado tempo e temperatura. Segundo Norma Técnica Interna SABESP (SABESP, 1999), quando em excesso nos leitos dos corpos d'água os sólidos totais podem ocasionar assoreamento.
Fósforo Total	A transferência de fósforo do sistema terrestre para o aquático ocorre principalmente por escoamento superficial. A água escoada superficialmente pode transportar materiais orgânicos, inorgânicos e partículas em suspensão (KLEIN; AGNE, 2013). O principal efeito do aumento da concentração de fósforo nas águas é a eutrofização, processo que consiste no crescimento do fitoplâncton, provocando aumento da turbidez (EMÍDIO, 2012).

(continua)

(continuação)

Parâmetros	Interpretação do parâmetro
Nitrogênio Total	O nitrogênio total pode ser encontrado no corpo hídrico na forma de sólidos em suspensão ou dissolvidos. Este elemento constitui o aparelho celular de microrganismos e reflete a presença de compostos biológicos, industriais, excretas de animais e fertilizantes. Quando em excesso causa eutrofização, sendo indicador de poluição orgânica (SOUZA; GASTALDINI, 2014).
Coliformes totais	O grupo de coliformes totais abrange bactérias cuja principal característica é a fermentação de lactose com produção de ácidos, aldeídos e gás a 35°C entre 24 e 48 horas, incluindo os gêneros: <i>Klebsiella</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Enterobacter</i> e <i>Citrobacter</i> (ALVES; ATAÍDE; SILVA, 2018).

Por fim, ressalta-se a necessidade de vinculação dos dados de monitoramento aos resultados do projeto de PSA, mostrando a qualidade e a frequência dos dados disponíveis, onde os benefícios para os ecossistemas e proprietários de terra podem ser obtidos. A efetivação do monitoramento garante a confiabilidade para os personagens envolvidos no mercado de serviços ambientais e permite comparações entre os projetos estabelecidos (TAFFARELLO *et al.*, 2017).

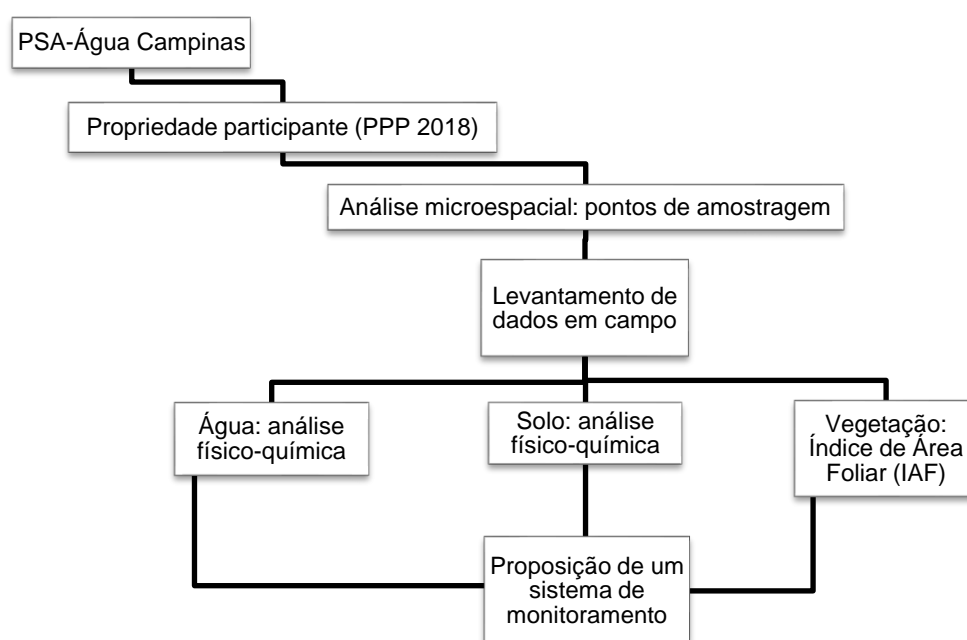


## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Fluxograma de execução da pesquisa

O presente trabalho, de natureza exploratória com estudo de caso e uso de materiais bibliográficos, cunho experimental com análise laboratorial e abordagem quali-quantitativa dos dados (GIL, 2008) consiste em uma análise do PSA-Água Campinas em uma propriedade participante do programa no município desde 2018, mais especificamente sobre pontos de monitoramento pré-determinados, em que se deu a análise de qualidade da água, solo e vegetação, tal qual mostra Figura 5. Os resultados serviram como subsídio para o estabelecimento de um plano de monitoramento de PSA-Água, podendo este ser utilizado como modelo de diagnóstico para implantação do programa em outras propriedades do município.

Figura 5 – Fluxograma de execução da pesquisa



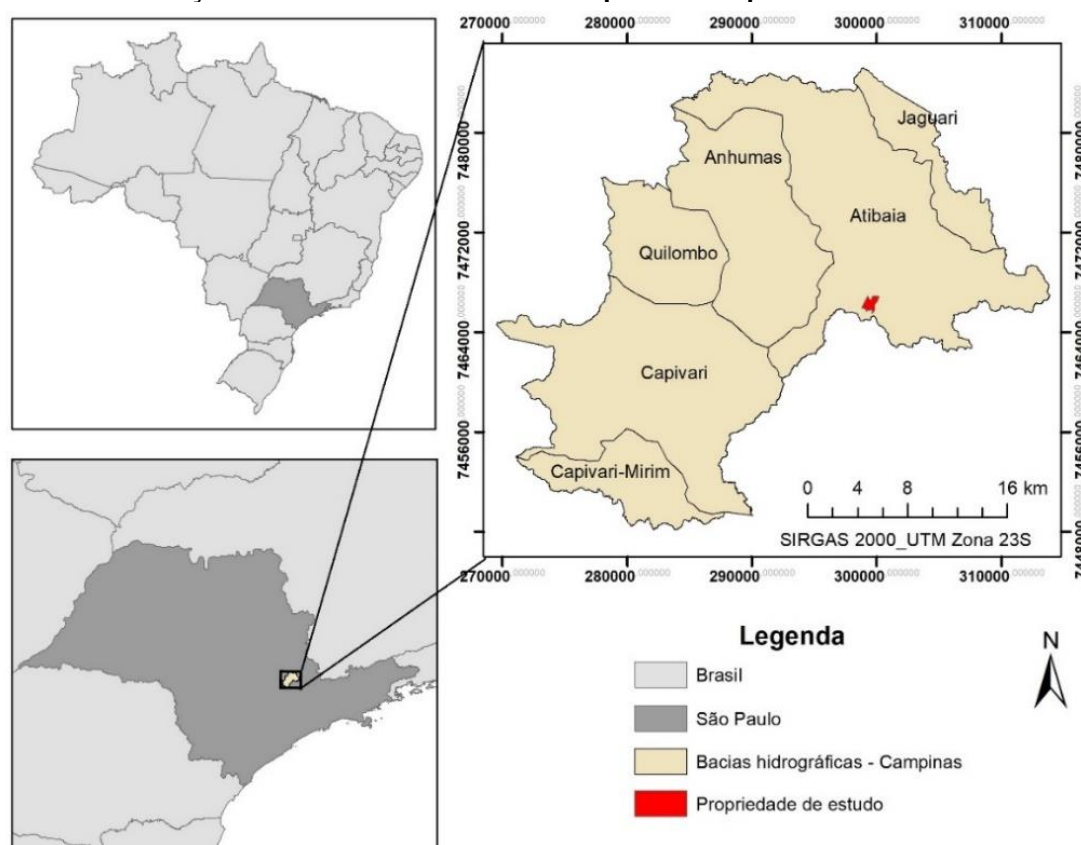
### 4.2. Caracterização da área de estudo

#### 4.2.1. Campinas: região metropolitana e bacias hidrográficas

A Região Metropolitana de Campinas (RCM) é constituída por vinte municípios e se caracteriza por ser a segunda maior região metropolitana do estado

de São Paulo em população, com mais de 3,2 milhões de habitantes que ocupam 3.791 km<sup>2</sup> do território paulista (EMPLASA; GIP/CDI, 2018). Dentre os municípios constituintes da RMC, Campinas, que passou a ser formalmente sede de sua Região Metropolitana em 2000 teve seu desenvolvimento alavancado a partir dos anos 70, impulsionado pelo processo de interiorização da indústria no estado (PMC, 2018). Com área aproximada de 800 km<sup>2</sup>, o município localizado no interior do estado de São Paulo (Figura 6) tem população de 1.213.792 habitantes segundo provisão para 2020 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

**Figura 6 - Localização da área de estudo no município de Campinas e estado de São Paulo**



Segundo Lima (2002) e Oliveira (2005), quanto ao comportamento pluviométrico e térmico, o município de Campinas apresenta influência das massas de ar Tropicais Atlântica e Continental e Polar Atlântica. Pelo sistema Köppen, o clima apresenta as tipologias Cfb (temperado com verão ameno), Cfa (subtropical com verão quente) e Cwa (subtropical de inverno seco e verão quente). O período chuvoso tem início na primavera, sobretudo em outubro e se estende a meados de abril com pico no verão, sendo verificada estiagem de maio a setembro, de maneira que os valores de precipitação se situam entre 1200 e 1800 mm anuais.

Dados da Estação Meteorológica do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP (CEPAGRI, 2019) apontam média anual de temperatura no município de 22,4°C, sendo fevereiro o mês mais quente, com média mensal de 25,3°C e junho o mês mais frio, com média mensal de 18,1°C.

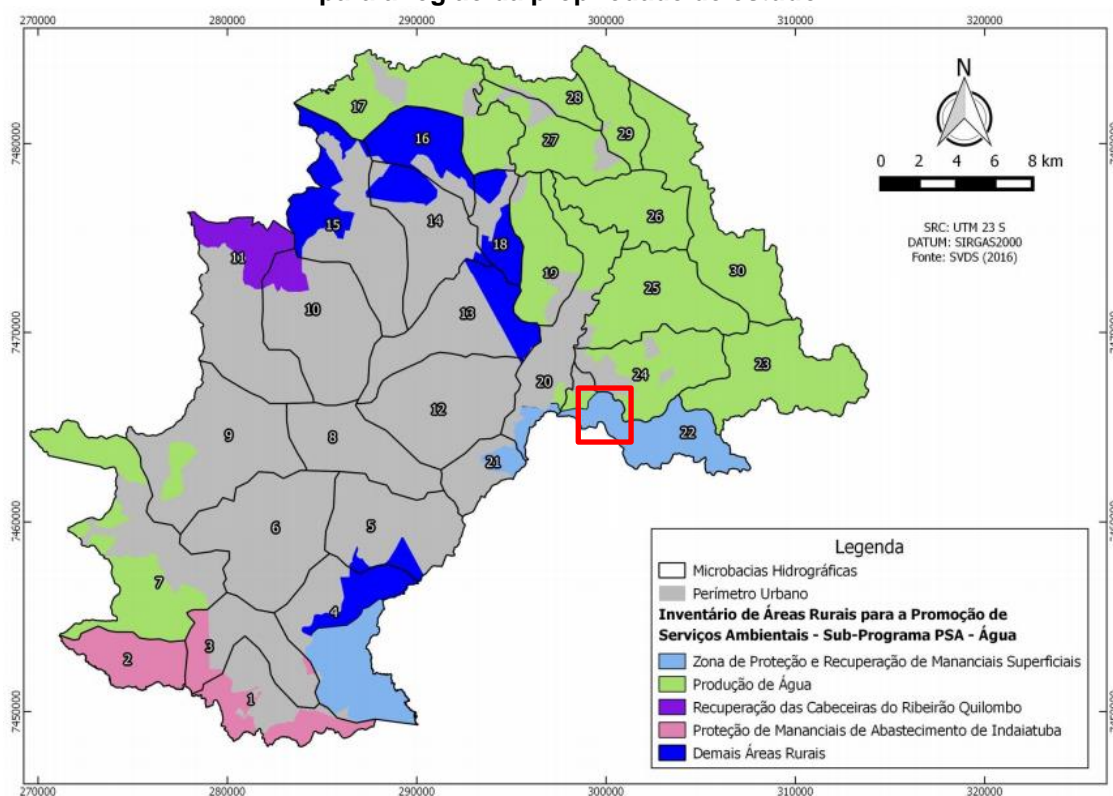
Vários fatores, dos quais se destaca sua posição privilegiada de conexão com a maior cidade da América Latina (São Paulo) colocam Campinas como um pólo de atração de atividades econômicas, de desenvolvimento científico, tecnológico, econômico e social (PMC, 2006). Entretanto, ao passo em que se desenvolveu tecnicamente e industrialmente, o município possibilitou que as questões ambientais se tornassem secundárias, frente ao planejamento desordenado do centro urbano. As especificidades dos processos de urbanização e industrialização ocorridos na região acarretaram desequilíbrios ambientais e deficiências nos serviços básicos (SVDS, 2016).

Os conflitos entre diferentes demandas por recursos ambientais pode ser um fator capaz de reforçar a ideia da necessidade de um planejamento regional, que seja capaz de contemporizar o uso e ocupação do solo, de direcionar os vetores de expansão econômica e influenciar o processo de distribuição espacial da população e das atividades econômicas (CARMO; HOGAN, 2006).

No que tange os recursos hídricos, de acordo com a Lei Complementar Municipal nº 15/06, que dispõe sobre o Plano Diretor do Município, Campinas é dividida em seis sub-bacias hidrográficas, tal qual apresentado na Figura 6, cuja delimitação não necessariamente se restringe a seu município: bacia do Rio Jaguari, bacia do Rio Atibaia, bacia do Ribeirão Anhumas, bacia do Ribeirão Quilombo, bacia do Rio Capivari e bacia do Rio Capivari – Mirim (PMC, 2013).

Segundo o Plano Municipal de Recursos Hídricos (PMC, 2016) de Campinas, o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais na área de concentração hídrica -PSA Água- será realizado nas propriedades rurais do município, priorizando aquelas inseridas nas Zonas de Proteção e Recuperação de Mananciais Superficiais, que se localizam à sul na bacia do Atibaia e à leste na bacia do Capivari, sobretudo em função da localização de áreas verdes, fragmentos florestais e potencial de oferta de serviços hídricos, conforme Figura 7.

**Figura 7 - Áreas prioritárias para implantação do PSA-Água em Campinas com destaque para a região da propriedade de estudo**



Fonte: PMC (2016).

#### 4.2.2. Bacia hidrográfica do rio Atibaia e microbacia 22

A bacia do Rio Atibaia, cujo detalhamento quanto a geoindicadores e uso e ocupação do solo se faz nos Apêndices A e B está localizada na bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, que compõem a quinta Unidade de Gerenciamento Hídrico do Estado de São Paulo - UGRHI 05. O Rio Atibaia nasce no município de Atibaia, avança pelas cidades de Campinas e Paulínia e tem sua foz na represa de Americana, onde com o Rio Jaguari forma o Rio Piracicaba. Em sua cabeceira é formado pelos rios Atibainha e Cachoeira, ambos represados para abastecer o sistema Cantareira, principal fonte de água para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (SILVA; JARDIM, 2006).

Dos vinte municípios que compõem a Região Metropolitana de Campinas (RMC), sete usam as águas do rio Atibaia para captação ou lançamento de efluente: Americana, Campinas, Itatiba, Paulínia, Sumaré, Valinhos e Vinhedo. Além disso, apesar da RMSP não estar inserida na bacia do rio Atibaia, esta utiliza de seus recursos hídricos, situação que agrava a disponibilidade hídrica e os problemas ambientais da bacia (DEMANBORO; LAURENTIS; BETTINE, 2013).

Cerca de 70% da extensão da bacia hidrográfica do rio Atibaia se encontra sobre Unidades de Conservação, sendo 68,7% sobre a Área de Proteção Ambiental Municipal de Campinas e 0,9% sobre a Área de Proteção Ambiental Piracicaba/Juqueri-Mirim. A primeira, de maior extensão na bacia do Atibaia foi criada por meio da Lei Municipal nº10.850/01 e tem como objetivos principais a proteção dos mananciais hídricos, o controle das pressões urbanizadoras e das atividades agrícolas e industriais e a conservação do patrimônio natural, cultural e arquitetônico da região, visando a melhoria da qualidade de vida da população e a proteção dos ecossistemas regionais (SVDS, 2020).

Com relação a microbacia de localização da propriedade - microbacia do trecho SL do Rio Atibaia – MB 22 está localizada praticamente toda em área rural (93,9%), e tal qual Plano Municipal de Recursos Hídricos do município (PMC, 2016), esta microbacia juntamente as MB 20 e 21 contribui para a vazão do Rio Atibaia, antes da captação para o abastecimento público da SANASA - Sociedade de Abastecimento e Saneamento de Água, tornando-as estratégicas como mananciais. Embora esteja localizada na APA Campinas e seja essencial para o abastecimento público do município, o percentual de vegetação total da MB 22 é de apenas 28,3%.

#### 4.2.3. PSA Campinas: propriedade de estudo

Com relação ao programa de PSA no município, no início de 2019 e deste projeto duas propriedades estavam habilitadas no formato pleno do programa. Assim, optou-se juntamente a membros da prefeitura para que o projeto fosse desenvolvido na propriedade de maior área e com melhorias implantadas, cujas características são descritas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características da propriedade de estudo, Campinas (SP)**

<b>Características</b>	<b>Informação descritiva</b>
Área total (ha)	102,9
Área de Preservação Permanente (APP)	
APP Cercada	11,1
APP Degradada	3,3
Remanescente de vegetação (ha)	16,8
Pastagem (ha)	58,3
Infraestrutura (ha)	3,3
Atividade principal	Pecuária de gado
Uso de recursos hídricos	1 subterrânea (poço) 3 superficiais (nascentes)

O Programa Personalizado da Propriedade no âmbito do PSA, estabelecido no ano de 2018 estabeleceu metas e ações que se subdividem em quatro blocos: (i) código florestal: abrange as obrigações legais de restauração florestal de áreas protegidas e proteção da vegetação nativa existente; (ii) saneamento rural: trata de ações de manejo de efluentes domésticos e drenagem de água pluvial; (iii) conservação do solo: diz respeito a implantação e manutenção de práticas conservacionistas de solo e (iv) outorga de uso dos recursos hídricos: relaciona-se a outorga de uso da água. Assim sendo, no Quadro 2 são expostas as medidas adotadas na propriedade desde sua habilitação no ano de 2018.

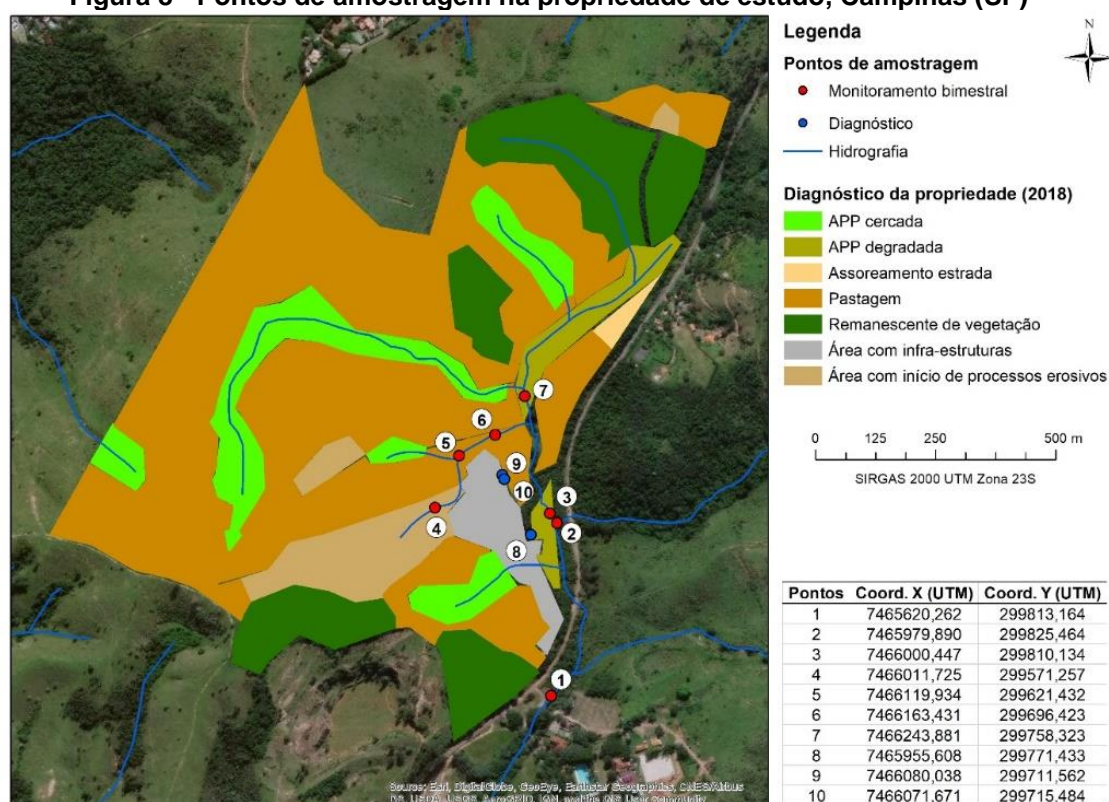
**Quadro 2 - Melhorias implantadas na propriedade de estudo no período entre 02/2018 e 08/2020**

Bloco	20/02/18 a 20/08/18	20/08/18 a 20/02/19	20/02/19 a 20/08/19	20/08/19 a 20/02/20	20/02/20 a 20/08/20
1. Código Florestal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inscrição de APP no Banco de Áreas Verdes (BAV) do município</li> <li>- Cercamento e plantio (2.091 mudas)</li> <li>- Preservação da vegetação existente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Novos cercamentos</li> <li>- Preservação da vegetação existente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantios compensatórios de terceiros (477 mudas)</li> <li>- Intenção de desenvolvimento de plantios agroflorestais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 240 m de novas cercas</li> <li>- Plantio (300 mudas) e manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantio voluntário de mudas nativas em áreas cercadas</li> <li>- Manutenção dos plantios anteriores.</li> </ul>
2. Saneamento Rural	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação filtros de zimbra e biodigestor</li> <li>- Doação jardim filtrante</li> <li>- Otimização dos sistemas de saneamento existentes</li> <li>- Terraceamento na pastagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) para doação de sistema biodigestor e vala de infiltração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrato com empresa especializada para regularização do saneamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantação sistema de sedimentação e filtros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação de 3 biodigestores doados pela prefeitura</li> <li>- Manutenção dos sistemas instalados (fossa séptica, jardim filtrante e no sistema coletivo)</li> </ul>
3. Conservação do solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sugestões técnicas conservacionistas:</li> <li>(i) plantio de braquiária em faixas;</li> <li>(ii) Cercamento de áreas com início de erosão</li> <li>(iii) Desvio do gado</li> <li>(iv) Controle de espécie exótica invasora</li> <li>- Recuperação de pastagens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantidas as anteriores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantidas as anteriores</li> <li>- Articulação com concessionária para construção de obra de drenagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantidas as anteriores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção das práticas (Terraceamento, plantio de braquiária em faixas; desvio do gado e contenções mecânicas de água e sedimentos nas drenagens pluviais)</li> </ul>
4. Outorga de uso dos recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Captação regularizada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação de hidrômetros para medição do volume captado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoramento hidrológico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantida a anterior;</li> <li>- Dados atualizados no DAEE.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação de hidrômetros individuais nas residências para aferição de consumo</li> </ul>

Fonte: relatórios semestrais de monitoramento do PSA cedidos por membro da SVDS.

Em visita inicial à propriedade junto a membros da Prefeitura de Campinas e acompanhado dos proprietários foram selecionados pontos de interesse para análise, apresentados na Figura 8. Foram definidos dez pontos, sete de acompanhamento bimestral (1 a 7) e três de diagnóstico – (8 a 10): os primeiros foram avaliados ao longo do período de estudo com o intuito de verificar alterações nos parâmetros de qualidade da água provenientes das melhorias implantadas e/ou da sazonalidade de precipitação e os últimos foram avaliados em uma única amostragem para efeito de reconhecimento da qualidade hídrica.

**Figura 8 - Pontos de amostragem na propriedade de estudo, Campinas (SP)**



Após a definição dos pontos de amostragem se deu a coleta de amostras para análise da qualidade da água, solo e vegetação.

### 4.3. Qualidade hídrica

A coleta de água nos pontos de monitoramento bimestral (1 a 7) se deu nos meses de Abril/19, Julho/19, Setembro/19, Novembro/19 e Janeiro/20, sendo obtidas quatro amostras em cada ponto para análise estatística. Nos pontos de diagnóstico, a coleta se deu em Janeiro/20 (ponto 8) e Setembro/20 (ponto 10).

Ressalta-se que para o ponto 9 – entrada do jardim filtrante não foi realizada coleta, pois sua composição se dava por efluente doméstico, não sendo viável a realização das análises tal qual estipulado para os outros pontos.

A primeira etapa de análise da qualidade hídrica consistiu na mensuração dos parâmetros descritos no Quadro 3.

**Quadro 3 - Parâmetros de qualidade da água e métodos de medição**

<b>Parâmetros</b>	<b>Método de medição</b>	<b>Fonte</b>
Oxigênio dissolvido (OD)	Oxímetro	CETESB, 2011
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO <sub>5,20</sub>	Oxímetro e incubação	APHA, 2005
pH	Potenciômetro	FUNASA, 2014
Temperatura	Oxímetro	FUNASA, 2014
Turbidez	Turbidímetro	FUNASA, 2014
Condutividade elétrica	Condutivímetro	CETESB, 2011
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Gravimetria	APHA, 2005
Fósforo total (PT)	Método do ácido ascórbico	APHA, 2005
Nitrogênio total (NT)	Digestão e destilação (Kjeldahl)	APHA, 2005
Coliformes totais	Tubos múltiplos	APHA, 2005

Para os parâmetros de OD, DBO, pH, turbidez, fósforo total e SDT os teores dos elementos foram comparados à limites estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n°357/2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” (BRASIL, 2005).

Os parâmetros temperatura, condutividade elétrica, nitrogênio total e coliformes totais, por não apresentarem limites definidos pela Resolução CONAMA 357/05 foram comparados a outras portarias, como a n° 2.914/2011 (BRASIL, 2011) do Ministério da Saúde – atualizada em 2017 pelo anexo XX da Portaria de Consolidação n° 5 de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), bem como a legislações e/ou trabalhos acadêmicos.

Como forma de visualizar a quais usos pode ser destinada a água dos pontos amostrados frente a qualidade mensurada, fez-se a comparação dos valores medidos por parâmetro - quando estes apresentavam limites segundo Resolução CONAMA 357/05, com as classes de enquadramento, tal qual se apresenta no Quadro 4, de maneira que quanto maior o número da classe, menos nobres são os usos destinados e os padrões tendem a ser menos exigentes.



**Quadro 4 – Classes de enquadramento das águas doces e usos respectivos segundo CONAMA 357/2005**

Uso das águas doces	Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
<i>Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas</i>	Mandatária em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
<i>Proteção das comunidades aquáticas</i>	X	Mandatária em comunidades indígenas	X		
<i>Recreação de contato primário</i>	X	X	X		
<i>Aquicultura</i>	X	X	X		
<i>Abastecimento para consumo humano</i>	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
<i>Recreação de contato primário</i>	X	X	X	X	
<i>Pesca</i>	X	X	X	X	
<i>Irrigação</i>	X	Hortaliças consumidas cruas e frutas ingeridas cruas sem remoção de películas	Hortaliças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
<i>Dessedentação de animais</i>	X	X	X	X	
<i>Navegação</i>	X	X	X	X	X
<i>Harmonia paisagística</i>	X	X	X	X	X

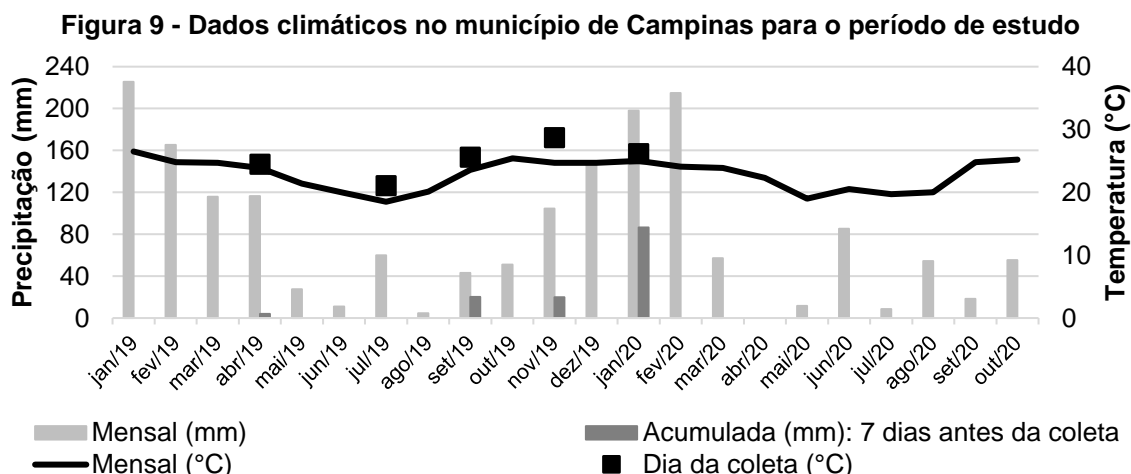
Fonte: adaptado de ANA (2020b)

Segundo Cunha *et al.* (2013), a aplicação da Resolução CONAMA 357 se tornou referência em território nacional, sobretudo para pesquisas acadêmicas em que o intuito é promover uma comparação entre resultados de pesquisa levantados em campo e os limites estabelecidos pela citada legislação. Porto e Lobato (2004) afirmam que os padrões de qualidade hídrica atuam como forma legal de regulação do controle da poluição hídrica, por meio da definição de valores limites para o corpo d'água com respeito a variáveis indicadoras para diferentes usos ou por meio da padronização das emissões de descargas de efluente.

Entretanto, alguns autores direcionam críticas, sobretudo à ausência de flexibilidade dos padrões ambientais estabelecidos pela Resolução, fato que desconsidera necessidades e características regionais, sendo, portanto, um entrave para sua execução (SILVA; MARIANI; POMPÊO, 2015; PIZELLA; SOUZA, 2007). Silva, Mariani e Pompêo (2015) observam que, a Resolução CONAMA 357/05, como instrumento de avaliação da qualidade da água por meio do enquadramento dos corpos d'água não estipula prazos para o alcance das metas, embora estas sejam apresentadas como progressivas, considerando que o

enquadramento não se baseia no estado atual dos corpos d'água, mas nos níveis de qualidade que os mesmos deveriam possuir para atender às necessidades definidas pela sociedade.

Considerando o efeito da pluviosidade sobre indicadores de qualidade hídrica, tal qual abordado por Garcia e Longo (2020), Piratoba *et al.* (2017), Cunha e Oliveira (2014), Basso, Moreira e Pizzato (2011) e Silva *et al.* (2008), apresenta-se na Figura 9 a precipitação mensal no período de estudo e precipitação acumulada dos sete dias anteriores à coleta por amostragem, ressaltando-se a ausência da mesma nos dias de coleta. Também na Figura 9 se apresentam a temperatura média mensal no período e aquela dos dias de coleta segundo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIAGRO (CIAGRO, 2020).



Segundo os autores supracitados, a resposta dos parâmetros de qualidade hídrica frente à maior ou menor pluviosidade deve ser considerada: ao passo em que alguns parâmetros como condutividade elétrica, pH, turbidez, OD e SDT apresentam elevação em períodos de chuva frente a diluição de íons, maior carreamento de sedimentos ao curso hídrico e maior turbulência da corrente de água, outros teores como DBO e fósforo total apresentam elevação em períodos de seca devido a ocorrência de menores vazões.

#### 4.4. Qualidade do solo

De maneira a auxiliar a discussão a respeito das alterações espaciais nos indicadores de qualidade de água, sobretudo com relação às características

físico-químicas do solo e se estas influenciam os parâmetros de água analisados foram coletadas amostras únicas superficiais de solo com o auxílio de um trado nos pontos de monitoramento bimestral e no ponto de diagnóstico do jardim filtrante.

Os parâmetros analisados, dispostos no Quadro 5 foram interpretados segundo os documentos: Boletim Técnico 100 do IAC (RAIJ *et al.*, 1997), Manual de Análise do Solo EPAMIG (PEDROSO NETO; COSTA, 2012), Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo (SOBRAL *et al.*, 2015) e Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

**Quadro 5 - Parâmetros de qualidade do solo e métodos de medição**

Parâmetros	Determinação	
Micronutrientes (mg/dm <sup>3</sup> )	Cobre (Cu)	DTPA
	Ferro (Fe)	DTPA
	Manganês (Mn)	DTPA
	Zinco (Zn)	DTPA
	Boro (B)	Água quente
Macronutrientes (mg/dm <sup>3</sup> para P) (mmolc/dm <sup>3</sup> para Ca e Mg)	Cálcio (Ca)	Resina
	Magnésio (Mg)	Resina
	Fósforo (P)	Resina
Capacidade de Troca Catiônica – CTC (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Cálculo segundo metodologia IAC	
Saturação por base	V%	Cálculo segundo metodologia IAC
Acidez	Ativa – pH	CaCl <sub>2</sub>
	Total - H+AL (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Cálculo segundo metodologia IAC
Composição granulométrica (%)	Argila	HMFS + NaOH
	Silte	HMFS + NaOH
	Areia Total	HMFS + NaOH
Matéria orgânica (g/dm <sup>3</sup> )	Oxidação	

#### 4.5. Qualidade da cobertura vegetal

O parâmetro tomado para análise da vegetação foi o Índice de Área Foliar (IAF), método indireto que visa avaliar a estrutura da copa por meio de fotografias hemisféricas, capazes de mapear o tamanho, a magnitude e distribuição das aberturas da copa em relação ao local em que a fotografia foi obtida (GALVANI; LIMA, 2014). Por fornecerem um extremo ângulo de visão, o resultado de uma fotografia hemisférica é a projeção do hemisfério em um plano: uma imagem circular com visão completa do céu; o zênite no centro e o horizonte nas bordas (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

As fotografias foram obtidas para os pontos de monitoramento bimestral em uma única amostragem com o intuito de caracterizar a vegetação do entorno

dos pontos amostrais e verificar possível influência destas sobre os parâmetros de qualidade de água. As fotografias foram analisadas no software HemiView®, classificando-se a luz (pixels brancos) e a biomassa vegetal (pixels negros). Para isso, o brilho de cada pixel da foto foi calculado em função de uma média de três canais de cores (vermelho, verde e azul) e transformado em uma escala de cinza (HEMIVIEW, 2015).

Para a aquisição das fotografias, foram utilizados os instrumentos (Figura 10): máquina fotográfica Cyber-shot® Digital Câmera Sony DSC – F828, lente Fisheye Opteka® 0.22X AF e adaptador; tripé de 1,3 m com plataforma; bússola para orientação ao Norte.

**Figura 10 - Conjunto fotográfico para obtenção de fotografias hemisféricas**



Os resultados foram comparados com a escala proposta por Oliveira *et al.* (2011), conforme Tabela 2.

**Tabela 2 - Intervalos de IAF segundo Oliveira *et al.* (2011)**

Intervalos de IAF (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Interpretação
0,0 a 0,20	Solo exposto e/ou presença de edificações
0,21 a 0,60	Solo exposto
0,61 a 0,80	Solo exposto levemente coberto por vegetação rasteira
0,81 a 1,0	Vegetação de porte intermediário com distribuição irregular no terreno
1,01 a 1,50	Vegetação de porte arbóreo-arbustivo
>1,51	Vegetação densa

#### 4.6. Análise dos dados

Os dados de água foram inicialmente tratados no software Microsoft Excel, em que foram definidas por parâmetro e ponto de amostragem cinco medidas de posição: valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e valor máximo, utilizados para a composição de boxplot, técnica de agrupamento e classificação que consiste em um diagrama de caixa para visualização de tendências, dispersão, forma de distribuição ou simetria e desvios dentro dos dados analisados (VALLADARES NETO *et al.*, 2017).

Posteriormente, para verificação dos efeitos das fontes de variação espaciais – pontos de coleta e sazonais - meses de amostragem sobre os parâmetros de qualidade da água e utilizando-se do software Statistica 10.0 foi aplicada sobre os dados amostrais uma análise de variância ANOVA dois critérios ao nível de significância de 5%. O delineamento experimental adotado foi o Delineamento Split Plot ou Parcelas Subdivididas, sendo os tratamentos arranjados em esquema fatorial 7x5: sete pontos de coleta e cinco meses de amostragem, com quatro repetições por ponto. Os parâmetros que apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) foram submetidos ao teste de Tukey para comparação de médias entre grupos (CANTERI *et al.*, 2020).

Considerando o elevado número de variáveis analisadas no presente estudo, aplicou-se sobre o conjunto de dados de qualidade hídrica uma Análise de Componentes Principais (PCA), que permite a transformação de um conjunto de muitas variáveis em combinações lineares denominadas componentes principais e o levantamento do grau de importância das variáveis analisadas para cada componente, ou seja, qual variável apresenta maior peso e são mais importantes do ponto de vista estatístico (BAIO *et al.*, 2020).

Segundo Moita Neto e Moita (1998), geralmente duas ou três componentes principais são capazes de sintetizar 90% da informação estatística das variáveis originais, ainda que estas sejam representadas em sua totalidade pelas componentes. Os citados autores ainda afirmam que o método PCA pode ser aplicado com o intuito de ponderar a importância das variáveis originais, pois aquelas descritas nos primeiros componentes principais e portanto com maior peso na combinação linear são, do ponto de vista estatístico, as mais importantes.

A análise de PCA no presente estudo foi aplicada, então, individualmente, por ponto amostral e data de amostragem, a fim de determinar se o comportamento e a interação dos indicadores diferem a depender da sazonalidade de precipitação e localização espacial -considerando uso e ocupação do solo e quais os indicadores mais relevantes em cada uma.

Por fim, com o intuito de se levantar os níveis de correlação entre as características físico-químicas dos solos, o Índice de Área Foliar e os indicadores de qualidade da água tomados nos pontos amostrais em diferentes amostragens, procedeu-se com análise de correlação por meio da aplicação do coeficiente de Pearson. Esta metodologia consiste em uma medida de associação linear entre

variáveis, o que significa dizer, em termos estatísticos, que duas variáveis possuem semelhança na distribuição de seus valores (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) varia entre -1 e 1, de maneira que o sinal positivo ou negativo indica a direção de associação entre as variáveis consideradas: no caso de correlação positiva, os valores altos de uma variável tendem a ser associados aos valores altos da outra; na correlação negativa os valores altos de uma variável tendem a ser associados aos valores baixos da outra. Em situações de correlação nula, com valor  $r$  próximos a zero usualmente observa-se a ausência de associação entre as variáveis (PARANHOS *et al.*, 2014).

Entretanto, dificilmente estes extremos são alcançados, e por isso, Dancey e Reidy (2005) *apud* Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) sugerem uma classificação com faixas intermediárias de interpretação, a se considerar: coeficiente  $r$  entre 0,10 e 0,30: grau de correlação fraco, 0,40 a 0,60, correlação moderada e 0,70 a 1, forte correlação.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Diagnóstico ambiental dos pontos amostrais**

Nas Tabelas 3 a 10 são sintetizadas as informações dos pontos de monitoramento bimestral e do ponto de diagnóstico referente ao jardim filtrante quanto à caracterização de fertilidade do solo e de vegetação. As Tabelas foram organizadas de forma a apresentar:








- ✓ Os objetivos para a seleção do ponto e a relação com as medidas implantadas pelo PSA;
- ✓ As características de fertilidade do solo e análise granulométrica nos pontos analisados;
- ✓ Os resultados de Índice de Área Foliar (IAF) nos pontos amostrados;
- ✓ Considerações sobre os pontos analisados destacando alguns aspectos ambientais observados durante os trabalhos de campo.

**Tabela 3 - Caracterização ambiental: Ponto 1**  
**Ponto 1: Curso principal; saída para a Fazenda Santa Margarida**





<b>Objetivo</b>	<p>Avaliar a qualidade da água a jusante da propriedade considerando as melhorias adotadas na mesma, inclusive o sistema de tratamento de efluente doméstico da colônia residencial localizada nos limites da propriedade, que ocorre por fossa séptica biodigestora (capacidade de 3 mil litros) seguido de infiltração – valas vegetadas. Ressalta-se que o curso hídrico no ponto em que se deu a coleta pode sofrer impactos em seus indicadores de qualidade decorrentes da presença da estrada de terra que dá acesso à propriedade e à Fazenda Santa Margarida.</p>	
<b>Caracterização de fertilidade do solo</b>	<p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (2,8 – alto); Fe (264 – alto); Mn (28 – alto), Zn (8,2 - alto), B (0,94 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (25 mg/dm<sup>3</sup> - muito alto), Ca (32 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (12 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,9 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 31 mmolc/dm<sup>3</sup> (médio)</p> <p>Saturação por base (V%): 60% (média)</p> <p>CTC total: 78,3 mmolc/dm<sup>3</sup> (média)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 16 (médio)</p> <p>Composição granulométrica: 72,8% areia, 14,9% argila e 12,3% silte</p> <p>Classe textural: areia-franca</p>	
<b>Caracterização vegetativa</b>		<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 1,483</p> <p>Vegetação de porte arbóreo-arbustivo.</p> <p>Faixa estreita de mata ciliar ligeiramente preservada, com margens estabilizadas e vegetadas e presença de serapilheira. Solo não compactado e ausência de erosão.</p>
<b>Considerações gerais</b>	<p>Curso hídrico com bolsões de areia – assoreamento em função do tipo de solo predominantemente arenoso e baixa disponibilidade hídrica. Leito com tonalidade amarelada. Nas corpo d'água não foi notificada coloração, odor e/ou elementos flutuantes (espuma, resíduos). Ausência de ictiofauna. Ausência de precipitação nos dias de coleta.</p>	



**Tabela 4 - Caracterização ambiental: Ponto 2**  
**Ponto 2: Curso d'água preservado; ponto testemunho**

		
		
<b>Objetivo</b>	<p>Ponto localizado ao fim de uma área contínua de vegetação. Ressalta-se a existência da via de transporte que divide o fragmento florestal do ponto em que se deu a coleta, localizado na propriedade. Objetivou-se, portanto, verificar a qualidade da água do curso externo à propriedade, partindo do pressuposto de que a existência da mata ciliar tende a preservar a qualidade hídrica.</p>	
<b>Caracterização de fertilidade do solo</b>	<p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (1,5 – alto); Fe (108 – alto); Mn (17,2 – alto), Zn (3,5 – alto), B (0,62 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (11 mg/dm<sup>3</sup> - alto), Ca (20 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (12 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,8 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 26 mmolc/dm<sup>3</sup> (médio)</p> <p>Saturação por base (V%): 57% (média)</p> <p>CTC total: 60,4 mmolc/dm<sup>3</sup> (média)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 8 (baixo)</p> <p>Composição granulométrica: 75,1% areia, 13,2% argila e 11,7% silte</p> <p>Classe textural: areia-franca</p>	
<b>Caracterização vegetativa</b>		<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 0,566 - Solo exposto</p> <p>A obtenção da fotografia se deu na margem direita do curso hídrico no sentido acesso da propriedade. Nesta há predomínio de vegetação rasteira, herbácea e plantios ainda não desenvolvidos realizados no âmbito do programa de PSA-Água, refletindo o baixo valor de IAF que se compara a áreas de solo exposto. Em contrapartida, na margem esquerda do curso hídrico, dentro do limite da propriedade é possível a visualização de vegetação mais desenvolvida, com elementos arbóreos de médio e grande porte e representantes de vegetação exótica, sobretudo bambuzais. Destaca-se, ainda, a ocorrência predominante de capim colônio em ambas as margens do corpo d'água.</p>
<b>Considerações gerais</b>	<p>Curso hídrico com ausência de coloração, odor e/ou elementos flutuantes (espuma, resíduos). Ausência de ictiofauna. Ausência de precipitação nos dias de coleta.</p>	

**Tabela 5 - Caracterização ambiental: Ponto 3**  
**Ponto 3: Curso principal: montante esgoto**

		
<b>Objetivo</b>	<p>Ponto localizado no curso hídrico principal da propriedade a montante do sistema de tratamento de esgoto e à junção das águas oriundas do curso externo preservado. A escolha por esse se ponto se deu com o intuito de analisar a qualidade hídrica antes do acréscimo ao mesmo do efluente oriundo do sistema de tratamento descrito no ponto 1 e das águas vindas do curso externo.</p>	
<b>Caracterização de fertilidade do solo</b>	<p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (1,3 – alto); Fe (140 – alto); Mn (12 – alto), Zn (2,3 – alto), B (0,75 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (11 mg/dm<sup>3</sup> - alto), Ca (15 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (7 mmolc/dm<sup>3</sup> - médio)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,7 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 20 mmolc/dm<sup>3</sup> (muito baixo/ baixo)</p> <p>Saturação por base (V%): 54% (média)</p> <p>CTC total: 43,9 mmolc/dm<sup>3</sup> (baixa)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 9 (baixo)</p> <p>Composição granulométrica: 77,3% areia, 12,3% argila e 10,4% silte</p> <p>Classe textural: areia-franca</p>	
<b>Caracterização vegetativa</b>		<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 0,566 - Solo exposto</p> <p>A fotografia referente ao ponto 3 é a mesma obtida para o ponto 2, considerando que os pontos de amostragem são paralelos e estão dispostos próximos um ao outro em um raio inferior a 1m, sendo mantidas as características descritas no Quadro anterior.</p>
<b>Considerações gerais</b>	<p>Dos pontos de amostragem este é o que apresenta o percentual de areia mais expressivo na composição granulométrica e menor CTC, reduzindo o seu potencial de fertilidade.</p> <p>Corpo d'água sem coloração, odor e/ou material flutuante (espumas e resíduos). Não foi notificado assoreamento ou ictiofauna. A vazão deste ponto foi a maior verificada em campo quando comparada aos outros amostrados, sobretudo na amostragem de janeiro após a ocorrência de eventos de precipitação nos sete dias anteriores a coleta. Ausência de precipitação nos dias de coleta.</p>	

**Tabela 6 - Caracterização ambiental: Ponto 4**  
**Ponto 4: Processos erosivos (conservação do solo)**





















		
		
<b>Objetivo</b>	<p>A escolha por esse ponto se deu com o intuito de monitorar a influência da ocorrência de processos erosivos no solo em parâmetros de qualidade da água. Ressalta-se a realização de práticas de conservação em julho/19 no âmbito do programa de PSA-Água, e, portanto, os resultados das amostragens subsquentes a esta data, no longo prazo, tendem a refletir alterações nos indicadores de qualidade decorrentes das melhorias implantadas.</p>	
<b>Caracterização de fertilidade do solo</b>	<p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (1,4 – alto); Fe (242 – alto); Mn (19,6 – alto), Zn (13 – alto), B (0,82 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (34 mg/dm<sup>3</sup> - muito alto), Ca (31 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (9 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,7 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 45 mmolc/dm<sup>3</sup> (médio)</p> <p>Saturação por base (V%): 49% (baixa)</p> <p>CTC total: 88,2 mmolc/dm<sup>3</sup> (média)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 21 (médio)</p> <p>Composição granulométrica: 63,0% areia, 25,0% argila e 12,0% silte</p> <p>Classe textural: franco-argilo-arenosa</p>	
<b>Caracterização vegetativa</b>		<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 2,003 - Vegetação densa</p> <p>Mata ciliar da margem esquerda composta majoritariamente por vegetação exótica, sobretudo bambu. Na margem direita nota-se a presença de elementos vegetativos esparsos, árvores de médio porte e outras frutíferas. Presença abundante de serapilheira.</p>
<b>Considerações gerais</b>	<p>As amostras coletadas apresentavam coloração levemente amarelada quando comparadas aos outros pontos amostrais em função da espessura da lâmina de água (que na amostragem de novembro, em especial, dificilmente foi observada). Ausência de odor e/ou elementos flutuantes (espuma, resíduos). Ausência de ictiofauna. Ausência de precipitação nos dias de coleta.</p>	

Tabela 7 - Caracterização ambiental: Ponto 5

## Ponto 5: Captação para consumo

 		
		
<b>Objetivo</b>	<p>O ponto tem por objetivo analisar a qualidade da água proveniente da nascente cuja água coletada se destina ao abastecimento humano dos residentes/colaboradores da propriedade. Ainda, o intuito é avaliar a qualidade da água à montante do ponto de pisoteio do gado, a fim de servir como diagnóstico de comparação de qualidade anterior a ação de impacto.</p>	
<b>Caracterização de fertilidade do solo</b>	<p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (1,2 – alto); Fe (620 – alto); Mn (11,2 – alto), Zn (17,2 – alto), B (0,91 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (68 mg/dm<sup>3</sup> - muito alto), Ca (28 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (14 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,5 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 50 mmolc/dm<sup>3</sup> (médio)</p> <p>Saturação por base (V%): 48% (baixa)</p> <p>CTC total: 96,1 mmolc/dm<sup>3</sup> (média)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 23 (médio)</p> <p>Composição granulométrica: 62,3% areia, 21,2% argila e 16,5% silte</p> <p>Classe textural: franco-argilo-arenosa</p>	
<b>Caracterização vegetativa</b>		<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 0,325 - Solo exposto</p> <p>Em questões de cobertura vegetal o ponto 5 se apresenta nas piores condições quando comparado aos outros pontos. A cobertura do solo se dá de forma predominante por vegetação herbácea (gramínea), com elementos arbóreos-arbustivos à montante do ponto de amostragem. Não é verificada mata ciliar, no entanto, ressalta-se a ação de cercamento da APP, o que tende a colaborar para futuro plantio e reflorestamento da área. Em área próxima ao ponto de coleta, nota-se o plantio de espécies alimentícias em estágio inicial de desenvolvimento.</p>
<b>Considerações gerais</b>	<p>Curso hídrico com ausência de coloração, odor e/ou elementos flutuantes (espuma, resíduos). Ausência de ictiofauna. Baixa densidade hídrica. Ausência de precipitação nos dias de coleta. Canalização de trechos em direção ao ponto 6.</p>	

**Tabela 8 - Caracterização ambiental: Ponto 6**  
**Ponto 6: Interferência do gado**

		
		
<p><b>Objetivo</b></p>	<p>Originalmente o ponto foi tomado para monitoramento com o intuito de analisar as condições hídricas considerando o pisoteio do gado sobre o corpo d'água, e de que maneira tal interferência se diferenciava de uma água sem perturbação (ponto 5). Em julho de 2019 foi realizado cercamento da APP de maneira a evitar tal contato. Ainda em julho/2019, à jusante do ponto de amostragem também se deu plantio de mudas.</p>	
<p><b>Caracterização de fertilidade do solo</b></p>	<p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (1,8 – alto); Fe (460 – alto); Mn (21,8 – alto), Zn (16,2 – alto), B (0,84 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (71 mg/dm<sup>3</sup> - muito alto), Ca (18 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (7 mmolc/dm<sup>3</sup> - médio)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,6 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 39 mmolc/dm<sup>3</sup> (médio)</p> <p>Saturação por base (V%): 42% (baixa)</p> <p>CTC total: 67,7 mmolc/dm<sup>3</sup> (média)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 12 (baixo)</p> <p>Composição granulométrica: 71,1% areia, 16,1% argila e 12,8% silte</p> <p>Classe textural: franco-arenosa</p>	
<p><b>Caracterização vegetativa</b></p>		<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 0,684 - Solo exposto levemente coberto por vegetação rasteira</p> <p>Ausência de mata ciliar, assoreamento ou erosão. Predominância de vegetação herbácea e rasteira com poucos elementos arbóreos (exemplares frutíferos – mangueira) e representativo de exótica. Solo levemente compactado.</p>
<p><b>Considerações gerais</b></p>	<p>Curso hídrico com ausência de coloração, odor e/ou elementos flutuantes (espuma, resíduos). Ausência de ictiofauna. Ausência de precipitação nos dias de coleta. Densidade hídrica superior ao ponto anterior. Canalização de trechos à jusante do ponto de coleta sentido pasto.</p>	

**Tabela 9 - Caracterização ambiental: Ponto 7**  
**Ponto 7: Curso principal: montante da propriedade**








		
		
<p><b>Objetivo</b></p> <p>Analisar a qualidade da água anteriormente às melhorias implantadas na área da propriedade. Em função da notificação de assoreamento e carreamento de lixo e entulho oriundos da estrada paralela à extensão da propriedade, a proprietária se articulou com a Concessionária Rota das Bandeiras que realizou obra de drenagem em julho de 2019 com o intuito de sanar os citados problemas e auxiliar no controle do volume de água das chuvas que chega à propriedade.</p>		
<p><b>Caracterização de fertilidade do solo</b></p> <p>Micronutrientes (mg/dm<sup>3</sup>): Cu (1,9 – alto); Fe (312 – alto); Mn (74 – alto), Zn (5,8 – alto), B (0,88 – alto)</p> <p>Macronutrientes: P (12 mg/dm<sup>3</sup> - alto), Ca (16 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto) e Mg (9 mmolc/dm<sup>3</sup> - alto)</p> <p>pH (CaCl<sub>2</sub>): 4,4 (acidez alta)</p> <p>H + Al: 46 mmolc/dm<sup>3</sup> (médio)</p> <p>Saturação por base (V%): 38% (baixa)</p> <p>CTC total: 74,1 mmolc/dm<sup>3</sup> (média)</p> <p>Matéria orgânica (g/dm<sup>3</sup>): 13 (baixo)</p> <p>Composição granulométrica: 54,2% areia, 26,3% argila e 19,5% silte</p> <p>Classe textural: franco-argilo-arenosa</p>		
<p><b>Caracterização vegetativa</b></p> 	<p>Índice de Área Foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>): 2,817 - Vegetação densa</p> <p>Mata ciliar existente com presença de elementos herbáceos, arbustivos e arbóreos. Margens com eventos de erosão, presença de raízes expostas. Presença de serapilheira.</p>	
<p><b>Considerações gerais</b></p>	<p>Curso hídrico com bolsões de areia em função do tipo de solo. Leito com tonalidade amarelada. Ausência de coloração, odor e/ou elementos flutuantes (espuma, resíduos). Ausência de ictiofauna. Ausência de precipitação nos dias de coleta.</p>	

Tabela 10 - Caracterização ambiental: Ponto 10

## Ponto 10: Saída Jardim Filtrante

	
<b>Objetivo</b>	Diagnosticar a qualidade da água de saída do tratamento de jardim filtrante. A amostragem de entrada do jardim não foi realizada, pois a mesma era composta essencialmente por efluente doméstico, não sendo viável a realização das análises tal qual estipulado para as amostragens dos outros pontos.
<b>Caracterização de fertilidade do solo</b>	Micronutrientes (mg/dm <sup>3</sup> ): Cu (2,4 – alto); Fe (306 – alto); Mn (11,2 – alto), Zn (17 – alto), B (0,79 – alto)
	Macronutrientes: P (74 mg/dm <sup>3</sup> - alto), Ca (45 mmolc/dm <sup>3</sup> - alto) e Mg (21 mmolc/dm <sup>3</sup> - alto)
	pH (CaCl <sub>2</sub> ): 5,1 (acidez média)
	H + Al: 38 mmolc/dm <sup>3</sup> (médio)
	Saturação por base (V%): 65% (média)
	CTC total: 108,4 mmolc/dm <sup>3</sup> (média)
	Matéria orgânica (g/dm <sup>3</sup> ): 22 (médio)
<b>Considerações gerais</b>	Composição granulométrica: 61,6% areia, 23,3% argila e 15,1% silte
	Classe textural: franco-argilo-arenosa
	A amostra coletada na saída do jardim filtrante em setembro/20 apresentava odor forte e característico de efluente com temperatura superior em torno de 10°C aos valores obtidos nos outros pontos amostrais. Na caixa de entrada do efluente havia transbordo de material sob a tela, causando o aparecimento de insetos e proliferação de mau cheiro. Em tentativa anterior de amostragem (janeiro/20) não foi possível o acesso à tampa de saída do sistema por conta de presença excessiva de capim colônio. Em contato de membros da prefeitura com os proprietários se procedeu a limpeza da área e manutenção do sistema.

Nas Figuras 11, 12 e 13 são sintetizadas, por parâmetro de fertilidade do solo, análise granulométrica e Índice de Área Foliar, as características dos pontos analisados, tal qual abordado pelas Tabelas 3 a 10 anteriormente apresentadas.

Apesar de ser observada diferença qualitativa entre os pontos amostrais, quando analisados os limites de classes por parâmetro não há diferença entre os mesmos para os micronutrientes segundo Raij *et al.* (1997) como ilustra a Figura 11. De modo geral, observa-se que todos os pontos apresentaram altos teores para os elementos cobre, ferro, manganês, zinco e boro. Resultados similares foram observados para os macronutrientes fósforo e cálcio.

Figura 11 – Análise de micronutrientes do solo para os pontos amostrados na propriedade

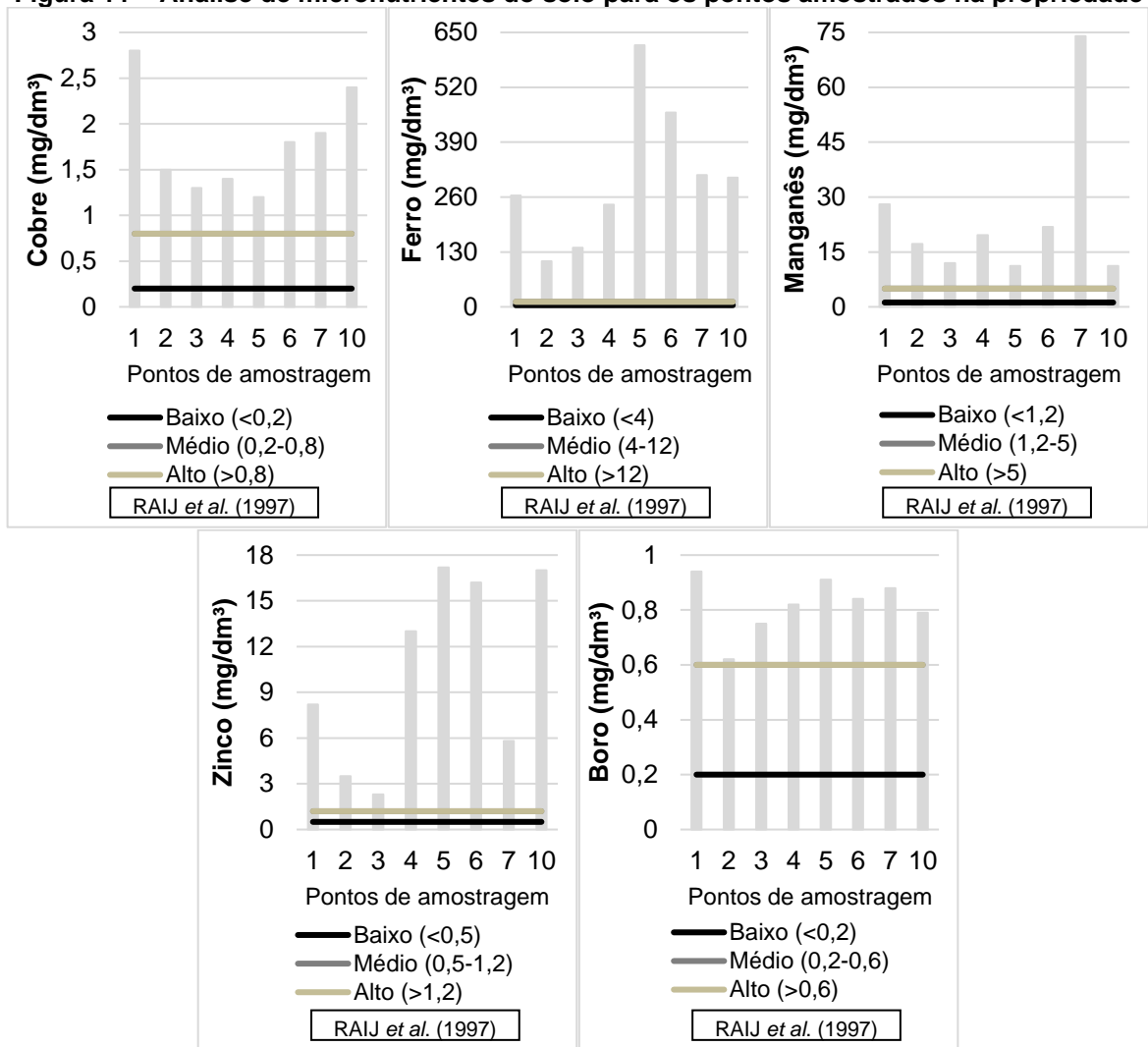
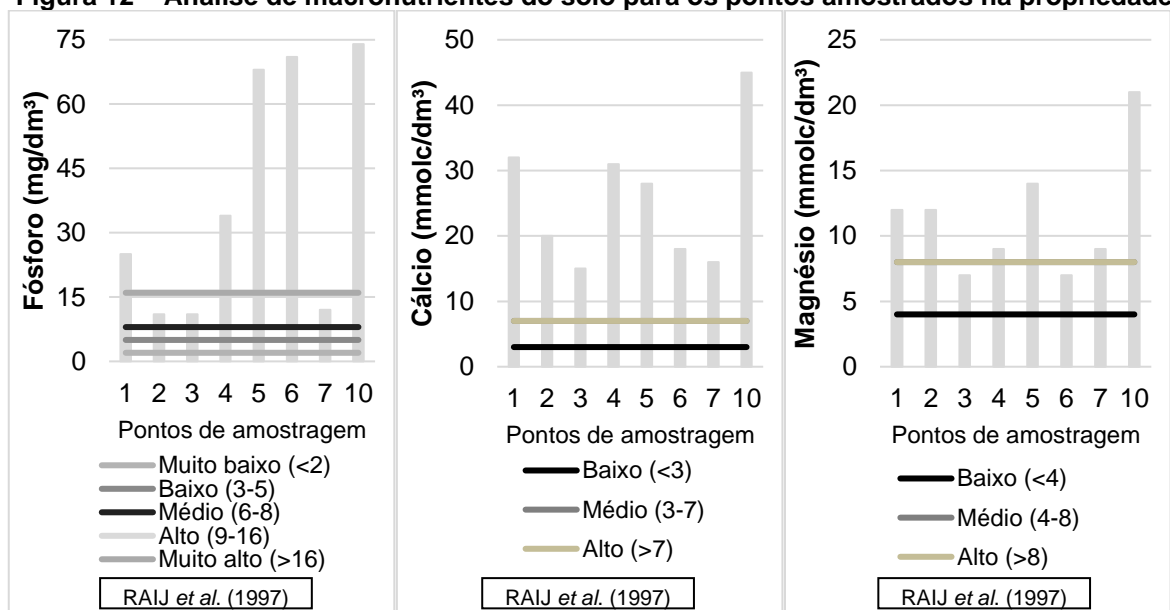


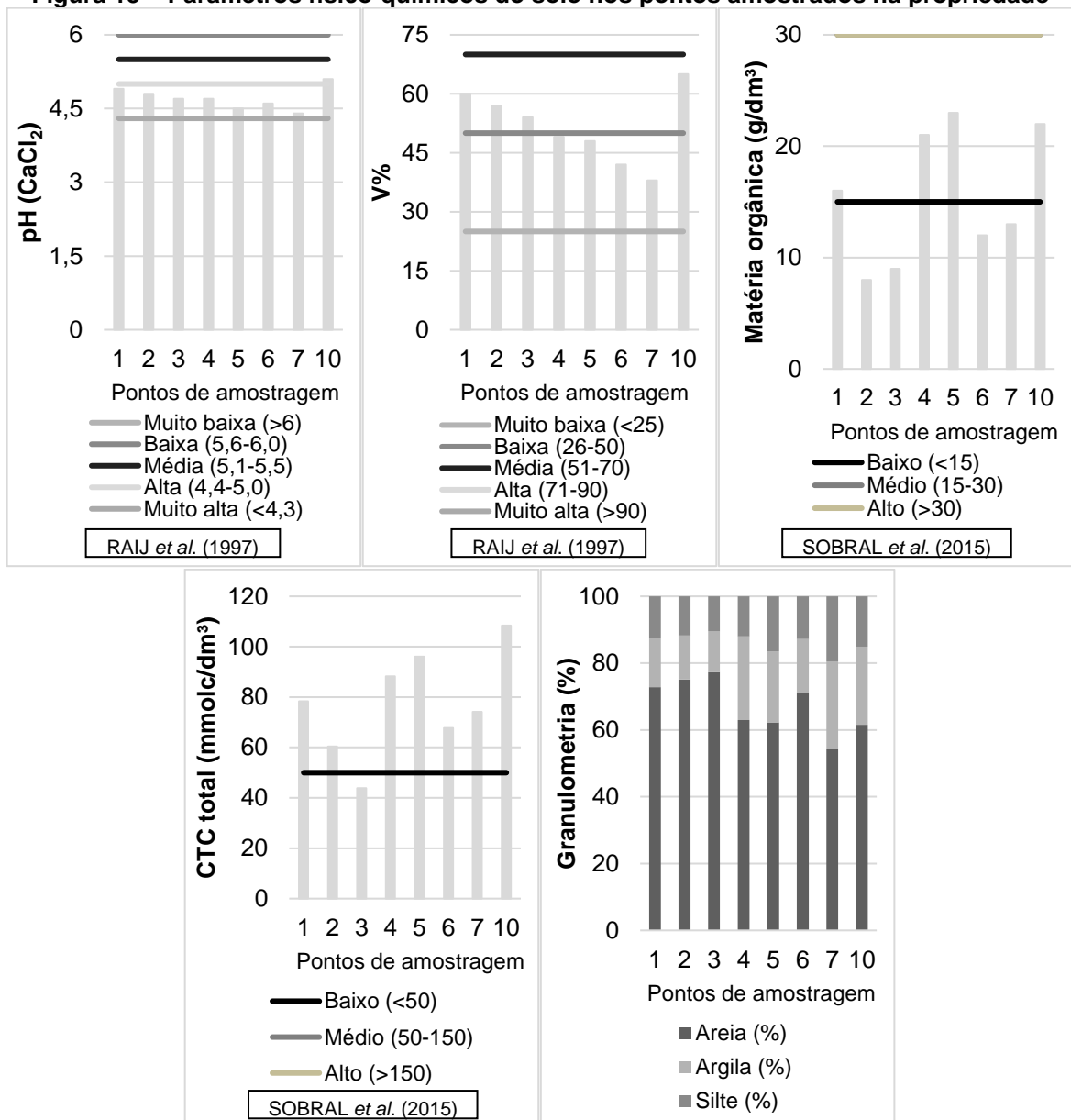
Figura 12 – Análise de macronutrientes do solo para os pontos amostrados na propriedade





Quanto a acidez do solo, os valores obtidos nos pontos analisados apresentaram pouca variação, estando na faixa entre 4,4 e 5,1 e sendo, portanto, ligeiramente ácidos. De acordo com Villar (2007), existe uma relação direta entre o pH do solo e a saturação por bases, de maneira que, quanto maior o pH, mais elevado será o V%, corroborando o levantado para este estudo. Entretanto, tal qual descreve Villar (2007), solos com pH muito ácido, geralmente inferior a 4,5 tendem a apresentar: i) deficiência de fósforo, baixos teores de Ca, Mg e K, boa disponibilidade de micronutrientes ferro, cobre, manganês e zinco, baixa CTC efetiva e saturação por bases, contrariando o observado para o presente estudo.

**Figura 13 – Parâmetros físico-químicos do solo nos pontos amostrados na propriedade**



Observa-se que os pontos 2 e 3 apresentaram os menores teores de matéria orgânica sendo compostos majoritariamente por partículas de areia, cujo percentual se faz superior a 75% em ambos. Freitas *et al.* (2014) observaram que solos arenosos apresentam maior aeração e temperatura que os solos argilosos, o que favorece a destruição da matéria orgânica do solo. Ainda segundo mesmos autores, em área com vegetação nativa os solos arenosos tendem a apresentar menor capacidade de proporcionar um adequado crescimento e desenvolvimento das plantas e com isso menor a deposição de resíduos vegetais e menor a formação de matéria orgânica.

Ainda assim, os valores de MO neste trabalho obtidos são, em sua maioria, ligeiramente superiores aos encontrados por Garcia e Longo (2020) no estudo da APP do Ribeirão Anhumas em Campinas/SP em área de influência urbana ( $MO = 9 \text{ g/dm}^3$ ) e próximos aos levantados por Freitas *et al.* (2017) em solos com cultivo de cana de açúcar ( $MO = 15 \text{ g/dm}^3$ ), área reflorestada ( $MO = 15,25 \text{ g/dm}^3$ ) e área com mata nativa ( $MO = 20 \text{ g/dm}^3$ ).

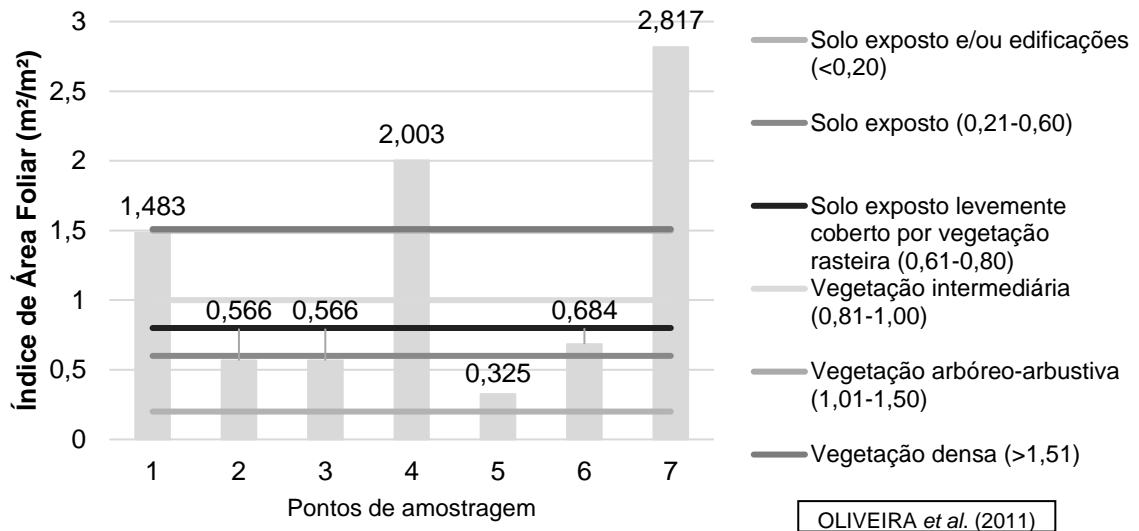
Com relação a CTC, Villar (2007) afirma que em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e conseqüentemente baixa a média CTC retém pequenas quantidade de cátions e são, portanto, mais suscetíveis a perdas de nutrientes. No estudo de um cambissolo no município de Palmeira, Paraná, Almeida (1998) observou que a pastagem apresentou os maiores valores de CTC em relação aos tratamentos de plantio direto, convencional e florestamento, fato que não comprova a fertilidade tendo em vista os baixos teores de cálcio e magnésio, sendo, portanto, reflexo de diferenças no teor de matéria orgânica e teor de argila.

Já Portugal *et al.* (2008) ao avaliarem os atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira encontraram valores de CTC variando entre 54,4 a 81  $\text{mmolc/dm}^3$ , de maneira que o menor valor foi encontrado para área de plantio de cana na profundidade de 20 a 40 cm e o maior para a superfície do solo (0 a 20 cm) de cultivo de laranja. Os valores encontrados por esses autores referentes a mata são intermediários e refletem, sobretudo, baixo nível de fertilidade e caráter distrófico, embora tenha sido notificado para este uso o maior teor de matéria orgânica (3,47  $\text{dag/kg}$ ).

Na análise do Índice de Área Foliar (IAF), observa-se pela Figura 14 que o maior valor foi encontrado para o ponto 7 - 2,817  $\text{m}^2/\text{m}^2$  e o menor para o ponto 5 - 0,325  $\text{m}^2/\text{m}^2$ . De acordo com escala proposta por Oliveira *et al.* (2011), da

totalidade dos pontos amostrados 42,8% configuram IAF referente a solo exposto (pontos 2, 3 e 5), 14,3% área de solo exposto coberta por vegetação rasteira (ponto 6), 14,3% área com vegetação arbóreo-arbustiva (ponto 1) e 28,6% área com vegetação densa (pontos 4 e 7).

**Figura 14 – Análise de vegetação: Índice de Área Foliar (IAF) para os pontos amostrados na propriedade**



Em estudo realizado em um fragmento florestal remanescente de mata atlântica no município de Campinas, Garcia *et al.* (2018) observaram que as áreas de borda do fragmento que estão sujeitas às interferências antrópicas do entorno possuíam menores valores para IAF, que variaram no intervalo entre 0,741 e 3,120 m²/m², ao passo que seu interior, preservado, apresentou os maiores valores, em faixa oscilando entre 0,955 e 3,522 m²/m². Rocha *et al.* (2020) na análise de dois fragmentos florestais no mesmo município sujeitos a ação antrópica por área urbana e atividades agrícolas no entorno observaram valores médios de 1,55 m²/m² e 1,46 m²/m², respectivamente.

Dias *et al.* (2017), ao avaliar dois ambientes diferenciados no Parque Nacional Serra de Itabaiana no Sergipe observaram que, em área de vegetação aberta os índices obtidos para IAF variaram entre 0,36 m²/m² no período de seca e 0,68 m²/m² no período de chuva; para a área de vegetação ripária os índices obtidos foram superiores: 1,63 m²/m² para o período seco e 2,13 m²/m² para chuvoso.

Segundo Vilani (2009), os valores para IAF variam a se depender do ecossistema analisado, pois este indicador sofre influência sobretudo do grau de fertilidade do solo e suprimento de água que estabelecem a estrutura e composição

florística do dossel. Garcia e Longo (2020) no estudo da APP do Ribeirão Anhumas em Campinas verificaram que, em área de influência urbana o valor de IAF variou entre 1,311 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (seca) e 1,398 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (chuva) e em área predominantemente rural, entre 1,548 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (seca) e 1,826 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (chuva). Tais valores se correlacionam com os valores de matéria orgânica e CTC do solo, de maneira que os menores valores para estes indicadores foram obtidos para o ponto localizado em área urbana e os maiores, para área de aproximação rural.

De modo a direcionar as ações a serem desenvolvidas na propriedade com respeito aos aspectos de conservação do solo e código florestal, apresenta-se nas Tabelas 11 e 12 uma síntese dos resultados obtidos para fertilidade do solo e IAF.

**Tabela 11 – Classificação dos parâmetros de fertilidade do solo nos pontos amostrados**

Pontos de amostragem	pH	P	MO	Ca	Mg	CTC	H+Al	V%
	-	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>			mmolc/dm <sup>3</sup>		-
1	Alta	Muito alto	Médio	Alto	Alto	Média	Médio	Média
2	Alta	Alto	Baixo	Alto	Alto	Média	Médio	Média
3	Alta	Alto	Baixo	Alto	Médio	Baixa	Muito baixo/baixo	Média
4	Alta	Muito alto	Médio	Alto	Alto	Média	Médio	Baixa
5	Alta	Muito alto	Médio	Alto	Alto	Média	Médio	Baixa
6	Alta	Muito alto	Baixo	Alto	Médio	Média	Médio	Baixa
7	Alta	Alto	Baixo	Alto	Alto	Média	Médio	Baixa
9/10	Média	Alto	Médio	Alto	Alto	Média	Médio	Média

*Em que: pontos de amostragem: 1 a 7 = bimestral e 9/10 = diagnóstico*

*Limites: pH, fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e V% - Raij et al. (1997), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e matéria orgânica (MO) – Sobral et al. (2015); H+Al: Pedroso Neto e Costa (2012)*

**Tabela 12 – Classificação dos parâmetros referentes a micronutrientes, IAF e classe textural nos pontos amostrados**

Pontos de amostragem	Cu	Fe	Mn	Zn	B	IAF	Classe textural
	mg/dm <sup>3</sup>					m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	-
1	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Arbóreo-arbustivo	Areia-franca
2	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Solo exposto	Areia-franca
3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Solo exposto	Areia-franca
4	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Vegetação densa	Franco-argilo-arenosa
5	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Solo exposto	Franco-argilo-arenosa
6	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Solo exposto levemente coberto por vegetação rasteira	Franco-arenosa
7	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Vegetação densa	Franco-argilo-arenosa
9/10	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	-	Franco-argilo-arenosa

*Em que: pontos de amostragem: 1 a 7 = bimestral e 9/10 = diagnóstico*

*Limites: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Boro (B) – Raij et al. (1997), classe textural - Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999), IAF – Oliveira et al. (2011).*

De maneira geral, os pontos 4 e 7 apresentaram as melhores condições físicas, com vegetação ciliar desenvolvida e aplicação de práticas conservacionistas para retardo da velocidade da água e contenção de sedimentos. Os pontos que carecem de maior atenção em função de desenvolvimento vegetal e características de fertilidade foram os pontos 2, 3 e 5. Todavia, ressalta-se que pelo programa de PSA-Água já foram realizados plantios nas áreas dos pontos 2 e 3 e cercamento da APP no ponto 5.

## 5.2. Análise da qualidade hídrica

Frente as diferenças apontadas na distribuição e escolha dos pontos amostrais, a análise da qualidade de água se subdividiu em pontos de diagnóstico, em que foi aplicada análise descritiva básica e de monitoramento bimestral, cujos dados foram submetidos a análise de variância e componentes principais.

### 5.2.1. Pontos de diagnóstico

Na Tabela 13 são apresentados os resultados obtidos na forma de estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, máximo e mediana) para os pontos de diagnóstico: P8 (poço artesiano) e P10 (saída jardim filtrante).

**Tabela 13 – Parâmetros de qualidade de água dos pontos de diagnóstico: 8 e 10.**

Pontos	Estatística descritiva	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Temp. (°C)	CE (µs/cm)	SDT (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	CT (NMP)
8	Média	7,95	4,66	6,82	0,02	19,38	208,83	462	0,005	-0,50	45
	Desvio Padrão	0,07	0,10	0,02	0,00	0,25	0,46	28,75	0,002	0,60	10
	CV	0,01	0,02	0,00	0,22	0,01	0,00	0,06	0,361	-1,20	0,22
	Mínimo	7,87	4,60	6,80	0,02	19,10	208,3	424	0,003	-1,10	30
	Máximo	8,03	4,80	6,84	0,03	19,70	209,4	488	0,007	0,33	50
	Mediana	7,94	4,62	6,82	0,02	19,35	208,8	468	0,004	-0,62	50
10	Média	0,79	0,42	6,84	59,30	29,60	1510	364,5	1,306	767,95	>=1600
	Desvio Padrão	0,74	0,34	6,88	57,40	28,70	1493	46,86	0,034	9,66	-
	CV	0,76	0,39	6,90	56,90	28,90	1516	0,13	0,026	0,01	-
	Mínimo	0,73	0,34	6,80	60,20	26,80	1499	326	1,266	755,57	-
	Máximo	0,76	0,37	6,86	58,45	28,50	1504,5	426	1,343	778,90	-
	Mediana	0,03	0,04	0,04	1,56	1,20	10,41	353	1,308	768,67	-

Em que: CV - coeficiente de variação, OD - oxigênio dissolvido, DBO - demanda bioquímica de oxigênio, Temp - temperatura, CE - condutividade elétrica, PT - fósforo total, NT - nitrogênio total, CT - coliformes totais.

Por se tratar de água cujo uso se destina ao consumo humano, os valores obtidos para o ponto 8 – poço artesiano foram comparados à Portaria nº2.914 de 2011, que “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”. A qualidade hídrica levantada para este ponto atendeu aos limites estabelecidos pela referida Portaria quanto aos parâmetros de pH (entre 6 e 9,5 no sistema de distribuição), turbidez (inferior a 5 NTU) e SDT (inferior a 1000 mg/L).

O parâmetro de OD não apresenta limites estipulados pela Portaria nº 2.914/11 do MS, apesar do teor encontrado ser superior a faixa entre 0 a 5 mg/L usualmente verificada para águas subterrâneas (FEITOSA, 1997). Quando analisados os limites para este parâmetro na Resolução CONAMA 357/05, bem como para o parâmetro de DBO, observa-se enquadramento por Classe 2, cujo uso para consumo humano pode ser realizado após tratamento convencional.

Os parâmetros de temperatura e condutividade elétrica não possuem limites pré-estabelecidos pelas legislações referidas, mas os valores encontrados encontram-se próximos daqueles levantados por trabalhos de análise da qualidade da água de poços artesianos, tal qual abordado por Zerwes *et al.* (2015), Dourado *et al.* (2018) e Bagatini, Bonzanini e Conceição (2017).

O parâmetro de coliformes totais não atendeu ao limite da Portaria 2.914/11, em que se determina a ausência de coliformes totais em 100 ml de água para 95% das amostras coletadas. Assim sendo, a presença de uma unidade formadora de colônia em 100 ml a torna imprópria ao consumo.

Com respeito ao ponto de saída do jardim filtrante -P10, os dados obtidos indicam baixa qualidade hídrica, de maneira que, para os teores de OD e fósforo total não são atingidos os limites mínimos para a Classe 4, que por definição da Resolução 357/05 pressupõe reduzida qualidade e usos apenas destinados à harmonia paisagística e navegação. Os teores levantados para os parâmetros de pH, SDT e turbidez não apresentam complicações, de maneira que os dois primeiros se enquadram na Classe 1 e o último na Classe 2.

Já o alto índice de condutividade observado reflete, segundo Mendes e Oliveira (2004) uma situação de mineralização excessiva, em que os valores anotados são superiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tornando seu uso dificultado tanto para aplicações agrícolas quanto para consumo próprio. Por fim, a temperatura do efluente levantado se apresentou consideravelmente elevada quando comparada

aos outros pontos de amostragem na propriedade, evidenciando uma possível contaminação por matéria orgânica, quando considerado, sobretudo, a origem do material coletado.

### **5.2.2. Pontos de monitoramento bimestral**

Nas Figuras 15 a 24 e nas Tabelas 14 a 23 são detalhadas as análises para os indicadores de qualidade oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, condutividade elétrica, turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), nitrogênio total, fósforo total e coliformes totais nos pontos de monitoramento bimestral.

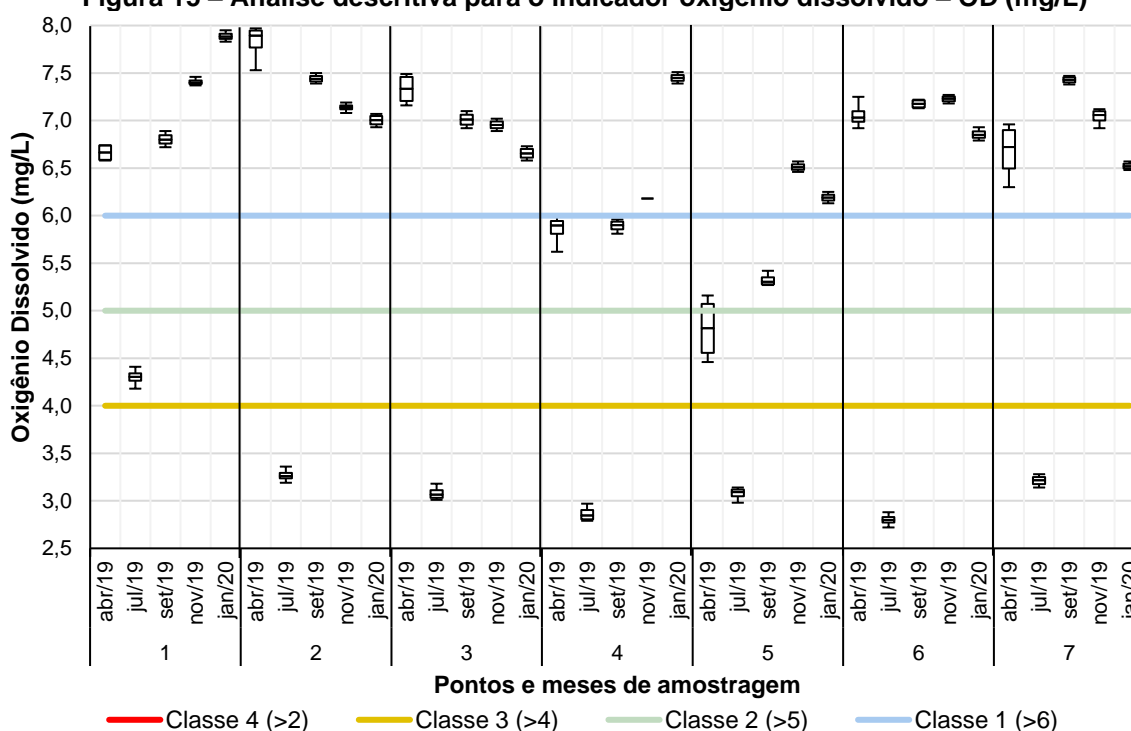
O oxigênio presente nos corpos d'água é fundamental para o processo metabólico dos organismos vivos que o compõe e o decréscimo do teor deste elemento geralmente se associa ao despejo excessivo de matéria orgânica oriundo, sobretudo, de esgotos domésticos e industriais, e, portanto, os parâmetros de OD e DBO atuam como indicadores significativos de poluição orgânica (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). No entanto, Nozaki *et al.* (2014) ressaltam que a queda do teor de OD também pode ser resultado de uma interação de processos naturais tais quais variação de temperatura, pressão e espessura da lâmina d'água.

Para Esteves (1998) o parâmetro oxigênio dissolvido é um dos indicadores do estudo limnológico que mais sofre variações diárias, que ocorrem, sobretudo, pelo fato da concentração do mesmo no corpo hídrico depender do processo de fotossíntese e processos de respiração ou decomposição, estando estas atividades relacionadas a intensidade luminosa e temperatura. Ainda, as alterações dentro do período de um dia também podem ser verificadas em função das características de contribuições recebidas ou condições meteorológicas.

A determinação da concentração de OD para fins de qualidade hídrica é de suma importância sobretudo no planejamento e gestão de recursos hídricos, uma vez que este elemento está envolvido em praticamente todos os processos químicos e biológicos e é o responsável por reações de oxidação que influenciam a qualidade da água (PINTO; OLIVEIRA; PEREIRA, 2010).

A Figura 15 apresenta a variação espacial e sazonal para o oxigênio dissolvido (OD) e na Tabela 14 são apresentados os resultados da aplicação da ANOVA e Tukey.

**Figura 15 – Análise descritiva para o indicador oxigênio dissolvido – OD (mg/L)**



Observa-se pela Figura 15 predomínio de enquadramento por Classe 1 segundo Resolução CONAMA 357/05: 68,6% das amostras apresentam teor de OD superior a 6 mg/L. Os teores enquadrados como Classe 4 (teor de OD >2 mg/L), que totalizam 17,1% das amostras e se referem a amostragem de julho/19 são justificados por falha técnica no equipamento de medição, o que postergou a medição dos teores em uma semana e ocasionou o rebaixamento do teor de OD.

**Tabela 14 - Comparação de médias para o parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	6,66 <sup>cB</sup>	4,30 <sup>bB</sup>	6,80 <sup>dB</sup>	7,41 <sup>aB</sup>	7,89 <sup>aB</sup>	6,61	1,38	20,91
2	7,82 <sup>cB</sup>	3,27 <sup>bB</sup>	7,44 <sup>dB</sup>	7,14 <sup>aB</sup>	7,00 <sup>aB</sup>	6,53	1,85	28,36
3	7,33 <sup>cA</sup>	3,08 <sup>bA</sup>	7,01 <sup>dA</sup>	6,96 <sup>aA</sup>	6,66 <sup>aA</sup>	6,21	1,76	28,42
4	5,86 <sup>cD</sup>	2,86 <sup>bD</sup>	5,89 <sup>dD</sup>	6,18 <sup>aD</sup>	7,45 <sup>aD</sup>	5,65	1,69	29,88
5	4,81 <sup>cC</sup>	3,08 <sup>bC</sup>	5,33 <sup>dC</sup>	6,51 <sup>aC</sup>	6,19 <sup>aC</sup>	5,18	1,36	26,21
6	7,06 <sup>cA</sup>	2,80 <sup>bA</sup>	7,18 <sup>dA</sup>	7,23 <sup>aA</sup>	6,86 <sup>aA</sup>	6,22	1,92	30,83
7	6,68 <sup>cA</sup>	3,21 <sup>bA</sup>	7,43 <sup>dA</sup>	7,04 <sup>aA</sup>	6,52 <sup>aA</sup>	6,18	1,69	27,41
Média	6,60	3,23	6,73	6,92	6,94	-	-	-
Desvio Padrão	1,00	0,50	0,81	0,43	0,58	-	-	-
CV (%)	15,14	15,56	12,07	6,21	8,30	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.



A análise dos teores de OD quanto a variabilidade espacial, ou seja, a comparação entre os pontos amostrais indicou maior dispersão quando comparado à variabilidade temporal, de maneira que o coeficiente obtido para os pontos oscilou entre 20,9% para o ponto 1 e 30,8% para o ponto 6 e para as amostragens entre 6,2% para a amostragem de novembro e 15,5% para a amostragem de julho, inferindo que este parâmetro sofre maior influência da localização amostral do que do mês de coleta. Essa configuração de resultado também foi observada por outras pesquisas, tal qual expõe o estudo de Villa e Sampaio (2016), em que se ressalta a importância de ser abordada também a dimensão espacial nos estudos de parâmetros físico-químico da água.

Estatisticamente não foi verificada diferença significativa entre os pontos 3, 6 e 7 (Tabela 14), cujas médias são intermediárias e em torno de 6,20 mg/L. O ponto 5 apresentou, na média, o menor teor de OD (5,18 mg/L) quando comparado aos outros pontos amostrais, sendo tal constatação apontada pelo teste de Tukey e atribuída, provavelmente, a espessura da lâmina d'água do ponto em questão, uma vez que, visualmente, a água não apresentou indicativos de contaminação, e concomitantemente o teor de DBO obtido para o mesmo foi o menor quando comparado aos outros pontos de monitoramento, indicando uma possível ausência de contaminação orgânica.

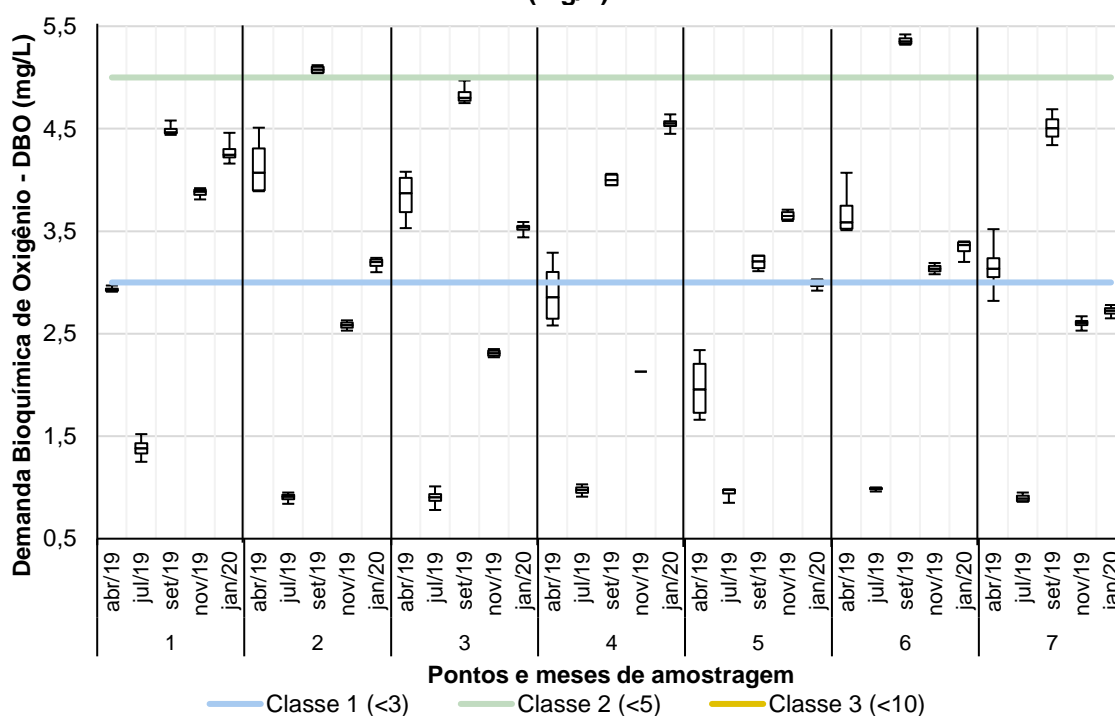
Em contrapartida o ponto 1, que não difere estatisticamente do ponto 2 apresentou o maior teor de OD, considerando o processo de deslocamento horizontal do corpo hídrico e declividade do terreno, que possibilitam maior turbilhonamento das águas e incorporação de oxigênio na mesma. Ainda, dos pontos considerados, este é o que apresentou, em todas as amostragens, maior volume de água.

Pela Figura 15 não foi possível observar padrão de elevação ou rebaixamento no teor de OD frente a eventos de precipitação, tal qual observado também por Fraga *et al.* (2012). Ainda assim, quando analisada a Tabela 14, observa-se a maior média de OD em janeiro/2020, mês em que foi observada maior precipitação acumulada anterior a coleta e o menor valor de OD no mês de julho, cuja precipitação anterior a coleta foi nula.

A Figura 16 apresenta os resultados de enquadramento dos pontos amostrais para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Este parâmetro, tal como afirma Von Sperling (2005) é o parâmetro de maior importância na caracterização

do grau de poluição de um corpo d'água, pois mede o consumo de oxigênio necessário para os microrganismos consumidores aeróbios decompor a matéria orgânica presente no mesmo, de forma que quanto maior for a concentração de nutrientes no corpo hídrico, menor a concentração de oxigênio e consequentemente maior a DBO.

**Figura 16 – Análise descritiva para o indicador demanda bioquímica de oxigênio - DBO (mg/L)**



Tal como observado para o OD, os valores da amostragem de jul/19, apesar de se enquadrarem como Classe 1 são baixos em função da falha técnica de equipamento de leitura, que acarretou teor de OD inicial já reduzido. 42,9% das amostras se enquadraram como Classe 1 e 48,6% como Classe 2. Somente 5,7% das amostras apresentaram DBO superior a 5 mg/L, o que as caracteriza como sendo Classe 3, referente a amostras dos pontos 2 e 6 na amostragem de set/19.

Em concordância com os valores levantados para OD, observa-se pela Tabela 15 maior variabilidade dos dados quando analisada a disposição espacial na propriedade, com CV oscilando entre 37,5% para o ponto 1, que apresentou maior valor de DBO e 49,9% para o ponto 2. O ponto 5 apresentou o menor valor médio de DBO, de 2,55 mg/L, em função dos valores já reduzidos para OD inicial, e tal qual relatado anteriormente, não caracterizam ou evidenciam concentração de matéria orgânica no corpo d'água.

Os dados de avaliação temporal apontam maior homogeneidade dos dados, de forma que todos os coeficientes encontrados são inferiores ao CV mínimo de variação espacial anteriormente citado, de 37,5%. Ainda assim, não foi verificada semelhança estatística entre as amostragens. Em contradição ao apresentado pela literatura, as concentrações de DBO não apresentaram tendência de acréscimo ou decréscimo em função de eventos de precipitação, tendo sido a maior média verificada para o mês de setembro e a menor média para novembro quando desconsiderados, por falha técnica, ou valores obtidos para julho.

**Tabela 15 - Comparação de médias para o parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	2,93 <sup>cD</sup>	1,38 <sup>aD</sup>	4,49 <sup>eD</sup>	3,88 <sup>bD</sup>	4,28 <sup>dD</sup>	3,39	1,27	37,50
2	4,14 <sup>cBC</sup>	0,90 <sup>aBC</sup>	5,08 <sup>eBC</sup>	2,58 <sup>bBC</sup>	3,19 <sup>dBC</sup>	3,18	1,59	49,92
3	3,84 <sup>cB</sup>	0,90 <sup>aB</sup>	4,83 <sup>eB</sup>	2,31 <sup>bB</sup>	3,53 <sup>dB</sup>	3,08	1,52	49,17
4	2,90 <sup>cA</sup>	0,97 <sup>aA</sup>	4,00 <sup>eA</sup>	2,13 <sup>bA</sup>	4,55 <sup>dA</sup>	2,91	1,44	49,32
5	1,98 <sup>cE</sup>	0,95 <sup>aE</sup>	3,20 <sup>eE</sup>	3,65 <sup>bE</sup>	2,99 <sup>dE</sup>	2,55	1,09	42,60
6	3,69 <sup>cCD</sup>	0,99 <sup>aCD</sup>	5,36 <sup>eCD</sup>	3,14 <sup>bCD</sup>	3,33 <sup>dCD</sup>	3,30	1,56	47,39
7	3,15 <sup>cA</sup>	0,90 <sup>aA</sup>	4,51 <sup>eA</sup>	2,6 <sup>bA</sup>	2,72 <sup>dA</sup>	2,78	1,30	46,65
Média	3,23	1,00	4,49	2,90	3,51	-	-	-
Desvio Padrão	0,73	0,17	0,72	0,67	0,67	-	-	-
CV (%)	22,51	17,37	16,08	23,16	19,11	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

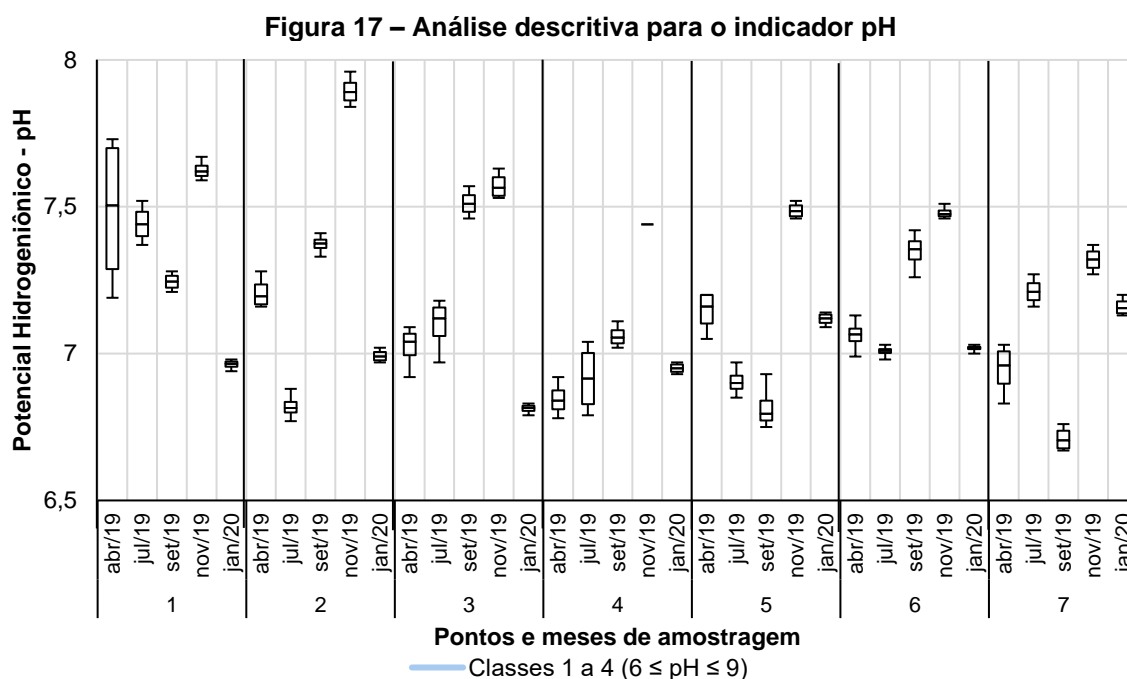
a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

Tal qual observaram Oliveira, Campos e Medeiros (2010) em estudo de uma nascente, os valores de DBO podem estar atrelados a situações típicas de interferências naturais no corpo d'água, como elementos de vegetação que ainda não foram degradados. Poersch *et al.* (2019) afirmam que essa matéria orgânica pode chegar ao corpo d'água por meio de carreamentos naturais, sendo acentuada em situações de maior taxa erosiva. Assim sendo, justifica-se a semelhança estatística observada entre os pontos 4 e 7, considerando o aporte de material nestes pontos pelas configurações do terreno e uso e ocupação descritas.

A Figura 17 apresenta os gráficos boxplot para os resultados dos pontos amostrais em comparação com os limites estabelecidos para o parâmetro de pH segundo Resolução CONAMA 357/05 e na Tabela 16 são apresentados os dados resultantes da aplicação da ANOVA e Tukey para o parâmetro pH. A totalidade dos

dados amostrais se enquadraram na faixa de 6 a 9 considerada ideal para conservação da vida aquática e exigida pela citada resolução em todas as classes de enquadramento.



**Tabela 16 - Comparação de médias para o parâmetro pH**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	7,48 <sup>abD</sup>	7,44 <sup>aD</sup>	7,25 <sup>bD</sup>	7,63 <sup>dD</sup>	6,96 <sup>cD</sup>	7,35	0,26	3,49
2	7,21 <sup>abC</sup>	6,82 <sup>aC</sup>	7,37 <sup>bC</sup>	7,90 <sup>dC</sup>	6,99 <sup>cC</sup>	7,26	0,41	5,70
3	7,02 <sup>abBC</sup>	7,10 <sup>aBC</sup>	7,51 <sup>bBC</sup>	7,57 <sup>dBC</sup>	6,81 <sup>cBC</sup>	7,20	0,33	4,54
4	6,85 <sup>abA</sup>	6,92 <sup>aA</sup>	7,06 <sup>bA</sup>	7,44 <sup>dA</sup>	6,95 <sup>cA</sup>	7,04	0,24	3,35
5	7,14 <sup>abA</sup>	6,91 <sup>aA</sup>	6,82 <sup>bA</sup>	7,49 <sup>dA</sup>	7,12 <sup>cA</sup>	7,09	0,26	3,66
6	7,06 <sup>abB</sup>	7,01 <sup>aB</sup>	7,35 <sup>bB</sup>	7,48 <sup>dB</sup>	7,02 <sup>cB</sup>	7,18	0,22	3,02
7	6,95 <sup>abA</sup>	7,21 <sup>aA</sup>	6,71 <sup>bA</sup>	7,32 <sup>dA</sup>	7,16 <sup>cA</sup>	7,07	0,24	3,44
Média	7,10	7,06	7,15	7,55	7,00	-	-	-
Desvio Padrão	0,21	0,21	0,30	0,18	0,11	-	-	-
CV (%)	2,91	3,04	4,20	2,41	1,64	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

O indicador pH é de fundamental importância sobretudo quando analisado no âmbito dos processos de tratamento de água. As águas superficiais possuem gás carbônico dissolvido, que provém da atmosfera, da respiração dos seres aquáticos e eventualmente da reação do sulfato de alumínio quando este reage com a alcalinidade natural da água (FUNASA, 2013)

Assim como para o parâmetro de OD, o pH sofre influência diária devido a ocorrência de processos bioquímicos influenciados pela incidência de radiação solar (HERMES; SILVA, 2004). Diversos outros fatores influenciam os valores de pH de um corpo hídrico: Bonnet (2007) em análise de bacias hidrográficas no território do estado de Goiás associou o pH a variáveis afins à matéria orgânica, como turbidez, cor aparente e coliformes totais adsorvidos a sedimentos carreados por escoamento superficial. Sendo assim, o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre, tendendo a ser mais ácido com a drenagem pluvial, intervenções no solo e vegetação e/ou cultivos agrícolas.

Sisinno e Moreira (1996) ao estudarem nascentes no morro do Céu em Niterói/RJ notificaram correlação entre pH do solo e da água, de maneira que os valores ligeiramente ácidos nas águas – 5,6 a 6,6 se associavam ao caráter ácido dos solos da região, em torno de 5,0. Para o presente estudo, verifica-se comportamento semelhante: apesar da variação notificada entre pontos ter sido baixa (CV médio = 3,88%), o pH se apresentou neutro no ponto 5 (pH água = 7,04/ pH solo = 4,5) e ligeiramente alcalino no ponto 1 (pH água = 7,35/ pH solo = 4,9).

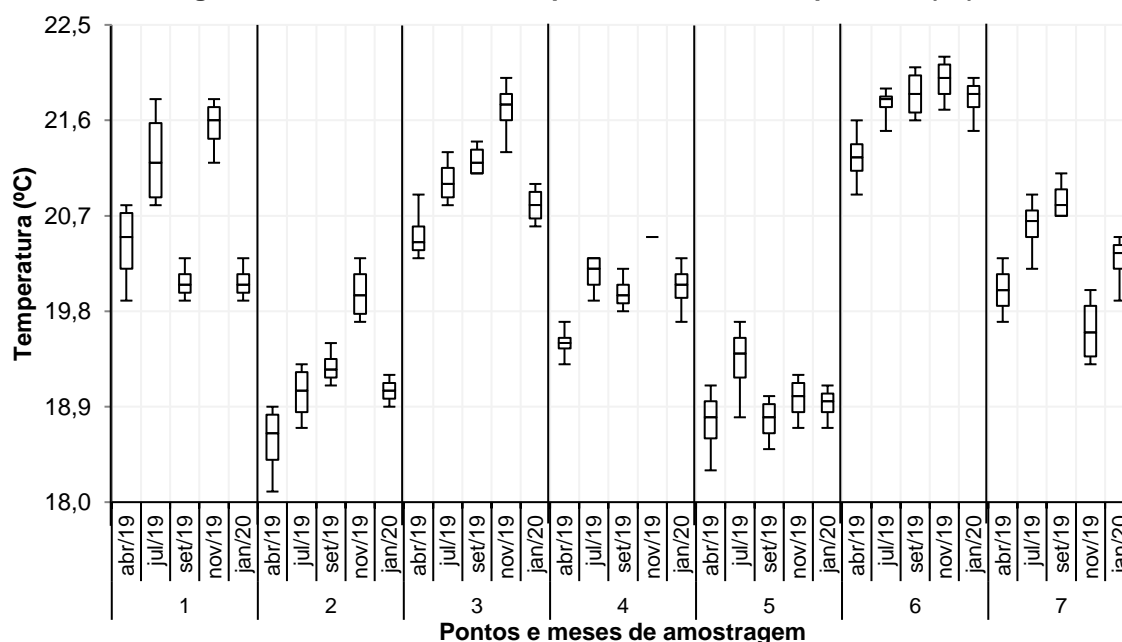
Ainda, segundo Lopes e Magalhães Júnior (2010) o pH tende a ser mais ácido na presença de ácidos fúlvicos e húmicos resultantes da degradação da matéria orgânica presente na água, e, portanto, a ausência de matéria orgânica ocasiona elevação do pH. Donadio, Galbiatti e De Paula (2005) ao levantarem a qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo em São Paulo, verificaram: i) valores de pH próximo a neutralidade em áreas de vegetação natural, e ii) ausência de variação entre período seco e chuvoso.

Para este parâmetro, a menor homogeneidade dos dados foi verificada para as amostragens, cujo coeficiente de variação oscilou em torno de 7,2, tendo no mês de janeiro o menor valor (7,00) e novembro o maior, de 7,54. Segundo Esteves (1998), o pH tende a ser menor nos períodos de menor precipitação.

A Figura 18 apresenta o gráfico boxplot para o parâmetro de temperatura e na Tabela 17 são expostos os dados resultantes da aplicação ANOVA e Tukey para o parâmetro de temperatura. Embora a Resolução CONAMA 357/05 não estabeleça limites de qualidade para este parâmetro, a temperatura da água é um indicador fundamental no estudo dos ecossistemas aquáticos, sobretudo porque sua elevação favorece a solubilidade de vários compostos químicos e diminui a solubilidade do oxigênio na água, e sua variação se associa não somente às

variações climáticas, mas também a ações de origem antropogênica, por meio, por exemplo, do despejo de efluentes (CETESB, 2016).

**Figura 18 – Análise descritiva para o indicador temperatura (°C)**



**Tabela 17 - Comparação de médias para o parâmetro temperatura (°C)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	20,43 dC	21,25 bcC	20,08 abC	21,55 cC	20,08 aC	20,68	0,69	3,31
2	18,58 dA	19,03 bcA	19,28 abA	19,98 cA	19,05 aA	19,18	0,51	2,67
3	20,53 dD	21,03 bcD	21,23 abD	21,70 cD	20,80 aD	21,06	0,44	2,11
4	19,50 dB	20,15 bcB	19,98 abB	20,50 cB	20,03 aB	20,03	0,36	1,80
5	18,75 dA	19,33 bcA	18,78 abA	18,98 cA	18,93 aA	18,95	0,23	1,22
6	21,25 dE	21,75 bcE	21,85 abE	21,98 cE	21,80 aE	21,73	0,28	1,28
7	20,00 dB	20,60 bcB	20,85 abB	19,63 cB	20,28 aB	20,27	0,48	2,38
Média	19,86	20,45	20,29	20,61	20,14	-	-	-
Desvio Padrão	0,98	1,01	1,09	1,15	0,99	-	-	-
CV (%)	4,92	4,92	5,36	5,60	4,92	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

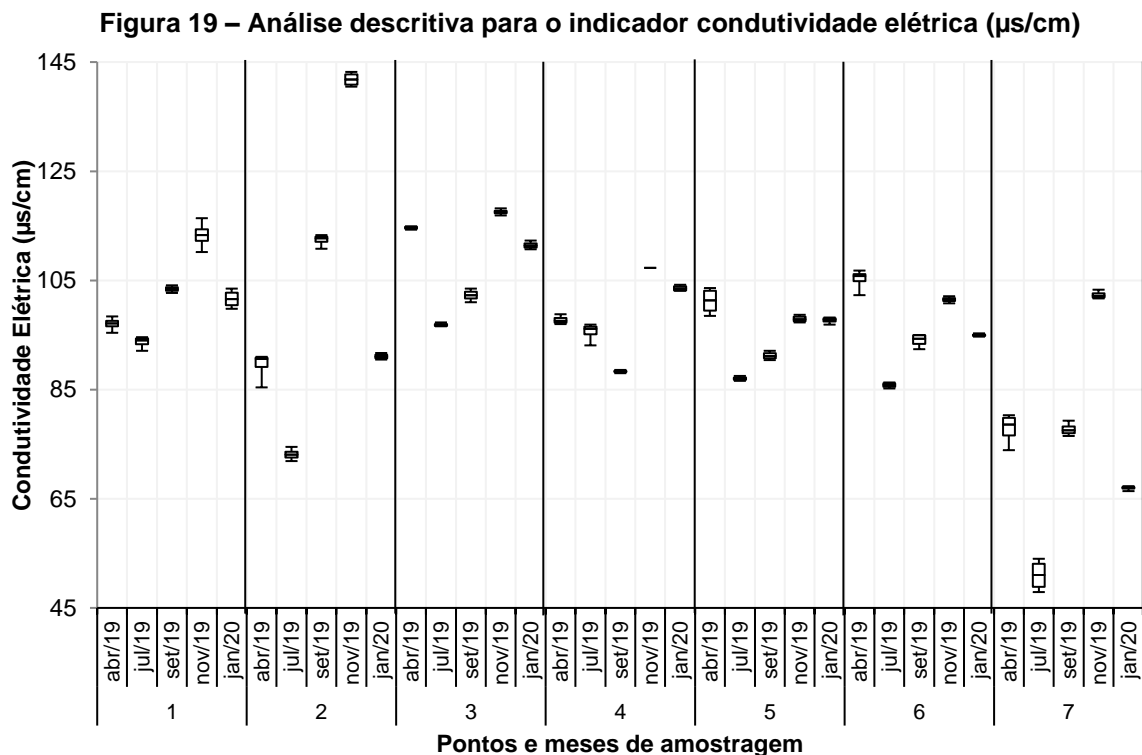
Os valores de temperatura obtidos como resultado da avaliação espacial se situam entre a faixa de 18 a 22 °C, tendo o ponto 5 menor média nas amostragens (18,95°C) e o ponto 6 a maior média (21,73°C), embora ambos estejam localizados em área de pastagem. Quando analisados individualmente, não se observa grande variabilidade dos dados por ponto amostral, embora as

características a montante e a jusante dos mesmos favoreça maior ou menor aquecimento da água.

Sabara (1999) em estudo do Rio Doce em Minas Gerais constatou que o comportamento da temperatura da água se dá em concordância com o uso do solo, de maneira que em áreas vegetadas esse valor tende a ser menor, ressaltando o papel significativo da vegetação ciliar.

Na avaliação temporal, observa-se pela Tabela 17 que o aquecimento das águas é diretamente proporcional a insolação (LAMPARELLI, 1995), tendo sido verificado para o mês de novembro a maior temperatura das águas (20,6°C), associando-se aos valores de temperatura do ar do município (28,7°C).

A Figura 19 apresenta os resultados referentes a condutividade elétrica.



Assim como para a temperatura, a condutividade elétrica não apresenta limite definido pela Resolução CONAMA 357/05, no entanto Von Sperling (2005) relata que as águas naturais costumam apresentar teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De maneira complementar, Sena *et al.* (2015) afirmam que quanto maior o valor de condutividade elétrica, maior é quantidade de partículas dissolvidas.

**Tabela 18 - Comparação de médias para o parâmetro condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	97,03 <sup>cA</sup>	93,68 <sup>bA</sup>	103,40 <sup>aA</sup>	113,30 <sup>dA</sup>	101,63 <sup>aA</sup>	101,81	7,48	7,35
2	89,40 <sup>cA</sup>	73,13 <sup>bA</sup>	112,38 <sup>aA</sup>	141,83 <sup>dA</sup>	91,08 <sup>aA</sup>	101,56	26,48	26,07
3	114,63 <sup>cF</sup>	96,88 <sup>bF</sup>	102,28 <sup>aF</sup>	117,53 <sup>dF</sup>	111,43 <sup>aF</sup>	108,55	8,68	8,00
4	97,75 <sup>cE</sup>	95,55 <sup>bE</sup>	88,33 <sup>aE</sup>	107,30 <sup>dE</sup>	103,58 <sup>aE</sup>	98,50	7,35	7,46
5	101,20 <sup>cC</sup>	87,03 <sup>bC</sup>	91,20 <sup>aC</sup>	97,95 <sup>dC</sup>	97,70 <sup>aC</sup>	95,02	5,75	6,06
6	105,18 <sup>cD</sup>	85,80 <sup>bD</sup>	94,00 <sup>aD</sup>	101,48 <sup>dD</sup>	94,98 <sup>aD</sup>	96,29	7,46	7,75
7	77,85 <sup>cB</sup>	50,98 <sup>bB</sup>	77,73 <sup>aB</sup>	102,33 <sup>dB</sup>	66,95 <sup>aB</sup>	75,17	18,74	24,93
Média	97,58	83,29	95,61	111,67	95,33	-	-	-
Desvio Padrão	11,68	16,38	11,41	14,97	14,12	-	-	-
CV (%)	11,97	19,67	11,93	13,41	14,81	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

Observa-se pela Figura 19 e Tabela 18 que o ponto 3 apresenta o maior valor para condutividade elétrica, com média de 108,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e baixa variação entre as amostragens. Já o ponto 7, cuja média amostral foi a menor, em um valor de 75,17  $\mu\text{S}/\text{cm}$  apresentou maior variabilidade entre as amostragens. Ainda, na análise temporal, constata-se o menor valor de condutividade no mês de ausência de precipitação, 83,29  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Em avaliação espaço-temporal das águas dos afluentes do reservatório da UHE Barra dos Coqueiros em Goiás, Rocha, Cabral e Braga (2013) verificaram teores de condutividade entre 10,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 135,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , atribuindo a fatores litológicos locais os valores encontrados: para os baixos valores, associa-se a existência de rochas basálticas que podem conferir ao corpo hídrico carbonatos e cálcio e magnésio; para os altos, à rochas ricas em material carbonático, aumentando a condutividade após a dissolução.

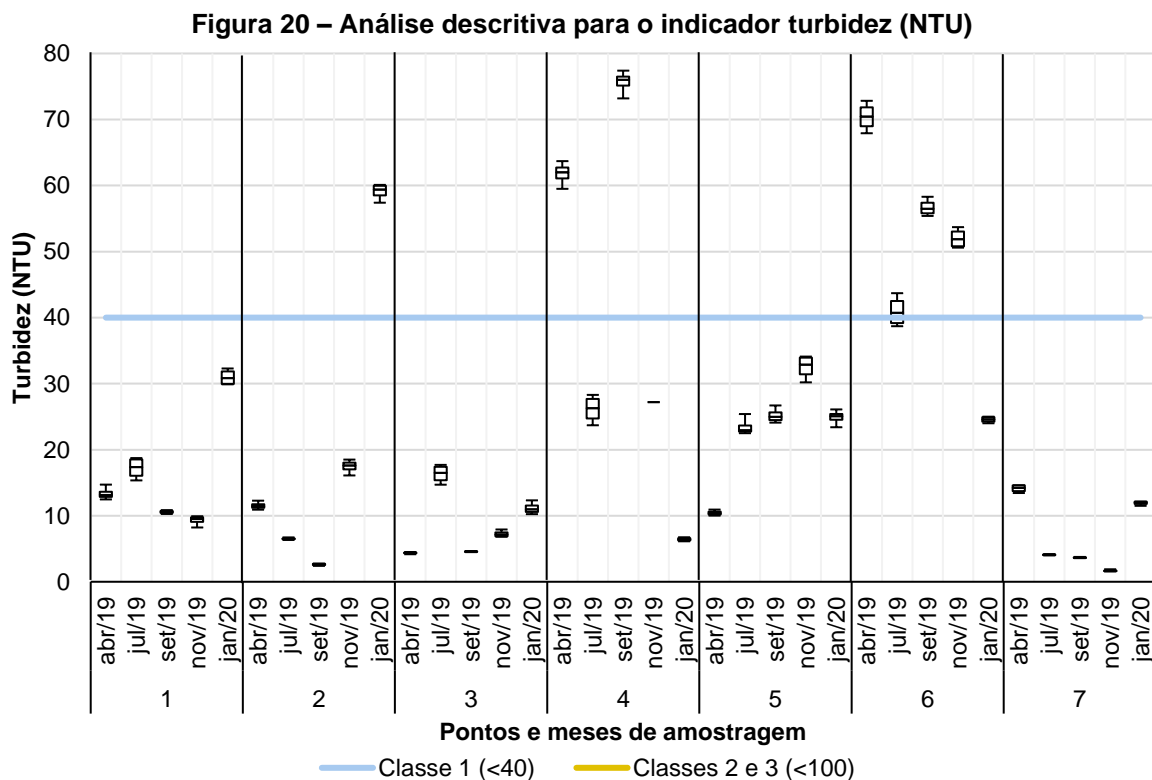
Já Baggio, Freitas e Araújo (2016), ao analisarem vinte e cinco pontos no Rio das Velhas em Minas Gerais obtiveram valores de CE acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na totalidade dos dados, resultado atribuído ao fato dos pontos estarem localizados em áreas cujo uso da terra se faz de maneira intensiva, favorecendo o carreamento de sólidos dissolvidos aos corpos d'água e consequente aumento da condutividade.

Em estudo da qualidade da água em microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, SP, Arcova e Cicco (1999) verificaram que os valores médios de condutividade elétrica em microbacias florestadas foram inferiores a 20



$\mu\text{S/cm}$ . Marmontel e Rodrigues (2015) ressaltam que, tão importante quanto a presença ou não de vegetação ciliar, a temperatura, o volume total de fluxo da água e a geologia do local influenciam este parâmetro, tornando evidente a ausência de padronização para o mesmo (CTA, 2020).

Apresenta-se na Figura 20 a variação espacial e sazonal para o parâmetro turbidez. Para Raposo, Barros e Magalhães Júnior (2009) o parâmetro de turbidez é de extrema importância na análise ambiental de uma bacia hidrográfica, pois possibilita a observação de danos nos cursos d'água relacionados a atividades humanas através de associação do mesmo ao uso e ocupação do solo, evidenciando alterações na dinâmica hidrossedimentar da bacia.



Pela Figura 20 observa-se predomínio de enquadramento das amostras por Classe 1 segundo Resolução CONAMA 357/05: 80% das amostras apresentam turbidez inferior a 40 NTU. Somente 20% dos dados amostrais, dos quais 80% são referentes a amostras coletadas no ponto 6 se enquadram como Classe 2, cuja resolução estipula limite máximo de 100 NTU.

Tanto a sazonalidade de precipitação quanto a variação espacial foram elementos de modificação nos valores de turbidez obtidos, sendo estas variações observadas pelo teste de Tukey apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparação de médias para o parâmetro turbidez

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	13,37 <sup>eC</sup>	17,21 <sup>aC</sup>	10,58 <sup>dC</sup>	9,30 <sup>bC</sup>	30,98 <sup>cC</sup>	16,29	8,75	53,76
2	11,52 <sup>eD</sup>	6,51 <sup>aD</sup>	2,61 <sup>dD</sup>	17,45 <sup>bD</sup>	59,08 <sup>cD</sup>	19,43	22,85	117,57
3	4,36 <sup>eB</sup>	16,33 <sup>aB</sup>	4,56 <sup>dB</sup>	7,25 <sup>bB</sup>	11,13 <sup>cB</sup>	8,73	5,06	57,93
4	61,80 <sup>eF</sup>	26,15 <sup>aF</sup>	75,65 <sup>dF</sup>	27,20 <sup>bF</sup>	6,42 <sup>cF</sup>	39,44	28,41	72,02
5	10,43 <sup>eE</sup>	23,45 <sup>aE</sup>	25,18 <sup>dE</sup>	32,51 <sup>bE</sup>	24,90 <sup>cE</sup>	23,29	8,01	34,39
6	70,40 <sup>eG</sup>	40,95 <sup>aG</sup>	56,68 <sup>dG</sup>	52,00 <sup>bG</sup>	24,55 <sup>cG</sup>	48,92	17,24	35,24
7	14,11 <sup>eA</sup>	4,08 <sup>aA</sup>	3,66 <sup>dA</sup>	1,68 <sup>bA</sup>	11,91 <sup>cA</sup>	7,09	5,54	78,10
Média	3,23	1,00	4,49	2,90	3,51	-	-	-
Desvio Padrão	0,73	0,17	0,72	0,67	0,67	-	-	-
CV (%)	22,51	17,37	16,08	23,16	19,11	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

Os valores médios verificados para os pontos 3 e 7 estão ligeiramente próximos, com média pontual em ambos inferior a 10 NTU. Tal configuração reflete o que afirma Donadio, Galbiatti e De Paula (2005) de que a função da mata ciliar na contenção de sólidos que poderiam atingir o corpo hídrico é fundamental para diminuição na turbidez.

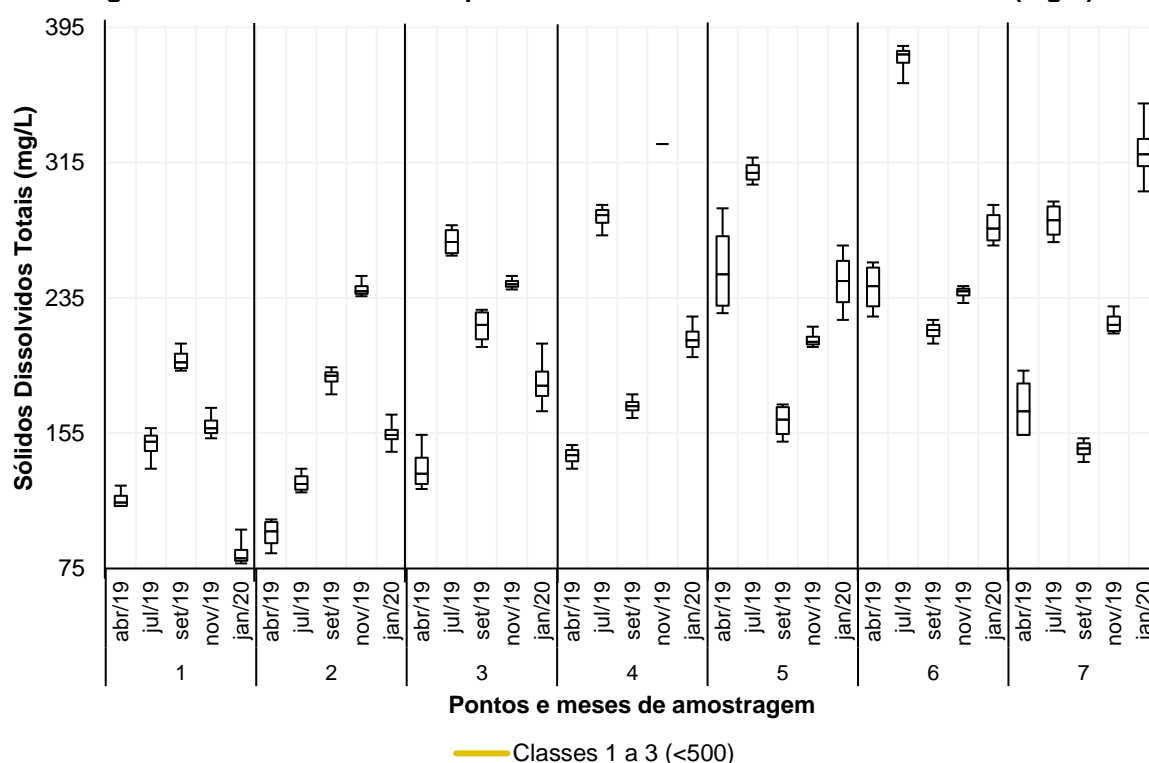
Em contrapartida, o ponto 6 apresentou na média espacial o maior valor observado, de 48,92 NTU. Trata-se de um ponto com ausência de cobertura vegetal arbórea-arbustiva, e localizado em área de pastagem, o que colabora para maior carreamento de sedimentos ao corpo d'água. Arcova e Cicco (1999), estudando a qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha verificaram que os valores de temperatura, turbidez e cor aparente da água em áreas de recarga com agricultura foram superiores aos registrados em áreas de recarga florestadas, o que também foi observado neste estudo.

Na análise temporal, observa-se pela Tabela 19 as menores taxas de turbidez na amostragem de julho em função da ausência de precipitação. Entretanto, o mês com a maior média – abr/19, 26,5 NTU não corresponde, como esperado, ao mês de maior precipitação acumulada. Tal fato também foi verificado por Damasceno *et al.* (2015) no estudo do Rio Amazonas e por Branco, Krupek e Peres (2008) no estudo de rios da região centro-sul do Paraná.

A Figura 21 apresenta a variação espacial e sazonal para o parâmetro de SDT e de maneira complementar, na Tabela 20 são apresentados os dados

resultantes da aplicação da ANOVA e Tukey. Quando em excesso nos leitos hídricos, a presença de sólidos pode ser indicadora de processos erosivos e/ou despejos de efluentes. Ainda, esse excesso pode levar também ao desbalanço nos indicadores de nitrogênio, fósforo, matéria orgânica, turbidez e pH.

**Figura 21 – Análise descritiva para o indicador sólidos dissolvidos totais (mg/L)**



**Tabela 20 - Comparação de médias para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	116,0 aC	148,0 eC	198,5 bC	159,5 dC	84,5 cC	141,3	43,3	30,7
2	95,5 aD	126,0 eD	187,5 bD	240,5 dD	154,5 cD	160,8	56,1	34,9
3	134,5 aB	268,5 eB	218,0 bB	243,5 dB	185,5 cB	210,0	52,2	24,9
4	141,50 aA	282,5 eA	171,0 bA	326,0 dA	211,0 cA	226,4	76,8	33,9
5	253,0 aA	309,5 eA	162,0 bA	210,5 dA	244,5 cA	235,9	54,5	23,1
6	241,0 aE	376,0 eE	215,5 bE	238,0 dE	277,0 cE	269,5	63,5	23,6
7	170,5 aAB	280,5 eAB	145,5 bAB	220,5 dAB	322,0 cAB	227,8	73,8	32,4
Média	164,6	255,9	185,4	234,1	211,3	-	-	-
Desvio Padrão	60,9	88,8	27,4	49,8	79,2	-	-	-
CV (%)	37,0	34,7	14,8	21,3	37,5	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

Os valores de SDT obtidos para os pontos amostrados, tal qual aborda Figura 21 se encontram em sua totalidade abaixo do limite de 500 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 e também do limite de 1000 mg/L estabelecido pela Portaria de Consolidação 5/17 do Ministério da Saúde.

Observa-se pela Tabela 20 valores próximos de variabilidade dos dados quando analisados os fatores espaciais e temporais, de maneira que o coeficiente obtido para os pontos oscilou entre 23,1% para o ponto 5 e 34,9% para o ponto 2 e entre 14,7% para a amostragem de setembro e 37,49% para a amostragem de julho. Assim, a maior variabilidade da variável se deu no período de estiagem – julho, informação também observada por Soares, Cruz e Silva (2019).

O ponto 1 apresentou, na média de amostragens, o menor valor de SDT (141,3 mg/L) quando comparado aos outros pontos amostrais, sendo tal constatação apontada pelo teste de Tukey e atribuída ao grau de preservação de sua mata ciliar que possibilita menor carreamento de sedimentos ao corpo d'água.

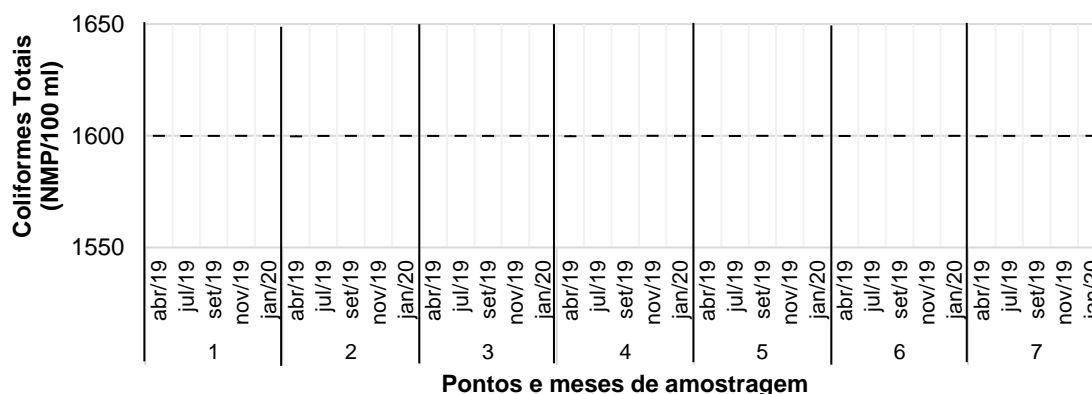
Estatisticamente não foi verificada diferença significativa entre os pontos 4 e 5 (Tabela 20), localizados em área de pastagem e com médias de SDT intermediárias em torno de 231 mg/L.

Em contrapartida o ponto 6 apresentou o maior teor de SDT (269,5 mg/L). Este ponto, tal como observado anteriormente, apresentou maior valor para turbidez, e em consonância com o constatado por Fonseca e Salvador (2005), estes parâmetros se relacionam positivamente. Segundo Silva *et al.* (2005), áreas de pastagem tal qual a de localização do ponto 6, embora bem manejadas e com cobertura do solo se caracterizam por menores valores de infiltração da água no solo, condutividade hidráulica e maior valor de resistência à penetração em relação a vegetação natural, que tendem a retardar o efeito do escoamento superficial e conseqüentemente o arraste de sólidos. Em concordância, Vanzela *et al.* (2010) verificaram que o aumento da concentração dos sólidos na água do manancial tem origem nas áreas agricultadas, que na ausência de devido manejo conservacionista se tornam grandes fontes potenciais de sedimentos.

Para coliformes totais, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde estabelece que seja verificada a ausência em 100 ml na água para consumo humano ou tratada, seja na saída do tratamento ou no sistema de distribuição, a fim de garantir sua potabilidade quanto ao padrão microbiológico. Assim sendo, observa-se pela Figura 22 e Tabela 21 que os pontos amostrais

apresentaram mesmo comportamento entre si e ao longo das amostragens, e, portanto, notou-se a não concordância com a legislação, de maneira que o valor obtido nestas situações foi superior a 1600 N.M.P. (Número Mais Provável) por 100 ml de amostra com limite de confiança de 95% segundo FUNASA (2014). Valores acima de 1600 NMP não são detectáveis.

**Figura 22 – Análise descritiva para o indicador coliformes totais (NMP/100 ml)**



OBS: As amostras coletadas nos sete pontos amostrais e nas cinco amostragens apresentaram por interpretação do teste de tubos múltiplos descrito no Manual Prático de Análise de Água (FUNASA, 2014) combinações de positivos 5-5-5, o que indica N.M.P superior a 1600.

**Tabela 21 - Comparação de médias para o parâmetro coliformes totais (NMP/100 ml)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
2	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
3	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
4	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
5	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
6	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
7	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600 aA	1600	0,0	0,0
Média	1600	1600	1600	1600	1600	-	-	-
Desvio Padrão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
CV (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

OBS: As amostras coletadas nos sete pontos amostrais e nas cinco amostragens apresentaram por interpretação do teste de tubos múltiplos descrito no Manual Prático de Análise de Água (FUNASA, 2014) combinações de positivos 5-5-5, o que indica N.M.P superior a 1600.

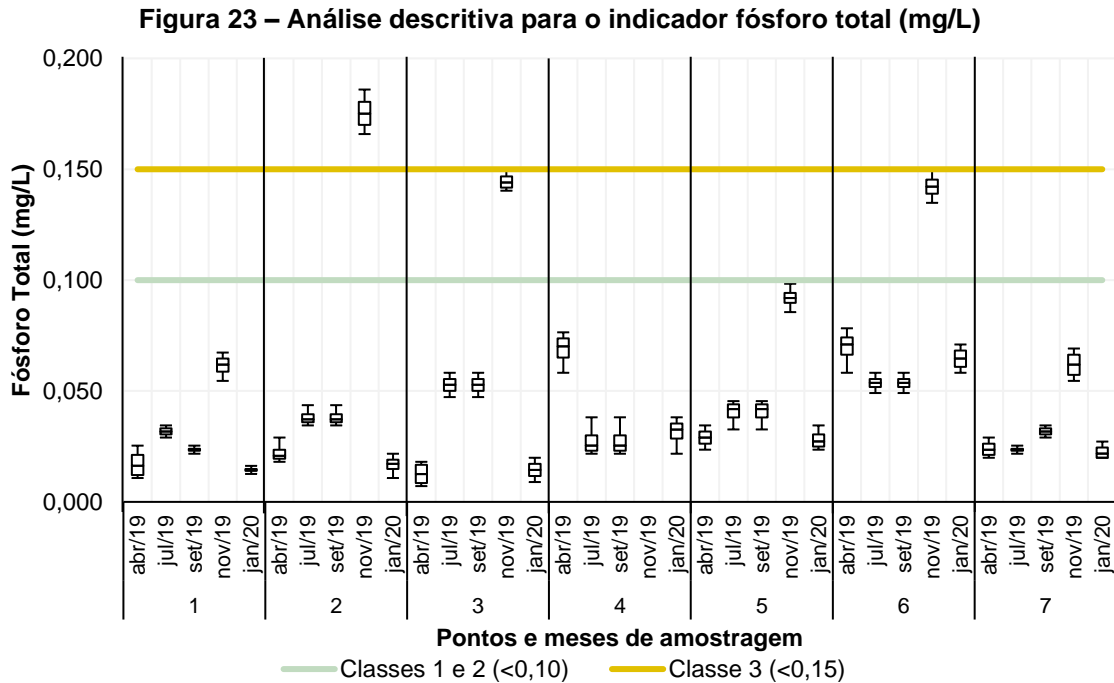
Segundo Bortoloti *et al.* (2018), a qualidade microbiológica de águas naturais tende a ser comprometida com a ausência de proteção vegetal que atuaria

como barreiras para enxurradas, estas que podem carregar fezes animal ou mesmo humana e conter bactérias multirresistentes que causem a contaminação do recurso hídrico. Entretanto, a presença do grupo coliformes totais em águas naturais não necessariamente implica em contaminação por material fecal, uma vez que, conforme estabelecido pelo Manual de Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água (BRASIL, 2007), este grupo de coliformes inclui bactérias que se manifestam naturalmente em solos, água e plantas, sobretudo em climas tropicais onde sua multiplicação ocorre de forma mais proeminente, tratando-se, portanto, de uma análise de valor sanitário limitado.

Nunes *et al.* (2019) em estudo do rio Salgadinho no município de Juazeiro do Norte observaram 100% de positividade para coliformes totais nas amostras coletadas, igualmente com proporções superiores a 1600 NMP/mL. Tal resultado também foi observado por Santos *et al.* (2015) na análise de água de uma nascente na zona rural do município de Varre-Sai, Rio de Janeiro. Já Scapin, Rossi e Oro (2012), no estudo da qualidade microbiológica da água utilizada para consumo humano na região do extremo oeste de Santa Catarina observaram que 64,1% das amostras analisadas estavam contaminadas por coliformes totais, realçando a necessidade da adoção de medidas preventivas e o tratamento adequado das águas comprometidas a fim de se evitar a ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

A Figura 23 apresenta os resultados para fósforo total nas amostragens realizadas. Observa-se predomínio de enquadramento por Classe 1 e 2 segundo Resolução CONAMA 357/05: 88,6% das amostras apresentam teor de fósforo total inferior a 0,10 mg/L. Os teores enquadrados como Classe 3 (teor de fósforo <0,15 mg/L) totalizam 5,7% das amostras e somente 2 amostras (ponto 4, nov/19 e ponto 2, nov/19) apresentaram teor superior a 0,15 mg/L, embora a referida legislação não apresente teor limite para a Classe 4.

Segundo Veiga (2010), a presença de fósforo em corpos d'água tem sido alvo de estudos constantes frente a sua relevância no levantamento da qualidade hídrica. Isso porque altas concentrações de fósforo, advindas sobretudo de fontes antrópicas, ocasionam aumento da turbidez e mudanças biológicas indesejadas, tal como perda de biodiversidade, servindo, portanto, como parâmetro indicador de poluição.



Na análise de variação temporal, observa-se que a maior variabilidade dos dados ocorreu na amostragem de abril/19, com CV de 69,26% cuja precipitação acumulada nos sete dias anteriores à coleta foi a menor, de 3,8 mm, não considerando o mês de julho em que não foi contabilizada precipitação anterior. De maneira similar, pela análise da Figura 23 é perceptível que as maiores concentrações para fósforo nos pontos amostrais foram obtidas na amostragem de novembro, em que a densidade hídrica nos pontos amostrais era baixa, embora o acúmulo em mm de precipitação anterior tenha sido de 19,9 mm.

No mês de janeiro, cuja precipitação somou 86,5 mm foi verificado o menor valor para fósforo total nos pontos de estudo. Assim sendo, verificou-se tendência de elevação no parâmetro de fósforo total em estação seca e rebaixamento em estação chuvosa, corroborando os resultados obtidos por Santos *et al.* (2019) no estudo de mananciais de abastecimento em Goiânia, Hossomi (2017) no estudo do Ribeirão Anhumas em Campinas/SP e Leite *et al.* (2013) na análise dos Rios Atibaia e Jaguari próximo a cidade de Paulínia/SP.

Com relação a variabilidade dos dados na avaliação espacial, observa-se, pela Tabela 22, variação de 50,9% para o ponto 7 e 131,7% para o ponto 4. Estatisticamente não foi verificada diferença significativa entre os pontos 1 e 7 (Tabela 22), cujas médias são as menores dentre os pontos analisados: 0,029 e 0,033 mg/L, respectivamente. Em contrapartida o ponto 4 apresentou o maior teor

de fósforo total. Embora a presença de fósforo no corpo hídrico seja comumente associada ao despejo de efluentes, águas residuárias ou lixiviamento de regiões com práticas agrícolas, o fósforo disponível pode acontecer da liberação de fosfatos por origem da decomposição de rochas através de processos naturais de intemperismo (SOUZA, 2017).

**Tabela 22 - Comparação de médias para o parâmetro fósforo total (mg/L)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	0,02 <sup>aA</sup>	0,03 <sup>aA</sup>	0,02 <sup>aA</sup>	0,06 <sup>cA</sup>	0,01 <sup>bA</sup>	0,03	0,02	63,95
2	0,02 <sup>aB</sup>	0,04 <sup>aB</sup>	0,04 <sup>aB</sup>	0,18 <sup>cB</sup>	0,02 <sup>bB</sup>	0,06	0,07	114,05
3	0,01 <sup>aB</sup>	0,05 <sup>aB</sup>	0,05 <sup>aB</sup>	0,14 <sup>cB</sup>	0,01 <sup>bB</sup>	0,06	0,05	96,62
4	0,07 <sup>aE</sup>	0,03 <sup>aE</sup>	0,03 <sup>aE</sup>	0,31 <sup>cE</sup>	0,03 <sup>bE</sup>	0,09	0,12	131,65
5	0,03 <sup>aC</sup>	0,04 <sup>aC</sup>	0,04 <sup>aC</sup>	0,09 <sup>cC</sup>	0,03 <sup>bC</sup>	0,05	0,03	57,37
6	0,07 <sup>aD</sup>	0,05 <sup>aD</sup>	0,05 <sup>aD</sup>	0,14 <sup>cD</sup>	0,06 <sup>bD</sup>	0,08	0,04	48,51
7	0,02 <sup>aA</sup>	0,02 <sup>aA</sup>	0,03 <sup>aA</sup>	0,06 <sup>cA</sup>	0,02 <sup>bA</sup>	0,03	0,02	50,91
Média	0,03	0,04	0,04	0,14	0,03	-	-	-
Desvio Padrão	0,02	0,01	0,01	0,09	0,02	-	-	-
CV (%)	69,26	30,60	30,60	61,25	64,38	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

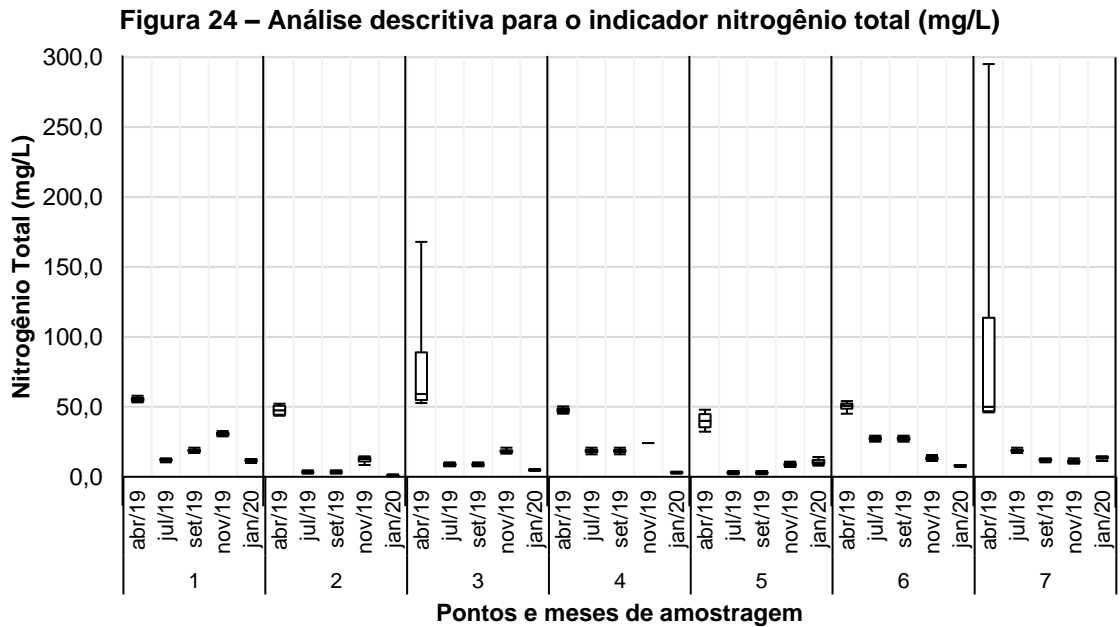
A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

A Figura 24 apresenta os resultados dos pontos amostrados para nitrogênio total, que consiste na medição do teor de nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal presente em corpos d'água. Além destes, o corpo d'água pode apresentar nitrogênio sob as formas de nitrito e nitrato que não foram analisadas neste trabalho. Somente a forma amoniacal apresenta limites de concentração estabelecidos segundo CONAMA 357/05 (VON SPERLING, 2005).

Na Tabela 23 são expostos os dados resultantes da aplicação da ANOVA e Tukey para o mesmo parâmetro. Observa-se que 34,29% dos dados apresentaram teor de NT inferior a 10 mg/L, 34,3% teor entre 10 e 20 mg/L, 14,3% concentração de NT no intervalo de 20 a 30 mg/L, 11,4% entre 30 e 40 e 5,7% superior a 50 mg/L. Apesar de não existir limite para este parâmetro na Resolução CONAMA 357/05, os teores obtidos são superiores aos de trabalhos realizados em águas naturais, como Meyer e Franceschinelli (2011) que encontraram teores entre 0,64 mg/L e 0,53 mg/L em rios da região da Cadeia do Espinhaço/MG e Carvalho



*et al.* (2013), que observou teor de 0,08 mg/L no Rio Itamambuca em Caraguatatuba, São Paulo.



**Tabela 23 - Comparação de médias para o parâmetro nitrogênio total (mg/L)**

Ponto amostragem	Abr/19	Jul/19	Set/19	Nov/19	Jan/20	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1	55,33 <sup>bA</sup>	12,00 <sup>aA</sup>	18,79 <sup>aA</sup>	30,69 <sup>aA</sup>	11,52 <sup>aA</sup>	25,67	18,30	71,30
2	47,71 <sup>bA</sup>	3,43 <sup>aA</sup>	3,43 <sup>aA</sup>	12,12 <sup>aA</sup>	0,93 <sup>aA</sup>	13,52	19,58	144,78
3	84,74 <sup>bA</sup>	8,79 <sup>aA</sup>	8,79 <sup>aA</sup>	18,43 <sup>aA</sup>	4,86 <sup>aA</sup>	25,12	33,70	134,17
4	47,60 <sup>bA</sup>	18,43 <sup>aA</sup>	18,43 <sup>aA</sup>	24,14 <sup>aA</sup>	3,07 <sup>aA</sup>	22,33	16,15	72,30
5	40,10 <sup>bA</sup>	2,95 <sup>aA</sup>	2,95 <sup>aA</sup>	8,79 <sup>aA</sup>	10,69 <sup>aA</sup>	13,10	15,48	118,25
6	50,21 <sup>bA</sup>	27,24 <sup>aA</sup>	27,24 <sup>aA</sup>	13,31 <sup>aA</sup>	7,83 <sup>aA</sup>	25,17	16,41	65,20
7	110,33 <sup>bA</sup>	18,79 <sup>aA</sup>	12,00 <sup>aA</sup>	11,05 <sup>aA</sup>	13,43 <sup>aA</sup>	33,12	43,27	130,64
Média	62,29	13,09	13,09	16,93	7,48	-	-	-
Desvio Padrão	25,58	8,92	8,92	7,97	4,68	-	-	-
CV (%)	41,07	68,12	68,12	47,05	62,60	-	-	-

Os resultados são expressos pela média de quatro repetições.

CV: coeficiente de variação.

a. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação à época de amostragem.

A. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade em relação ao local de amostragem.

Segundo Barbieri *et al.* (2014), nos ambientes aquáticos naturais, o nitrogênio amoniacal compreende as formas do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) dissolvidos, e a proporção entre elas depende de temperatura, salinidade e, principalmente, pH. Já o nitrogênio orgânico, constituído principalmente por ureia, aminoácidos e outras substâncias orgânicas do grupo amino, apesar de não possuir padrão mínimo de lançamento determinado pelo órgão ambiental, deve ser

considerado uma vez que altas concentrações do mesmo podem proporcionar o crescimento excessivo de algas gerando a eutrofização (VON SPERLING, 2005).

Ao contrário do fósforo, o nitrogênio total é abundante no ambiente aquático, sendo que as fontes de aporte aos corpos hídricos podem ser naturais, como pela precipitação, pela fixação nos sedimentos do leito e pela lixiviação do solo ou ainda artificiais, quando o nitrogênio é introduzido no ambiente aquático através de efluentes industriais, águas residuárias domésticas, excrementos animais, fertilizantes e incorporação do nitrogênio gasoso (VON SPERLING, 2005).

### 5.3. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de PCA foi realizada utilizando-se dos dados por ponto amostrado, considerando os pontos de monitoramento bimestral e meses de amostragem, de forma a verificar a diferença entre os parâmetros conforme sazonalidade e disposição espacial. Considerando a análise de nove parâmetros – indicadores de qualidade, também foram geradas nove componentes (F1 a F9). A fim de selecionar as componentes de maior relevância para o presente estudo, apresenta-se na Tabela 24 o percentual de variância total explicada por cada componente associada ao seu respectivo autovalor.

**Tabela 24 - Variância explicada dos dados amostrais**

Componente	Abril/19			Julho/19			Setembro/19		
	Autovalores iniciais			Autovalores iniciais			Autovalores iniciais		
	Total	% Var.	% Acum.	Total	% Var.	% Acum.	Total	% Var.	% Acum.
F1	2,819	31,326	31,326	3,275	36,388	36,388	4,066	45,173	45,173
F2	2,230	24,779	56,105	2,806	31,176	67,564	2,150	23,888	69,061
F3	1,294	14,379	70,484	<b>1,564</b>	17,381	84,945	<b>1,416</b>	15,729	84,790
F4	<b>1,071</b>	11,900	82,385	0,703	7,813	92,761	0,904	10,048	94,839
F5	0,743	8,254	90,639	0,293	3,255	96,016	0,279	3,095	97,934
F6	0,475	5,274	95,913	0,224	2,490	98,506	0,121	1,348	99,282
F7	0,324	3,602	99,515	0,077	0,854	99,360	0,047	0,524	99,806
F8	0,029	0,317	99,832	0,040	0,444	99,804	0,013	0,147	99,953
F9	0,015	0,168	100	0,018	0,196	100	0,004	0,047	100

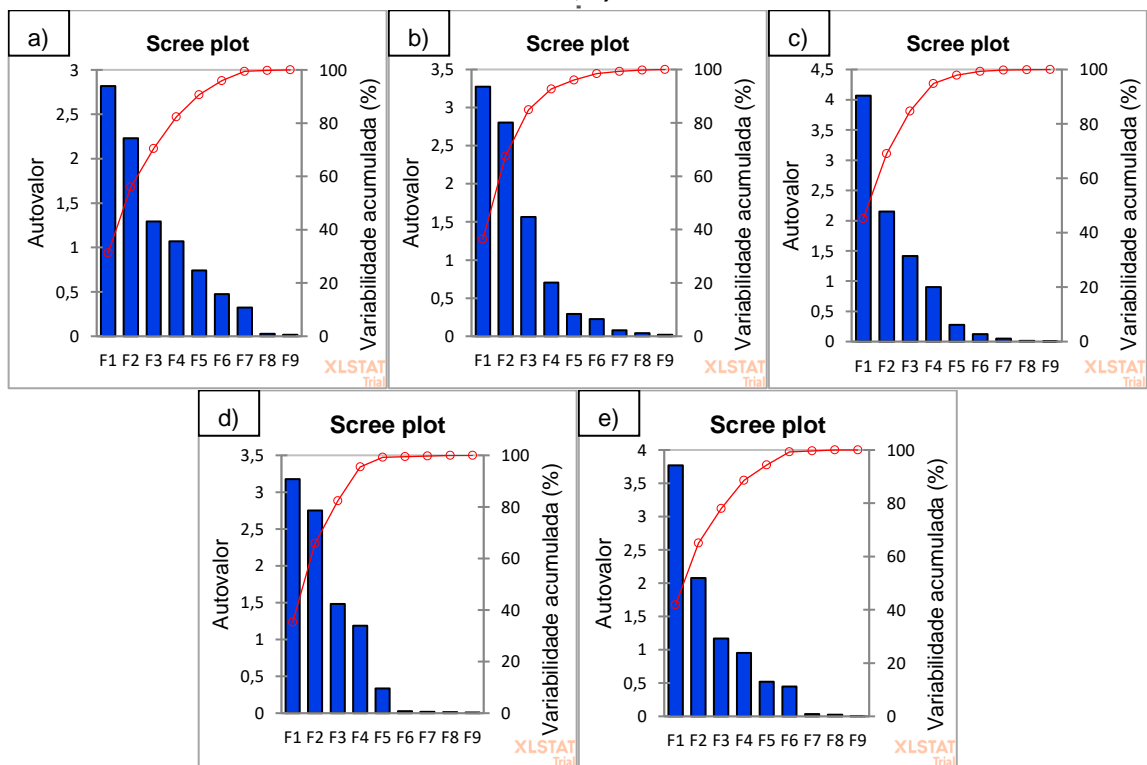
Componente	Novembro/19			Janeiro/20		
	Autovalores iniciais			Autovalores iniciais		
	Total	% Var.	% Acum.	Total	% Var.	% Acum.
F1	3,175	35,278	35,278	3,771	41,898	41,898
F2	2,751	30,565	65,843	2,077	23,081	64,978
F3	1,480	16,449	82,292	<b>1,169</b>	12,993	77,972
F4	<b>1,188</b>	13,196	95,488	0,952	10,577	88,548
F5	0,333	3,704	99,192	0,521	5,784	94,332
F6	0,029	0,322	99,514	0,446	4,953	99,286
F7	0,020	0,224	99,738	0,036	0,401	99,686
F8	0,016	0,175	99,913	0,023	0,260	99,946
F9	0,008	0,087	100	0,005	0,054	100

Em que: Var = variância; Acum = acumulado, F1 a F9 – componentes.

Pelo critério de Kaiser (VICINI, 2005) foram consideradas as componentes principais com autovalores maiores do que um. Assim sendo, as nove componentes originais foram reduzidas em três ou quatro novas componentes, a depender da amostragem.

Com o intuito de confirmar a escolha das componentes, aplicou-se o Teste de Cattell ou “*scree plot*” tal qual Figura 25, que possibilita avaliar o comportamento de cada componente nas amostragens. O maior autovalor indica a componente principal do conjunto avaliado, ou seja, aquela com relação de maior significância entre as dimensões analisadas.

**Figura 25 - Gráfico Scree para os autovalores: a) Abril/19, b) Julho/19, c) Setembro/19, d) Novembro/19, e) Janeiro/20**



Nota-se que a taxa de variação dos autovalores em relação ao número de componentes decresce consideravelmente em determinados pontos do gráfico, a partir do qual apresentam decaimento reduzido tendendo a se estabilizar horizontalmente, ou seja, o acréscimo de componentes na análise representa um incremento pequeno em termos de representatividade nos autovalores.

Definidas as componentes de relevância, apresenta-se na Tabela 25 a matriz de carga fatorial das variáveis da qualidade de água nos componentes selecionados. Os maiores valores dos pesos fatoriais direcionam para as variáveis

mais significativas em cada fator. Em análise de qualidade da água, Liu, Lin e Kuo (2003) sugerem que fatores com carga fatorial superior a 0,75 tendem a ser indicativos de forte associação entre as variáveis.

**Tabela 25 – Matriz de carga fatorial das variáveis da qualidade de água nos componentes principais selecionados**

Parâmetro	Abril/19				Julho/19			Setembro/19		
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F1	F2	F3
<b>OD</b>	-0,682	0,698	0,125	0,048	<b>-0,871</b>	0,430	0,125	0,704	-0,100	-0,672
<b>DBO</b>	-0,530	<b>0,774</b>	0,186	-0,258	-0,551	0,734	0,186	<b>0,909</b>	0,049	-0,308
<b>pH</b>	-0,439	-0,259	-0,261	0,210	-0,521	0,726	-0,261	<b>0,860</b>	-0,247	0,360
<b>Turb</b>	0,728	0,586	0,260	-0,303	0,734	0,498	0,260	-0,099	<b>0,753</b>	0,557
<b>Temp</b>	0,123	0,634	-0,236	0,273	0,219	<b>0,879</b>	-0,236	0,692	0,586	-0,283
<b>CE</b>	0,205	0,271	0,799	-0,214	0,204	0,428	0,799	0,539	-0,696	0,367
<b>SDT</b>	<b>0,765</b>	-0,182	-0,257	-0,049	<b>0,868</b>	0,163	-0,257	<b>0,863</b>	-0,060	0,413
<b>PT</b>	<b>0,801</b>	0,466	0,512	0,593	0,566	0,190	0,512	0,566	0,009	0,195
<b>NT</b>	-0,254	0,086	-0,597	-0,159	0,490	0,537	-0,597	0,400	<b>0,824</b>	0,075

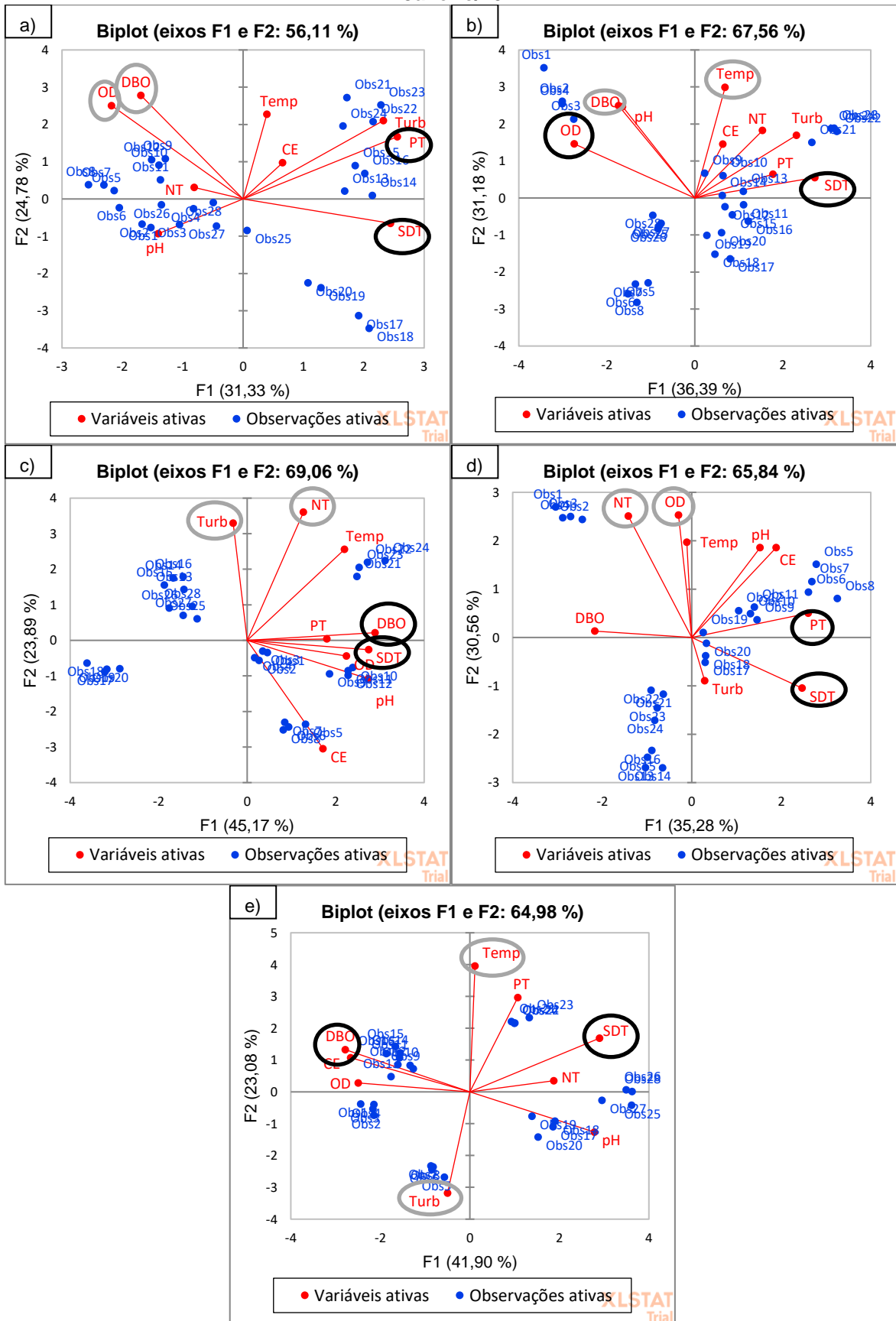
  

Parâmetros	Novembro/19				Janeiro/20		
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3
<b>OD</b>	-0,104	<b>0,828</b>	0,199	-0,238	-0,746	0,062	0,466
<b>DBO</b>	<b>-0,762</b>	0,043	0,248	0,589	<b>-0,833</b>	0,295	0,341
<b>pH</b>	0,538	0,608	-0,130	0,560	<b>0,833</b>	-0,281	0,268
<b>Turb</b>	0,102	-0,294	0,870	0,364	-0,149	<b>-0,706</b>	-0,336
<b>Temp</b>	-0,039	0,645	0,597	-0,417	0,034	<b>0,879</b>	-0,053
<b>CE</b>	0,664	0,609	-0,346	0,239	<b>-0,797</b>	0,238	-0,241
<b>SDT</b>	<b>0,868</b>	-0,343	0,186	-0,288	<b>0,867</b>	0,375	-0,154
<b>PT</b>	<b>0,916</b>	0,164	0,308	0,136	0,320	0,659	-0,280
<b>NT</b>	-0,499	<b>0,822</b>	-0,002	-0,072	0,561	0,078	0,699

Em que: F1 a F4 correspondem as componentes; OD = oxigênio dissolvido, DBO = demanda bioquímica de oxigênio, Turb = turbidez, Temp = temperatura, CE = condutividade elétrica, SDT = sólidos dissolvidos totais, PT = fósforo total e NT = nitrogênio total.

Na Figura 26 se apresentam os gráficos de carga fatorial da PCA, em que são expostas as associações entre componentes e indicadores de qualidade hídrica. Observa-se uma variância acumulada média de 85,1% da variabilidade dos dados (abril/19 = 82,385%, julho/19 = 84,945%, setembro/19 = 84,790%, novembro/19 = 95,488% e janeiro/20 = 77,972%).

Figura 26 – Carga fatorial PCA: a) Abril/19, b) Julho/19, c) Setembro/19, d) Novembro/19, e) Janeiro/20



OBS: círculos em preto – associação com F1 (Componente 1), círculos em cinza – associação com F2 (Componente 2).

Nota-se pela Tabela 25 e pela Figura 26, a qual expõe a associação entre componentes e indicadores, que em todas as amostragens a Componente 1 (F1) está associada em primeiro ou segundo grau ao parâmetro sólidos dissolvidos totais - SDT, ou seja, o parâmetro SDT aparece entre os dois indicadores de destaque da primeira componente em todas as amostragens, de maneira que se destacam ainda: o indicador PT para as amostragens de abril/19 e novembro/19, OD para julho/19 e DBO para setembro/19 e janeiro/20.

Já a Componente 2 (F2) apresenta comportamento variável entre os indicadores a depender da amostragem. Para as amostragens de abril e julho, cuja precipitação anterior à coleta se apresentava nas menores taxas quando comparada às outras amostragens, a componente 2 (F2) se relaciona ao parâmetro de DBO, corroborando o descrito anteriormente de que em baixas taxas de precipitação ou ausência da mesma o valor de DBO tende a ser maior devido ao acúmulo de poluente no corpo d'água. Nas amostragens de setembro e novembro o indicador NT apresenta associação com esta componente. Por sua vez, na amostragem de janeiro há forte associação desta componente aos parâmetros de temperatura e turbidez, demonstrando o potencial de desagregação, deslocamento e carreamento de partículas de solo aos corpos d'água frente a eventos de precipitação.

Ainda pela análise da Figura 26 é possível determinar: i) quais os parâmetros de maior influência na composição das observações, ou seja, sabendo que as observações correspondem aos dados de entrada na análise de PCA, e estes se referem aos pontos de amostragem de maneira que as observações 1 a 4 correspondem ao ponto 1, 5 a 8 ao ponto 2 e assim sucessivamente, torna-se plausível a correlação entre pontos e parâmetros, ii) eventuais semelhanças entre conjunto de observações. Assim sendo, pela Figura 26, tem-se:

a) influência do parâmetro de turbidez sobre o ponto 6, pH sobre o ponto 1 e semelhança comportamental entre os pontos 4 e 6, que diferem significativamente do ponto 5 e ambos dos pontos 1, 2, 3 e 7;

b) teor de OD sobre ponto 1, turbidez sobre o ponto 6 e diferença entre os pontos 1, 2, 6 e 7, que diferem do conjunto entre os pontos 3, 4 e 5;

c) influência do indicador CE sobre o ponto 2, temperatura sobre o ponto 6, pH sobre o ponto 3 e diferença entre os pontos 1, 2, 3, 5, 6 do conjunto entre os pontos 4 e 7;

d) turbidez sobre o ponto 5, PT sobre o ponto 2 e semelhança entre o conjunto de pontos 4 e 6, 3 e 5, que diferem do ponto 1 e todos do ponto 2;

e) turbidez sobre o ponto 2, pH sobre o ponto 5, fósforo total sobre o ponto 6 e diferença entre os pontos 1, 2, 5, 6 e 7 do conjunto entre os pontos 3 e 4.

Corroborando o resultado de aplicação do teste de Tukey, observa-se diferenciação entre os pontos de amostragem, sendo esta mais proeminente na amostragem de janeiro. Os parâmetros que se destacam, de maneira que apresentam associação mais direta com os pontos amostrais são turbidez, estando mais relacionado ao ponto 6 sobretudo nas amostragens de abril/19 e julho/19, pH sobre os pontos 1, 3 e 5 em diferentes amostragens, fósforo total sobre os pontos 2 e 6 nas amostragens de novembro/19 e janeiro/20, OD sobre o ponto 1 na amostragem de julho/19, CE sobre o ponto 1 na amostragem de setembro.

#### **5.4. Correlação entre os aspectos água, solo e vegetação**

Na Figura 27 são apresentados os coeficientes de Pearson obtidos para a análise de correlação entre os aspectos solo, água e vegetação. As células em tons de azul representam correlação negativa e em tons de vermelho, correlação positiva, de maneira que quanto mais acentuada a vivacidade, maior o coeficiente.

Figura 27 – Matriz de correlações entre as variáveis de qualidade de água, solo e vegetação nos componentes principais seleccionados

Aspectos e indicadores de qualidade	Solo											Veg											Água				
	P	MO	pHS	Ca	Mg	H+Al	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia	IAF	OD	DBO	pHA	Turb	Temp	CE	SDT	PT	NT	
P	1,00																										
MO	0,54	1,00																									
pHS	-0,30	-0,22	1,00																								
Ca	0,27	0,78	0,41	1,00																							
Mg	0,12	0,46	0,14	0,59	1,00																						
H+Al	0,57	0,77	-0,68	0,35	0,25	1,00																					
CTC	0,54	0,93	-0,26	0,75	0,58	0,87	1,00																				
V%	-0,36	-0,14	0,91	0,41	0,40	-0,68	-0,22	1,00																			
B	0,44	0,66	-0,29	0,46	0,16	0,60	0,63	-0,30	1,00																		
Cu	-0,16	-0,08	0,41	0,29	0,09	-0,12	0,06	0,23	0,47	1,00																	
Fe	0,88	0,64	-0,58	0,23	0,30	0,75	0,67	-0,51	0,66	-0,10	1,00																
Mn	-0,35	-0,12	-0,51	-0,30	-0,17	0,34	0,07	-0,58	0,31	0,39	-0,03	1,00															
Zn	0,95	0,74	-0,32	0,47	0,18	0,74	0,74	-0,39	0,54	-0,12	0,86	-0,24	1,00														
Argila	0,14	0,62	-0,66	0,22	0,05	0,87	0,69	-0,68	0,46	-0,13	0,38	0,58	0,38	1,00													
Silte	0,13	0,32	-0,82	-0,11	0,25	0,73	0,49	-0,70	0,50	0,03	0,54	0,74	0,22	0,73	1,00												
Areia	-0,15	-0,55	0,77	-0,11	-0,13	-0,88	-0,66	0,74	-0,51	0,07	-0,47	-0,68	-0,35	-0,96	-0,88	1,00											
IAF	-0,39	0,15	-0,28	0,07	-0,21	0,39	0,25	-0,42	0,35	0,38	-0,18	0,85	-0,16	0,72	0,50	-0,69	1,00										
OD	-0,58	-0,79	0,55	-0,32	-0,26	-0,71	-0,66	0,37	-0,33	0,64	-0,67	0,23	-0,67	-0,57	-0,35	0,53	0,11	1,00									
DBO	-0,18	-0,57	0,75	-0,04	-0,31	-0,67	-0,51	0,48	-0,22	0,61	-0,48	-0,17	-0,29	-0,69	-0,66	0,73	-0,15	0,84	1,00								
pHA	-0,26	-0,49	0,78	0,07	0,18	-0,73	-0,43	0,75	-0,16	0,62	-0,38	-0,25	-0,40	-0,83	-0,52	0,77	-0,36	0,77	0,81	1,00							
Turb	0,73	0,30	0,03	0,26	-0,22	0,35	0,32	-0,25	0,05	-0,13	0,37	-0,37	0,75	0,10	-0,26	0,03	-0,19	-0,26	0,19	-0,22	1,00						
Temp	0,08	-0,38	0,09	-0,35	-0,82	-0,30	-0,47	-0,19	0,19	0,38	-0,10	0,11	-0,03	-0,27	-0,29	0,30	0,09	0,44	0,61	0,23	0,25	1,00					
CE	-0,02	-0,16	0,77	0,21	-0,01	-0,69	-0,38	0,79	-0,38	-0,12	-0,35	-0,89	-0,13	-0,77	-0,93	0,89	-0,70	0,16	0,48	0,54	0,14	0,12	1,00				
SDT	0,63	0,24	-0,76	-0,32	-0,48	0,56	0,17	-0,84	0,21	-0,51	0,60	0,07	0,60	0,45	0,34	-0,43	0,00	-0,58	-0,44	-0,74	0,52	0,28	-0,36	1,00			
PT	0,36	0,08	0,09	0,03	-0,43	0,04	-0,03	-0,11	-0,39	-0,55	-0,04	-0,54	0,37	-0,01	-0,52	0,21	-0,27	-0,29	0,08	-0,35	0,79	0,17	0,39	0,48	1,00		
NT	-0,30	-0,22	-0,25	-0,33	-0,65	0,03	-0,23	-0,44	0,39	0,48	-0,16	0,74	-0,24	0,29	0,28	-0,30	0,72	0,37	0,20	-0,09	-0,20	0,69	-0,47	0,17	-0,28	1,00	

Em que: células em tons de azul = correlação negativa, células em tons de vermelho = correlação positiva. P – fósforo, MO – matéria orgânica, pHS – pH do solo, Ca – cálcio, Mg – magnésio, CTC – capacidade de troca catiônica, B – boro, Cu – cobre, Fe – ferro, Mn – manganês, IAF – Índice de Área Foliar, OD – oxigênio dissolvido, DBO – demanda bioquímica de oxigênio, pHA – pH da água, Turb – turbidez, Temp – temperatura, CE – condutividade elétrica, SDT – sólidos dissolvidos totais, PT – fósforo total e NT – nitrogênio total.



Pela Figura 27 observa-se correlação de média a alta entre os indicadores de qualidade do solo, sobretudo com relação ao teor de matéria orgânica e nutrientes – cálcio e zinco, uma vez que estes são constituintes dos minerais e da própria matéria orgânica do substrato onde se desenvolve a vegetação (RONQUIM, 2010), bem como de matéria orgânica com acidez potencial e capacidade de troca catiônica.

Carvalho *et al.* (2018) observaram que, a ocorrência de níveis mais elevados de H+Al no solo tem maior relação com teores de matéria orgânica, o que reforça a importância da MO na troca de cátions do solo e na redução da acidez potencial. Tais autores também visualizaram que, em um sistema de cultivo do tipo agroflorestal, devido ao aporte de matéria orgânica, houve acréscimo nos teores de carbono orgânico total e CTC. Similarmente, Ciotta *et al.* (2003) observaram que o acúmulo de matéria orgânica em sistema de plantio direto em solo argiloso promoveu aumento expressivo na CTC do solo.

A ocorrência expressiva de correlações entre indicadores de qualidade do solo com o teor de matéria orgânica se deve ao fato de que: i) este indicador é bastante sensível ao manejo, e ii) diversos atributos do solo se relacionam ao teor de MO, a citar resistência a erosão, infiltração e retenção de água e liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (SANTOS *et al.*, 2008).

Na interface dos aspectos solo-vegetação, observa-se que o Índice de Área Foliar apresentou correlação alta com os parâmetros do solo manganês e teor de argila, respectivamente ( $r = 0,85$  e  $r = 0,72$ ). A disponibilidade de micronutrientes no solo, incluindo o manganês depende do potencial de oxirredução do solo, bem como da atividade biológica e do pH, e geralmente solos muito ácidos tendem a apresentar manganês em excesso, afetando a parte aérea de vegetação por seu acúmulo nas folhas e posteriormente as raízes pelo comprometimento de sua capacidade fotossintética (SALVADOR *et al.*, 2003).

A transferência de nutrientes da biomassa arbórea para o solo pode ocorrer pela lavagem da vegetação pela chuva, provocando o arraste de substâncias minerais orgânicas e pela decomposição de serapilheira, troncos e galhos caídos e raízes mortas. Entretanto estes eventos dependem da ocorrência de chuvas, temperatura e do Índice de Área Foliar (BAMBI, 2007). Segundo Pedralino *et al.* (2013), a matéria orgânica proveniente da serapilheira decomposta

permite a incorporação de nutrientes no solo, que os adsorvem por meio da CTC e da porcentagem de argila presente nas amostras.

Ainda, observa-se influência do pH do solo bem como do teor de areia sobre os parâmetros de qualidade hídrica DBO, CE e pH. Tal como relatado anteriormente, estes parâmetros refletem em maior ou menor grau a água que escoar sobre a superfície do solo ou em seu perfil, principalmente em eventos de erosão, podendo levar até os corpos d'água maior quantidade de sólidos e sedimentos, inclusive elementos de vegetação que, por ainda não terem sido degradados, elevam a taxa de DBO, a condutividade elétrica e tornam o pH mais ácido.

Quando analisados somente os parâmetros de qualidade hídrica, verifica-se de baixa a média correlação entre os indicadores, com exceção dos parâmetros de fósforo total e turbidez que apresentam  $r$  positivo de 0,79 e dos parâmetros SDT e pH que apresentaram correlação de -0,74.

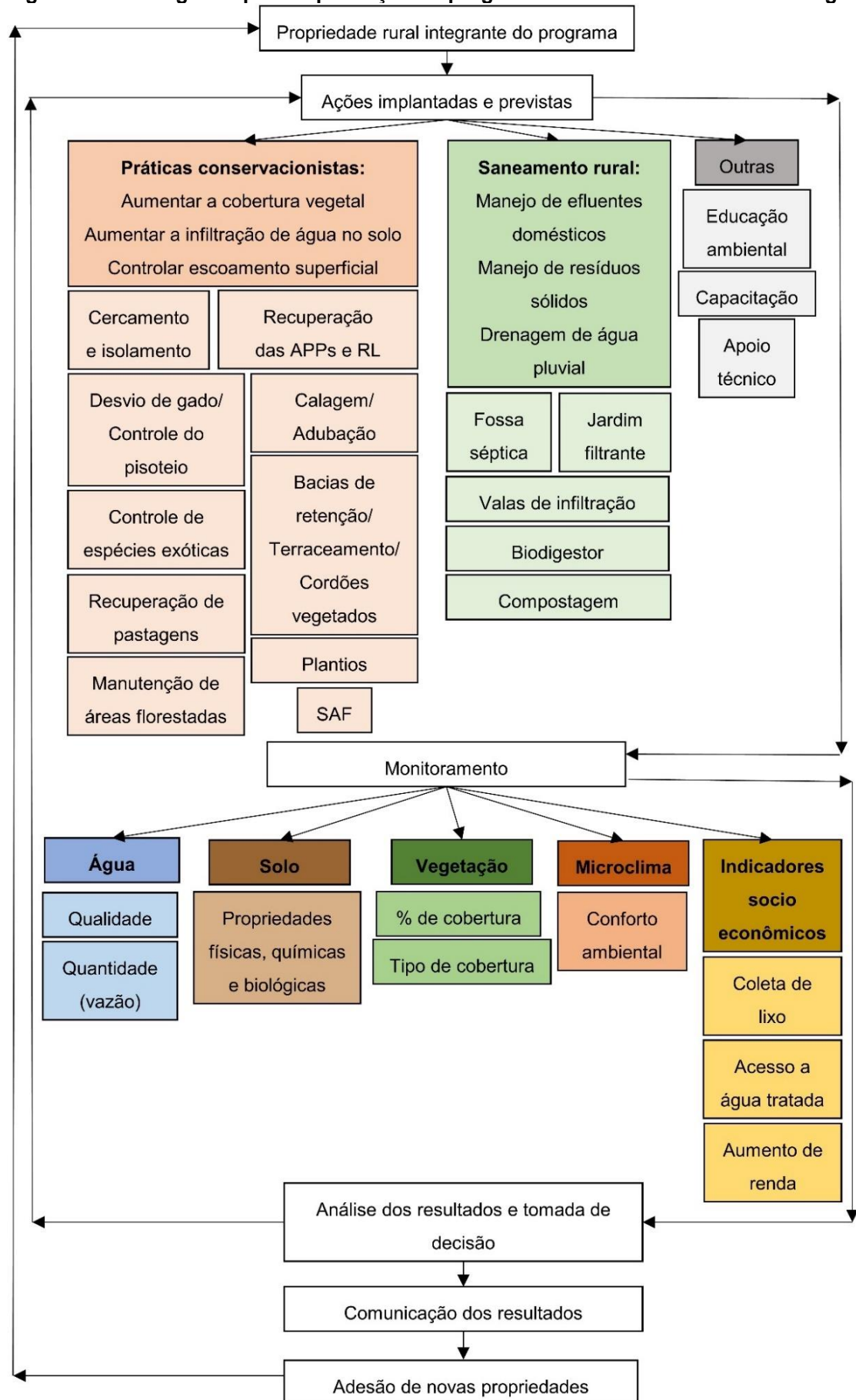
Malheiros *et al.* (2012) ao analisarem a qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola observaram relação entre as variáveis turbidez, PT, cor aparente e clorofila em função da necessidade de aplicação de insumos agrícolas fosfatados. Simoneli, Jungles e Döll (2017) obtiveram coeficiente  $r$  de 0,9 entre PT e turbidez no estudo da qualidade da água do Arroio da Ronda em Ponta Grossa localizado em perímetro urbano.

## **5.5. Proposição de um programa de monitoramento PSA-Água**

Partindo-se da necessidade e das dificuldades relatadas anteriormente em se monitorar programas de PSA-Água, sobretudo em função da disponibilidade de pessoal técnico, de recursos financeiros, de equipamentos e das particularidades edafoclimáticas de cada local de interesse, e, com os dados levantados por esse trabalho na propriedade de estudo, propõe-se um esquema de monitoramento cujo intuito é servir como proposta inicial para o monitoramento do programa no município de Campinas e extensão a outras bacias de interesse.

Assim sendo, a Figura 28 apresenta uma proposta de implantação de monitoramento do PSA água a ser adotado em propriedades rurais participantes do programa.

Figura 28 – Fluxograma para implantação do programa de monitoramento do PSA-água



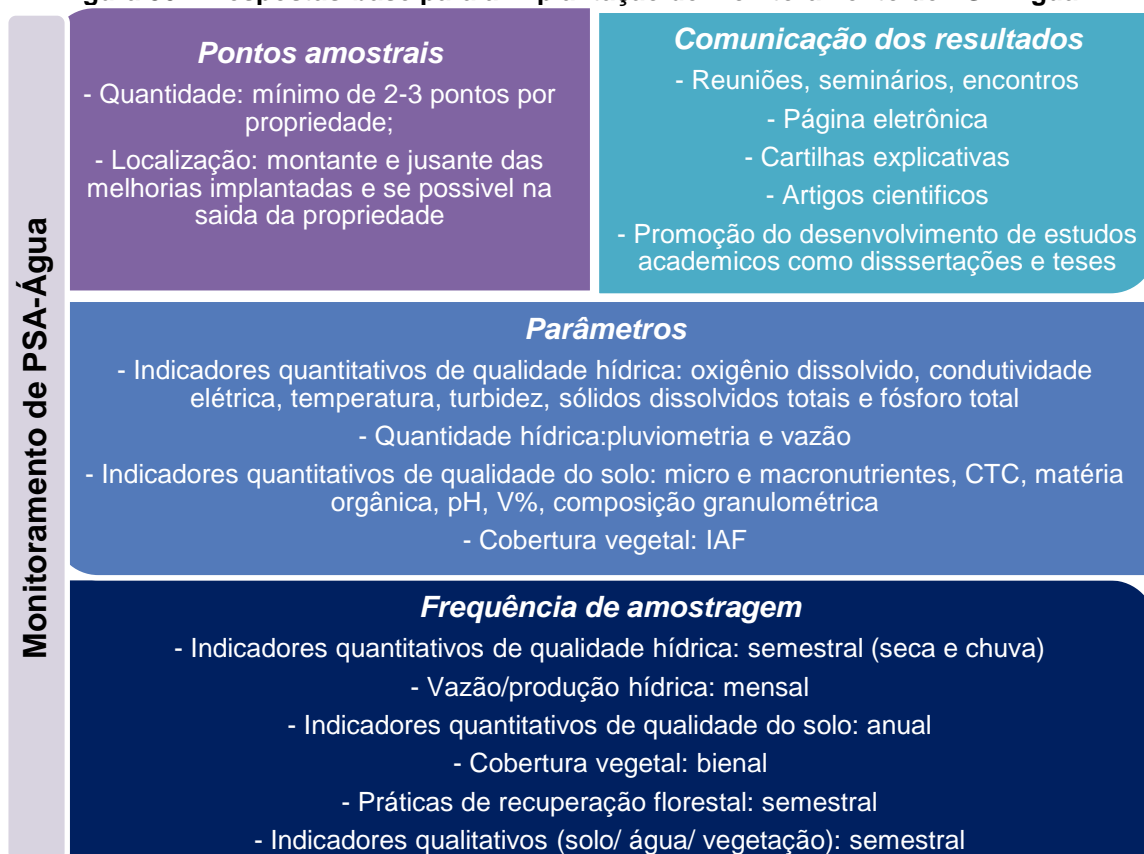
De forma a tornar mais detalhado o fluxograma anteriormente apresentado, e com vistas a auxiliar na implantação de um programa de monitoramento do PSA-Água Campinas, elaborou-se a Figura 29 com perguntas norteadoras estabelecidas sobretudo com base no documento “Manual para Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos: seleção de áreas e monitoramento” (FIDALGO *et al.*, 2017) e a Figura 30 com respostas à estas perguntas fundamentadas nos resultados obtidos por este trabalho.

**Figura 29 – Perguntas norteadoras para a implantação de monitoramento de PSA-Água**



Ressalta-se que o monitoramento neste item abordado diz respeito aquele a ser realizado com vistas aos benefícios gerados pela aplicação do programa nas propriedades rurais, uma vez que, no âmbito do PSA-Água Campinas e tal qual estabelecido pela Lei Municipal nº 15.046/15 já é definido monitoramento voltado à verificação do cumprimento das metas estabelecidas no projeto e termo de habilitação, tendo caráter fiscalizatório e realizado pelo Conselho Diretor do Programa de PSA por meio de vistorias semestrais nas propriedades contempladas pelo Programa, cujo resultado é expresso em um relatório de constatação das ações aplicadas durante o semestre para embasamento do enquadramento e homologação do pagamento.

**Figura 30 – Respostas-base para a implantação de monitoramento de PSA-Água**



No âmbito da propriedade de estudo, a escolha dos pontos de amostragem foi pautada em interesse conjunto dos proprietários e membros do poder público com representação pela Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável em: i) determinar um diagnóstico de qualidade para pontos de interesse, e ii) verificar possíveis alterações na qualidade hídrica frente as melhorias implantadas sobre esses pontos, considerando, ainda, diferentes situações de uso e ocupação do solo que justificam e/ou contribuem para as modificações nos indicadores adotados.

Pela análise de qualidade hídrica no tempo de um ano (período de análise dessa dissertação), e pela aplicação do teste anova seguido de Tukey foi possível observar diferenças significativas entre os pontos amostrados, variando conforme indicador de qualidade, o que torna justificada e pertinente a escolha de cada um dos pontos selecionados.

Entretanto, o estudo nesta propriedade foi realizado com o intuito de servir como “piloto” para desenvolvimento de um programa de monitoramento a ser aplicado pelo PSA-Água Campinas, e apesar de ser justificada e plausível a tomada

dos pontos amostrais na propriedade, entende-se que não seria viável a adoção de número tão elevado de pontos por propriedade, o que acarretaria elevado custo. Assim sendo, julga-se como de maior significância a manutenção do monitoramento dos pontos 1 e 3, sendo o primeiro representativo da qualidade hídrica de saída da propriedade após as melhorias implantadas na mesma, considerando inclusive o sistema de tratamento de efluente doméstico da colônia residencial e o segundo, ponto a montante do referido sistema de tratamento e à junção das águas oriundas do curso externo preservado.

Sabendo que a qualidade hídrica é influenciada pela dinâmica de sazonalidade climática, e no caso de propriedades participantes de programa de PSA-Água, relacionadas às mudanças no uso do solo tratadas por melhorias, sugere-se que a frequência de monitoramento seja abrangente e contínua e que considere ao menos um ano hidrológico, ou seja, que o monitoramento de indicadores relacionados à qualidade hídrica seja realizado duas vezes ao ano – época de seca e de chuva. Essa diferenciação climática entre as amostragens se faz importante a fim de se evitar que possíveis modificações nos parâmetros monitorados sejam atribuídas às intervenções adotadas no âmbito do PSA, de maneira que é sabido que estas podem levar anos a serem notificadas.

Analisando-se os resultados obtidos neste trabalho por meio da avaliação em campo da propriedade rural participante do PSA e o disposto pelas legislações Resolução ANA nº 903/2012, que cria a rede nacional de monitoramento da qualidade das águas superficiais, Resolução CONAMA nº 357/2005 que dispõe sobre os padrões de qualidade das águas e os índices IQA - Índice de Qualidade das Águas e IET - Índice do Estado Trófico comumente utilizados para avaliação da qualidade hídrica, infere-se que o monitoramento das águas deve contemplar minimamente os parâmetros oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, turbidez, sólidos dissolvidos totais e fósforo total. Aconselha-se que, para o parâmetro temperatura seja medida não somente a temperatura da água, mas também do ar, a fim de se notificar possíveis melhorias no microclima decorrente das ações adotadas no âmbito do programa.

De maneira complementar, considerando: i) o objetivo do PSA-Água Campinas de assegurar a qualidade das águas e também a quantidade e ii) o alto potencial produtor de água da bacia do Atibaia, o que reafirma sua inserção na área prioritária de implantação do PSA, sugere-se ainda o acréscimo de um indicador de

vazão/produção hídrica e acompanhamento de precipitação na propriedade a ser monitorado mensalmente.

Segundo documento publicado pela Agência Nacional de Águas referente ao programa Produtor de Águas (SANTOS; CARVALHO; CHAVES, 2008), o produtor que por meio de práticas conservacionistas consegue captar e infiltrar mais água da chuva que cai em sua propriedade, aumenta a vazão disponível dos cursos d'água que a cortam. Ainda segundo os autores supracitados, “a água de chuva, ao tocar o solo, infiltra e abastece o lençol freático, alimentando nascentes e rios com água limpa”.

Pagiola, Von Glehn e Taffarello (2013) ressaltam que o serviço ambiental de melhoria da qualidade e regulação da vazão hídrica é fornecido principalmente pela preservação e restauração das Áreas de Preservação Permanente de margem de rios e nascentes, que geralmente se encontram ocupadas com pastagens de baixo rendimento.

Na prática, os resultados obtidos pela implantação de políticas públicas de PSA em propriedades rurais apontam para o aumento na vazão após o desenvolvimento de práticas conservacionistas. Como exemplo, cita-se:

- a) o reconhecido caso do PSA Conservador das Águas em Extrema: em publicação referente aos 12 anos de existência do programa, Pereira (2013) relata que durante o período foram plantadas mais de 1,3 milhão de árvores e protegidas mais de 125 nascentes, colaborando para a produção de bilhões de litros de água;
- b) os relatos de proprietários participantes do projeto Oásis Apucarana no Paraná, os quais observaram, após 5 anos de implantação do programa no município o reaparecimento de nascentes em razão da restauração de 64 ha de áreas degradadas e da proteção das nascentes com cercas evitando o pisoteio do gado (PAGIOLA; VON GLEHN; TAFFARELLO, 2013);
- c) Sone *et al.* (2019) no estudo da bacia do Guariroba em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, observaram que as práticas ambientais incentivadas pelo programa de PSA “Manancial Vivo” proporcionaram o aumento da vazão de base, que sustenta a vazão total durante todo o ano. Embora tenha sido notificada redução de aproximadamente 1 mm na precipitação mensal no período de

estudo – 2012 a 2016, os autores verificaram que a vazão de base aumentou cerca de 0,018 m<sup>3</sup>/s nos cinco anos.

Ainda, alguns trabalhos científicos procuram estimar por meio da aplicação de sistemas de previsão de vazões hidrológicas o acréscimo na vazão em decorrência da adoção de diferentes práticas conservacionistas em propriedades rurais de uma bacia hidrográfica. Camelo (2011) verificou por meio da criação de cenários para a Bacia do Ribeirão Pipiripau no Distrito Federal que os incrementos na vazão decorrentes de práticas de revitalização da bacia poderiam variar entre 1 a 48 L/s frente a diferentes condições de precipitação anual.

No que tange ao monitoramento das condições ambientais das áreas de abrangência dos pontos analisados, em relação ao monitoramento do solo, observou-se pelo levantamento realizado nos pontos amostrais pouca diferenciação de fertilidade entre os mesmos.

Embora sejam tratados de maneira secundária em programas de PSA-Água, indicadores de qualidade do solo são essenciais no estudo de programas com enfoque hídrico para verificação de aspectos relacionados a erosão e também as condições edáficas do solo para o desenvolvimento vegetal. Parâmetros como matéria orgânica, CTC, macro e micronutrientes, apesar de sofrerem influência da decomposição vegetal presente sobre o solo podem ser avaliados anualmente (CARNEIRO *et al.*, 2009; PORTUGAL *et al.*, 2010).

Quanto a vegetação, normalmente as alterações decorrentes de restauração ou conservação florestal são lentas e, portanto, carecem de acompanhamento mais espaçado, até porque este tipo de informação está associado a disponibilidade de imagens de satélite. Assim sendo, o monitoramento do percentual de cobertura vegetal pode ser realizado a cada dois anos. Entretanto, observa-se que o monitoramento de práticas que visam a recuperação florestal tal como cercamento de áreas, produção de mudas, plantio e enriquecimento podem ser avaliadas semestralmente.

Em programas de PSA com foco hídrico, a manutenção da cobertura vegetal sobretudo em terras de uso agrícola é de suma importância, pois esta protege o solo da ação direta da precipitação e aumenta a infiltração da água no solo (FAVARETTO *et al.*, 2006). Ainda, partindo-se da ideia de que os esquemas de PSA-Água visam também o controle de erosão e/ou regulação do fluxo de água,



a vegetação propicia o fornecimento dos serviços de regulação do fluxo hídrico, controle da qualidade d'água e proteção do solo (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

Por fim, recomenda-se a avaliação semestral e visual - qualitativa em campo de características físico-químicas dos aspectos: água, solo e vegetação, tais quais compactação do solo, erosão, impermeabilização, estabilidade de margens, poluição do solo, solo exposto, presença de espumas, resíduos e óleos no corpo d'água, assoreamento, características biológicas como diversidade de espécies animais e vegetais terrestres e/ou aquática, biomassa aérea e serapilheira e socioculturais, como esgotamento sanitário, poluição visual, uso pela população e emissão de odores.

Os resultados esperados deverão ser monitorados e de preferência dispostos em um sistema de monitoramento, a fim de verificar o andamento das ações implantadas e aprimorar as estratégias futuras de implantação, facilitando a remuneração pelos serviços ambientais prestados.

Estes resultados deverão ser sistematizados de forma a abordar sobretudo os avanços obtidos a partir da implantação do programa, divulgados e disponibilizados de forma clara e direta, com vocabulário acessível e de fácil entendimento, seja à população ou aos proprietários, por meio, por exemplo, de reuniões, eventos e páginas eletrônicas, respeitando o princípio de transparência e publicidade, em especial com respeito ao provedor dos serviços. Sugere-se, igualmente, a elaboração de cartilhas explicativas sobre o PSA a ser disponibilizada aos proprietários e aos usuários da bacia hidrográfica.

De maneira complementar, podem ser desenvolvidas ações de capacitação técnica (palestras, cursos, reuniões, seminários) com vistas ao melhor entendimento do instrumento de PSA, tal qual as já desenvolvidas pela SVDS do município de Campinas bem como outros órgãos, a citar Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA e Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo que envolvam gestores, técnicos, beneficiários, provedores e pagadores de serviços ambientais. É fundamental que os provedores de serviços estejam engajados e motivados, para que assim possam se entender como parte elementar do programa desde sua concepção e participar mais ativamente em sua propriedade, de maneira que se sintam confortáveis em sugerir ações e soluções.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos por meio deste trabalho foi possível constatar que:

- a) Os indicadores de qualidade d'água levantados para os pontos de monitoramento bimestral inferiram boa qualidade, sobretudo nos pontos 1 (saída para a Fazenda Santa Margarida), 5 (captação para consumo) e 7 (montante da propriedade), de maneira que, os valores obtidos para OD, DBO, pH, turbidez, SDT e PT atenderam aos limites exigidos pela Classe 1 e 2 da Resolução CONAMA 357/05. Os parâmetros temperatura e CE, apesar de não apresentarem limites pela citada legislação não apresentaram valores que reduziam a qualidade hídrica destes pontos. A concentração de coliformes totais em todos os pontos de monitoramento bimestral foi a máxima segundo FUNASA, refletindo, possivelmente, uma característica natural da região.
- b) Com respeito aos pontos de diagnóstico, o ponto 8 – poço artesiano apresentou condições de qualidade similares ou superiores às encontradas para os pontos de monitoramento bimestral, mantendo mesmo comportamento de enquadramento. Já para o ponto de saída do jardim filtrante -P10, os dados obtidos indicaram baixa qualidade hídrica, de maneira que, para os teores de OD e PT não foram atingidos os limites mínimos para a Classe 4. Os teores para os parâmetros de pH, SDT e turbidez não apresentaram complicações, sendo os dois primeiros enquadrados como Classe 1 e o último Classe 2. O índice de condutividade observado neste ponto refletiu possivelmente uma situação de mineralização excessiva, e as altas temperaturas anotadas nas amostras evidenciaram uma contaminação por matéria orgânica, incidindo no rebaixamento de sua qualidade.
- c) Os indicadores de qualidade hídrica apresentaram heterogeneidade espaço-temporal, de maneira que, para os parâmetros de OD, DBO, pH, PT e NT foi observada maior oscilação frente a localização espacial dos pontos amostrais e para os parâmetros de turbidez, temperatura e CE, maior alteração entre amostragens. Os parâmetros SDT e coliformes

totais sofreram influência de mesma magnitude quando analisados os dois critérios de avaliação.

- d) Tal heterogeneidade amostral foi evidenciada pela análise estatística aplicada: pela análise de variância - ANOVA seguida de Tukey, constatou-se que os valores de qualidade levantados foram singulares e variaram no tempo e no espaço de maneira diferenciada a depender dos parâmetros considerados; pela análise multivariada PCA, observou-se que os indicadores que se destacaram de maneira que apresentaram associação mais estreita com os pontos amostrais foram *turbidez* e *temperatura*, estando mais evidentemente associados ao ponto 6 (interferência do gado), *pH* sobre os pontos 1 (saída para Fazenda Santa Margarida), 3 (montante esgoto) e 5 (captação para consumo), *PT* sobre os pontos 2 (ponto testemunho) e 6, *OD* e *CE* sobre o ponto 1, estando o último indicador também associado ao ponto 2.
- e) Em relação à fertilidade do solo os pontos amostrais apresentaram-se semelhantes, tendo, de modo geral, caráter ligeiramente ácido, altos teores para micronutrientes e para os macronutrientes fósforo e cálcio, composição granulométrica predominantemente arenosa (matriz composta, na média, por 67,2% areia, 19% argila e 13,8% silte), CTC efetiva de média a alta e V% de baixo a médio.
- f) Quando analisada a cobertura vegetal nos pontos amostrais, abordada pela medida do Índice de Área Foliar (IAF), observou-se grande variação entre os mesmos, sendo o maior valor encontrado para o ponto 7 - 2,817 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (montante propriedade) e o menor para o ponto 5 - 0,325 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (captação para consumo). Dos sete pontos amostrados, apenas três (1, 4 e 7) apresentaram valor de IAF superior a 1 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, o que caracteriza área com presença de vegetação arbóreo/arbustiva e/ou densa.
- g) Na análise de correlação entre os parâmetros físico-químicos do solo, IAF e indicadores de qualidade da água, observou-se correlação de média a alta entre os indicadores de qualidade do solo, sobretudo com relação ao teor de MO e nutrientes. Na interface dos aspectos solo-vegetação, observou-se alta correlação entre o IAF com os parâmetros do solo manganês e teor de argila. Notou-se também influência do pH do solo bem como do teor de areia sobre os parâmetros de qualidade

hídrica DBO, CE e pH. Quando analisados somente os parâmetros de qualidade hídrica, verificou-se de baixa a média correlação entre os indicadores, com exceção dos parâmetros PT-turbidez ( $r$  0,79) e SDT-pH ( $r$  -0,74).

- h) De maneira geral, os pontos 4 (processos erosivos – conservação dos solo) e 7 (montante da propriedade) apresentaram as melhores condições físicas, com vegetação ciliar desenvolvida e aplicação de práticas conservacionistas para retardo da velocidade da água e contenção de sedimentos. Os pontos que carecem de maior atenção em função de desenvolvimento vegetal e características de fertilidade do solo foram os pontos 2 (ponto testemunho), 3 (montante esgoto) e 5 (captação para consumo). Todavia, ressalta-se que pelo programa de PSA-Água já foram realizados plantios nas áreas dos pontos 2 e 3 e cercamento da APP no ponto 5.

A partir do diagnóstico realizado, pode-se afirmar que a hipótese formulada no presente estudo foi aceita, de maneira que o monitoramento realizado na propriedade ao longo de um ano pôde auxiliar na verificação do cumprimento e implantação de ações previstas pelo projeto de PSA. Entretanto, entende-se que o acompanhamento a longo prazo possibilitaria diferenciar as melhorias encontradas entre sazonalidade de precipitação e aquelas advindas das ações tomadas na propriedade no âmbito do programa.

Assim, para **estudos futuros**, sugere-se:

- i) o acompanhamento das propriedades a serem monitoradas por período maior de tempo, porém com uma frequência de coleta que atenda as especificidades de cada parâmetro adotado, a fim de verificar o resultado das ações desenvolvidas no âmbito do PSA-Água;
- ii) o estabelecimento de pontos de monitoramento em outras propriedades participantes do PSA Campinas e microbacias prioritárias com vistas a criar um diagnóstico de maior significância sobre a aplicabilidade do programa no município e tornar o mesmo mais coerente, eficiente e difundido.
- iii) o levantamento do potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos/ambientais pelas bacias hidrográficas do município de Campinas, a fim de tornar viável a aplicação dos outros subprogramas de PSA listados pela Lei Municipal nº 15.046 de 23 de julho de 2015.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. C. **Caracterização de propriedades de cambissolos derivados de arenito submetidos a diferentes condições de manejo**. Dissertação (Curso de Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 1998. 151 f.
- ALVES, S. G. S.; ATAÍDE, C. D. G.; SILVA, J. X. Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. **Revista – Revista de Divulgação Científica Sena Aires**, v. 7, n. 1, p.12-17, 2018.
- AMARAL, A. M. C. *et al.* Compartimentação fisiográfica pela análise integrada: estudo de caso no município de casa branca (SP). **Geologia USP Série Científica**, v. 15, n. 1, p.15-28, 2015. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i1p15-28>
- ANA. Agência Nacional de Águas; CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Conservador das Águas: Extrema/MG**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua/pasta-projetos/extrema>. Acesso em: 30 mar. 2020a.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Enquadramento: bases conceituais**. Disponível em: <<http://pnga.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>>. Acesso em: 06 maio 2020b.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Ectinionomia dos Ecossistemas”. **Texto para Discussão**, IE/UNICAMP, Campinas, n. 159, 2009.
- ANDRADE, D. C. *et al.* Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 25, p.53-71, 2012.
- ANTONIAZZI, L. B. **Oferta de serviços ambientais na agricultura**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.
- APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: APHA, 2005.
- ARAÚJO, I. S. *et al.* Identificação de serviços ecossistêmicos na praia de Ponta Negra, Natal - RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p.298-313, 2018.
- ARAÚJO JÚNIOR, M. E.; CÍCILIATO, R. X. Os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) como alternativa na construção da sustentabilidade ambiental em países europeus e americanos. **Revista Eletrônica Direito e Política**, v. 7, n. 1, p.551-584, 2012.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacia com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, v. 56, p. 125-134, 1999.
- BAGATINI, M.; BONZANINI, V.; CONCEIÇÃO, E. Análise da qualidade da água em poços artesianos na região de Roca Sales, Vale do Taquari. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, p. 84-91, 2017. <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1417>
- BAIO, F. H. R. *et al.* Correlations and Principal Components Analysis for Defining Management Zones in Cotton. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p.7393-7407, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n2-151>
- BAGGIO, H.; FREITAS, M. O.; ARAÚJO, A. D. Análises dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e temperatura, suas correlações com o uso e ocupação da terra no baixo curso do Rio das Velhas-MG. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 60, p. 105-117, 2016. <https://doi.org/10.14393/RCG176008>
- BAMBI, P. **Variação sazonal do índice da área foliar e sua contribuição na composição da serapilheira e ciclagem de nutrientes na floresta de transição no norte do Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.
- BARBIERI, E. *et al.* Concentrações do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato em áreas de engorda de ostras no município de Cananeia-SP. **O Mundo da Saúde**, v. 38, n. 1, p. 105-115, 2014. <http://dx.doi.org/10.15343/0104-7809.20143801105115>
- BARBOSA, C. J. **Pagamento por Serviços Ambientais para catadores de material reciclável: oportunidades e desafios**. 2015. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- BARRETO, A. C. N. **Valoração econômica de serviços ambientais e sua relevância nas políticas brasileiras de PSA**. 2016. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

- BASSO, L. A.; MOREIRA, L. G. R.; PIZZATO, F. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre - RS. **Geosul**, v. 26, n. 52, p.145-163, 2011.
- BERNARDES, A. C. Pagamento por serviços ambientais: experiências brasileiras relacionadas à água. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., 2010. **Anais...** Florianópolis: ANPPAS, 2010.
- BONNET, B. R. P. **Relações entre qualidade da água e o uso do solo em bacias hidrográficas no cerrado brasileiro**: Aspectos Físicos e Sociais e Proposição de Diretrizes. 2007. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, GO.
- BORTOLOTTI, K. C. S. *et al.* Qualidade microbiológica de águas naturais quanto ao perfil de resistência de bactérias heterotróficas a antimicrobianos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p.717-725, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018169903>
- BOUMANN, R. *et al.* Modelagem dinâmica do uso e cobertura das terras para o controle da erosão na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu e Pardo – São Paulo – Brasil. **Revista Iberoamericana de Economia Ecológica**, v. 14, p.1-12, 2010.
- BRANCO, C. C. Z.; KRUPPEK, R. A.; PERES, C. K. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 431-438, 2008. <http://dx.doi.org/10.4025/actascibiolsci.v30i4.5873>
- BRASIL. Decreto Nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. **Regulamenta dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm)>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção Sanitária em Abastecimento de água**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007.
- BRASIL. **Projeto de Lei nº 792, de 2007**. Dispõe sobre a definição de serviços ambientais e dá outras providências. Brasília, 2007b.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União de 18 de março de 2005**, Brasília, DF, p.58-63.
- BRASIL. Portaria nº2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União de 14 de dezembro de 2011**, Brasília, DF, p.39-46.
- BRASIL. Anexo XX: do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União de 3 de outubro de 2017**. Brasília, DF.
- BRIGUENTI, E. C. **O uso de geotecnologias na avaliação da qualidade ambiental da Bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2005.
- BURKHARD, B. *et al.* Ecosystem service potential, flows and demands - concepts for spatial localisation, indication and quantification. **Landscape Online**, v. 34, p.1-32, 2014. <http://dx.doi.org/10.3097/lo.201434>
- CAETANO, P. P.; MELO, M. G. S.; BRAGA, C. F. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA): análise de conceitos e marco regulatório. **Revista Principia**, n. 31, p.115-127, 2016.
- CAMPANILI, M.; SCHÄFFER, W. B. **Mata Atlântica**: manual de adequação ambiental. Brasília: MMA/SBF, 2010. 96 p.
- CAMELO, A. P. S. **Quantificação e valoração do serviço ambiental hidrológico resultante da recomposição de passivos ambientais na bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília. 2011. 78p.
- CAMPOS, C. C. **Capital natural, serviços ecossistêmicos e inovação**: perspectivas e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: FGV Projetos, 2018. 184 p.
- CANTERI, M. G. SASM-AGRI: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p.18-24, 2001.
- CARMO, R. L.; HOGAN, D. J. Questões ambientais e riscos na Região Metropolitana de Campinas. In: CUNHA, J. M. P. (Org.). **Novas Metrôpoles Paulistas**: População, vulnerabilidade e segregação. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2006. p.581-604.
- CARNEIRO, M. A. C. *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.147-157, 2009.

- CARRILHO, C. D.; SINISGALLI, P. A. A. Por que valorar a natureza? Uma discussão à luz das correntes da economia ambiental e ecológica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 452-486, 2019. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e22019452-486>
- CARVALHO, A. R. *et al.* Comparação entre os Índices de Qualidade da Água (IQA) dos estuários dos rios Itamambuca e Juqueriquerê – litoral norte de São Paulo – sob mesma sazonalidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2013, Salvador. **Anais...**. Salvador: IBEAS, 2013.
- CARVALHO, P. S. M. *et al.* Variabilidade espacial da fertilidade de um solo cultivado com cacaueteiro. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 2, p.178-189, 2018. <https://doi.org/10.13083/revenq.v26i2.836>
- CASTRO, B. S.; YOUNG, C. E. F.; PEREIRA, V. S. Iniciativas estaduais de Pagamentos por Serviços Ambientais: análise legal e seus resultados. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 28, n. 2, p.44-71, 2018.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Climatologia Campinas**. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/graficos>>. Acesso em: 30 abr. 2019.
- CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Organizadores: Carlos Jesus Brandão *et al.* São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das águas Interiores do Estado de São Paulo**. 2016. Apêndice E. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. São Paulo: CETESB, 2016.
- CHIODI, R. E.; MARQUES, P. E. M. Políticas públicas de pagamento por serviços ambientais para a conservação dos recursos hídricos: origens, atores, interesses e resultados da ação institucional. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, p.81-104, 2018.
- CIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. **CIAGRO online**. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em: 20 out. 2020.
- CIOTTA, M. N. *et al.* Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1161-1164. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000600026>
- CLINTON, N. *et al.* A global geospatial ecosystem services estimate of urban agriculture. **Earth's Future**, v. 6, n. 1, p. 40-60, 2018. <http://dx.doi.org/10.1002/2017ef000536>
- COALIZÃO BRASIL. **Nota técnica sobre o Projeto de Lei nº 5028/2019 - Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais**. 2020. Disponível em: <<http://www.coalizaobr.com.br/home/index.php/posicionamentos/item/1018-nota-tecnica-sobre-o-projeto-de-lei-n-5028-2019-politica-nacional-de-pagamentos-por-servicos-ambientais>>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- CONSTANTINO, M. A. *et al.* Valoração atribuída aos serviços ambientais de acordo com os diferentes métodos: Uma revisão de literatura no período de 2005 a 2015. **Desenvolvimento em questão**, v. 16, n. 44, p.168-191, 2018.
- COSTANZA, R. *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.
- CTA. Centro de Tecnologia Acadêmica. **Medidor de condutividade elétrica para fins de monitoramento ambiental**: estado da arte. Elaborado pelo Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado\\_da\\_Arte](http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado_da_Arte)>. Acesso em: 30 abr. 2020.
- CUNHA, D. G. F. *et al.* Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005-2009). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 159-168, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000200008>
- CUNHA, L. H. Da “tragédia dos comuns” à ecologia política. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 23, n. 12, p. 10-26, 2005. <http://dx.doi.org/10.37370/raizes.2004.v23.229>
- CUNHA, A. C.; OLIVEIRA, B. S. S. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Ambiente e Água**, v. 9, n. 2, p.261-275, 2014. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>
- DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystem**. Washington, DC: Island Press, 1997.
- DAMASCENO, M. C. S. *et al.* Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Ambiente e Agua**, v. 10, n. 3, p. 598-613, 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>

- DEMANBORO, A. C.; LAURENTIS, G. L.; BETTINE, S. C. Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p.27-37, 2013.
- DERANI, C.; JODAS, N. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e a racionalidade ambiental: aproximações. **Scientia Iuris**, v. 19, n. 1, p.9-27, 2015. <http://dx.doi.org/10.5433/2178-8189.2015v19n1p9>
- DERISSEN, S.; LATACZ-LOHMANN, U. What are PES? A review of definitions and an extension. **Ecosystem Services**, v. 6, p. 12–15, 2013.
- DETONI, S. F.; IMBERNON, R. A. L.; ROCHA, Y. T. Caracterização geomorfológica da região da Serra do Boturuna, Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8., 2010, Recife. **Anais ...**. Recife: 2010.
- DIAS, D. M. Estrutura arbórea e sazonalidade da cobertura do dossel em vegetação florestada e aberta no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 719-729, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509827757>
- DINIZ, C. N. Cenários de geoindicadores por meio de avaliação ambiental em SIG e base de dados geoambientais. In: **Indicadores de sostenibilidad para la industria extractiva mineral**. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, 2002. p.63-78.
- DOHERTY, K. (2015). **Urban agriculture and ecosystem services: a typology and toolkit for planners**. Dissertação de mestrado, University of Massachusetts Amherst, Massachusetts, 2015.
- DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, n. 9, p.1858- 1868, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>
- DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; DE PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p.115-125. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100013>
- DOURADO, A. A. *et al.* Qualidade físico-química e microbiológica da água em reservatórios subterrâneos na cidade de Vitória da Conquista-BA para fins de potabilidade. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 1-8, 2018. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29156>
- DUARTE, T. E. P. N.; LEITE, L. B. Cidades médias no cerrado brasileiro: desafios para a conservação da biodiversidade. **Terra Plural**, v. 14, p.1-7, 2020. <http://dx.doi.org/10.5212/terraplural.v.14.2013420.006>
- ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Implementando Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão crítica. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, p.21-42, 2013.
- ELMQVIST, T. *et al.* Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 14, p. 101-108, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Latossolos Vermelhos**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html)>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10**. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 83p
- EMÍDIO, V. J. G. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade do Algarve, Faro, Portugal, 2012.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.
- FAVARETTO, N.; COGO, N. P.; BERTOL, O. J. **Uso, manejo e conservação do solo e da água: aspectos agrícolas e ambientais**. In Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos. LIMA, M. R. *et al.* Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, p. 293 – 341. 2006.
- FEDELE, G. *et al.* Reducing risks by transforming landscapes: cross-scale effects of land-use changes on ecosystem services. **Plos One**, v. 13, n. 4, e0195895, 2018. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0195895>
- FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia, conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LAB-HID,1997, 389p.
- FERNANDES, A. J.; AZEVEDO SOBRINHO, J. M.; TEIXEIRA, A. L. **Mapa Geológico do Município de Campinas (Anexo 2.1) e Mapa de Pontos Geológicos e Geomorfológicos do Município de Campinas (Anexo 2.2)**. In: Instituto Geológico (SP). Subsídios do meio físico geológico ao



- planejamento do Município de Campinas. São Paulo. 03 volumes. (Relatório Técnico do Instituto Geológico), 1993.
- FIDALGO, E. C. C. *et al.* **Manual para Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos: Seleção de áreas e monitoramento.** Brasília: Embrapa, 2017.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson. **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/view/3852/3156>> . Acesso em: 03 dez. 2020.
- FIGURE, F. A.; BARDINI, V. S. S.; NOVAES, R. C. Monitoramento da qualidade de águas em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos: estudo de caso no município de São José dos Campos/SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p.1141-1150, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017165072>
- FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 643-653, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- FOGAROLI, R. I. **Erosão pluvial como geoindicador no monitoramento ambiental de bacias hidrográficas – estudo em Jaú (SP).** 2013. 72 f. Monografia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- FRAGA, R. S. *et al.* Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçú-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n.1-4, p. 81-94, 2012.
- FREITAS, L. *et al.* Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 18, p. 523-534, 2014
- FREITAS, L. *et al.* Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 08-25, 2017.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília: FUNASA, 2014. 112 p.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água.** 4. ed. Brasília: FUNASA, 2013. 150 p.
- FGB - Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza *et al.* **Guia para a formulação de políticas públicas estaduais e municipais de Pagamento por Serviços Ambientais.** Brasil: TNC/ FGB, 2017.
- FONSECA, H. S.; SALVADOR, N. N. B. Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Bonito em Descalvado - SP. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n. 2, p.179-185, 2005.
- FRANCHINI, J. C. *et al.* Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para aumentar a produtividade e prover serviços ambientais no noroeste do Paraná. In: PARRON, L. M. *et al.* **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica.** Brasília: Embrapa, p. 266-270, 2015. Disponível em: <<http://www.faesb.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/09/Livro-Servicos-Ambientais-Embrapa1.pdf>>. Acesso: 11 nov. 2019.
- GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. Fotografias hemisféricas em estudos microclimáticos: Referencial teórico-conceitual e aplicações. **Ciência e Natura**, v. 36, p.215-221, 2014.
- GARCIA, J. M.; LONGO, R. M. Análise de impactos ambientais em Área de Preservação Permanente (APP) como instrumento de gestão em rios urbanos. **Cerrados (UNIMONTES)**, v. 18, n. 1, p.107-128, 2020.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIMENES, K. S.; OLIVEIRA, F. T. Valoración de uso ecoturístico del Parque Estadual Fritz Plaumann, Concórdia – Santa Catarina, Brasil. **El Periplo Sustentable**, n. 37, p.29-61, 2019. <https://doi.org/10.36677/elperiplo.v0i37.9140>
- GODECKE, M. V.; HUPFFER, H. M.; CHAVES, I. R. O futuro dos Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil a partir do novo Código Florestal. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 31, p.31-42, 2014.
- GOMES, G. C. *et al.* Environmental and Ecosystem Services, Tree Diversity and Knowledge of Family Farmers. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, e20160314, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.031416>
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; DE GROOT, R. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. **Ecosistemas**, v. 16, n. 3, p.4-14, 2007.
- GREGORI, M. S. **Limites e possibilidades do sistema de Pagamento por Serviços Ambientais como instrumento de promoção da sustentabilidade socioambiental no Brasil.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017.
- GRIZZETTI, B. *et al.* Assessing water ecosystem services for water resource management.

- Environmental **Science & Policy**, v. 61, p. 194-203, 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (org.). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, 2011.
- HEMIVIEW USER MANUAL, Delta-t Devices Ltd, 2015.
- HERCOWITZ, M.; MATTOS, L.; SOUZA, R. P. Estudos de casos sobre serviços ambientais. In: MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. (Ed.). **Economia do Meio Ambiente e Serviços Ambientais: Estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 7. p. 136-239.
- HERMES, L. C.; SILVA, A. S. **Avaliação da Qualidade da águas: manual prático**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. 55p.
- HOSSOMI, A. M. T. **Avaliação temporal (2006 a 2016) da qualidade de água do Ribeirão Anhumas – Campinas/SP**. 2017. 97 p. Monografia (especialização) – Curso de Gerenciamento Ambiental, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ESALQ/USP, Piracicaba, 2017.
- IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Avaliação Ambiental Integrada - Bacia do Rio Piquiri: Diagnóstico de Recursos Hídricos e Ecossistemas Aquáticos II**. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/EIA\\_RIMA/baciapiquiri/g\\_V\\_Diagnostico\\_Rec\\_Hidricos\\_e\\_Ecossistemas\\_Aquaticos\\_II.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/EIA_RIMA/baciapiquiri/g_V_Diagnostico_Rec_Hidricos_e_Ecossistemas_Aquaticos_II.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Campinas**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campinas/panorama>>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Extrema**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/extrema/panorama>>. Acesso em: 01 abr. 2020.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2011. Disponível em: < <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 28 abr. 2020.
- INPE. Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais. **AMBDATA. Mapa de Vegetação**. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_sipam.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_sipam.php)>. Acesso em 23 abr. 2020.
- JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p.353-360, 2015.
- JENERETTE, G. D. *et al.* Ecosystem services and urban heat riskscape moderation: water, green spaces, and social inequality in Phoenix, USA. **Ecological Applications**, v. 21, n. 7, p. 2637-2651, 2011. <http://dx.doi.org/10.1890/10-1493.1>
- JIANG, W. Ecosystem services research in China: a critical review. **Ecosystem Services**, v. 26, p. 10-16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.012>
- JONCKHEERE, I. *et al.* Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. theories, sensors and hemispherical photography. **Agriculture Forest Meteorology**, v. 121, p.19–35, 2004.
- KARABULUT, A. *et al.* Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. **Ecosystem Services**, v. 17, p. 278-292, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.08.002>
- KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente!. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p.1713-1721, 2013.
- LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2012000100005>
- LAMIM-GUEDES, V. *et al.* Pagamento por serviços ambientais como instrumento para políticas públicas de conservação ambiental. **INTERFACEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 12, n. 1, p.2-17, 2017.
- LAMPARELLI, C. C. **Dinâmica da serapilheira em manguezais de Bertioga, região sudeste do Brasil**. 1995. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- LEANDRO, D. S. **Macrófitas aquáticas do rio Paraíba do Sul: Correlação entre diversidade vegetal e algumas características físicas e químicas da água e do sedimento**. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) - Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.
- LEITE, D. A. N. O. *et al.* Avaliação dos parâmetros do índice de Qualidade de Água segundo o modelo estatístico ARIMA. **HOLOS Environment**, v. 13, n. 1, p. 24-39, 2013. <https://doi.org/10.14295/holos.v13i1.4641>
- LIMA, A. P. M. *et al.* Metodologias de monitoramento de Programas de Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., Brasília. **Anais...** Brasília, 2015.

- LIMA, G. **Aplicação de simulação computacional na análise dos conflitos entre os usos múltiplos da água na bacia do Rio Atibaia no Estado de São Paulo**. 2002. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- LIMA, J. E. F. W.; RAMOS, A. E. (Ed.). **A experiência do projeto Produtor de Água na bacia hidrográfica do Ribeirão Piriapau**. Brasília: ADASA, ANA, EMATER, WWF Brasil, 2018.
- LIU, C. W.; LIN, K. H.; KUO, Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease área in Twain. **Science in the total environment**, v. 313, p. 77-89, 2003.
- LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Condições naturais de pH em águas superficiais e sua interferência sobre o Índice de Qualidade das Águas (IQA): estudo de caso na bacia do Ribeirão das Carrancas-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8., 2010, Recife. **Anais ...**. Recife: 2010.
- MALHEIROS, C. H. *et al.* Qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola (Campo Verde, MT, Brasil). **Ambiente e Água**, v. 7, n. 2, p. 245-262, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-aqua.904>
- MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p.171-181, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.082014>
- MARQUES, J. F. **Valoração ambiental**. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia23/AG01/arvore/AG01\\_29\\_299200692526.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia23/AG01/arvore/AG01_29_299200692526.html)>. Acesso em: 07 maio 2020.
- MARTÍNEZ, R. Q. **Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible em países de América Latina y el Caribe**. Santiago, Chile: Cepal, 2009.130 p.
- MARTÍNEZ-HARMS, M. J.; BALVANERA, P. Methods for mapping ecosystem service supply: a review. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 8, n. 1-2, p.17-25, 2012. <http://dx.doi.org/10.1080/21513732.2012.663792>
- MATTOS, A. D. M. *et al.* Valoração ambiental de Áreas de Preservação Permanente da microbacia do ribeirão São Bartolomeu no município de Viçosa, MG. **Árvore**, v. 31, n. 2, p.347-353, 2007.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005.
- MENDES, G. S.; FREIRIA, R. C. Pagamento por Serviços Ambientais: o Estado da Arte da Política Brasileira. **Âmbito Jurídico**, v. 20, n. 159, 2017.
- MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. **Qualidade da água para consumo humano**. Porto: LIDEL, 2004.
- MEYER, S. T.; FRANCESCHINELLI, E. V. Influência de variáveis limnológicas sobre a comunidade das macrófitas aquáticas em rios e lagoas da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 4, p.743-758, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/s2175-78602011000400004>
- MITTERMEIER, R. A. *et al.* A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, p.601-611, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00709.x>
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Download de dados geográficos**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 07 dez. 2019.
- MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000400016>
- MONTEIRO-DA-COSTA, P. S.; FLAUZINO, F. S. Qualidade da água na porção superior da bacia do córrego Galheiros em Xapetubas, municípios de Monte Alegre de Minas e Uberlândia, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...**. Viçosa: UFV, 2009.
- MONTEIRO, R. A. A. A. **Pagamentos por Serviços Ambientais: análise do Produtor de Água no Piriapau**. 2013. 109 f. TCC (Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MORAES, J. L. A. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como Instrumento de Política de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais: O Projeto Protetor das Águas de Vera Cruz, RS. **Sustentabilidade em Debate**, v. 3, n. 1, p.43-56, jun. 2012.
- MORAES, A. R.; MOREIRA, R. O Pagamento por Serviços Ambientais como instrumento de gestão ambiental no estado de Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 6., 2015, Porto Alegre. **Anais...**. Porto Alegre: IBEAS, 2015.
- MORAIS, J. L. M.; FADUL, É.; CERQUEIRA, L. S. Limites e desafios na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias hidrográficas: um estudo nos estados do nordeste do brasil. **READ**, v. 24, n. 1, p.238-264, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.187.67528>
- MOTA, J. A. **O valor da natureza: economia e política dos recursos naturais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2006.

- MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.
- MURADIAN, R. *et al.* Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1202-1208, 2010.
- NOVAES, R. M. L. Monitoramento em programas e políticas de pagamentos por serviços ambientais em atividade no Brasil. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 22, n. 2, p.408-431, 2014.
- NOZAKI, C. T. *et al.* Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. **Atas de Saúde Ambiental**, v. 2, n. 1, p.29-44, 2014.
- NUNES, L. M. Pesquisa de coliformes totais e termotolerantes no rio Salgadinho no município de Juazeiro do Norte, CE. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, v. 7, p. e2243, 2019. <http://dx.doi.org/10.25248/reac.e2243.2019>
- O'CONNOR, M. Natural capital. **Policy Research Brief Series**, n. 3, Cambridge Research for the Environment, 1999, 22 p.
- OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1059-1066, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000500010>
- OLIVEIRA, E. Economia verde, economia ecológica e economia ambiental: uma revisão. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 13, n. 6, p.88-110, 2017. <http://dx.doi.org/10.22292/mas.v13i6.751>
- OLIVEIRA, F. L. **A percepção climática no município de Campinas-SP**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- OLIVEIRA, T. H. *et al.* Avaliação espaço-temporal do Índice de área foliar e impacto das atividades antrópicas na Reserva Ecológica Estadual Mata São João da Várzea, Recife – PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: INPE, 2011. p. 2105 - 2112.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. (Org.). **Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil**. São Paulo: SMA/CBRN, 2013.
- PAN, X. *et al.* Payment for ecosystem services in China: policy, practice and progress. **Journal of Cleaner Production**, v. 158, p.200-208, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.127>
- PARANHOS, R. *et al.* Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson: o retorno. **Leviathan (São Paulo)**, n. 8, p. 66-95, 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2237-4485.lev.2014.132346>
- PARRON, L. M. *et al.* **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015.
- PEDRALINO, F. O. *et al.* Indicadores ambientais de solos do Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá-Bela Vista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2013, Salvador. **Anais...** . Salvador: IBEAS, 2013.
- PEDROSO NETO, J. C. P.; COSTA, J. O. **Análise do solo**: determinações, cálculos e interpretação. Minas Gerais: EPAMIG, 2012.
- PEREIRA, P. H. **Conservador das Águas**: 12 anos. Extrema: Prefeitura de Extrema, Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2017.
- PEREIRA, P. H. *et al.* **Projeto Conservador das Águas. Extrema**: Prefeitura Municipal de Extrema, 2016. Disponível em: <<https://www.extrema.mg.gov.br/conservadordasaguas/wp-content/uploads/2019/07/Projeto-Conservador-das-aguas-versao-fevereiro-de-2016.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2020.
- PESCHE, D. *et al.* Ecosystem Services and Payments for Environmental Services: two sides of the same coin?. **Studies in Ecological Economics**, p. 67-86, 2012. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5176-7\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5176-7_4)
- PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. Diferenças florísticas e estruturais entre fitofisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p.181-193, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622012000100019>
- PINTO, A. L.; OLIVEIRA, G. H.; PEREIRA, G. A. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2010.
- PIRATOBA, A. R. A. *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente e Água**, v. 12, n. 3, p.435-456, 2017. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>

- PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 139-148, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522007000200005>
- PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. Lei Municipal nº 15.046, de 23 de julho de 2015. Institui o programa de Pagamento por Serviços Ambientais, autoriza o poder executivo municipal a prestar apoio aos proprietários rurais e urbanos determinados pelo programa e dá outras providências. **Diário Oficial de Campinas de 10 de dezembro de 2018**, Campinas, SP, p. 39-41.
- PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Novo Plano Diretor Estratégico**. 2018. Disponível em: <[http://suplementos.campinas.sp.gov.br/admin/download/suplemento\\_2018-01-09\\_cod473\\_1.pdf](http://suplementos.campinas.sp.gov.br/admin/download/suplemento_2018-01-09_cod473_1.pdf)>. Acesso em: 29 abr. 2020.
- PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Plano Diretor**. 2006. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/publicacoes/planodiretor2006/pdfinal/cap2.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Plano Municipal de Recursos Hídricos: programas, ações e áreas estratégicas**. 2016. Disponível em: <<http://campinas.sp.gov.br/arquivos/meio-ambiente/vol-3-programas.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018.
- PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Diagnóstico, caracterização e análise crítica**. 2013. Disponível em: <<http://campinas.sp.gov.br/arquivos/meio-ambiente/plano-saneamento/p1-diagnostico.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018.
- PMC. PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Programa de Pagamento por Serviços Ambientais de Campinas - PSA**. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br/governo/meio-ambiente/pagto-serv-ambientais.php>>. Acesso em: 14 maio 2019.
- POCIDONIO, E. A. L.; TURETTA, A. P. D. **Programas de pagamento por serviços ambientais no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 25 p.
- POERSCH, A. C. C. *et al.* A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e possíveis fatores de influência nos processos em águas superficiais do Rio São Francisco Verdadeiro – Paraná. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 5, p. 45-51, 2019.
- POLASKY, S. *et al.* The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to Landowners: a case study in the state of Minnesota. **Environmental and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p.219-242, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s10640-010-9407-0>
- PONZONI, F. J. *et al.* **Qual é a área de cobertura da Mata Atlântica?** 2019. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/artigos/qual-e-area-de-cobertura-da-mata-atlantica/>>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- PORTER, J. *et al.* The Value of Producing Food, Energy, and Ecosystem Services within an Agro-Ecosystem. **Ambio**, v. 38, n. 4, p. 186-193, 2009. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-38.4.186>
- PORTO, M. F. A.; LOBATO, F. Mechanisms of Water Management: command & control and social mechanisms. **Revista de Gestion del agua de America Latina - Rega**, v. 1, n. 2, p.113-129, 2004.
- PORTUGAL, A. F. *et al.* Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 249-258, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100024>
- PORTUGAL, A. F. *et al.* Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v. 57, p.545-553, 2010.
- QUINTAS-SORIANO, C. *et al.* Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands. **Land Use Policy**, v. 54, p.534-548, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.011>
- RAIJ, B. V. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997, 285p. (Boletim Técnico 100).
- RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 13, 2009, Viçosa.
- REIS, J. V.; SILVA, L. J. A. Análise do panorama da legislação de Pagamento por Serviços Ambientais no estado de Pernambuco. **Desenvolvimento em Questão**, v. 17, n. 46, p.236-248, 2019.
- REVELLI, R. Urban forests, ecosystem services and modeling. **Forestry Research and Engineering: International Journal**, v. 1, n. 2, p. 62-63, 2017. <http://dx.doi.org/10.15406/freij.2017.01.00009>

- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- ROCHA, G. M. *et al.* Atributos físicos do solo de florestas urbanas como indicadores de degradação. **Ciência Florestal**, v. 30, n.3, p. 767-778, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509834637>
- ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 131-142, 2014.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. 26p.
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p.17-29, 1992. <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.
- RUDORFF, F. M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da ilha de Santa Catarina. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, n. 1, p.9-20, 2010.
- SABARA, M.G. **Comparação ecológica entre rios de menor ordem, drenando bacias cobertas por plantios agrícolas, pastagens e plantios de Eucalyptus grandis, na região do médio Rio Doce (MG)**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 259 p. 1999.
- SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Norma Técnica Interna. **NTS 013: Sólidos**. São Paulo: SABESP, 1999. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts013.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2019.
- SALVADOR, J. O. *et al.* Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 2, p. 325-331, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542003000200011>
- SANTOS, A. A. *et al.* Avaliação sazonal de índices de estado trófico para fósforo total para mananciais de abastecimento público do Município de Goiânia, Estado do Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 14, p. 883-895, 2019. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.061418>
- SANTOS, D. G.; CARVALHO, F. H.; CHAVES, H. **Programa Produtor de Águas**. Brasília: Superintendência de Usos Múltiplos, Agência Nacional de Águas, 2008.
- SANTOS, E. P. P. *et al.* Coliformes Totais e Termotolerantes em água de nascentes utilizadas para o consumo humano na zona rural do município de Varre-Sai, RJ. **Scientia Plena**, v. 11, n. 5, p. e. 052401, 2015.
- SANTOS, G. A. *et al.* **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed, Porto Alegre: Metrópole, 636p. 2008.
- SANTOS, L. J. C. *et al.* Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 7, n. 2, p.3-12, 2006.
- SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. P. C. **Árvore do conhecimento: Solos tropicais**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0l1q1mqzx3jrec.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0l1q1mqzx3jrec.html)>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Ficha Técnica: Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UCB)**. São Paulo: Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2015. Disponível em: <[http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Ficha\\_Tecnica\\_UCB\\_v2.pdf](http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Ficha_Tecnica_UCB_v2.pdf)>. Acesso em 23 abr. 2020.
- SCAPIN, D.; ROSSI, E. M.; ORO, D. Qualidade microbiológica da água utilizada para consumo humano na região do extremo oeste de Santa Catarina, Brasil. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 3, p. 593-596, 2012.
- SCHULER, A. E. *et al.* Serviços ambientais hídricos. In: FIDALGO, E. C. C. *et al.* **Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento**. Brasília: Embrapa, 2017. Cap. 1. p.15-26.
- SENA, M. G. T. *et al.* Variabilidade da condutividade elétrica e do pH nas águas superficiais da região semiárida. **Anais do III Inovagri International Meeting**, 2015, p. 3664-3672, 2015. <http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a392>
- SHIKI, S.; SHIKI, S. F. N. Pagamentos por Serviços Ambientais: os desafios de uma política nacional para o Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., 2010, Florianópolis. **Anais...**. Florianópolis: Anppas, 2010. p. 1-20. Disponível em:

- <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT2-769-844-20100903195339.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- SILVA, A. E. P *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672008000400017>
- SILVA, A. L. **Análise da Qualidade Ambiental de Remanescentes Florestais por meio de métricas de paisagem**: um estudo no município de Campinas/SP. 2020. 174f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas-SP.
- SILVA, A. L.; LONGO, R. M. Geoindicadores como instrumentos de diagnóstico preliminar de fragmentos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 15., 2018, Poços de Caldas. **Anais...** . Poços de Caldas, 2018.
- SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p.689-694, 2006.
- SILVA, M. S. L.; OLIVEIRA NETO, M. B. **Árvore do conhecimento: território Mata Sul Pernambucana**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000qt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000qt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html)>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- SILVA, S. C.; MARIANI, C. F.; POMPÊO, M. Análise crítica da resolução Conama nº 357 à luz da diretiva quadro da água da União Europeia: estudo de caso (represa do Guarapiranga - São Paulo, Brasil). In: POMPÊO, M. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. Cap. 24. p. 367-375.
- SILVA, D. D. *et al.* Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.409-419, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200014>
- SIMONELI, G. F., JUNGLE, M. K.; DÖLL, M. M. Avaliação da qualidade da água por meio do Índice de Qualidade da Água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: ABRH, 2017.
- SMA. Secretaria do Estado de São Paulo (2013). **Uso e Cobertura da Terra da UGRHI 05 (PCJ) – 2013**. São Paulo: SMA/CPLA/DIA/CIGI, 2013. Escala 1:25000. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: 24 set. 2019.
- SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.12, n.4, p.515-523, 1996.
- SOARES, R. D. B.; CRUZ, R. W. L.; SILVA, C. E. A influência da precipitação na variabilidade da qualidade da água do rio Parnaíba. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 16643-16672, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-204>
- SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.
- SONE, J. S. *et al.* Water provisioning improvement through payment for ecosystem services. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 1197-1206, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.319>
- SOUZA, F. A. R. **Modelagem espacial da qualidade da água usando geotecnologias na bacia hidrográfica de Santana-RJ**. 2017. Dissertação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 19, n. 3, p.263-274, 2014.
- SPÍNOLA, C. M.; BECHARA, F. C.; BARRETTO, K. D. Uso de Sensoriamento Remoto na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado Lato Sensu. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 1, p.378-380, 2007.
- SVDS. Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Caderno de subsídios: Política Municipal de Meio Ambiente**. Campinas: SVDS, 2016.
- SVDS. Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Editais SVDS nº01/2018**. Diário Oficial de Campinas, 10 de dezembro de 2018.
- SVDS. Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **GEOAMBIENTAL: Informações ambientais especializadas**. Disponível em: <[https://geoambiental.campinas.sp.gov.br/pmapper/map\\_svds.phtml?config=svds](https://geoambiental.campinas.sp.gov.br/pmapper/map_svds.phtml?config=svds)>. Acesso em: 14 maio 2020.

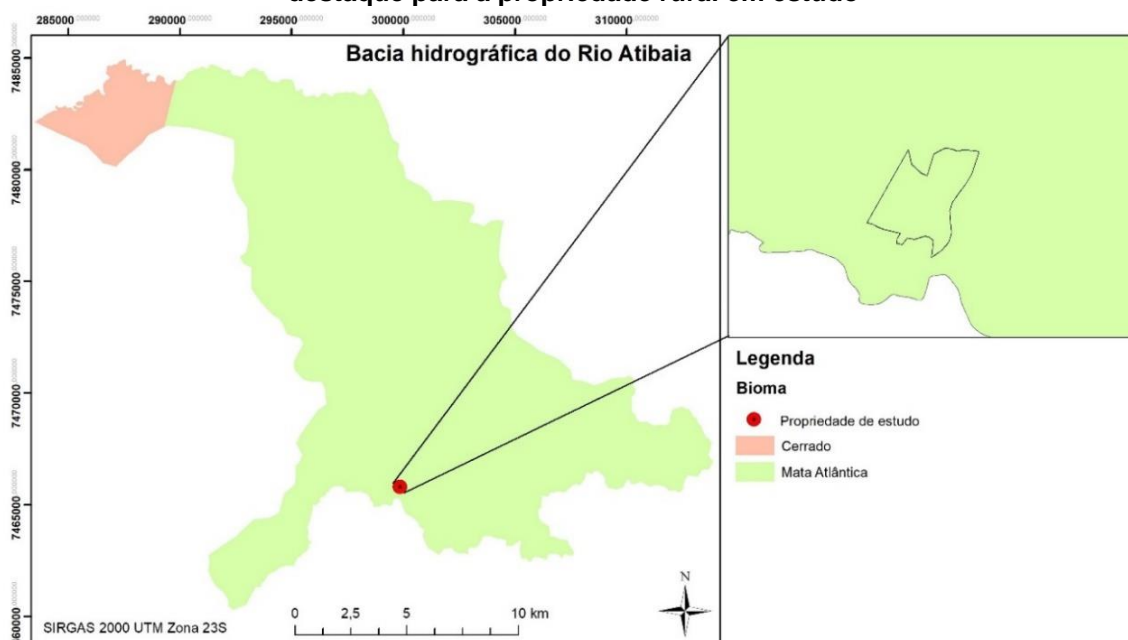
- SWINTON, S. M. *et al.* Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 245-252, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020>
- TAFFARELLO, D. *et al.* Hydrological services in the Atlantic Forest, Brazil: An ecosystem-based adaptation using ecohydrological monitoring. **Climate Services**, v. 8, p.1-16, 2017.
- TAVARES, A. B.; CRUZ, S. P.; LOLLO, J. A. Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes. **Estudos Geográficos**, v. 5, n. 2, p.42-57, 2007.
- TÁVORA, G. S. G.; SILVA, A. S.; TURETTA, A. P. D. Análise da política por pagamento por serviços ambientais como um instrumento para sustentabilidade socioambiental. **Geosul**, v. 33, n. 66, p.29-47, 2018. <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n66p29>.
- TITO, M. R.; ORTIZ, R. A. **Pagamento por Serviços Ambientais: desafios para estimular a demanda empresarial**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2013. 52 p.
- TREINTA, F. T. *et al.* Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. **Production**, v. 24, n. 3, p. 508-520, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132013005000078>
- TRES, D. R. **Guia sobre Pagamentos por Serviços Ambientais para proteção de bacias hidrográficas**. Joanópolis: Associação Terceira Via, 2011.
- TURPIE, J.K.; MARAIS, C.; BLIGNAUT, J. N. The working for water programme: evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in south africa. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 788-798, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.024>
- VALLADARES NETO, J. *et al.* Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontológica do Brasil Central**, v. 26, n. 76, p.1-6, 2017.
- VALENTE, J. P. S; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclética Química**, v. 22, p.49-66, 1997. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-46701997000100005>
- VANZELA, L. S. *et al.* Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>
- VEIGA, B. V. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos – investigação sobre o reservatório de alagados no estado do Paraná**. Tese (Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 2010.
- VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 140 p. Monografia (especialização) – Curso Estatística e Modelagem Quantitativa, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- VILANI, M. T. *et al.* Estimativa do Índice de Área Foliar pelo método de Lambert-Beer e produto do sensor MODIS em uma floresta de transição Amazônia-Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: S. B. AGRO., 2009. Disponível em: <[http://www.sbagro.org.br/anais\\_congresso\\_2009/cba2009/044.pdf](http://www.sbagro.org.br/anais_congresso_2009/cba2009/044.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- VILLA, M. E. C. D; SAMPAIO, T. V. M. Variabilidade espacial e temporal dos parâmetros físico-químico em ambiente lêntico. **Boletim de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 69-80, 2016. <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.25665>
- VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p. (EMPAER-MT, Série Documentos, 35).
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 452p.
- WUNDER, S. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. **Conservation Biology**, v. 21, n. 1, p. 48–58, 2007.
- ZANELLA, M. A.; SCHLEYER, C.; SPEELMAN, S. Why do farmers join Payments for Ecosystem Services (PES) schemes? An Assessment of PES water scheme participation in Brazil. **Ecological Economics**, v. 105, p.166-176, 2014.
- ZERWES, C. M. *et al.* Análise da qualidade da água de poços artesianos do município de Imigrante, Vale do Taquari/RS. **Ciência e Natura**, v. 37, n.4, p. 651-663, 2015. <http://dx.doi.org/105902/2179460X17385>



## APÊNDICE A – Bacia do rio Atibaia: geoindicadores

O mapa de bioma da bacia do rio Atibaia apresentado na Figura 1 tem como base o mapa de biomas brasileiros produzido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019). Nota-se uma distribuição predominante de Mata Atlântica, cuja área na bacia é de 24.322,7 ha, o que corresponde a um percentual de 94,3% da área total, abrangendo inclusive a área da propriedade de estudo. Os 5,7% de área restante compreende o bioma Cerrado, presente na porção noroeste da bacia.

**Figura 1 – Distribuição dos principais biomas na bacia do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**



Apesar de ser pouco representado na bacia de estudo, o bioma Cerrado apresenta grande riqueza biológica e compreende fitofisionomias diversas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística o Cerrado pode ser caracterizado por quatro classes de fitofisionomia: savana florestada, savana arborizada, savana parque e savana gramíneo-lenhosa, de maneira que estas classificações se alternam frente ao gradiente de biomassa e tipo de solo associado (PINHEIRO; DURIGAN, 2012).

De forma complementar mas ainda com relação à biomassa vegetal, verifica-se a classificação do Cerrado de forma gradual na forma de campo limpo (fisionomia herbácea, com poucos arbustos e nenhuma árvore), campo sujo (fisionomia herbáceo-arbustiva com arbustos e subarbustos espaçados), campo

cerrado (vegetação arbustivo-arbóreo e árvores esparsadas), cerrado stricto sensu (árvores baixas e retorcidas, arbustos, subarbustos e ervas) e cerradão (formação florestal com elementos adaptados à climas semiáridos a desértico -xeromórficos e composição mista de espécies comuns ao cerrado stricto sensu, matas de galeria e florestas decíduais) (SPÍNOLA; BECHARA; BARRETTO, 2007).

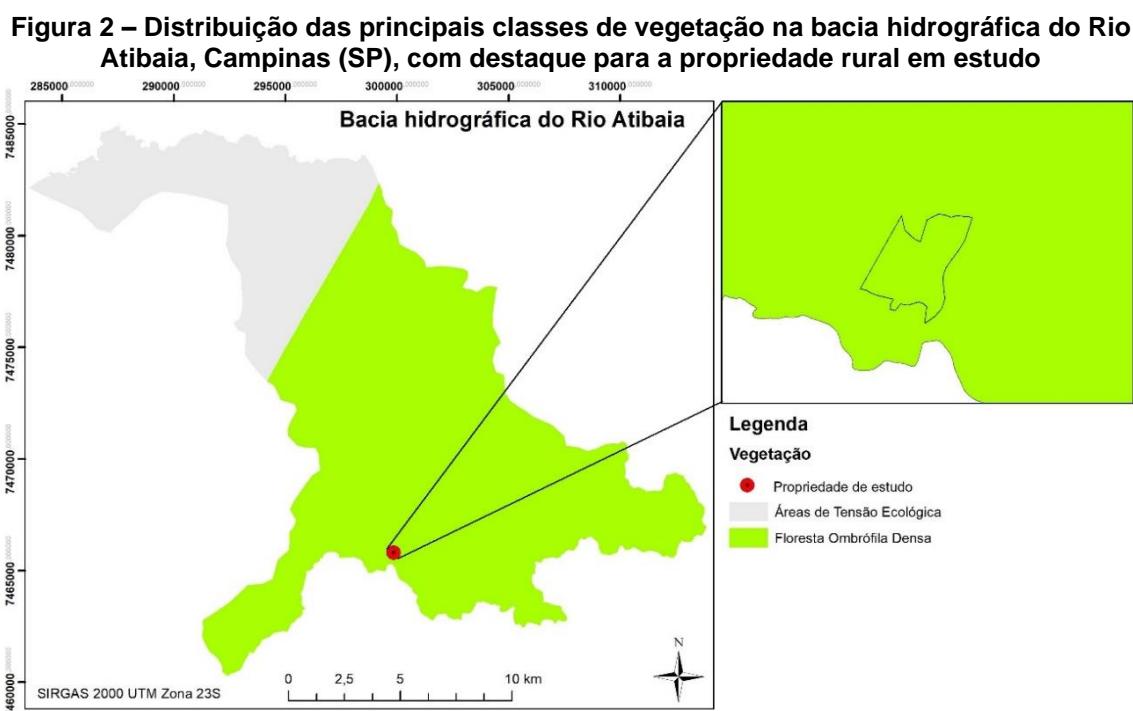
Embora tenha sua importância reconhecida inclusive para o fornecimento de serviços ecossistêmicos, o bioma Cerrado possui constante redução em sua extensão. Estima-se que desde 1970 até o presente mais da metade de sua extensão, o que corresponde a aproximadamente 2 milhões de m<sup>2</sup> tenha sido perdida sobretudo a favor da agricultura (DUARTE; LEITE, 2020). Segundo Mittermeier *et al.* (2005) o Cerrado brasileiro, que ocupa cerca de 200 milhões de ha, dos quais 8 milhões estão no Estado de São Paulo, consiste em um *hotspot* global, cujas áreas de grande riqueza natural e concentração de espécies endêmicas se encontram ameaçadas de extinção frente a contínua degradação.

Esta situação de degradação não é menos problemática para o bioma da Mata Atlântica, que o coloca também como um *hotspot* mundial. Predominante na bacia do Atibaia, o referido bioma é o mais ameaçado do país e com menor área proporcional remanescente. Originalmente o bioma ocupava área próxima a 130 milhões de hectares em 15% do território brasileiro, estendendo-se do Ceará até o Rio Grande do Sul e passando por 17 estados. Segundo dados da Instituição SOS Mata Atlântica (PONZONI *et al.*, 2019), atualmente esse número é de 32 milhões de ha, dos quais 37% representam matas bem preservadas com mais de 100 ha.

Mesmo reduzido e fragmentado, o bioma Mata Atlântica carrega o título de detentor da maior diversidade biológica do mundo, com maior diversidade de árvores por unidade de área (CAMPANILI; SCHÄFFER, 2010) e diversas fitofisionomias, que incluem formações florestais, campos naturais, restingas e manguezais. Também é característica deste bioma a sua capacidade de se fazer presente em diferentes formas de relevo e apresentar diferentes volumes pluviométricos, que contribuem para sua grande biodiversidade (BRASIL, 2008).

Por estes motivos, torna-se primordial a manutenção quando não da implementação de medidas de conservação voltadas para a preservação destes biomas que levem em consideração suas particularidades, reconhecendo a grande importância destes, tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

O mapa de vegetação criado para a bacia do Rio Atibaia provém do mapa de vegetação do Brasil, desenvolvido pelo Projeto RADAMBRASIL na escala de 1:250.000 e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020). A Figura 2 permite a visualização da distribuição espacial das categorias de vegetação sobre a área da bacia e propriedade de estudo.

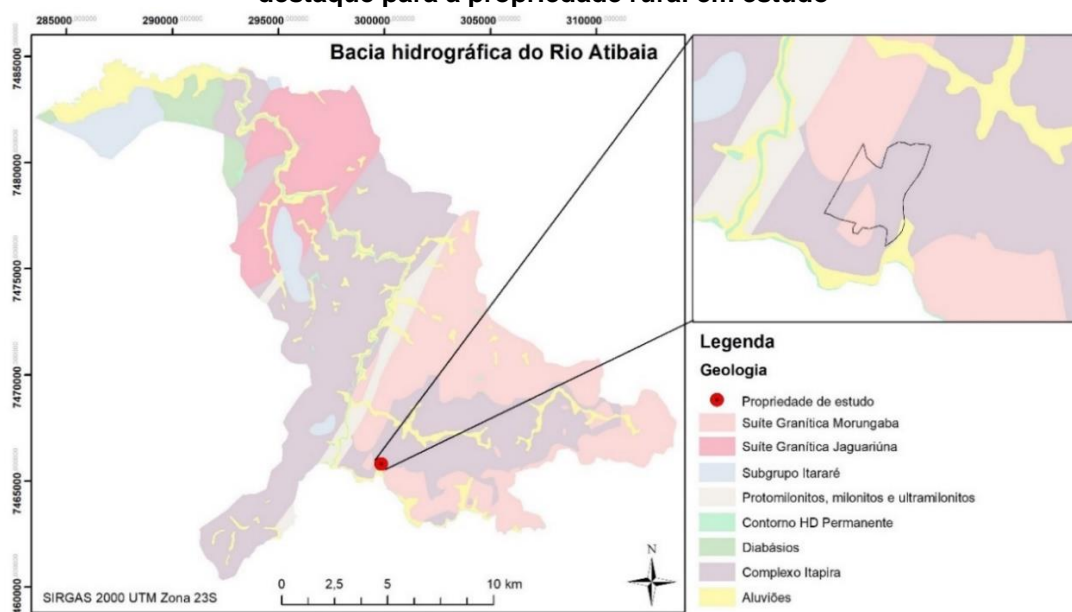


Cabe ressaltar que a área de Floresta Ombrófila Densa, cujo percentual é de 74,7% na bacia representa a porção do território que apresenta as condições propícias para este tipo de formação florestal e não necessariamente a sua expressão sob forma florestal: temperaturas elevadas geralmente entre 22° a 25° típicas do clima tropical quente e úmido e áreas de formação pedológica de latossolo, com baixa fertilidade natural, cuja origem provém de granitos, gnaisses e arenitos com derrames vulcânicos (SILVA; OLIVEIRA NETO, 2020).

Nesse sentido, dos 74,7% de área possível de manifestação de Floresta Ombrófila Densa, o que corresponde a uma área de 19.264 ha, somente 5.783,5 ha é composto por fragmentos florestais. A expansão das atividades agrícolas, que na área de expressão de Floresta Ombrófila Densa na bacia totalizam 8.724,6 ha juntamente à atividade antrópica de urbanização, que representa um total de 3.193 ha pressionam a permanência florestal e a tornam cada vez mais fragmentada.

O mapa de geologia para a bacia do Atibaia foi obtido por recortes do Mapa Geológico de Campinas publicado pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo (SMA/SP) e disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Campinas por meio da Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SVDS, 2020) na escala de 1:50.000 conforme a Figura 3. De maneira complementar, na Tabela 1 são apresentadas as classes de geologia segundo Fernandes, Azevedo Sobrinho e Teixeira (1993) com seus respectivos percentuais de ocorrência.

**Figura 3 – Distribuição geológica na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**



**Tabela 1 - Detalhamento geológico na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP)**

Grupo/ (%) na bacia	ID	Descrição	Ocorrência (%)
Subgrupo Itararé (5,2)	CPiD	Associação faciológica de diamictitos maciços ou com granodecrescência ascendente, lamitos com grânulos estratificados ou com laminação cruzada cavalgante ou planoparalela, ritmitos areno-silto-argilosos ou silto-argilosos.	3,1
	CPiI	Arenitos feldspáticos com estratificação cruzada associados a conglomerados polimíticos; arenito lamítico com grânulos, calhaus e matacões; lamitos com estratificação plano-paralela. Posicionamento estratigráfico indefinido.	2,1
Suíte Granítica Morungaba (24,7)	PSYmG	Biotita granitos 3b e granodioritos com granadas, maciços, cinza a rosa-acinzentados, granulação fina ou média, equigranular a levemente inequigranular, holo ou leucocráticos (Entre 5 a 10% de máficos).	0,4
	PSYmH	Biotita granitos 3b maciços, róseos, granulação média a fina, equigranular a levemente inequigranular, hololeucocráticos (Menos de 5% de máficos).	4,7
	PSYmL	Biotita granitos 3b e quartzo-monzonitos maciços, róseo a róseoacinzentados, granulação média a grossa, equi a inequigranular, holo a leucocráticos (Entre 5 a 15% de máficos).	3,5
	PSYmP	Biotita quartzo-monzonitos e granitos 3b porfiráticos róseos, podendo ocorrer granitos 3a cinzento-esbranquiçado a róseos, maciços, e matriz de granulação média a grossa, leuco a hololeucocrático (Entre 5 a 15% de máficos), com megacrístrais de feldspato potássico e subordinamente de plagioclásio.	16,1

(continua)

(continuação)

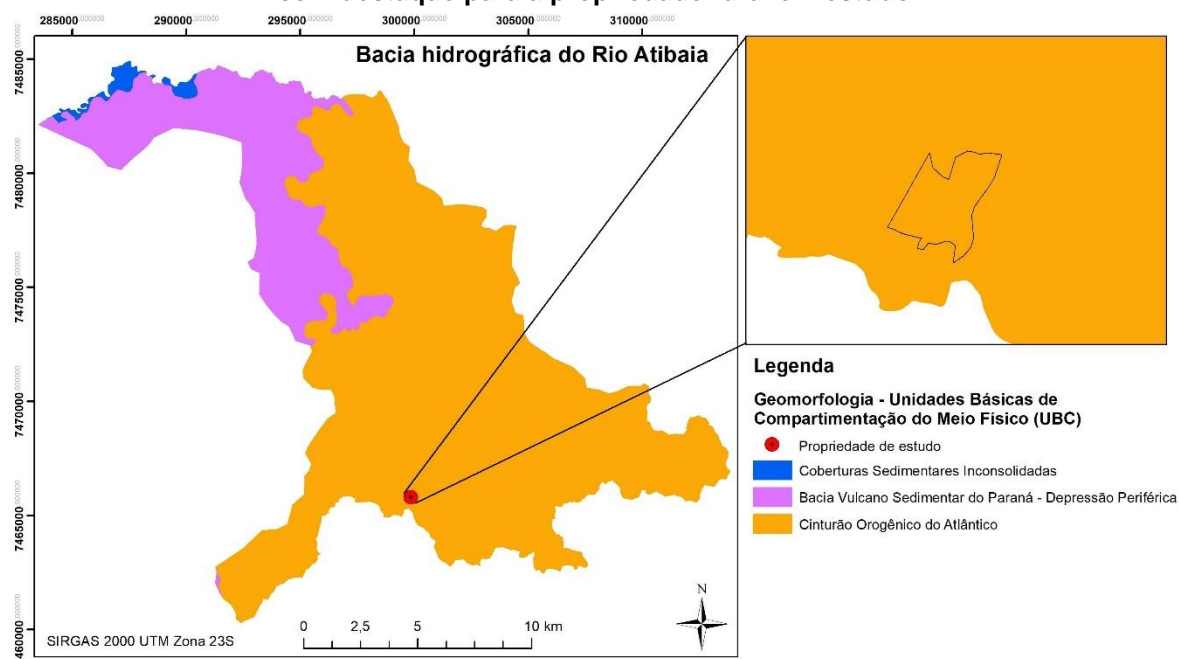
Grupo/ (%) na bacia	ID	Descrição	Ocorrência (%)
Suíte Granítica Jaguariúna (12,4)	PSYjP	Hornblenda-biotita granitos 3b porfíricos ou facoidais, foliados, cinza rosados a rosa acinzentados, com megacristais ovalados de feldspato potássico e matriz fina a média, leucocráticos (Entre 10 e 20% de máficos). Subordinadamente ocorre hornblendabiotita granodioritos ou granitos 3b facoidais, com megacristais de feldspato potássico ósseo e matriz de cor cinza escura (Com 25% de máficos).	11,1
	PSYjl	Biotita granitos 3b foliados, rosa acinzentados a cinza rosados de granulação média a grossa, inequigranulares, leucocráticos (Entre 5 a 10% de máficos).	1,3
Protomilonitos, milonitos e ultramilonitos (3,2)	PS-eOM	Protomilonitos, milonitos e ultramilonitos no geral de composição granitoide e com lineação de estiramento pronunciada.	3,2
Contorno HD Permanente (1,1)	HD_P/I	Contorno HD Permanente/Ilha	1,1
Diabásios (2,8)	JKB	Diabásios cinza escuros a pretos, finos ou muito finos e maciços, ocorrem predominantemente sob a forma de sills.	2,8
Complexo Itapira (41,1)	PMiF	Hornblenda-biotita granitoide gnáissico facoidal blastomilonítico, cinza, leucocrático médio com megacristais de feldspato achatados esbranquiçados e matriz média a fina inequigranular.	1,5
	PMiGb	Gnaisses bandados: (Hornblenda) biotita ou biotita-hornblenda gnaiss de composição tonalítica, diorítica ou anfibolítica cinza médio a escuro; biotita gnaiss equigranular cinza-médio; biotita gnaiss granitoide cinza médio ou claro; granada-anfibólio-biotita gnaiss granitoide cinza rosado ou levemente esverdeado; anfibolitos.	12,4
	PMiGg	Granada-biotita gnaisses cinza médios, finos, com intercalações de: biotita gnaiss cinza médio ou escuro de granulação média, equigranular; biotita-gnaiss granitoide médio a grosso.	7,4
	PMiGx	Gnaisses xistosos: (Muscovita)-granada-sillimanita-biotita gnaisses xistosos com bandas de: granada-biotita gnaiss; rochas cálcio-silicáticas; anfibolitos esparsos, granito foliado com muscovita e/ou turmalina; grafita xistos; biotita gnaiss granitoide cinza médio; quartzitos.	8,8
	PMil	Gnaisses indiferenciados - intercalam-se métrica e decimetricamente: biotita gnaiss cinza médio, biotita gnaiss granítico, biotita gnaiss fino mesocrático, biotita-anfibólio gnaiss mesocrático, anfibolitos e possíveis rochas cálciosilicáticas; granada-biotita gnaisses granitoides; gnaisses xistosos.	3,4
	PMiYg	Granitos gnáissicos com granada, turmalina e/ou muscovita e raramente sillimanita de cor cinza clara, às vezes róseos, médios ou finos, equigranulares. Ocorrem subordinadamente: gnaisses com olhos de feldspato grossos a médios, com turmalina granada e pouca biotita; biotita gnaiss de aspecto granitoide.	7,5
Aluviões (9,6)	Qa	Aluviões	9,6

Fonte: Fernandes, Azevedo Sobrinho e Teixeira (1993).

A região da bacia hidrográfica do Rio Atibaia bem como a área de abrangência da propriedade apresenta predomínio do grupo Complexo Itapira, com percentual de espalhamento na bacia de 41,1%, dos quais se destaca a ocorrência da tipologia PMiGb – Gnaisses bandados (12,4%).

O mapa de geomorfologia para a bacia do Rio Atibaia, exposto na Figura 4, teve como origem o mapeamento das Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do Estado de São Paulo, cuja delimitação foi realizada pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (CPLA/SMA) em parceria com o Instituto Geológico (IG), em escala de 1:50.000 (SÃO PAULO, 2015).

**Figura 4 – Distribuição geomorfológica na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**



Estas unidades representam as menores unidades de análise do terreno e objetivam agrupar elementos do meio físico de acordo com suas similaridades e divergências, refletindo elementos dos substratos geológicos, geomorfológicos e pedológicos (AMARAL *et al.*, 2015). Ross (1992) ressalta que o conceito de morfoestrutura está relacionado à estrutura litológica na gênese das formas de relevo segundo a ação da dinâmica de processos endógenos.

Para a bacia de estudo, verificou-se a ocorrência de três UBCs levantadas por Ross e Moroz (1997): (1) Cinturão Orogênico do Atlântico (77,1%), (2) Bacia Vulcano Sedimentar do Paraná (21,8%) e (3) Coberturas Sedimentares Inconsolidadas (1,1%), com totalidade da propriedade dentro da primeira UBC. Trata-se de unidades morfoestruturais que se diferenciam umas das outras por características estruturais, litológicas e geotectônicas associadas as suas gêneses (SÃO PAULO, 2015).

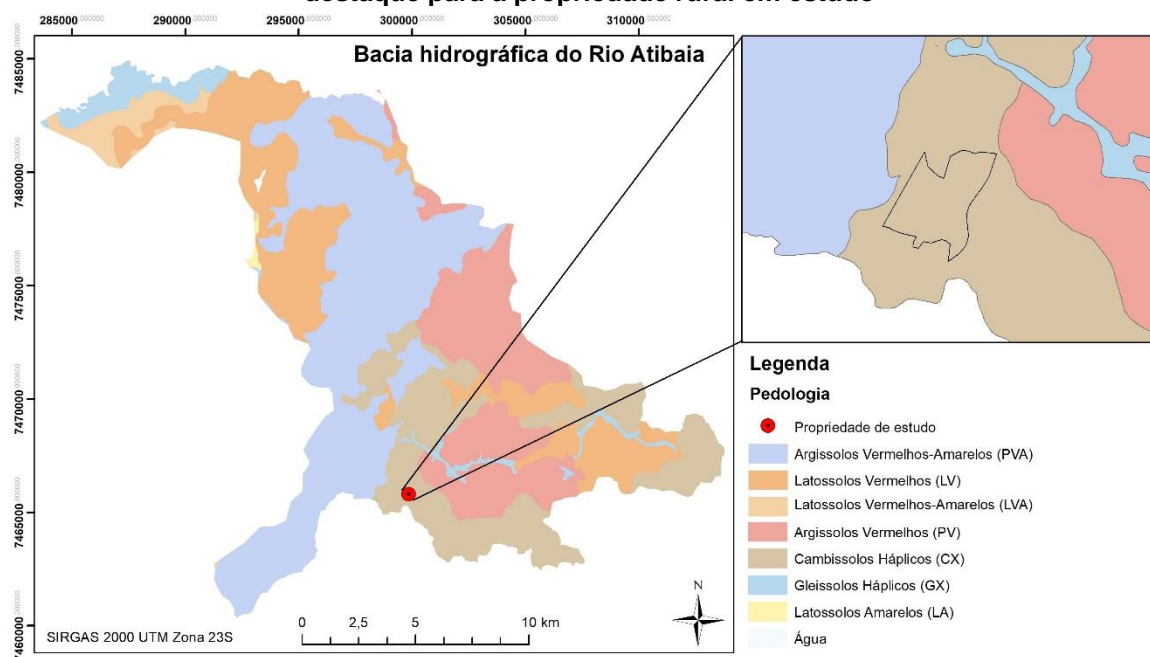
Segundo Detoni, Imbernon e Rocha (2010), a primeira (1) unidade, também denominada Planalto Atlântico, de natureza poliorogênica possui diversas fases de metamorfismo regional, falhamentos e intrusões, em decorrência dos diversos ciclos de dobramentos ocorridos na região. De forma geral, o Cinturão Orogênico do Atlântico é caracterizado por um escudo cristalino Pré-cambriano, constituído por terrenos arqueados.

A segunda unidade (2), também referida como Depressão Periférica consiste em uma fossa tectônica elipsoidal, encravada na Plataforma Sul-Americana e, além do estado de São Paulo, estende-se por Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e até mesmo Uruguai, Paraguai e Argentina (SANTOS *et al.*, 2006).

A terceira unidade (3), Coberturas Sedimentares Inconsolidadas, em menor extensão na bacia do Atibaia, pode ainda ser subdividida em três categorias segundo Ficha Técnica de UBC: Planícies Fluviais; Planícies Litorâneas e Depósitos Coluvionares associados a encostas montanhosas. Levando em consideração a localização da área de estudo, associa-se a ela a ocorrência de cobertura sedimentar inconsolidada por planícies fluviais, que consistem em depósitos aluvionares formados pela drenagem atual (SÃO PAULO, 2015).

A confecção do mapa de pedologia para a bacia hidrográfica do Rio Atibaia, que se apresenta na Figura 5, se deu a partir de análise e recortes do Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas, produzido e publicado pela Embrapa em 2008 com escala original de 1:50.000, e disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Campinas, por meio da Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SVDS, 2020).

**Figura 5 – Distribuição pedológica na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**

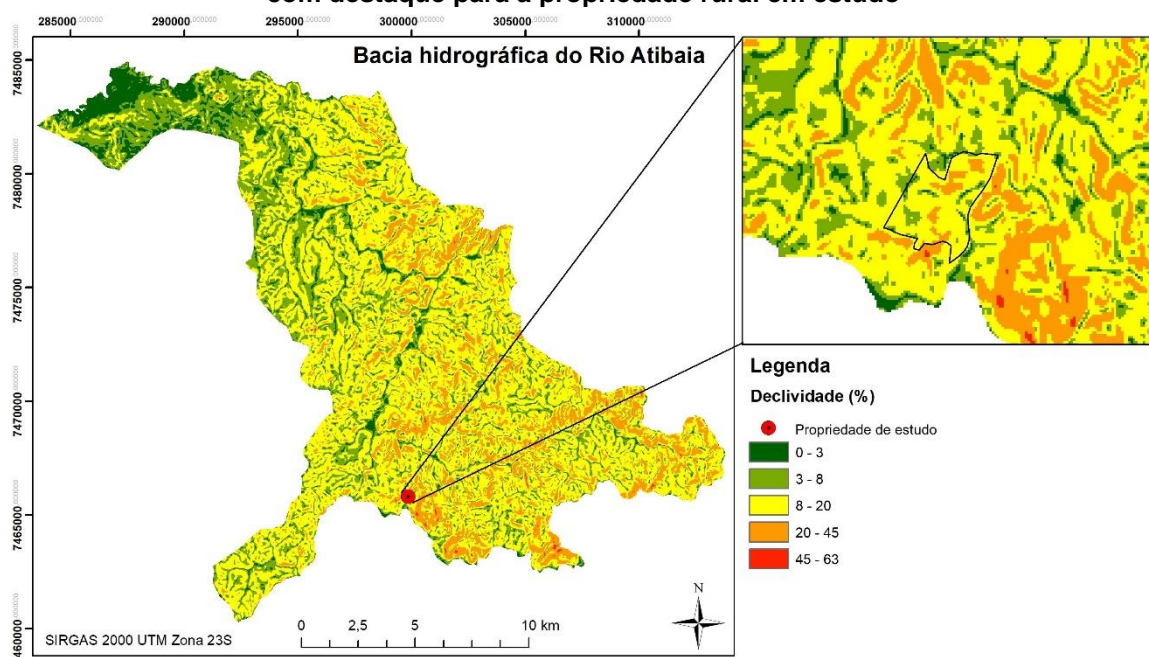


Para a área de estudo, foram identificadas sete tipologias de solo conforme classificação da Embrapa (1997): Latossolos Vermelhos-Amarelos (LVA) – 2,9%, Latossolos Vermelhos (LV) – 21,4%, Latossolos Amarelos (LA) – 0,2%, Argissolos Vermelhos-Amarelos (PVA) – 35,4%, Argissolos Vermelhos (PV) – 18%, Cambissolos Háplicos (CX) - 18,2% e Gleissolos Háplicos (GX) – 4%.

Verifica-se predomínio da classe de PVA (Argissolos Vermelhos-Amarelos) com ocorrência em 35,4% da área da bacia, sobretudo sobre a região central. Em seguida, destacam-se as classes LV (Latossolos Vermelhos) e CX (Cambissolos Háplicos), que representam, respectivamente, 21,4% e 18,2%. Quando analisada somente a propriedade, nota-se tipo exclusivo por CX. Segundo Santos, Zaroni e Almeida (2020) essa tipologia de solo cuja fertilidade natural é variável normalmente está relacionada a relevos forte ondulados ou montanhosos. Por esta característica, apresentam limitações pela pequena profundidade e a ocorrência de pedras em sua composição.

A análise de declividade da bacia do Rio Atibaia se deu por meio da elaboração de mapas utilizando dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em escala 1:250.000 que datam de 2011 (INPE, 2011). A partir deste foi possível reclassificar o relevo da bacia em cinco classes, apresentadas na Figura 6.

**Figura 6 – Classes de declividade (%) na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**





Verifica-se pela Figura 6 a existência de cinco classes de declividade: plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%) e montanhoso ou escarpado (45 a 75%), não sendo verificado percentual para a classe de relevo escarpado, cuja declividade se dá acima de 75% conforme classificação da EMBRAPA (1979).

A classe de maior representatividade na bacia foi a de relevo ondulado (55,20%), seguido de suave ondulado (29,84%), plano (8,60%), forte ondulado (6,35%) e montanhoso (0,01%). As zonas de menor declividade se concentram principalmente sobre a região noroeste da bacia. Sobre a extensão da propriedade é possível visualizar áreas de declividade elevada, com predomínio de relevo ondulado.

## APÊNDICE B – Bacia do rio Atibaia: uso e ocupação do solo

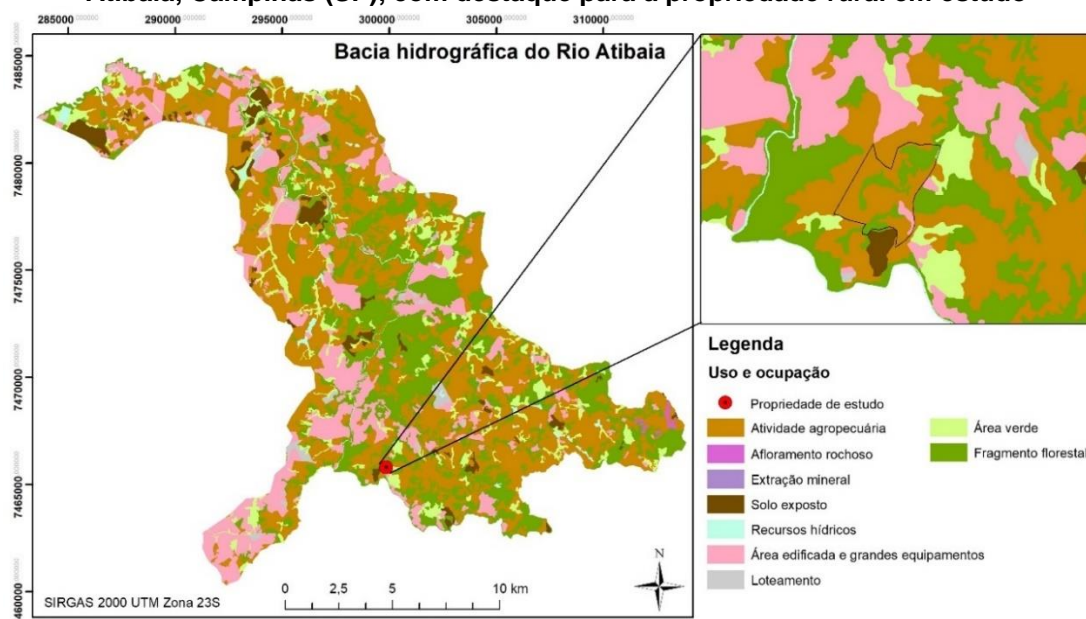
O diagnóstico de uso e ocupação do solo na bacia do Rio Atibaia se deu a partir de reclassificação do mapa “Uso e Cobertura da Terra da UGRHI 05 (PCJ) – 2013” desenvolvido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo com base em interpretação visual da imagem SPOT com resolução espacial de 10 m e escala de 1:25.000 para o período 2007 a 2009 (SMA, 2013).

Por meio de análise do mapa original – UGRHI 05 – foi possível identificar dezessete classes de uso e ocupação na bacia do Rio Atibaia. Visando a avaliação do uso e ocupação associado ao fornecimento ou não de potenciais serviços ecossistêmicos, estas classes foram reclassificadas conforme exposto no Quadro 1 e espacializadas conforme Figura 7.

**Quadro 1 - Composição das categorias de uso e ocupação do solo**

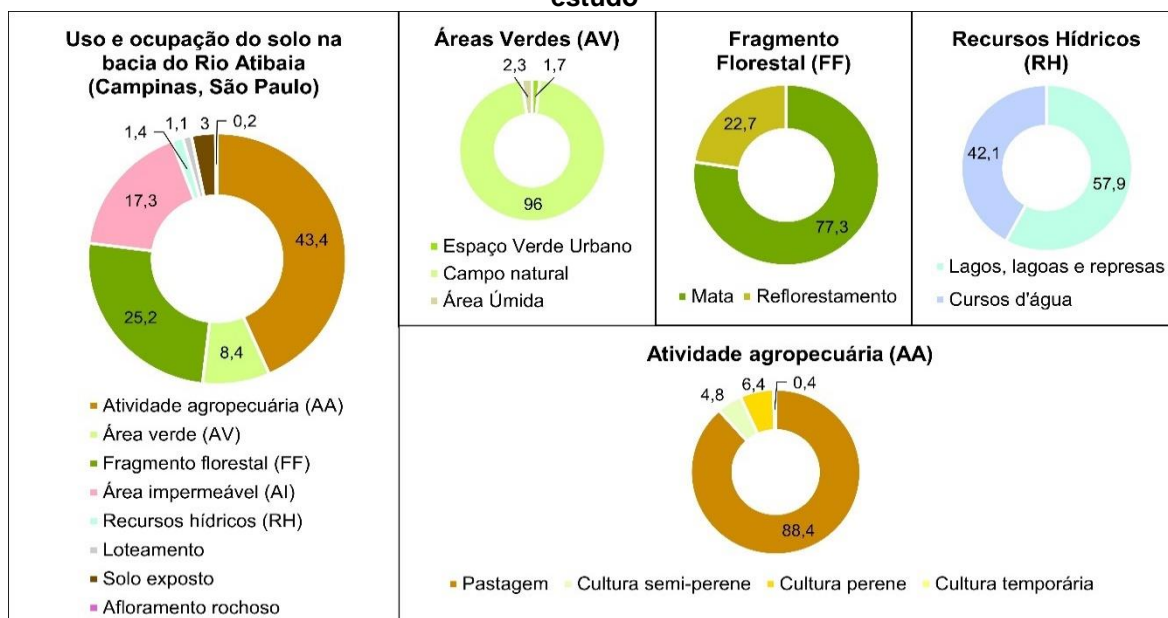
Fornecimento de serviço	Categoria de uso	Classes originais consideradas (SMA, 2013)
SIM	Fragmento florestal ( <i>FF</i> )	Mata e reflorestamento
	Área verde ( <i>AV</i> )	Área úmida, campo natural e espaço verde urbano
	Atividade agropecuária ( <i>AA</i> )	Cultura perene, semiperene, temporária e pastagem
	Recursos hídricos ( <i>RH</i> )	Cursos d'água, lagos, lagoas e represas
	Solo exposto	Mantém a classe original
NÃO	Área impermeável ( <i>AI</i> )	Área edificada e grandes equipamentos
	Afloramento rochoso	Mantém a classe original
	Extração mineral	Mantém a classe original
	Loteamento	Mantém a classe original

**Figura 7 – Principais classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**



De maneira complementar, apresenta-se na Figura 8 os percentuais de cada classe de uso e ocupação e suas categorias.

**Figura 8 - Percentuais por classe e por grupo de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Atibaia, Campinas (SP), com destaque para a propriedade rural em estudo**



O uso e ocupação do solo na bacia do Rio Atibaia se dá de forma majoritária por áreas de atividade agropecuária, que totalizam 43,4% da extensão total da bacia, denotando à mesma, aspecto rural. Dentro deste grupo -AA, o uso do solo se faz predominantemente por áreas de pastagem (88,4%) com presença significativa de arbustos, domínio de formação herbácea e poucos elementos arbóreos, 6,4% formam as áreas de culturas perenes, sobretudo de citrus, 4,8%, semiperene, representado majoritariamente pela cultura de cana-de-açúcar e 0,4% compreende áreas de culturas temporárias.

Na análise das áreas de expressão agropecuária, Porter *et al.* (2009) ressaltam que os agroecossistemas oferecem a maior oportunidade de aumentar a provisão de serviços ambientais por meio da adoção de práticas conservacionistas. Os agrossistemas, aliados a técnicas não-convencionais, como a permacultura e outros sistemas sustentáveis, contribuem fortemente para a manutenção e maior oferta dos serviços desejados (DOHERTY, 2015).

A adoção destas práticas emerge como uma resposta para conter os efeitos indesejados, denominados desserviços, de uma agricultura industrializada e convencional, a citar poluição e esgotamento de águas subterrâneas, erosão

(com possível desertificação) e assoreamento, introdução de pragas invasoras, carregamento de nitrogênio e fósforo aos cursos hídricos e consequente eutrofização aquática (SWINTON *et al.*, 2007).

No território brasileiro, uma das estratégias tomada para aumentar a produtividade agrícola e, ao mesmo tempo incrementar serviços ambientais diz respeito ao sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Esse sistema, segundo Franchini *et al.* (2015), pode conferir maior taxa de sequestro de carbono, conservação da biodiversidade e melhoria da qualidade do solo, água e ar quando comparados a outros sistemas não integrados. Outras técnicas de sistema agroflorestal também têm sido aplicadas por agricultores do sudeste asiático e pequenos produtores nos andes equatorianos (FEDELE *et al.*, 2018).

Outro viés aponta para a agricultura urbana frente ao rápido desenvolvimento dos centros urbanos e necessidade de produção de alimentos para uma população igualmente em crescimento. Os serviços providos por estas áreas vão além do fornecimento de alimentos e fibras, abrangendo igualmente gestão da água, regeneração do solo, fixação de nitrogênio, controle biológico e valores socioculturais. Por meio do fornecimento de alimentos usualmente tratados de forma orgânica, a agricultura urbana pode também contribuir para melhoria da saúde humana devido a mudanças na dieta da população que dela fizer uso (CLINTON *et al.*, 2018).

Ainda assim, Antoniazzi (2018) observa que a literatura pouco aborda a questão de áreas agrícolas como fornecedora única de serviços, sendo muitas vezes tratada em situações de usos combinados de ocupação do solo, como é o caso do esquema agricultura-floresta do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais em Nova Iorque e os já citados programas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil.

A expressão urbana na bacia se dá de forma pouco significativa: 17,3% somam áreas edificadas e de grandes equipamentos e 1,1% loteamentos. Tal configuração decorre do fato da bacia do Atibaia estar localizada majoritariamente sobre a APA-Campinas e sobre a macrozona de Relevância Ambiental, cuja composição se dá por áreas em sua maior parte rural de relevância ambiental e outras públicas e privadas estratégicas à preservação ambiental e dos recursos hídricos, tornando necessária a expansão urbana do município sobre outras bacias que o compõe (PMC, 2018).

Quando analisada a extensão de fragmentos florestais (mata e reflorestamento), verifica-se que apesar da bacia apresentar menor percentual de área urbanizada, os fragmentos que ocupam área próxima de 25% se encontram cada vez mais degradados e dispersos em função da ação antrópica. Segundo Silva (2020), o alto número de remanescentes na bacia, aliado ao tamanho dos mesmos é um indicador do intenso processo de fragmentação da paisagem.

Além da presença florestal, acresce-se à importância ambiental da bacia a presença de áreas verdes, que ocorrem em um percentual de 8,4%, sendo sua maioria em função de campos naturais (96%), cuja expressão se dá em formação vegetal natural não arbórea, estrato exclusivamente gramíneo e fitofisionomia campestre, seguido de área úmida (2,3%), que consistem em áreas próximas a corpos d'água sem presença de árvores e arbustos e espaço verde urbano (1,7%), cuja composição abrange praças, parques e demais áreas verdes públicas, ausentando-se destas a arborização urbana ao longo das vias urbanas.

Revelli (2017) afirma que, as florestas urbanas e, em geral, os espaços verdes urbanos, são um importante componente do ecótono urbano e fornecem não somente benefícios ambientais, mas também econômicos e sociais. Para Elmqvist *et al.* (2015), os serviços ambientais prestados pela existência de áreas verdes em ambientes urbanos, configuram aqueles capturados pelas métricas monetárias, tais como remoção de poluentes locais, sequestro e armazenamento de carbono, regulação de fluxo hídrico, e ainda aqueles não contabilizados, como correlação com a longevidade, redução de estresse e saúde mental, que se traduzem em maior bem estar para a população.

De forma complementar, Jenerette *et al.* (2011) constataram que a regulação da temperatura em ambientes urbanos tem sido uma das muitas razões pelas quais os programas de expansão das florestas urbanas têm se tornando populares. Os autores citam diversas cidades nos Estados Unidos (Los Angeles e São Francisco na Califórnia; Phoenix, no Arizona; Chicago em Illinois) e Berlim na Alemanha como exemplos de iniciativa no plantio de árvores para amenizar a temperatura urbana.

A presença de recurso hídrico na bacia do Rio Atibaia se dá em 1,4% da área total, dos quais 57,9% representam lagos, lagoas e represas e 42,1%, cursos d'água. Ainda, a bacia apresenta 1177 nascentes e frequência de rios de 2,60

nº/km², reforçando as condições que a colocam como estratégica para produção de água.

Os ecossistemas aquáticos prestam serviços de extrema importância, como abastecimento de água, fornecimento de alimento e recreação. Para Karabulut *et al.* (2016) os serviços relacionados à água recebem maior atenção pelo fato da mesma ser vital à vida e por serem facilmente apreciadas pelos seres humanos. Grizzetti *et al.* (2016) ressaltam que a maioria dos serviços ecossistêmicos relacionados à água pode ser verificada diretamente pelas pessoas e ainda, quantificada, tais como provisão de água e lazer, mas alguns, especialmente serviços de regulação e manutenção, são menos evidentes. No entanto, para o correto uso e gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, todos os serviços ecossistêmicos devem ser considerados.

A bacia apresenta, ainda, um percentual de solo exposto de 3%, cujas áreas sofreram intervenção antrópica de terraplanagem ou aração, tornando possível a ocorrência de processos erosivos que expuseram o solo.

Na análise do uso e ocupação da propriedade e em consonância com a descrição da mesma no tópico 4.2.3. *PSA Campinas: propriedade de estudo*, observa-se predomínio de área de atividade agropecuária integralmente na forma de pastagem (57%) com a presença esparsa de remanescentes de vegetação florestal (17%) e Áreas de Preservação Permanente (14%).