

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE NASCENTES DE CURSOS DE  
ÁGUA: FERRAMENTA DE SUBSÍDIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E AO  
PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

**MAURICIO JOSÉ ROSSO PINTO**

SÃO CARLOS-SP  
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE NASCENTES DE CURSOS DE  
ÁGUA: FERRAMENTA DE SUBSÍDIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E AO  
PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS<sup>1</sup>**

**Mauricio José Rosso Pinto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai.

SÃO CARLOS-SP  
2019

---

<sup>1</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## FICHA CATALOGRÁFICA

Rosso Pinto, Mauricio Jose

AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE NASCENTES DE CURSOS DE ÁGUA: FERRAMENTA DE SUBSÍDIO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E AO PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS / Mauricio Jose Rosso Pinto. -- 2019.

233 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador: Frederico Yuri Hanai

Banca examinadora: Denise Balestrero Menezes, Miguel Fernandes

Felippe

Bibliografia

1. avaliação integrada de nascentes. 2. monitoramento de nascentes. 3. ferramenta de gestão de recursos hídricos . I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Ronildo Santos Prado – CRB/8 7325



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Mauricio Jose Rosso Pinto, realizada em 21/05/2019:

---

Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai  
UFSCar

---

Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes  
UFSCar

---

Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe  
UFJF

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Miguel Fernandes Felipe e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

---

Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai

*Dedico este trabajo a mis hermanos para recordarles que no existen límites para cumplir  
nuestros sueños y propósitos;*

*A mis padres: mi fuerza, mi motor y base;*

*A mi amor y compañera de vida.*

*¡Los amo!*

### ***Imperativos positivos***

#### ***Sueña,***

*Y de la vida te adueñas,  
Lo imposible se extingue,  
Si con valor te empeñas,  
Si de color lo tiñes.*

#### ***Cree,***

*Tu corazón es más fuerte,  
Tus capacidades infinitas,  
Que tu pasión liberte,  
Ese gigante que habitas.*

#### ***Deja,***

*El miedo se aleja,  
Basta un poco de confianza,  
La oscuridad despeja,  
La claridad avanza.*

#### ***Confía,***

*Dios nos desafía,  
Nos coloca al límite,  
Prueba tu valentía,  
Pero te rescata y te admite.*

#### ***Ama,***

*Lo que vives cada mañana,  
Que una oportunidad te abrace,  
Que lo que disfrutes sea la trama,  
Y no el desenlace.*

***M.R.***

*Com carinho sincero, para todos os leitores desta dissertação.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pela natureza e o privilégio de estudá-la.

Agradeço a minha família por me apoiar e dar suporte na construção do meu projeto de vida. Em especial a minha mãe, Elsa pelo amor infinito e sacrifícios múltiplos, ao meu pai, Pedro por me ensinar a viver com leveza buscando sempre fazer o bem, aos meus irmãos Diego e Ana Maria pelo incentivo e motivação, aos meus avós por ser exemplo de vida e demais familiares pelo seu apoio.

Agradeço ao meu amor, Ani, minha companheira e parceira da vida que tem o poder de transformar meus medos em fortalezas, obrigado por estar sempre do meu lado, mesmo que longe. Te amo.

Agradeço a minha melhor amiga, Ale, por estar sempre disponível no WhatsApp e por compartilhar desde longe toda esta experiência comigo, me aconselhando quando foi necessário.

Agradeço, de forma muito especial ao meu querido professor e orientador Dr. Frederico Yuri Hanai, pelos incontáveis ensinamentos e pela confiança nas minhas ideias e propostas. Para mim foi um privilégio ter a oportunidade de trabalhar junto a um profissional tão capacitado e íntegro.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCam) da UFSCar, por todas as contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa e pelos ensinamentos em disciplinas, em especial aos coordenadores Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini e Profa. Dra. Erica Pugliesi e ao Prof. Dr. Vandoir Bourscheidt.

Agradeço aos meus professores do curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Córdoba, em especial ao Prof. Dr. Teobaldis Mercado, Prof. M.Sc Gabriel Campo e Profa. M.Sc Viviana Soto pelo apoio e orientações dadas. Também agradeço aos professores e colegas do Grupo de Águas, Química Aplicada e Ambiental e a Coordenação de Relações Internacionais da Universidade de Córdoba pela ajuda e motivação para realizar meu estágio na UFSCar, oportunidade que me abriu as portas ao mestrado.

Agradeço ao Vinicius José de Oliveira Freitas, assistente de administração do PPGCam, pela excelente disposição para me ajudar e atender em todos os momentos.

Agradeço aos membros da banca de qualificação e de defesa Profa Dra. Denise Balestrero Menezes; Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe e Profa. Dra. Ana Paula Vilela Carvalho, pela disponibilidade, interesse no trabalho e contribuições fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de auxílio a pesquisa, que foi fundamental para minha dedicação integral à realização desta pesquisa.

Agradeço aos colegas do DCam, em especial a Ana Paula, Bruno, Elton, Fernanda e Jacqueline e aos meus amigos Adriana e Gabriel pelos muitos momentos compartilhados, troca de ideias, parceria em trabalhos, ensinamentos e pelos almoços, cafés e confraternizações que foram fundamentais para que essa relação se transformasse em amizade verdadeira. Eu encontrei uma família neste país, irmãos de coração que espero conservar para o resto da minha vida. Sou grato pelos momentos compartilhados e por estar sempre dispostos a me ajudar. É reconfortante quando ao sair dos nosso país de origem temos a oportunidade de conhecer pessoas que contribuem na nossa vida de forma tão positiva.

Agradeço a todos meus colegas do grupo Sustentinha, pelas contribuições para minha pesquisa e a boa energia transmitida durante todo o processo. Especialmente a Monise pela parceria no trabalho sobre a identificação de ferramentas, a Flávia e Anayra pela parceria na pesquisa sobre águas subterrâneas, ao Sidnei pelas sugestões para minha pesquisa, ao Renan pela ajuda fundamental na revisão bibliográfica, ao Vinicius e o Cairê pelas contribuições e apoio no trabalho de campo e a Danika, minha compatriota e amiga, pelo apoio significativo em todas as etapas deste processo.

## RESUMO

A proteção, conservação, avaliação e monitoramento das fontes naturais de água constituem a base para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas. Entre estas fontes de água, encontram-se as nascentes, definidas como um sistema ambiental marcado por uma feição geomorfológica ou estrutura geológica em que ocorre o afloramento da água subterrânea de modo temporário ou perene, formando canais de drenagem a jusante. As nascentes possuem funções ecológicas e ecossistêmicas fundamentais entre as quais está a manutenção do ciclo hidrológico, sendo necessário desenvolver mecanismos para garantir sua conservação. A presente pesquisa se propôs a investigar, identificar e analisar parâmetros, indicadores e ferramentas relacionadas ao monitoramento de nascentes de cursos d'água, para elaborar uma ferramenta de avaliação integrada de suas condições ambientais, visando subsidiar a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) e o planejamento de bacias hidrográficas. Para isso, foi desenvolvida uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) que permitiu levantar artigos e documentos relacionados à esta temática e identificar as principais abordagens científicas por meio das quais têm se estudado as nascentes. Posteriormente, essas referências bibliográficas foram analisadas com o objetivo de identificar propostas e/ou aplicações de parâmetros, indicadores, ferramentas e/ou instrumentos relacionados à avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes, obtendo-se uma listagem que foi validada por meio de três etapas: auto-validação; validação científica e validação social. Este processo forneceu as bases para elaborar o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), que foi testado em campo e otimizado conforme os resultados desta experiência e os aportes significativos dos especialistas, técnicos e científicos, que participaram da trajetória da pesquisa e da validação. O PANÁgua é uma ferramenta constituída por diferentes etapas de aplicação e categorias de avaliação que integram uma série de parâmetros e indicadores, que permitem determinar o estado de conservação de nascentes de cursos d'água. Esta ferramenta foi utilizada na avaliação de algumas nascentes das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá e Córrego Mineirinho (São Paulo, Brasil). Alguns dos impactos encontrados foram: a baixa densidade da cobertura de vegetação natural nas APPs, a ocorrência de processos erosivos e de assoreamento a causa das atividades agrícolas e pecuárias que predominam no entorno e a contaminação da água dada pela presença de coliformes totais e a alta condutividade elétrica na maioria das nascentes avaliadas. Por serem microbacias com características de uso e ocupação do solo diferentes, alguns impactos das nascentes da microbacia urbana do Córrego Mineirinho foram evidenciados em condições mais críticas, por exemplo o despejo de esgoto e de resíduos sólidos comuns e perigosos, o escoamento de água pluvial e a severa degradação da integridade física do solo. O PANÁgua mostrou ser uma ferramenta útil e eficiente que sintetiza e apresenta as condições ambientais das nascentes de uma forma coerente, auxiliando aos órgãos ambientais nos processos de tomada de decisões relacionados à Gestão Integrada de Recursos Hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas. **Palavras-chave:** Avaliação integrada de nascentes; monitoramento de nascentes; parâmetros e indicadores para nascentes; ferramenta de gestão de recursos hídricos; protocolo de avaliação de nascentes.

## ABSTRACT

The protection, conservation, assessment and monitoring of natural water sources are the foundation for integrated water management and environmental planning of a watershed. Springs are important water sources, they are defined as an environmental system established by geomorphological features or geological structures, in which the outcrop of groundwater occurs in a temporary or perennial way, forming drainage channels downstream. The springs have fundamental ecological and ecosystem functions, as the maintenance of the hydrological cycle, therefore it is necessary to develop mechanisms to guarantee its conservation. The aim of this research was to investigate, identify and analyze parameters, indicators and tools related to assessment, conservation, monitoring and sustainable use of springs, in order to elaborate an integrated assessment tool for their environmental conditions that subsidize water resources management and watershed planning. For this, a Systematic Bibliographic Review (SBR) was developed to identify scientific articles and documents related to springs, showing the different approaches through which, the springs have been studied. After that, those articles and documents were analyzed to find proposals or applications of parameters, indicators, tools and instruments related to assessment, conservation, monitoring, management and/or use of springs. As a result, the list of these parameters, indicators, tools and instruments was obtained and validated by a three-step process (3S): self-validation; scientific validation and social validation. The result of this process was the elaboration of an Integrated Assessment and Monitoring Protocol for Springs (PANÁgua), which was tested through field applications and optimized according to the results of this experience and the significant contributions of the specialists who participated in the validation process. The PANÁgua is a protocol composed by three stages of application and some categories of evaluation that integrate a group of parameters and indicators related to the spring's conservation state. Finally, this protocol was used to evaluate the environmental conditions of some springs of the Ribeirão do Tamanduá and Córrego Mineirinho watersheds located at the state of São Paulo, Brazil. Many impacts were found with the application of PANÁgua, some of them are the low density of natural vegetation coverage, as well as the erosion and silting processes because of agricultural and livestock activities that predominate in the area. In addition, the evaluation of the water quality showed the presence of total coliforms and high values of electrical conductivity in most springs. Both watersheds evaluated presents different characteristics of the land cover use, that's why some impacts of the Córrego Mineirinho urban springs were evidenced in more critical conditions, for instance the discharge of sewage and solid waste as springs and the severe degradation of soil in general. The PANÁgua has shown to be a useful and efficient tool that synthesizes and assess the environmental conditions of the springs in a coherent way and can be used to help the environmental agencies in the decision-making processes related to integrated water resource management and watershed environmental planning.

**Key words:** Springs integrated assessment; springs monitoring; parameters and indicators for springs; water management tool; springs assessment protocol.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO INICIAL	18
I. Descrição geral e embasamento teórico da pesquisa	18
I.I. INTRODUÇÃO AO TEMA DA PESQUISA	19
I.II. JUSTIFICATIVAS	24
I.III. CONCEPÇÃO E QUESTÕES DA PESQUISA	26
I.IV. OBJETIVOS DA PESQUISA	27
I.IV.I Objetivo geral da pesquisa	27
I.IV.II Objetivos específicos	27
I.V. REFERENCIAL TEÓRICO	28
I.V.I. Problemática da concepção do termo nascentes	28
I.V.II. Principais conceitos e classificações de nascentes	30
I.V.III. Importância da Revisão Bibliográfica na pesquisa	32
I.V.IV. Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)	33
I.V.V. Instrumentos, ferramentas e indicadores para gestão de recursos hídricos no Brasil	35
I.V.VI. Ocupação urbana e supressão de nascentes	39
I.VI. ESTRUTURAÇÃO METODOLÓGICA DA DISSERTAÇÃO	40
CAPÍTULO 1	44
1. Levantamento de referências bibliográficas sobre nascentes de Cursos d'água: identificação e análise das principais abordagens atualmente trabalhadas	44
1.1. OBJETIVO DA PESQUISA	45
1.2. MATERIAIS E MÉTODOS	45
1.2.1. Entradas da Revisão Bibliográfica Sistemática	46
1.2.1.1. Objetivos específicos da busca	47
1.2.1.2. Descrição do problema	47
1.2.1.3. Perguntas orientadoras	47
1.2.1.4. Metodologia para seleção das bases de dados	48
1.2.1.5. Estratégias de busca	49
1.2.1.6. Busca complementar no Google e Google Scholar	50
1.2.2. Processamento da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e busca complementar	51
1.2.2.1. <i>Strings</i> de busca para a RBS	51
1.2.2.2. Utilização do operador lógico <i>NOT</i> para a execução da RBS	52
	10

1.2.2.3.	Análise preliminar do título, palavras-chave e resumo dos trabalhos encontrados	53
1.2.2.4.	Análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados	53
1.2.2.5.	Sínteses do processamento	54
1.2.2.6.	Formulação das categorias e classificação dos artigos e documentos finais.	55
1.2.3.	Resultados da RBS (saídas)	56
1.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
1.3.1.	Seleção das bases de dados	56
1.3.2.	Resultados para a base de dados <i>Academic Search Premier</i>	59
1.3.2.1.	Resultados da análise preliminar do título, palavras-chave e resumo (Filtro 1)	59
1.3.2.2.	Resultados da análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados	65
1.3.3.	Resultados para a busca complementar	67
1.3.3.1.	Resultados da análise preliminar a partir do título.	68
1.3.3.2.	Resultados da análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados	71
1.3.4.	Contabilização dos resultados do processamento	72
1.3.5.	Resultados da RBS: lista de artigos e documentos.	74
1.4.	CONCLUSÕES	74
	CAPÍTULO 2	77
2.	Identificação, análise e seleção de parâmetros, indicadores e ferramentas relacionadas às nascentes de cursos d'água	77
2.1.	OBJETIVO DA PESQUISA	78
2.2.	MATERIAIS E METODOS	78
2.3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
2.3.1.	Lista de parâmetros identificados	80
2.3.2.	Lista de indicadores	89
2.3.3.	Ferramentas identificadas	98
2.4.	CONCLUSÕES	102
	CAPÍTULO 3	105
3.	Elaboração e validação de um Protocolo para Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água – PANÁgua	105
3.1.	OBJETIVO DA PESQUISA	106
3.2.	MATERIAIS E MÉTODOS	106

3.2.1. Metodologia de validação 3S	107
3.2.2. Seleção do grupo de especialistas para a validação científica e social	110
3.2.3. Elaboração da versão preliminar do PANÁgua e validação por médio da aplicação em campo	110
3.2.4. Elaboração final do Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água	111
3.2.5. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) no cálculo de pesos para priorização dos parâmetros, indicadores e categorias e etapas do PANÁgua	113
3.2.6. Avaliação e ponderação dos parâmetros para determinar o estado de conservação da nascente	116
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>117</b>
3.3.1. Processo de auto-validação e validação científica	117
3.3.2. Processo de validação social	125
<b>3.2.3. PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO INTEGRADA E MONITORAMENTO DE NASCENTES DE CURSOS D'ÁGUA (PANÁgua)</b>	<b>129</b>
3.2.4. Avaliação, ponderação e determinação do estado de conservação de nascentes	131
<b>3.4. CONCLUSÕES</b>	<b>137</b>
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>139</b>
<b>4. Avaliação do estado de conservação de algumas nascentes das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas-SP) e do Córrego Mineirinho (São Carlos-SP)</b>	<b>139</b>
<b>4.1. OBJETIVO DA PESQUISA</b>	<b>140</b>
<b>4.2. MATERIAIS E METODOS</b>	<b>140</b>
4.2.1. Áreas de aplicação do PANÁgua	140
4.2.2. Determinação do estado de conservação de nascentes de cursos d'água	143
4.2.2.1. Avaliação das condições ambientais em campo	144
4.2.2.2. Pesquisa de ações de conservação e recuperação desenvolvidas.	145
4.2.2.3. Avaliação das condições ambientais utilizando SIG	146
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>147</b>
4.3.1. Resultados da avaliação das condições ambientais em campo	147
4.3.1.1. Microbacia do Ribeirão do Tamanduá	147
4.3.1.2. Microbacia do córrego Mineirinho.	161
4.3.2. Resultados sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	167
4.3.3. Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)	170

4.3.4. Resultado do estado de conservação das nascentes avaliadas.	176
4.4. CONCLUSÕES	179
CAPÍTULO 5	181
5. Considerações e recomendações finais da pesquisa	181
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184
APÊNDICES	195
APÊNDICE A: LISTA DOS ARTIGOS E DOCUMENTOS SELECIONADOS	195
APÊNDICE B: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO INTEGRADA E MONITORAMENTO DE NASCENTES DE CORPOS DE ÁGUA – PANÁgua	204
APÊNDICE C: CÁLCULO DOS PESOS DE RELÊVANCIA POR MEIO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO	219
APÊNDICE D: FOTOS DA ETAPA DE APLICAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM CAMPO	228

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de impactos sobre as águas urbanas	39
Figura 2. Estrutura da dissertação: Capítulos 1 e 2	41
Figura 3. Estrutura da dissertação: Capítulos 3 e 4	42
Figura 4. Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática	46
Figura 5. Strings de busca para o objetivo A: Strings A1- A30.	51
Figura 6. Strings de busca para o objetivo A: Strings A31 – A72	51
Figura 7. Strings de busca para o objetivo B	52
Figura 8. Sínteses do processamento da RBS.	54
Figura 9. Fluxo de informações das diferentes fases de uma RBS	55
Figura 10. Pontuação dos critérios para seleção das bases de dados: Bases 1-45	56
Figura 11. Pontuação dos critérios para seleção das bases de dados: Bases 46-90	57
Figura 12. Pontuação dos critérios para seleção das bases de dados: Bases 91-137	57
Figura 13. Bases de dados potenciais para o desenvolvimento da RBS	58
Figura 14. Proporção dos trabalhos pré-aprovados frente aos resultados totais	60
Figura 15. Avaliação individual dos requisitos para a pré-aprovação	60
Figura 16. Trabalhos pré-aprovados para as <i>strings</i> : A1 - A36	61
Figura 17. Trabalhos pré-aprovados para as <i>strings</i> : A37-A72	61
Figura 18. Trabalhos pré-aprovados para as <i>strings</i> : B1 - B36	62
Figura 19. Publicações pré-aprovadas ao longo do período de estudo	63
Figura 20. Número de publicações por país	64
Figura 21. Trabalhos finais aprovados	66
Figura 22. Avaliação individual dos requisitos para aprovação final	66
Figura 23. Proporção de trabalhos pré-aprovados frente aos resultados totais	68
Figura 24. Avaliação individual dos requisitos para pré-aprovação	68
Figura 25. Proporção de trabalhos pré-aprovados frente aos resultados totais	69
Figura 26. Avaliação individual dos requisitos para pré-aprovação	69
Figura 27. Tipologias das referências levantadas	71
Figura 28. Trabalhos finais aprovados para os resultados do GS.	72
Figura 29. Trabalhos finais aprovados para os resultados do Google.	72
Figura 30. Fluxograma de contabilização dos resultados do processamento	73
Figura 31. Classificação dos parâmetros por categorias	89
Figura 32. Classificação dos indicadores por categorias	98
Figura 33. Resumo das etapas da Metodologia de Validação 3S	112
Figura 34. IVC categoria de monitoramento qualitativo e quantitativo da água	119
Figura 35. IVC categoria de características físicas e químicas do solo	120
Figura 36. IVC categoria de vegetação de entorno	121
Figura 37. IVC categoria de condições de sustentação de fauna	122
Figura 38. IVC categoria de vulnerabilidade, impactos e interferências	122
Figura 39. IVC para a categoria de ações de conservação e recuperação	123
Figura 40. IVC para monitoramento qualitativo e uso da água da nascente	126
Figura 41. IVC para condições da nascente	126

Figura 42. IVC para impactos e pressões sobre a nascente	127
Figura 43. IVC para integridade física do solo	127
Figura 44. IVC para impactos do uso e ocupação do solo entorno a nascente	127
Figura 45. IVC para ações de conservação e recuperação desenvolvidas	128
Figura 46. IVC para a categoria quantidade e densidade da vegetação ao redor da nascente	128
Figura 47. IVC para a categoria impactos do uso e ocupação do solo entorno a nascente	128
Figura 48. Localização da microbacia do Ribeirão do Tamanduá	141
Figura 49. Localização da microbacia do Córrego Mineirinho	143
Figura 50. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Ribeirão do Tamanduá (NTam_1-NTam_5)	170
Figura 51. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Ribeirão do Tamanduá (NTam_6-NTam_7)	171
Figura 52. Proporção das classes de uso e ocupação do solo para as nascentes da microbacia Ribeirão do Tamanduá	172
Figura 53. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Córrego Mineirinho	174
Figura 54. Proporção das classes de uso e ocupação do solo para as nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho	175
Figura 55. Estado de conservação para as nascentes do Ribeirão do Tamanduá	177
Figura 56. Estado de conservação para as nascentes do Córrego Mineirinho	178

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Notas pela escala de Likert para os critérios .....	48
Tabela 2. Palavras-chave para a Revisão Bibliográfica Sistemática .....	49
Tabela 3. Palavras-chave para a busca no Google e Google Scholar.....	50
Tabela 4. Requisitos para seleção preliminar dos trabalhos pesquisados.....	53
Tabela 5. Requisitos para seleção final dos trabalhos pré-aprovados .....	54
Tabela 6. Classificação dos trabalhos pré-aprovados por categorias .....	65
Tabela 7. Classificação dos trabalhos pré-aprovados por categorias .....	71
Tabela 8. Lista de parâmetros para determinação de condições ambientais de nascentes .....	81
Tabela 9. Lista de indicadores para determinação de condições ambientais de nascentes .....	90
Tabela 10. Ficha descritiva das ferramentas identificadas .....	98
Tabela 11. Critérios utilizados na auto-validação e validação científica .....	108
Tabela 12. Critérios utilizados na validação social .....	108
Tabela 13. Escala de Likert para avaliação dos parâmetros, indicadores e categorias.....	109
Tabela 14. Escala de hierarquização para a matriz de comparação no AHP.....	114
Tabela 15. Matriz de hierarquização das classes.....	114
Tabela 16. Matriz do vetor de classes .....	115
Tabela 17. Matriz do vetor de prioridades.....	115
Tabela 18. Índices aleatórios .....	116
Tabela 19. Escala de avaliação dos parâmetros.....	117
Tabela 20. IVC das categorias na auto-validação .....	117
Tabela 21. IVC das categorias na validação científica.....	118
Tabela 22. Versão preliminar resumida do PANÁgua.....	124
Tabela 23. Pesos para ponderação da validação dos parâmetros .....	132
Tabela 24. Análise comparativa entre o PANÁgua e as ferramentas e indicadores existentes.....	134
Tabela 25. Escala de avaliação dos parâmetros.....	144
Tabela 26. Palavras-chave para identificação de ações de conservação e/ou recuperação .....	146
Tabela 27. Vazão das nascentes avaliadas .....	147
Tabela 28. Resultados para NTam_1.....	148
Tabela 29. Resultados para NTam_2.....	150
Tabela 30. Resultados para NTam_3.....	152
Tabela 31. Resultados para NTam_4.....	154
Tabela 32. Resultados para NTam_5.....	156
Tabela 33. Resultados para N_Tam6.....	158
Tabela 34. Resultados para N_Tam7.....	160
Tabela 35. Resultados da nascente NMin_1.....	162
Tabela 36. Resultados da nascente NMin_2.....	165
Tabela 37. Artigos relacionados à conservação e/ou recuperação das nascentes das áreas de estudo	167
Tabela 38. Ações de conservação e recuperação das nascentes do Ribeirão do .....	168
Tabela 39. Resultados da etapa 3 do PANÁgua para as nascentes do Ribeirão do Tamanduá.....	173
Tabela 40. Resultados da etapa 3 do PANÁgua para as nascentes do Córrego Mineirinho .....	176
Tabela 41. Escala de avaliação dos parâmetros.....	206
Tabela 42. Pesos para ponderação da avaliação .....	207

## APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A proposta desta pesquisa surgiu do trabalho coletivo do orientador e o discente resultando em um processo de grande aprendizado profissional e pessoal. Destaca-se que em todo momento houve a possibilidade de expressar com liberdade os pensamentos e ideias de cada um, os quais foram respeitados e valorizados, levando ao desenvolvimento satisfatório e gratificante do trabalho.

A pesquisa tem como temática principal o estudo das condições ambientais de nascentes de cursos d'água com o objetivo de elaborar uma ferramenta de avaliação integrada e monitoramento que subsidie à gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas. Assim, para efeitos da redação desta dissertação, estabeleceu-se o uso do termo *nascentes* que se refere unicamente a *nascentes de cursos d'água*.

Esta pesquisa de mestrado foi elaborada em quatro capítulos com formato de artigos completos, que posteriormente à defesa serão otimizados e submetidos para publicação em revistas nacionais ou internacionais. Este formato tem sido bastante utilizado em Programas de Pós-Graduação em diversas áreas do conhecimento e das Ciências, ainda que existam divergentes opiniões sobre sua adoção.

Entre as suas vantagens, encontra-se a que auxilia e torna mais fácil e efetiva a publicação dos resultados mais importantes da pesquisa, uma vez que o pesquisador viabiliza a elaboração da pesquisa na estrutura de artigos científicos, evitando dessa maneira realizar um (re)trabalho ao final da redação da dissertação. Porém, um ponto desfavorável é o fato de alguns temas, conceitos, ou até mesmo procedimentos teóricos e metodológicos, ficarem semelhantes e com alguns conteúdos reiterados ao longo da descrição da pesquisa.

Neste sentido, para evitar a repetitividade de informações teóricas e conceitos que devem ser apresentados nas introduções de cada artigo, foi realizado um capítulo inicial que apresenta a descrição geral da pesquisa, contendo informações introdutórias à temática do trabalho, justificativas, questões da pesquisa, objetivos e todo o referencial teórico necessário para o embasamento e suporte de cada um dos próximos capítulos. Assim, cada um dos artigos (capítulos) está constituído por: objetivo; materiais e métodos; resultados e discussões; e conclusões. Finalmente, foi elaborado um capítulo de considerações finais onde foram identificadas e descritas as contribuições desta pesquisa para a ciência ambiental e a sociedade, assim como as perspectivas futuras e recomendações gerais (metodológicas e teóricas) para dar continuidade aos trabalhos que derivem da mesma.

## **CAPÍTULO INICIAL**

### **I. Descrição geral e embasamento teórico da pesquisa**

## I.I. INTRODUÇÃO AO TEMA DA PESQUISA

A água é uma substância vital para a sobrevivência dos seres vivos no planeta, por ter influência direta na sustentação da vida, saúde e bem-estar do ser humano, assim como na manutenção dos ecossistemas e na conservação da biodiversidade, sendo o recurso natural mais importante do qual dependem vários outros recursos (vegetais, animais e minerais) (CARPENTER; BHAWASAR; BHAT, 2018; PINTO et al., 2004).

A água como recurso hídrico possui diferentes funções no contexto socioambiental relacionadas com: o consumo e abastecimento humano; a produção nas atividades industriais e agrícolas; e a diluição e regulação para depuração de resíduos. Desta forma pode ser considerada como a fonte propulsora do desenvolvimento cultural e econômico da sociedade humana, por isso há necessidade de garantirmos sua disponibilidade permanente em quantidade e qualidade ideais que satisfaçam as nossas necessidades (CALIJURI; CUNHA, 2013; HAAS, 2010).

Embora a reciclagem da água seja prevista pelo ciclo hidrológico natural, ela pode ser considerada uma fonte finita e esgotável devido à quantidade fixa existente no planeta e à grande degradação dos ambientes aquáticos (FLOR; SOUTO, 2016). Os cálculos recentes estimam que a quantidade total de água na Terra seja de 1.386 milhões de km<sup>3</sup> aproximadamente, dos quais o 97,5% formam os oceanos e os mares e somente 2,5% corresponde a fontes de água doce. No entanto, esses 2,5% ainda compõem-se de geleiras e as calotas polares (1,7225%), águas subterrâneas (0,7475%), e finalmente a quantidade de água que encontra-se armazenada em rios e lagos corresponde ao 0,0075% da água total do planeta (GARCIA; MORENO; FERNANDES, 2015; TELLES; COSTA, 2007; TUNDISI, 2003).

O Brasil figura entre as nações com maiores disponibilidades hídricas do mundo, com um total de 8.255 km<sup>3</sup>/hab. ano, aproximadamente 13% da água doce do planeta, sendo a disponibilidade hídrica superficial em torno de 78.600m<sup>3</sup>/s e a subterrânea em torno de 14.650 m<sup>3</sup>/s) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017). A ideia de abundância sugerida por essa aparente quantidade de água disponível gerou graves problemas na gestão de recursos hídricos, em que o importante é garantir quantidade e qualidade de água para os seus usos múltiplos sem pensar no aproveitamento sustentável. Além disso, a distribuição da água no país ocorre de forma irregular entre as diferentes regiões. Segundo o relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), cerca de 80% encontra-se na região amazônica

(ANA, 2017). Esta situação indica a necessidade de propor, desenvolver e aplicar estratégias que garantam a viabilidade e o direito ao uso da água para toda a população.

A escassez de água ocorre pela falta de quantidade disponível do recurso e é intensificada pela deterioração da qualidade, sendo que em muitos países, tanto subdesenvolvidos quanto desenvolvidos, as águas superficiais e as subterrâneas estão contaminadas com esgotos industriais, agrícolas e municipais, impossibilitando a utilização de importantes mananciais (TEIXEIRA, 2016). Neste sentido, a água, por constituir-se num bem de primeira necessidade, escasso e finito, requer instrumentos e ferramentas efetivas para sua proteção e conservação, sendo um desafio para as atuais gerações o aprimoramento e o desenvolvimento de novos e melhores mecanismos para fazer a gestão integrada deste recurso (VIEIRA NETO; FASSINA; PRATTE-SANTOS, 2012).

A água utilizada para o abastecimento humano vem principalmente de corpos hídricos superficiais localizados próximos às áreas urbanas. Porém, devido as interferências antrópicas, existe um grande risco de contaminação por diferentes elementos e substâncias (metais pesados, compostos químicos, matéria orgânica, sedimentos, coliformes, elementos radioativos, entre outros), que geram uma série de impactos ecológicos sobre a fauna, a flora e inclusive podem ser causas de doenças relacionadas aos problemas de saneamento básico (FONOLLOSA et al., 2016).

Segundo a Agência Nacional de Águas (2012), a degradação dos corpos hídricos superficiais está ocorrendo, em intensidades e tempos variados, em grande parte das cidades brasileiras. Os impactos dessa degradação também têm reflexos econômicos, tais como: o aumento no custo de tratamento de água e esgoto; o aumento de custos hospitalares com internações e medicamentos para o tratamento de infecções e intoxicações; a perda de produtividade nas indústrias, principalmente agrícolas e pecuárias; a redução de valores turísticos, culturais e paisagísticos; entre outros. Assim, a poluição das fontes hídricas transcende de uma problemática ambiental, configurando-se como uma realidade complexa que envolve diferentes fatores da sociedade e, portanto, requer de soluções que integrem todos eles.

As águas subterrâneas, além de terem uma importância crucial na manutenção do ciclo hidrológico, aparecem como opção para o abastecimento humano devido a boa qualidade que geralmente apresentam, que dependerá em condições ideais, das características geológicas, hidrogeológicas e geomorfológicas do meio físico. Desta forma, consideram-se uma alternativa para atender a população, principalmente em lugares nos quais a disponibilidade de água superficial é baixa, tanto pela quantidade física do recurso quanto pela qualidade. Porém, existem algumas

limitações relacionadas às tecnologias requeridas para captação, assim como a possibilidade de poluição derivada de atividades industriais e agrícolas. Diante dessas problemáticas, surge a necessidade de estudar o comportamento hidrológico dos aquíferos e analisar suas características físicas e químicas para determinar a viabilidade e segurança de usá-los (HARINI et al., 2018; HOOGESTEGER; WESTER, 2015; SINGH; RAJU; RAMAKRISHNA, 2015).

Contudo, a proteção e a conservação dos mananciais constituem a base para a gestão da água e induzem ao melhoramento da qualidade de vida. Neste sentido, as nascentes de cursos d'água, como fontes superficiais alimentadas pelo afloramento de águas subterrâneas que dão origem aos córregos e rios, possuem uma importância relevante na permanência e manutenção dos serviços ambientais oferecidos pela água, sendo necessário garantirmos sua preservação para as gerações futuras (CALHEIROS; TABAI; BOSQUILIA, 2004).

Uma das definições mais utilizadas no campo da hidrologia para o termo nascentes é de Davis e Dewiest (1966, p. 63), que consideram que “qualquer descarga superficial de água grande o suficiente para fluir em um pequeno arroio pode ser chamada de nascente”. Esse conceito tem uma importância geomorfológica relevante já que indica a necessidade de formação de um canal à jusante da nascente, apresentando-a como o local de origem (DAVIS; DEWIEST, 1966; FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2012).

No Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) (BRASIL, 2012) apresenta-se a diferenciação entre os conceitos *nascente* e *olho d'água*, sendo a primeira definida como o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água” (BRASIL, 2012, Art. 3º, XVII) e o segundo “afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente” (BRASIL, 2012, Art. 3º, XVIII). Desta forma, a lei vigente no Brasil elimina da definição de nascentes, aquelas em que o afloramento natural do lençol freático se dá de forma intermitente e/ou efêmera, fato que mostra a confusão de termos ainda na Lei. Por outro lado, em relação a obrigatoriedade de delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) o Código estabelece o raio de 50 metros unicamente para as nascentes e olhos d'água perenes, deixando por fora as tipologias anteriormente mencionadas (nascentes intermitentes, efêmeras e olhos d'água não perenes).

No entanto, encontram-se na literatura diferentes visões de pesquisadores, que consideram os chamados *olhos de água* como um tipo específico de nascente, que acontece quando a descarga de um aquífero se concentra em uma pequena área localizada. Neste sentido, torna-se necessário

dentro da legislação ambiental brasileira proteger por meio das Áreas de Preservação Permanente (APPs) todas as nascentes e olhos d' água cujo afloramento seja natural, sem importar a tipologia e/ou a situação topográfica (CALHEIROS; TABAI; BOSQUILIA, 2004; SÃO PAULO, 2009).

Outros pesquisadores vêm estudando as nascentes a partir de um olhar mais amplo que busca entender a necessidade de fazer gestão de recursos hídricos desde uma visão holística, sendo esta a linha de pensamento adotada para o desenvolvimento da presente pesquisa. Felipe e Magalhães Junior (2009) definem a nascente como um sistema ambiental que oferta diversos serviços ecossistêmicos e está marcado por uma feição geomorfológica ou estrutura geológica em que ocorre a exfiltração<sup>2</sup> da água de modo temporário ou perene, formando canais de drenagem a jusante.

A existência de diferentes correntes de conceptualização que buscam estudar, definir e caracterizar as nascentes mostra que as ações tanto de avaliação quanto de proteção e conservação precisam integrar diferentes áreas do conhecimento, tais como: hidrologia; hidrogeologia; conservação do solo; reflorestamento; entre outras, sendo necessária a articulação destas para a proposição de estratégias multidisciplinares que tornem a gestão da água eficiente.

Neste sentido, o cuidado das nascentes e dos corpos de água não somente são atitudes que satisfazem a legislação ou propiciam a continuidade do aproveitamento das águas para as mais variadas atividades humanas, mas são, acima de tudo, ações concretas em favor da vida. Estas ações devem se desenvolver a partir do entendimento de que as interferências antrópicas sobre os recursos hídricos, dentro de uma bacia hidrográfica, dependem diretamente do estado de conservação dos outros recursos naturais e da forma em que o ser humano se desenvolve e ocupa o território (ESPOSITO et al., 2016; CALHEIROS; TABAI; BOSQUILIA, 2004).

O monitoramento da qualidade dos ecossistemas aquáticos, como as nascentes, é realizado mediante a mensuração de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Existem diversos estudos que analisam a poluição das águas de nascentes pela presença, em concentrações não adequadas, de poluentes perigosos (EMELKO et al., 2011; FRANK; GOEPPERT; GOLDSCHIEDER, 2018; MARTIN; DOWLING, 2013). Porém, quando são analisados isoladamente, estes parâmetros desqualificam a real magnitude dos impactos ambientais, ignorando aspectos ecológicos,

---

<sup>2</sup> A exfiltração da água subterrânea acontece quando os fluxos subterrâneos convergem para zonas de menor potencial hidrométrico, promovendo uma diferença de energia que resulta na saída da água à superfície (STRAHLER; STRAHLER, 2007).

geológicos, geomorfológicos, paisagísticos, sociais, culturais, dentre outros, que compõem o sistema ambiental formado pelas nascentes (GUIMARÃES; FERREIRA, 2015).

Os desafios relacionados à Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) e ao planejamento de bacias hidrográficas são tipicamente complexos e multidisciplinares, envolvendo várias incertezas inevitáveis em decisões concretas. Porém, a análise dos diferentes fatores por meio de ferramentas, podem ajudar a estruturar e caracterizar o problema, interpretar suas causas e consequências e analisar seus possíveis efeitos para selecionar com sucesso as alternativas mais adequadas que permitam prevenir e/ou mitigar os impactos ambientais e diminuir os riscos e custos associados (LAURILA-PANT et al., 2015).

Atualmente, estão sendo aplicados os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) como ferramenta para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à avaliação do entorno das nascentes, uma vez que possibilitam de forma rápida e ilustrativa a obtenção de uma grande quantidade de informações para a análise espacial, modelagem e simulação de cenários, que auxiliam os processos de tomada de decisões sobre uso e ocupação do solo, planejamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental (PINHEIRO et al., 2009).

Neste contexto, tornam-se necessários estudos que busquem avaliar, analisar, caracterizar e monitorar as nascentes de cursos d'água no intuito de garantir sua proteção, conservação e qualidade a partir de estratégias de manejo, fundamentadas na obrigatoriedade de atingir as leis existentes pelas quais o Brasil é reconhecido no mundo, mas que infelizmente não estão sendo implementadas de forma efetiva e igualitária (BARBIERI et al., 2013). A presente pesquisa se propôs a elaborar uma ferramenta para avaliação integrada de nascentes, que fornecerá dados e informações importantes sobre suas condições ambientais, considerando os diferentes aspectos que as caracterizam, com a finalidade de subsidiar os processos de tomadas de decisões relacionados à gestão de recursos hídricos e ao planejamento de bacias hidrográficas.

## **I.II. JUSTIFICATIVAS**

Uma gestão sustentável dos recursos hídricos necessita de um conjunto mínimo de instrumentos que permitam identificar, analisar e solucionar as demandas de água da população, cujos princípios partem da criação de uma base de dados e informações socialmente acessível, a definição clara dos direitos de uso da água, o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e a participação popular nos processos de tomada de decisões da política das águas (PORTO; PORTO, 2008).

A Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) estabeleceu os instrumentos para o gerenciamento dos recursos hídricos que tem a função de avaliar e analisar os sistemas de gestão, seu grau de eficácia e determinar possíveis estratégias para a mitigação dos impactos. Desta forma, a Política Nacional de Recursos Hídricos é considerada como base para a gestão da água no país. Porém, os instrumentos legais oferecidos pela política abrangem muitos fatores de forma indireta, sendo exigido o emprego de ferramentas práticas para dar solução às problemáticas e atingir as necessidades específicas de uma adequada gestão da água. No entanto, ainda persistem na maioria do país, desafios relacionados à melhoria da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, conservação das nascentes, eficiências dos sistemas de saneamento básico e planejamento ambiental nos processos de ocupação (ARAÚJO, 2016; RODRIGUES, 2005). Por isso, se faz necessário desenvolver ferramentas inovadoras e úteis que permitam analisar de forma integrada as condições ambientais das fontes de água e subsidiem a implementação de propostas para a proteção e conservação dos recursos hídricos, visando a bacia hidrográfica como um todo.

O princípio 1 da Declaração de Dublin (WHO, 1992 p.1) diz que:

Desde que a água sustenta a vida, a gestão eficaz dos recursos hídricos exige uma abordagem holística, vinculando o desenvolvimento social e econômico com a proteção dos ecossistemas naturais. Uma gestão eficaz conecta os usos da terra e da água em toda a área de uma bacia hidrográfica ou aquífero.

Essa abordagem apresenta a bacia hidrográfica como a unidade de gerenciamento onde acontece a interação dinâmica da água com o meio físico, biótico, social, econômico e cultural, e neste contexto resulta fundamental entender o papel da nascente como interconector dos ambientes aquáticos subterrâneo e superficial.

A gestão da água parte da análise em várias escalas para descrever os sistemas hidrológicos e hidrogeológicos e fornecer critérios sólidos que conduzam a proteção dos recursos hídricos. Observar e analisar os processos que ocorrem nas camadas superiores do solo ajuda a descrever a evolução dos poluentes introduzidos e, portanto, explica o efeito das pressões humanas e suas consequências sobre a qualidade das águas subterrâneas (BÖHLKE, 2002). Neste sentido, as nascentes são pontos de observação que integram a resposta dessas camadas superiores a tais pressões, funcionando como indicadores hidrogeológicos importantes, por isso, mediante seu monitoramento é possível identificar a potencial alteração dos recursos hídricos subterrâneos (KATZ; GRIFFIN; DAVIS, 2009).

As nascentes de cursos d'água são ecossistemas chaves devido à manutenção e abastecimento das próprias fontes hídricas superficiais, mas também, pelo seu papel na proteção e conservação de diferentes espécies de fauna e flora. No entanto, sua sensibilidade ante às interferências antrópicas é considerada alta, pelo fato de serem ecotónos entre ambientes aquáticos e terrestres, que compartilham tanto as características quanto as vulnerabilidades de ambos. Além disso, as nascentes encontram-se parcialmente isoladas, devido ao seu tamanho e sua distribuição irregular dentro das bacias hidrográficas, fato que bloqueia a conectividade entre elas (BOHRER et al., 2015a). Esses aspectos, considerando a alta dinâmica de supressão de nascentes causada pela expansão urbana e os impactos ambientais que dela se derivam, indicam a necessidade de protegê-las e conservá-las, tendo como base para esse objetivo o adequado monitoramento e a avaliação integrada (CONTI; HANAI; MENEZES, 2014).

A avaliação da qualidade das fontes de água superficial, geralmente associa-se à mensuração de parâmetros físico-químicos e microbiológicos que determinam a potabilidade, sendo o Índice de Qualidade da Água – IQA (ANA, 1975), o indicador mais utilizado no Brasil para este fim. No entanto, a avaliação das nascentes como sistema ambiental não pode estar limitada à determinação exclusiva desses parâmetros, pois nesse sentido, entende-se a água como um recurso destinado unicamente à satisfação das necessidades humanas. Desta forma, a avaliação ambiental de nascentes por meio de índices como o IQA desqualifica o real estado de conservação, desconsidera as funções ecológicas, ambientais e sociais das nascentes e coloca em risco a gestão adequada da água como um todo.

Alguns indicadores e protocolos foram desenvolvidos ou adaptados com a finalidade de estudar e determinar as condições ambientais de nascentes além da qualidade da água, mas

possuem pouca especificidade e estão baseadas em avaliações macroscópicas que caem na subjetividade. Esses tipos de ferramentas consideram aspectos relacionados à vegetação, paisagem e aos impactos antrópicos mais comuns e visíveis como a presença de resíduos sólidos e a erosão. Dentre estes, encontram-se o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (TORRES, 2016a) e os Protocolos de Avaliação Rápida de Rios adaptados a nascentes e veredas (GUIMARÃES; RODRIGUES; MALAFAIA, 2017; GUIMARÃES; FERREIRA, 2015). Apesar de essas ferramentas denotarem uma preocupação pelo estudo da nascente além da água, carecem de rigor e resultam em avaliações pouco conclusivas que não mostram as causas reais nem permitem tomar decisões certas. Por isso, a continuidade e aprimoramento do processo de elaboração de ferramentas para avaliação integrada das condições ambientais de nascentes, que considerem sua complexidade, fragilidade e importância e incorporem um monitoramento abrangente, completo e contínuo será chave para a seleção de estratégias de conservação, manejo, gestão e/o recuperação. (MOFOR; NJOYIM; MVONDO-ZÉ, 2017; SOUZA; REIS; SÁ, 2014).

### **I.III. CONCEPÇÃO E QUESTÕES DA PESQUISA**

A ideia e a concepção desta pesquisa originam-se a partir da participação e colaboração pontual no projeto de pesquisa: “Gestão Integrada e Sustentável da Água em Bacias Hidrográficas (GISABH): possíveis aplicações de abordagens e ferramentas para UGRHI Tietê-Jacaré”, desenvolvido pela doutora Monise Terra Cerezini no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, sob a orientação do Professor Frederico Yuri Hanai. Por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática, percebeu-se a escassez e a fragilidade das ferramentas e instrumentos existentes para avaliação integrada dos recursos hídricos. A partir desse momento e conhecendo o papel fundamental das nascentes na gestão de recursos hídricos e no planejamento de bacias hidrográficas, aprofundou-se a revisão da literatura neste tema específico, identificando a necessidade de elaborar e propor uma ferramenta para avaliação integrada das áreas de nascentes, com a finalidade de auxiliar e aprimorar o processo de tomada de decisões sobre a gestão da água.

O estudo, revisão e análise prévia da temática permitiram estabelecer as seguintes questões norteadoras da presente pesquisa:

- Existem atualmente indicadores, parâmetros e/ou ferramentas que permitam avaliar de forma holística e integrada as áreas de entorno das nascentes de Cursos d'água, reconhecendo a importância destes ecossistemas para a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas?
- A partir do panorama estudado, se faz necessário elaborar e propor uma ferramenta para avaliação integrada e monitoramento de áreas de entorno de nascentes que auxilie à gestão dos recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas?
- A ferramenta desenvolvida é de grande utilidade e aplicabilidade e pode ser utilizada por profissionais da área ambiental, para avaliar e monitorar nascentes de Cursos d'água com características diferentes, integrando métodos robustos que possuem rigor científico?

#### **I.IV. OBJETIVOS DA PESQUISA**

##### **I.IV.I Objetivo geral da pesquisa**

A presente pesquisa teve como objetivo investigar, identificar e analisar parâmetros, indicadores e ferramentas relacionadas ao monitoramento de nascentes de cursos de água, para propor uma ferramenta de avaliação integrada de suas condições ambientais, visando subsidiar a Gestão Integrada de Recursos Hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

##### **I.IV.II Objetivos específicos**

- Identificar e analisar a literatura existente sobre a temática de nascentes para determinar os enfoques que direcionam esses estudos;
- Identificar, analisar e selecionar parâmetros, indicadores, ferramentas e/ou instrumentos propostos ou já aplicados, por meio do estudo da literatura relacionada a avaliação, conservação, monitoramento, gestão e uso de nascentes;
- Elaborar e validar um Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) que funcione como ferramenta para Gestão Integrada de Recursos Hídricos e planejamento de bacias hidrográficas;

- iv. Aplicar o PANÁgua em algumas nascentes das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas, São Paulo) e do córrego urbano Mineirinho (São Carlos, São Paulo) podendo-se avaliar, comparar e relacionar os estados de conservação calculados e às características particulares de cada microbacia.

#### **I.V. REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico do trabalho apresenta-se por meio dos seguintes tópicos principais:

##### **I.V.I. Problemática da concepção do termo nascentes**

As definições imprecisas do termo “nascentes de cursos de água” têm se convertido em uma discussão importante entre o grêmio de pesquisadores, devido às interpretações subjetivas que fazem emergir incoerências e lacunas, prejudicando o avanço das ciências e inclusive, influenciando os processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos.

O uso de um mesmo termo associado a percepções e interpretações diferentes em âmbitos múltiplos que abarcam o coloquialismo, o regionalismo e discussões técnico-científicas constitui-se como um grande desafio, pois quando todos os envolvidos não consideram a correspondência dos mesmos atributos a um conceito, surgem divergências no entendimento e interpretação deste, dificultando a contribuição, aplicação e/ou execução de ações para aquele tema específico (QUEIROZ, 2015).

A literatura acadêmica nacional e internacional pouco discute o conceito de nascente, partindo-se do pressuposto que se trata de algo simples e óbvio, sendo que na realidade apresentam-se grandes confusões, inclusive entre o grupo de pesquisadores que as estudam. Por este motivo, a maioria dos estudos relacionados à temática de nascentes se centram na caracterização físico-química e microbiológica da água que exfiltra, no monitoramento e no estudo da sua dinâmica, sem mesmo precisar de uma definição concreta (FELIPPE, 2009).

As temáticas ambientais caracterizam-se por serem abordadas desde a perspectiva da inter e multidisciplinariedade e os estudos sobre nascentes não são a exceção. Porém, o desenvolvimento deste conceito não acompanha esta abordagem, resultando na criação de uma série de interpretações isoladas que funcionam apenas para o campo do conhecimento em que cada pesquisador se insere. De tal forma, que os focos entre as diferentes áreas envolvidas nos estudos,

como a geologia, geomorfologia, biologia, ecologia, hidrologia e hidrogeologia, são distintos entre si, tornando o que poderia ser uma vantagem de interconexão científica em divergências conceituais que geram imprecisão (FELIPPE, 2009, 2013).

A importância da concretização do conceito de nascentes está relacionada à sua utilização no contexto técnico-científico, principalmente pela existência de legislações ambientais que o abordam e que estabelecem um conjunto de penalidades legais sobre quem as infrinja. Neste sentido, a justa fiscalização sobre o alcance dessas normas estipuladas dependerá diretamente da clareza com a qual o conceito seja tratado, sendo que a aplicação de termos mesclados no âmbito legal, resulta num problema que transcende do conceitual para o prático. Contudo, a comunidade científica, como promotora do conhecimento na sociedade, carrega a responsabilidade de auxiliar a construção, comunicação e divulgação deste conceito, a partir das diferentes áreas envolvidas (QUEIROZ, 2015).

Por fim, outro fator que dificulta a uniformização conceitual e o levantamento de referentes bibliográficos internacionais sobre a temática de nascentes é a não correspondência do termo em outros idiomas. Na literatura de língua inglesa, o termo equivalente para nascente é *spring* ou *spring fed*, que possui dois significados diferentes na tradução para o português: o primeiro e mais comum é primavera (estação do ano) e o segundo *nascente* ou *fonte*. Em espanhol, utiliza-se *manantial*, *nacederalos* ou *nacimientos*, que são termos igualmente ambíguos. Em francês, *source d'eau* significa fonte de água e no alemão e italiano os termos utilizados – respectivamente *quelle* e *fonte* – correspondem a fonte em português. Portanto, somente na língua portuguesa é possível diferenciar conceitualmente o termo *nascente* que descreve o nascimento, origem, surgimento ou aparecimento da água na superfície terrestre. Este fato, faz com que sejam fragmentadas e isoladas as pesquisas e estudos desenvolvidos por pesquisadores em diferentes regiões do mundo, dificultando o compartilhamento de experiências científicas (FELIPPE, 2009; QUEIROZ, 2015).

Desta forma, para o desenvolvimento de pesquisas sobre esta temática que contribuam realmente na Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) e planejamento de bacias hidrográficas, desde uma perspectiva integrada e holística, se faz necessária uma ampla revisão conceitual sobre a temática de nascentes a partir das diferentes abordagens existentes, possibilitando a discussão para o fortalecimento e consolidação do conceito.

#### I.V.II. Principais conceitos e classificações de nascentes

O conceito simples e popular de nascente define-se no Dicionário Priberam da Língua Portuguesa (2013) como o ponto onde começa a corrente de água. Ao utilizar a palavra ponto, assume-se que a nascente terá uma posição (em coordenadas latitudinais e longitudinais) no espaço geográfico, fato equivocado já que podem ocupar espaços medidos em unidades quadradas, representando áreas que variam de acordo com o tipo de nascente.

No âmbito científico aparece o conceito de Fitts (2002), que define a nascente como o local onde a água subterrânea aflora sobre a superfície do solo, trazendo dois aspectos relevantes: a palavra *local* sinônimo de *lugar* ou *sítio*, mesmo de forma abstrata, implica a existência de uma área ou espaço (FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2013), por outro lado a palavra *aflorar* indica a interceptação do aquífero pela a superfície do terreno, acontecendo a migração da água subterrânea para água superficial, por meio da nascente.

Em hidrologia e hidrogeologia, um dos conceitos clássicos mais comuns é do Davis e Wiest (1966, p. 63), que considera que “toda descarga superficial natural da água grande o suficiente para formar um pequeno arroio pode ser chamada de nascente”. Esta definição continua sendo utilizada atualmente, com algumas adaptações, por exemplo Bonacci e Andrić (2015, p.2) conceituam-lhe como “a descarga natural e concentrada de água subterrânea com velocidade suficientemente alta para manter o fluxo na superfície”. Ambos conceitos coincidem na necessidade de se manter o fluxo, formando um canal a jusante da nascente, sendo esta característica um atributo do conceito que permaneceu constante ao longo dos anos. Porém, Bonacci e Andrić (2015) reconhecem a existência de diferentes tipos de fluxo, citando que as nascentes podem ser perenes ou intermitentes; eles ainda relacionam este último tipo à dependência do fluxo com a estação do ano.

Calheiros; Tabai e Bosquilia (2004) localizam as nascentes dentro do ciclo hidrológico, ressaltando o importante papel que tem em serem elementos que por suas características geomorfológicas permitem de forma natural a interação das águas subterrâneas armazenadas no lençol freático e as águas superficiais. Assim, as nascentes podem se formar em encostas ou depressões do terreno ou ainda no nível de base do próprio curso de água sendo possível diferenciar quatro tipos em função da topografia e da posição do aquífero: 1. Nascentes ordinárias, fixas ou de afloramento, são formadas por aquíferos que se encontram no limite de uma camada permeável que repousa sobre uma camada impermeável; 2. Nascentes de vales, são formadas por aquíferos, cortados em seu trajeto pelo talvegue de um vale; 3. Nascentes em repuxo ou artesianas, aparecem

na superfície graças a diferenças de pressão hidrostáticas; e por último voclusianas ou torrenciais, que aparecem em regiões cársticas, constituindo um fenômeno de ressurgência (GUERRA;GUERRA, 2009; QUEIROZ, 2015).

Outra forma de classificação das nascentes é de acordo a sua formação, podendo ser divididas em dois tipos principais: os Olhos de água (ou nascentes sem acúmulo inicial) são comuns quando o afloramento ocorre em terrenos com alta declividade, surgindo em um único local em decorrência da inclinação da camada impermeável ser menor que a da encosta; já as nascentes difusas acontecem se a interceptação do lençol freático com a superfície do terreno resulta em um escoamento espraiado sobre uma área originando afloramento dispersos mediante um grande número de pequenas nascentes espalhadas por todo o terreno (CALHEIROS; TABAI; BOSQUILIA, 2004). Além destes tipos, ainda relacionados à formação, porém mais especificamente à natureza do aquífero, encontram-se as nascentes de fratura ou de fissura, nascente tubular ou de caverna, nascente secundária, nascente termal, nascente de depressão, nascente de contato, nascentes de barreira, paleonascentes e nascentes submersas (GUERRA;GUERRA, 2009; QUEIROZ, 2015).

No âmbito legal brasileiro a Lei Federal 12.651/2012, define a nascente como o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso de água” (BRASIL, 2012; Art. 3º, XVII). A lei, ainda diferencia o conceito de olho d’água definindo-o como “afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente” (BRASIL, 2012; Art. 3º, XVIII). Por estarem na legislação, esses conceitos consideram-se oficiais e serão aplicados na práxis ambiental brasileira, como em projetos de licenciamento e estudos de impacto ambiental. Sendo que esta segregação de termos discorda da literatura científica, torna-se mais complexa a proteção e conservação das nascentes, principalmente em ambientes semiáridos, onde os fluxos (subterrâneos e superficiais) são comumente temporários.

Na literatura científica nacional e internacional, o conceito de nascente se compõe a partir de diferentes atributos ou características que dependem da formação acadêmica de cada pesquisador, por isso, resulta necessário estabelecer a abordagem seguida em cada pesquisa. Nesta pesquisa, as nascentes são consideradas elementos do ambiente natural configuradas a partir de um conjunto de processos que envolvem desde a dinâmica hidrogeológica até aspectos geomorfológicos, climatológicos, ecológicos e antropogênicos da paisagem, funcionando como um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea acontece espontaneamente de modo

temporário ou perene, formando um pequeno córrego à jusante que irá contribuir para o volume de água de outro curso hídrico. Neste sentido as nascentes compõem parcialmente a oferta hídrica da bacia hidrográfica e portanto, sua supressão, além de desequilibrar o ecossistema e a biodiversidade, pode influenciar a disponibilidade hídrica e ocasionar conflitos de gestão (CALHEIROS; TABAI; BOSQUILIA, 2004; FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2013; MOFOR; NJOYIM; MVONDO-ZÉ, 2017).

#### I.V.III. Importância da Revisão Bibliográfica na pesquisa

A ciência considera-se uma atividade social e cooperativa que resulta na construção do conhecimento científico a partir de um processo cumulativo de experiências e ideias diversas, dentro da qual a revisão da literatura aparece como um passo inicial e necessário para seu desenvolvimento satisfatório, permitindo o levantamento da informação existente que dá suporte e rigor às pesquisas. Desta forma, a revisão bibliográfica permite identificar quais lacunas continuam presentes no estado da arte de temas específicos, direcionado as pesquisas de maneira eficiente e evitando a repetitividade (BIOLCHINI et al., 2005).

O desenvolvimento de uma pesquisa requer o estabelecimento de limites que orientem os próprios objetivos. Esta delimitação se faz por meio do estudo prévio de ideias, pensamentos, conceitos e teorias existentes que justificam a abordagem particular adotada. Desta forma, consegue-se criar uma base sólida que permita o aprimoramento do conhecimento, seguindo o princípio de dinamismo que deve caracterizar a ciência (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Segundo Levy e Ellis (2006), para que a revisão bibliográfica seja efetiva, esta deve sintetizar e analisar informações plasmadas em literatura de qualidade, fornecendo fundamentos sólidos para o tema da pesquisa, assim como para a seleção e desenvolvimento da metodologia e demonstrar que a pesquisa proposta é inovadora ou contribui para o avanço do conhecimento científico do tema específico. Por isso, denota-se a importância de conduzir a revisão com rigor e de forma sistemática. Assim, a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) aparece como uma metodologia de pesquisa, que tem como fim encontrar, analisar e avaliar a maior quantidade possível de referentes bibliográficos de qualidade relacionados a um tema ou fenômeno de interesse, para construir o embasamento teórico desde uma perspectiva científica e estruturada (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

#### I.V.IV. Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

Os problemas relacionados à água estão se tornando cada vez mais interconectados e interligados com outras questões relacionadas ao desenvolvimento, incorporando assuntos de caráter social, econômico, ambiental, legal e político, em nível local e nacional, e às vezes até em níveis internacionais. Por isso, os Sistemas de Gerenciamento dos Recursos Hídricos da maioria dos países não dependem de uma única instituição, que embora lhe sejam conferidos recursos financeiros e autoridade, precisará trabalhar junto a órgãos de diferentes setores (BISWAS, 2001).

Segundo o Banco Asiático de Desenvolvimento (2007) a tendência atual mostra que este cenário continua a se tornar cada vez mais complexo, e que as indústrias (agrícola, transporte, energia, comunicação, entre outros) e os órgãos de setores sociais como a educação, saúde e desenvolvimento rural, precisaram se interligar para buscar soluções ao que anteriormente foi visto como um problema do meio ambiente, mas que em realidade está se posicionando como um dos maiores desafios do século XXI: a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

A GIRH é definida pela Parceria Mundial pela Água - Global Water Partnership (GWP), como “um processo que promove o desenvolvimento e gestão coordenada da água, solo e recursos relacionados a fim de maximizar o bem-estar econômico e social de forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais” (GWP, 2000, p.22). Este conceito, foi criticado por alguns autores por ser considerado inutilizável e inviável e por estar escrito com palavras modernas e politicamente corretas que deixam grande espaço para interpretações subjetivas. Porém é um dos mais frequentemente encontrados na literatura atual e que permite, de certa forma, visionar os objetivos reais da gestão da água: o bem-estar e a boa qualidade de vida da população (BISWAS, 2004, 2008).

Reconhecendo a necessidade de aprimoramento para a futura operacionalização deste conceito, Biswas (2008) propôs a seguinte lista de assuntos necessários a se integrar para que a GIRH se posicione como abordagem universal para solucionar os problemas de gestão da água. Assim, é preciso integrar:

- A eficiência econômica, redistribuição de renda, qualidade ambiental e bem-estar social;
- Abastecimento e demanda de água;
- Água superficial e subterrânea;
- Quantidade e qualidade da água;

- Água e recursos relacionados ao solo;
- Diferentes tipos de usos da água: doméstico, industrial, agrícola, navegacional, geração recreativa, ambiental e hidrelétrica;
- Rios, aquíferos, estuários e águas costeiras;
- Água, o ambiente e os ecossistemas;
- Abastecimento de água e coleta, tratamento e lançamento de esgoto;
- Assuntos urbanos e rurais da água;
- Irrigação e drenagem;
- Água e saúde;
- Macro, meso e microprojetos e programas relacionados a água;
- Instituições ligadas a água no nível nacional, regional, municipal e local;
- Setores público e privado;
- Governo e ONGs;
- Tempo de liberação de água dos reservatórios para atender às necessidades domésticas, industriais, agrícolas, navegacionais, ambientais e de geração de energia hidrelétrica;
- Todos os marcos legais e regulatórios relacionados à água, não apenas do setor de recursos hídricos, mas também de outros setores que têm implicações diretas neste;
- Todos os instrumentos econômicos que podem ser usados para o gerenciamento da água;
- Questões e interesses a montante e a jusante;
- Interesses de todas as partes;
- Assuntos regionais, nacionais e internacionais;
- Projetos, programas e políticas da água;
- Políticas de todos os diferentes setores que têm implicações relacionadas à água, tanto em termos de quantidade e qualidade, quanto de forma direta e indireta (os setores incluem agricultura, indústria, energia, transporte, saúde, meio ambiente, educação, gênero, etc.);
- Rios estaduais, interestaduais e internacionais;
- Abordagens ascendente e descendente;
- Centralização e descentralização;
- Atividades aquáticas nacionais, estaduais e municipais;
- Políticas hídricas nacionais e internacionais;

- Tempos de liberação de água para as hidrelétricas municipais, agrícolas, de navegação, usos recreativos e ambientais da água;
- Impactos climáticos, físicos, biológicos, humanos e ambientais;
- Todos os grupos sociais, ricos e pobres;
- Beneficiários dos projetos e aqueles que pagam os custos;
- Prestadores de serviços e beneficiários;
- Gerações presentes e futuras;
- Necessidades e interesses nacionais dos doadores;
- Poluição da água, poluição do ar e descarte de resíduos sólidos, especialmente nas obras hidráulicas;
- Várias questões relacionadas ao gênero;
- Tecnologias presentes e futuras;
- Desenvolvimento da água e desenvolvimento regional; e
- Qualquer número de formulações e combinações das anteriores.

A lista anterior denota o grande desafio da sociedade e da ciência para tornar a abordagem da GIRH uma solução factível e operacional para os problemas da gestão da água no Brasil e no mundo inteiro. Desta forma, precisa-se entender que para que este processo verdadeiramente aconteça não existirá uma única forma ou metodologia, pelo contrário será necessária a proposição de ferramentas ou instrumentos, desde diferentes perspectivas e áreas do conhecimento, atingindo os assuntos anteriormente listados de forma individual, para vislumbrar uma solução global que integre processos de planejamento, coordenação e controle.

#### I.V.V. Instrumentos, ferramentas e indicadores para gestão de recursos hídricos no Brasil

A gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92, como resultado de um esforço político que iniciou desde 1934 com a expedição do Código das Águas (Decreto N°24.643) (BRASIL,1934) e se consolidou com a Constituição Federal de 1988, a qual reparte o domínio das águas entre a União e os estados (BRASIL, 1988; PORTO; PORTO, 2008).

Em 1997, foi sancionada pelo Presidente da República a Lei 9.433 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), dotando o Brasil de diretrizes e instrumentos para garantir a gestão das águas desde uma abordagem integrada e compartilhada pelos diferentes setores, considerando todos os aspectos, físicos, bióticos, sociais, econômicos e culturais (COUCEIRO; HAMADA, 2011). A PNRH definiu a água como um recurso natural, limitado, de domínio público, dotado de valor econômico e preconizou o uso múltiplo das águas determinando que, em casos de escassez, a prioridade será para o consumo humano e dessedentação de animais. No entanto, para efeitos da gestão prática da água como recurso, os fundamentos mais importantes foram a definição da bacia hidrográfica como a unidade territorial para o gerenciamento dos recursos hídricos e a descentralização dessa gestão por meio da participação do poder público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

A PNRH tem como objetivos: assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos; e o incentivo ao aproveitamento de águas pluviais. Para atingir esses objetivos, foram estabelecidos 5 instrumentos que podem ser classificados como instrumentos de planejamento e instrumento de controle administrativo (GRANZIERA, 2003). Dentre os instrumentos de planejamento, estão: os Planos de Recursos Hídricos; o Enquadramento dos Cursos de Água em classes segundo os usos; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Por outro lado, os instrumentos de controle administrativo correspondem à outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e à cobrança pelo uso de recursos hídricos (BRASIL, 1997; BURITI; BARBOSA, 2014).

Teoricamente, esses instrumentos oferecem os mecanismos para o planejamento e controle da gestão da água a partir de uma visão integrada, que requer a participação de todos os segmentos sociais interessados nas negociações e resolução de conflitos pelo uso dos recursos hídricos (WOLKMER; PIMMEL, 2013). No entanto, 21 anos após a expedição da PNRH, evidencia-se que os cenários de conflito permanecem e se complicam mais a cada dia, demonstrando insuficiência para abranger todos os fatores envolvidos no gerenciamento dos recursos hídricos, por isso existe a necessidade de utilizar e/ou desenvolver ferramentas que auxiliem esse processo.

De acordo com a Lei 9.433, as decisões sobre a gestão e uso dos recursos hídricos em todo o país são tomadas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas – CBH, que são órgãos colegiados descentralizados, organizados por bacias e compostos por representantes do governo, municípios,

usuários da água e sociedade civil (CORRÊA; PAULA, 2018). Porém, não sempre os representantes que participam desse processo têm a devida formação ou conhecimento para exercer essa função, fato que indiretamente afeta a tomada de decisões. Por esse motivo, as universidades, por meio dos grupos de pesquisa que trabalham a gestão de bacias hidrográficas, recursos hídricos e sustentabilidade, têm se dedicado a diagnosticar, avaliar e estudar o funcionamento dos CBH, propondo, a partir dessas análises, novos instrumentos, ferramentas ou indicadores que viabilizem a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Dentre as possíveis causas da falta de aplicabilidade e efetividade dos instrumentos estabelecidos na PNRH para gerenciar de forma eficiente os recursos hídricos, Dictoro e Hanai (2015) citam: a necessidade da própria implementação dos instrumentos; o desconhecimento das populações locais sobre sua existência; a dificuldade em entender o funcionamento e a forma de aplicação; a pouca participação dos setores envolvidos nesse processo; e a divergência de opiniões quanto à relevância de cada um dos instrumentos para a efetiva gestão. Desta forma, é possível inferir que há necessidade de melhorar a aplicabilidade e praticidade dos instrumentos, pensando em ferramentas ou indicadores para a solução de conflitos e/ou situações específicas, com o objetivo de facilitar o processo de obtenção de informações, reduzindo a complexidade na coleta de dados verídicos e confiáveis, que poderão, após esse processo, ser analisados de forma conjunta e integrada, visando à gestão da bacia hidrográfica como um todo.

As ferramentas ou instrumentos para gestão da água são mecanismos, técnicas ou metodologias, que podem ser específicas ou gerais, elaboradas para prevenir, corrigir, monitorar ou melhorar situações ocasionadas por conflitos de uso e/ou interesses contrários à sustentabilidade dos recursos hídricos, as quais devem ser aplicadas, a priori, considerando as características e a dinâmica ambiental, social, econômica e cultural de cada região (LÓPEZ, 2015). Já os indicadores podem ser considerados métodos de obtenção de informações simplificadas da realidade, que integram, no mínimo, duas variáveis primárias, sendo que, ao fornecer dados que servem como suporte à decisão, eles atuam também, como uma ferramenta de gestão de recursos hídricos (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

Contudo, as nascentes de cursos d'água, inseridas no ciclo hidrológico e, portanto, na gestão de recursos hídricos e da bacia hidrográfica, são sistemas ambientais que precisam de ferramentas ou indicadores específicos para analisar suas condições ambientais a partir dos diferentes fatores que as constituem, visando sua avaliação, preservação ou recuperação. Isto está baseado na Lei

12.651 de 25 de Maio de 2012 (Código Florestal brasileiro), no art. 4º, parágrafo IV, que estabelece um raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de Área de Preservação Permanente (APP) ao redor das nascentes e olhos de água perenes, cuja função é proteger a bacia hidrográfica contribuinte (BRASIL, 2012).

O mapeamento de APPs (e a análise da sua distribuição espacial) tem sido uma ferramenta muito implementada para o diagnóstico ambiental de bacias hidrográficas, principalmente após a expedição do Código Florestal brasileiro aprovado em 2012, que segundo Oliveira e Francisco (2018, p.576), “contém alterações que acarretaram na redução drástica da extensão das APP”. Desta forma, trabalhos como: Antunes; Coura; Fernandes (2016); Ferraz; Lago; Bargas (2017); Guerrero; Lollo; Lorandi (2016) e Haas et al., (2018), têm se preocupado em aplicar esta ferramenta com o objetivo de mostrar os conflitos de uso existentes e a necessidade desenvolver projetos que visem à preservação e em alguns casos à recuperação destas áreas. Porém, a análise espacial da vegetação de entorno às nascentes não fornece as informações suficientes para determinar o estado de conservação, pois desconsidera a existência de outros aspectos ambientais (solo, água, geomorfologia) e está limitada pela escala de detalhamento, assim requerem-se formas de análise mais completas, envolvendo os diferentes componentes da nascente como sistema ambiental e reduzindo a subjetividade no processo de tomada de decisões.

Outra técnica de geoprocessamento amplamente implementada na análise de impactos ambientais de origem antrópico que afetam os recursos hídricos, e particularmente as nascentes, é o mapeamento do uso e ocupação do solo que fornece a base para desenvolver estudos de fragilidade ambiental, identificação de riscos socioambientais e avaliação da vulnerabilidade, utilizando as características de diferentes atributos físicos e correlacionando-as com a dinâmica da sua distribuição geográfica. Entre as técnicas de análise da cobertura da terra, a hemerobia apresenta-se como técnica que determina o grau de mudança e a intensidade da modificação da paisagem, considerando a classe natural e seminatural como a vegetação não modificada ou levemente modificada, dessa forma indica o nível de antropização dos ecossistemas. A hemerobia oferece uma escala para avaliação por meio da análise de imagens de satélites e pode ser aplicada utilizando como base o mapa de uso e ocupação do solo (BELEM; NUCCI, 2011).

#### I.V.VI. Ocupação urbana e supressão de nascentes

O crescimento populacional acelerado em cidades de países em desenvolvimento, que levou à expansão urbana, constitui um dos principais desafios do planejamento, devido aos impactos ambientais, sociais, econômicos e culturais que afetam de diversas formas o bem-estar das pessoas (HE et al., 2008). Embora esse processo de crescimento tenha se dado de forma natural, o incentivo desproporcional à industrialização atraiu a população do campo para a cidade, sem oferecer as garantias necessárias para uma boa qualidade de vida e ocasionando um desequilíbrio social, econômico e ambiental concentrado nas áreas urbanas (ZHAO et al., 2010).

O planejamento urbano e ambiental coloca-se como método para garantir melhoria das condições de vida da população, já que reconhece o ser humano como ser social que precisa da interação com outros seres e com o meio ambiente no qual se devolve (TUCCI, 2008). Esse processo é responsabilidade do Poder Público, que deve fornecer, manter e controlar os espaços e infraestrutura urbana, atendendo às diversas demandas sociais por meio da priorização do investimento e das boas práticas de administração dos recursos financeiros. Assim, a água, como bem de domínio público que ocupa e interage com a população nos espaços urbanos, aparece como um dos principais e mais controversos temas a serem discutidos no planejamento urbano, que para ser desenvolvido satisfatoriamente, precisa se interligar à gestão integrada de bacias hidrográficas (ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; SILVA, 2006).

Os impactos sobre as águas urbanas, em geral, ficam atrelados ao forte adensamento urbano, às questões climáticas e às práticas inconsequentes da população. Segundo Santos; Rufino e Barros Filho (2017) essas alterações podem ser resumidas em quatro tipos, apresentados na Figura 1.

Figura 1. Tipos de impactos sobre as águas urbanas

<b>Impactos sobre a drenagem urbana</b>	<b>Perda de cobertura vegetal</b>	<b>Disposição inadequada de resíduos sólidos</b>	<b>Escassez e diminuição da qualidade dos recursos hídricos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• A sobrecarga no sistema é causada pela impermeabilização do solo e a diminuição da infiltração.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A pavimentação impermeabiliza o solo e diminui a infiltração da água, consequentemente a velocidade de escoamento aumenta, causando erosão nas margens dos rios.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• O descarte de elementos poluentes ou não no sistema de drenagem (canais, bueiros, bocas de lobo, etc.) ocasionam transbordamentos em períodos de chuva.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A poluição gera impactos diretos sobre o ciclo hidrológico e altera as possibilidades de uso do recurso hídrico, podendo levar inclusive à escassez.</li></ul>

Fonte: Adaptado de Santos; Rufino e Barros Filho (2017)

No Brasil, a categoria de impactos mais presente na realidade atual e que pode ser considerada a mais difícil de gerenciar é a escassez e a diminuição da qualidade dos recursos hídricos, a qual impacta diretamente na saúde e qualidade de vida da população. Dentro desta categoria, situa-se a supressão de nascentes, devido ao papel fundamental que desempenham na manutenção do ciclo hidrológico e das funções ecossistêmicas da água e que tem sido alterado como consequência de conflitos de uso e ocupação do solo, envolvendo principalmente a urbanização e as atividades agrícolas e pecuárias (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010a).

Os múltiplos impactos antrópicos sobre as nascentes de cursos d'água são responsáveis pela deterioração da qualidade ambiental de bacias hidrográficas, extremamente importantes no território brasileiro. Conforme indicam os estudos desenvolvidos por Conti; Hanai e Menezes (2014); Silva et al., (2016); Paranhos Filho et al., (2005) e Vilar et al., (2009), em várias cidades as nascentes encontram-se degradadas, apresentando poluição química e microbiológica derivada da disposição inadequada de resíduos sólidos, lançamentos clandestinos de esgoto doméstico e industrial, remoção da cobertura vegetal nativa, erosão, assoreamento, entre outros impactos. Ainda estes autores manifestam que os problemas de degradação ambiental carecem de ações mitigatórias suficientes para gerar o equilíbrio entre os avanços antrópicos e a qualidade ambiental das bacias, havendo a necessidade de uma interação entre os órgãos dos diferentes setores para melhor gerenciamento dos recursos hídricos, assim como maior fomento de ações de sensibilização e educação ambiental.

## **I.VI. ESTRUTURAÇÃO METODOLÓGICA DA DISSERTAÇÃO**

A estrutura metodológica desta pesquisa ilustra-se nas Figuras 2 e 3, situando a configuração dos capítulos que compõem a dissertação.

Figura 2. Estrutura da dissertação: Capítulos 1 e 2

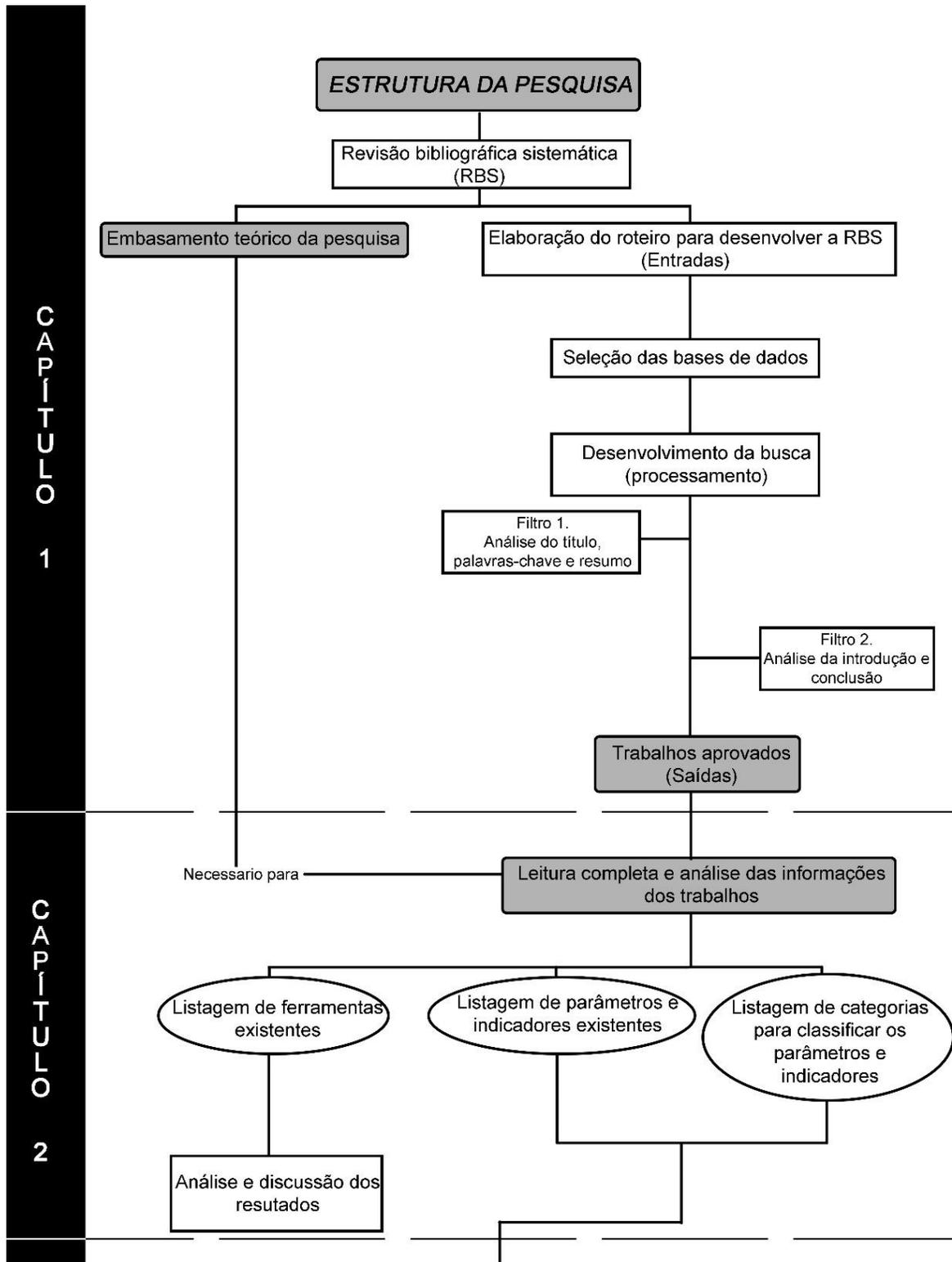
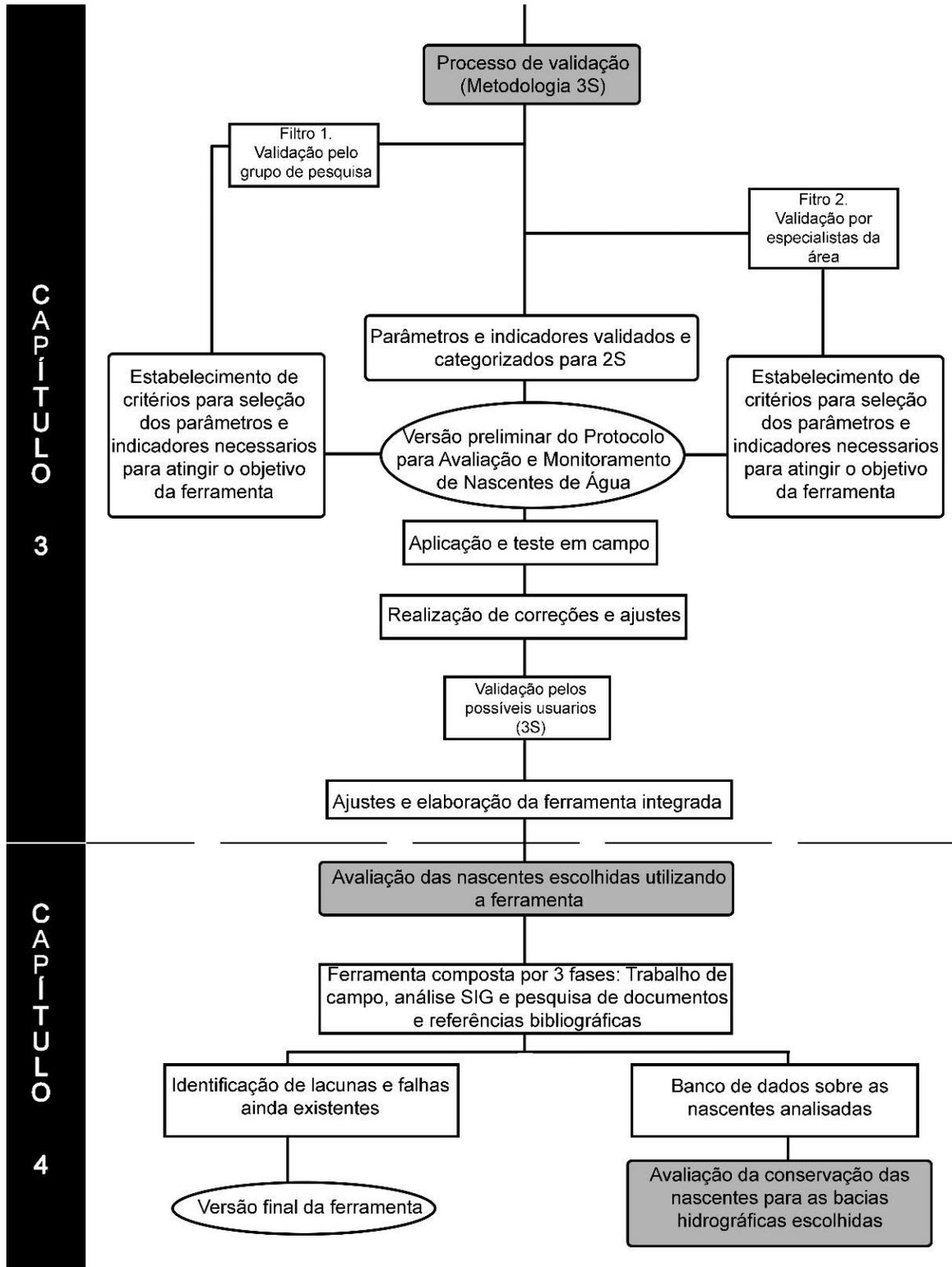


Figura 3. Estrutura da dissertação: Capítulos 3 e 4



O capítulo 1 apresenta quantitativa e qualitativamente as referências bibliográficas existentes relacionadas à temática de nascentes de cursos d'água, que foram levantadas por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e selecionadas aplicando os procedimentos definidos em um roteiro previamente elaborado para o desenvolvimento desta RBS.

O capítulo 2 consistiu na identificação de parâmetros, indicadores e/ou ferramentas que têm sido propostos ou já aplicados na literatura levantada sobre nascentes e que subsidiam a determinação das suas condições ambientais. Como resultado foi obtida uma lista destes parâmetros, indicadores e ferramentas, que foram analisados, descritos e categorizados.

No capítulo 3 os parâmetros e indicadores previamente identificados foram submetidos a um processo de validação. Este processo, consistiu em uma avaliação realizada pelo grupo de pesquisa, e posteriormente, por especialistas da área, de acordo com critérios previamente estabelecidos. Dessa forma, foi possível escolher os parâmetros e indicadores que subsidiariam a elaboração do Protocolo para Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água. Ainda esse protocolo, foi verificado por meio de uma aplicação em campo e validado novamente consultando aos possíveis usuários, levando a proposta final da ferramenta.

Por fim, o capítulo 4 consistiu na aplicação do Protocolo para Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) para determinar e comparar o estado de conservação de algumas nascentes da microbacia do Ribeirão do Tamanduá localizada entre os municípios de Itirapina e Brotas no estado de São Paulo e da microbacia do córrego urbano Mineirinho (São Carlos, São Paulo). Todas as microbacias avaliadas pertencem à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê-Jacaré (UGRHI 13).

## **CAPÍTULO 1**

### **1. Levantamento de referências bibliográficas sobre nascentes de Cursos d'água: identificação e análise das principais abordagens atualmente trabalhadas**

## **1.1. OBJETIVO DA PESQUISA**

Este capítulo teve como objetivo identificar e analisar a informação disponível na literatura relacionada à temática de nascentes de cursos d'água, por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) que permitiu selecionar artigos e documentos e classificá-los por categorias de acordo aos diferentes enfoques e abordagens que atualmente direcionam as pesquisas sobre esse assunto, determinando as necessidades de aprimoramento científico.

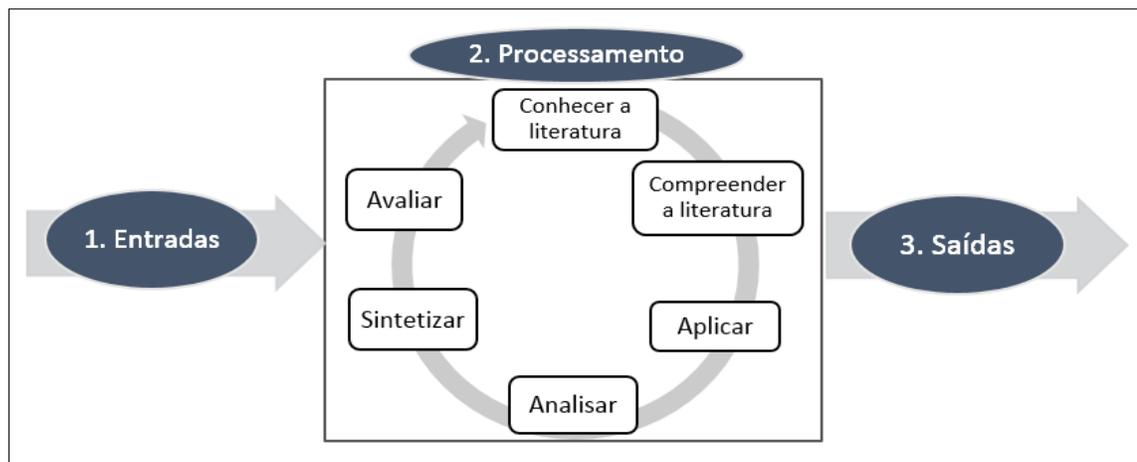
## **1.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia utilizada para a busca e seleção dos estudos relacionados à temática de nascentes de cursos d'água foi a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) por meio da qual se identificaram, descreveram, e analisaram de forma simplificada e organizada, os referentes bibliográficos encontrados. Segundo Conforto; Amaral e Silva (2011), esta metodologia possui caráter exploratório, pois permite a descoberta de intuições e pensamentos que enriquecem e sustentam as novas teorias. No entanto, para que os resultados sejam satisfatórios e representem um avanço no conhecimento científico, deve-se conduzir de forma estruturada e rigorosa.

Sampaio e Mancini (2007) afirmam que a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é uma metodologia que disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação, sendo de grande importância para sua eficiência definir corretamente as palavras-chave, campos, modos de busca, limites dos resultados, periódicos, entre outros dados preliminares. Assim, a partir da realização da RBS foi possível analisar a informação existente sobre a temática de nascentes, permitindo identificar e categorizar artigos e documentos.

A Revisão Bibliográfica Sistemática foi desenvolvida considerando as três etapas propostas por Biolchini et al. (2005); Conforto; Amaral e Silva (2011); Kitchenham et al. (2009); Levy e Ellis (2006), que correspondem a: i) entradas ou planejamento da RBS; ii) processamento ou execução da pesquisa; e iii) saídas ou resultados esperados. Estas etapas conformam o sistema Entrada-Processamento-Saída em que se baseia a RBS, cuja função é garantir que os dados coletados sejam coerentes com os objetivos iniciais da revisão. A Figura 4 ilustra esse sistema.

Figura 4. Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática



Fonte: Levy e Ellis (2006) *apud* Castillo (2018)

As entradas constituem-se como a base para a busca das informações, sendo importante defini-las claramente considerando que em qualquer abordagem sistemática, se a entrada do sistema for planejada de forma incorreta os resultados serão ineficazes, afetando o rigor científico da pesquisa e a coleta de dados verdadeiramente relevantes à temática consultada (BUDGEN; BRERETON, 2006; LEVY; ELLIS, 2006). Nesta seção definem-se os objetivos de busca e a metodologia de execução da RBS, que inclui a descrição do problema, as perguntas que esperam-se responder por meio da revisão, a forma de seleção das bases de dados, as estratégias de busca e os critérios para seleção e análise dos estudos. A segunda etapa é o processamento, que consiste na execução em si da pesquisa, quando são coletadas todas as informações para seu estudo, compreensão, aplicação, análise, compilação e avaliação. Finalmente as saídas representam a síntese dos resultados da pesquisa, em forma de relatórios, dados, tabelas ou gráficos, dependendo a temática e o estilo de preferência dos pesquisadores (CASTILLO, 2018).

Contudo, foi elaborado um protocolo guia para o desenvolvimento da RBS, definido e descrevendo cada uma das etapas da seguinte forma:

#### 1.2.1. Entradas da Revisão Bibliográfica Sistemática

As entradas constituem o planejamento da RBS e estão compostas pelos objetivos da busca, a descrição do problema, as questões orientadoras, a metodologia para seleção das bases de dados, busca complementar e as estratégias de busca específicas para a temáticas de nascentes. A seguir, apresentam-se cada um destes componentes.

#### 1.2.1.1. Objetivos específicos da busca

A Revisão Bibliográfica Sistemática foi desenvolvida com os seguintes objetivos específicos:

- a. Realizar um levantamento de trabalhos científicos e informações de diferentes tipologias sobre a temática de nascentes, por meio dos quais, sejam propostos, aplicados ou modificados indicadores, ferramentas ou instrumentos para sua avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso;
- b. Identificar as principais abordagens das produções científicas nos últimos dez anos sobre a temática de nascentes, realizando uma classificação por categorias das informações levantadas.

#### 1.2.1.2. Descrição do problema

A necessidade da Revisão Bibliográfica Sistemática sobre a temática de nascentes deve-se à ausência de conhecimento sobre o que precisa ser verdadeiramente considerado para avaliar, planejar e gerenciar a água, assim como, a pouca clareza das ferramentas e instrumentos estabelecidos para a realização desta tarefa.

Segundo Guimarães e Ferreira (2015), a avaliação da qualidade das fontes de água, como as nascentes, geralmente associa-se à mensuração de parâmetros físico-químicos e biológicos que são de importância relevante na determinação das características ambientais dos corpos hídricos, porém, este enfoque desconsidera outros fatores ecológicos e ambientais, e inclusive sociais, econômicos e culturais, que precisam ser estudados para a adequada gestão de recursos hídricos.

Por isso, por meio da RBS pretende-se identificar estudos com enfoques diversos sobre a avaliação, conservação, monitoramento, gestão e uso de nascentes de cursos d'água que não só apresentem o panorama geral sobre as publicações relacionadas a esta temática, mas também proponham ou apliquem indicadores, ferramentas e/ou instrumentos que viabilizem o desenvolvimento desses processos.

#### 1.2.1.3. Perguntas orientadoras

As perguntas que pretendem ser respondidas por meio da RBS são:

- i. Quais aspectos relacionados à temática de nascentes estão sendo pesquisados atualmente?
- ii. Quais abordagens direcionam as pesquisas sobre nascentes atualmente desenvolvidas?

- iii. Quais indicadores, ferramentas ou instrumentos propõem os estudos científicos para avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes?
- iv. As pesquisas identificadas a partir da RBS, consideram-se acertadas e suficientes para subsidiar o processo de tomada de decisões sobre a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) e o planejamento de bacias hidrográficas?

#### 1.2.1.4. Metodologia para seleção das bases de dados

Para a seleção das bases de dados foi utilizado o portal de periódicos da CAPES ingressando por meio da Comunidade Federada Acadêmica (CAFe), que permite o acesso remoto ao conteúdo assinado do Portal de Periódicos disponível para as instituições aderidas a este serviço, como a Universidade Federal de São Carlos, onde foi desenvolvida esta pesquisa.

Desta forma, foram testadas as 137 bases de dados disponíveis até fevereiro de 2018, correspondentes à área de conhecimento multidisciplinar na subcategoria Ciências Ambientais. O teste consistiu na realização de uma busca simples em periódicos, durante o período 2008 – 2018, utilizando a palavra-chave *water spring assessment* que traduz *avaliação de nascentes de água* no português. Por último, cada base de dados foi avaliada pela escala ordinal Likert apresentada na Tabela 1, que mede relações de ordem dadas por pontuações no intervalo 1-4 (PEREIRA, 1999), de acordo com os critérios: número de resultados e relação do título com a temática da pesquisa. Desta forma, foram selecionadas as bases de dados consideradas mais relevantes para pesquisas bibliográficas sobre a temática de nascentes.

Tabela 1. Notas pela escala de Likert para os critérios

Número de resultados	Relação do título à temática	Nota pela escala de Likert
0 – 20	Os títulos dos artigos não indicam relação à temática de nascentes	1
21 – 40	Os títulos dos artigos indicam pouca relação à temática de nascentes	2
41 – 60	Os títulos dos artigos indicam muita relação à temática de nascentes, porém não explicitamente	3
> 60	Os títulos dos artigos indicam muita relação citando explicitamente à temática de nascentes	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 1.2.1.5. Estratégias de busca

A Revisão Bibliográfica Sistemática foi feita por meio da ferramenta de busca avançada disponível na plataforma da base de dados. A seguir, definem-se as estratégias de busca para execução da RBS.

- Idioma: as palavras-chave foram colocadas em inglês, porém a base de dados proporcionou, por meio de uma ferramenta de filtro, a possibilidade de realizar a busca nos idiomas inglês, português e espanhol.
- Período: a busca foi desenvolvida para um período de 10 anos (2008 – 2018).
- Número de campos: a RBS foi desenvolvida utilizando no máximo três campos unidos pelo operador lógico “AND” e até nove campos unidos pelo operador lógico “NOT”.
- Tipo de busca: para a RBS, o tipo de busca selecionado foi o *abstract*. Assim, os resultados em cada caso dependeram da ocorrência das palavras-chaves no resumo do artigo.
- Tipo de documento ou de publicação: foram considerados todos os tipos (revistas, jornais, livros, documentos de fontes primárias e relatórios educacionais).
- Definição das palavras-chave para a RBS: a definição das palavras chaves foi realizada de acordo aos objetivos da busca (item 1.2.1.1), indicando qual palavra-chave deveria ser colocada em cada campo de busca. Desta forma foram classificados em dois grupos: o grupo A (objetivo a) relacionado à busca de indicadores, ferramentas e/ou instrumentos para avaliação, conservação, monitoramento, gestão e uso de nascentes de cursos d’água; e o grupo B (objetivo b) direcionado à pesquisa de critérios e aspectos relevantes para determinar as condições ambientais de nascentes de cursos d’água. A Tabela 2 apresenta as palavras-chave para o desenvolvimento da RBS.

Tabela 2<sup>3</sup>. Palavras-chave para a Revisão Bibliográfica Sistemática

Campo 1 da base de dados		Campo 2 da base de dados	Campo 3 da base de dados
Grupo A	Grupo B		
Indicators	Aspects	Assessment	Springs
Tools	Criterion	Evaluation	Water Springs
Instruments		Conservation	Spring-fed
Protocol		Management	
		Monitoring	
		Use	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

<sup>3</sup> Algumas palavras-chave foram utilizadas em plural, porém como a busca foi realizada no *abstract* dos artigos, isto não teve repercussões significativas nos resultados.

### 1.2.1.6. Busca complementar no Google e Google Scholar

Com a finalidade de pesquisar referências bibliográficas em fontes de informações científicas e não científicas de escala nacional, foram utilizados os buscadores Google e Google Scholar, utilizando palavras chaves escritas em português e delimitando a análise às primeiras 30 ocorrências dos últimos 10 anos, de acordo com a metodologia proposta por CEREZINI; ROSSO; HANAI (2017). O uso do Google foi necessário devido à importância de incorporar na pesquisa documentos não científicos, como notícias, páginas web, relatórios, apostilhas, entre outros, que tratassem assuntos relacionados à temática, inclusive apresentando ferramentas ou instrumentos para avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes de cursos d'água. Já o Google Scholar permitiu a busca de trabalhos científicos (completos ou resumos) desenvolvidos principalmente no Brasil, que foram publicados em plataformas de universidades, revistas científicas ou anais de eventos científicos nacionais. O levantamento bibliográfico nos buscadores foi tão importante quanto a RBS na base de dados, devido ao aporte de informações em escala nacional, que permitiram identificar as principais abordagens por meio das quais a comunidade acadêmica brasileira trabalha esta temática.

A busca complementar foi realizada para um período de 10 anos, sendo necessário, em caso do Google, excluir manualmente os trabalhos publicados em anos anteriores devido à impossibilidade de filtrar no próprio buscador. Além disso, utilizaram-se palavras-chave na língua portuguesa (ver Tabela 3), a fim de encontrar trabalhos desenvolvidos principalmente no Brasil.

Tabela 3. Palavras-chave para a busca no Google e Google Scholar.

<b>Grupo A</b>	<b>Grupo B</b>
Indicadores nascentes	Aspectos nascentes
Indicadores nascentes de água	Aspectos nascentes de água
Ferramentas nascentes	Critérios nascentes
Ferramentas nascentes de água	Critérios nascentes de água
Instrumentos nascentes	
Instrumentos nascentes de água	
Índices nascentes	
Índices nascentes de água	
Protocolo nascentes	
Protocolo nascentes de água	
Uso nascentes	
Uso nascentes de água	

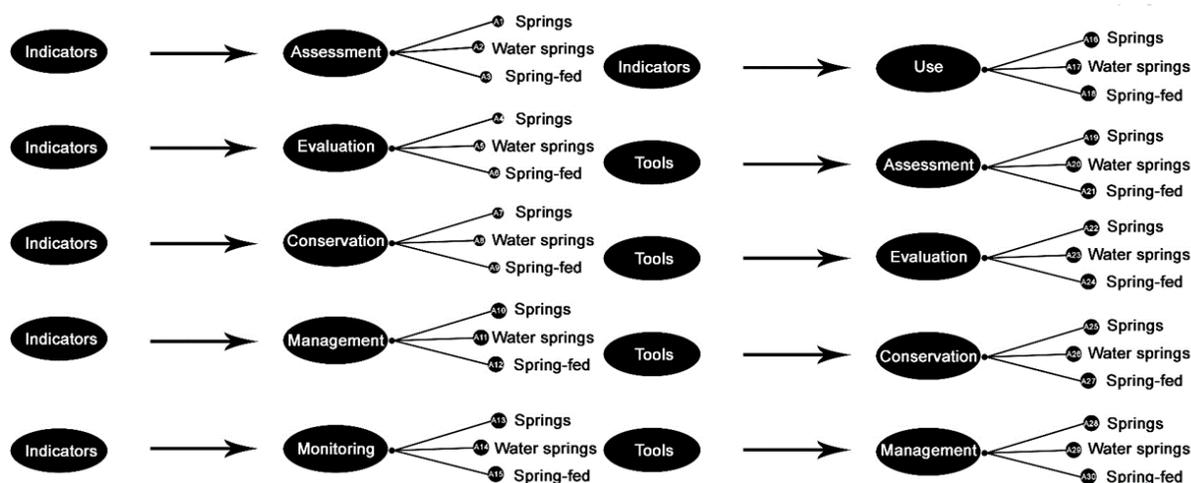
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

## 1.2.2. Processamento da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e busca complementar

### 1.2.2.1. *Strings*<sup>4</sup> de busca para a RBS

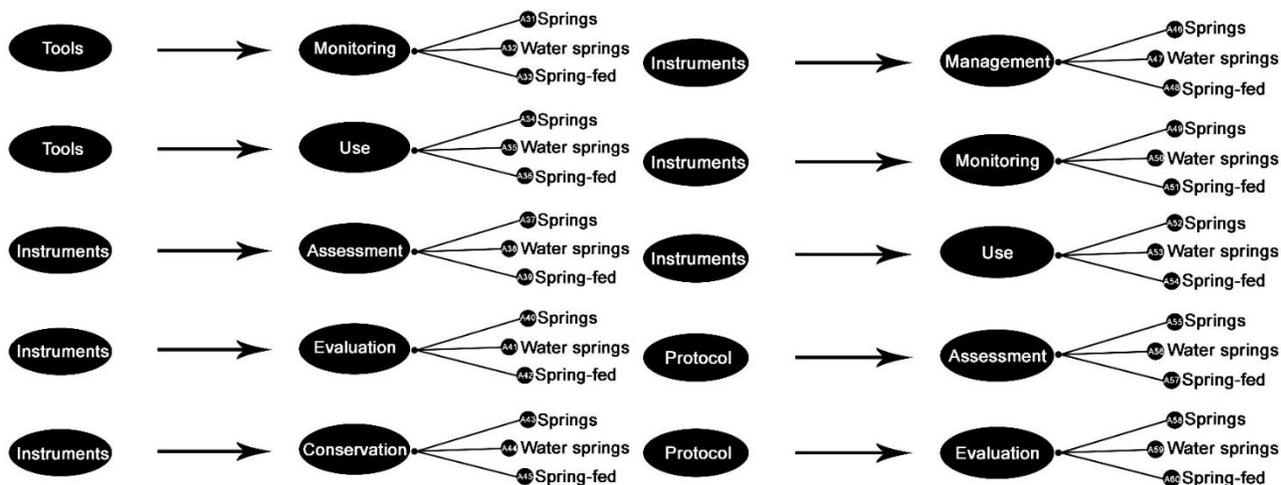
A definição das strings esteve condicionada às opções de busca oferecidas pela base de dados escolhida. Foram realizadas combinações entre as palavras-chave definidas na Tabela 1, como se mostram nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5. Strings de busca para o objetivo A: Strings A1- A30.



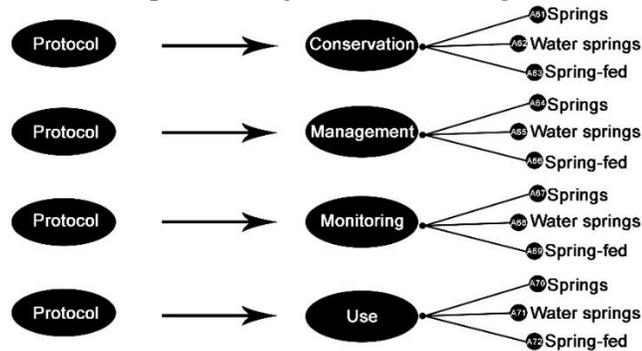
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 6. Strings de busca para o objetivo A: Strings A31 – A72



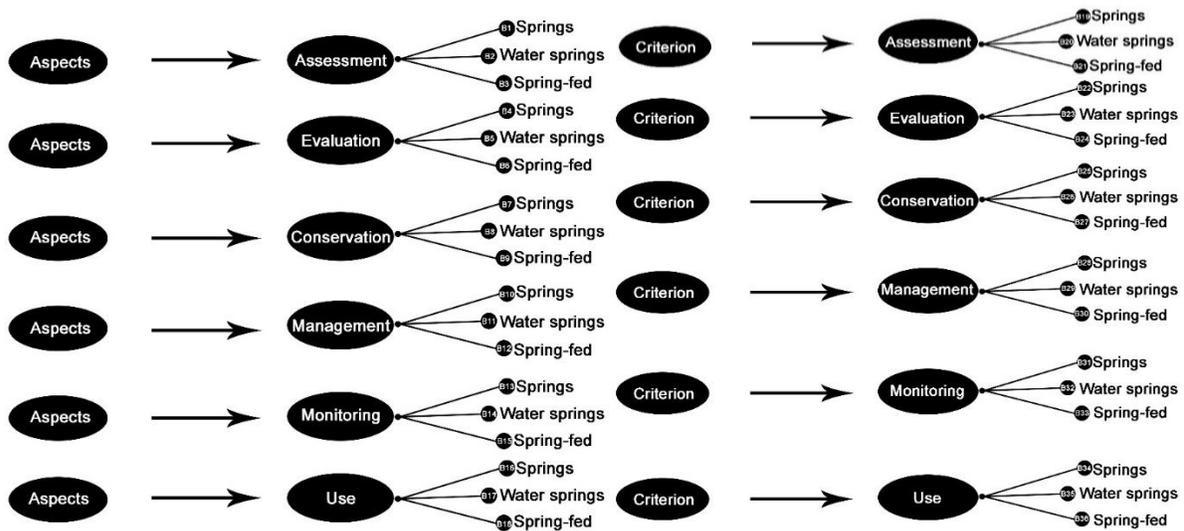
<sup>4</sup> As *strings* ou expressões de busca são definidas a partir da identificação das palavras-chave e termos referentes ao tema da pesquisa, utilizando operadores lógicos comumente implementados em buscas avançadas (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Figura 6. Strings de busca para o objetivo A: Strings A31-A72 (continuação)



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 7. Strings de busca para o objetivo B



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### 1.2.2.2. Utilização do operador lógico *NOT* para a execução da RBS

A palavra *springs* na língua inglesa possui diversos significados diferentes ao conceito de nascentes que interessa à pesquisa. Esse fato ocasionou um problema no processamento da RBS, pois alguns dos trabalhos resultantes não estavam relacionados à temática de nascentes. Por isso, foram desenvolvidos vários testes para identificar e elaborar nove palavras-chave (número máximo permitido pela base de dados), que permitissem eliminar resultados incoerentes com o tema da pesquisa. Para realizar essa função, foi utilizado o operador lógico *NOT*. As palavras selecionadas estão listadas a seguir:

- A palavra estação e as estações do ano: *Season, Summer, Autumn, Winter*, devido a um dos significados da palavra *Spring* no inglês, que significa primavera.
- As palavras milho, trigo e cevada: *Maize, Wheat, Barley*, devido à existência de tipos de cultivo com nomes como *Maize Spring, Wheat Spring, Barley Spring*.
- A palavra medicina: *Medicine e Medical*, devido à existência de estudos sobre doenças relacionadas às estações do ano.

#### 1.2.2.3. Análise preliminar do título, palavras-chave e resumo dos trabalhos encontrados

A primeira condição para a seleção inicial dos artigos foi a verificação do acesso ao arquivo completo em formato PDF, sendo este um critério eliminatório. Após isso, foram avaliados os requisitos apresentados na Tabela 4 que funcionaram como Filtro 1 para a seleção das referências, obtendo-se uma lista de trabalhos pré-aprovados. Por ser o primeiro Filtro (preliminar), estes requisitos não incluíram a visão de avaliação integrada da nascente como sistema ambiental, sendo aceitos artigos com enfoques mais simplistas ou específicos para avaliação de somente uma condição ambiental.

Tabela 4. Requisitos para seleção preliminar dos trabalhos pesquisados

Requisito 1	Requisito 2	Requisito 3
O título, resumo ou palavras-chave indicam que o trabalho se refere à avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes?	O título, resumo ou palavras-chave indicam a proposição ou aplicação de indicadores, ferramentas e/ou instrumentos para avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes?	O objetivo do trabalho, definido no resumo, tem como foco a avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes?

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### 1.2.2.4. Análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados

A introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados foram estudadas considerando os requisitos da Tabela 5. Esta segunda análise (Filtro 2) permitiu obter uma lista de artigos e documentos em que são estudados e discutidos os principais aspectos e critérios para determinar as condições ambientais de nascentes, e, propostos ou aplicados vários indicadores, ferramentas e/ou instrumentos para este mesmo fim. Neste caso os requisitos para o Filtro 2 foram elaborados considerando a visão ampliada da nascente como sistema ambiental, sendo necessário para a aprovação dos artigos a identificação de abordagens ou enfoques relacionados à avaliação integrada.

Tabela 5. Requisitos para seleção final dos trabalhos pré-aprovados

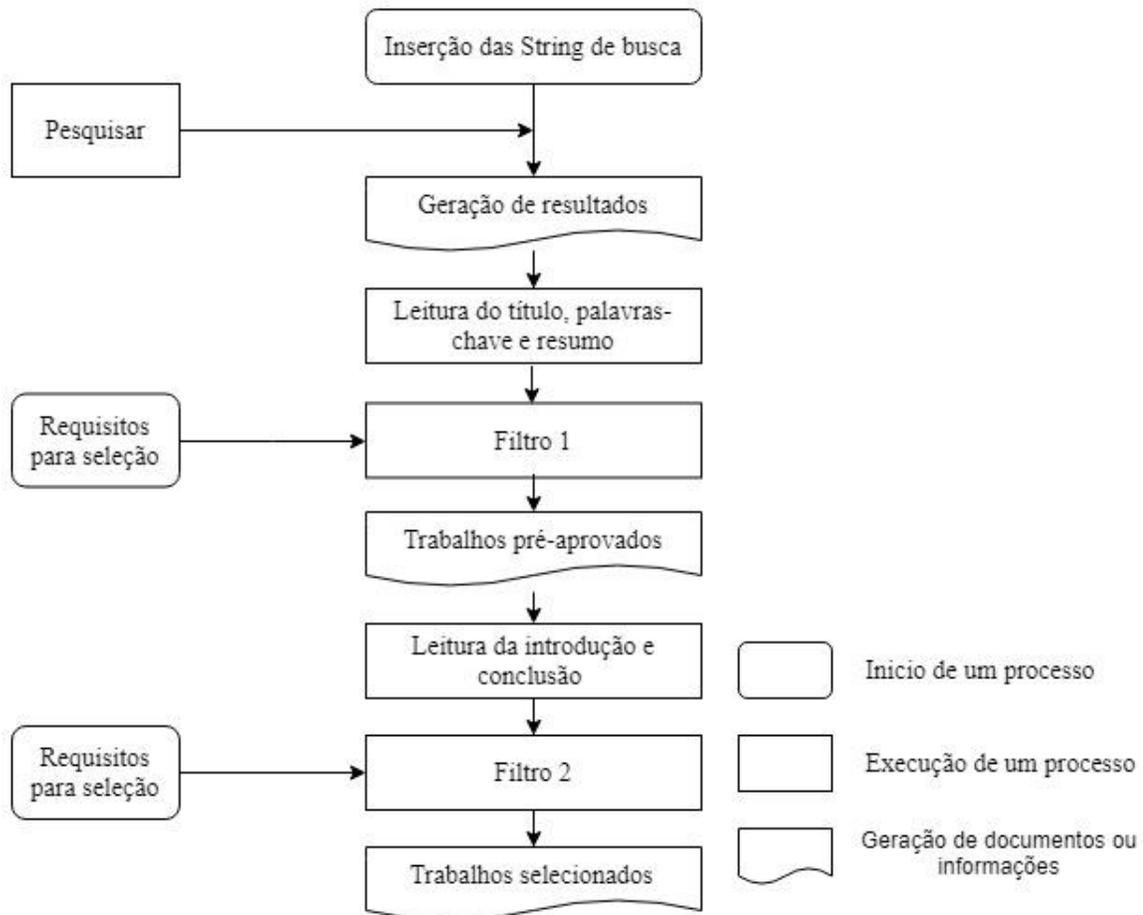
Requisito 1	Requisito 2	Requisito 3
O trabalho apresenta uma ferramenta, instrumento ou indicador, para avaliação integrada, conservação, monitoramento, gestão integrada e/ou uso sustentável de nascentes?	Na introdução do estudo apresentam-se informações teóricas e um objetivo relacionado à avaliação integrada, conservação, monitoramento, gestão integrada e/ou uso sustentável de nascentes?	As conclusões mostram processos metodológicos e resultados relevantes para avaliação integrada, conservação, monitoramento, gestão integrada e/ou uso sustentável de nascentes?

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### 1.2.2.5. Sínteses do processamento

O processamento da RBS descrito anteriormente, se sintetiza e ilustra por meio da seguinte figura:

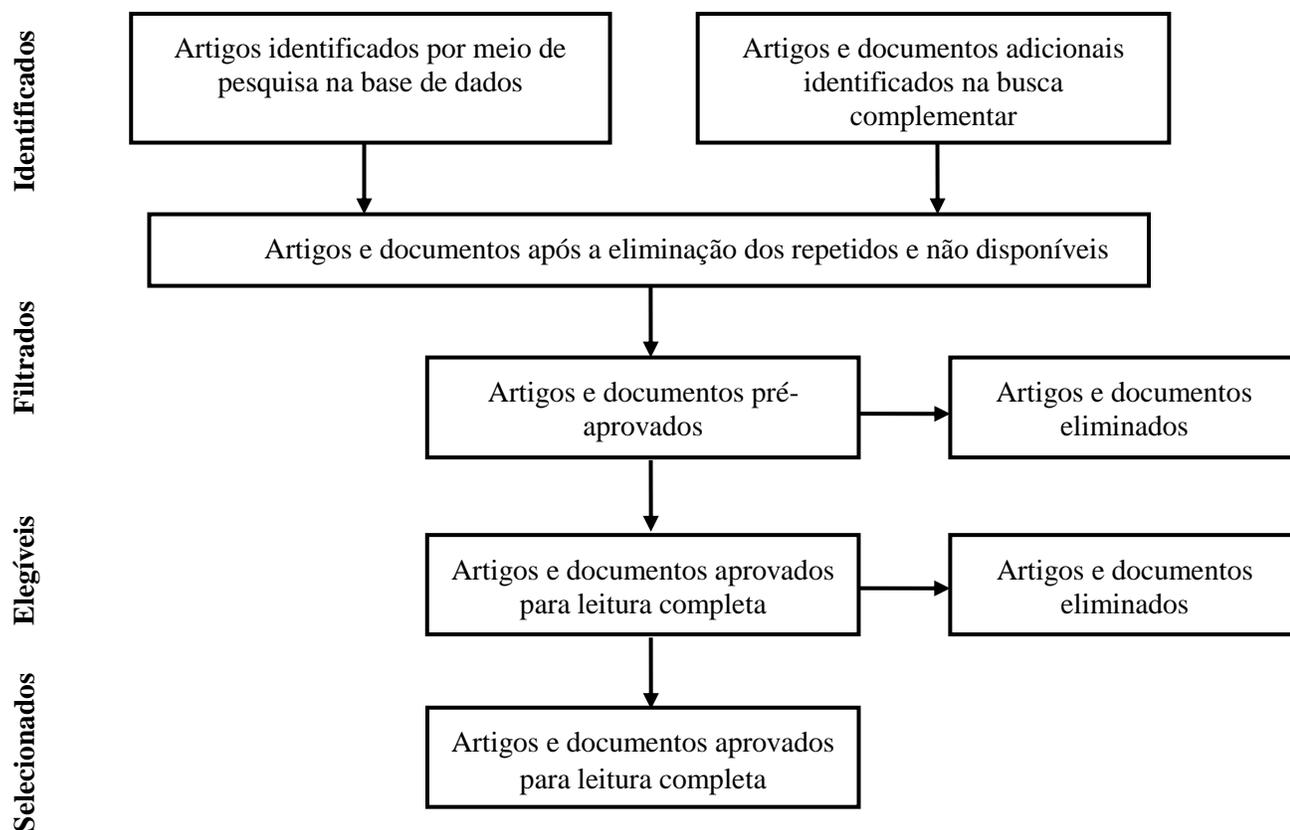
Figura 8. Sínteses do processamento da RBS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Para a quantificação de cada etapa do processamento, foi utilizado o diagrama de fluxo de quatro etapas (Figura 9) adotado da metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* PRISMA proposta por Moher et al. (2009). Esta metodologia tem sido amplamente utilizada no desenvolvimento de RBS para diferentes temáticas.

Figura 9. Fluxo de informações das diferentes fases de uma RBS



Fonte: Adaptado de Moher et al. (2009)

#### 1.2.2.6. Formulação das categorias e classificação dos artigos e documentos finais.

Utilizando como base as análises feitas no processamento da RBS, foram elaboradas categorias para classificação dos trabalhos selecionados. Essas categorias foram propostas à medida que os artigos se analisaram. Esta etapa permitiu identificar e agrupar as principais abordagens que atualmente direcionam as pesquisas sobre nascentes, determinado as necessidades faltantes de produção de conhecimento científico para esta temática.

### 1.2.3. Resultados da RBS (saídas)

Como saída da RBS obteve-se uma lista de artigos e documentos selecionados no processo, os quais foram classificados por categorias de acordo seu enfoque. Para a organização desta informação foi utilizado o software de gestão de referências Mendeley Desktop recomendado por Conforto; Amaral e Silva (2011), e o Excel® 2016 para elaboração das tabelas compilatórias.

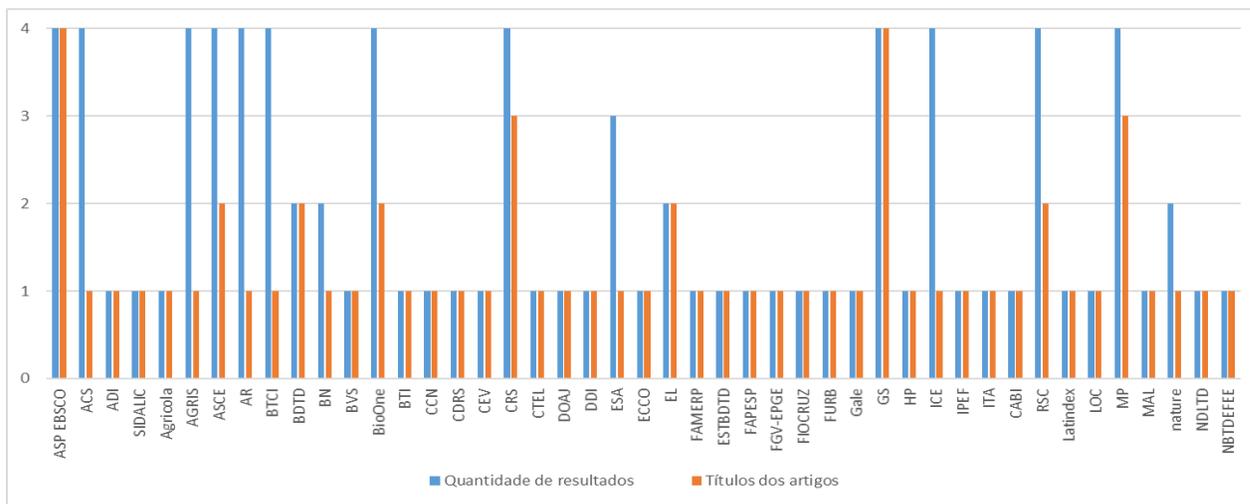
## 1.3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, descrevem-se e discutem-se os resultados a partir de três etapas: a seleção das bases de dados para o desenvolvimento da RBS; a análise preliminar do título, palavras-chave e resumo (Filtro 1); e finalmente, a análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados (Filtro 2). Desta forma, elaborou-se a lista de artigos e documentos sobre a temática de nascentes de cursos d'água.

### 1.3.1. Seleção das bases de dados

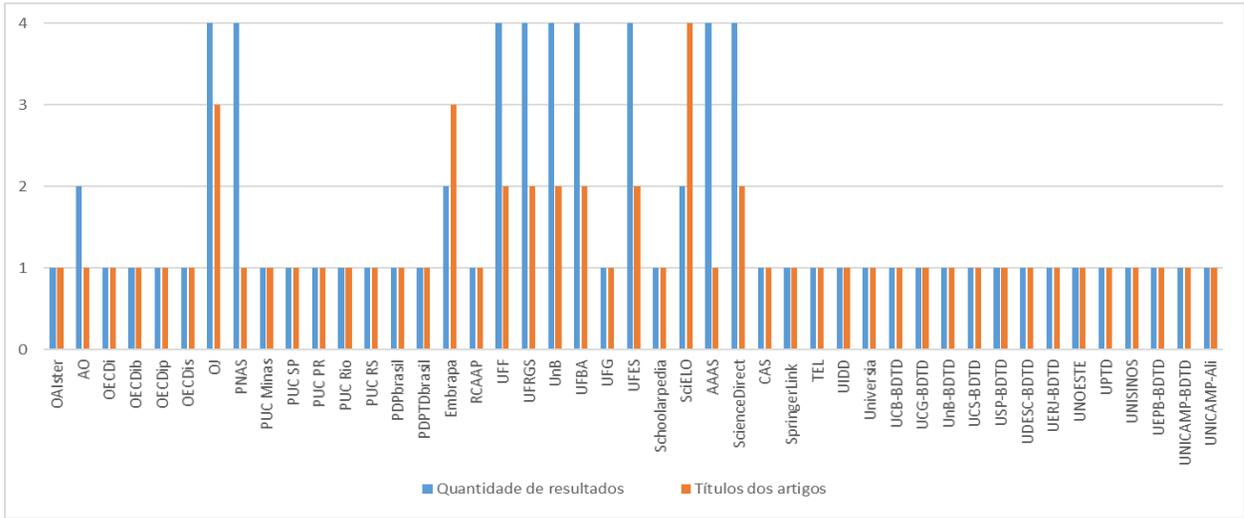
Os resultados da avaliação dos critérios para seleção das bases de dados se mostram nas figuras a seguir. As linhas azuis correspondem à nota do critério “quantidade de resultados” e as linhas laranjas à avaliação do critério: “relação do título do artigo com a temática da pesquisa”. Esta avaliação foi feita pelo pesquisador utilizando a escala ordinal Likert estabelecida no item 1.2.1.4 dos materiais e métodos (Tabela 1). No total foram analisadas as 137 bases de dados disponíveis no Portal CAFe da CAPES até fevereiro de 2018 para a área ciências ambientais.

Figura 10. Pontuação dos critérios para seleção das bases de dados: Bases 1-45



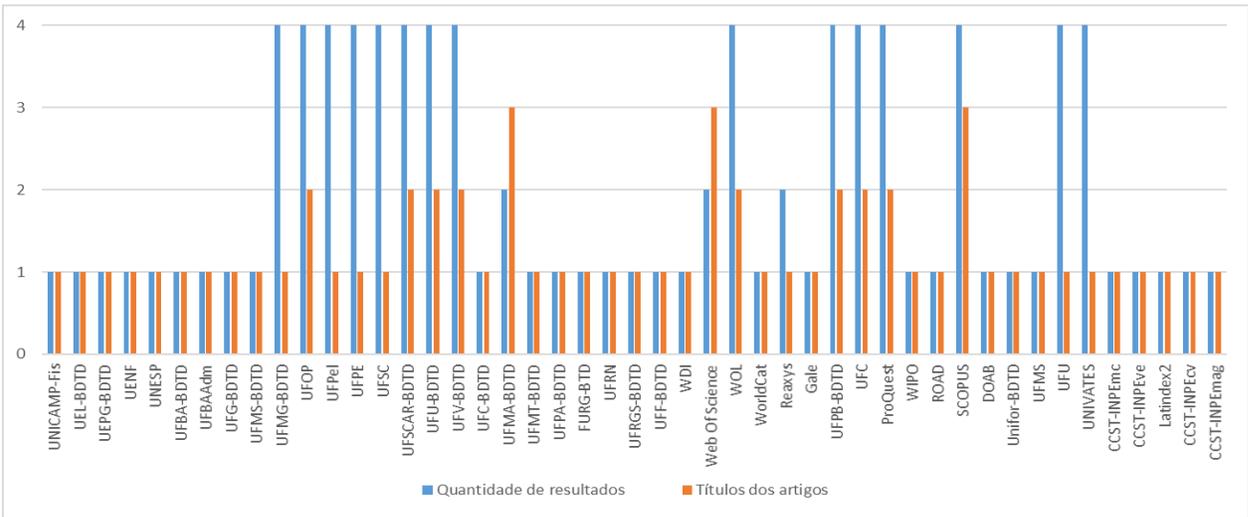
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 11. Pontuação dos critérios para seleção das bases de dados: Bases 46-90



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 12. Pontuação dos critérios para seleção das bases de dados: Bases 91-137



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

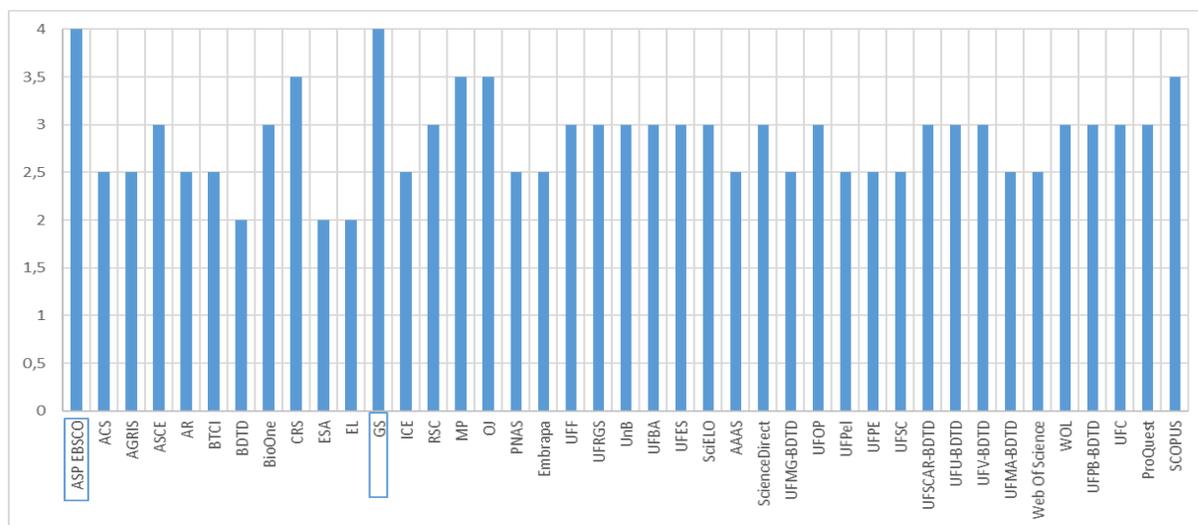
Da análise por critérios (Quantidade de resultados e relação do título do artigo com a temática da pesquisa) foi possível concluir que a maior parte das bases de dados testadas, embora apresentem um grande número de resultados, não se relacionam à temática de nascentes, aparecendo artigos com títulos muito gerais sobre métodos de avaliação ambiental, avaliação da qualidade da água ou planejamento de bacias hidrográficas ou pelo contrário títulos muito específicos sobre processos

hidrológicos, avaliação físico-química e microbiológica de águas superficiais e subterrâneas, dinâmica de aquíferos e/ou técnicas inovadoras para o tratamento de efluentes.

Dentre as possíveis causas dessa divergência, encontram-se: a utilização de somente uma palavra-chave para a busca e os vários significados que a tradução da palavra nascente no inglês (*springs*) possui. Vale esclarecer que este processo foi realizado com o único objetivo de identificar e selecionar as bases de dados para o posterior desenvolvimento da Revisão Bibliográfica Sistemática propriamente dita.

Para a escolha final das bases de dados, foi realizada uma média das notas outorgadas aos critérios “quantidade de resultados” e “relação do título do artigo com a temática da pesquisa”, sendo mostradas na Figura 13 todas as bases de dados potenciais para o desenvolvimento da RBS. O critério para escolha destas bases de dados foi a obtenção de uma média das notas superior ou igual a 2. Porém, devido à impossibilidade de realizar a RBS em tantas bases de dados, foram selecionadas as únicas duas bases com média de 4 (nota máxima para ambos critérios), estas bases tiveram o maior número de resultados que também, estavam relacionados a temática de nascentes.

Figura 13. Bases de dados potenciais para o desenvolvimento da RBS



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Desta forma, as bases de dados selecionadas foram a *Academic Search Premier* (ASP EBSCO) caracterizada por conter informações científicas de várias áreas como biologia, química, engenharia, física; antropologia, arqueologia, história, direito, geografia, teologia, psicologia, sociologia, dentre outras, e ser uma das bases de dados integrada ao EBSCOhost, fornecida pela

EBSCO Industries. Contudo, a ASP possui o rigor científico e oferece a confiabilidade necessária para ser utilizada no desenvolvimento de uma RBS. Por outro lado, a plataforma Google Scholar (GS), em português, Google acadêmico, que também teve a nota máxima, foi selecionada para a busca complementar, juntamente com o buscador do Google, que embora não tenha sido avaliado na lista de bases, é indicado como uma ótima ferramenta para a pesquisa de informações divulgadas em fontes não acadêmicas, tais como notícias, páginas web, documentos, relatórios, dentre outras (CEREZINI; ROSSO; HANAI, 2017).

### 1.3.2. Resultados para a base de dados *Academic Search Premier*

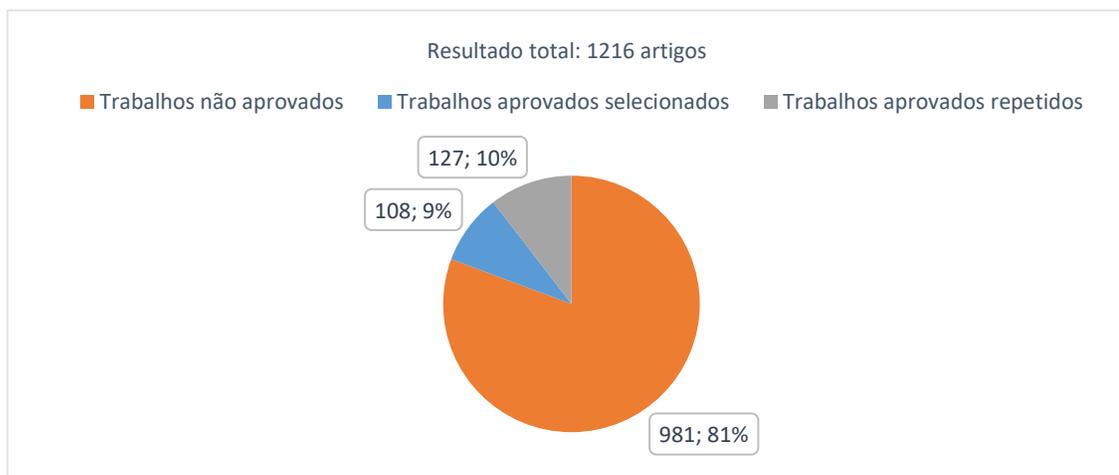
#### 1.3.2.1. Resultados da análise preliminar do título, palavras-chave e resumo (Filtro 1)

A análise preliminar do título, palavras-chave e resumo permitiu determinar quais dos trabalhos resultantes da busca realizada para cada palavra-chave estavam realmente relacionados com temáticas como: avaliação; conservação; monitoramento; gestão e/ou uso de nascentes.

O número total de resultados obtidos utilizando o conjunto de palavras-chave previamente estabelecido foi de 1.216 artigos, dos quais 1.097 resultaram das palavras-chave do grupo A (Busca de indicadores, ferramentas e instrumentos) e 119 das do grupo B (Busca de aspectos e critérios). Os 1.216 artigos foram analisados por meio da leitura do título, palavras-chave e resumo, sendo necessário para sua pré-aprovação o atingimento dos três requisitos estabelecidos no item 1.2.2.3 dos materiais e métodos (Tabela 4). A Figura 14 apresenta a proporção do número de trabalhos pré-aprovados e selecionados frente aos repetidos e não aprovados.

A quantidade de artigos aprovados parece ser baixa quando comparada com o número de resultados totais. Porém, devido à especificidade da temática estudada e à exigência dos requisitos de seleção estabelecidos para encontrar os artigos pertinentes e coerentes com objetivo da pesquisa, considera-se um número significativo que indica a relevância desta temática para a comunidade científica. É importante esclarecer que a categoria “trabalhos pré-aprovados repetidos” correspondem aos que foram aprovados para duas ou mais strings e que em esse caso, foram contabilizados como “pré-aprovados selecionados” uma única vez.

Figura 14. Proporção dos trabalhos pré-aprovados frente aos resultados totais

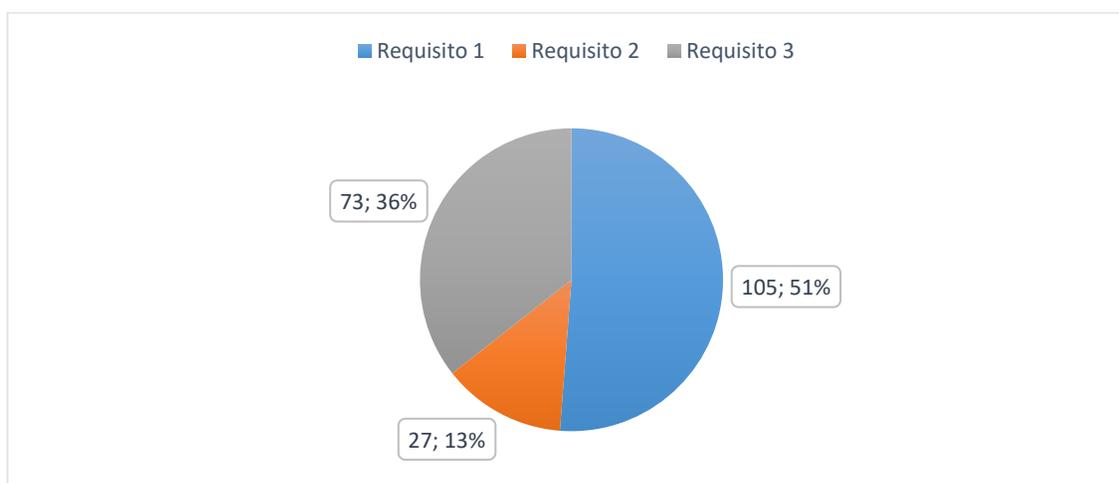


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### Resultados da avaliação individual dos requisitos para a análise preliminar.

Os requisitos estabelecidos no item 1.2.2.3 dos materiais e métodos (Tabela 4) foram analisados de forma individual e os resultados se apresentam na Figura 15. Desta forma, foi evidenciado um menor número de artigos relacionados diretamente à proposição ou aplicação de indicadores, ferramentas e/ou instrumentos para determinação das condições ambientais de nascentes. Esse fato indica preliminarmente que a produção científica sobre esta temática tem se tornado mais descritiva, esquecendo que há necessidade de elaborar novos métodos e técnicas para a avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes.

Figura 15. Avaliação individual dos requisitos para a pré-aprovação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### Número de trabalhos pré-aprovados para cada *string*

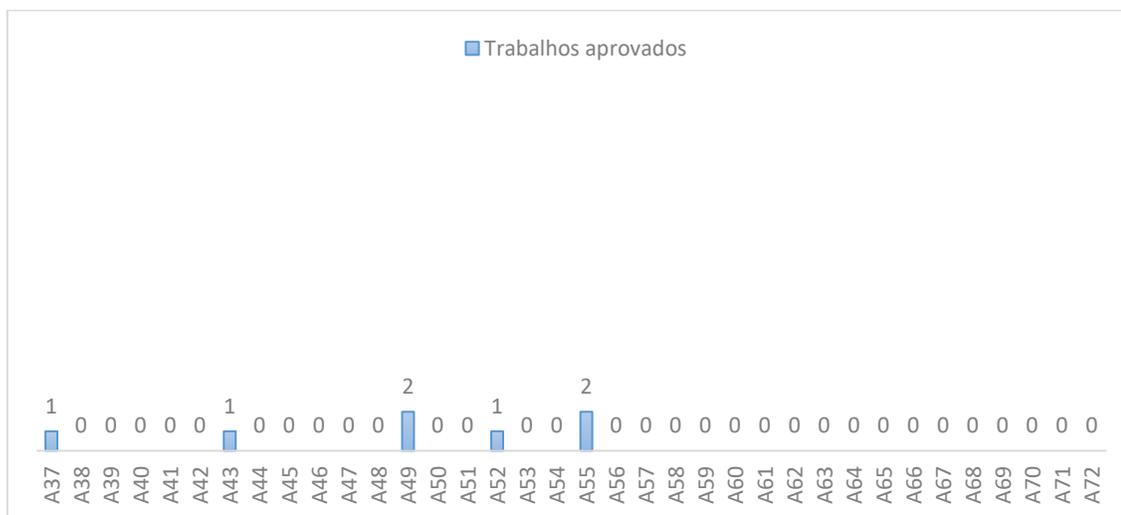
Nesta etapa se mostram os resultados individuais para cada *string* de busca, determinando quais delas geraram o maior número de trabalhos pré-aprovados de acordo com a análise preliminar do título, palavras-chave e resumo. As Figuras 16 e 17 apresentam a síntese dos resultados para o grupo de *strings* do objetivo A (Busca de indicadores, ferramentas e instrumentos).

Figura 16. Trabalhos pré-aprovados para as *strings*: A1 - A36



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 17. Trabalhos pré-aprovados para as *strings*: A37-A72



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

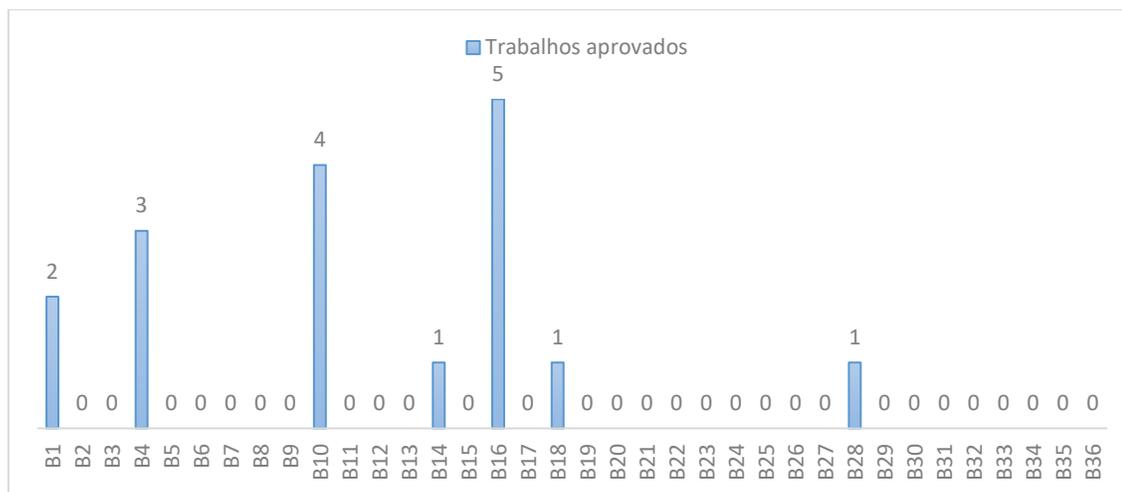
As strings do grupo A: *Indicators-Assessment-Springs*, *Tools-Assessment-Springs*, *Indicators-Use-Springs*, *Indicators-Monitoring-Springs*, *Tools-Management-Springs*, tiveram o maior número de resultados pré-aprovados, podendo-se inferir que a produção científica sobre nascentes, tem abordado principalmente processos de avaliação, uso e monitoramento, e em menor proporção, a gestão e conservação.

Foi evidenciado um maior número de trabalhos pré-aprovados para as *strings* formadas pelas palavras-chave indicadores e ferramentas contrário aos resultados da avaliação dos requisitos (Figura 14). Porém, esse fato pode ser justificado por meio de dois pressupostos: em primeiro lugar o maior número de resultados utilizando as palavras-chave indicadores e ferramentas não necessariamente indica que os estudos tratem da proposição ou aplicação destes, sendo preciso estudá-los com maior detalhe. Em segundo lugar, como as strings formadas por estas palavras-chave (indicadores e ferramentas) foram as primeiras utilizadas na busca (A1-A36) o número de repetições encontradas foi menor, assim, à medida que foram sendo utilizadas as outras *strings* esta variável foi aumentando.

Em relação a palavra-chave mais adequada para definir o significado do termo nascente em inglês, concluiu-se que a palavra *springs* foi predominante na maioria dos resultados, sendo desnecessária a utilização dos termos *water spring* ou *spring-fed* em futuras pesquisas.

A seguir apresentam-se a síntese dos resultados para as palavras-chave do grupo B (Busca de aspecto e critérios).

Figura 18. Trabalhos pré-aprovados para as *strings*: B1 - B36



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

As strings do objetivo B: *Aspects-Use-Springs*, *Aspects-Management-Springs* e *Aspects-Evaluation-Springs* tiveram o maior número de resultados pré-aprovados, porém mesmo sendo os mais altos, 5 artigos não permitem gerar conclusões sobre as *strings* mais relevantes para esta busca. Entre os artigos pré-aprovados, vários resultaram da palavra “management”, que traduz “gestão” no português, mostrando que a ciência se interessa também em estudos com metodologias mais abrangentes, voltadas para subsidiar os processos de tomada de decisões.

#### Evolução das publicações ao longo do período: 2008-2017

Nesta etapa, se mostram os trabalhos pré-aprovados de acordo ao ano de publicação. A Figura 19 permite observar que, embora não seja possível estabelecer uma tendência nas publicações sobre nascentes de cursos d’água e estas tenham acontecido de forma aleatória no período estudado, ao comparar unicamente os anos 2008 – 2017 evidencia-se um aumento superior ao 100%, fato que indica um crescente interesse pelo estudo e divulgação de informações sobre esta temática. Vale esclarecer que neste caso foi desconsiderado o ano 2018 por ainda estar em curso (primeiro trimestre) ao momento de fazer a busca.

Figura 19. Publicações pré-aprovadas ao longo do período de estudo

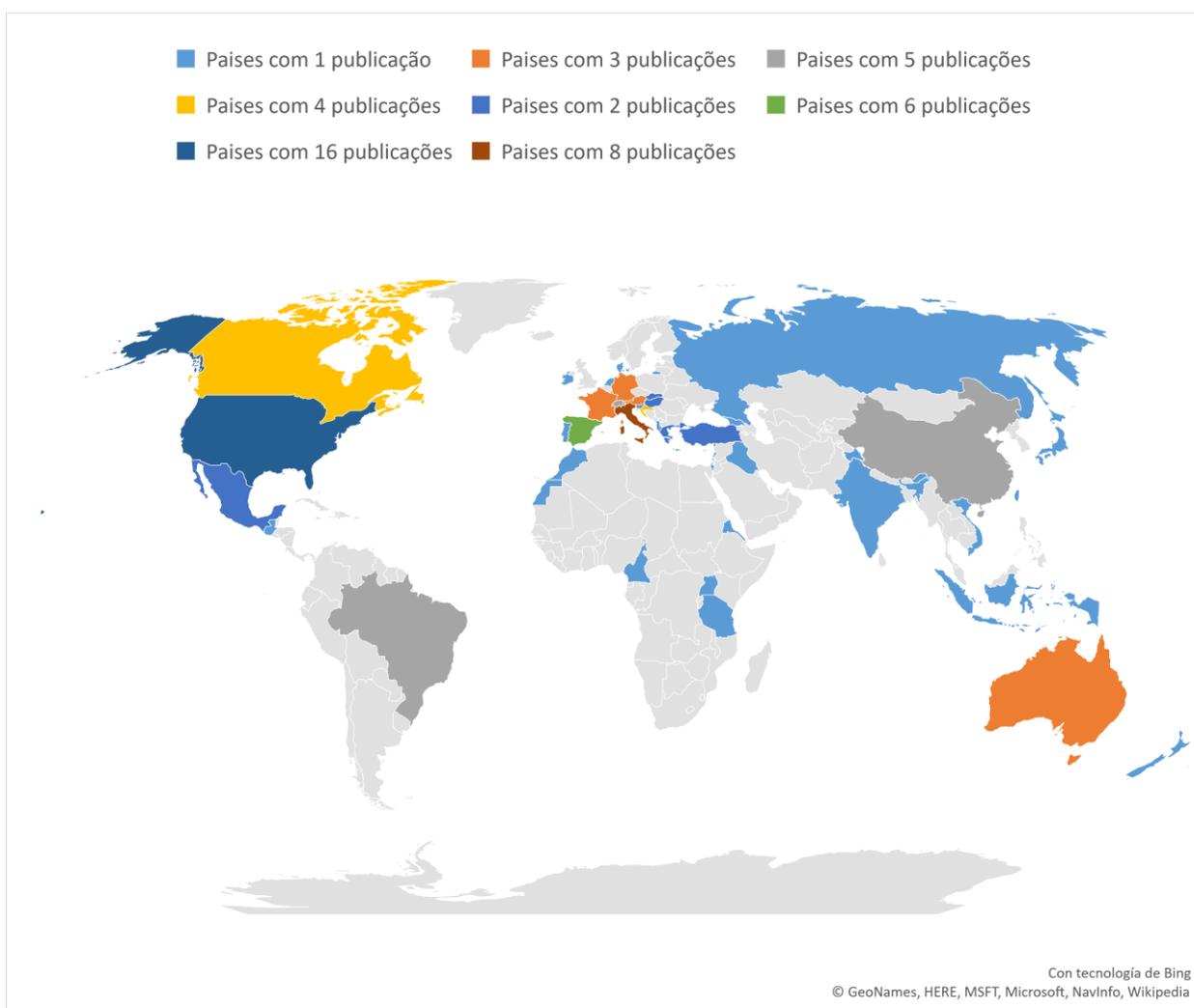


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

## Número de publicações sobre nascentes por país

De acordo com o lugar em que foram publicados cada um dos 108 artigos pré-aprovados (Filtro 1) elaborou-se o mapa apresentado na Figura 20 que ilustra o número de publicações de cada país. Os Estados Unidos encabeçaram a lista com 16 trabalhos, seguidos da Itália que teve oito publicações. Na América do Sul, o Brasil foi o único país com publicações relacionadas a esta temática que foram selecionadas na análise, apresentando 5 trabalhos.

Figura 20. Número de publicações por país



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 1.3.2.2. Resultados da análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados

#### Classificação dos trabalhos analisados por categorias

Após a leitura e análise da introdução e conclusão, os trabalhos pré-aprovados, foram classificados por categorias de acordo com: o objetivo; o embasamento teórico do trabalho; e as considerações finais sobre a metodologia e os resultados. Na Tabela 6 se mostra a relação entre as categorias elaboradas e o número de trabalhos pré-aprovados enquadrados dentro de cada uma delas.

Tabela 6. Classificação dos trabalhos pré-aprovados por categorias

<b>Categorias elaboradas</b>	<b>Nº de trabalhos relacionados</b>
Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial	54
Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes	18
Monitoramento de aquíferos e da qualidade das águas subterrâneas	10
Estudos geoquímicos relacionados a nascentes termais e aquíferos	8
Diagnóstico e caracterização ambiental de condições de nascentes de cursos d'água e suas APPs	4
Estudo das condições geológicas de nascentes e aquíferos	4
Uso de bioindicadores para avaliação ambiental de nascentes e de outros corpos hídricos	4
Condições geológicas e qualidade da água em nascentes de regiões geladas	3
Condições geológicas para a formação de <i>wetlands</i>	2
Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A metade dos trabalhos aprovados têm como tema principal o monitoramento e a avaliação físico-química e microbiológica da água de nascentes, o que indica uma forte tendência da produção científica se focar na determinação das condições de qualidade da água. Isto justifica-se pela necessidade de se ter informações que subsidiem a solução dos diversos desafios relacionados ao saneamento e problemas de saúde pública. Porém, a repetitividade de pesquisas sobre a mesma área, afeta o dinamismo da ciência e diminui o fornecimento de dados para desenvolver estudos integrados, sendo preciso explorar novos conhecimentos, preenchendo as lacunas existentes na produção científica.

Neste sentido, os estudos sobre ciências ambientais precisam utilizar metodologias que transcendam da caracterização e descrição dos diversos problemas, sejam pontuais ou globais, e analisar os motivos pelos quais esses problemas existem e persistem para propor formas e mecanismos efetivos para sua solução. Especificamente, a avaliação e monitoramento de nascentes

requer de um entendimento mais amplo das suas funções ecossistêmicas e ambientais, que não apenas estão ligadas à origem dos cursos d'água, mas sim a conformação e integração de um sistema ambiental dinâmico nesses locais.

#### Resultados da análise individual dos requisitos para seleção final dos trabalhos (Filtro 2)

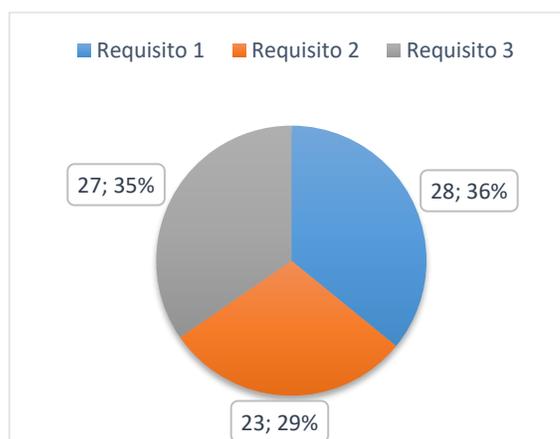
A análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados, permitiu reavaliar e filtrar essa lista preliminar, escolhendo-se os artigos finais que consideraram a visão holística da Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Para isto, foi necessário verificar se os aspectos mais importantes da metodologia e resultados estavam diretamente relacionados aos processos de avaliação integrada, conservação, monitoramento, gestão integrada e/ou uso sustentável de nascentes. Além disso, com um estudo mais detalhado dos trabalhos pré-aprovados, foi possível identificar aqueles que propõem ou aplicam indicadores, ferramentas ou instrumentos, se preocupando também pela inovação metodológica e não só pela descrição e caracterização de resultados. As Figuras 21 e 22 ilustram estes resultados.

Figura 21. Trabalhos finais aprovados



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 22. Avaliação individual dos requisitos para aprovação final



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Apenas 28% dos artigos pré-aprovados foram finalmente selecionados. Este resultado, deve-se à falta de pesquisas desenvolvidas com o objetivo de realizar uma avaliação integrada das nascentes. Foram identificados poucos artigos com propostas metodológicas e/ou discussões abrangentes que permitissem à efetiva interpretação dos problemas ambientais relacionados a esta temática, identificando-se a limitação das pesquisas a estudos descritivos e de caracterização ou a

avaliações longas e intensas de parâmetros específicos que não permitem gerar conclusões nem propor soluções para os impactos. Assim, 78 dos 108 artigos pré-aprovados, foram excluídos por não atingirem no mínimo um dos requisitos estabelecidos no item 1.2.2.4 dos materiais e métodos (Tabela 5).

É importante ressaltar que a própria classificação por categorias dos trabalhos pré-aprovados mostrada na tabela 6, já apresentou essa tendência, indicando que a produção científica sobre nascentes está voltada à geração e registro de dados na área de avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial e que isso erroneamente é apresentado como monitoramento ambiental de nascentes. Os autores desta pesquisa respeitam e valorizam o árduo trabalho e inúmeros esforços necessários para o desenvolvimento desse tipo de estudos. Porém a presente dissertação busca chamar a atenção da comunidade científica que estuda nascentes, para olhar outros aspectos que indiscutivelmente influenciam a dinâmica ambiental do sistema, integrando aspectos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, florestais, pedológicos, paisagísticos, bióticos dentre outros. Neste sentido, deve-se então entender esse posicionamento colocado, como uma oportunidade para explorar novas possibilidades no desenvolvimento de conhecimentos, para consolidar e aprimorar todo o embasamento teórico-prático relacionado às nascentes.

Por fim, a avaliação individual dos requisitos para aprovação final (Figura 22) se mostrou equitativa. Porém, ressaltasse que o requisito dois foi o que teve o menor valor de atingimentos, esse requisito pediu verificar se a introdução do artigo apresentava informações teóricas relacionados à avaliação integrada, conservação, monitoramento, gestão integrada e/ou uso sustentável de nascentes. No entanto, é sabido que a teoria que suporta as pesquisas, muitas vezes se constrói desde uma perspectiva geral, relatando experiências prévias que deem base ao estudo, justificando-se o menor atingimento deste requisito. Afinal, os requisitos relacionados ao objetivo (requisito 1) e a conclusão (requisito 3) foram atingidos por um maior número de artigos.

### 1.3.3. Resultados para a busca complementar

Nesta etapa, foram utilizadas as palavras-chave propostas no item 1.2.1.6 dos materiais e métodos (Tabela 3). Os resultados da busca complementar foram avaliados segundo o título do trabalho para sua pré-aprovação, considerando os mesmos requisitos estabelecidos para a busca na base de dados *Academic Search Premier* (Tabelas 4 e 5). A escolha baseada unicamente no título

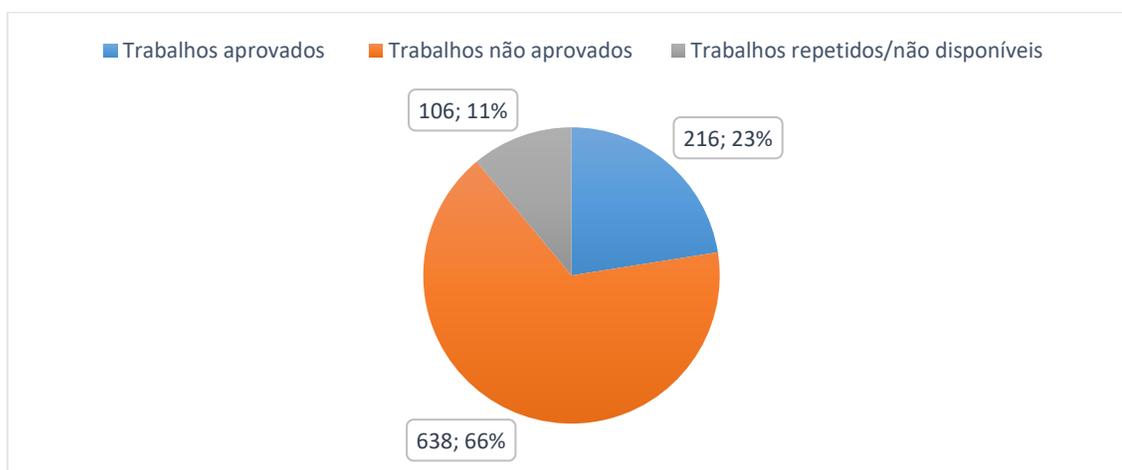
se justifica devido as limitações dessas plataformas (Google Scholar e Google) as quais não permitem o acesso ao resumo sem necessidade de fazer o download do trabalho completo.

### 1.3.3.1. Resultados da análise preliminar a partir do título.

#### Resultados obtidos a partir do Google Scholar (GS)

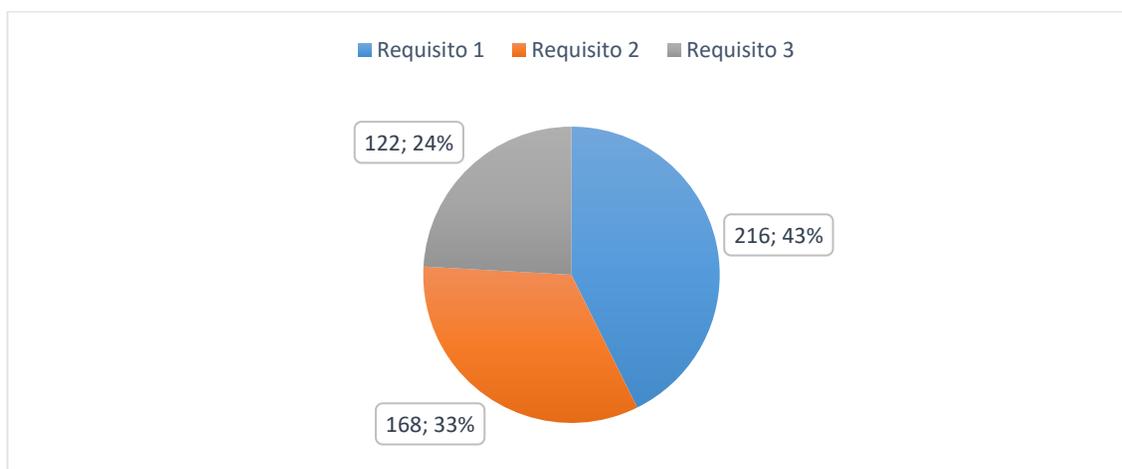
As seguintes figuras apresentam a proporção de trabalhos pré-aprovados (Figura 23), assim como a análise individual dos requisitos (Figura 24) previamente estabelecidos no item 1.2.2.3 dos materiais e métodos (Tabela 4).

Figura 23. Proporção de trabalhos pré-aprovados frente aos resultados totais



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 24. Avaliação individual dos requisitos para pré-aprovação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

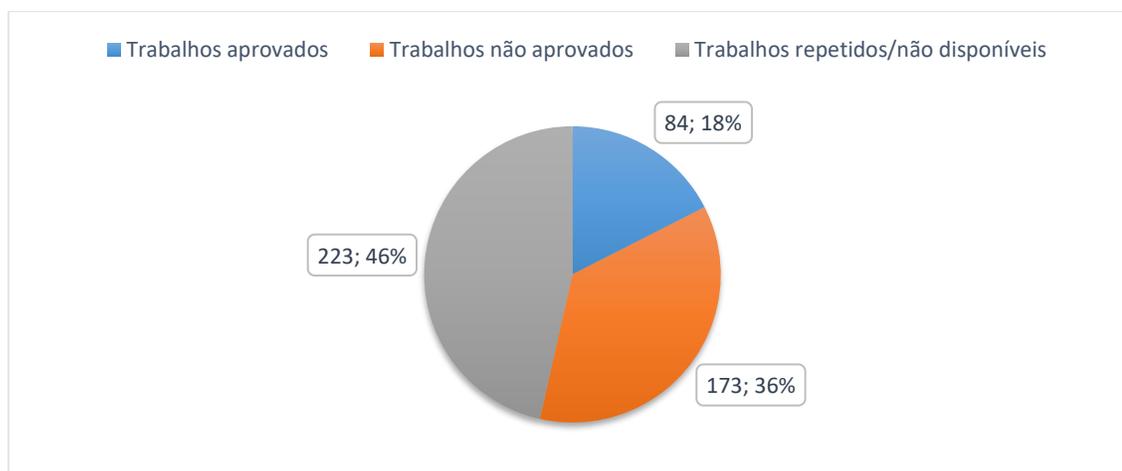
Neste caso, destaca-se uma quantidade de 216 trabalhos pré-aprovados pela análise do título no Google Scholar. É preciso ressaltar que a busca complementar foi desenvolvida com a finalidade de estudar a produção científica sobre nascentes no nível nacional, podendo-se inferir que no Brasil existe um grande interesse pelo estudo desta temática, mas ainda precisa-se avaliar qual é o enfoque e os resultados principais desses estudos.

A partir da avaliação individual dos requisitos para pré-aprovação, podemos inferir que os trabalhos escolhidos, além de estarem relacionados aos processos de avaliação, conservação, monitoramento, gestão e uso de nascentes, também indicam produção científica relacionada à proposição ou à aplicação de indicadores, ferramentas ou instrumentos, obtendo este requisito um total de 168 acertos (requisito 2). Vale ressaltar que foi possível identificar esse requisito devido a forma explícita em que muitos dos trabalhos expõem no título a utilização de indicadores, ferramentas e/ou instrumentos para o desenvolvimento da pesquisa.

#### Resultados obtidos a partir do Google

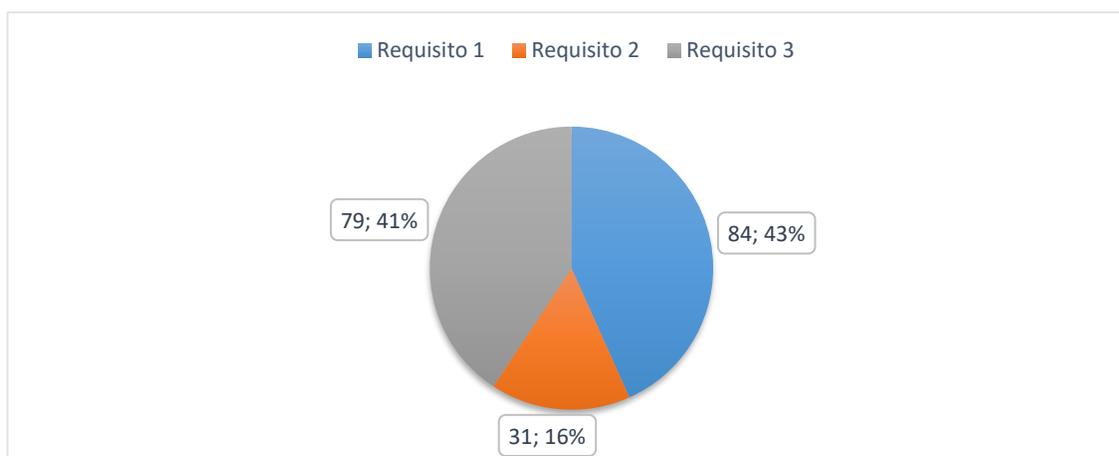
As seguintes figuras apresentam a proporção de trabalhos pré-aprovados (Figura 25), assim como a análise individual dos requisitos (Figura 26) previamente estabelecidos no item 1.2.2.3 dos materiais e métodos (Tabela 4).

Figura 25. Proporção de trabalhos pré-aprovados frente aos resultados totais



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 26. Avaliação individual dos requisitos para pré-aprovação



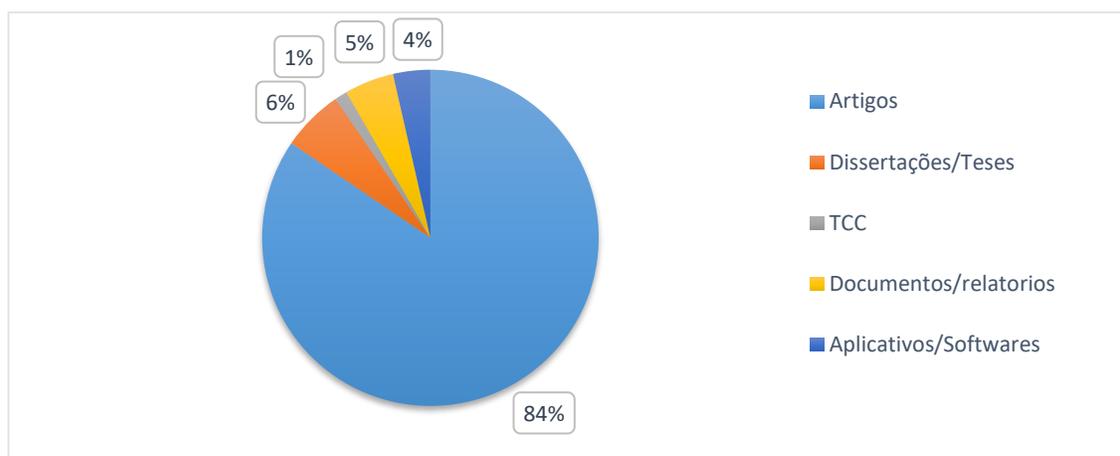
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 25, evidencia-se que a maior porcentagem foi a categoria de *trabalhos repetidos e não disponíveis*, justificando-se em dois pressupostos: em primeiro lugar o Google não é uma base de dados científica que possa ser cadastrada em plataformas universitárias e por tanto não outorga acesso livre para pesquisadores, existindo assim, limitações para encontrar os trabalhos completos. Em segundo lugar o Google possui uma ferramenta chamada *Rankbrain* lançada em 2015 que tem a função de dar inteligência artificial e aprendizado à máquina, desta forma o Google é capaz de aprender com as buscas feitas pelo usuário e, assim, apresentar melhores resultados de acordo com a recorrência da suas pesquisas, assim ao utilizar na busca palavras-chave semelhantes os resultados repetidos aumentaram (SEARCH LAB, 2017).

A avaliação individual dos requisitos para pré-aprovação mostrou que dentro dos 84 resultados pré-aprovados, somente 31 estão relacionados à aplicação ou proposição de indicadores, ferramentas ou instrumentos (requisito 2), inferindo-se que a busca complementar no Google gerou como resultado informações descritivas das problematizações relacionadas à determinação das condições ambientais de nascentes de cursos d'água, sendo poucas as propostas metodológicas (de indicadores, ferramentas e/ou instrumentos) identificadas.

Contudo, os resultados pré-aprovados foram classificados por tipologias de documentos, mostrando as diferentes fontes de informação, tanto acadêmicas quanto comuns. A Figura 27 apresenta essa comparação, em que, embora as fontes científicas (artigos, teses, dissertações e Trabalhos de Conclusão de Curso) ainda prevaleçam, evidencia-se a existência de outras tipologias de referências bibliográficas, como documentos/relatórios e aplicativos/softwarewares.

Figura 27. Tipologias das referências levantadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 1.3.3.2. Resultados da análise da introdução e conclusão dos trabalhos pré-aprovados

#### Resultados obtidos a partir do Google Scholar (GS)

Os 216 resultados pré-aprovados foram classificados por categorias, como mostra a Tabela 7. Pode-se observar que a categoria predominante continuou sendo o monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial, indicando que o Brasil também segue essa tendência mundial de produções científicas específicas e voltadas para uma abordagem técnica pouco abrangente, insuficiente para a geração de conclusões e para a proposição de soluções efetivas. Desta forma, sendo o Brasil um país em processo de desenvolvimento, extremamente rico em biodiversidade e recursos naturais, se faz necessário impulsionar pesquisas orientadas a otimizar as estratégias e os processos para a conservação e proteção ambiental que permitam seu destaque mundial nesta área, visando à melhoria da qualidade de vida da população.

Tabela 7. Classificação dos trabalhos pré-aprovados por categorias

Categorias definidas	Nº de trabalhos
Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial	127
Diagnóstico e caracterização ambiental de condições de nascentes de cursos d'água e sua APP	47
Monitoramento de aquíferos e da qualidade das águas subterrâneas	14
Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes	8
Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes	6
Estudo das condições geológicas de nascentes e aquíferos	5
Uso de bioindicadores para avaliação ambiental de nascentes e de outros corpos hídricos	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A figura 28, mostra os resultados da análise da introdução e conclusão dos artigos pré-aprovados, realizada a partir dos requisitos estabelecidos no item 1.2.2.4 dos matérias e métodos (Tabela 5), mostrando que obtiveram-se 55 trabalhos finalmente selecionados para a elaboração da lista de artigos e documentos sobre a temática de nascentes, sendo esta quantidade significativamente maior que o número final de artigos selecionados mediante a RBS desenvolvida na *Academic Search Premier*.

#### Resultados obtidos a partir do Google

A Figura 29, indica que, após a análise da introdução e conclusão realizada a partir dos requisitos estabelecidos no item 1.2.2.4 dos matérias e métodos (Tabela 5), foram escolhidos 17 artigos para a conformação do bando de dados, evidenciando-se que a quantidade de trabalhos finalmente selecionados foi a menor das três fontes utilizadas, esse fato deve-se tanto a dificuldade para o acesso ao trabalho completo, quanto a repetitividade entre os resultados do Google Scholar e Google (SEARCH LAB, 2017). Além disso, é necessário esclarecer que devido a diversidade no tipo de documento, os resultados obtidos a partir do Google, não foram classificados por categorias.

Figura 28. Trabalhos finais aprovados para os resultados do GS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 29. Trabalhos finais aprovados para os resultados do Google.



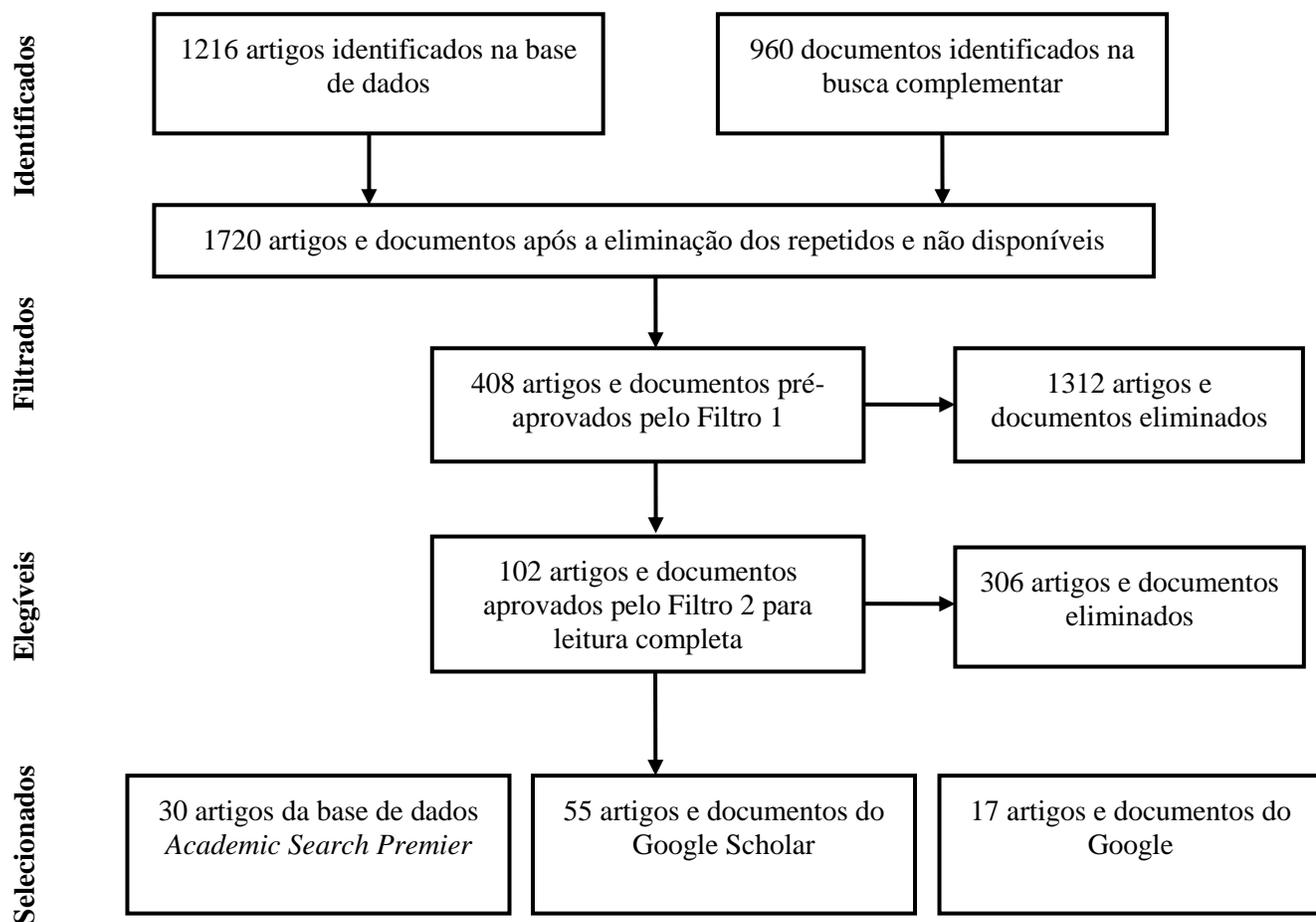
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### 1.3.4. Contabilização dos resultados do processamento

Os artigos selecionados em cada etapa da RBS foram contabilizados para a elaboração do fluxograma de informações (Figura 30) proposto por Moher et al. (2009), adotado da metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses - PRISMA*.

O fluxograma mostra a efetividade do processamento da RBS, em que foi possível analisar as referências levantadas e selecioná-las de acordo com os critérios estabelecidos em cada Filtro. Autores como Conforto; Amaral; Silva (2011) comparam, acertadamente, este sistema com o funcionamento de uma sequência de peneiras que permitem refinar as buscas para obter exclusivamente, as que tem capacidade de subsidiar o desenvolvimento da pesquisa, auxiliando também, futuros trabalhos nesta área por meio da proposição de um novo ponto de partida, que reduzirá o tempo da revisão bibliográfica e possibilitará o melhor direcionamento e foco da pesquisa. No final, a lista de artigos e documentos, foi conformada por um total de 102 referências bibliográficas, das quais 30 foram obtidas na base de dados *Academic Search Premier*, 55 do Google Scholar e 17 do Google.

Figura 30. Fluxograma de contabilização dos resultados do processamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 1.3.5. Resultados da RBS: lista de artigos e documentos.

A lista de referências bibliográficas que foram identificadas, analisadas e selecionadas apresentam-se no **apêndice A**. Vale ressaltar que, após a leitura completa dos 102 trabalhos finalmente aprovados, algumas das categorias que haviam sido propostas a partir da análise preliminar (leitura da introdução e conclusão) foram readaptadas ou modificadas, conforme se mostra no apêndice.

## 1.4. CONCLUSÕES

A relevância da temática de nascentes na manutenção de diversos serviços ecossistêmicos se evidencia na significativa quantidade de pesquisas que buscam estudá-las desde diferentes enfoques e perspectivas, esse fato denota o interesse da comunidade científica nacional e internacional em analisar e compreender o funcionamento e a dinâmica destes sistemas ambientais essenciais para a vida. Porém, a maioria desses estudos se justifica a partir da necessidade de se garantir o abastecimento dos cursos hídricos para o uso humano, sendo desconsideradas outras funções ecológicas e ambientais que as nascentes possuem.

Metodologicamente, destaca-se que a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) foi uma excelente estratégia para o levantamento, descrição, análise e síntese da informação científica sobre a temática de nascentes de cursos d'água, pois permitiu a recompilação, classificação e organização de um grupo de artigos e documentos cujas informações refletem o alcance dos objetivos iniciais da busca. No entanto, ressalta-se a importância de se realizar um adequado planejamento deste processo, definindo com rigor as entradas da busca, para a obtenção de resultados que representem verdadeiramente o panorama científico de interesse.

No caso deste estudo, quando contabilizados os resultados das três fontes de informação pesquisadas, obteve-se um total de 408 trabalhos pré-aprovados, isto representa o número de pesquisas que abordaram a temática de nascentes desde a perspectiva de sua avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso e em alguns casos, evidenciaram-se intenções de propor metodologias para o desenvolvimento destes processos de forma eficiente. Porém, foi necessário estudar de forma mais profunda as informações teóricas e metodológicas contempladas nestas pesquisas, assim como os principais resultados de cada uma, para determinar se estas de fato

atingiram os objetivos iniciais da RBS. Afinal, foram escolhidos 102 artigos e/ou documentos sobre a temática de nascentes que visam à avaliação integrada e ao monitoramento ambiental. No entanto, a maioria desses trabalhos não segue integralmente o conceito adotado nesta pesquisa, que define as nascentes como sistemas ambientais complexos e dinâmicos. Esse conceito se sustenta em uma corrente de pensamento que considera a exfiltração da água como um processo que além de dar origem aos cursos hídricos necessariamente se envolve com aspectos hidrogeológicos, geomorfológicos, climatológicos, ecológicos, paisagísticos e biológicos, dentre outros, que estão inter-relacionados e controlam o equilíbrio do sistema. Neste sentido, torna-se importante chamar a atenção da comunidade científica para estudar esta temática entendendo o fato de que para avaliar, monitorar e conseqüentemente, conservar, precisa-se primeiro identificar, caracterizar e compreender todas as relações que acontecem de forma dinâmica entre os aspectos do meio biótico e abiótico que conformam as nascentes.

Por outro lado, foi desenvolvida uma análise da evolução das publicações ao longo dos anos, que mostrou o crescimento de pesquisas sobre esta temática, a qual aumentou nos últimos dois anos do período avaliado (2008 - 2018). Do mesmo modo, foram analisadas as publicações por países, destacando-se os Estados Unidos com o maior número de publicações no nível mundial, e em escala continental na América do Sul, o Brasil apareceu como líder em pesquisas publicadas sobre nascentes, inclusive em revistas internacionais, mostrando a grande preocupação da comunidade científica em apoiar os processos de tomada de decisões relacionados à gestão de recursos hídricos, no caso específico de nascentes, e o planejamento de bacias hidrográficas.

A classificação por categorias permitiu identificar que a tendência das pesquisas atuais sobre nascentes está direcionada à determinação da qualidade da água por meio do monitoramento das propriedades físicas, química e microbiológicas. Por isso, deve-se despertar o interesse dos científicos pelo estudo de outros aspectos além dos hidrogeológicos, os quais também influenciam o estado de conservação das nascentes e dos quais dependem muitas das funções ambientais que a água possui, para isso precisam-se estudos que objetivem: a avaliação integrada de nascentes e possíveis estratégias para sua conservação; a importância na manutenção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; as técnicas de recuperação e remediação das condições físicas e químicas do ambiente e do reflorestamento de mata ciliar e inclusive aspectos sociais, culturais e econômicos que podem se interligar à existência de nascentes em uma determinada região.

Concluiu-se que existe uma significativa quantidade de informações de tipo científico e não científico, disponíveis na literatura relacionada a as nascentes, porém a maioria destas se centra na análise de problemas relacionados à uma área específica desta temática: a avaliação da qualidade da água. Por isso, o presente artigo buscou mostrar esse problema e incentivar o desenvolvimento de pesquisas mais abrangentes, que gerem dinamismo no conhecimento científico atual sobre a temática de nascentes e que proponham ou apliquem metodologias para integração das problemáticas da gestão da água como um todo.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. Identificação, análise e seleção de parâmetros, indicadores e ferramentas relacionadas às nascentes de cursos d'água**

## **2.1. OBJETIVO DA PESQUISA**

Este capítulo teve como objetivo identificar, descrever e categorizar parâmetros, indicadores e ferramentas, propostos e/ou aplicados em diferentes situações, para determinar as condições ambientais de nascentes de cursos d'água, mediante o estudo da literatura relacionada a esta temática. Para isso, foi empregada a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) que por seu rigor científico e direcionamento das pesquisas, permitiu a seleção e sínteses de referências sobre esta temática, gerando uma lista de artigos e documentos que foram a base para este estudo.

Para a realização desta pesquisa, foi considerado que os parâmetros são as variáveis, elementos ou dados que permitem a avaliação de um tema, questão ou assunto e por meio dos quais é possível estabelecer uma comparação em base a um valor padronizado. Já os indicadores, entendem-se como métodos de obtenção de informações simplificadas da realidade, que integram, no mínimo, duas variáveis primárias envolvidas num fenômeno específico e que subsidiam os processos de tomada de decisões. Por fim, as ferramentas são os mecanismos, técnicas ou metodologias, que podem ser específicas ou gerais, e que tem a função de prevenir, corrigir, monitorar ou melhorar situações ocasionadas por conflitos de uso e/ou interesses contrários.

## **2.2. MATERIAIS E METODOS**

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) sobre a temática de nascentes foi necessária para selecionar um grupo de artigos e documentos que configurou a base da identificação e análise de parâmetros, indicadores e ferramentas para determinar as condições ambientais destas importantes fontes hídricas.

Segundo Lima e Miotto (2007), as pesquisas bibliográficas têm sido utilizadas com grande frequência em estudos exploratórios e descritivos, possibilitando um amplo alcance de informações e permitindo a compilação de dados dispersos em inúmeras publicações para adequar ou até mesmo construir o quadro conceitual da temática estudada. Neste sentido, desenvolver a revisão bibliográfica de forma planejada para responder perguntas específicas por meio de métodos explícitos e sistemáticos permite a identificação, seleção e avaliação crítica dos estudos e confirma a autenticidade da pesquisa (MOHER et al., 2009; ROTHER, 2007).

A RBS foi realizada na base de dados *Academic Search Premier* e complementada com a busca sistemática simples no Google Scholar e Google. As equações de busca foram elaboradas com todas as combinações possíveis dos descritores: *indicadores; ferramentas; instrumentos; protocolos; aspectos e critérios*, e os processos: *avaliação de nascentes; conservação de nascentes; gestão de nascentes; monitoramento de nascentes e uso de nascentes*, traduzidos ao inglês, sendo incluídas unicamente as publicações realizadas no período de 2008 a 2018. Para a busca complementar à RBS desenvolvida no Google Scholar e Google, os processos foram desconsiderados e os descritores formaram combinações com as palavras: *nascentes e nascentes de água*. Esta busca foi realizada em língua portuguesa.

Os artigos e documentos sobre a temática de nascentes que constituíram a listagem resultante da RBS, foram classificados em quatro categorias definidas de acordo ao enfoque de cada pesquisa: sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes; indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes; monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial e aplicação de estratégias para recuperação de nascentes.

Contudo, foi realizada a leitura e análise reflexiva desses artigos e documento selecionados, buscando identificar parâmetros, indicadores e/ou ferramentas propostos ou já aplicados em processos de avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes. Além disso, com este procedimento foi acrescentada e fortalecida a discussão teórica sobre a importância das nascentes como sistema ambiental essencial na manutenção do ciclo hidrológico e da vida em todas as formas.

Para sistematizar esse processo e facilitar a análise das informações apresentadas em cada artigo, foi estabelecida a seguinte ordem de leitura: i) resumo; ii) introdução; iii) conclusão; iv) materiais e métodos; e v) resultados e discussões. A leitura do resumo teve como função aproximar o pesquisador ao tema principal do artigo permitindo-lhe identificar o enfoque da pesquisa. Por outro lado, a introdução apresentou o embasamento teórico de cada pesquisa funcionando como base para determinar os aspectos e critérios sobre condições ambientais de nascentes considerados em cada caso, já a conclusão mostrou uma síntese dos materiais e métodos utilizados, assim como dos principais resultados encontrados.

No entanto, foi necessária a leitura completa de todas as seções do artigo, para a análise integral das informações ali existentes. Os materiais e métodos detalham a técnica implementada e

os resultados mostram, explicam e discutem os dados coletados, direcionando o pesquisador ao verdadeiro sentido do estudo. É importante ressaltar que os parâmetros, indicadores e ferramentas foram identificados em todas as seções dos artigos, sendo que alguns deles foram abordados de forma conceitual e teórica por serem encontrados na introdução do artigo e outros de forma aplicada ou técnica por fazerem parte da metodologia e/ou dos resultados.

Para apresentar as listas de parâmetros e indicadores, foram elaboradas tabelas que contemplaram as seguintes informações: nome do parâmetro ou indicador identificado; método de mensuração do parâmetro ou indicador; valor quantitativo ou qualitativo padrão de referência para a avaliação do parâmetro ou indicador (se existir); e reclassificação do parâmetro ou indicador por categorias específicas. Por outro lado, as ferramentas identificadas foram apresentadas, definindo-se o tipo, foco e o objetivo ou descrição.

A identificação de parâmetros, indicadores e ferramentas para determinação de condições ambientais de nascentes contribui na avaliação e viabilização da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), sendo possível por meio destes avaliar, monitorar, conservar e gerenciar as nascentes de cursos d'água, subsidiando assim o processo de tomada de decisões. Se faz necessário esclarecer que, ao analisar os parâmetros, indicadores e ferramentas de forma individual e não por artigo, decidiu-se reformular as categorias previamente estabelecidas, sendo classificados de acordo com o objetivo específico de cada um, isto devido à quantidade e à diversidade de enfoques observados dentro de um mesmo artigo.

## **2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A seguir, apresentam-se os parâmetros, indicadores e ferramentas para a avaliação, conservação, monitoramento, gestão e/ou uso de nascentes de cursos d'água que foram identificados a partir da leitura reflexiva e analítica dos artigos e documentos levantados. Em primeiro lugar, mostra-se a lista de parâmetros levantados, seguida da lista de indicadores, ambas em forma de tabela. Por último, apresentam-se as ferramentas por meio de fichas descritivas.

### **2.3.1. Lista de parâmetros identificados**

A Tabela 8 apresenta os parâmetros para determinação de condições ambientais de nascentes identificados nos artigos e documentos selecionados e analisados.

Tabela 8. Lista de parâmetros para determinação de condições ambientais de nascentes

Parâmetros	Técnica/ equipamento de mensuração	Padrão de referência	Categoria
Temperatura da água	Multiparâmetro	-15 – 25 °C (WHO) -8 – 15 °C	Análise físico-química da qualidade da água
pH da água	Multiparâmetro	- pH 6-8 - pH 5.5-7.4 - 6.5 – 8.5 (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Oxigênio Dissolvido	Multiparâmetro/ Oxímetro	Indeterminado pra água de nascente	Análise físico-química da qualidade da água
Presença de eutrofização na água da nascente	Observação em campo	Não informado	Análise físico-química da qualidade da água
Turbidez	Multiparâmetro	Até 5 NTU (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Condutividade elétrica da água	-MSM-9 Multisensor module (Multiparâmetro) - CrisoN CM 35	Até 2 mS/cm (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Cor da água	Observação em campo	Não informado	Análise físico-química da qualidade da água
Odor da água	Observação em campo	Não informado	Análise físico-química da qualidade da água
Presença de espumas	Observação em campo	Não informado	Análise físico-química da qualidade da água
Presença de óleos	Observação em campo	Não informado	Análise físico-química da qualidade da água
DBO5	Coleta de amostra em campo e análise de laboratório	Segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005 nas águas de classe I a DBO <sub>5</sub> dias a 20°C deve ser de até 3 mg/L O <sub>2</sub>	Análise físico-química da qualidade da água
Sólidos Dissolvidos Totais	Calculado a partir da Condutividade elétrica da água	Segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005 nas águas de classe I o limite é de 500 mg/L	Análise físico-química da qualidade da água

<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica/ equipamento de mensuração</b>	<b>Padrão de referência</b>	<b>Categoria</b>
Concentração de Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	Método argentométrico (Recomendado para concentrações entre 1,5 e 100 ppm)	Não informado	Análise físico-química da qualidade da água
Nitratos e Nitrogênio amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	Métodos de destilação de Kjeildahl's (Nitrogênio amoniacal) e Espectrofotometria UV Visível (Nitratos)	Nitratos: acima de 50 mg/L (WHO) Nitrogênio amoniacal até 30 mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Cloreto total	Coleta de amostra em campo e análise de laboratório	Segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005 as águas de classe I tem limite de 10 mg/L	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de sulfatos na água	Coleta de amostra em campo e análise em laboratório	Até 250mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de fósforo total na água	UV-visível	Segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005 as águas de classe I tem limite de 0,020 mg/L P (Ambiente lântico)	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de bicarbonatos na água	Titulação ácido-base	Até 1000mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de cálcio na água	Titulação complexa métrica	Até 75mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de magnésio	Titulação complexa métrica	Até 30mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de sódio na água	Fotometria de chama	Até 200mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Concentração de potássio na água	Fotometria de chama	Até 200mg/L (WHO)	Análise físico-química da qualidade da água
Salinidade (%) da água	Multiparâmetro	Deve ser menor a 0,5% para águas doces segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005. Porém, depende também das condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas e de possíveis interferências naturais	Análise físico-química da qualidade da água

<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica/ equipamento de mensuração</b>	<b>Padrão de referência</b>	<b>Categoria</b>
Coliformes totais	Número mais provável (MPN)	0 MPN (WHO)	Análise microbiológica da qualidade da água
Salmonela, Escherichia coli, Streptococos, Proteus, Enterobactérias	Placa de contagem padrão	0 MPN (WHO)	Análise microbiológica da qualidade da água
Status da nascente (Presença de água no local)	Observação em campo	Não informado: estará condicionado à tipologia da nascente. O ideal é que a água esteja aflorando (Nascente ativa)	Avaliação da quantidade da água
Vazão da nascente	Medidor de vazão em campo	Depende do status da nascente, tipologia e das condições climáticas e de relevo da região. Um método simples para cálculo da vazão é a utilização de um recipiente volumétrico e o cronômetro	Avaliação da quantidade da água
Presença de tradições culturais e históricas na população relacionadas à nascente de água	Análise de relatos históricos, mapas históricos, publicações em jornais, artigos e monografias, documentos oficiais do estado, rastros geomorfológicos, biológicos e ecológicos e realização de entrevistas	Não informado: relaciona-se à existência de tradições culturais e históricas com o maior interesse em na proteção de nascentes	Avaliação de aspectos sociais e culturais da população entorno a nascente
Uso da água	Entrevista com os usuários, observação em campo, consulta a órgãos ambientais	Condicionado à legislação ambiental vigente	Avaliação da conservação da nascente
Presença de resíduos sólidos	Observação em campo	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Presença de erosão	Observação em campo	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Indícios de impactos pela atividade antrópica	Observação em campo	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Densidade da vegetação	Mapeamento, observação em campo.	Garantir a proteção da APP segundo a legislação vigente	Avaliação da conservação da nascente
Quantidade de vegetação nativa na APP	Mapeamento, observação em campo.	Quanto maior a porcentagem de vegetação nativa maior conservação da APP da nascente	Avaliação da conservação da nascente

<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica/ equipamento de mensuração</b>	<b>Padrão de referência</b>	<b>Categoria</b>
Proximidade de áreas urbanas	Mapeamento, observação em campo.	A APP da nascente deve ser respeitada segundo a legislação vigente	Avaliação da conservação da nascente
Proximidade à malha viária	Mapeamento, observação em campo.	A APP da nascente deve ser respeitada segundo a legislação vigente	Avaliação da conservação da nascente
Práticas de queimadas e/ou supressão da vegetação	Observação em campo	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Presença de animais de criação	Observação em campo	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Sinais de ocupação direta da área de entorno da nascente por moradores	Observação em campo	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Presença de cerca para proteção da nascente	Observação em campo	A presença de cerca permite o isolamento da APP e funciona como proteção da nascente	Avaliação da conservação da nascente
Uso de agrotóxicos nas culturas próximas à nascente	Observação em campo	Não informado. O uso de agrotóxicos pode impactar as condições ambientais da nascente, mas dependerá do tipo de agrotóxico, do tipo de cultura, do manejo e das características próprias do meio físico.	Avaliação da conservação da nascente
Presença de benfeitorias realizadas no entorno da nascente	Observação em campo	Não informado (a presença de benfeitorias indica interferências antrópicas, mas também proteção para melhoria das condições da nascente)	Avaliação da conservação da nascente
Iniciativas de Programas e projetos para conservação e/ou recuperação de nascentes	Observação em campo, revisão bibliográfica de documentos e sites, consulta a órgãos ambientais	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Atuação da Associação/organização de produtores rurais em projetos de conservação e/ou recuperação de nascentes	Observação em campo, revisão bibliográfica de documentos e sites, consulta em órgãos ambientais	Não informado	Avaliação da conservação da nascente

<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica/ equipamento de mensuração</b>	<b>Padrão de referência</b>	<b>Categoria</b>
Atuação da assistência técnica e/ou extensão rural em projetos de conservação e/ou recuperação	Observação em campo, revisão bibliográfica de documentos e sites, consulta em órgãos ambientais	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Compartilhamento da água entre produtores rurais e controle de conflitos na nascente	Observação em campo, revisão bibliográfica de documentos e sites, consulta em órgãos ambientais	Não informado	Avaliação da conservação da nascente
Dimensão espacial das nascentes	Observação em campo, análise de cartografias	Não informado	Caracterização das nascentes
Altura da Vegetação	Medição direta em campo	Não informado	Caracterização das nascentes
Cobertura das árvores	Medição direta em campo	Não informado	Caracterização das nascentes
Profundidade máxima da nascente	Medição direta em campo	Não informado	Caracterização das nascentes
Ordem dos canais de drenagem no entorno a nascente	Mapeamento da rede hídrica e análise da APP nos canais de drenagem	Não informado	Caracterização das nascentes
Número de afloramentos de água na área de entorno	Observação em campo, análise de cartografias.	Não informado: depende das características geológicas, geomorfológicas e pedológicas do meio físico.	Caracterização do aquífero
Nível da água subterrânea	Análise piezométrica em campo	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características geológicas, geomorfológicas e pedológicas do meio físico.	Caracterização do aquífero
Quantidade de áreas de recarga que incidem na nascente	Mapeamento e visita de campo	Não informado: depende das condições geológicas, geomorfológicas e pedológicas da área	Caracterização do aquífero
Precipitação média anual	Estações pluviométrica existentes e pesquisa em registro de dados históricos	Não informado: depende das condições climáticas da região	Caracterização das condições climáticas da área de entorno à nascente
Umidade relativa	Estação meteorológica e pesquisa em registro de dados históricos	Não informado: o padrão de referência está condicionado às condições climáticas da região	Caracterização das condições climáticas da área de entorno à nascente

<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica/ equipamento de mensuração</b>	<b>Padrão de referência</b>	<b>Categoria</b>
Evapotranspiração potencial da APP	Método Penman-Monteith (FAO) calculado a partir das séries de dados de estações meteorológicas automáticas	Não informado: depende das condições climáticas da região	Caracterização das condições climáticas da área de entorno à nascente
pH do solo	Análise do solo no laboratório ou por diluição da amostra em água	Não informado: condicionado as características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Tipo do solo	As diferentes ordens do solo podem-se estudar por mapeamento	O tipo do solo é indicativo de algumas propriedades físicas e químicas dos solos. Porém precisa-se de análises mais detalhadas para gerar conclusões	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Potencial de infiltração	Pode ser calculado por meio de ensaios de infiltração ou estimado a partir de dados de precipitação, evapotranspiração e coeficientes de escoamento	Existem valores padrão de infiltração alguns tipos de solos. Porém o ideal é fazer os ensaios e relacioná-los com parâmetros como a porosidade do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Relevo	Mapeamento da declividade e a topografia	O relevo está relacionado ao tipo de nascente que pode acontecer num determinado local	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Concentração de fósforo no solo	Análise química do solo no laboratório	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Porosidade do solo / Granulometria	Ensaio de porosidade do solo no laboratório	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características físicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Umidade do solo	Análise de umidade no laboratório	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características físicas próprias do solo e das condições climáticas da região	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Condutividade elétrica do solo	Análise do solo no laboratório	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Matéria orgânica do solo	Combustão Seca (SC – 144DR, LECO Instruments, USA)	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características físicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo

<b>Parâmetros</b>	<b>Técnica/ equipamento de mensuração</b>	<b>Padrão de referência</b>	<b>Categoria</b>
Concentração de Nitrogênio no solo	Os métodos utilizados foram ISSO14891 2002 Standard (ISSO / IDF, 2002) e Kjeldahl. Embrapa (1997)	Não informado: o padrão de referência está condicionado às características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Concentração de magnésio no solo	Método complexo métrico com emprego de EDTA e por espectrofotometria de absorção atômica. Embrapa (1997)	Não informado: a concentração depende das características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Concentração de cálcio no solo	Método complexo métrico com emprego de EDTA e por espectrofotometria de absorção atômica. Embrapa (1997)	Não informado: a concentração depende das características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Concentração de Alumínio no solo	Método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio, após a extração de Al por KCl 1molL <sup>-1</sup> . Embrapa (1997)	Não informado: a concentração depende das características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Concentração de sódio no solo	Método direto pelo espectrofotômetro de chama Embrapa (1997)	Não informado: a concentração depende das características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Concentração de potássio no solo	Método direto pelo espectrofotômetro de chama Embrapa (1997)	Não informado: a concentração depende das características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo
Coefficiente de Troca Catiônica	Análise química do solo no laboratório	Não informado: a concentração depende das características químicas próprias do solo	Avaliação das condições físico-químicas do solo

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

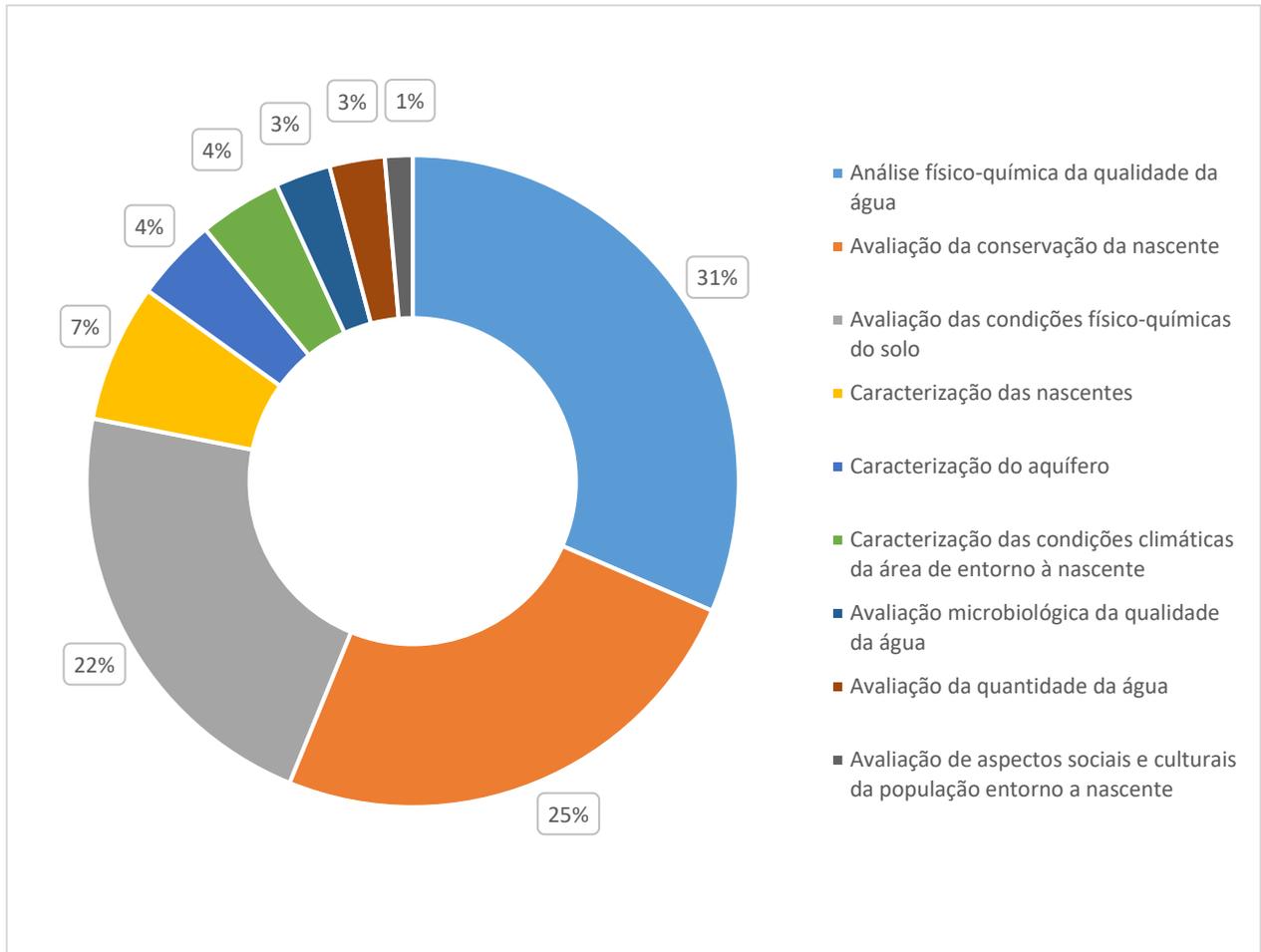
Conforme apresentou-se na tabela anterior, foram identificados na literatura 73 parâmetros que medem diferentes condições ambientais de nascentes. Entre esses parâmetros encontram-se todos os que conformam o Índice de Qualidade da Água - IQA (oxigênio dissolvido, pH, DBO5, temperatura, turbidez, sólidos totais, nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerantes) e outros igualmente relacionados à caracterização físico-química e microbiológica desta. Porém, a informação que esse grupo de parâmetros consegue coletar não é conclusiva para o objetivo da avaliação integrada e monitoramento de nascentes, já que não fornecem os dados suficientes para analisar a nascente como um sistema ambiental. Neste sentido, encontrou-se que parâmetros (tais como o uso da água, presença de resíduos sólidos, erosão, tipo do solo, densidade e cobertura da vegetação, proximidade a áreas urbanas, presença de animais de criação, presença de tradições e/ou culturas relacionadas a existência da nascente, entre outros) são mais adequados para determinar

o estado de conservação da nascente de forma integrada e prática, identificando as causas dos impactos por meio do estudo e aplicação de técnicas e/ou metodologias que abrangem tanto a engenharia ambiental, florestal, agrônômica e geológica, quanto as ciências biológicas, ecológicas, as ciências sociais e geografia.

Os parâmetros foram classificados por categorias de acordo ao objetivo de sua utilização, aplicação e/ou proposição em cada pesquisa estudada. A Figura 31 ilustra esta classificação, indicando que, embora sendo escolhidos pela RBS os artigos e documentos com enfoques mais abrangentes e de avaliação integrada, continuou prevalecendo o interesse pela avaliação físico-química da qualidade da água, técnica que desconsidera fatores relacionados às condições da vegetação, geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo, clima e inclusive da dinâmica hidrológica.

Seguindo a ordem de maior porcentagem de parâmetros por categorias, segue a avaliação da conservação de nascentes, cujos parâmetros buscam analisar principalmente as características e condições da vegetação e uso e ocupação do solo entorno à nascente, determinando possíveis impactos antrópicos que alteram a dinâmica e o estado de conservação do ecossistema e a disponibilidade hídrica daquela região. No terceiro lugar segue a categoria de avaliação físico-química do solo, mostrando-se a existência de metodologias baseadas em análises integradas que consideram condições ambientais dos meios aquático e terrestre, nesta sequência continua a caracterização das nascentes; caracterização do aquífero; caracterização das condições climáticas; avaliação microbiológica e da quantidade de água e finaliza-se com a avaliação de aspectos sociais e culturais da população a qual apresentou um único parâmetro, indicando que, embora importante, torna-se complicado e subjetivo determinar a relação entre as tradições culturais e as condições ambientais de nascentes, sendo preciso desenvolver estudos mais detalhados.

Figura 31. Classificação dos parâmetros por categorias



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 2.3.2. Lista de indicadores

Os indicadores identificados para a determinação e análise de condições ambientais de nascentes são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Lista de indicadores para determinação de condições ambientais de nascentes

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
Índice de Qualidade da Água (IQA)	Mofor; Njoyim; Mvondo-Zé (2017)	Os parâmetros que compõem o IQA são: nitrogênio total, fósforo total, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, resíduo seco total, turbidez, pH e coliformes termo tolerantes. Os parâmetros são determinados por análise química e relacionados por meio de equações matemáticas estabelecidas	O método de avaliação do IQA estabelece categorias qualitativas para valores quantitativos da seguinte forma: Excelente: $90 < IQA \leq 100$ ; Bom: $70 < IQA \leq 90$ ; Médio: $50 < IQA \leq 70$ ; Ruim: $25 < IQA \leq 50$ ; Muito Ruim: $0 < IQA \leq 25$	Análise físico-química da qualidade da água
SAR - Relação de Adsorção de Sódio	Mofor; Njoyim; Mvondo-Zé (2017)	O indicador determina a qualidade da água para fins agrícolas. Estabelece uma relação matemática entre as concentrações de Sódio, Cálcio e Magnésio na água, na qual o SAR é igual a concentração de Sódio dividida pela raiz quadrada da soma das concentrações de Cálcio e Magnésio	O método de avaliação do SAR estabelece categorias qualitativas para valores quantitativos da seguinte forma: Excelente: $0 - 10$ ; Bom: $10 - 18$ ; Médio: $18 - 26$ ; Pobre: $> 26$	Análise físico-química da qualidade da água
Índice EC-Turb para análise de processos sedimentares	Schiperski et al. (2015)	O índice relaciona os parâmetros de turbidez e condutividade elétrica para análise dos processos de sedimentação de partículas que acontecem na água	O índice indica que: $< 0,5$ no processo haverá deposição de sedimentos; $0,5 - 1,5$ o processo será direto sem deposição; $> 1,5$ no processo haverá suspensão de sedimentos	Análise físico-química da qualidade da água
Índice de quantidade de fragmentos de vegetação na área entorno à nascente (IQF)	Fumagalli et al. (2017)	$IQF = \frac{A\_patches\_buffer}{A\_patches\_max}$ <p>Em que: <i>A_patches_buffer</i> é a soma das áreas de fragmentos de vegetação (floresta de folhas largas, floresta mista, bosques de transição) dentro da área de influência definida pelo pesquisador (recomenda-se no mínimo 100 metros) e <i>A_patches_max</i>: valor máximo possível de <i>A_Patches_Buffer</i> (Área de influência total)</p>	O índice dará um valor de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 a vegetação na área entorno à nascente estará mais conservada	Avaliação da conservação da nascente

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
Índice de quantidade de corredores ecológicos na área entorno à nascente (IQCE)	Fumagalli et al. (2017)	$IQCE = \frac{L\_Cor\_buffer}{L\_Cor\_max}$ <p>Em que: <i>L_cor_buffer</i> é a soma dos comprimentos do corredor (sebes, linhas, faixas arborizadas) dentro do buffer e <i>L_cor_max</i> é o valor máximo de <i>L_cor_buffer</i> (diâmetro da área de entorno)</p> <p>Nota: O IQCE avalia o comprimento dos corredores, por isso dentro da área de entorno podem existir vários corredores ecológicos, podendo-se calcular vários IQCE</p>	O índice dará um valor de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 maior o comprimento do corredor	Avaliação da conservação da nascente
Presença de vegetação (PV)	Fumagalli et al. (2017)	O parâmetro avalia de forma simples a presença ou ausência de vegetação	Quando há presença de vegetação outorga-se valor de 1, quando for ausente o valor é 0	Avaliação da conservação da nascente
Índice de densidade de habitats (IDA)	Fumagalli et al. (2017)	$IDA = \frac{(IQF * 2 + IQCE + PV)}{4}$ <p>Em que: IQF é o valor do Índice de quantidade de fragmentos de vegetação na área entorno à nascente; IQCE é o valor do Índice de quantidade de corredores ecológicos na área entorno à nascente e PV é o valor da Presença de Vegetação</p>	O índice dará um valor de 0 a 1, quando o valor for próximo de 1 indicará melhores condições de habitat para fauna	Avaliação da conservação da nascente
Qualidade visual da nascente (Beleza cênica)	Fumagalli et al. (2017)	Determina a beleza cênica de uma área por meio da análise sobre a conservação da vegetação ao redor. Usa como informação a observação em campo e avaliação da percepção da população, também considera o mapeamento do uso e ocupação do solo para fazer estimativas.	Relaciona a beleza de uma paisagem, partindo do pressuposto de que as áreas conservadas e vegetadas são belas.	Avaliação da conservação da nascente
Abundância de macro-invertebrados	Sepulveda; Sechrist; Marczak (2014)	É uma métrica que determina o número total de macro-invertebrados presentes na área. Estes são bioindicadores de qualidade ambiental.	Depende de amostragem e correlações estatísticas.	Avaliação da conservação da nascente

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
% EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera)	Sepulveda; Sechrist; Marczak (2014)	As métricas construídas a partir da comunidade de macroinvertebrados bentônicos são uma forma de caracterização da qualidade dos corpos aquáticos tornando o monitoramento ambiental economicamente viável e de fácil demonstração para os tomadores de decisão. Os organismos pertencentes às ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), são considerados excelentes indicadores da condição ambiental em todos os ambientes, pois estes são extremamente sensíveis à poluição, constituindo uma ferramenta útil na avaliação do meio. A % de EPT é uma métrica que mede a contagem total de amostras que estão dentro das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera na área de estudo	Depende de amostragem e correlações estatísticas	Avaliação da conservação da nascente
HB index (Índice biótico de Hilsenhoff)	Sepulveda; Sechrist; Marczak (2014)	Corresponde ao valor médio de tolerância dos indivíduos. Calcula-se multiplicando o número de indivíduos de cada táxon pelo seu valor de tolerância, somando os produtos e dividindo pelo total. Os valores de tolerância variam de 0 a 10, com valores altos indicando tolerância à poluição orgânica	Depende de amostragem e correlações estatísticas	Avaliação da conservação da nascente
NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)	White et al. (2016); White; Lewis (2011)	O NDVI é desenvolvido por meio de SIGs a partir da relação entre as medidas espectrais de duas bandas, a infravermelho próximo e a vermelha	O índice pode variar, teoricamente, entre -1 e 1. Os valores iguais ou menores a 0 (zero) indicam a ausência de vegetação ou solo exposto. Os valores próximos a 1 indicam grande quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa. Valores negativos podem indicar presença de água	Avaliação da conservação da nascente
VESPA (Estimador de Vulnerabilidade de para áreas de Nascentes)	Banzato et al. (2017)	É um índice que busca determinar o nível de vulnerabilidade de áreas de nascentes por meio de dados da descarga (vazão), temperatura e condutividade elétrica. Ele estabelece equações matemáticas que relacionam esses três parâmetros, dando como resultado um valor ponderado	A escala do índice é vulnerabilidade: Muito alta: $V \geq 10$ ; Alta: $1 < V < 10$ ; Média: $0,1 < V < 1$ ; Baixa: $0 < V < 0,1$	Avaliação da conservação da nascente

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
Índice de Impacto Ambiental Macroscópico (IIAM)	Torres, (2016); Machado; Selva (2017); Palivoda; Povaluk (2015); Filizzola; Magalhães Junior; Felipe (2013)	É um índice que integra a avaliação de 12 parâmetros macroscópicos para estimar o impacto ambiental em fontes hídricas como riachos, lagos e nascentes. Os parâmetros que constituem o IIAM são: cor da água; odor; lixo ao redor; materiais flutuantes (lixo na água); espumas; óleos; esgoto; vegetação; uso por humanos; uso por animais; acesso e equipamentos urbanos	As notas atribuídas para cada parâmetro vão de 1 a 3. Cada nota possui uma descrição qualitativa que auxilia na avaliação. Por exemplo, para a cor da água as opções são: 1 quando for escura; 2 quando for clara e 3 quando for transparente. Para determinar o valor do índice, as notas de todos os parâmetros são somadas e classificadas de acordo com cinco categorias: Ótimo (31-33); Bom (28-30); Regular (25-27); Ruim (22-24); Péssimo (abaixo de 21)	Avaliação da conservação da nascente
Índice de Impactos Ambientais em Nascentes (IAMN)	Torres, (2016); Machado; Selva (2017); Palivoda; Povaluk (2015)	Este índice é uma adaptação do IIAM para nascentes, ele integra a avaliação de 13 parâmetros macroscópicos para estimar o impacto ambiental em nascentes. Os parâmetros que constituem o IAMN são: coloração aparente da água; odor da água; lixo ao redor; materiais flutuantes; espumas; óleos; esgoto; vegetação; uso por animais; uso antrópico; proteção; residências e tipo de área de inserção	As notas atribuídas para cada parâmetro vão de 1 a 3. Cada nota possui uma descrição qualitativa que auxilia na avaliação. Por exemplo, para a coloração aparente da água as opções são: 1 quando for escura; 2 quando for clara e 3 quando for transparente. Para determinar o valor do índice as notas de todos os parâmetros são somadas e classificadas de acordo com cinco categorias: Ótimo (37-39); Bom (34-36); Regular (31-33); Ruim (28-30); Péssimo (abaixo de 28)	Avaliação da conservação da nascente

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
<p>GPAN (Grau de Priorização de APPs de Nascentes)</p>	<p>Moura; Chaves; Campos (2017)</p>	<p>O GPAN permite determinar as prioridades de restauração das áreas de nascentes para o desenvolvimento de projetos. Considerando que os atributos relativos à topografia de uma região possuem influência direta na velocidade de deslocamento das águas até a nascente, portanto, um importante fator dentre aqueles que predispõem aos de preservação das nascentes, em conjunto com parâmetros sobre o grau de permeabilidade do terreno, o uso e cobertura da terra, os tipos de solos da região, a geomorfologia, fatores climáticos, entre outros, que podem ser combinados</p> <p>O GPAN é definido pela equação a seguir:  <math display="block">GPAN = TWI * GH * GA</math></p> <p>Em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-TWI é o valor médio do índice de umidade do solo na APP da nascente. Descreve a propensão de saturação para uma determinada região dada a sua área de contribuição e as características de declividade locais. O TWI é também um índice proposto por Beven e Kirkby (1979) que quantifica o controle da topografia local quanto aos processos hidrológicos e indica a distribuição espacial da umidade do solo e saturação da superfície;</li> <li>-GH é o Grupo Hidrológico do solo predominante na APP da nascente, classificado em quatro classes conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento, atribuindo um valor numérico para cada classe: Grupo A, 1; Grupo B, 2; Grupo C, 3; Grupo D, 4;</li> <li>-GA é o Grau de Antropização (percentual de classes de uso antrópico) na APP da nascente</li> </ul>	<p>O resultado apresenta-se em uma ferramenta SIG que sobrepõem o conjunto de mapas por meio de funções, resultando, no caso, em um mapa de Grau de Priorização das APPs das Nascentes, para o qual foram definidas três diferentes classes de priorização: Alta (A); Média (M) e Baixa (B)</p>	<p>Avaliação da conservação da nascente</p>

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
Índice COP	Naghibi; Pourghasemi; Dixon (2016); Golkarian et al. (2018); Naghibi; Dashtpajardi (2017)	O Índice COP busca avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos a partir de algumas características do meio físico, especificamente as propriedades físicas do solo, o potencial de infiltração e as condições climáticas. Para isso, devem ser simulados alguns cenários para determinar (por meio de equações matemáticas de multiplicação e estabelecimento de pesos) a forma que essas propriedades afetam os aquíferos, aumentando ou diminuindo sua vulnerabilidade	A equação matemática que descreve o índice é ponderada, dando como resultado valores entre 0 e 15. Quando o valor do índice for entre 0 e 0,5 a vulnerabilidade é muito alta. De 0,5 até 1, alta. De 1 até 2, moderada. De 2 até 4, baixa e de 4 até 15, muito baixa	Caracterização do aquífero
SINTACS	Kapelj-S; Lobrec; Kapelj-J. (2013)	O Índice busca avaliar a vulnerabilidade do aquífero por meio de uma equação matemática que pode ser desenvolvida utilizando ferramentas SIG e que relaciona diferentes layers com informações do meio físico	A escala do Índice é vulnerabilidade intrínseca. Muito baixa: 26-80; baixa: 80-105; média: 105-140; alta: 140-186; muito alta: 186-210; extrema: 210-260	Caracterização do aquífero

Indicadores	Fonte	Método/descrição	Padrão de referência	Categoria
Pegada hídrica subterrânea (GF) e Pegada hídrica subterrânea integrada (iGF)	Kourgialas et al. (2018)	<p><b>A pegada hídrica subterrânea</b> pode ser entendida como o balanço entre saídas e entradas de água subterrânea. Estima-se por médio da equação a seguir.</p> $GF = A \frac{C}{R - E}$ <p>Em que:  C: Captação anual média da área das águas subterrâneas na área de interesse;  R: Taxa de recarga. R é o fluxo de área natural a longo prazo de água no sistema aquífero: R1, recarga da precipitação e R2 recarga da irrigação, que podem ser estimadas usando métodos de vazão de água subterrânea, testes de rastreio, métodos geoquímicos ou modelos;  E: é o fluxo ambiental que corresponde à quantidade de água subterrânea que contribui para fluxo de água superficial;</p> <p><b>A pegada hídrica subterrânea integrada</b> incorpora a qualidade da água à GF. É definida pela seguinte equação:</p> $iGF = GF * (1 + n \left[ (CF_1) \frac{A_1}{A} + (CF_2) \frac{A_2}{A} + \dots + (CF_n) \frac{A_n}{A} \right])$ <p>Em que:  n é o número de contaminantes no sistema;  CF<sub>(1...n)</sub> é o fator de contaminação por contaminante (j), com j =1,..., n para o sistema do aquífero. Se a concentração de um contaminante específico (j) for superior a um determinado limite (definido pela OMS) então o CFj é considerado igual a 1 (ativo), caso contrário é considerado zero (inativo);  A<sub>(1...n)</sub> é a extensão da contaminação, em termos da área (m<sup>2</sup>), onde a concentração de contaminante (j) está acima do limiar definido</p>	<p>Avalia-se a partir de uma relação entre a Pegada Hídrica Subterrânea e a Pegada Hídrica Subterrânea Integrada</p> <p>Se <math>\frac{GF \text{ ou } iGF}{A} &gt; 1</math> o consumo de água desse aquífero não é sustentável ou há evidências de contaminação;</p> <p>Se <math>\frac{GF \text{ ou } iGF}{A} = 1</math> o estresse hídrico do aquífero é significativo ou a contaminação do aquífero é significativa;</p> <p>Se <math>\frac{GF \text{ ou } iGF}{A} &lt; 1</math> as reservas de água subterrânea são utilizadas de forma sustentável e / ou que possuem boa qualidade</p>	Caracterização do aquífero

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

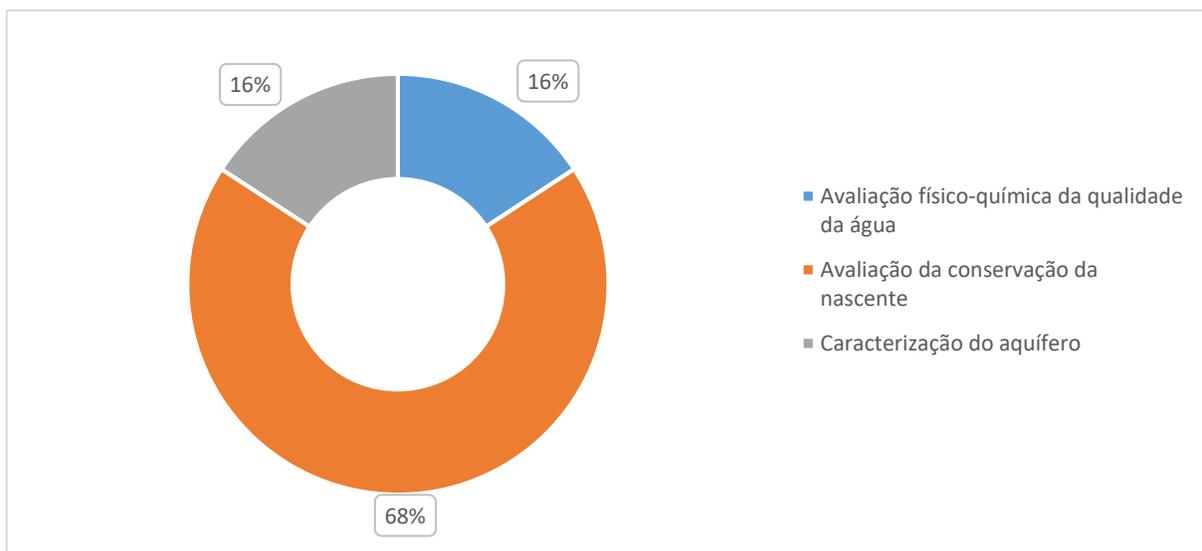
Como foi apresentado na Tabela 9, foram identificados na literatura 19 índices e/ou indicadores para a determinação e análise das condições ambientais de nascentes, entre estes observaram-se o IQA e o VESPA para avaliação da qualidade da água, o NDVI e o IQF, para avaliação da vegetação e o IAMN para avaliação de impactos ambientais em nascentes. Embora estes índices subsidiem a realização de avaliações mais completas da nascente, ainda se consideram superficiais e em alguns casos subjetivas, pois não permitem gerar conclusões sobre o estado de conservação.

Os índices de qualidade da água integram parâmetros físico-químicos e/ou microbiológicos convencionais em uma ponderação matemática que considera diferentes pesos de relevância, porém esses índices não levam em conta a possibilidade dessas condições estarem influenciadas pelas mesmas características do meio físico, sem ser impactos propriamente ditos. Por outro lado, o NDVI avalia a densidade e cobertura da vegetação a partir de imagens de satélite, o que poderia gerar dados equívocos em regiões de vegetação arbustiva, rupestre ou de campo, que naturalmente é escassa e aberta. Finalmente o IAMN, determina-se a partir de parâmetros macroscópicos que avaliam diferentes aspectos ambientais envolvidos na nascente, porém, de uma forma muito superficial que impossibilita seu uso como ferramenta para tomada de decisões.

Os índices e indicadores levantados foram classificados por categorias conforme se mostra na Figura 32. Pode-se observar que a maior parte dos indicadores estão relacionados à avaliação da conservação de áreas de entorno de nascentes, por meio dos quais se analisam as condições da vegetação da APP, os impactos e as pressões ambientais, tanto do uso e ocupação do solo no entorno à nascente, quanto os impactos diretos de origem antrópica, e finalmente as condições para a sustentação da biodiversidade destas regiões localizadas em áreas de preservação ambiental.

Alguns fatores que possuem grande influência nas condições ambientais de nascentes e subsidiam os processos de avaliação ambiental realizados a partir de uma visão integrada, são: o tipo de aquífero; as características da água subterrânea; e inclusive, as condições geológicas, geomorfológicas e pedológicas do meio físico, tanto da área de recarga quanto do afloramento da nascente. Neste sentido, alguns indicadores que determinam a vulnerabilidade do aquífero e as relações entre a recarga e a extração para o uso da água subterrânea foram levantados. Estes indicadores, embora necessários, tornam-se complicados na aplicação, principalmente pela necessidade de dados inexistentes, as complexidades dos processos de geração desses dados e os estudos preliminares que possuem custo alto (GOLKARIAN et al., 2018).

Figura 32. Classificação dos indicadores por categorias



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 2.3.3. Ferramentas identificadas

Tomando como referência o fato de que para alcançar o paradigma da Gestão Integrada de Recursos Hídricos faz-se necessário o uso de ferramentas que contribuam para a sua organização e implementação (CEREZINI, 2019), foram levantadas nove ferramentas para subsidiar os processos de avaliação, monitoramento, conservação e gestão de áreas de nascentes (ver Tabela 10). Dentre as ferramentas, encontram-se: metodologias de mapeamento; protocolos; aplicativos; planos; programas educativos e instrumentos econômicos, que são descritos na tabela a seguir.

Tabela 10. Ficha descritiva das ferramentas identificadas

<b>Ferramenta 1: Sistemas de Informação Geográfica para o mapeamento do uso e ocupação do solo entorno a nascente</b>	
Tipo	Metodologia de mapeamento
Foco	Avaliação de impactos do uso e ocupação do solo
Descrição/Objetivo	Avaliar as mudanças do uso e ocupação do solo em áreas de entorno às nascentes de cursos d'água, para identificar possíveis conflitos de uso que estejam gerando impactos e pressões de origem antrópica e colocando em risco o equilíbrio entre disponibilidade e demanda hídrica na bacia hidrográfica na qual a nascente está inserida
Fontes	Eller e Katz (2017); Fumagalli et al. (2017); Golkarian et al. (2018); Karami; Bagheri e Rahimi (2016); Menció; Roura e Mas-Pla (2011); Naghibi e Dashtpajardi (2017); Naghibi; Pourghasemi e Dixon (2016); Pinto-Cruz et al. (2011); Pourtaghi e Pourghasemi (2014); Sappa; Ferranti e Luciani (2016); Zhao et al. (2010)

Tabela 10. Ficha descritiva das ferramentas identificadas (continuação)

<b>Ferramenta 2: Protocolo de Avaliação Rápida de corpos hídricos adaptado para áreas de veredas</b>	
Tipo	Protocolo
Foco	Avaliação do estado de conservação e a estrutura ecológica de nascentes
Descrição/Objetivo	Realizar diagnósticos ambientais, principalmente em ecossistemas aquáticos. Os PARs são ferramentas que agrupam procedimentos adaptados à avaliação rápida, qualitativa e semi-quantitativa de um conjunto de variáveis, representando os principais componentes e fatores que determinam os processos e funções ecológicas de corpos hídricos. Neste caso, foi realizada uma adaptação deste protocolo às veredas, conseguindo-se avaliar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos com base em parâmetros fáceis de serem entendidos e simples de usar como: Presença de Buriti (vegetação típica); extensão e preservação da área de entorno; isolamento e proteção de nascentes; vegetação ao redor da nascente; estado de conservação da vegetação entorno da nascente; contaminação ao redor da nascente e na área de inundação; benfeitorias civis na nascente.
Fonte	Guimarães; Rodrigues e Malafaia (2017)
<b>Ferramenta 3: Protocolo para detecção de nascentes ativas e inativas</b>	
Tipo	Protocolo
Foco	Determinação do status de atividade de nascentes
Descrição/Objetivo	As nascentes ativas são relativamente fáceis de identificar e localizar a partir de informações como: a drenagem superficial; a infiltração; as características geomorfológicas; a vegetação típica destas zonas, entre outros. No entanto há certa complexidade na localização e verificação da existência passada de nascentes inativas que foram esquecidas por muitas décadas. Considerando a importância cultural, espiritual, biológica e hidro biológica das nascentes, nas comunidades e no seu desenvolvimento foi estabelecido um protocolo para auxiliar na identificação de nascentes ativas e inativas baseado em informações de relatos históricos; mapas históricos; publicações em jornais e revistas; artigos e monografias; documentos oficiais do estado; busca de artefatos da cultura europeia e aborígenes; feições geomorfológicas e espécies de plantas.
Fonte	Fensham et al. (2016)
<b>Ferramenta 4: Aplicativo água para o futuro</b>	
Tipo	Aplicativo eletrônico
Foco	Divulgação e comunicação de informações sobre nascentes
Descrição/Objetivo	O aplicativo apresenta um mapa de nascentes identificadas sobre imagens de satélite de alta resolução, disponíveis à população com informações relacionadas ao estado de conservação. O aplicativo permite ao usuário interagir, alimentando o sistema. Desta forma, o usuário pode cadastrar novas nascentes, enviar fotos, colocar novas características ou atualizar as previamente informadas por outros usuários. Dentre as características, apresentam-se os TAC (Termos de Ajustamento de Conduta) relacionados aos conflitos de APP.
Fonte	Instituto Ação Verde; Mato Grosso e UFMT (2018)
<b>Ferramenta 5: Aplicativo do Programa Plantadores de Rios</b>	
Tipo	Aplicativo eletrônico
Foco	Divulgação e comunicação de informações sobre nascentes
Descrição/Objetivo	O aplicativo permite identificar nascentes localizadas em um raio de até 50 km do interessado. O procedimento começa com a escolha do local e o contato com o proprietário do imóvel rural. Daí em diante, inicia-se uma troca de informações pelo chat do aplicativo. A ferramenta possui a opção de que os colaboradores sejam avaliados, formando um ranking dos proprietários de áreas, prestadores de serviços e patrocinadores com mais ações desenvolvidas, todas as informações compartilhadas são protegidas e restritas, esclarecendo-se que o investimento de um colaborador na recuperação de uma área não gera nenhum direito sobre ela. O programa também poderá colher informações sobre novas nascentes detectadas pelos usuários, como, por exemplo, as localizadas em áreas urbanas. As informações deste sistema alimentam o banco de dados do SiCAR.
Fonte	Serviço Florestal Brasileiro e UFPA (2017)

Tabela 10. Ficha descritiva das ferramentas identificadas (continuação)

<b>Ferramenta 6: Aplicativo Olhos de água</b>	
Tipo	Aplicativo eletrônico
Foco	Divulgação e comunicação de informações sobre nascentes
Descrição/Objetivo	O aplicativo foi desenvolvido como uma ferramenta de monitoramento das nascentes do município de Divinópolis, MG. O aplicativo permite reportar por meio de fotos, o cadastro de informações do estado de conservação e impactos evidentes às nascentes poluídas ou em risco de poluição. Em teoria, estas informações são enviadas a um banco de dados da Associação Nascentes Bela Vista (ANBV), ONG socioambiental divinopolitana, parceira no desenvolvimento do aplicativo. Após análise, as denúncias são encaminhadas, de forma ágil, aos órgãos responsáveis pela solução dos problemas.
Fonte	UEMG e ANBV (2016)
<b>Ferramenta 7: Plano de preservação e recuperação das nascentes do Rio São Francisco</b>	
Tipo	Plano
Foco	Divulgação e comunicação de informações sobre nascentes
Descrição/Objetivo	O Plano nascente São Francisco representa uma proposta voltada à preservação e à recuperação hidro-ambiental da bacia do Rio São Francisco e contempla a realização de intervenções necessárias à recomposição vegetal de Áreas de Preservação Permanente, à conservação das zonas de recarga hídrica e à promoção da sustentabilidade no uso da água no meio rural, tendo como foco a proteção, a preservação e a recuperação de nascentes. Trata-se de uma ação prevista no componente “Proteção e Recuperação hidro-ambiental” do caderno de ações do Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, elaborado em 2004 pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) com o apoio e participação da Agência Nacional de Águas (ANA), Global Environment Facility (GEF), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização dos Estados Americanos (OEA). Neste plano consolidou-se uma proposta estratégica para a execução, composta por intervenções sequenciais e concatenadas, pontuais e contínuas, de curto, médio e longo prazo para a conservação e recuperação de nascentes.
Fonte	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2016)
<b>Ferramenta 8: Pagamento por Serviços Ambientais aplicado às APP de nascentes</b>	
Tipo	Instrumento econômico
Foco	Incentivo econômico para proteção ambiental
Descrição/Objetivo	Este instrumento tem o objetivo de fomentar a delimitação, demarcação e recuperação de matas ciliares e outros tipos de fragmentos florestais, podendo prever, para consecução de suas finalidades, o Pagamento por Serviços Ambientais aos proprietários rurais conservacionistas, bem como incentivos econômicos a políticas voluntárias de redução de desmatamento e proteção ambiental. Os PSA são definidos como a movimentação em forma de contrato que demonstra uma prestação de serviço ambiental e por isso recebe um valor, que pode ser monetário ou não, de um utilizador deste serviço que é chamado de pagador.
Fontes	Feron e Taveira (2017); Ikematsu et al. (2016); Marta; Medes e Farias (2015)
<b>Ferramenta 9: Educação ambiental para proteção e conservação de nascentes</b>	
Tipo	Instrumento educativo
Foco	Sensibilização e educação ambiental
Objetivo	A educação ambiental é uma importante ferramenta na formação de crianças, jovens e idosos, especialmente por desenvolver a conscientização sobre a importância da preservação e conservação do meio ambiente e se constituir como um conhecimento adquirido que pode ser repassado às futuras gerações. Considerando a importância das nascentes para a manutenção do ciclo hidrológico e consequentemente na qualidade de vida da população em geral, torna-se necessário o ensino e desenvolvimento de projetos de educação e sensibilização ambiental da comunidade escolar para a criação de uma cultura de conscientização a respeito da importância da conservação e preservação das nascentes, tanto urbanas quanto rurais.
Fontes	Cramer et al. (2018); Teixeira e Alves (2015)

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

As nove ferramentas apresentadas na tabela anterior constituem mecanismos, técnicas ou metodologias que permitem desde diferentes enfoques à determinação de condições ambientais de nascentes. Entre estas, destaca-se o mapeamento do uso e ocupação do solo por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) como a mais frequente entre os artigos pesquisados. Os SIGs tem se mostrado como uma ferramenta de grande utilidade e eficiência em estudos ambientais, pois permitem a realização de análises abrangentes e completas, integrando e correlacionando por meio de diferentes métodos as variáveis que influenciam uma determinada condição; desta forma é possível determinar e avaliar os impactos e pressões ambientais e definir suas causas, sendo a base para o desenvolvimento de ações e estratégias de mitigação. Assim o estudo do uso e ocupação do solo no entorno da nascente, permite, além de verificar a existência da APP, identificar as atividades antrópicas desenvolvidas ao redor da nascente, apresentando informações sobre os possíveis impactos. Outra aplicação dos SIGs, se mostra nos três aplicativos eletrônicos identificados, os quais são ferramentas interativas que registram, armazenam e disponibilizam dados para os diferentes órgãos de controle ambiental e para a população interessada, utilizando uma interface SIG amigável e simples. Destaca-se como característica dos aplicativos: água para o futuro e plantadores de rios a possibilidade de permitir a adoção de nascentes por parte dos produtores rurais ou pessoas com interesse em desenvolver ações para sua conservação e proteção, se constituindo também como uma forma de sensibilização ambiental.

Foram definidos como ferramentas o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) adaptado para áreas de veredas e o Protocolo para detecção de nascentes ativas e inativas: o primeiro se baseia na análise de parâmetros macroscópicos similar ao Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (tabela 9), sendo este, desenvolvido especificamente para áreas de veredas. Porém, os PARs oferecem a possibilidade de se readequar com facilidade a diferentes situações e tipos de fontes hídricas superficiais, mantendo o enfoque e a mesma metodologia de avaliação e ponderação. Por outro lado, o protocolo para detecção de nascentes ativas e inativas apresentou um objetivo mais focado a estudos de desenvolvimento social, este parte da análise das tradições de uma comunidade para estabelecer possíveis relações com a água e especificamente com regiões de nascentes podendo ser localizadas as nascentes ativas e as que estiveram ativas no passado e que foram suprimidas por condições antrópicas ou naturais. Os autores indicam que é possível determinar indícios da existência (atual ou passada) de nascentes por meio da análise de aspectos culturais e espirituais da comunidade, assim, o protocolo se baseia em informações de relatos

históricos; mapas históricos; publicações em jornais e revistas; artigos e monografias; documentos oficiais do estado; busca de artefatos; rastros geomorfológicos; espécies de plantas, dentre outras fontes, que forneçam informações relevante para a localização de nascentes ativas ou inativas (FENSHAM et al., 2016).

Finalmente os planos de nascentes, os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) específicos para APPs de nascentes e a própria educação ambiental foram analisadas como ferramentas que facilitam o desenvolvimento de ações para a proteção, conservação e/ou recuperação de nascentes, auxiliando os processos de tomada de decisões para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

## **2.4.CONCLUSÕES**

Esta pesquisa permitiu a identificação de parâmetros atualmente utilizados em processos de avaliação e monitoramento para determinar as condições ambientais de nascentes. No total foram levantados 73 parâmetros pertencentes a diferentes categorias de condições ambientais de nascentes. Percebeu-se que a maior parte destes parâmetros foi classificada na categoria de avaliação físico-química da qualidade da água, colocando-a como o objeto de pesquisa mais frequente nesta área. A importância de avaliar a qualidade da água é conhecida e discutida em diversos estudos sobre nascentes devido sua conexão com os aquíferos, funcionando como pontos de observação da qualidade da água subterrânea. Porém, discutiu-se neste artigo a eminente necessidade de aprimorar esses estudos, visando à avaliação integrada e ao monitoramento da nascente como sistema ambiental. Neste sentido, um importante resultado do trabalho foi a obtenção de parâmetros que avaliam por exemplo, condições da vegetação presente no entorno da nascente e do ecossistema como um todo, características físicas e químicas do solo e dos aquíferos, condições geológicas e geomorfológicas, condições climáticas da região e a aspectos sociais e culturais da população entorno às nascentes.

Da mesma forma, foi realizada a identificação, descrição e síntese do método de aplicação e/ou funcionamento de 19 indicadores e/ou índices e de nove ferramentas para a determinação de condições ambientais de nascentes. Embora os indicadores atuem também como um tipo de ferramenta, decidiu-se realizar a diferenciação nesta pesquisa, devido à grande quantidade de indicadores identificados, selecionando como ferramentas as metodologias, técnicas e instrumentos

de diferentes tipologias que permitem uma análise mais abrangente e integrada de aspectos tanto qualitativos como quantitativos das nascentes. Já os indicadores e/ou índices foram considerados como relações entre variáveis que permitem análises quantitativas de aspectos mais específicos sobre as nascentes.

A maior parte dos indicadores identificados pertence à categoria de avaliação da conservação da nascente, porque permitem analisar condições e características da vegetação de entorno e da biodiversidade, assim como, determinar, de forma genérica, impactos ambientais ocasionados como consequência dos conflitos de uso e ocupação do solo. Porém, esses indicadores funcionam no caso específico de nascentes localizadas em biomas florestais e precisam ser substituídos quando a vegetação dominante seja rupestre ou de campo.

Dentre as vantagens das ferramentas identificadas, está o fato de atenderem focos e objetivos de uso específicos, mas que também podem se inter-relacionar e integrar para serem aplicadas conjuntamente, de forma transversal e interdisciplinar, levando ao entendimento de todos os fatores envolvidos em cada cenário analisado e contribuindo de forma acertada no processo de tomada de decisões. Ferramentas como o mapeamento do uso e ocupação do solo no entorno da nascente têm sido utilizadas por profissionais de diversas áreas como gestão ambiental; geografia; engenharia; arquitetura; biologia; ecologia, entre outras, para apoiar o processo de planejamento de bacias hidrográficas. No entanto, o mapeamento em áreas pequenas encontra-se limitado pela escala de detalhamento, fato que ainda representa um desafio desta ferramenta nos estudos sobre nascentes. Da mesma maneira, os Protocolos de Avaliação Rápida de corpos hídricos têm sido adaptados por diferentes profissionais, buscando avaliar as diferentes condições hidrológicas e ambientais, entre as quais encontram-se adaptações para alguns tipos de nascentes, mas os parâmetros que os constituem estão baseados em avaliações macroscópicas que se tornam subjetivas.

Por outro lado, os aplicativos desenvolvidos integram o uso de tecnologias da informação com conhecimentos específicos das ciências ambientais, sendo úteis, eficientes e factíveis para a divulgação e comunicação à população sobre as condições ambientais das nascentes, permitindo-lhes interagir nestes processos, até o ponto de contribuir na conscientização ambiental. Porém, se faz necessário comunicar a própria existência destas ferramentas, pois é provável que a população ainda as desconheça. Já os planos, os instrumentos econômicos e a educação ambiental foram considerados ferramentas que subsidiam diretamente os processos de gestão e planejamento dos

recursos hídricos, tornando viável a realização e seguimento a ações e metas direcionadas à conservação de nascentes.

Conclui-se indicando que esta pesquisa buscou revelar todos esses parâmetros, indicadores e ferramentas, propostos em artigos e documentos, que foram utilizados satisfatoriamente em diferentes casos no nível global e nacional, incentivando ao seu uso, adaptação ou modificação para determinar as condições ambientais das nascentes e as estratégias para sua conservação e proteção. Porém, evidenciou-se a necessidade de continuar e aprimorar estas pesquisas, pois não existem ainda indicadores e/ou ferramentas com objetivos práticos e eficientes, que integrem nos processos de avaliação e monitoramento todos os aspectos e fatores envolvidos no sistema ambiental formado pela nascente. Contudo, no capítulo a seguir apresenta-se o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água, uma ferramenta elaborada nesta dissertação que permite determinar o estado de conservação de nascentes, a partir do entendimento da nascente como sistema ambiental complexo.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. Elaboração e validação de um Protocolo para a Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água – PANÁgua**

### **3.1. OBJETIVO DA PESQUISA**

As nascentes são sistemas ambientais fundamentais para a manutenção dos recursos hídricos que possuem um papel essencial no ciclo hidrológico e influenciam diretamente a disponibilidade e qualidade da água, por isso devem ser realizadas ações para a avaliação e monitoramento de suas condições ambientais, identificando os impactos que sofrem e as causas. Neste sentido, têm sido apresentados na literatura parâmetros capazes de descrever as variáveis e fatores que afetam ou alteram a conservação e qualidade ambiental das nascentes, assim como, indicadores e ferramentas que buscam integrar as variáveis fornecendo informações acertadas que podem ser utilizadas como subsídio aos processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos. Entretanto, essas ferramentas, embora importantes, ainda precisam ser aprimoradas para contemplar de forma abrangente toda a complexidade desses sistemas, considerando os diferentes fatores envolvidos.

Contudo, a presente pesquisa teve como objetivo analisar e validar parâmetros e indicadores propostos e/ou aplicados na literatura para a determinação de condições ambientais de nascentes, com a finalidade de elaborar um Protocolo de Avaliação Integrada e de Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) que funcione como ferramenta para subsidiar os processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

### **3.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir da identificação prévia de parâmetros e indicadores para a determinação das condições ambientais de nascentes de cursos d'água, realizada mediante a análise e a leitura reflexiva de artigos e documentos sobre essa temática. Um grupo de 73 parâmetros e 19 indicadores foram analisados, descrevendo suas características e métodos de aplicação, para serem classificados por categorias, de acordo com seu objetivo e as informações que fornecem. Essas categorias foram readaptadas mais uma vez visando à estruturação do PANÁgua como ferramenta, estabelecendo-se as seguintes categorias: monitoramento qualitativo e quantitativo da água; características físicas e química do solo; vegetação de entorno; condições de sustentação de fauna; vulnerabilidade, impactos e interferências; ações de conservação e recuperação de nascente.

### 3.2.1. Metodologia de validação 3S

As técnicas de avaliação de impactos e condições ambientais para corpos hídricos existentes geralmente são desenvolvidas por meio de indicadores, que possuem a vantagem de auxiliar os processos de tomada de decisões, apresentando de forma clara e simples as informações necessárias. Porém, exige-se que esses indicadores sejam validados cientificamente e socialmente para subsidiar com qualidade, aplicabilidade e credibilidade os estudos ambientais e sociais nos quais se utilizam (CLOQUELL-BALLESTER et al., 2006). Contudo, para a elaboração do Protocolo de Avaliação Integrada e de Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), foi considerado como base o grupo de parâmetros e indicadores previamente mencionados, os quais foram submetidos a um processo de validação e verificação visando à sua utilização.

A metodologia utilizada para desenvolver essa etapa denomina-se metodologia de validação 3S e teve como objetivo validar por meio da avaliação de vários critérios, os parâmetros e os indicadores antes de serem aplicados, executados, medidos ou determinados na prática. Esta metodologia verifica a adequação de indicadores em três etapas complementares, aumentando paulatinamente a confiabilidade nos resultados. Estas etapas são: i) auto-validação (*self validation*), que permite a reflexão interna e autocrítica, evitando inconsistências conceituais e é realizada pelos profissionais e/ou pesquisadores que propuseram o uso do indicador ou parâmetro; ii) validação científica (*science validation*), que proporciona rigor e objetividade integrando o julgamento e contribuições de especialistas na área específica do estudo e, iii) validação social (*social validation*), feita com a participação de possíveis usuários, técnicos e cientistas, que atuem como aplicadores desses parâmetros e/ou indicadores, validando-se assim a função social e prática destes (CLOQUELL-BALLESTER et al., 2006).

Para o desenvolvimento de cada uma destas etapas, o primeiro passo foi a elaboração de uma planilha para validação, sendo nomeados, descritos e classificados por categorias todos os parâmetros e indicadores previamente levantados. Estas categorias também foram submetidas ao processo de validação 3S e, posteriormente, foi necessário estabelecer os critérios e métodos para a avaliação.

Os critérios selecionados foram diferentes entre as etapas da validação; inicialmente, a validação das categorias foi realizada unicamente com base no critério de relevância que representa o quanto a categoria é significativa para a avaliação integrada e monitoramento de nascentes de cursos d'água. Já os parâmetros e indicadores foram avaliados na auto-validação e validação

científica, de acordo com os critérios definidos na Tabela 11. E finalmente, esses critérios foram redefinidos para a validação social conforme se mostra na Tabela 12.

Tabela 11. Critérios utilizados na auto-validação e validação científica

<b>Critérios</b>	<b>Características</b>	<b>Descrição</b>
Relevância	Significativo e preciso para a elaboração do Protocolo (PANÁgua)	O item analisado deve ser pertinente e significativo, considerando que o objetivo consiste em avaliar de forma integrada e monitorar as condições ambientais do entorno das nascentes
Compreensão	Não ser ambíguo, de fácil interpretação	O item analisado e os seus possíveis resultados devem ser claros e de fácil compreensão para profissionais da área ambiental que os aplicarão
Resposta às mudanças	Ser reativo, sensível às alterações	O item analisado deve sinalizar as mudanças de tendência, e ser sensível às mudanças e interferências das atividades humanas relacionadas, preferencialmente em curto prazo
Comparabilidade	Ser comparável no tempo e no espaço	O item analisado deve permitir comparações em diferentes casos e situações
Operacionalidade	Ser mensurável, viável na sua operação, informação factível	O item analisado deve ser de baixo custo e fácil de medir e processar, sendo necessário que as informações para a medição estejam disponíveis ou possam ser obtidas de forma simples

Fonte: adaptado de Niemeijer e Groot (2008); Suquizaqui (2018); Castillo (2018)

Tabela 12. Critérios utilizados na validação social

<b>Critérios</b>	<b>Características</b>	<b>Descrição</b>
Coerência com a categoria	Correspondência ou enquadramento na categoria	O item analisado, enquadrou-se na melhor categoria possível das existentes no protocolo
Compreensão das respostas para pontuação	Não ser ambíguas, ser claras e facilmente interpretadas	O item analisado e os seus possíveis resultados devem ser claros e de fácil compreensão para profissionais da área ambiental que aplicarão o PANÁgua
Relevância do parâmetro	Significativo, importante e necessário para o objetivo do protocolo (PANÁgua)	O item analisado deve ser pertinente e significativo, considerando que o objetivo consiste em avaliar de forma integrada as áreas de nascentes
Operacionalidade do parâmetro	Ser mensurável, viável na sua operação, informação factível	O item analisado deve ser de baixo custo e fácil de medir e processar, além de que as informações para sua medição estejam disponíveis ou possam ser obtidas de forma simples

Fonte: adaptado de Niemeijer e Groot (2008); Suquizaqui (2018); Castillo (2018)

Para facilitar a interpretação dos resultados, adotaram-se a escala ordinal Likert e o Índice de Validação de Conteúdo (IVC) como os métodos para estabelecimento e análise das pontuações de cada critério em todos os estágios de validação, tanto dos parâmetros e indicadores quanto das categorias. A escala de Likert é uma escala numérica ordinal que informa o grau de concordância ou discordância sobre um item a ser respondido em relação a critérios específicos, atribuindo-lhe um número que reflete o direcionamento da atitude do respondente, neste sentido reconhece a oposição entre contrários, o gradiente e as situações intermediárias (LIKERT, 1932; PEREIRA, 1999). A escala ordinal Likert adotada para esta pesquisa apresenta-se na Tabela 13 e foi utilizada na avaliação dos critérios de forma individual. Posteriormente, as notas de cada avaliador foram ponderadas utilizando o IVC, um índice que mede, em valores de 0 a 1, a proporção ou porcentagem de juízes/especialistas que estão de acordo sobre determinados aspectos de cada parâmetro, indicador e categoria (MEDEIROS et al., 2015; HORGAS et al., 2008). A equação 1 mostra o cálculo necessário para aplicação deste índice.

Tabela 13. Escala de Likert para avaliação dos parâmetros, indicadores e categorias

<b>Escala</b>	<b>Descrição</b>
1	O item responde minimamente ao critério
2	O item responde moderadamente ao critério
3	O item responde ao critério
4	O item responde altamente ao critério

Fonte: Adaptado de Likert (1932); Castillo (2018)

$$IVC = \frac{\text{Número de respostas com nota 3 e 4}}{\text{Número total de respostas}} \quad \text{Equação 1}$$

Por fim, os valores do IVC foram calculados nas diferentes etapas de validação, funcionando como critério para seleção e descarte dos parâmetros, indicadores e categorias em cada etapa. O valor do índice estabelecido como limiar para a classificação de cada item foi 0,6, este valor indica que como mínimo 60% dos especialistas consultados outorgaram notas 3 ou 4, as quais são as pontuações mais altas da escala de Likert. Assim, aqueles com IVC inferior a 0,6 foram desconsiderados do processo e não avançaram para a etapa seguinte.

### 3.2.2. Seleção do grupo de especialistas para a validação científica e social

Foi conformado um grupo interdisciplinar de especialistas para a validação científica dos parâmetros, indicadores e categorias, a partir da busca dos *Curriculum Vitae* de autores de artigos relacionados à temática de avaliação e monitoramento de nascentes na plataforma *Lattes* do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq). Assim, foram considerados e consultados aqueles com histórico destacado e relevante de atuação profissional, assim como pesquisadores nesta área, no intuito de obter contribuições e sugestões relevantes e acertadas para a modificação, eliminação ou inclusão dos parâmetros, indicadores e categorias.

Já para a validação social, foram selecionados profissionais, com formação e experiência técnica e científica na área de recursos hídricos, para atuarem como possíveis usuários do protocolo. Uma vez selecionados os especialistas, foram enviadas as planilhas de validação, correspondentes a cada caso, juntamente com as instruções para realizar a avaliação.

### 3.2.3. Elaboração da versão preliminar do PANÁgua e validação por médio da aplicação em campo

Uma vez realizadas a auto-validação e a validação científica e aplicados os IVC para seleção e descarte das categorias, parâmetros e indicadores avaliados em cada etapa, foi elaborada uma versão preliminar do Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água, considerando as diferentes observações, sugestões e contribuições que resultaram desse processo. Este protocolo preliminar foi testado em campo por um grupo de pesquisadores com experiência na utilização deste tipo de ferramenta, sendo possível verificar de forma empírica cada um dos critérios descritos na Tabela 12. Após a aplicação, foi realizada uma reunião para a socialização das principais observações e anotações das experiências, compartilhando contribuições e sugestões para a melhoria do PANÁgua.

Para o teste de aplicação do PANÁgua, foram escolhidas estrategicamente nascentes de rios localizados na região central no interior do estado de São Paulo, Brasil, especificamente na Área de Proteção Ambiental Corumbataí: Rio Itaquerí; Rio Pirapitinga; Ribeirão Tamanduá; Ribeirão do Pinheirinho; córrego da Lagoa Dourada. As nascentes escolhidas se caracterizaram por possuir condições do entorno diversas, tais como: nascentes localizadas em áreas agrícolas; com presença de silvicultura nas redondezas; áreas urbanas; com presença de solo exposto e pastagem nas redondezas; e nascentes com vegetação natural conservada.

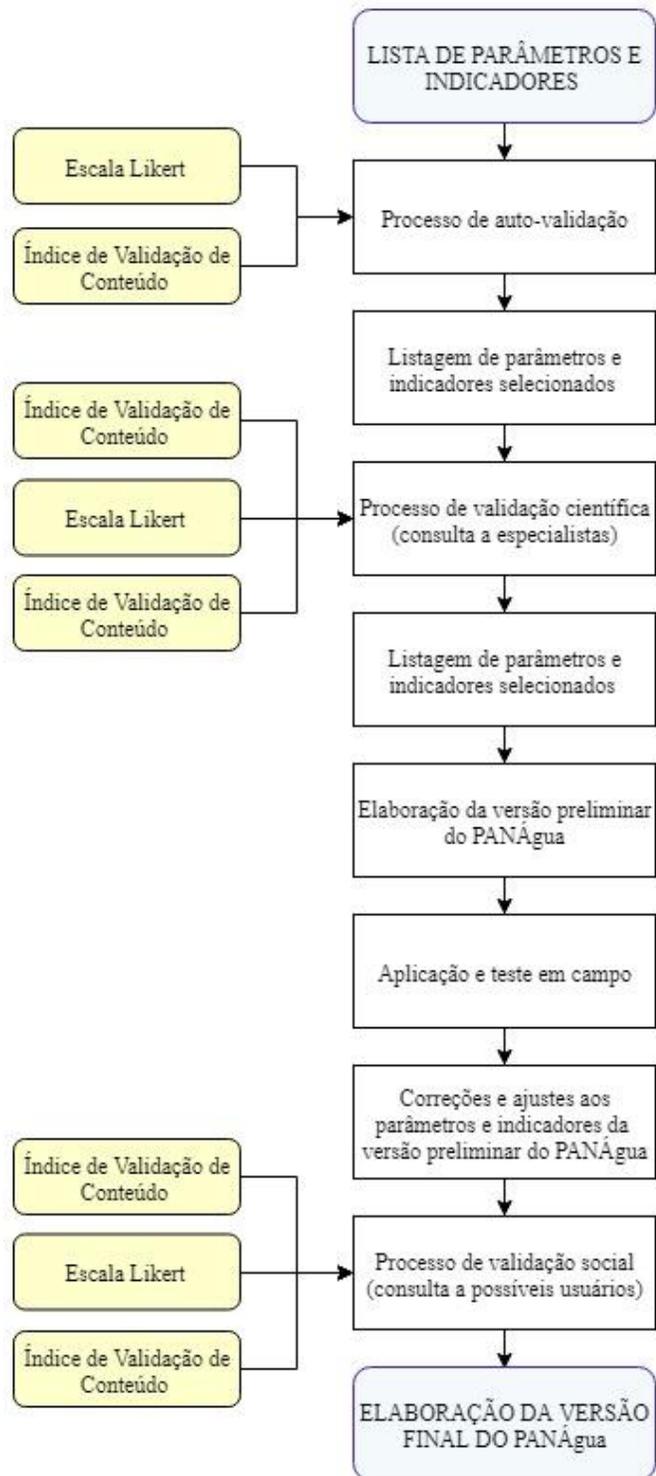
É necessário esclarecer que por ser um teste preliminar, feito com o intuito de avaliar o protocolo como ferramenta e validar os parâmetros, indicadores e categorias, a seleção das nascentes foi realizada utilizando a ferramenta *My Maps* do *Google Maps* e o *Google Earth Pro 7.0*, tomando como base as imagens de satélite que estas possuem e a rede hídrica obtida na base de dados digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), malha digital dos municípios brasileiros versão 2015 e georreferenciada no sistema de projeção geográfica latitude/longitude, datum horizontal SIRGAS 2000.

#### 3.2.4. Elaboração final do Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água

A versão preliminar do PANÁgua foi reelaborada considerando as contribuições e sugestões realizadas pelo grupo de pesquisadores que participaram da aplicação em campo, sendo preciso realizar algumas alterações que permitiram otimizar o protocolo, determinando-se a lista de parâmetros, indicadores e as categorias correspondentes para sua conformação. Essa lista foi novamente submetida à validação social por possíveis usuários, levando em conta os critérios estabelecidos na Tabela 13. Finalmente, com os resultados dessa última validação, a metodologia 3S foi completada e o Protocolo para Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água – PANÁgua foi elaborado, propondo-se sua utilização como ferramenta para subsidiar os processos de tomada de decisões relacionados à gestão de recursos hídricos e ao planejamento de bacias hidrográficas.

A síntese das etapas do processo de validação e elaboração do Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água apresenta-se na Figura 33.

Figura 33. Resumo das etapas da Metodologia de Validação 3S



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

### 3.2.5. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) no cálculo de pesos para priorização dos parâmetros, indicadores e categorias e etapas do PANÁgua

A gestão de recursos hídricos implica a tomada de decisões sobre a priorização de usos e aspectos da água, tornando-se em um processo complexo, difícil de gerenciar e modelar. Por isso, recomenda-se a utilização de técnicas que permitam de forma organizada, consensual e justa a resolução dos conflitos de interesse (CASTILLO, 2018).

Alguns desses aspectos da gestão da água podem resultar mais importantes ao ser comparados entre eles, principalmente por estarem relacionados com o bem-estar e a saúde humana. De igual forma, existe uma certa hierarquia entre os parâmetros e indicadores que compõem as técnicas e/ou metodologias para avaliação e monitoramento de fontes de água como o PANÁgua, porque mesmo que integrados em uma única ferramenta os parâmetros e indicadores possuem diversas funções e permitem a análise de variáveis diferentes, consequentemente divergem na relevância. Desta forma, a elaboração de uma ferramenta com estas características, exige o entendimento e o respeito dessas diferenças para mostrar de fato, aspectos e impactos reais.

O Processo Analítico Hierárquico, denominado AHP por suas siglas em inglês (*Analytical Hierarchy Process*), é uma técnica de análise multicritério que integra aspectos econômicos, sociais e ecológicos para o gerenciamento de situações de decisão multivariadas. Essa técnica tem sido implementada recentemente para analisar aspectos e questões ambientais (GOVINDAN et al., 2015; MATHIYAZHAGAN et al., 2015).

Em 1980, Saaty introduziu essa técnica para classificar e ponderar de forma hierárquica os critérios e alternativas com base nas avaliações de especialistas, realizando comparações par a par, baseadas numa escala fundamental de comparações estabelecida pelo mesmo autor. A AHP fornece a matemática objetiva para processar as preferências inescapavelmente subjetivas e pessoais de um indivíduo ou grupo na tomada de decisão e está constituída por matrizes consistentes e seus vetores e classe associados, que tem a capacidade de gerar pesos verdadeiros ou aproximados de cada aspecto ou critério avaliado (GONZALES; RITO; NARANJO, 2016; MATHIYAZHAGAN et al., 2015; OLSON, 2012; SAATY, 1980, 2013).

Assim, aplicou-se a AHP para o cálculo dos pesos correspondentes a cada item do PANÁgua, em base ao critério de relevância (Tabela 13), por meio de comparações par a par entre os parâmetros e indicadores de cada categoria e, posteriormente comparações entre as próprias

categorias e as etapas do PANÁgua. Esse processo foi desenvolvido utilizando a escala de hierarquização apresentada na Tabela 14, que foi adaptada de Saaty (2001).

Tabela 14. Escala de hierarquização para a matriz de comparação no AHP

Valor na Escala de Hierarquização	Qualificativo	
1/9	Absolutamente	menos relevante
1/7	Muito fortemente	
1/5	Fortemente	
1/3	Moderadamente	
1	Igualmente relevante	
3	Moderadamente	mais relevante
5	Fortemente	
7	Muito fortemente	
9	Absolutamente	
2, 4, 6, 8 e opostos	Valores intermediários entre dois valores adjacentes	
Valores recíprocos	Cada par comparado ( $a-b$ ) possuirá um valor ( $x$ ) e será outorgado o valor oposto ( $1/x$ ) quando comparado de forma oposta ( $b-a$ )	

Fonte: Adaptado de Saaty (2001); Henderson e Dutta (1992)

Com a determinação dos valores na Escala de Hierarquização, foram calculados os vetores de classes realizando primeiramente a normalização dos valores (divisão de cada valor entre a somatória total) como se mostra na Tabela 15. Posteriormente, a somatória total dos valores normalizados foi dividida pelo número total de itens comparáveis (parâmetros e indicadores, categorias e/ou etapas), obtendo-se finalmente o vetor de classes (Tabela 16).

Tabela 15. Matriz de hierarquização das classes

Classes	Item 1	Item 2	Item 3	...	Item n
Item 1	1	a <sub>12</sub>	a <sub>13</sub>	...	a <sub>1n</sub>
Item 2	a <sub>21</sub>	1	a <sub>23</sub>	...	a <sub>2n</sub>
Item 3	a <sub>31</sub>	a <sub>32</sub>	1	...	a <sub>3n</sub>
...	...	...	...	...	...
Item n	a <sub>n1</sub>	a <sub>n2</sub>	a <sub>n3</sub>	...	1
Vetor somatória (x)	$\sum_{j=1}^n a_{i1}$	$\sum_{j=1}^n a_{i2}$	$\sum_{j=1}^n a_{i3}$	...	$\sum_{i=1, j=1}^n a_{in}$

Fonte: Adaptado de Henderson e Dutta (1992); Castillo (2018)

Posteriormente, a somatória total dos valores normalizados foi dividida pelo número total de itens comparáveis (parâmetros e indicadores, categorias e/ou etapas), obtendo-se finalmente o vetor de classes (Tabela 16).

Tabela 16. Matriz do vetor de classes

Classes	Item 1	Item 2	Item 3	...	Item n	Vetor de classes
Item 1	<b>1/x1</b>	a12/x2	a13/x3	...	a1n/xn	$(\sum_{j=1}^n a1j)/n$
Item 2	a21/x1	<b>1/x2</b>	a23/x3	...	a2n/xn	$(\sum_{j=1}^n a2j)/n$
Item 3	a31/x1	a32/x2	<b>1/x3</b>	...	a3n/xn	$(\sum_{j=1}^n a3j)/n$
...	...	...	...	...	...	...
Item n	an1/x1	an2/x2	an3/x3	...	<b>1/xn</b>	$(\sum_{j=1}^n anj)/n$

Fonte: Adaptado de Henderson e Dutta (1992); Castillo (2018)

Uma vez determinado o vetor de classes, calcula-se a consistência da matriz por meio do vetor de prioridades. Para este cálculo, são multiplicados os valores dados na comparação par a par sem normalizar pelo vetor de classes, para sua posterior somatória. Finalmente, essa somatória é dividida novamente pelo vetor de classes, dando como resultado o vetor de prioridades. A Tabela 17 ilustra este cálculo.

Tabela 17. Matriz do vetor de prioridades

Vetor de classes	Classes	Item 1	Item 2	Item 3	...	Item n	p	Vetor de prioridades
$\bar{x}1$	Item 1	<b>1*\bar{x}1</b>	a12*\bar{x}2	a13*\bar{x}3	...	a1n*\bar{x}n	$(\sum_{j=1}^n a1j * \bar{x}j)$	p1/\bar{x}1
$\bar{x}2$	Item 2	a21*\bar{x}1	<b>1*\bar{x}2</b>	a23*\bar{x}3	...	a2n*\bar{x}n	$(\sum_{j=1}^n a2j * \bar{x}j)$	p2/\bar{x}2
$\bar{x}3$	Item 3	a31*\bar{x}1	a32*\bar{x}2	<b>1*\bar{x}3</b>	...	a3n*\bar{x}n	$(\sum_{j=1}^n a3j * \bar{x}j)$	p3/\bar{x}3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\bar{x}n$	Item n	an1*\bar{x}1	an2*\bar{x}2	an3*\bar{x}3	...	<b>1*\bar{x}n</b>	$(\sum_{j=1}^n anj * \bar{x}j)$	pn/\bar{x}n

Fonte: Adaptado de Henderson e Dutta (1992); Castillo (2018)

A partir do vetor de prioridades, foi realizado o teste de inconsistência que garante que os valores atribuídos a cada item sejam coerentes com a preferência ou importância. Esse teste se faz por meio do cálculo do Índice de Consistência (IC), definido por meio da equação 2.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:  $\lambda_{\max}$  corresponde à média do vetor de prioridades resultante e n ao número de itens comparáveis (parâmetros, indicadores, categorias e/ou etapas).

O processo finaliza com o cálculo da Razão de Consistência (CR), a partir da equação 3. Os valores de CR menores a 0,1 estão relacionados a avaliações consistentes que garantem que os pesos determinados poderão ser utilizados na ponderação e hierarquização de variáveis, enquanto valores acima de 0,1 indicam possíveis inconsistências, sendo necessária a revisão e correção da matriz.

$$CR = \frac{IC}{RI} \quad \text{Equação 3}$$

Em que RI corresponde ao Índice aleatório, que relaciona n a um valor aleatório, conforme se apresenta na Tabela 18.

Tabela 18. Índices aleatórios

Índices aleatórios					
n	RI	n	RI	n	RI
1	0	6	1,24	11	1,51
2	0	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,9	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Fonte: Podvezko (2009)

### 3.2.6. Avaliação e ponderação dos parâmetros para determinar o estado de conservação da nascente

A avaliação dos parâmetros foi realizada pela escala apresentada na Tabela 19 a qual é uma adaptação da escala ordinal Likert. As notas atribuídas representam a condição daquele parâmetro, sendo a nota 1 relacionada a condições ruins e 5 a condições ótimas. Para cada caso, foram

elaboradas descrições específicas que auxiliam essa avaliação e permitem pontuar o parâmetro. Finalmente, o estado de conservação é calculado ponderando as notas de acordo aos pesos de relevância resultantes do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

Tabela 19. Escala de avaliação dos parâmetros

Pontuação	Conceito qualitativo
4 a 5	Ótimo
3 a 4	Bom
2 a 3	Regular
1 a 2	Ruim

Fonte: Adaptado de Likert (1932)

### 3.3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de validação 3S foi desenvolvido em três etapas: auto-validação; validação científica; e validação social. Essas etapas foram complementadas com visitas de campo, planejadas estrategicamente para analisar a versão preliminar do PANÁgua e realizar ajustes a partir da experiência de aplicação. A seguir, apresentam-se os resultados desses processos.

#### 3.3.1. Processo de auto-validação e validação científica

O processo de auto-validação foi realizado pelos pesquisadores diretamente implicados na pesquisa (mestrando e orientador). Os resultados do Índice de Valoração de Conteúdo (IVC) para as categorias apresentam-se na Tabela 20, o IVC mínimo para aprovação das categorias foi 0,6, desta forma pode-se evidenciar a decisão unânime de mantê-las no PANÁgua.

Tabela 20. IVC das categorias na auto-validação

Categorias	IVC
Monitoramento qualitativo e quantitativo da água	1
Características físicas e químicas do solo	1
Vegetação de entorno	1
Vulnerabilidade, impactos e interferências em áreas de entorno de nascentes	1
Ações de conservação e recuperação em áreas de entorno de nascentes	1
Condições de sustentação de fauna	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Foram selecionados sete especialistas da área de avaliação integrada e monitoramento de nascentes para validar cientificamente as categorias e os parâmetros pré-aprovados na etapa anterior de auto-validação. Os resultados do IVC para as categorias apresentam-se na Tabela 21.

Tabela 21. IVC das categorias na validação científica

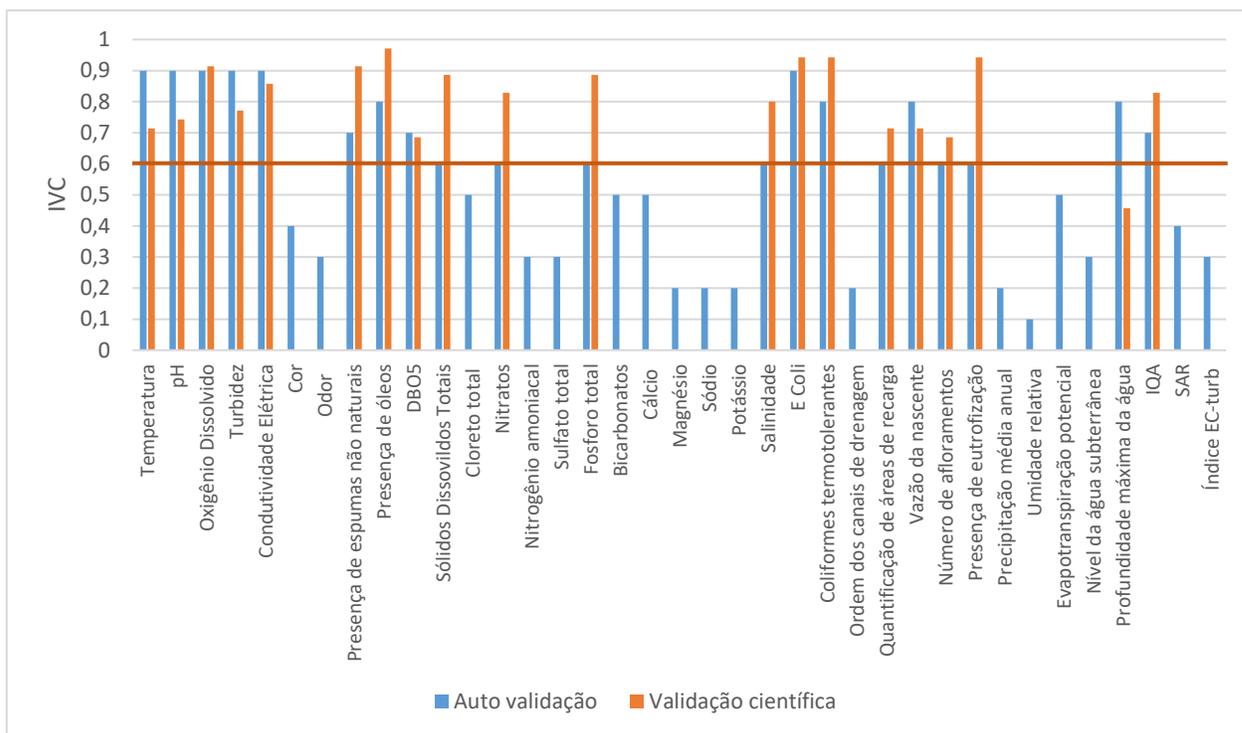
<b>Categorias</b>	<b>IVC</b>
Monitoramento qualitativo e quantitativo da água	1,0
Características físicas e químicas do solo	0,714
Vegetação de entorno	1,0
Vulnerabilidade, impactos e interferências em áreas de entorno de nascentes	0,857
Ações de conservação e recuperação em áreas de entorno de nascentes	0,857
Condições de sustentação de fauna	<b>0,429</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Evidencia-se que a categoria de condições de sustentação de fauna avaliada com base no critério de relevância (Tabela 11) não atingiu a nota mínima do IVC (0,6), e por isso foi descartada no processo de validação. Os especialistas manifestaram que a categoria não é interessante para o objetivo do PANÁgua, pois não apresenta uma relação direta com a qualidade ambiental da nascente e seria necessário analisar outras condições para descobrir se a inexistência de fauna na APP deve-se à degradação da nascente, argumentando também, que o tamanho da APP legalmente instituído não garante a existência de fauna. Assim, os especialistas concluíram que essa categoria deveria ser avaliada unicamente para determinar o estado de conservação de cursos de água como rios, córregos ou lagos onde há maior riqueza de biodiversidade.

Foram calculados os IVC da auto-validação e validação científica, para os parâmetros e indicadores de cada categoria os quais se ilustram nas figuras 33-38. A linha laranja corresponde ao limite do IVC estabelecido para a aprovação de cada item, que foi definido pelo valor de 0,6 indicando que para sua aprovação no mínimo 60% dos avaliadores deveriam ter outorgado as notas 3 ou 4 (Escala de Likert). Desta forma na auto-validação os parâmetros e indicadores com IVC menor a 0,6 foram descartados e conseqüentemente, não foram avaliados pelos especialistas (validação científica), finalmente, esse mesmo processo foi realizado com os resultados da validação científica.

Figura 34. IVC categoria de monitoramento qualitativo e quantitativo da água

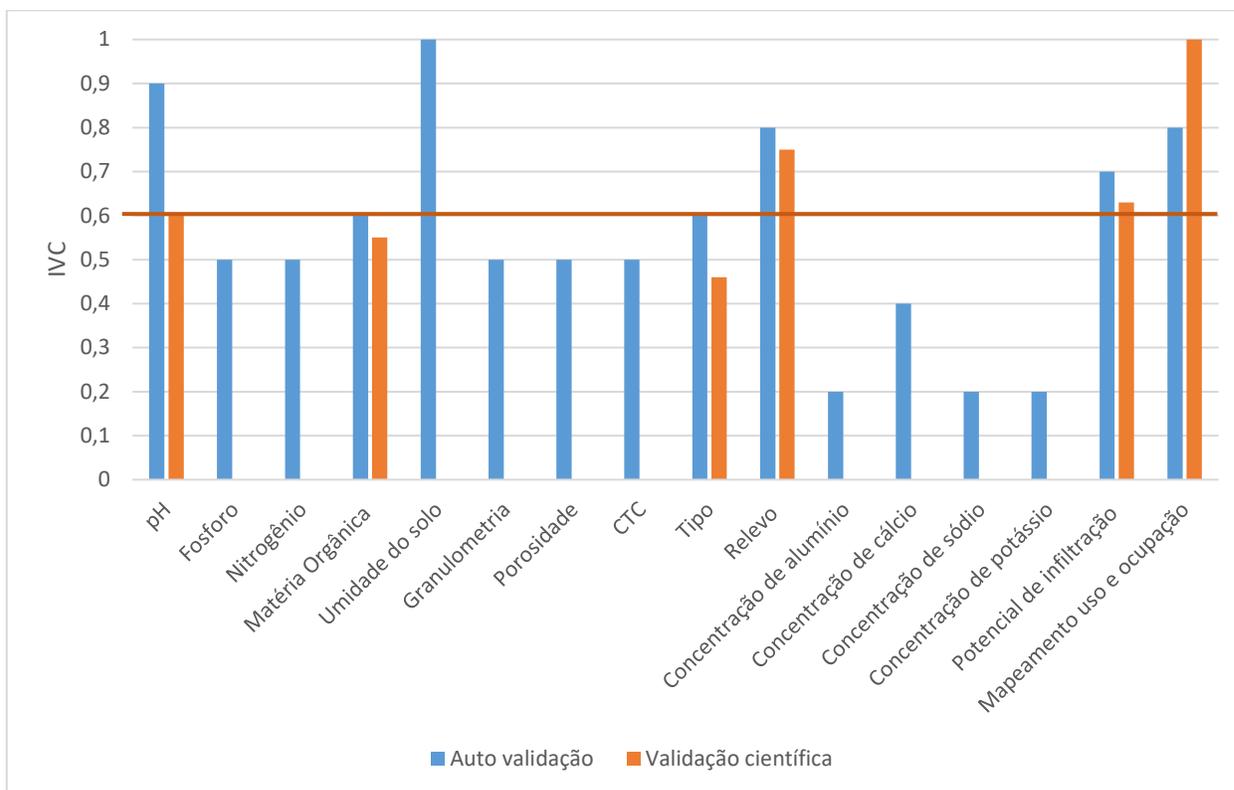


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Conforme apresentado na Figura 34, os parâmetros cor; odor; cloreto total; nitrogênio amoniacal; sulfato total; bicarbonatos; cálcio; magnésio; sódio; potássio; ordem dos canais de drenagem; precipitação média anual; umidade relativa; evapotranspiração potencial; nível da água subterrânea e os indicadores SAR e Índice Ec-turb, foram desconsiderados do processo de autovalidação, sendo os critérios de operacionalidade, relevância e compressão os avaliados com menor nota. Isto mostra que esses parâmetros resultam desnecessários considerando o objetivo de se realizar uma avaliação de forma integrada das nascentes, pois existem outros parâmetros que permaneceram no processo de validação, que atingem os mesmos objetivos de forma mais abrangente, como à quantificação das áreas de recarga ou indicadores como o IQA, desta forma evitou-se a repetitividade de parâmetros. Além disso, outra vantagem identificada foi a viabilidade e facilidade de serem mensurados ou determinados.

Com a realização da validação científica, foi eliminado somente o parâmetro profundidade máxima da água, sobre o qual os especialistas argumentaram que a informação fornecida por este parâmetro poderia ser determinada pela vazão, de uma forma mais exata.

Figura 35. IVC categoria de características físicas e químicas do solo

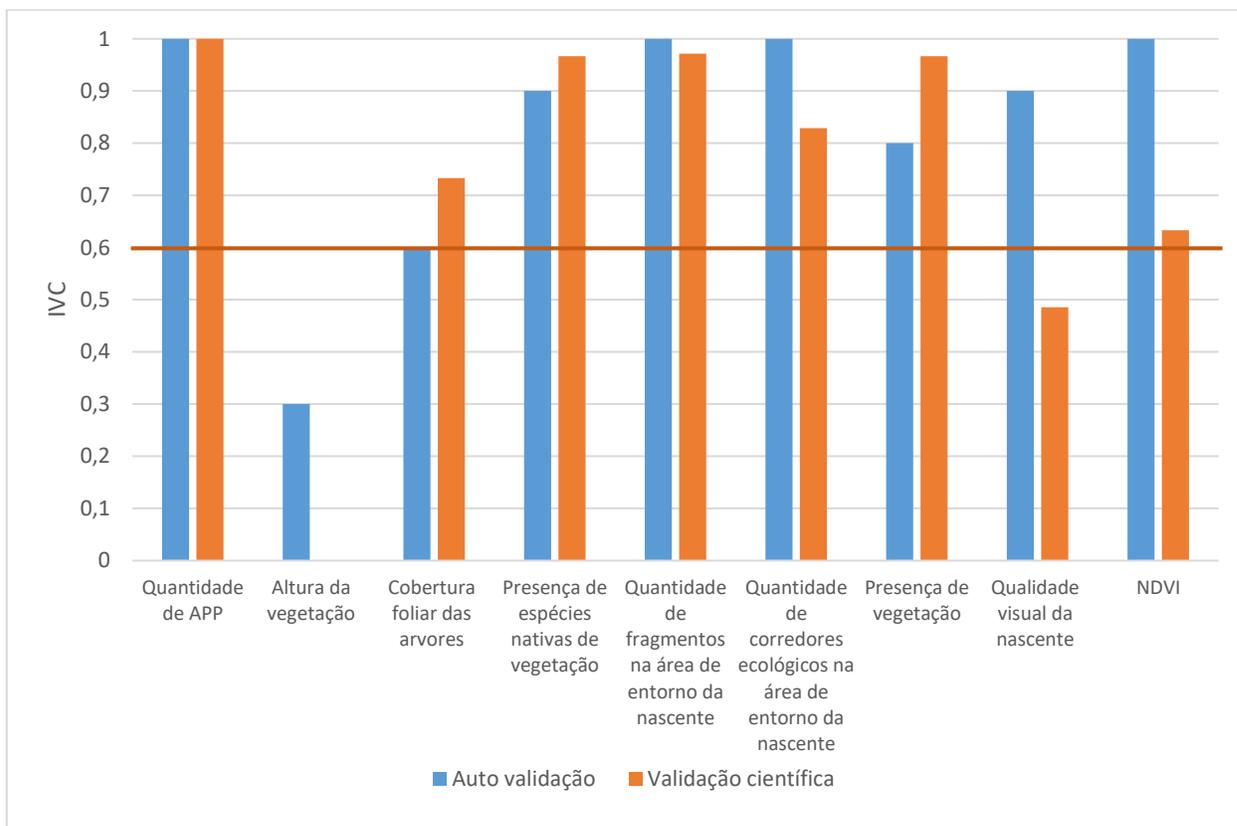


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A Figura 35, mostra que, após as avaliações dos pesquisadores e dos especialistas consultados, unicamente foram mantidos os parâmetros pH do solo; potencial de infiltração e o mapeamento do uso e ocupação do solo. Neste caso, o critério valorado com a menor nota foi a operacionalidade, já que a mensuração dos parâmetros eliminados pode tornar inviável a aplicação da ferramenta.

O pH do solo depende das características geológicas, geomorfológicas, climatológicas e da vegetação de cada região, por isso sua avaliação não pode ser realizada em base a um padrão generalizado e sim pela detecção das variações ao longo do tempo para uma mesma área. Por outro lado, o potencial de infiltração embora tenha uma grande importância para a nascente deve ser avaliado na área de recarga do aquífero, onde a infiltração acontece. Já o mapeamento do uso e ocupação do solo, resulta extremamente importante para a determinação em si do estado de conservação das nascentes, auxiliando também na determinação das causas dos outros impactos identificados.

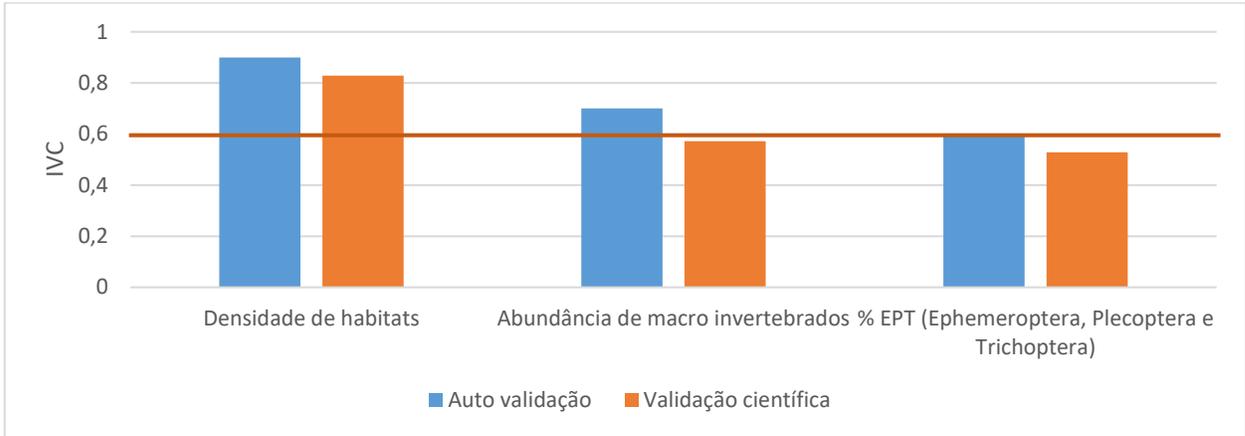
Figura 36. IVC categoria de vegetação de entorno



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A auto-validação realizada para a categoria de vegetação de entorno gerou como resultado o descarte da altura da vegetação, por ser um parâmetro que depende das características da vegetação local para se tornar operacional (árvores altas são difíceis de medir de forma exata no campo). Além disso, ao manter parâmetros como a quantidade de APP e indicadores como o NDVI se fornecem informações de qualidade sobre as características da vegetação, sendo desnecessária a inclusão da altura. Finalmente, os especialistas apontaram que o parâmetro qualidade visual da nascente poderia gerar confusões por ser uma avaliação subjetiva, resultando na eliminação deste parâmetro do processo de validação.

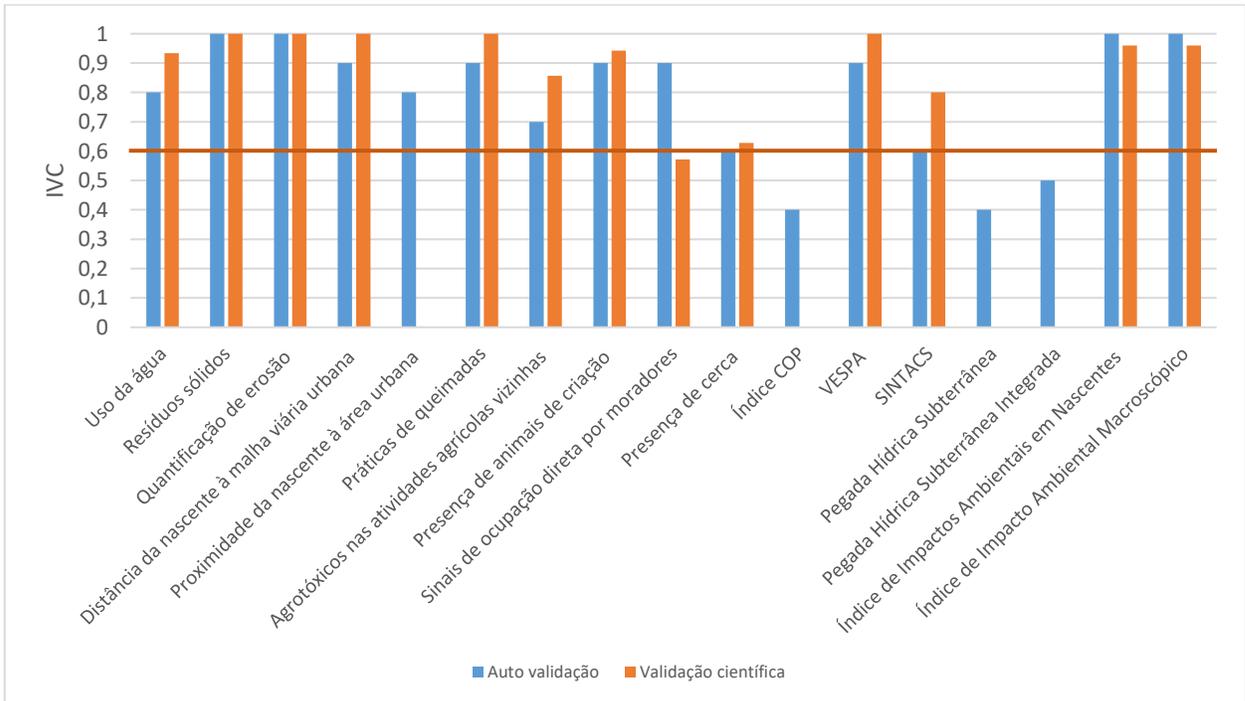
Figura 37. IVC categoria de condições de sustentação de fauna



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

No caso da Figura 37, embora a validação científica das categorias determinou desnecessária a existência de parâmetros relacionados a condições de sustentação de fauna (Tabela 21), o parâmetro densidade de habitats resultou com IVC maior a 0,6, portanto foi realocado na categoria vegetação do entorno, tendo em conta que esse indicador baseia-se na quantidade de fragmentos e de corredores ecológicos.

Figura 38. IVC categoria de vulnerabilidade, impactos e interferências

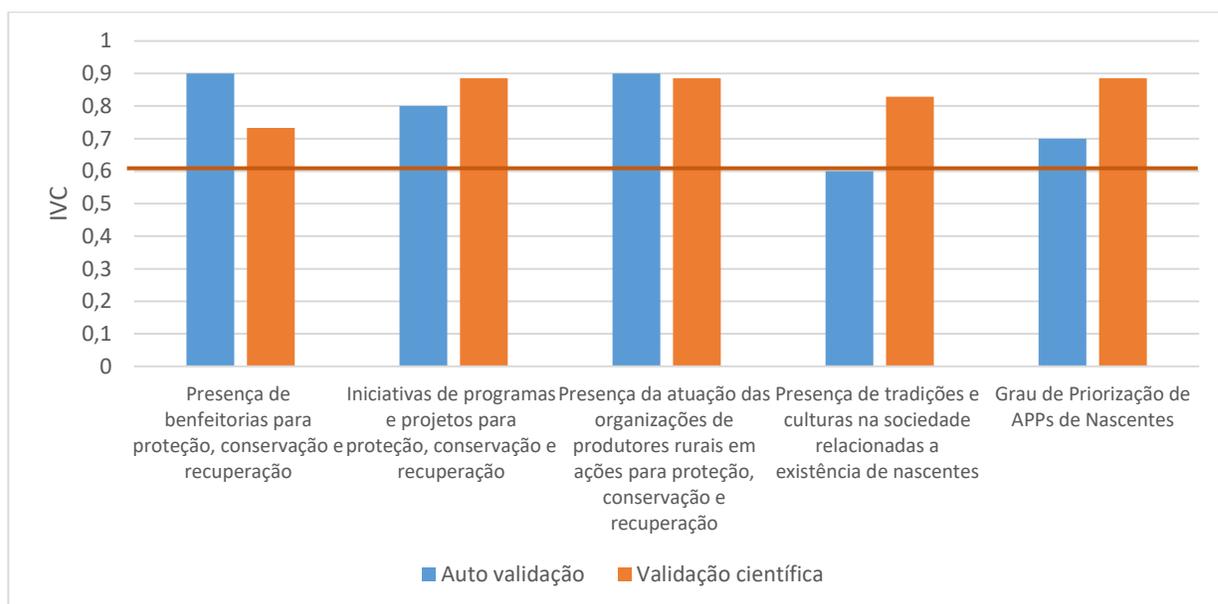


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A Figura 38 apresenta os IVCs da auto-validação e validação científica para a categoria de vulnerabilidade, impactos e interferências. Pode-se observar que o parâmetro proximidade da nascente a área urbana mesmo sendo aprovado na auto-validação não foi submetido para a validação científica, já que se considerou que o parâmetro distancia da nascente à malha viária urbana o contemplava, tendo em conta que as estradas urbanas delimitam o início da área urbanizada.

Desta categoria, vale a pena ressaltar também a grande diferença apresentada entre o IVC da auto-validação e validação científica para o parâmetro sinais de ocupação direta por moradores. Os especialistas argumentaram a decisão baseada no baixo impacto que a ocupação por pessoas pode causar numa área, considerando que as ocupam por períodos intermitentes e geralmente com a intenção de dormir durante às noites. Por outro lado, um dos especialistas manifestou que mesmo causando um impacto maior (citando o exemplo de ser uma família), resulta pouco provável que o pesquisador os encontre durante a avaliação em campo, pois provavelmente as pessoas durmam em um lugar diferente cada noite, além disso, em relação aos sinais (encontrar colchões ou sofás na APP) estas podem estar mais relacionadas à disposição inadequada de resíduos sólidos.

Figura 39. IVC para a categoria de ações de conservação e recuperação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Em relação à Figura 39, pode-se observar que todos os parâmetros foram aprovados em ambas as validações, permanecendo no processo.

É necessário esclarecer que na validação científica, de modo geral, foram colocadas diversas sugestões, observações, recomendações e inclusive foram sugeridos novos parâmetros e indicadores levando ao aprimoramento da lista inicial, assim, alguns dos parâmetros aprovados passaram por processos de modificação e/ou readequação para elaborar a versão preliminar do Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), que foi testada em campo. A Tabela 22 apresenta um resumo dessa versão preliminar do PANÁgua que foi aplicada em campo por um grupo de pesquisadores com experiência na área (incluindo o orientador e mestrando). Esta tabela também mostra as categorias e os parâmetros e/ou indicadores selecionados até essa etapa.

Vale a pena ressaltar que neste teste do PANÁgua os indicadores foram avaliados individualmente com notas na escala de 1 a 5 e o intuito foi identificar os problemas para a definição dessas pontuações, e as divergências entre as respostas dos aplicadores sobre a avaliação de um mesmo parâmetro.

Tabela 22. Versão preliminar resumida do PANÁgua

<b>Categorias de avaliação</b>	<b>Parâmetros</b>
Monitoramento qualitativo e quantitativo da água	Temperatura; pH; Oxigênio Dissolvido; Turbidez; Sólidos Dissolvidos Totais; Condutividade elétrica; Salinidade; Nitrogênio Total; Fósforo Total; DBO5; coliformes termotolerantes; E. Coli; vazão; presença de óleos ou graxas; presença de espumas; presença de eutrofização; forma de captação da água.
Características físicas e químicas do solo	Integridade física do solo e quantificação da erosão
Vegetação de entorno	Cobertura da vegetação e presença de espécies exóticas
Vulnerabilidade, impactos e interferências em áreas de entorno de nascentes de cursos d'água	Uso e ocupação predominante do solo; presença e quantidade de resíduos sólidos; presença de obras de construção civil; distância da infraestrutura urbana; presença de áreas potenciais de contaminação; distância de áreas potenciais de contaminação; presença de práticas de queimadas; presença de animais de criação.
Ações de conservação e recuperação em áreas de entorno de nascentes de cursos d'água	Uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas vizinhas; iniciativas de programas e projetos para proteção, conservação e/ou recuperação de nascentes; existência e permanência de tradições culturais as comunidades vizinhas relacionadas à presença de nascentes na região.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A versão preliminar do PANÁgua unicamente contemplou a avaliação das condições ambientais de nascentes por meio da observação em campo e propôs como método para determinar os parâmetros da categoria de ações de conservação e recuperação a revisão bibliográfica de documentos e artigos científicos.

Esta versão preliminar foi aplicada em campo por uma equipe de profissionais em duas ocasiões diferentes, com o objetivo de testar o PANÁgua e identificar possíveis lacunas e oportunidades de melhoria. As considerações mais importantes dessa experiência foram:

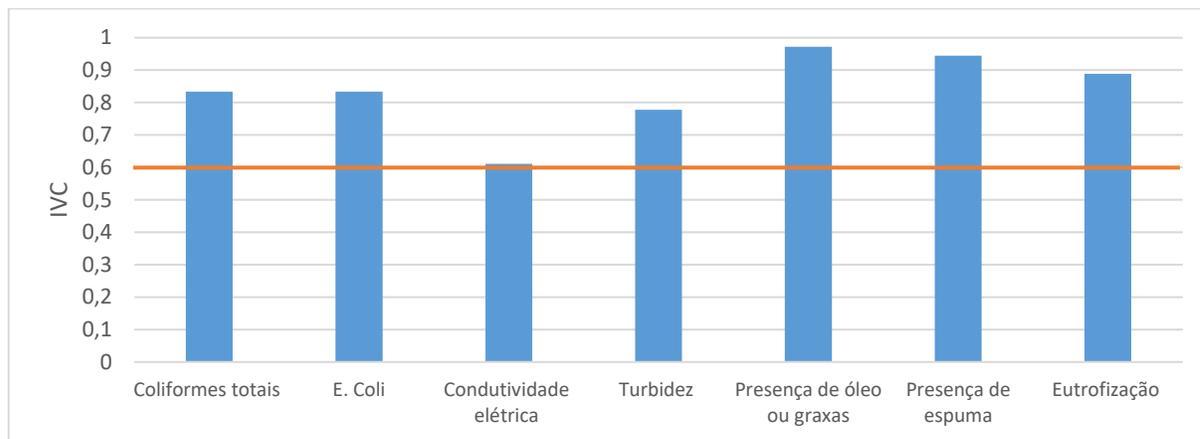
- A necessidade de utilizar os Sistemas de Informação Geográfica para avaliar os parâmetros relacionados aos impactos do Uso e Ocupação do Solo devido à dificuldade e subjetividade existente quando avaliados com base na observação em campo;
- Alguns parâmetros da categoria de “monitoramento qualitativo e quantitativo da água” precisaram ser desconsiderados devido à operacionalidade, considerando que a simplicidade e a praticidade na aplicação e realização das análises são aspectos importantes para atingir o objetivo da ferramenta;
- Para a avaliação dos diferentes parâmetros, determinou-se a escala com pontuações de 1 a 5 (Tabela 19), sendo definidas as descrições qualitativas para cada nota, as quais auxiliam o profissional na tomada de decisão;
- Algumas categorias e parâmetros foram reestruturados, realocados ou inseridos a partir da própria experiência de aplicação;
- Finalmente, foi proposta a divisão do PANÁgua em três etapas.

### 3.2.2. Processo de validação social

A validação social foi feita com base nos critérios estabelecidos previamente na Tabela 12. Para isto, foi consultado um grupo de possíveis usuários do PANÁgua, conformado por especialistas da área de recursos hídricos; engenheiros ambientais, gestores ambientais, geógrafos, biólogos, ou formações afins que atuam em consultorias ambientais; e funcionários de agências de bacia hidrográfica. O PANÁgua foi reestruturado conforme as sugestões das validações anteriores e a experiência em campo e assim, foram modificadas algumas categorias e parâmetros, como pode ser observado nas figuras apresentadas a seguir, as quais mostram os resultados dos IVCs. Além

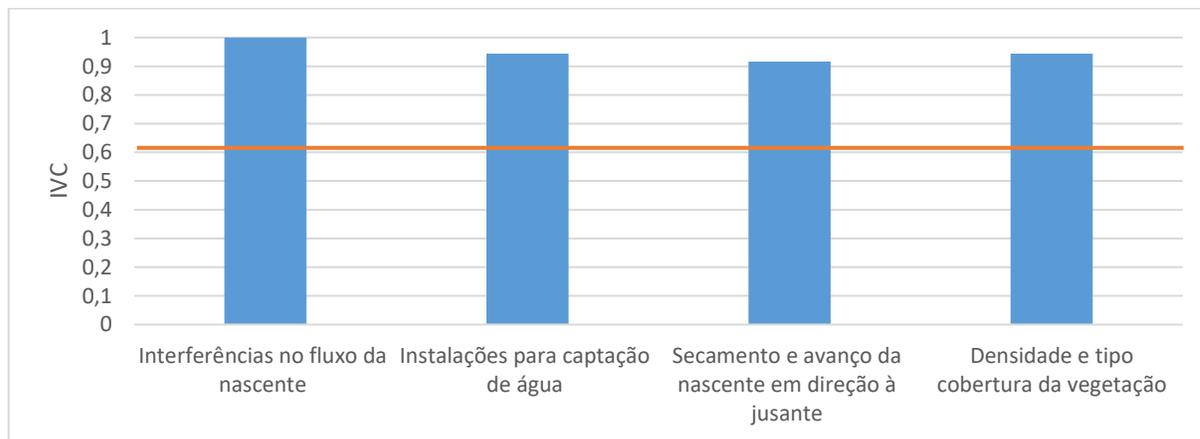
disso, decidiu-se estruturar o PANÁgua em 3 etapas: avaliação das condições ambientais em campo (Figuras 39-43); ações de conservação e recuperação desenvolvidas (Figura 44); e avaliação das condições ambientais utilizando SIGs (Figura 45-46).

Figura 40. IVC para monitoramento qualitativo e uso da água da nascente



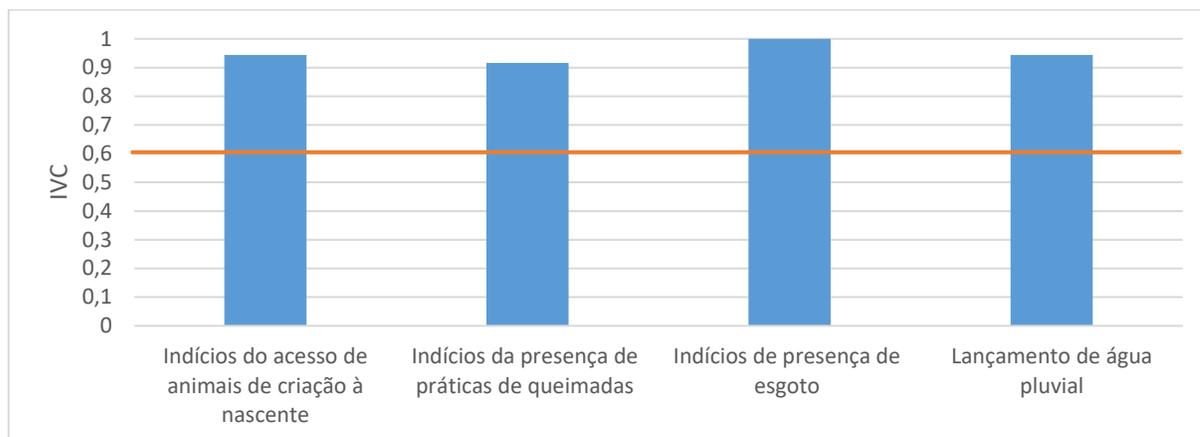
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 41. IVC para condições da nascente



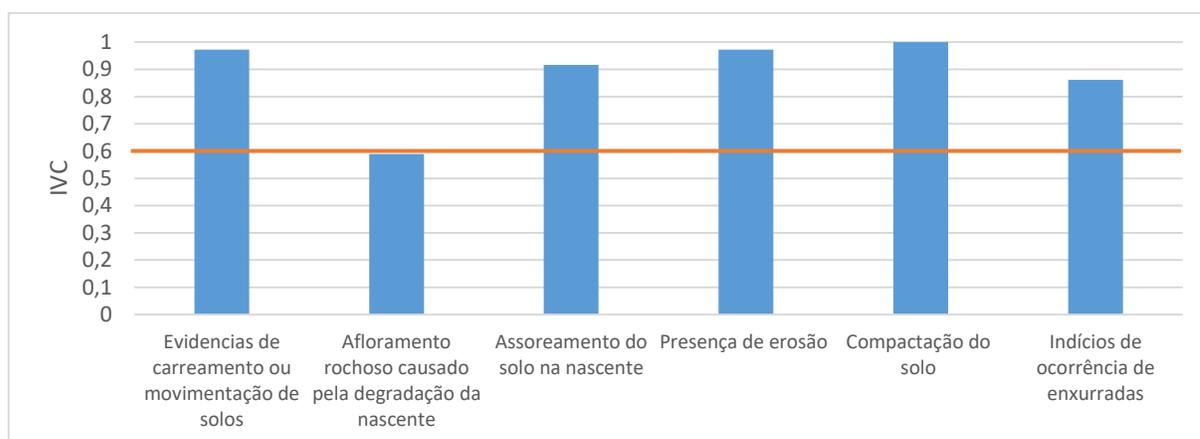
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 42. IVC para impactos e pressões sobre a nascente



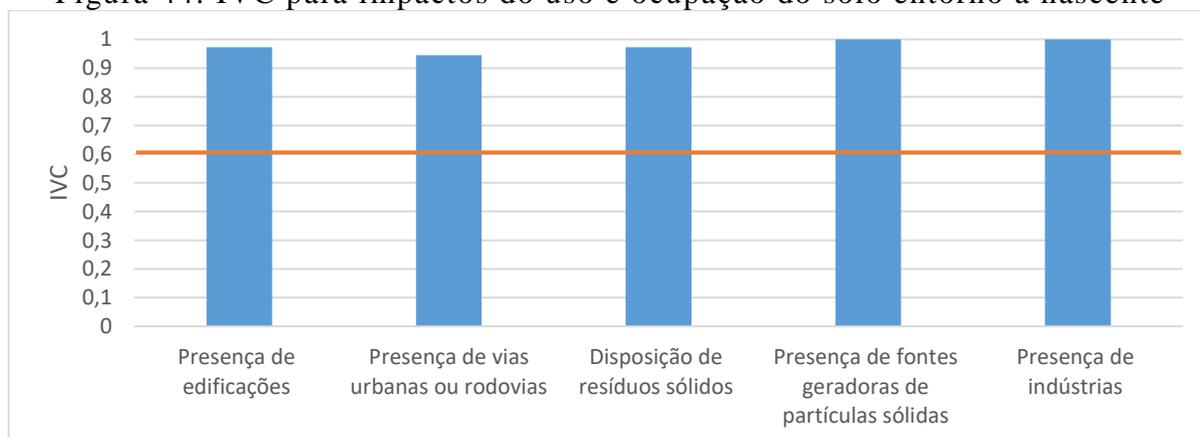
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 43. IVC para integridade física do solo



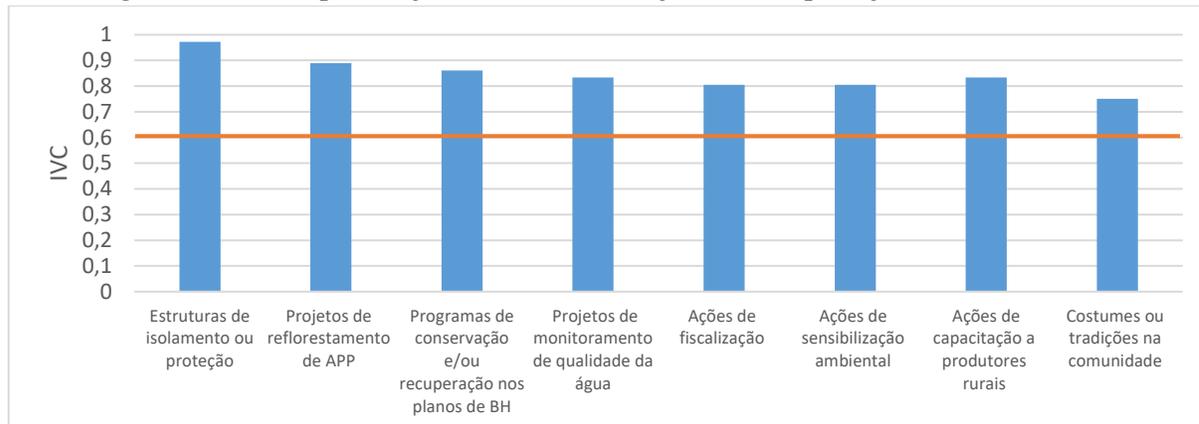
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 44. IVC para impactos do uso e ocupação do solo entorno a nascente



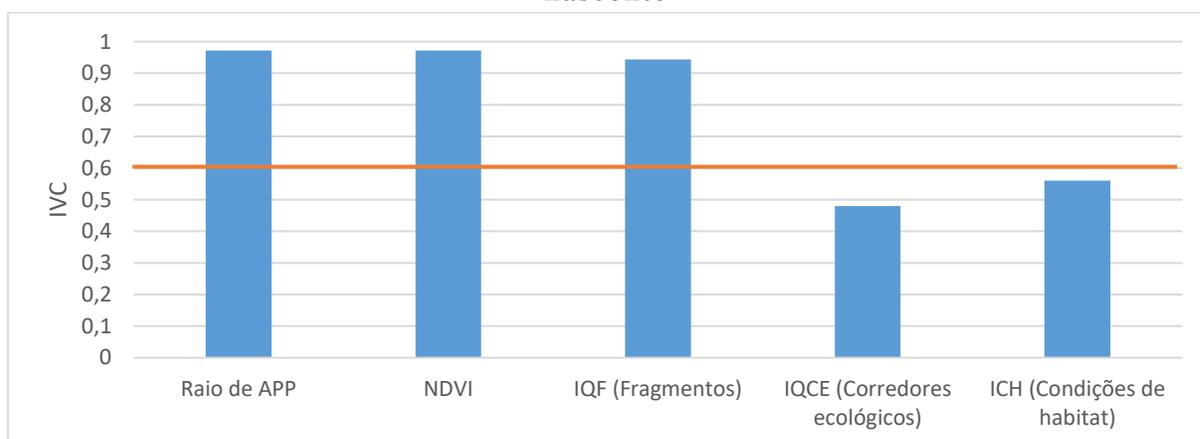
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 45. IVC para ações de conservação e recuperação desenvolvidas



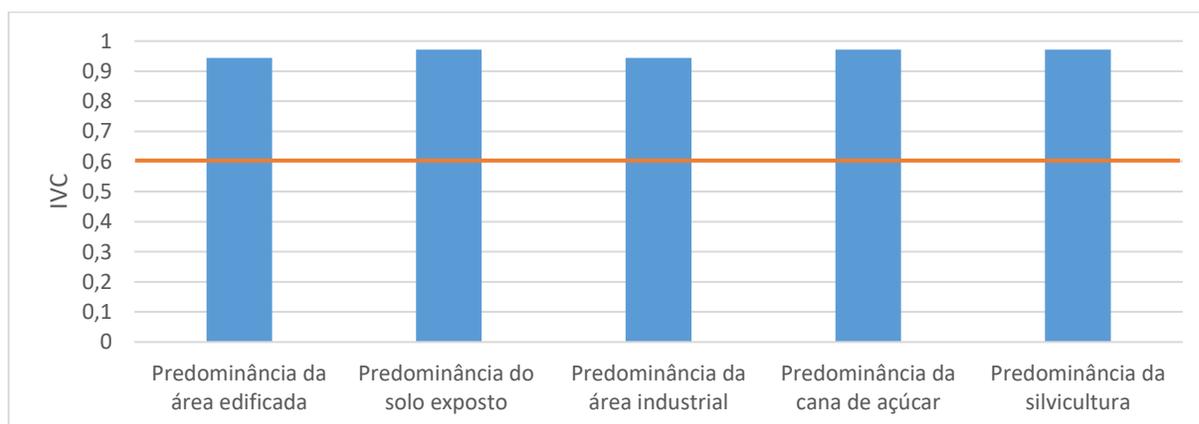
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 46. IVC para a categoria quantidade e densidade da vegetação ao redor da nascente



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 47. IVC para a categoria impactos do uso e ocupação do solo entorno a nascente



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A permanência dos parâmetros foi determinada para IVCs  $\geq 0,6$  podendo-se observar que a maioria dos parâmetros avaliados atingiram essa nota. No entanto, o parâmetro: “afloramento rochoso causado pela degradação da nascente” e os indicadores de “Quantidade de Corredores Ecológicos” e “Condições de Habitat” foram excluídos do PANÁgua. Como justificativa para as pontuações dadas, os usuários responderam que o “afloramento rochoso” poderia ser uma condição natural e seria subjetivo indicá-lo como consequência de degradação, já que esse é justamente o objetivo do PANÁgua. Também, alguns usuários argumentaram que esse parâmetro já estaria sendo considerado na mensuração de processos erosivos e estaria se repetindo. Além disso, com relação aos indicadores (IQCE e ICH), foi recomendada sua exclusão do PANÁgua, mesmo porque estando dentro da categoria de quantidade e densidade da vegetação, esses indicadores possuem como foco a sustentação da fauna. Os usuários novamente consideraram desnecessária a inclusão de indicadores para determinar biodiversidade de fauna, pois essa análise não seria conclusiva e implicaria na realização de estudos mais aprofundados.

### **3.2.3. PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO INTEGRADA E MONITORAMENTO DE NASCENTES DE CURSOS D'ÁGUA (PANÁgua)**

Com base aos resultados do processo de validação 3S e a experiência de trabalho de campo pelos pesquisadores, foi elaborada a versão final do Protocolo para Avaliação e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), o qual tem como objetivo Avaliar e monitorar de forma integrada as condições ambientais de nascentes e áreas de entorno, determinando seu estado de conservação, por meio da valoração e ponderação de parâmetros e indicadores que abrangem todos os fatores que influenciam essas condições. Este protocolo é proposto como ferramenta de subsídio aos processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

A ferramenta poderá ser utilizada por órgãos ambientais, empresas, firmas, startups, ONGs, universidades, grupos de pesquisa, dentre outras instituições com interesse na área de recursos hídricos, especificamente na realização de atividades relacionadas à avaliação, monitoramento, conservação e/ou recuperação de nascentes.

A estrutura do PANÁgua consta de três etapas, devido à necessidade de realizar aplicações em diferentes escalas que partem da avaliação local até a análise em escala de bacia hidrográfica. A primeira etapa exige a observação em campo por meio de uma visita técnica para coletar e avaliar

os parâmetros estabelecidos, sendo importante considerar duas áreas de influência: Área de Proteção Permanente (APP); e Área de Interface da Vegetação (Área de interface). A APP para áreas de nascentes está suportada na Lei Federal nº 12.651 (Capítulo II, Artigo 4º, item IV), que define um raio de 50 metros de vegetação ao redor da nascente. Já a Área de Interface da Vegetação foi definida pelos autores deste protocolo a partir da necessidade de considerar uma área que amortize os impactos provenientes das diferentes atividades desenvolvidas ao redor da nascente. Esta decisão está de acordo com o estabelecido por Calheiros; Tabai e Bosquilia (2004) e Fumagalli et al. (2017). Assim, foi estabelecida como Interface da Vegetação a área formada pela largura de 50 metros contínua à APP, conformando no total um raio de 100 metros para a aplicação.

**A avaliação das condições ambientais em campo** (primeira etapa) consta de quatro categorias que são: 1) *monitoramento qualitativo da água da nascente*; 2) *interferências na nascente*; 3) *integridade física do solo*; 4) *características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente*. Cada uma destas categorias está constituída por parâmetros e indicadores específicos que permitem a coleta das informações para a aplicação do protocolo.

A segunda etapa **pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas**, pode ser aplicada por meio dos seguintes métodos: a própria observação em campo; entrevistas não estruturadas ou estruturadas às comunidades moradoras ao redor das nascentes de interesse; a pesquisa bibliográfica de artigos, documentos, relatórios, planos, etc., que possam conter as informações requeridas; a consulta aos órgãos e autoridades ambientais com atuação na região do estudo, dentre outros. Esta etapa está constituída pela única categoria de *ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas*.

A terceira etapa **avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)** integra duas categorias: *existência de vegetação natural no entorno da nascente* e *características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente*, constituídas por parâmetros e indicadores cuja utilização requer a análise de áreas maiores à área de interface. Assim, para efeitos da aplicação estabeleceu-se a área formada pelo raio de 1 quilômetro ao redor da nascente (buffer) seguindo a proposta de Fumagalli et al. (2017) que poderá ser analisada por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para a avaliação dos indicadores que compõem esta etapa é necessária a obtenção e o processamento de alguns dados espaciais, tais como: a rede hídrica; identificação das nascentes, realização do buffer de 1 quilômetro para a área de avaliação

e o mapeamento por classificação supervisionada do uso e ocupação do solo e/ou das classes de hemerobia. Essas análises são consideradas simples e podem ser desenvolvidas por profissionais que possuam conhecimento básicos sobre o uso de SIG. Além disso, em ocasiões encontram-se disponíveis em artigos, documentos, relatórios e/ou planos de bacias hidrográficas.

**O Protocolo para Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) está apresentado no apêndice B.**

#### 3.2.4. Avaliação, ponderação e determinação do estado de conservação de nascentes

Foram definidos pesos de relevância para os parâmetros, categorias e etapas do PANÁgua, conforme apresenta-se na Tabela 19, para isso foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Os parâmetros ressaltados em negrito contemplam vários itens específicos (sub parâmetros) que podem ser ou não avaliados dependendo as características da nascente e a acessibilidade às informações necessárias para essa avaliação, assim, quando não forem determinados estes não se integram ao PANÁgua e são desconsiderados da análise.

O procedimento para determinar o estado de conservação das nascentes apresenta-se a seguir:

1. Multiplique a nota outorgada aos parâmetros (Tabela 19) pelo peso correspondente ao parâmetro (Tabela 23);
2. Some os resultados da multiplicação anterior para os parâmetros dentro de uma mesma categoria;
3. Multiplique o resultado dessa somatória pelo peso da categoria correspondente;
4. Some os resultados da multiplicação anterior para as categorias dentro de uma mesma etapa;
5. Multiplique o resultado dessa somatória pelo peso da etapa correspondente;
6. Some os resultados da multiplicação anterior e compare novamente com a escala apresentada na Tabela 23 para determinar o estado de conservação da nascente.

Conforme se mostra no PANÁgua (**apêndice B**) os parâmetros: classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente (etapa 1) e desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes (etapa 2) contemplam vários itens específicos (sub-parâmetros) que podem ser ou não avaliados dependendo as características da nascente e a acessibilidade às informações necessárias para essa avaliação. Assim, quando não

forem determinados, estes não se integram ao PANÁgua e são desconsiderados da análise. Nas orientações gerais e observações colocadas no PANÁgua explica-se mais detalhadamente estes casos.

Tabela 23. Pesos para ponderação da validação dos parâmetros

Etapas	Pesos	Categorias	Pesos	Parâmetros	Pesos
Avaliação das condições ambientais em campo	0,65	Monitoramento qualitativo da água da nascente	0,1	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	0,4
				Condutividade elétrica	0,28
				Turbidez	0,18
				Presença de espuma	0,07
				Presença de óleos ou graxas	0,07
		Interferências na nascente	0,24	Eutrofização	0,04
				Interferências no fluxo de água	0,1
				Deslocamento do afloramento da água	0,19
				Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12
				Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3
		Integridade física do solo	0,24	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25
				Assoreamento do solo	0,26
				Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1
				Ocorrência de erosão	0,46
		Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente	0,42	Compactação do solo	0,18
				Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3
				Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14
Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08				
Isolamento e proteção da APP	0,1				
Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	0,1	Ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas	1	<b>Desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes*</b>	1
Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)	0,25	Existência de vegetação natural no entorno da nascente	0,6	Respeito ao raio de APP estabelecido na Lei 12.727 de 2012 (Código Florestal Brasileiro)	0,6
				Índice de Quantidade de Fragmentos de vegetação (IQF) (Área de Fragmentos dentro do buffer/Área formada pelo buffer de 1 quilômetro)	0,4
		Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Buffer de 1 Km)	0,4	Grau de antropização do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Grau de hemerobia)	1

Fonte: elaborado pelo autor (2019)

**\*Nota: os parâmetros ressaltados estão compostos por vários itens (sub-parâmetros). Para a avaliação destes, considere apenas os itens presentes na nascente avaliada, posteriormente calcule a média e multiplique pelo peso do parâmetro. A partir desse cálculo, continue no passo 2 do procedimento descrito acima.**

Finalmente, a partir dos parâmetros, categorias, etapas e pesos respectivos que foram mostrados na Tabela 23, foi elaborado o PANÁgua (**apêndice B**), uma ferramenta de avaliação integrada que contempla os diversos fatores que influenciam o estado de conservação de nascentes de cursos d'água, permitindo analisar e monitorar as condições ambientais e os impactos antrópicos e fornece as informações necessárias para a realização e desenvolvimento de projetos que visem a conservação e/ou recuperação destes sistemas ambientais, reconhecendo sua importância na Gestão Integrada de Recursos Hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

A Tabela 24 relaciona as características do PANÁgua comparando-o com algumas das ferramentas e indicadores já existentes para avaliação de nascentes. Isto permite mostrar o significativo aporte do conhecimento técnico e científico atual na elaboração do PANÁgua, e as vantagens que apresenta esta ferramenta para avaliar e monitorar as condições ambientais de nascentes. Pode-se observar que muitos dos parâmetros que compõem as ferramentas e indicadores identificados na literatura já existente foram incluídos no PANÁgua, devido à importância que possuem para a determinação das condições ambientais de nascentes. Entretanto, a metodologia de ponderação do PANÁgua destaca-se como uma característica fundamental que garante e mantém a relevância de cada parâmetro na avaliação, baseando-se no fato de que alguns destes parâmetros possuem maior influência na determinação do estado de conservação de nascentes de cursos d'água.

Tabela 24. Análise comparativa entre o PANÁgua e as ferramentas e indicadores existentes

Ferramenta/Indicador	Objetivo	Parâmetros	Metodologia para avaliação	Metodologia para pontuação
<b>Estimador de Vulnerabilidade para áreas de Nascentes (VESPA)</b>	Determinar o nível de vulnerabilidade de áreas de nascentes em relação à qualidade e descarga de água	Vazão; condutividade elétrica e temperatura	Análise físico-química da água; determinação da vazão e correlação matemática dessas variáveis para cálculo do índice	Cálculo matemático de correlação das variáveis avaliadas e classificação segundo a escala a seguir. Maior a 10: Muito alto; 1-10: alto; 0,1-1: intermédio; menor a 0,1: baixo
<b>Índice de Impacto Ambiental Macroscópico (IIAM)</b>	Estimar o impacto ambiental em fontes hídricas como riachos, lagos e nascentes por meio da avaliação de parâmetros macroscópicos	Cor da água; odor; lixo ao redor; materiais flutuantes (lixo na água); espumas; óleos; esgoto; vegetação; uso por humanos; uso por animais; acesso e equipamentos urbanos	Observação em campo e avaliação dos parâmetros por meio de uma escala de pontuações de 1 a 3 (Ruim, regular e bom)	Somatória das pontuações para determinação do impacto pela escala de notas a seguir. 33-36: ótimo; 29-32: bom; 25-28 razoável; 21-24: ruim; menor a 21: péssimo
<b>Índice de Impactos Ambientais em Nascentes (IAMN)</b>	Estimar o impacto ambiental em nascentes por meio da avaliação de parâmetros macroscópicos	Coloração aparente da água; odor da água; lixo ao redor; materiais flutuantes; espumas; óleos; esgoto; vegetação; uso por animais; uso antrópico; proteção; residências e tipo de área de inserção	Observação em campo e avaliação dos parâmetros por meio de uma escala de pontuações de 1 a 3 (Ruim, regular e bom)	Somatória das pontuações para determinação do impacto pela escala de notas a seguir. 36-39: ótimo; 32-35: bom; 28-31 razoável; 24-27: ruim; menor a 24: péssimo
<b>Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de corpos hídricos adaptado para áreas de veredas</b>	Avaliar de forma qualitativa e semiquantitativa a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas de veredas a partir de parâmetros macroscópicos	Presença de Buriti (vegetação típica); extensão e preservação da área de entorno; isolamento e proteção de nascentes; vegetação ao redor da nascente; estado de conservação da vegetação entorno da nascente; contaminação ao redor da nascente e na área de inundação; benfeitorias civis na nascente.	Observação em campo e avaliação dos parâmetros por meio de uma escala de pontuações de 0 a 10, sendo 0: pobre; 3: regular; 7: bom; 10; ótimo.	Cálculo da média das notas para classificação segundo a escala a seguir. Maior a 7,6: ótimo; 5,1-7,5: Bom; 2,6-5,0: Regular; menor a 2,4: Pobre

Ferramenta	Objetivo do PANÁgua	Parâmetros que foram mantidos no PANÁgua	Metodologia para avaliação	Metodologia para pontuação
<p><b>Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua)</b></p>	<p>Avaliar e monitorar de forma integrada as condições ambientais de nascentes e áreas de entorno, determinando seu estado de conservação, por meio da valoração e ponderação de parâmetros e indicadores que abrangem todos os fatores que influenciam essas condições</p>	<p>Condutividade elétrica; disposição de resíduos sólidos; espumas; óleos; esgoto; extensão da área de entorno; estado de conservação da vegetação da área de entorno; presença de animais; uso antrópico (área urbana, presença de residências); proteção da nascente e obras civis na nascente.</p>	<p>Observação das condições ambientais em campo, mensuração de parâmetros físico-químicos e microbiológicos; pesquisa em documentos, artigos, relatórios, entre outros; consulta aos órgãos ambientais; realização de entrevistas e uso de Sistemas de Informação Geográfica para análise das condições ambientais do entorno da nascente</p>	<p>O PANÁgua foi dividido em etapas, categorias e parâmetros, e foram definidos pesos de relevância por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP) que se baseia na comparação par a par. Os parâmetros são avaliados com notas de 1 a 5 onde 1 representa condições ruins e 5 ótimas. Finalmente, essas notas são ponderadas por meio dos pesos estabelecidos em cada caso, obtendo-se como resultado o estado de conservação da nascente avaliada apresentado na mesma escala (1-5)</p>

Fonte: Adaptado de: Torres (2016); Machado e Selva (2017); Palivoda e Povaluk (2015); Filizzola; Magalhães Junior e Felipe (2013); Banzato et al. (2017); Guimarães; Rodrigues e Malafaia (2017).

A tabela 24 permite visualizar, contrastar e entender as diferenças entre os indicadores e/ou ferramentas existentes que foram levantadas por meio da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e a ferramenta proposta nesta pesquisa, o PANÁgua. Em primeiro lugar, observa-se uma abrangência maior no objetivo do PANÁgua, o qual apresenta uma avaliação integrada da nascente como sistema ambiental e essa avaliação se realiza por meio de parâmetros e/ou indicadores relacionados a cada aspecto que compõe o sistema. Neste sentido, converte-se em uma ferramenta que dá suporte ao processo de tomada de decisões pois permite gerar conclusões concretas sobre as condições ambientais avaliadas. Já os indicadores e/ou ferramentas levantados possuem escopos mais específicos e pouco práticos, por exemplo o VESPA avalia a vulnerabilidade da nascente unicamente em base a parâmetros de qualidade da água como a vazão, temperatura e condutividade elétrica, os quais não representam um conceito que abrange tantas variáveis, características e vertentes. Da mesma forma, os indicadores baseados em parâmetros macroscópicos realizam avaliações limitadas pela pouca informação que conseguem coletar e a subjetividade das respostas de avaliação, fato que impede que seja utilizado para definir o estado de conservação da nascente, podendo somente ser utilizado na obtenção de uma ideia inicial e individual dos impactos presentes na nascente.

O número de parâmetros também é uma importante diferença, pois o PANÁgua está constituído por um maior número destes, os quais também se encontram classificados por categorias de avaliação de acordo aos principais aspectos ambientais. Desta forma, ao comparar o PANÁgua com outros indicadores e/ou ferramentas levantados, este permite desenvolver avaliações mais completas e identificar os aspectos mais afetados ou impactados. Por fim, as metodologias que foram utilizadas no PANÁgua, tanto na aplicação quanto na pontuação dos parâmetros são mais rigorosas desde o ponto de vista científico, sendo necessária sua aplicação em três etapas: trabalho de campo, levantamento de ações já desenvolvidas e análise por Sistemas de Informação Geográfica. A ponderação das notas dadas pelos usuários, é realizada utilizando-se pesos de relevância que foram obtidos a partir de um Processo Analítico Hierárquico (AHP).

### 3.4. CONCLUSÕES

Os parâmetros e indicadores para determinação das condições ambientais de nascentes de cursos d'água foram submetidos a um processo de validação dividido em três etapas: auto-validação; validação científica; e validação social. Esse processo foi de grande importância para selecionar os parâmetros e indicadores a partir dos quais foi estruturado o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua).

A auto-validação foi realizada pelos pesquisadores envolvidos diretamente no projeto (mestrando e orientador) e a validação científica, por um grupo de especialistas na temática de nascentes. E a validação social, por um grupo de profissionais e pesquisadores da área ambiental em função de possíveis usuários do PANÁgua.

Para avaliar os parâmetros e indicadores foi utilizada a escala de Likert, sendo valorados de forma individual os diferentes critérios definidos na etapa. Finalmente, a avaliação matemática das respostas foi feita por meio do Índice de Validação de Conteúdo (IVC), sendo aprovados em cada etapa os parâmetros e/ou indicadores que obtiveram IVC maior ou igual a 0,6.

Com os resultados da validação científica foi elaborada uma versão preliminar do PANÁgua, sendo aplicada em campo a maneira de teste para a determinação de lacunas e oportunidades de aprimoramento do protocolo, adição de novos parâmetros e avaliação da operacionalidade e factibilidade da ferramenta. Esta aplicação foi realizada em algumas nascentes das bacias hidrográficas dos Rios Itaquerí; Pirapitinga; Ribeirão Tamanduá; Ribeirão do Pinheirinho e córrego da Lagoa Dourada, todas localizadas dentro da Área de Proteção Ambiental Corumbataí. Os resultados do teste foram analisados, sendo de grande contribuição para o melhoramento do protocolo.

Finalmente com a validação por possíveis usuários, elaborou-se a versão final do PANÁgua, estruturado de forma hierárquica em etapas, categorias e parâmetros. Para atribuição de pesos a cada uma das variáveis que o constituíram, foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Essa metodologia permitiu a comparação par a par entre parâmetros e indicadores, categorias e/ou etapas, apresentando os pesos em razão à relevância do item para a determinação das condições ambientais de nascentes. O PANÁgua foi estruturado de forma que corresponde ao aplicador ou usuários avaliar unicamente os parâmetros e indicadores, por meio da Escala de Likert, as notas outorgadas são ponderadas segundo os pesos estipulados e finalmente apresenta-se o estado de

conservação avaliado em uma escala de 1 a 4, na que o valor máximo representa condições ambientais ótimas.

O Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) se mostrou como uma ferramenta útil e necessária para auxiliar aos diferentes atores ambientais da sociedade nos processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas porque permite um análise completa das condições ambientais das nascentes, reconhecendo sua complexidade, dinâmica e importância para a manutenção do ciclo hidrológico e de outros serviços ecossistêmicos. Além disso, o PANÁgua consegue integrar, por meio de métodos robustos e cientificamente validados, todos os fatores envolvidos no conceito de nascente como sistema ambiental, realizando uma avaliação sólida e concisa que apresenta os principais impactos e suas causas, a partir da qual podem ser analisadas e selecionadas as estratégias mais adequadas para o desenvolvimento de projetos de recuperação, preservação e/ou conservação ambiental destas áreas.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. Avaliação do estado de conservação de algumas nascentes das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas-SP) e do Córrego Mineirinho (São Carlos-SP)**

## **4.1.OBJETIVO DA PESQUISA**

Ao reconhecer a importância das nascentes de cursos d'água na manutenção do ciclo hidrológico e na disponibilidade de água, tornam-se necessárias ações para sua avaliação e monitoramento, por meio das quais possam ser fornecidas aos órgãos gestores informações sobre os diferentes fatores que influenciam as condições ambientais destas, subsidiando o processo de tomada de decisões sobre este assunto. De igual forma, essas ações podem ser consideradas a base para o estudo e definição de estratégias de recuperação ambiental das nascentes, pois permitem identificar os impactos gerados sobre elas e suas causas.

Existem algumas ferramentas que auxiliam aos profissionais da área ambiental na execução dessas ações de avaliação e monitoramento, uma destas é o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), a qual por meio da valoração e ponderação de um grupo de parâmetros, busca determinar o estado de conservação das nascentes, entendendo-as como sistemas ambientais.

A presente pesquisa tem como objetivo aplicar o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) como ferramenta para a determinação e comparação dos estados de conservação de algumas nascentes das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas, São Paulo) e do córrego urbano Mineirinho (São Carlos, São Paulo).

## **4.2.MATERIAIS E METODOS**

### **4.2.1. Áreas de aplicação do PANÁgua**

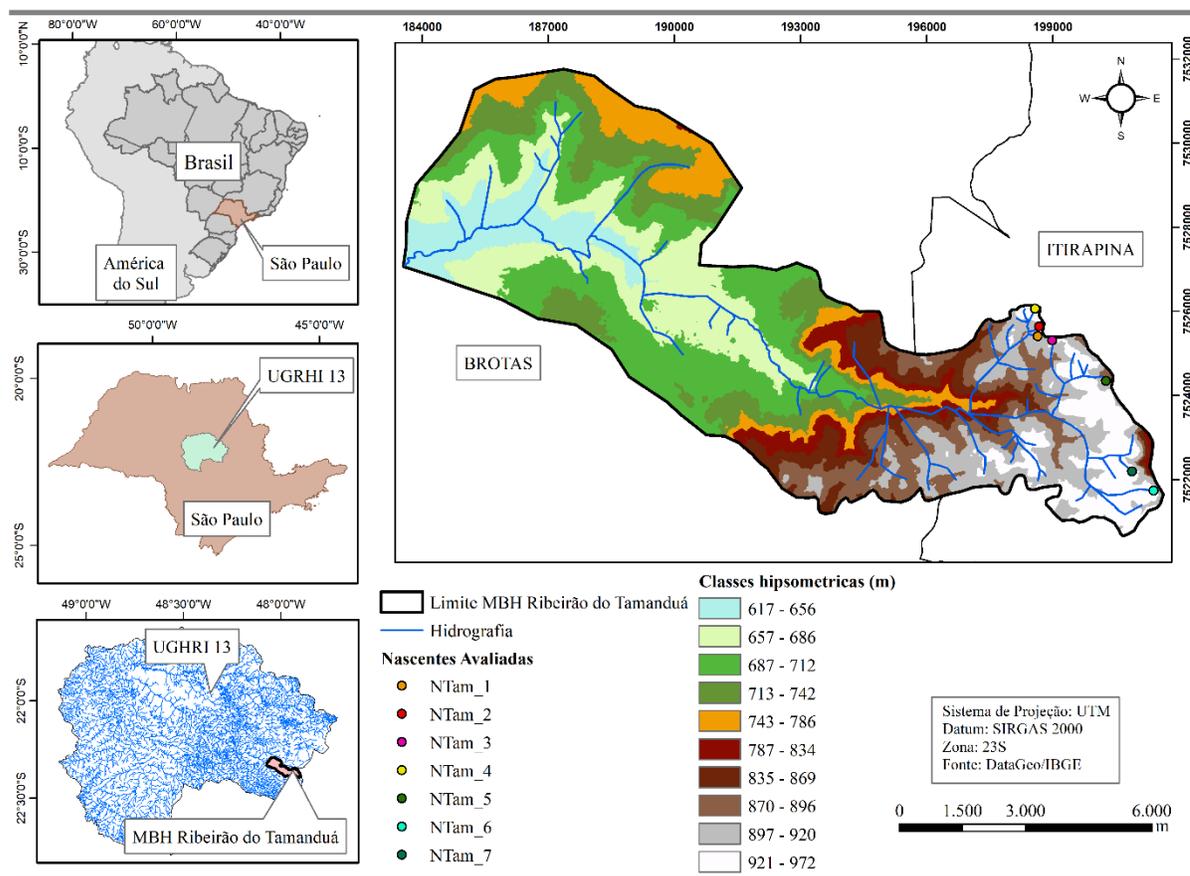
O PANÁgua foi aplicado para determinar o estado de conservação de algumas nascentes do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas, São Paulo) e do córrego Mineirinho (São Carlos, São Paulo).

O Ribeirão do Tamanduá é um dos maiores afluentes do Rio Jacaré Pepira que pertence a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê Jacaré (UGRHI 13), suas principais nascentes encontram-se na divisa entre os municípios de Itirapina e Brotas (SP). Esta microbacia encontra-se parcialmente dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental Corumbataí e se caracteriza pela oferta turística de esportes aquáticos, em decorrência das inúmeras cachoeiras,

cavernas, serras e morros que lhe outorgam uma paisagem privilegiada. No entanto, também se desenvolvem atividades agrícolas e pecuárias importantes para a região. Os municípios de Itirapina e Brotas possuem um clima classificado como tropical, com temperaturas que variam de 25°C a 29°C e estão alocados sobre a formação geológica de Cuestas Basálticas. Segundo a caracterização desenvolvida por Santos; Trevisan e Moschini (2018), as nascentes da microbacia do Ribeirão do Tamanduá, que foram avaliadas nesta pesquisa, encontram-se na formação Serra Geral e formação Bauru, em regiões de latossolos com declividades variadas entre 9 e 27%.

A Figura 48 mostra o mapa de localização da microbacia do Ribeirão do Tamanduá e as classes hipsométricas que representam a altitude da região.

Figura 48. Localização da microbacia do Ribeirão do Tamanduá



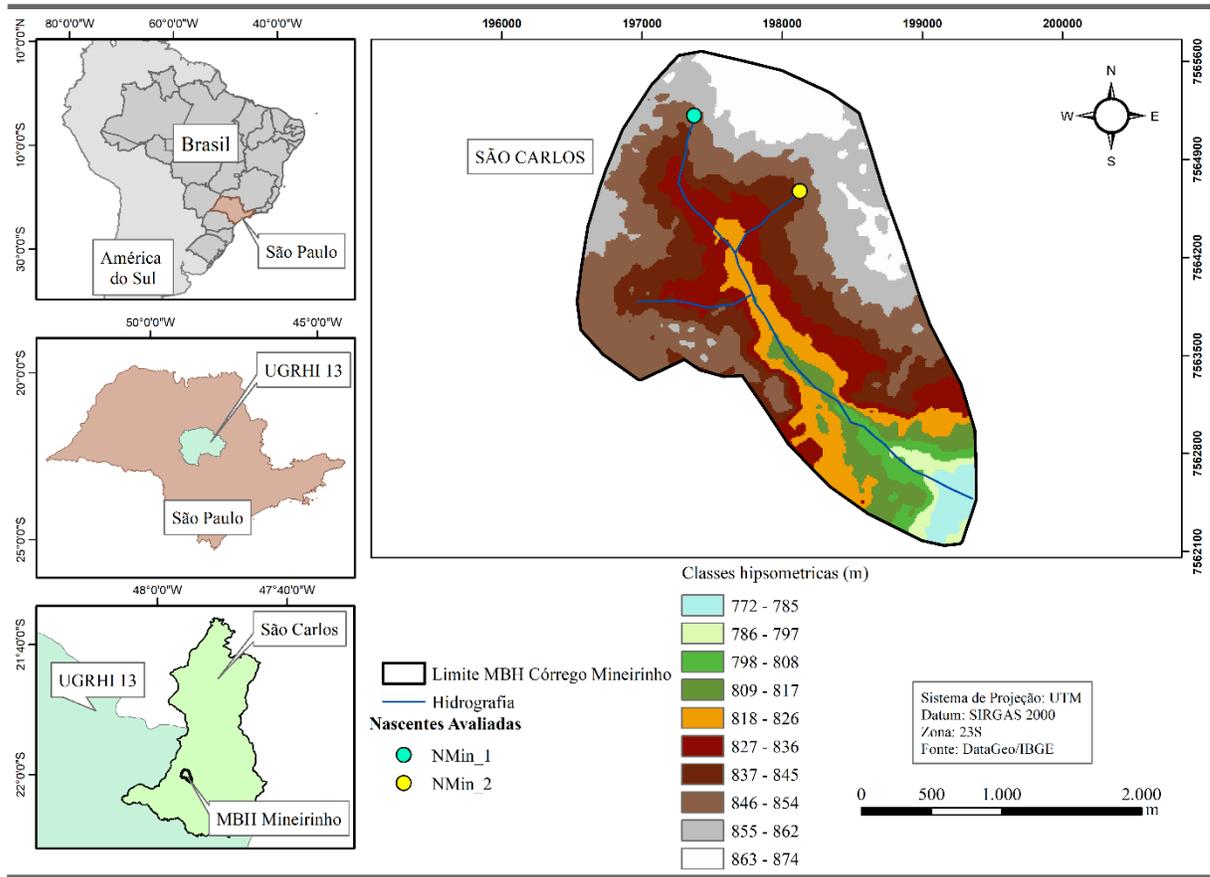
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A microbacia do córrego do Mineirinho localiza-se na região centro oeste da cidade de São Carlos (SP), e está inserida na bacia do Rio Monjolinho, ocupando parcialmente o perímetro urbano da cidade. O padrão habitacional da bacia do Mineirinho varia ao longo do seu curso. A montante prevalecem habitações de baixo padrão, com condições de infraestrutura precárias e desconectadas entre si; já a jusante encontra-se condomínios fechados de alto padrão, com bastante infraestrutura e ligados a uma malha viária capaz de suportar o adensamento (TARPANI; BRANDÃO, 2009).

Embora a microbacia do Córrego do Mineirinho se encontre principalmente ocupada pela área urbana, aproximadamente 15% está coberta por plantações de cana de açúcar e pinus, 20% por campos ou pastagem e 20% por solo exposto, que se deve a períodos de entressafra dos plantios de cana e a alguns processo erosivos (TARPANI; BRANDÃO, 2009). A caracterização física do município de São Carlos mostra que a declividade da microbacia do córrego do Mineirinho varia entre 0 e 12%. De igual forma, a formação geológica predominante é o Grupo Bauru e a pedologia Latossolos Vermelho-Amarelo (TREVISAN et al., 2018).

A principal nascente do córrego do Mineirinho situa-se no bairro Santa Angelina, existindo também, outras duas nascentes uma no mesmo bairro e outra dentro do campus II da Escola de Engenharias da Universidade de São Paulo - USP (SILVA et al., 2014). A Figura 49 apresenta a localização e as classes hipsométricas, as quais mostram as variações de altitude desta microbacia.

Figura 49. Localização da microbacia do Córrego Mineirinho



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

#### 4.2.2. Determinação do estado de conservação de nascentes de cursos d'água

O Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) é uma ferramenta que, por meio de três etapas de aplicação, permite determinar o estado de conservação de nascentes, auxiliando aos órgãos ambientais nos processos de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

A primeira etapa do PANÁgua consiste na avaliação e medição, durante visita de campo, de um grupo de parâmetros relacionados às categorias de: monitoramento da qualidade da água; interferências na nascente; integridade física do solo e características do uso e ocupação do solo no entorno. Por outro lado, a segunda etapa, busca identificar e avaliar as ações de recuperação e conservação de nascentes que foram desenvolvidas a escala de bacia hidrográfica e, a terceira etapa adota os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) para realizar uma avaliação das características do uso e ocupação do solo no entorno das nascentes.

Os parâmetros que integram o PANÁgua devem ser avaliados por profissionais da área ambiental utilizando a escala ordinal adaptada de Likert (1932) que se apresenta na Tabela 25. Por último, o cálculo do estado de conservação é realizado por meio da ponderação das notas de cada parâmetro considerando os pesos de relevância que o protocolo indica.

Tabela 25. Escala de avaliação dos parâmetros

Pontuação	Conceito qualitativo
4 a 5	Ótimo
3 a 4	Bom
2 a 3	Regular
1 a 2	Ruim

Fonte: Adaptado de Likert (1932)

Cada uma das etapas propostas no PANÁgua foi aplicada, sendo realizada a avaliação integrada das nascentes e a determinação do estado de conservação. No entanto, para que o monitoramento seja completa, requer-se a aplicação do PANÁgua com frequência mínima de duas vezes por ano, uma durante o período de chuvas e outra durante o período seco, já que as condições climatológicas da região podem ter uma influência significativa nas condições ambientais avaliadas em momentos específicos. Por isso, a aplicação realizada nesta pesquisa deve ser considerada como uma avaliação preliminar, que além de mostrar a funcionalidade da ferramenta, apresenta, analisa e compara as condições ambientais de nascentes localizadas em microbacias com características diferentes.

#### 4.2.2.1. Avaliação das condições ambientais em campo

As condições ambientais das nascentes selecionadas para o estudo foram avaliadas em campo por uma equipe técnica formada por profissionais experientes na área de recursos hídricos e para isto utilizou-se a etapa 1 do PANÁgua (**apêndice B**). Durante a visita, observaram-se as características das nascentes e sua área de entorno, analisando e avaliando os parâmetros de acordo com as opções estabelecidas no protocolo. Para a categoria monitoramento qualitativo da água da nascente, foram mensurados os parâmetros físico-químicos requeridos utilizando um medidor Multiparâmetro Horiba U-10 e coletadas as amostras para a contagem de Escherichia Coli e

Coliformes totais pelo método do kit microbiológico COLIPAPER®. A partir desses resultados, foram avaliados os parâmetros de acordo com as opções de resposta estabelecidas no PANÁgua.

Durante a visita de campo, também foram determinadas as coordenadas de localização das nascentes, medidas por meio de um GPS no local mais próximo possível ao afloramento de água, para facilitar a posterior elaboração dos mapas. Além disso, foi realizada a medição da vazão utilizando o método simples (recipiente volumétrico e cronômetro). Este parâmetro (vazão), embora não faça parte do PANÁgua, é considerado como uma informação complementar importante, que induz algumas características geológicas, geomorfológicas e climatológicas da nascente e suas áreas de recarga, sendo útil na avaliação dos outros parâmetros.

Após a visita de campo, foram analisadas as respostas dos membros da equipe técnica e para solucionar as divergências ocorridas, foi realizada a média das respostas para obtenção da nota final. Por último, essas notas foram ponderadas utilizando os pesos recomendados pelo protocolo (apresentados anteriormente na Tabela 23), obtendo como resultado o estado de conservação para esta etapa, apresentado na escala de Likert.

#### 4.2.2.2. Pesquisa de ações de conservação e recuperação desenvolvidas.

As ações de conservação e recuperação desenvolvidas nas nascentes das microbacias hidrográficas do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas, SP) e córrego do Mineirinho (São Carlos, SP) foram avaliadas com base a referências bibliográficas e documentos levantados. As fontes consultadas para pesquisar essas informações foram: o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH); o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH), especificamente na aba do Comitê da bacia Tietê Jacaré; o site da Agência Nacional de Águas (ANA); Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS); Ministério de Meio Ambiente (MMA); prefeituras dos municípios de Itirapina, Brotas e São Carlos; e no Google Acadêmico para a busca de informações científicas (artigos, relatórios, dissertações, teses). Neste último caso, foram utilizadas as palavras-chave apresentadas na Tabela 26. Os artigos resultantes foram escolhidos com base no título, realizando a leitura unicamente daqueles considerados importantes para o objetivo da busca.

Tabela 26. Palavras-chave para identificação de ações de conservação e/ou recuperação

Palavra-chave 1	Palavra-chave 2	Palavra-chave 3
Ações	Recuperação nascentes	Ribeirão do Tamanduá
Projetos	Conservação nascentes	
Programas	Preservação nascentes	Córrego Mineirinho
Planos	Monitoramento nascentes	

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

A avaliação das ações desenvolvidas para conservação e recuperação de nascentes foi realizada com base nas informações levantadas na pesquisa. Para isto, foi utilizada a etapa 2 do PANÁgua (**apêndice B**) e foram incluídos no cálculo unicamente os parâmetros que foram possíveis de serem determinados.

#### 4.2.2.3. Avaliação das condições ambientais utilizando SIG

A avaliação dos parâmetros estabelecidos nesta etapa foi realizada por meio do reconhecimento e mapeamento das classes de uso e ocupação do solo da área de entorno de cada nascente avaliada, utilizando o Software ArcGis 10,5®.

Para a delimitação da área de entorno, foi realizado o *buffer* de 1 quilômetro ao redor de cada nascente, seguindo a proposta de Fumagalli et al. (2017). O mapeamento das classes de uso e ocupação do solo foi desenvolvido utilizando como base as imagens orbitais da Constelação de Satélites *RapidEye* do sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), um dos mais destacados no âmbito do geoprocessamento devido à capacidade de adquirir dados espaciais de grandes áreas em altas resoluções espaciais e espectrais. As imagens obtidas foram multiespectrais e ortorretificadas, com uma resolução espacial de 5,0 metros e resolução radiométrica de 12 bits que permitiu o mapeamento em escala 1:15.000. Estas imagens se adquiriram por meio da plataforma de dados do Programa de Educação e Pesquisa do Planet Team (2017).

O processamento da imagem *raster* foi realizado a partir da ferramenta de segmentação e classificação *Mean Shift*, sendo tomadas amostras de cada classe de uso e ocupação identificadas ao redor das nascentes. Estas amostras foram processadas utilizando a ferramenta *Maximum Likelihood Classification*, que permitiu gerar a classificação em formato *raster*. Finalmente, obtiveram-se os *shapefiles* das áreas de entorno e foi realizado o cálculo da área em km<sup>2</sup> para cada classe. O mapa final do uso e ocupação do solo permitiu avaliar os parâmetros estabelecidos na etapa 3 do PANÁgua (**apêndice B**).

## 4.3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.3.1. Resultados da avaliação das condições ambientais em campo

A seguir, apresentam-se os resultados da avaliação das condições ambientais das nascentes visitadas na microbacia do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas, SP) e no Córrego Mineirinho (São Carlos, SP), que foi realizada utilizando a etapa 1 do PANÁgua (**apêndice B**).

#### 4.3.1.1. Microbacia do Ribeirão do Tamanduá

As Tabelas 28-33 foram elaboradas considerando a média das notas outorgadas pelos membros da equipe técnica a cada um dos parâmetros e sub parâmetros avaliados. Essas notas foram ponderadas utilizando os pesos previamente estabelecidos (Tabela 23) para a obtenção do estado de conservação de cada nascente com base à etapa 1. Os códigos atribuídos às nascentes permitem sua identificação no mapa da Figura 48.

Para a definição das pontuações da categoria de monitoramento qualitativo da água da nascente utilizaram-se os dados obtidos na medição em campo dos parâmetros, cujos resultados se mostram na tabela 27. Além disso, foi determinada a vazão das nascentes, uma informação que resulta importante para avaliar impactos relacionados a quantidade de água, mas que por ser dependente das características geológicas, geomorfológicas e climatológicas de cada nascente não foi considerada como parâmetro dentro do PANÁgua. É necessário esclarecer que no caso da nascente *NTam\_6* não foi possível medir a vazão devido ao represamento evidenciado durante a visita, sendo o fluxo da água totalmente interrompido.

Tabela 27. Vazão das nascentes avaliadas

Nascentes	Coliformes Totais (UFC/100 ml)	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Turbidez (UNT)	Vazão (L/S)
NTam_1	400	1700	24	0,331
NTam_2	0	1400	8	0,527
NTam_3	650	300	53	0,243
NTam_4	3920	1400	24	0,049
NTam_5	0	1733	9	0,282
NTam_6	560	3100	43	Não determinado
NTam_7	0	3300	4	0,266

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 28. Resultados para NTam\_1

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	3	1,2		
	Condutividade elétrica	0,28	3	0,84		
	Turbidez	0,18	5	0,9		
	Presença de espuma	0,07	4	0,28		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
		<b>Somatória (S1)</b>		<b>3,57</b>	0,1	<b>0,36</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	5	0,5		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	5	0,95		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	3	0,36		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	5	1,5		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	3	0,75		
		<b>Somatória (S1)</b>		<b>4,26</b>	0,24	<b>1,022</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	3	0,78		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	5	0,5		
	Ocorrência de erosão	0,46	3	1,38		
	Compactação do solo	0,18	4	0,72		
		<b>Somatória (S1)</b>		<b>3,38</b>	0,24	<b>0,81</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	3	0,9		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	5	0,4		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	3	0,3		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	3	1,14		
	Presença de edificações	N.A.	N.A. <sup>5</sup>			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	3			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	3			
	Presença de silvicultura	N.A.	N.A.			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	N.A.			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	3			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	3			
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3				
		<b>Somatória (S1)</b>		<b>2,88</b>	0,42	<b>1,21</b>
		<b>SOMATORIA (S2)</b>				<b>3,4002</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

<sup>5</sup> N.A. Significa não aplica, ou seja, o parâmetro não pôde ser determinado e foi desconsiderado da avaliação.

O resultado da nascente *NTam\_1* foi considerado “bom” segundo a escala de Likert adotada (Tabela 25). Este resultado indica que as condições ambientais atuais da nascente permitem sua funcionalidade como sistema ambiental e garantem a oferta de diversos serviços ecossistêmicos. Pode-se observar que a categoria “interferências sobre a nascente” foi a única avaliada com nota superior a 4, sendo identificados indícios da presença de animais de criação como pegadas e plantas derrubadas e indícios do escoamento de água pluvial como as marcas de enxurradas no solo. Os demais parâmetros desta categoria foram avaliados com nota 5 por se encontrarem em condições ótimas.

Em relação as categorias de monitoramento da qualidade da água e integridade física do solo, foram evidenciados impactos maiores, mas que ainda a colocam dentro da categoria “bom”. A qualidade da água apresenta uma baixa contaminação microbiológica, sendo a concentração de Coliformes Totais na água de 400 UFC/100ml. Da mesma forma, o valor da condutividade elétrica foi de 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e este, embora não represente risco para o consumo humano ou de animais, já indica interferências na qualidade da água, pois este parâmetro está diretamente relacionado com a presença de sais e sólidos dissolvidos na água (PAL et al., 2015). Além disso, foram identificados processos erosivos intermediários evidenciados na presença de sulcos e a desagregação do solo e foram observados sedimentos depositados nas ladeiras do canal a jusante da nascente.

Ao analisar as características do uso e ocupação do solo no entorno, inferem-se as possíveis causas de alguns dos impactos anteriormente descritos. Assim, a presença de cultivos agrícolas e de atividade pecuária na área de interface da nascente pode estar ocasionando a contaminação microbiológica que resulta do contato da água com fezes de animais presentes na área de interface e que eventualmente ingressam na APP. Por outro lado, a condutividade elétrica pode estar relacionada a altas concentrações de nitratos e fosfatos derivadas da atividade agrícola. Além disso, esses processos de contaminação podem estar sendo favorecidos pelo escoamento de água pluvial em direção a nascente. A erosão e o assoreamento evidenciados também são consequências da agricultura, pois o uso de maquinários para a lavoura da terra afeta a integridade física do solo, impactando também a vegetação natural que está sendo substituída paulatinamente.

Algumas imagens que ilustram as condições ambientais desta nascente encontram-se no **apêndice D**.

Tabela 29. Resultados para NTam\_2

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	5	2		
	Condutividade elétrica	0,28	3	0,84		
	Turbidez	0,18	5	0,9		
	Presença de espuma	0,07	5	0,35		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>4,44</b>	0,1	<b>0,44</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	5	0,5		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	5	0,95		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	5	0,48		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	5	1,5		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	5	1,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>5</b>	0,24	<b>1,2</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	3	0,78		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	5	0,5		
	Ocorrência de erosão	0,46	3	1,38		
	Compactação do solo	0,18	5	0,9		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,56</b>	0,24	<b>0,854</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	3	0,9		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	5	0,4		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	3	0,3		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	3	1,14		
	Presença de edificações	N.A.	N.A.			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	3			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	3			
	Presença de silvicultura	N.A.	N.A.			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	N.A.			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	3			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	N.A.			
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3				
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,88</b>	0,42	<b>1,21</b>
	<b>SOMATORIA (S2)</b>					<b>3,708</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

O resultado da nascente *NTam\_2* foi “bom” segundo a escala de Likert adotada (Tabela 25). Entre as sete nascentes avaliadas para a microbacia do Ribeirão do Tamanduá esta é considerada como a mais conservada, obtendo uma nota de 3,71 na avaliação em campo. O diferencial principal da avaliação desta nascente foi a ausência de Coliformes Totais na água e a inexistência de interferências na nascente. Foi observado, durante a visita de campo, que o afloramento da água se dá de forma difusa: a água se espalha pela área vegetada com a formação de pequenos lagos. No entanto, o grande volume de água que aflora, ajudado pelo relevo do terreno, gera um escoamento constante que resulta em um canal à jusante.

A *NTam\_2* encontra-se dentro de uma área de desenvolvimento de atividades agrícolas e pecuárias e, como consequência disso, apresenta alguns impactos relacionados ao uso e ocupação do solo ao seu redor: a vegetação na área de interface foi substituída por pastagem para criação de gado e por culturas agrícolas e a vegetação natural dentro da APP é de baixa densidade, não representando a proteção adequada para a nascente. Por outro lado, foi evidenciada a presença de estradas que facilitam o transporte de maquinários agrícolas e veículos, que também impactam o solo e geram partículas sólidas. Como consequência de todos esses impactos do uso e ocupação do solo, começaram-se processos erosivos leves, principalmente na área de interface e assoreamento de nível intermediário no canal a jusante e nos lagos maiores.

Algumas imagens que ilustram as condições ambientais desta nascente encontram-se no **apêndice D**.

Tabela 30. Resultados para NTam\_3

<b>Categorias</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Peso (P)</b>	<b>Nota (N)</b>	<b>(P*N)</b>	<b>Peso categoria (PC)</b>	<b>S1*PC</b>
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	3	1,2		
	Condutividade elétrica	0,28	5	1,4		
	Turbidez	0,18	3	0,54		
	Presença de espuma	0,07	1	0,07		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,56</b>	0,1	<b>0,356</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	5	0,5		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	5	0,95		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	3,5	0,42		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	5	1,5		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	5	1,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>4,82</b>	0,24	<b>1,157</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	4	1,04		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	5	0,5		
	Ocorrência de erosão	0,46	5	2,3		
	Compactação do solo	0,18	3,5	0,63		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>4,47</b>	0,24	<b>1,073</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	3	0,9		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	5	0,4		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	3	0,3		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	2,2	0,84		
	Presença de edificações	N.A.	N.A.			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	1			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	3			
	Presença de silvicultura	N.A.	1			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	N.A.			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	3			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	N.A.			
	Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3			
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,58</b>	0,42	<b>1,082</b>
	<b>SOMATORIA (S2)</b>					<b>3,67</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

O resultado da nascente *NTam\_3* foi “bom” de acordo com a escala de Likert adotada (Tabela 25), obtendo uma nota de 3,67. Neste caso, para a categoria de monitoramento da qualidade da água foi obtida a concentração de Coliformes Totais de 650 UFC/100ml, que indica contaminação microbiológica. Do mesmo modo, foi identificada uma escassa presença de espuma na água que pelas características da área de entorno pode ter uma origem orgânica, sendo improvável que se derive de contaminação antrópica (uso de detergentes). No entanto, a condutividade elétrica nesta nascente foi baixa (300 $\mu$ S/cm), indicando presença não significativa de sais ou sólidos dissolvidos.

Na categoria de interferências na nascente, foram identificados unicamente os indícios do acesso de animais de criação na APP e área de interface, havendo um dos membros da equipe técnica que não percebeu esses indícios e avaliou o parâmetro com nota 5. A média das avaliações foi de 3,5, considerando-se como nota final. De igual forma, a integridade física do solo foi avaliada com nota alta, sendo que não foram identificadas evidências de processos erosivos se não a compactação em nível intermediário do solo, principalmente na área de interface. No entanto, se faz necessário monitorar as características do solo desta nascente, visto que na área de entorno há presença de silvicultura, agricultura e atividades pecuárias que podem gerar futuramente grandes problemas de erosão.

Por outro lado, a presença de eucalipto (silvicultura) dentro da APP da nascente (ver **apêndice D**) diminuiu consideravelmente a pontuação da categoria de características do uso e ocupação do solo, em comparação com as outras nascentes onde essa classe está ausente ou presente só na área de interface. Um dos impactos mais debatidos da silvicultura de eucalipto é a retirada de água do solo que causa o rebaixamento do lençol freático (TRICK; CUSTODIO, 2004; OLIVEIRA; MENEGASSE; DUARTE, 2002). Desta forma, analisando o valor medido da vazão (L/s) para esta nascente (Tabela 27), observa-se que foi um dos valores mais baixos quando comparado com as demais, fato que respalda este suposto. Segundo Moura e Zaidan (2018), o eucalipto, por possuir grande biomassa, requer uma elevada quantidade de água e nutrientes para acelerar seu crescimento, e por isso, ainda com um sistema radicular superficial, as plantações localizadas em áreas próximas a corpos ou reservatórios hídricos onde o lençol freático é baixo, podem afetar gravemente o armazenamento de água no aquífero e em ocasiões até o próprio reservatório. Assim, a existência do plantio de eucalipto dentro da APP da nascente deve ser vista como um grande risco para a dinâmica hidrogeológica da nascente e conseqüentemente para seu estado de conservação.

Tabela 31. Resultados para NTam\_4

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	2	0,8		
	Condutividade elétrica	0,28	3	0,84		
	Turbidez	0,18	5	0,9		
	Presença de espuma	0,07	4,5	0,315		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,21</b>	0,1	<b>0,321</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	5	0,5		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	5	0,95		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	3,5	0,42		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	5	1,5		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	5	1,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>4,82</b>	0,24	<b>1,157</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	3,5	0,91		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	5	0,5		
	Ocorrência de erosão	0,46	3	1,38		
	Compactação do solo	0,18	4	0,72		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,51</b>	0,24	<b>0,84</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	3	0,9		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	5	0,4		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	5	0,5		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	3	1,14		
	Presença de edificações	N.A.	N.A.			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	3			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	3			
	Presença de silvicultura	N.A.	N.A.			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	N.A.			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	3			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	N.A.			
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3				
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,08</b>	0,42	<b>1,294</b>
	<b>SOMATORIA (S2)</b>					<b>3,61</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O resultado da nascente *NTam\_4* foi “bom”, segundo a escala de Likert adotada (Tabela 25). Entre as sete nascentes avaliadas para a microbacia do Ribeirão do Tamanduá, esta apresentou a concentração mais alta de Coliformes Totais, sendo de 3920 UFC/100ml. Esta contaminação microbiológica pode-se dever ao contato da água com fezes de animais que se encontram na área de interface e que eventualmente podem acessar a APP. Do mesmo modo, foi obtido um valor médio de 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a condutividade elétrica, que indica a presença de sais e sólidos dissolvidos na água. Em relação à categoria de interferências na nascente, unicamente os indícios do acesso de animais de criação foram identificados como impacto na área de interface.

Assim como nas outras nascentes desta microbacia, foram observados impactos ocasionados pelas classes de uso e ocupação do solo predominantes no entorno (agricultura e pecuária), entre estes, destaca-se a afetação da integridade física do solo evidenciada nos processos erosivos, de assoreamento e compactação, que são gradualmente agravados quando não se tomam as medidas de mitigação requeridas. A vegetação natural da APP foi considerada de baixa densidade e na área de interface foi totalmente substituída por pastagem para a criação de gado. No entanto, um aspecto a destacar desta nascente é a existência de uma cerca em boas condições que a protege, embora seja necessário aplicar estratégias de recuperação pois alguns impactos já foram ocasionados.

Algumas imagens que ilustram as condições ambientais desta nascente encontram-se no **apêndice D**.

Tabela 32. Resultados para NTam\_5

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	5	2		
	Condutividade elétrica	0,28	3	0,84		
	Turbidez	0,18	5	0,9		
	Presença de espuma	0,07	4,5	0,315		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>4,41</b>	0,1	<b>0,44</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	5	0,5		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	5	0,95		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	4	0,48		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	5	1,5		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	5	1,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>4,88</b>	0,24	<b>1,17</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	3	0,78		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	5	0,5		
	Ocorrência de erosão	0,46	3	1,38		
	Compactação do solo	0,18	4	0,72		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,38</b>	0,24	<b>0,81</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	3	0,9		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	5	0,4		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	2	0,2		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	2,25	0,855		
	Presença de edificações	N.A.	N.A.			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	N.A.			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	3			
	Presença de silvicultura	N.A.	1			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	N.A.			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	2			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	N.A.			
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3				
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,5</b>	0,42	<b>1,05</b>
	<b>SOMATORIA (S2)</b>					<b>3,47</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

O resultado da nascente NTam\_5 foi “bom”, segundo a escala de Likert adotada (Tabela 25). Neste caso, não houve contaminação microbiológica da água, sendo zero a concentração de Coliformes Totais. No entanto, a condutividade elétrica apresentou um valor médio de 1733  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando a presença de sais e sólidos dissolvidos na água. Em relação à categoria de interferências na nascente, todos os parâmetros foram avaliados com nota 5, não representando nenhum impacto na nascente.

Por outro lado, a integridade física do solo encontrou-se parcialmente alterada, sendo evidenciados processos erosivos e assoreamento nas margens do canal à jusante, também, alguns indícios de compactação do solo na área de interface foram determinados por alguns dos membros da equipe técnica.

Os impactos na integridade física do solo, podem ser consequência da silvicultura e pecuária desenvolvidas na APP e na área de interface, já que para o plantio de eucalipto são necessárias práticas edáficas que resultam no empobrecimento, desagregação, erosão e desequilíbrio do ciclo de nutrientes do solo. Segundo Moura e Zaidan (2018), as plantações de eucalipto afetam a biodiversidade, impedindo o crescimento de outras espécies por meio de um processo chamado alelopatia no qual “ocorre a liberação de compostos químicos que inibem o crescimento de outras plantas e microrganismos no solo, reduzindo, assim, ainda mais sua fertilidade” (MOURA; ZAIDAN, 2018, p.144). Além disso, como foi discutido na análise da nascente NTam\_3, a presença de silvicultura em áreas de nascentes pode significar um risco para a própria existência devido à retirada de água do solo e comparando os valores medidos da vazão. Observa-se que esta nascente obteve um dos mais baixos valores, fato que respalda este suposto. Finalmente, impactos como a compactação do solo estão ligados à substituição de vegetação natural por pastagem para criação de gado (atividade pecuária).

Algumas imagens que ilustram as condições ambientais desta nascente encontram-se no **apêndice D**.

Tabela 33. Resultados para N\_Tam6

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	3	1,2		
	Condutividade elétrica	0,28	1	0,28		
	Turbidez	0,18	3	0,54		
	Presença de espuma	0,07	5	0,35		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,72</b>	0,1	<b>0,272</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	3	0,12		
	Interferências no fluxo de água	0,1	1	0,1		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	3	0,57		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	3	0,36		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	3	0,9		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	1	0,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,3</b>	0,24	<b>0,552</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	1	0,26		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	1	0,1		
	Ocorrência de erosão	0,46	1	0,46		
	Compactação do solo	0,18	1	0,18		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>1</b>	0,24	<b>0,24</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	1	0,3		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	1	0,08		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	1	0,1		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	2,67	1,013		
	Presença de edificações	N.A.	N.A.			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	1			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	N.A.			
	Presença de silvicultura	N.A.	3			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	3			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	3			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	3			
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3				
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>1,63</b>	0,42	<b>0,686</b>
				<b>SOMATORIA (S2)</b>		<b>1,75</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

O resultado da nascente *NTam\_6* foi “ruim”, de acordo com a escala de Likert adotada (Tabela 25). Entre as nascentes avaliadas para a microbacia do Ribeirão do Tamanduá, esta apresentou condições que indicam uma forte degradação ambiental. Esta nascente se encontra represada formando uma lagoa, fato que impacta negativamente as propriedades físico-químicas e microbiológicas da água, obtendo-se uma concentração de Coliformes Totais de 560 UFC/100ml e uma turbidez de 43 UNT. Esses valores denotam contaminação microbiológica e presença de sólidos suspensos na água. Da mesma forma, a condutividade elétrica com valor de 3100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indica a forte presença de sais e sólidos dissolvidos.

A principal interferência na nascente está relacionada ao represamento da água, o que alterou totalmente o fluxo e a função hidrológica da nascente. Este represamento provavelmente foi realizado com fins de captação para irrigação, já que ao redor existe uma grande influência de atividade agrícola de cana de açúcar. Provavelmente a baixa movimentação da água e as grandes quantidades de nutrientes (nitratos e fosfatos) provenientes do escoamento de efluentes poluídos com insumos agrícolas geraram a eutrofização em nível intermediário da lagoa. Outra consequência desse represamento são os indícios de deslocamento do afloramento da água no sentido à jusante, já que o canal formado foi interceptado e barrado.

Os parâmetros relacionados à integridade física do solo foram evidenciados em condições críticas que refletem o impacto da atividade agrícola. Na APP da nascente encontraram-se voçorocas, ravinas e grandes sulcos que denotam a erosão ocasionada pelo efeito sinérgico das enxurradas, a ausência de vegetação e a lavoura da terra para a plantação de cana de açúcar. A utilização de maquinários agrícolas e a construção de estradas de terra para seu trânsito também causou a alta compactação do solo na APP e área de interface. Do mesmo modo, foi evidenciada a movimentação de terras com ferramentas e maquinários para sua utilização nos trabalhos de lavoura.

O uso e ocupação do solo no entorno da nascente está caracterizado pelo cultivo de cana de açúcar, existindo também uma plantação de eucalipto ainda na área de interface. A vegetação natural é inexistente e a lagoa encontra-se desprotegida e rodeada de braquiária. A presença de resíduos sólidos comuns e perigosos foi evidenciada na água e na APP, assim como alguns indícios de práticas de queimadas. Além disso, a pista rodoviária e as estradas de terra intersectam a área de interface à montante da nascente e a geração de partículas sólidas é constante pelo trânsito de veículos agrícolas e urbanos. (ver **apêndice D**).

Tabela 34. Resultados para N\_Tam7

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	5	2		
	Condutividade elétrica	0,28	1	0,28		
	Turbidez	0,18	5	0,9		
	Presença de espuma	0,07	3	0,21		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	5	0,35		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>3,74</b>	0,1	<b>0,374</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	5	0,5		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	3	0,57		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	4	0,48		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	3	0,9		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	1	0,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,9</b>	0,24	<b>0,696</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	1	0,26		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	1	0,1		
	Ocorrência de erosão	0,46	1	0,46		
	Compactação do solo	0,18	1	0,18		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>1</b>	0,24	<b>0,24</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	1	0,3		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	1	0,08		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	1	0,1		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	2,2	0,836		
	Presença de edificações	N.A.	N.A.			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	1			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	N.A.			
	Presença de silvicultura	N.A.	3			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	N.A.			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	3			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	1			
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	3				
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>1,456</b>	0,42	<b>0,612</b>
	<b>SOMATORIA (S2)</b>					<b>1,92</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

O resultado da nascente *NTam\_7* foi “ruim”, segundo a escala de Likert adotada (Tabela 25). Neste caso, pode-se observar que a categoria de monitoramento qualitativo da água ainda foi considerada com boas condições, sendo que os parâmetros foram avaliados em maioria com nota 5. Porém, a partir do conhecimento de que a condutividade elétrica foi alta (3300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), é possível inferir a existência de contaminação por diferentes substâncias (íons cloreto, sólidos dissolvidos, nutrientes, entre outros) que resultam das atividades agrícolas desenvolvidas no entorno da nascente. Entre as interferências sobre a nascente foi identificado o escoamento de água pluvial e de efluentes contaminados com insumos agrícolas em direção à nascente. Também, como consequência das fortes chuvas ocorridas em dias anteriores à visita, o afloramento da água observou-se à montante da APP em um local completamente desmatado e situado no meio de um cultivo de cana de açúcar em época de entressafra (pousio)

Os parâmetros relacionados à integridade física do solo foram avaliados com nota 1 devido à presença intensiva de processos erosivos e assoreamento evidenciados na existência de voçorocas, ravinas, sulcos e grandes quantidades de sedimentos depositados nas margens dos primeiros metros do canal. Estes impactos foram ocasionados pelo efeito sinérgico de enxurradas, pela ausência de vegetação, pela lavoura e movimentação da terra para a plantação de cana de açúcar. Assim, a alta compactação do solo foi resultado da utilização constante de máquinas agrícolas e do trânsito de veículos pelas estradas. Também foi evidenciada a movimentação de terras com maquinários e ferramentas para utilização nas atividades de lavoura. O uso e ocupação do solo no entorno da nascente caracteriza-se pelo cultivo de cana de açúcar, que durante a visita foi encontrado em estágio de entressafras, existindo também plantação de eucalipto na área de interface. A vegetação natural tanto na APP como na área de interface foi considerada inexistente. Inclusive, no momento da visita, o afloramento da água estava totalmente desprotegido se encontrando no solo totalmente exposto. Além de tudo, o despejo inadequado de resíduos sólidos comuns e perigosos na APP e área de interface foi evidenciado, sendo identificadas algumas embalagens plásticas de insumos agrícolas e os resíduos líquidos que resultam do cultivo de cana de açúcar (ver **apêndice D**).

#### 4.3.1.2. Microbacia do córrego Mineirinho.

As tabelas a seguir apresentam os resultados da aplicação da etapa 1 do PANÁgua (avaliação em campo) para as nascentes do córrego Mineirinho, localizadas na área urbana do município de São Carlos. Os códigos dados às nascentes permitem sua identificação no mapa da Figura 49.

Tabela 35. Resultados da nascente NMin\_1

<b>Categorias</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Peso (p)</b>	<b>Nota (n)</b>	<b>(P*n)</b>	<b>Peso categoria (pc)</b>	<b>S1*PC</b>
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	1	0,4		
	Condutividade elétrica	0,28	1	0,28		
	Turbidez	0,18	5	0,9		
	Presença de espuma	0,07	5	0,35		
	Presença de óleos ou graxas	0,07	3,5	0,245		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,18</b>	0,1	<b>0,218</b>
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2		
	Interferências no fluxo de água	0,1	2	0,2		
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	5	0,95		
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	3	0,36		
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	1	0,3		
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	1	0,25		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>2,26</b>	0,24	<b>0,542</b>
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	1	0,26		
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	1	0,1		
	Ocorrência de erosão	0,46	1	0,46		
	Compactação do solo	0,18	1	0,18		
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>1</b>	0,24	<b>0,24</b>
<b>CATEGORIAS</b>	<b>PARÂMETROS</b>	<b>PESO (P)</b>	<b>NOTA (N)</b>	<b>(P*N)</b>	<b>PESO CATEGORIA (PC)</b>	<b>S1*PC</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	3	0,9		
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14		
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	1	0,08		
	Isolamento e proteção da APP	0,1	3	0,3		
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	1	0,38		
	Presença de edificações	N.A. <sup>6</sup>	1			
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.			
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	N.A.			
	Presença de atividade pecuária	N.A.	N.A.			
	Presença de silvicultura	N.A.	N.A.			
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	1			
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	1			
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	1			
	Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	1			
	<b>Somatória (S1)</b>			<b>1,8</b>	0,42	<b>0,756</b>
				<b>SOMATORIA (S2)</b>		<b>1,756</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

<sup>6</sup> N.A. Significa não aplica, ou seja, o parâmetro não pôde ser determinado e foi desconsiderado da avaliação.

A nascente *NMin\_1* encontra-se localizada ao lado de uma praça pública do bairro Santa Angelina, se integrando ao parque e convertendo-se em um espaço usado pela comunidade vizinha. Porém, diversos impactos foram observados e o resultados da avaliação em campo foi considerado “ruim” de acordo com a escala de Likert adotada (Tabela 25).

Em relação à vazão das nascentes desta microbacia, foi possível medir unicamente a *NTam\_1* e o valor foi de 0,657 L/s. Algumas imagens que ilustram as condições ambientais encontram-se no **apêndice D**.

A alta concentração de Coliformes Totais (5120 UFC/100ml) indica além da forte contaminação microbiológica da água desde sua origem, um risco à saúde pública, pois foi evidenciado o acesso frequente da população à APP, que desconhece essa situação. Da mesma forma, a condutividade elétrica da água, obteve um valor muito alto de 9300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que está relacionado com a alta presença de impurezas na água, sendo um indicador de processos intensificados de contaminação físico-química da água.

Dentre as interferências na nascente, a presença e lançamento de esgoto e de água pluvial constituem os impactos mais severos. A avaliação desses parâmetros foi realizada com base na observação da cor da água, na percepção do cheiro característico do esgoto e na identificação do escoamento de efluentes aparentemente contaminados e foi verificada com a alta contaminação microbiológica da água. Além disso, o fluxo da água sofreu intervenção por uma tubulação para auxiliar o afloramento e, em teoria, proteger a água. No entanto, a cor e odor da água que emerge dessa tubulação indicam possíveis ligações cruzadas para o lançamento de esgoto e/ou água pluvial. Para concluir esta categoria, também foi evidenciada a presença de animais como galinhas, patos, porcos e cavalos na área de interface, a qual por ser uma área “verde” dentro da cidade é utilizada pela comunidade para a criação destes animais.

A integridade física do solo encontrou-se em condições críticas. A ocorrência de processos erosivos fortes foi evidenciada tanto na APP quanto na área de interface, sendo que a nascente se encontra inserida em uma grande voçoroca. Este impacto se constitui, além do problema ambiental, como um risco de segurança e à saúde das pessoas pela instabilidade do solo que pode propiciar acidentes. Do mesmo modo, observou-se processo de compactação avançada como consequência da urbanização adensada ao redor da nascente e de grandes quantidades de sedimentos e lama depositados no canal à jusante. O leito e as margens do canal formado foram modificados pela

colocação de pedras como tentativa para conter a erosão, sendo evidenciada também a movimentação de terra com maquinários.

Embora fossem instaladas cercas e placas informativas sobre a existência da APP, evidenciou-se um deterioro severo da vegetação natural, predominando as espécies exóticas. A vegetação natural da APP foi considerada de baixa densidade e ausente na área de interface, que já se caracteriza pela presença de edificações.

O uso e ocupação da área de entorno denota o alto grau de antropização da nascente, sendo a área urbana a classe principal. Essa proximidade da população com a nascente agrava os impactos ambientais, resultando na disposição inadequada de uma excessiva quantidade de resíduos sólidos comuns e perigosos, apesar da existência de placas que de forma literal lembram a proibição do despejo de lixo. Esse fato também mostra a necessidade de desenvolver ações de sensibilização e educação ambiental para que a comunidade reconheça e entenda a importância da proteção e conservação das nascentes. Como conclusão, vale ressaltar que alguns dos impactos anteriormente descritos também foram apresentados, discutidos e analisados por Silva et al. (2017).

Tabela 36. Resultados da nascente NMin\_2

Categorias	Parâmetros	Peso (P)	Nota (N)	(P*N)	Peso categoria (PC)	S1*PC	
<b>MONITORAMENTO QUALITATIVO DA ÁGUA DA NASCENTE</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4	1	0,4			
	Condutividade elétrica	0,28	1	0,28			
	Turbidez	0,18	5	0,9			
	Presença de espuma	0,07	5	0,35			
	Presença de óleos ou graxas	0,07	1	0,07			
	<b>Somatória (S1)</b>		<b>2</b>		0,1	<b>0,2</b>	
<b>INTERFERÊNCIAS NA NASCENTE</b>	Eutrofização	0,04	5	0,2			
	Interferências no fluxo de água	0,1	2	0,2			
	Deslocamento do afloramento da água	0,19	3	0,57			
	Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12	3	0,36			
	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3	1	0,3			
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25	1	0,25			
	<b>Somatória (S1)</b>		<b>1,88</b>		0,24	<b>0,451</b>	
<b>INTEGRIDADE FÍSICA DO SOLO</b>	Assoreamento do solo	0,26	1	0,26			
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1	1	0,1			
	Ocorrência de erosão	0,46	1	0,46			
	Compactação do solo	0,18	1	0,18			
	<b>Somatória (S1)</b>		<b>1</b>		0,24	<b>0,24</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ENTORNO DA NASCENTE</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3	1	0,3			
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14	1	0,14			
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08	1	0,08			
	Isolamento e proteção da APP	0,1	1	0,1			
	<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38	1	0,38			
	Presença de edificações	N.A.	1				
	Presença de indústrias	N.A.	N.A.				
	Presença de cultivos agrícolas	N.A.	N.A.				
	Presença de atividade pecuária	N.A.	N.A.				
	Presença de silvicultura	N.A.	N.A.				
	Práticas de queimadas na área entorno a nascente	N.A.	1				
	Presença de rodovias, estradas ou ruas	N.A.	1				
	Disposição de resíduos sólidos comuns, perigosos e/ou urbanos	N.A.	1				
Presença de fontes geradoras de partículas sólidas	N.A.	1					
	<b>Somatória (S1)</b>		<b>1</b>		0,42	<b>0,42</b>	
	<b>SOMATORIA (S2)</b>						<b>1,31</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O resultado da nascente *NMin\_2* foi “ruim”, de acordo com a escala de Likert adotada (Tabela 25). Dentre as duas nascentes avaliadas para a microbacia do córrego mineirinho, esta apresentou a condição mais crítica. A qualidade da água encontra-se afetada pela contaminação microbiológica, sendo a concentração de Coliformes Totais de 11040 UFC/100ml, um valor significativamente alto. De igual forma a condutividade elétrica da água obteve um elevado valor de 21300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que indica a forte presença de impurezas na água, como íons cloreto (sais) e sólidos dissolvidos. Dentre as interferências nas nascentes, foram determinadas como as mais severas: a presença permanente do lançamento de esgoto ou efluentes contaminados; e o escoamento de água pluvial, sendo estes impactos avaliados com base na cor e no odor da água, que são características indicadoras da presença de esgoto. Da mesma forma, foi observada uma tubulação que atravessa a nascente de lado a lado e despeja líquido com aspecto contaminado no canal. Além disso, os processos erosivos na área de interface geraram sulcos pelos quais escoava água de chuva, que contamina e é depositada na nascente. Todos esses impactos estão diretamente relacionados com a contaminação microbiológica e físico-química da água.

O fluxo da água encontra-se com intervenção devido à modificação do canal a jusante como consequência da forte erosão das margens do curso de água. Por outro lado, na área de interface, foram observados animais de criação como galinhas e patos que eventualmente podem acessar à nascente, pois esta encontra-se totalmente desprotegida.

A integridade física do solo encontrou-se em estado crítico. Os processos erosivos são severos e a nascente encontra-se totalmente soterrada como consequência do assoreamento. Na APP e área de interface o solo está em um avançado estado de compactação como consequência da urbanização e do próprio uso da área entorno à nascente para disposição de resíduos de construção civil, estacionamento de carros, criação de animais, entre outros (ver **apêndice D**)

O solo está totalmente exposto, sendo a vegetação natural ausente na APP e na área de interface. E foi evidenciada a movimentação de terra com ferramentas e/ou maquinários, que de fato tinha aparência de ser material residual de alguma construção civil, que resultou depositada na nascente. A classe do uso e ocupação do solo que predomina na área de entorno é a urbanização adensada, denotando um alto grau de antropização da nascente. Além disso, os impactos da urbanização se agravam pela falta de sensibilização ambiental da população que foi evidenciada na presença de sacolas inteiras de lixo na água da nascente, na APP e na área de interface e as permanentes práticas de queimadas de resíduos e de vegetação (SILVA et al., 2017).

#### 4.3.2. Resultados sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas

A etapa 2 do PANÁgua (**apêndice B**) foi aplicada para avaliação das microbacias estudadas, sendo identificadas algumas ações de conservação e recuperação de nascentes que foram desenvolvidas nestas áreas.

O Ribeirão do Tamanduá (microbacia) e o Córrego Mineirinho (microbacia) são afluentes dos Rios Jacaré-Pepira (sub bacia) e Monjolino (sub bacia) respectivamente, os quais estão inseridos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê -Jacaré (UGRHI 13). Assim, os parâmetros relacionados ao plano de bacia hidrográfica, foram avaliados com base ao plano da UGRHI 13.

Contudo, foram levantados e utilizados na avaliação alguns documentos, tais como: o Plano Diretor de Restauração Florestal visando a Produção de Água e a Preservação da Biodiversidade da UGRHI Tietê-Jacaré elaborado pelo Instituto Pro-Terra (2009); o Relatório da Situação dos Recursos Hídricos de 2018 elaborado pela ANA (2018); o Plano Municipal de saneamento dos municípios de São Carlos, Itirapina e Brotas; a Lei de Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais do município de São Carlos - APREM; o Plano Diretor do Município de São Carlos; o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu e Tejuπά; a informação dos próprios sites oficiais das prefeituras municipais de São Carlos, Itirapina e Brotas, entre outros.

Para complementar essa pesquisa, foi realizada a busca no Google Scholar de artigos relacionados a conservação e recuperação de nascentes destas microbacias e sub bacias, destacando-se os 4 artigos apresentados na Tabela 37.

Tabela 37. Artigos relacionados à conservação e/ou recuperação das nascentes das áreas de estudo

Nome do artigo	Referências
Qualidade das águas e hemerobia da bacia do córrego do Mineirinho, São Carlos, SP	Silva et al. (2017)
Avaliação da degradação ambiental na microbacia do córrego mineirinho, São Carlos-SP	Silva et al. (2014)
Análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho – São Carlos/SP	Tarpani e Brandão (2015)
Quantificação e avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas da sub bacia hidrográfica Jacaré-Pepira/SP	Tanajura e Leite (2016)

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Afinal, os resultados da avaliação desta etapa apresentam-se na Tabela 38. Ressalta-se que a avaliação dos parâmetros desta etapa foi igual para todas as nascentes estudadas (ambas microbacias) pois pertencem a mesma UGRHI.

Os artigos levantados tiveram como objetivo comum a avaliação ambiental dos recursos hídricos destas microbacias (incluindo as nascentes) e buscaram analisar e identificar os impactos para correlacioná-los às características do uso e ocupação do solo em cada caso. Porém, não foram encontrados artigos que desenvolvam ou apresentem estratégias ou mecanismos para a conservação e/ou recuperação das nascentes destas áreas.

Em base a estas informações, a aplicação da 2ª etapa do PANÁgua resultou nas seguintes avaliações dos respectivos parâmetros (Tabela 38).

Tabela 38. Ações de conservação e recuperação das nascentes do Ribeirão do Tamanduá e Córrego Mineirinho

Parâmetros	Nota
Evidências do desenvolvimento de projetos de reflorestamento da APP da nascente	1
Estabelecimento de programas ou ações que visem à conservação e/ou à recuperação de nascentes no plano da bacia hidrográfica à qual contribui	5
Estabelecimento de programas ou ações que visem o monitoramento da qualidade da água de nascentes no plano da bacia hidrográfica à qual contribui	1
Desenvolvimento de ações de fiscalização, por parte dos órgãos responsáveis, em cumprimento à Lei 12.727 de 2012 (Código florestal) no relacionado às Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia hidrográfica na qual a nascente avaliada contribui	N.A. <sup>7</sup>
Estabelecimento de programas ou ações para a sensibilização ambiental sobre a conservação das nascentes no plano da bacia hidrográfica na qual contribui ou em outros documentos relacionados à gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas	5
Desenvolvimento de projetos de capacitação para produtores rurais sobre boas práticas edáficas, vegetativas e mecânicas (Ex. Adubação orgânica, recomposição florestal, cultivos em contorno, cordões de vegetação permanente, pastejo rotacionado, construção de terraços, entre outras)	N.A.
Existência e/ou permanência de tradições na população que envolvam a existência de nascentes no local e promovam sua conservação (intensões de respeito, admiração e cuidado, reconhecimento da importância, uso sustentável)	N.A.
<b>Desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes (Média das notas)</b>	3
<b>RESULTADO</b>	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

<sup>7</sup> N.A. Significa não aplica, ou seja, o parâmetro não pôde ser determinado e foi desconsiderado da avaliação.

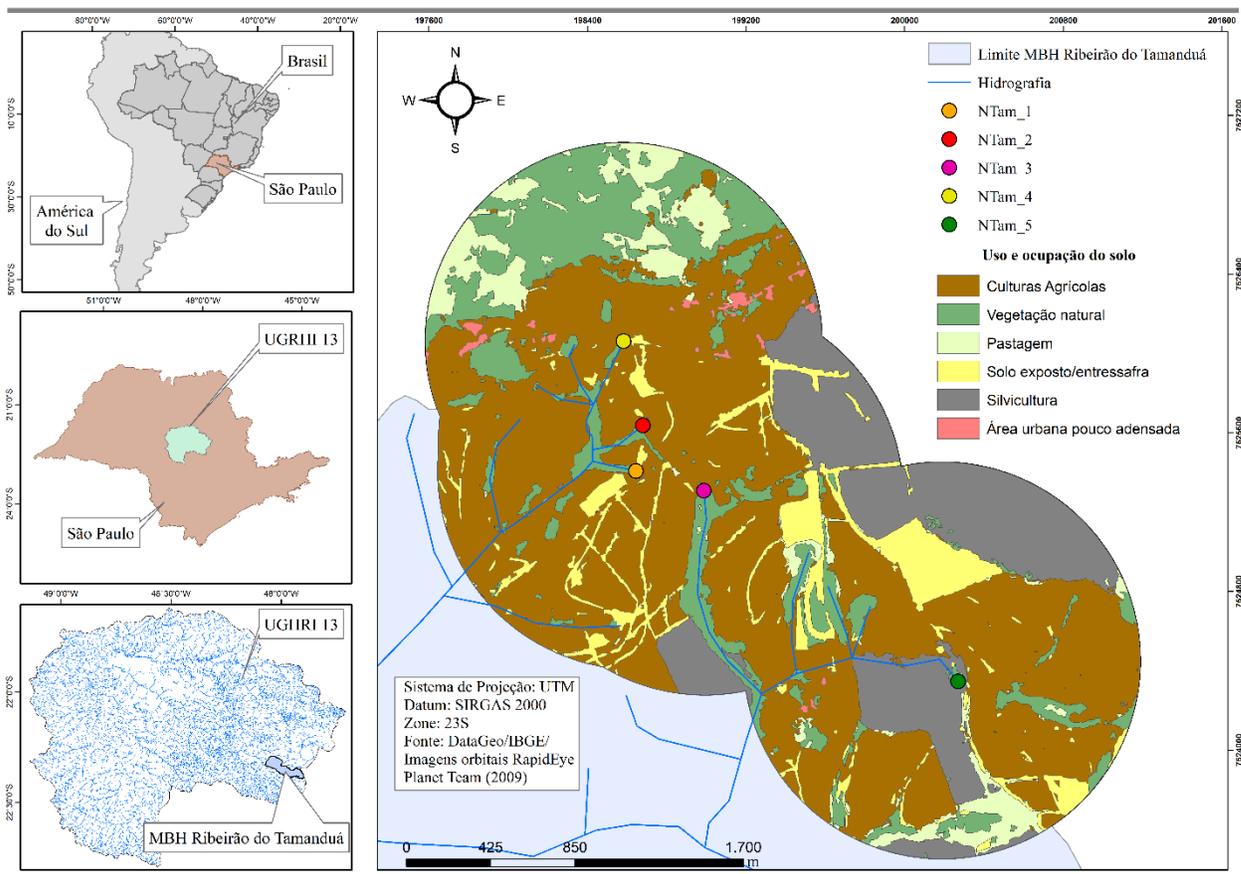
Os resultados indicam a existência de algumas ações de conservação e recuperação de nascentes nas áreas estudadas. Porém, o fato de estarem colocadas no plano da bacia hidrográfica não necessariamente implicam sua realização, sendo necessário acrescentar essa pesquisa com a realização de entrevistas aos produtores rurais e habitantes locais da região das nascentes em avaliação, assim como aos órgãos ambientais em todos os níveis, que possuem responsabilidades no desenvolvimento dessas ações. Para esta etapa do PANÁgua, foi dado um peso baixo devido à avaliação que se faz para uma escala maior considerando a bacia hidrográfica como um todo e não necessariamente a escala específica abordada nas nascentes avaliadas. No entanto, ressalta-se que alguns municípios do estado de São Paulo têm desenvolvido programas e projetos a escala local e específicos para a recuperação de nascentes, mas em este caso não foram encontrados. Por fim, se listam algumas das ações identificadas nos documentos:

- Elaboração de um banco de dados das microbacias de cada sub bacia da UGRHI 13 que contemple informações como: a área de APP de rios e nascentes e o Índice de Vegetação Remanescente das APPs das nascentes (Plano Diretor de Restauração Florestal);
- Estabelecimento e ponderação de critérios para definir áreas prioritárias para projetos de restauração florestal, sendo as áreas de nascentes um deste critérios (Plano Diretor de Restauração Florestal);
- Mapeamento para identificação e caracterização das nascentes da bacia (Plano Diretor de Restauração Florestal);
- Diagnóstico das APPs das nascentes da UGRHI 13 (Plano de bacia da UGRHI 13);
- Elaboração de projetos executivos para a restauração de nascentes e matas ciliares (Plano de bacia da UGRHI 13);
- Elaboração de atividades de sensibilização ambiental sobre a importância da conservação e uso sustentável dos recursos hídricos, incluindo as nascentes (Plano de bacia da UGRHI 13).

### 4.3.3. Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)

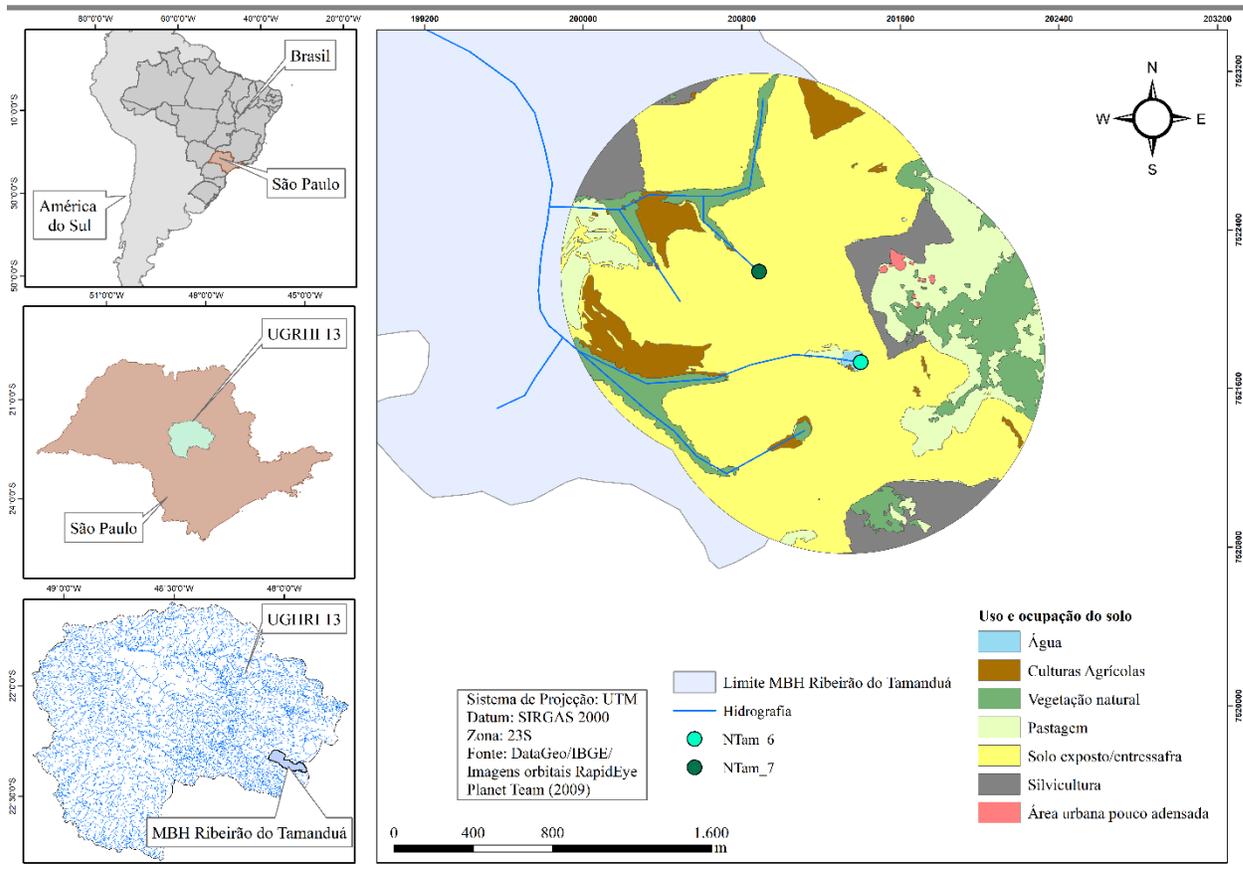
Os parâmetros que integram a etapa 3 do PANÁgua (**apêndice B**) foram avaliados utilizando como base os mapas de uso e ocupação do solo no entorno das nascentes, apresentados nas Figuras 50, 51 e 52.

Figura 50. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Ribeirão do Tamandúá (NTam\_1- NTam\_5)



O mapa anterior apresenta o recorte das classes de uso e ocupação do solo no entorno das nascentes, utilizando como área de análise a circunferência com raio de 1 quilômetro, sendo no total 3.141.593 m<sup>2</sup>. Pode-se observar a clara predominância de culturas agrícolas (cana de açúcar) ao redor de todas as nascentes. Esta informação será apresentada com maior detalhe na Figura 51.

Figura 51. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Ribeirão do Tamanduá (NTam\_6- NTam\_7)

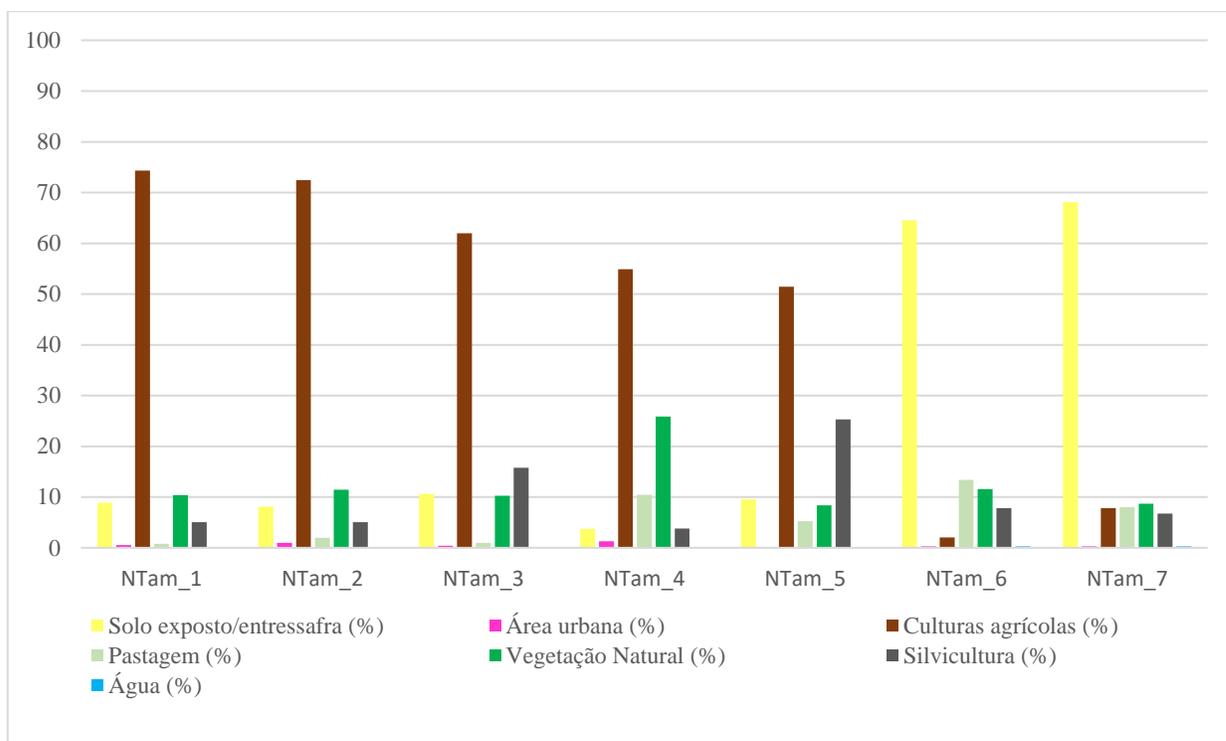


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Da mesma forma, o mapa anterior apresenta as classes de uso e ocupação do solo no entorno das nascentes *NTam\_6* e *NTam\_7*, sendo evidente a predominância da classe solo exposto/entressafra. Uma das dificuldades da técnica de mapeamento implementada é que, por ser automática as amostras com texturas e cores similares, podem não ser diferenciadas durante o processamento, sendo necessária a posterior correção para validar a informação. Essa verificação foi realizada pela observação de imagens de satélite do Software Google Earth Pro e pelo reconhecimento da área de estudo durante o trabalho de campo. Assim, foi determinado que o solo exposto presente no entorno das nascentes se deve à plantação de cana de açúcar, que se encontra em época de entressafra.

A Figura 52 apresenta a proporção de cada classe de uso e ocupação do solo, e para sua elaboração foram determinadas as áreas individuais por meio da ferramenta de cálculo geométrico do Software ArcGis 10.5®.

Figura 52. Proporção das classes de uso e ocupação do solo para as nascentes da microbacia Ribeirão do Tamanduá



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Com base na figura anterior e no cálculo das áreas de cada classe, foram avaliados os parâmetros da etapa 3 do PANÁgua (**apêndice B**). Pode-se observar que a classe agrícola, tanto em época de entressafras de produção como em época de crescimento, resultou predominante em todas as nascentes, seguida da silvicultura e a vegetação natural.

Na Tabela 39 apresentam-se os resultados da avaliação do protocolo, podendo-se observar que o raio de vegetação natural na maioria das nascentes não atendeu ao valor mínimo estabelecido pelo Código Florestal brasileiro (50 metros), sendo que, em algumas destas, a vegetação é de fato inexistente. O Índice de Quantidade de Fragmentos (IQF) foi calculado pela divisão entre a área de vegetação natural e a área total analisada para cada nascente, conforme se mostra na Figura 52 a

única nascente que supera o 20% de vegetação natural foi a NTam\_4 sendo avaliada com nota 2 para este parâmetro.

Por último, foi determinado o grau de antropização do uso e ocupação do solo com base na escala da hemerobia a qual determina a mudança e intensidade da paisagem, entendendo as paisagens naturais e seminaturais como as não modificadas ou semi-modificadas (BELEM; NUCCI, 2011)

Desta forma, as nascentes com predominância de culturas agrícolas foram avaliadas como meso-hemerobióticas e receberam nota 3. Por outro lado, as nascentes com predominância de agricultura em época de entressafra (solo exposto) consideraram-se como eu-hemerobióticas, recebendo nota 2.

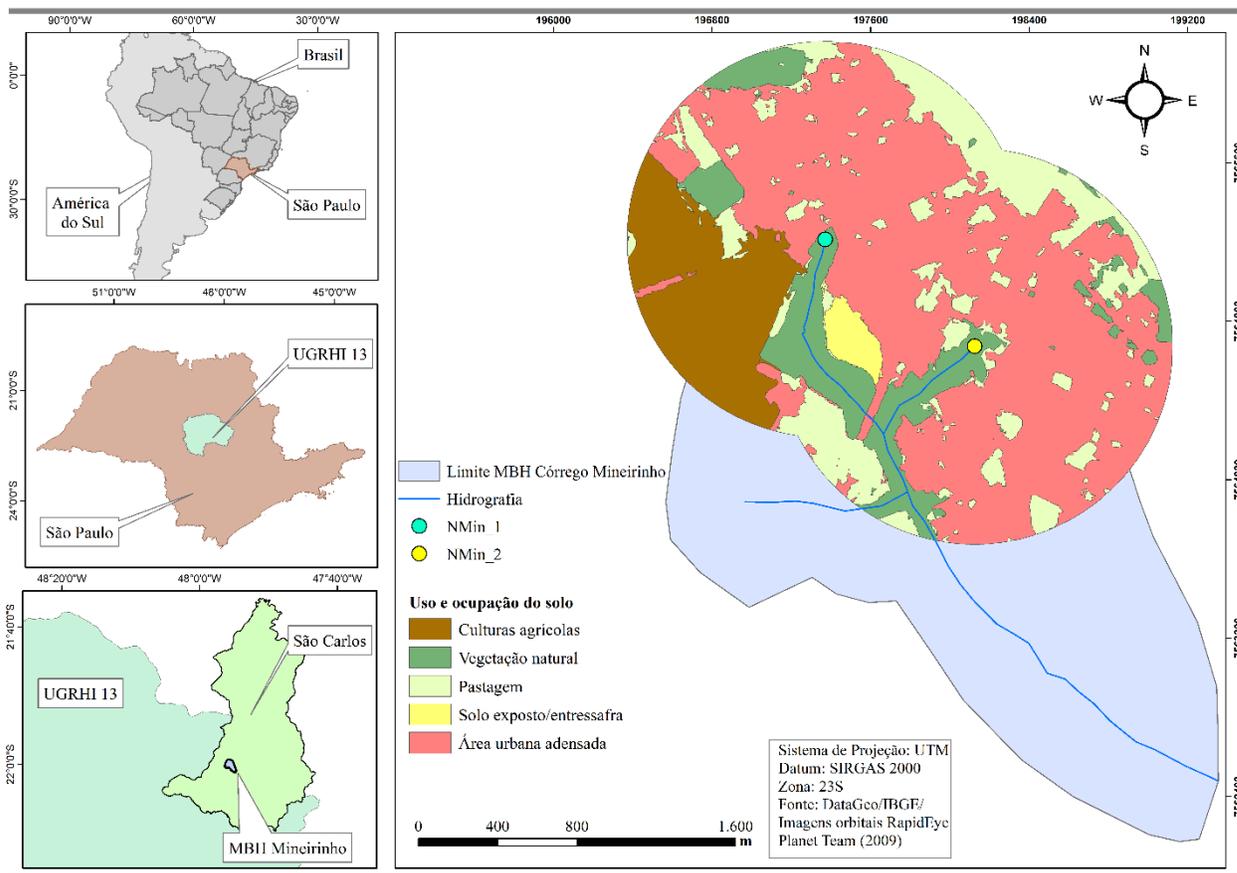
Tabela 39. Resultados da etapa 3 do PANÁgua para as nascentes do Ribeirão do Tamanduá

Categorias	Parâmetros	Notas						
		NTam_1	NTam_2	NTam_3	NTam_4	NTam_5	NTam_6	NTam_7
Existência de vegetação natural no entorno da nascente	Respeito ao raio de APP estabelecido na Lei 12.727 de 2012 (Código Florestal Brasileiro)	2	3	3	2	2	1	1
	Índice de Quantidade de Fragmentos de vegetação (IQF)	1	1	1	2	1	1	1
Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Buffer de 1 Km)	Grau de antropização do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Grau de hemerobia)	3	3	3	3	3	2	2
<b>Resultado ponderado</b>		2,16	2,52	2,52	2,4	2,16	1,4	1,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 53, apresenta-se o mapa das classes de uso e ocupação do solo para as nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho. Este mapa, permite concluir a predominância da classe área urbana adensada, já que uma grande parte da microbacia se encontra dentro do limite urbano do município de São Carlos (SP). No entanto, por incluir uma parte de área peri-urbana, foi evidenciada também a presença significativa de classes como a agricultura e pastagem.

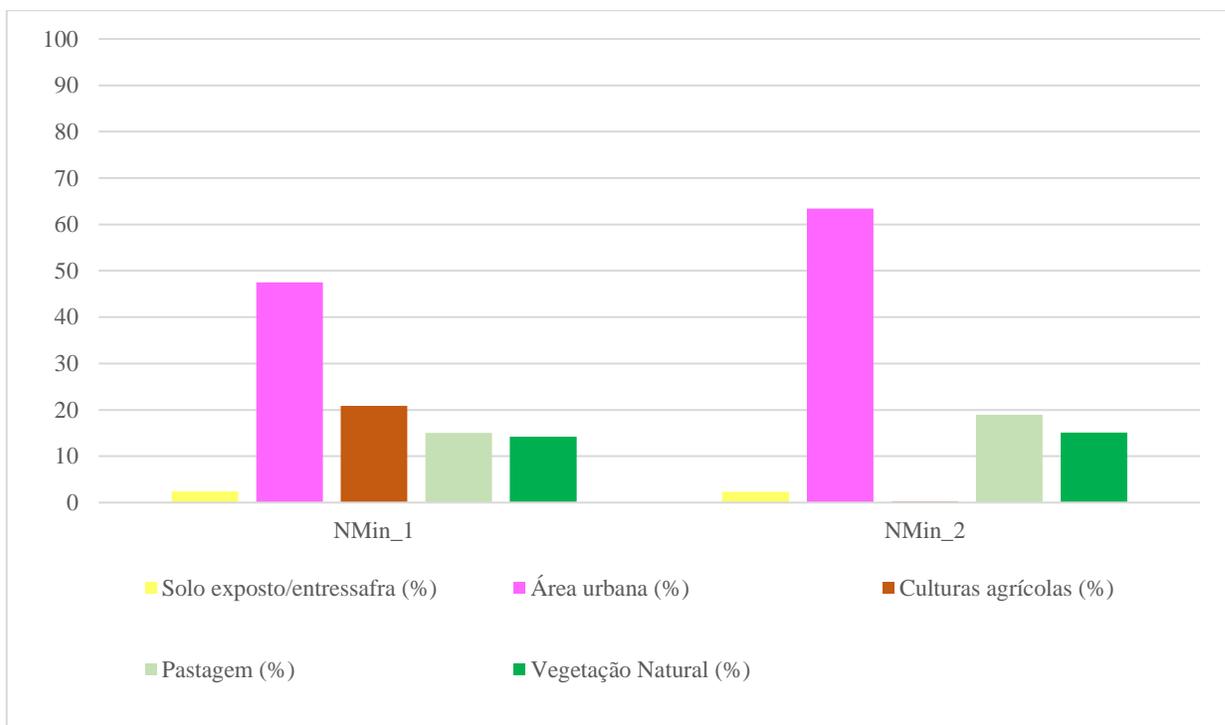
Figura 53. Mapa de uso e ocupação do solo das nascentes do Córrego Mineirinho



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A proporção de cada classe de uso e ocupação do solo foi calculada a partir da obtenção no das áreas individuais por meio da ferramenta cálculo geométrico do ArcGis 10.5<sup>®</sup>, posteriormente foi elaborada a Figura 54 para apresentar este resultado.

Figura 54. Proporção das classes de uso e ocupação do solo para as nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A Figura 54 mostra a predominância da classe área urbana adensada na área analisada para ambas nascentes. Porém, resulta interessante observar a diferença significativa existente na classe culturas agrícolas para *NMin\_1* e *NMin\_2*, já que mesmo encontrando-se próximas uma da outra, há uma grande variação na presença desta classe devido à localização das nascentes no município, sendo que, a primeira encontra-se no limite entre a área urbana e peri-urbana e a segunda está praticamente inserida na área urbana.

Finalmente, a Tabela 40 apresenta o resultado da aplicação da etapa 3 do PANÁgua nas duas nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho.

Tabela 40. Resultados da etapa 3 do PANÁgua para as nascentes do Córrego Mineirinho

Categorias	Parâmetros	Notas	
		Nmin_1	Nmin_2
Existência de vegetação natural no entorno da nascente	Respeito ao raio de APP estabelecido na Lei 12.727 de 2012 (Código Florestal Brasileiro)	2	2
	Índice de Quantidade de Fragmentos de vegetação (IQF)	1	1
Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Buffer de 1 Km)	Grau de antropização do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Grau de hemerobia)	1	1
<b>Resultado ponderado</b>		<b>1,36</b>	<b>1,36</b>

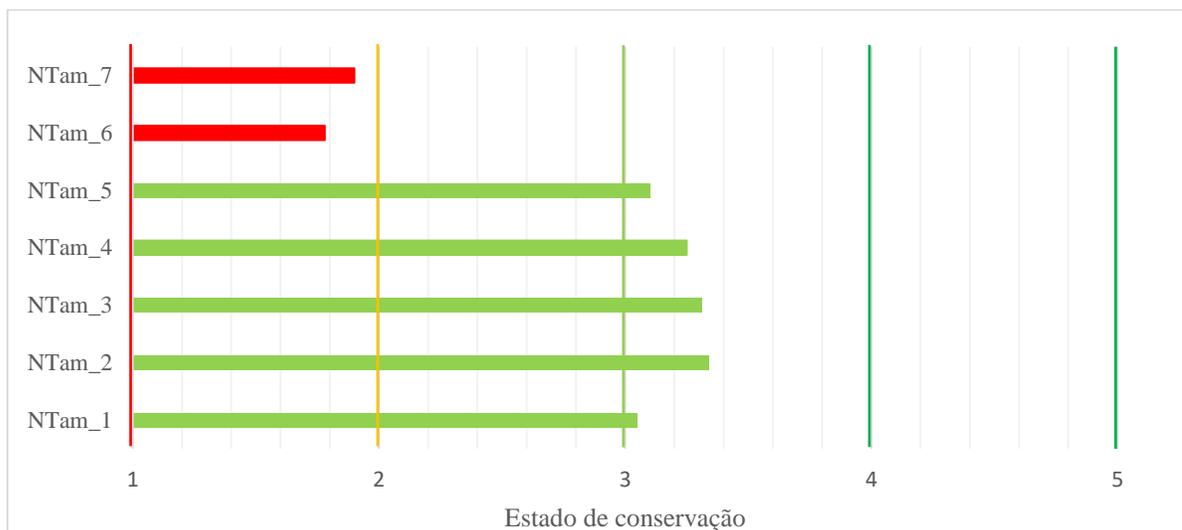
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Em relação ao raio de delimitação da área da APP, pode-se observar que nenhuma das nascentes atingiu o valor de 50 metros estabelecido no código florestal, sendo para a NMin\_1 o raio foi de 38 metros e para NMin\_2 de 30 metros. Assim, conforme o mostrado na Figura 54, os valores do IQF para ambas nascentes foram de 0,15 e 0,14 respectivamente e por isso receberam a nota mínima. Por fim, o grau de antropização do uso e ocupação do solo determinado a partir da escala de hemerobia (mudança e intensidade da paisagem) (BELEM; NUCCI, 2011) foi dado pela classe área urbana adensada que predominou em ambas nascentes, classificando-se como meta-hemerobiótico e recebendo nota 1.

#### 4.3.4. Resultado do estado de conservação das nascentes avaliadas.

A integração e ponderação das avaliações realizadas por meio das 3 etapas do PANÁgua permitiram calcular o estado de conservação final para as nascentes avaliadas. As Figuras 55 e 56 apresentam esse resultado.

Figura 55. Estado de conservação para as nascentes do Ribeirão do Tamanduá



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Conforme foi explicado nos itens anteriores, as nascentes *NTam\_6* e *NTam\_7* apresentaram condições ambientais críticas recebendo o conceito ruim no estado de conservação. A avaliação destas nascentes resultou na identificação de processos de contaminação físico-química e microbiológica da água, interferências de diferentes origens e na degradação severa da integridade física do solo e da vegetação natural. Todos esses impactos e pressões afetam a dinâmica ecológica das nascentes e conseqüentemente a manutenção do ciclo hidrológico da microbacia. Assim, foi determinado que os impactos existentes são consequência da atividade agrícola e da silvicultura que se desenvolvem na APP e na área de interface.

Por outro lado, o mapeamento do uso e ocupação do solo da área no entorno destas nascentes mostrou a predominância de culturas como a cana de açúcar nesta área, ampliando as informações coletadas em campo e permitindo concluir com maior certeza que os impactos identificados estão sendo ocasionados por esta atividade.

Assim, considerando as poucas ações de conservação e recuperação de nascentes encontradas na pesquisa, se faz necessário exigir aos órgãos e autoridades ambientais uma maior atenção para esta problemática, cujos efeitos podem ser tão graves que afetam a disponibilidade hídrica da microbacia.

Da mesma forma, as nascentes cujo estado de conservação recebeu o conceito “bom” também apresentaram alguns dos impactos anteriormente citados. Por isso, considerando que há presença

de culturas agrícolas em todas as áreas estudadas, torna-se preocupante a possibilidade de que esses impactos se intensifiquem ocasionando processo de degradação ambiental mais severos.

Figura 56. Estado de conservação para as nascentes do Córrego Mineirinho



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Em relação às nascentes urbanas do Córrego Mineirinho, o estado de conservação, em ambos casos, foi avaliado como “ruim”, de acordo com a escala de Likert adotada (Tabela 25), sendo que as notas obtidas foram ainda menores que as notas da *NTam\_6* e *NTam\_7*, do Ribeirão do Tamanduá.

Alguns dos impactos avaliados estiveram presentes com maior intensidade na microbacia do Córrego Mineirinho do que na microbacia do Ribeirão Tamanduá, tais como a disposição inadequada de resíduos sólidos comuns e perigosos, as práticas de queimadas e o lançamento de esgoto e/ou de água pluvial nas nascentes. Estes impactos são consequência da dinâmica das microbacias urbanas, nas quais as diferentes atividades antrópicas e o desenvolvimento insustentável impactam as características do meio físico-biótico e geram pressões sobre os recursos naturais. O resultado desta avaliação em nascentes urbanas reforça novamente a necessidade de desenvolver ações, programas e/ou projetos que objetivem a sensibilização e a educação ambiental da população para que seja entendido o importante papel desempenhado pelas nascentes de cursos d’água em geral, na qualidade de vida e bem-estar humano.

Em relação ao uso e ocupação do solo no entorno das nascentes, houve uma clara e lógica predominância da classe área urbana adensada. Porém, devido a possibilidade de análise pelo SIG de áreas maiores, foi possível evidenciar que nas proximidades da *NMin\_1* são desenvolvidas atividades agrícolas. Esse fato torna importante o monitoramento do estado de conservação das nascentes pois o efeito sinérgico dessas duas classes pode agravar e/ou intensificar ainda mais os impactos.

Por fim, a aplicação do PANÁgua em duas microbacias com características de uso e ocupação do solo diferentes (área agrícola e área urbana), foi importante e necessária para mostrar a capacidade de resposta e a funcionalidade da ferramenta na avaliação e monitoramento de nascentes de cursos d'água caracterizadas por condições ambientais e dinâmicas ecológicas diferentes. O valor do estado de conservação calculado para cada nascente contemplou e representou os parâmetros observados e analisados em cada uma das etapas do PANÁgua, integrando, ponderando e sintetizando os impactos evidenciados por meio da escala ordinal de Likert. Assim, a ferramenta oferece uma informação relevante que auxilia aos órgãos ambientais na definição de prioridades e estregais de recuperação, mitigação e/ou conservação ambiental de nascentes.

#### **4.4. CONCLUSÕES**

As condições ambientais de algumas nascentes das microbacias Ribeirão do Tamanduá e Córrego Mineirinho foram avaliadas, determinando-se seu estado de conservação. Essa avaliação foi realizada utilizando o Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua), que se mostrou como uma ferramenta completa, útil e eficiente para o desenvolvimento deste processo. O PANÁgua integra parâmetros e indicadores que permitem a avaliação de diferentes aspectos e condições das nascentes e para a ponderação dessas avaliações, propõe a metodologia de análise hierárquica, baseando-se no estabelecimento de valores de importância entre os diferentes parâmetros, assim o resultado dessa avaliação indica o estado de conservação da nascente por meio da escala de Likert.

Cinco das nascentes da microbacia do Ribeirão do Tamanduá foram valoradas com o conceito “bom” obtendo notas entre 3 e 4, pois apresentaram alguns impactos relacionados a qualidade microbiológica e físico-química da água, processos erosivos e de compactação leves e baixa densidade da cobertura de vegetação natural. Esses impactos foram ocasionados pela influência de atividades agrícolas, pecuárias e de silvicultura desenvolvidas ao redor das nascentes. Por outro lado, as últimas duas nascentes encontraram-se em condições ambientais críticas, sendo seu estado de conservação valorado com o conceito “ruim”. Os impactos ambientais identificados derivam-se principalmente do cultivo de cana de açúcar e foram considerados intensivos, havendo uma forte contaminação microbiológica e físico-química da água e afetações severas ao fluxo e a integridade

física do solo, sendo possível observar voçorocas, sulcos, assoreamento e movimentação de terra com maquinários e/ou ferramentas agrícolas. Da mesma forma, estas nascentes encontraram-se completamente desprotegidas e a vegetação natural considerou-se inexistente.

Por outro lado, também foram avaliadas as nascentes da microbacia do Córrego Mineirinho, localizadas na área urbana do município de São Carlos (SP), mostrando a versatilidade e capacidade de resposta do PANÁgua para avaliar nascentes com diferentes condições e situações ambientais. O estado de conservação das duas nascentes avaliadas foi considerado “ruim” recebendo notas entre 1 e 2 na escala de Likert, os impactos mais severos que foram identificados estão relacionados à própria dinâmica de bacias hidrográficas urbanas, encontrando-se por exemplo: o despejo de esgoto e de água pluvial que contaminam a água; os fortes processos erosivos ocasionados pela urbanização e a impermeabilização do solo; a disposição inadequada de resíduos sólidos comuns e perigosos; e a remoção da cobertura de vegetação natural. Todos esses impactos derivam-se da predominância de áreas urbanas adensadas ao redor das nascentes.

Finalmente, a avaliação realizada considera-se consistente e consequente com as condições observadas durante o trabalho de campo e as características do uso e ocupação do solo mapeado, indicando que o PANÁgua atingiu seu objetivo e poderá ser utilizado como ferramenta de avaliação de nascentes inseridas em outras bacias hidrográficas do país. As informações levantadas nesta pesquisa são de interesse para a população que habita nos municípios de Itirapina, Brotas e São Carlos e sua utilização correta poderá subsidiar aos diferentes órgãos ambientais na implementação de ações, programas, projetos e políticas de conservação de nascentes, auxiliando também no processo de tomada de decisões sobre a gestão de recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

## CAPÍTULO 5

### 5. Considerações e recomendações finais da pesquisa

A presente pesquisa se constitui como uma importante referência para o estudo de nascentes de cursos d'água no Brasil e a nível internacional, pois utilizou métodos de rigor científico e apresentou resultados uteis e coerentes que aprimoraram os conhecimentos, preenchendo lacunas de uma área sobre a qual ainda precisa-se trabalhar e aprofundar. A ferramenta proposta nesta pesquisa contempla e entende a nascente como um sistema ambiental cuja avaliação e monitoramento deve-se realizar integrando aspectos que vão desde a dinâmica hidrogeológica até aspectos geomorfológicos, climatológicos, ecológicos e antropogênicos da paisagem, e desta forma, se converte em uma ferramenta capaz de fornecer informação concreta e conclusiva sobre o estado de conservação da nascente avaliada, subsidiando o processo de tomada de decisões locais para a proteção, conservação e/ou recuperação das nascentes, assim como na gestão dos recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas a escala regional.

No primeiro capítulo desta pesquisa, foi desenvolvida uma Revisão Bibliográfica Sistemática em bases de dados e plataformas científicas, seguindo um procedimento claramente estabelecido para a análise e seleção de artigos e documentos relacionados a aspectos, critérios, indicadores, instrumentos e/ou ferramentas para a avaliação integrada, monitoramento, conservação, gestão e/ou uso de nascentes. Esta RBS, resultou em uma síntese das principais referências sobre esta temática publicadas nos últimos 10 anos, constituindo um banco de dados com potencial para auxiliar a realização de novas pesquisas e projetos. Os artigos e documentos levantados foram classificados por categorias de enfoque, sendo evidenciado que o monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica da água se constitui como a principal abordagem que atualmente direciona as pesquisas sobre nascentes a nível global. Esse fato, além de considerar a conservação da nascente como uma ação importante somente para o fim utilitarista, como é o abastecimento humano, também se converte em um problema científico, pois afeta o dinamismo das pesquisas e a geração de novos conhecimentos. Neste sentido, tornam-se necessários estudos que abordem as nascentes como um sistema ambiental complexo e dinâmico, cujas funções ecossistêmicas vão além das funções da água como recurso e que são essenciais à vida em todas as suas formas.

Os artigos e documentos resultantes da RBS foram analisados com o objetivo de identificar propostas ou aplicações de parâmetros, indicadores e/ou ferramentas para a determinação de condições ambientais de nascentes, obtendo-se uma tabela por meio da qual foram descritas as características e técnicas para sua efetiva aplicação. Essa recopilação de técnicas está classificada por categorias de acordo à abordagem facilitando aos pesquisadores ou profissionais técnicos a definição e escolha de metodologias para suas futuras pesquisas e trabalhos. Recomenda-se para a maior compreensão que seja realizada a leitura completa da referência bibliográfica (**apêndice A**) da qual foi obtido o parâmetro, indicador ou ferramenta, assim com a consulta de outras fontes.

Em alguns desses parâmetros, indicadores e/ou ferramentas foi evidenciada uma visão um pouco mais abrangente da nascente como sistema ambiental. Porém, essas ferramentas foram elaboradas a partir de parâmetros macroscópicos e se baseiam em avaliações observacionais que com frequência se tornam subjetivas. Isto levou a considerar que podem fornecer informação sobre alguns impactos pontuais, mas não possuem o rigor metodológico para a coleta e análise de dados que permitam desenvolver uma avaliação integrada dos diferentes aspectos-chave ambientais para determinar seu estado de conservação. Deste modo não podem ser utilizadas como ferramentas para a tomada de decisões sobre estratégias locais de proteção, conservação e/ou recuperação de nascentes, nem subsidiar a gestão dos recursos hídricos como um todo.

Contudo, observou-se que existia ainda a demanda de elaborar uma ferramenta para a avaliação integrada e monitoramento de nascentes de cursos d'água, que integrasse diferentes parâmetros e indicadores e reconhecesse sua complexidade e dinâmica. Para atingir essa necessidade, foi desenvolvido um processo de validação por etapas que integrou a auto-validação; validação científica; validação social e validação em campo dos parâmetros e indicadores, resultando na elaboração do Protocolo de Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua).

Este processo sistemático de validação por etapas teve uma importância significativa na construção do PANÁgua, pois foram recebidas as contribuições e sugestões para o aprimoramento da ferramenta por parte de um grupo de especialistas científicos e de possíveis usuários do protocolo, os quais avaliaram a relevância, compreensão, sensibilidade, comparabilidade e operacionalidade dos parâmetros e indicadores, auxiliando a seleção daqueles que integram a ferramenta.

Destaca-se que o resultado principal desta pesquisa foi o Protocolo para Avaliação Integrada e Monitoramento de Nascentes de Cursos d'Água (PANÁgua) uma ferramenta prática e necessária, com potencial para subsidiar os processos de tomada de decisões locais sobre a proteção, conservação e/ou recuperação de nascentes, mas também a escalas regionais pensando na gestão de recursos hídricos e no planejamento e bacias hidrográficas como um todo. Assim, espera-se que a comunidade técnica e científica, nacional e internacional, adote e aplique a ferramenta em diferentes projetos e pesquisas que contribuam ao melhoramento da gestão ambiental. Da mesma forma, entendendo o dinamismo que caracteriza à ciência, os pesquisadores que desenvolveram o PANÁgua estarão sempre receptivos a novas contribuições que devenham das experiências de sua aplicação.

A última etapa desta pesquisa, consistiu na primeira aplicação do PANÁgua para a avaliação de algumas nascentes das microbacias do Ribeirão do Tamanduá (Itirapina e Brotas, SP) e Córrego Mineirinho (São Carlos, SP) e como resultado obteve-se o estado de conservação das nascentes apresentado na escala de Likert, assim como, a identificação dos impactos e suas possíveis causas. É necessário ressaltar que a ferramenta foi aplicada em microbacias com características de uso e ocupação do solo diferentes, sendo a primeira com predominância de cultivos de cana de açúcar e a segunda de área urbana adensada, por tanto o sucesso da aplicação em ambos casos, mostra a versatilidade e funcionalidade da ferramenta para avaliar impactos de diferentes características, fato que destaca sua relevância.

A aplicação do PANÁgua neste caso, foi realizada em um único período do ano 2019, durante os meses de março e abril após um período de intensas chuvas na região. Porém, para fins de monitoramento das condições ambientais das nascentes recomenda-se sua aplicação, no mínimo, duas vezes por ano, uma durante a época de chuva e outra durante a época seca. Deste modo, a análise resultará mais completa pois a dinâmica de alguns tipos de nascentes é fortemente influenciada pelas condições climáticas, sendo um fator que precisa ser incorporado na avaliação.

Por fim, espera-se que esta dissertação seja entendida e tratada como uma tentativa de aprimoramento do conhecimento sobre a temática de nascentes de cursos d'água, e que resultem dela novas pesquisas e/ou projetos que levem à evolução da ciência ambiental.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe Pleno. Revista de Administração**, v. 0, n. 0, p. 169, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Índice de Qualidade de Água**. 1975. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>.
- ANTUNES, F.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. Avaliação de áreas de preservação permanente em superfície planimétrica e superfície modelada na área de proteção ambiental da região serrana de Petrópolis-RJ. **Geo UERJ**, n. 29, p. 253–274, 2016.
- ARAÚJO, A. R. Água e desenvolvimento: análise da Lei n 9.433/97 sob a perspectiva do direito de acesso à água potável. **Revista Jurídica da FA7**, v. 12, n. 1, 2016.
- ÁVILA, J. L. T.; MONTE-MÓR, R. L. Urbanização e Impactos Ambientais: uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos e a poluição hídrica na região do médio Rio Doce (MG). **VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, 2007.
- BANCO ASIÁTICO DE DESENVOLVIMENTO. **Asian water development outlook**. 2007.
- BANZATO, C., BUTERA, I., REVELLI, R., VIGNA, B. Reliability of the VESPA Index in Identifying Spring Vulnerability Level. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 22, n. 6, p. 04017008, 2017.
- BARBIERI, M. D. P. et al. Qualidade microbiológica da água de algumas nascentes de Muzambinho/MG. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 1, 2013.
- BELEM, A. L. G.; NUCCI, J. C. Hemerobia das Paisagens: Conceito, Classificação e Aplicação no Bairro Pici – Fortaleza / Ce. **REGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, p. 204–233, 2011.
- BIOLCHINI, J. et al. Systematic review in software engineering. System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ, **Technical Report ES**, v. 679, n. 05, p. 45, 2005.
- BISWAS, A. K. Integrated water resources management: a reassessment: a water forum contribution. **Water international**, v. 29, n. 2, p. 248–256, 2004.
- BISWAS, A. K. Integrated water resources management: is it working? **International Journal of Water Resources Development**, v. 24, n. 1, p. 5–22, 2008.
- BISWAS, A. K. Water policies in the developing world. **International Journal of Water Resources Development**, v. 17, n. 4, p. 489–499, 2001.
- BÖHLKE, J. K. Groundwater recharge and agricultural contamination. **Hydrogeology Journal**, v. 10, n. 1, p. 153–179, 2002.
- BOHRER, R. E. G. et al. Estudo e implantação de projeto de monitoramento de vazão das principais nascentes do lajeado erval novo. **Monografias Ambientais**, p. 112–116, 2015.

BONACCI, O.; ANDRIĆ, I. Karst spring catchment: an example from Dinaric karst. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 7, p. 6211–6223, 2015.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>

BRASIL. **Decreto Nº 24.643 de 1934**. Estabelece o Código das Águas.

BRASIL. **Lei 12.651 de 2012**. Estabelece o Código Florestal Brasileiro. 2012.

BRASIL. **Lei no 9.433 de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1o da Lei no 8.001, de 13. Diário Oficial da União, 1997.

BUDGEN, D.; BRERETON, P. Performing systematic literature reviews in software engineering. Proceedings of the 28th international conference on Software engineering. **28th international conference on Software engineering**, 2006.

BURITI, C.; BARBOSA, E. Políticas públicas de recursos hídricos no Brasil: olhares sob uma perspectiva jurídica e histórico-ambiental. **Veredas do Direito**, v. 11, p. 225, 2014.

CALHEIROS, R.; TABAI, F. C. V.; BOSQUILIA, S. V. **Preservação e recuperação das nascentes (de água e de vida)**. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ-CTRN, 2004. p. 53.

CALIJURI, M.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Elsevier Brasil, 2013.

CARPENTER, S.; BHAWSAR, A.; BHAT, M. A. Comparative study of physicochemical characteristics of ground water and surface water in Bhopal city, India. **International Journal of Current Research in Life Sciences**, v. 7, n. 02, p. 923–926, 2018.

CASTILLO, D. A. **Indicadores para a integração da gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo**. 2018. 185f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

CEREZINI, M. T.; ROSSO, M.; HANAI, F. Y. Ferramentas de planejamento e gestão de recursos hídricos: proposta metodológica para levantamento e análise. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1–8, 2017.

CEREZINI, M.T. **Gestão integrada e sustentável da água em bacias hidrográficas: ferramentas, desafios e diretrizes**. 2018. 253 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2019.

CLOQUELL-BALLESTER, V. A. et al. Indicators validation for the improvement of environmental and social impact quantitative assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 26, n. 1, p. 79–105, 2006.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARANAÍBA. **Plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do Rio São Francisco**, 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto-CBGDP**. 2011

CONTI, C. N.; HANAI, F. Y.; MENEZES, D. B. Dinâmica de supressão de nascentes: análise em microbacias urbanas de São Carlos. **X Semana de Estudos da Engenharia Ambiental da UNESP**, Rio Claro., p. 8, 2014.

CORRÊA, P. S. G.; PAULA, M. A. Gestão dos recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica vertentes do rio grande. **Revista Jurídica da Escola Superior do Ministério Público de São Paulo**, v. 11, n. 1, 2018.

COSTA, M. P.; PERSECHINI, M. I. M. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil 2012**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2012.

COUCEIRO, S. M.; HAMADA, N. Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 762–774, 2011.

CRAMER, M. T. et al. Rios e nascentes do município de Coxilha-Rio Grande do Sul: utilização de mapas e jogos como ferramentas para a Educação Ambiental. **Revista Compartilhar-Reitoria**, v. 2, n. 1, 2018.

DAVIS, S. N.; DEWIEST, R. J. M. **Hydrogeology**. 1966.

DICTORO, V. P.; HANAI, F. Y. Implementação, efetividade e conhecimento dos instrumentos da PNRH na bacia hidrográfica Piancó-piranha-açú: uma visão de alguns membros do seu respectivo comitê. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2015.

ELLER, K. T., KATZ, B. G. Nitrogen Source Inventory and Loading Tool: An integrated approach toward restoration of water-quality impaired karst springs. **Journal of environmental management**, v. 196, p. 702–709, 2017.

EMELKO, M. B. et al. Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies. **Water research**, v. 45, n. 2, p. 461–472, 2011.

ESPOSITO, A. et al. Spatial and temporal variability of bacterial communities in high alpine water spring sediments. **Research in Microbiology**, v. 167, n. 4, p. 325–333, 2016.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. 2009. 277f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2009

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical**. 2013. 254f. Tese (Doutorado em Geografia) Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.

FELIPPE, M. F.; JÚNIOR, A. P. M. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG. **Revista Geografias**, v. 8, n. 2, p. 8–23, 2012.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR, A. P. Análise da variabilidade da vazão das nascentes no Parque das Mangabeiras (Belo Horizonte-MG) em relação aos seus condicionantes ambientais. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2009.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos de água e propostas de especialistas. **Revista Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70–81, 2013.

FENSHAM, R. J., SILCOCK, J. L., POWELL, O., HABERMEHL, M. A. search of lost springs: a protocol for locating active and inactive springs. **Groundwater**, v. 54, n. 3, p. 374–383, 2016.

FERON, G., TAVEIRA, A. D. V. A. Pagamento por serviços ambientais: aspectos federais e do estado do Paraná. **Revista UNIFAMMA**, v. 16, n. 1, 2017.

FERRAZ, F.; LAGO, G. M. T.; BARGOS, D. C. Mapeamento e classificação do nível de degradação das nascentes da microbacia do ribeirão dos passos (MBRP) como subsídio ao planejamento ambiental. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 64, p. 78–90, 2017.

FILIZZOLA, B. R., MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; FELIPPE, M. F. Proposta metodológica para desenvolvimento do índice de risco à poluição das águas de nascentes. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2013

FITTS, C. R. **Groundwater science**. San Diego, Califórnia: Elsevier, 2002.

FLOR, T. R.; SOUTO, H. N. Biomonitoramento do lago poço verde situado na região de Coromandel (MG), utilizando macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade da água. **Revista Getec Gestão Tecnologia e Ciências**. v. 5. n 10. 2016.

FONOLLOSA, E. et al. Radon in spring waters in the south of Catalonia. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 151, p. 275–281, 2016.

FRANK, S.; GOEPPERT, N.; GOLDSCHIEDER, N. Fluorescence-based multi-parameter approach to characterize dynamics of organic carbon, fecal bacteria and particles at alpine karst springs. **Science of The Total Environment**, v. 615, p. 1446–1459, 2018.

FUMAGALLI, N. et al. A minimum indicator set for assessing fontanili (lowland springs) of the Lombardy Region in Italy. **European Countryside**, v. 9, n. 1, p. 1–16, 2017.

GARCIA, É. N.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A. Importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, 2015.

GLOBAL WATER PARTERSHIP (GWP). **Integrated Water Resources Management.**, TAC Background Paper No. 4. Global Water Partnership Technical Advisory Committee, Stockholm, 2000.

GOLKARIAN, A. et al. Groundwater potential mapping using C5. 0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. **Environmental monitoring and assessment**, v. 190, n. 3, p. 149, 2018.

GONZALES, A; RITO, G; NARANJO, J. Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la determinación de los indicadores de turismo rural. **X Congreso Internacional de Turismo Rural y Desarrollo Sostenible**. 2016

GOVINDAN, K. et al. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 98, p. 66–83, 2015.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas: disciplina jurídica das águas doces**. 2003.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário geológico-geomorfológico**. Bertrand Brasil. 2009.

GUERRERO, J. V. R.; DE LOLLO, J. A.; LORANDI, R. Cartografia geoambiental como base para planejamento territorial na bacia do Rio Clarinho, SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 2, 2016.

GUIMARÃES, A.; FERREIRA, I. M. Protocolo de avaliação rápida para nascentes de cursos de água: a relação urbano-rural no contexto ambiente e sociedade. **Estudos Interdisciplinares em Ciências Ambientais, Território e Movimentos Sociais**. 2015. p. 14.

GUIMARÃES, A.; RODRIGUES, A. S.; MALAFAIA, G. Adapting a rapid assessment protocol to environmentally assess palm swamp (Veredas) springs in the Cerrado biome, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 11, p. 592, 2017.

HAAS, A. et al. Delimitação e caracterização de app através do uso de um sistema de informação geográfica (SIG): o caso das APP's nos cursos de água da sub-bacia do Lajeado Pardo, noroeste do RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 640–649, 2018.

HAAS, M. B. **Definição de parâmetros para a proteção de nascentes em propriedades rurais–Município de Rolante/RS**. 2010. 128 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HARINI, P. et al. Regional Groundwater Assessment of Krishna River Basin Using Integrated GIS Approach. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 46, n. 9, p. 1365–1377, 2018.

HE, H. et al. Modelling the response of surface water quality to the urbanization in Xi'an, China. **Journal of environmental management**, v. 86, n. 4, p. 731–749, 2008.

HENDERSON, R. D.; DUTTA, S. P. Use of the analytic hierarchy process in ergonomic analysis. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 9, n. 4, p. 275–282, 1992.

- HOOGESTEGER, J.; WESTER, P. Intensive groundwater use and (in) equity: Processes and governance challenges. **Environmental science & policy**, v. 51, p. 117–124, 2015.
- HORGAS, A. L. et al. The Content Validity Index. **Research in nursing & health**, v. 31, n. 4, p. 341–354, 2008.
- IKEMATSU, P et al. Aspectos técnicos para priorização de recursos em recuperação e conservação de nascentes. **Revista de Águas Subterrâneas.**, 2016.
- INSTITUTO AÇÃO VERDE; MATO GROSSO, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO. **Água para o futuro**. Disponível em: <<https://aguaparaofuturo.mpmt.mp.br/>>.
- KAPELJ, S.; LOBOREC, J.; KAPELJ, J. Assessment of aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method. **Geologia Croatica**, v. 66, n. 2, p. 119–128, 2013.
- KARAMI, G. H., BAGHERI, R., RAHIMI, F. Determining the groundwater potential recharge zone and karst springs catchment area: Saldoran region, western Iran. **Hydrogeology Journal**, v. 24, n. 8, p. 1981–1992, 2016.
- KATZ, B. G.; GRIFFIN, D. W.; DAVIS, J. H. Groundwater quality impacts from the land application of treated municipal wastewater in a large karstic spring basin: chemical and microbiological indicators. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 8, p. 2872–2886, 2009.
- KITCHENHAM, B. AND CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. **Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report**. 2007.
- KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. **Information and software technology**, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009.
- KOURGIALAS, N. N. et al. Groundwater footprint methodology as policy tool for balancing water needs (agriculture & tourism) in water scarce islands-The case of Crete, Greece. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 381–389, 2018.
- LAURILA-PANT, M. et al. How to value biodiversity in environmental management? **Ecological Indicators**, v. 55, p. 1–11, 2015.
- LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science**, v. 9, 2006.
- LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of psychology, 1932.
- LIMA, T. C.; MIOTO, R. C. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, v. 10, 2007.
- LÓPEZ, A. R. Introducción a las Herramientas de Gestión Ambiental. **Ecodiseño & Sostenibilidad**, n. 8, p. 244–246, 2015.
- MACHADO, L. C.; SELVA, V. S. F. Avaliação do Potencial de Conservação de Nascentes na Zona da Mata Pernambucana. **Revista Geama**, v. 4, n. 1, p. 39–48, 2017.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 727–733, 2003.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Bertrand Brasil, 2007.

MARTA, J.; MEDES, R.; FARIAS, A. Recuperação de nascentes e Pagamentos por Serviços Ambientais- reflexões ambientais e normativas. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2015

MARTIN, R.; DOWLING, K. Trace metal contamination of mineral spring water in an historical mining area in regional Victoria, Australia. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 77, p. 262–267, 2013.

MATHIYAZHAGAN, K. et al. Application of analytical hierarchy process to evaluate pressures to implement green supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 229–236, 2015.

MEDEIROS, R. K. et al. Validação de conteúdo de instrumento sobre a habilidade em sondagem nasogástrica. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 17, n. 2, p. 278–289, 2015.

MENCIÓ, A.; ROURA, M.; MAS-PLA, J. Analysis of vulnerability factors that control nitrate occurrence in natural springs (Osona Region, NE Spain). **Science of the Total Environment**, 2011, vol. 409, núm. 16, p. 3049-3058, 2011.

MOFOR, N. A.; NJOYIM, E. B. T.; MVONDO-ZÉ, A. D. Quality Assessment of Some Springs in the Awing Community, Northwest Cameroon, and Their Health Implications. **Journal of Chemistry**, v. 2017, 2017.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.

MOURA, A. B. A. P.; ZAIDAN, R. T. Análise multitemporal e possíveis impactos da expansão da silvicultura de eucalipto no município de Carrancas – MG, um estudo para os anos de 2005, 2008, 2013 e 2015. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 48, p. 142–155, 2018.

MOURA, C. O.; CHAVES, H. M. L.; CAMPOS, J. Grau de Priorização das APPs de Nascentes na Bacia do Ribeirão Pípiripau – DF. **Revista Seminario Estadual de Águas e Floresta**, v. 17, 2017.

NAGHIBI, S. A.; DASHTPAGERDI, M. M. Evaluation of four supervised learning methods for groundwater spring potential mapping in Khalkhal region (Iran) using GIS-based features. **Hydrogeology Journal**, v. 25, n. 1, p. 169–189, 2017.

NAGHIBI, S. A.; POURGHASEMI, H. R.; DIXON, B. GIS-based groundwater potential mapping using boosted regression tree, classification and regression tree, and random forest machine learning models in Iran. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, n. 1, p. 44, 2016.

- NIEMEIJER, D.; GROOT, R. S. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 1, p. 14–25, 2008.
- NOSKOVIČ, J. et al. Biological evaluation of the water quality in the water flow in the southwestern part of the Slovak Republic. **Research Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 2, 2013.
- OLIVEIRA, F. R.; MENEGASSE, L. N.; DUARTE, U. Impacto ambiental do eucalipto na recarga de água subterrânea em área de cerrado, no médio vale do Jequitinhonha. **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. p. 1–10, 2002.
- OLIVEIRA, T. G.; FRANCISCO, C. N. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente e as Mudanças no Código Florestal. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 54, p. 574–587, 2018.
- OLSON, D. L. **The Analytic Hierarchy Process. Decision Aids for Selection Problems**, p. 49–68, 2012.
- PAL, M. et al. Electrical Conductivity of Lake Water as Environmental Monitoring – A Case Study of Rudrasagar Lake. **IOSR Journal of Environmental Science Ver. I**, v. 9, n. 3, p. 2319–2399, 2015.
- PALIVODA, A; POVALUK, M. Avaliação do estado de conservação de nascentes localizadas em áreas rurais do município de Itaiópolis, SC. **Saúde & Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 17–31, 2015.
- PARANHOS FILHO, A. C. et al. Análise do impacto da ação antrópica sobre uma nascente do Rio Água Grande (Ubiratã, PR) através de imagem de satélite CBERS. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 1451–1458, 2005.
- PEREIRA. **Análise de Dados Qualitativos: estratégias metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais**. Editora da Universidade de São Paulo. 1999.
- PINHEIRO, M. R. et al. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2009.
- PINTO, L. V. A. et al. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**. n.65, p. 197-206. 2004.
- PINTO-CRUZ, C. et al. Biotic and abiotic parameters that distinguish types of temporary ponds in a Portuguese Mediterranean ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 6, p. 1658–1663, 2011.
- PODVEZKO, V. Application of AHP technique. **Journal of Business Economics and Management**, v. 10, n. 2, p. 181–189, 2009.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.
- POURTAGHI, Z. S.; POURGHASEMI, H. R. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. **Hydrogeology Journal**, v. 22, n. 3, p. 643–662, 2014.

PRIBERAM. **Dicionário da Língua Portuguesa**. 2013. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/>>

QUEIROZ, M. L. **Nascentes, veredas e áreas úmidas: revisão conceitual e metodologia de caracterização e determinação: estudo de caso na estação ecológica de águas emendadas-Distrito Federal**. 2015. 161f. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente). Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília. 2015.

RODRIGUES, R. B. **SSD RB-sistema de suporte a decisão proposto para a gestão qualitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água**. 2005. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2005.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta paulista de enfermagem**, v. 20, n. 2, p. v–vi, 2007.

SAATY, T. L. **Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process**. p. 15–35, 2013.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process in Natural Resources and Environmental Decision Making**. 302p. 2001.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. 1980.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista brasileira de fisioterapia de São Carlos**. v.11. n.1. 2007.

SANTOS, B. F.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Avaliação da vulnerabilidade ambiental do município de Itirapina–SP. **Revista Geotemas**, v. 8, n. 1, p. 42–59, 2018.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impacts of the disordered land occupancy: a study about an urban consolidated area in Campina Grande-PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943–952, 2017.

SÃO PAULO. **Cadernos da Mata Ciliar**. CTP, impressão e acabamento. 2009.

SAPPA, G.; FERRANTI, F.; LUCIANI, G. Vulnerability assessment of karst aquifer feeding Pertuso Spring (Central Italy): comparison between different applications of COP method. **EGU General Assembly Conference**. 2016

SCHIPERSKI, F. et al. Relationship between organic micropollutants and hydro-sedimentary processes at a karst spring in south-west Germany. **Science of the Total Environment**, v. 532, p. 360–367, 2015.

SEARCH LAB. **Algoritmos do Google**. Disponível em: <<https://searchlab.com.br/algoritmos-do-google/>>.

SEPULVEDA, A. J.; SECHRIST, J.; MARCZAK, L. B. Testing ecological tradeoffs of a new tool for removing fine sediment in a spring-fed stream. **Ecological Restoration**, v. 32, n. 1, p. 68–77, 2014.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Plantadores de Rios**. Disponível em: <<http://www.car.gov.br/plantadores-rios/>>.

SILVA, G. C. et al. Avaliação da degradação ambiental na microbacia do Córrego Mineirinho, São Carlos-SP. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2014.

SILVA, G. O processo de ocupação urbana da Barra da Tijuca (RJ): problemas ambientais, conflitos sócio-ambientais, impactos ambientais urbanos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 1, p. 65–93, 2006.

SILVA, J. et al. Classificação de nascentes urbanas através de protocolo de avaliação rápida em Araxá – MG. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2015

SILVA, P. L. F. et al. Degradação, uso e ocupação do solo em áreas de nascentes na microbacia hidrográfica do rio Guarabira. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 42–53, 2016.

SINGH, S.; RAJU, N. J.; RAMAKRISHNA, C. Evaluation of groundwater quality and its suitability for domestic and irrigation use in parts of the Chandauli-Varanasi region, Uttar Pradesh, India. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 7, n. 07, p. 572, 2015.

SOUZA, A. C.; REIS, T. D. F.; SÁ, O. R. Comparação entre o índice de qualidade da água (IQA) com o protocolo de avaliação rápida de habitats no córrego liso, município de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 2, 2014.

STRAHLER, ALAN; STRAHLER, ARTHUR. Physical geography. **John Wiley & Sons**, 2007.

SUQUISAQUI, A. B. **Indicadores de sustentabilidade aplicados ao contexto de planejamento e gestão ambiental de cidade na concepção de metabolismo urbano**. 2018. 72f. Iniciação científica. Universidade Federal de São Carlos, 2018.

TARPANI, R. R. Z.; BRANDÃO, J. L. B. Análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho–São Carlos/SP. **VI Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideu-AUGM**. Anais. 2009

TEIXEIRA, C.; ALVES, J. M. Mobilização do conhecimento socioambiental de professores por meio do desenvolvimento de ações para conservação de nascentes urbanas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 3, p. 769–792, 2015.

TEIXEIRA, H. T. A Avaliação Ambiental Estratégica No Planejamento da Gestão de Recursos Hídricos: Uma Necessidade para o Equilíbrio do Meio Ambiente. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 2, n. 1, p. 190–209, 2016.

TELLES, D. D.; COSTA, R. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. Editora Blucher, v. 2, 2007.

TORRES, F. T. P. Mapeamento e análise de impactos ambientais das nascentes do córrego Alfenas, Ubá (MG). **Revista de ciências agroambientais**, v. 14, n. 1, 2016.

TREVISAN, D. P. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos–SP. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 272–288, 2018.

TRICK, T.; CUSTODIO, E. Hydrodynamic characteristics of the western Doñana Region (area of El Abalario), Huelva, Spain. **Hydrogeology Journal**, v. 12, n. 3, p. 321–335, 2004.

TUCCI, C. E. M. Gestão integrada das águas urbanas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. v. 5, n.2, p. 71-81. 2008.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos RIMA. 2003.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MINAS GERAIS CAMPUS DIVINOPOLIS; ASSOCIAÇÃO NASCENTES BELA VISTA. **Aplicativo para monitoramento de nascentes é desenvolvido em MG**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2016/08/aplicativo-para-monitoramento-de-nascentes-e-desenvolvido-em-mg.html>>.

VANZELA, L.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 1, 2010.

VIEIRA NETO, O; FASSINA, G. C.; PRATTE-SANTOS, R. Estado de conservação das nascentes urbanas do município de Vila Velha, ES. **Natureza online**. v.10, n.2, p. 85-88. 2012.

VILAR, M. B. et al. Caracterização de nascentes pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, MG. **Seminário de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul: recuperação de áreas degradadas**, v. 2, p. 181–188, 2009.

WHITE, D. C. et al. A generalizable NDVI-based wetland delineation indicator for remote monitoring of groundwater flows in the Australian Great Artesian Basin. **Ecological indicators**, v. 60, p. 1309–1320, 2016.

WHITE, D. C.; LEWIS, M. M. A new approach to monitoring spatial distribution and dynamics of wetlands and associated flows of Australian Great Artesian Basin springs using QuickBird satellite imagery. **Journal of Hydrology**, v. 408, n. 1–2, p. 140–152, 2011.

WHO. **The Dublin statement on water and sustainable development**. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/english/icwedece.html>>.

WOLKMER, M.; PIMMEL, N. F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Sequência: estudos jurídicos e políticos**, v. 34, n. 67, p. 165–198, 2013.

ZHAO, M. et al. Effect of different land use/land cover on karst hydrogeochemistry: a paired catchment study of Chenqi and Dengzhanhe, Puding, Guizhou, SW China. **Journal of Hydrology**, v. 388, n. 1–2, p. 121–130, 2010.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A: LISTA DOS ARTIGOS E DOCUMENTOS SELECIONADOS

#### BASE DE DADOS: *ACADEMIC SEARCH PREMIER*

TÍTULO	CITA	REQUISITOS SATISFEITOS	CATEGORIA
A minimum indicator set for assessing Fontanili (Lowland Spring) of the Lombardy Region in Italy.	(FUMAGALLI et al., 2017)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Cost-effective assessment of conservation status of fens.	(ANDERSEN et al., 2013)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Sustainable yield of a karst aquifer system: a case study of Jinan springs in northern China.	(KANG; JIN; QIN, 2011)	1 e 2	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Evaluation of distributed recharge in an upland semi-arid karst system: The West Bank Mountain Aquifer, Middle East.	(HUGHES; MANSOUR; ROBINS, 2008)	1 e 2	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Biotic and abiotic parameters that distinguish types of temporary ponds in a Portuguese Mediterranean ecosystem.	(PINTO-CRUZ et al., 2011)	2	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Relationship between organic micropollutants and hydro-sedimentary processes at a karst spring in south-west Germany.	(SCHIPERSKI et al., 2015)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
A new approach to monitoring spatial distribution and dynamics of wetlands and associated flows of Australian Great Artesian Basin springs using QuickBird satellite imagery	(WHITE; LEWIS, 2011)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
A generalizable NDVI-based wetland delineation indicator for remote monitoring of groundwater flows in the Australian Great Artesian Basin.	(WHITE et al., 2016)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Analysis of vulnerability factors that control nitrate occurrence in natural springs (Osona Region, NE Spain)	(MENCIÓ; ROURA; MAS-PLA, 2011)	1 e 2	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Effect of different land use/land cover on karst hydrogeochemistry: A paired catchment study of Chenqi and Dengzhanhe, Puding, Guizhou, SW China	(ZHAO et al., 2010)	1 e 2	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>CATEGORIA</b>
Vulnerability assessment of the karst aquifer feeding the Pertuso spring (central Italy): comparison between different applications of cop method.	(SAPPA; FERRANTI; LUCIANI, 2016)	1 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran.	(POURTAGHI; POURGHASEMI, 2014)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Assessment of aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method.	(KAPELJ; LOBOREC; KAPELJ, 2013)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Modeling flow and pollutant transport in a karst watershed with SWAT.	(BAFFAUT; BENSON, 2009)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Testing Ecological Tradeoffs of a New Tool for Removing Fine Sediment in a Spring-fed Stream.	(SEPULVEDA; SECHRIST; MARCZAK, 2014)	1 e 2	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Groundwater footprint methodology as policy tool for balancing water needs (agriculture & tourism) in water scarce islands - The case of Crete, Greece.	(KOURGIALAS et al., 2018)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Drenagem e resíduos em área urbana: propostas para a proteção de duas nascentes em São Carlos - SP.	(TÃO et al., 2017)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Evaluation of four supervised learning methods for groundwater spring potential mapping in Khalkhal region (Iran) using GIS-based features.	(NAGHIBI; DASHTPAGERDI, 2017)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Nitrogen Source Inventory and Loading Tool: An integrated approach toward restoration of water-quality impaired karst springs	(ELLER; KATZ, 2017)	1 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Avaliação de áreas de preservação permanente em superfície planimétrica e superfície modelada na área de proteção ambiental da região serrana de Petrópolis – RJ	(DE SOUZA ANTUNES; COURA; DO COUTO FERNANDES, 2016)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Adapting a rapid assessment protocol to environmentally assess palm swamp (Veredas) springs in the Cerrado biome, Brazil.	(GUIMARÃES; DE LIMA RODRIGUES; MALAFAIA, 2017)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>CATEGORIA</b>
Pagamento por Serviços Ambientais: aspectos federais e do estado do Paraná	(FERON; TAVEIRA, 2017)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
In Search of Lost Springs: A Protocol for Locating Active and Inactive Springs.	(FENSHAM et al., 2016)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Quality Assessment of Some Springs in the Awing Community, Northwest Cameroon, and Their Health Implications	(MOFOR; NJOYIM; MVONDO-ZÉ, 2017)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
karst spring catchment: an example from Dinaric karst	(BONACCI; ANDRIĆ, 2015)	1 e 2	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Applicability of generalized additive model in groundwater potential modelling and comparison its performance by bivariate statistical methods	(FALAH et al., 2017)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Determining the groundwater potential recharge zone and karst springs catchment area: Saldoran region, western Iran	(KARAMI; BAGHERI; RAHIMI, 2016)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Groundwater potential mapping using C5.0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS	(GOLKARIAN et al., 2018)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
GIS-based groundwater potential mapping using boosted regression tree, classification and regression tree, and random forest machine learning models in Iran	(NAGHIBI; POURGHASEMI; DIXON, 2016)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Reliability of the VESPA Index in Identifying Spring Vulnerability Level.	(BANZATO et al., 2017)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial

## BUSCA COMPLEMENTAR: *GOOGLE SCHOLAR*

TÍTULO	CITA	REQUISITOS SATISFEITOS	CATEGORIA
Percepção ambiental e sensibilização de alunos de colégio estadual sobre a preservação da nascente de um rio	(OLIVEIRA et al., 2013)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Geotecnologias e aprendizagem espacial em ambiente educacional: o mapeamento de nascentes utilizando técnicas de geoprocessamento por meio	(VIEL et al., 2013)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Uso da terra versus áreas de nascentes: análise de impactos com utilização de geotecnologias no sudoeste amazônico – Acre - Brasil	(SANTOS; NASCIMENTO, 2012)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Avaliação ambiental de nascentes com o uso de ferramentas de geoprocessamento	(MENDES, 2008)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Classificação de pressão ambiental em áreas de nascentes hídricas a partir de ferramentas de geoprocessamento	(BASTOS; LEMOS; RODRIGUES, [s.d.])	1 e 2	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Rios e nascentes do município de Coxilha - Rio Grande do Sul: utilização de mapas e jogos como ferramentas para a educação ambiental	(CRAMER et al., 2018)	2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Proposta metodológica interdisciplinar como ferramenta para o potencial de conservação de nascentes	(MACHADO; SELVA; SANTOS, 2018)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
ICMS ecológico: uma importante ferramenta incentivadora na criação e gestão de políticas públicas de preservação de nascentes	(PINTO et al., 2011)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Uso racional da água: ações interdisciplinares em escola rural do semiárido brasileiro	(SANTOS JÚNIOR et al., 2013)	2 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
SIG e regressão linear para avaliação ambiental das nascentes do rio Subaé em feira de Santana-BA	(ADÔRNO; SANTOS; JESUS, 2013)	1 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Geotecnologias aplicadas à análise do estado de conservação das APPs das nascentes da bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso - Brasil	(LORENZON et al., 2014)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Stream flow regime of springs in the Mantiqueira mountain range region, Minas Gerais state	(OLIVEIRA et al., 2014)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Sustentabilidade hidroambiental de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame no estado da Paraíba, Brasil	(OLIVEIRA BOMFIM et al., 2015)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>CATEGORIA</b>
Indicadores ambientais do solo nas áreas de nascente da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Sergipe	(AGUIAR NETTO et al., 2015)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Diagnóstico ambiental das nascentes do rio parafuso, em Pedro II, Piauí.	(OLIVEIRA; GOMES, 2012)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar	(MARMONTEL; RODRIGUES, 2015)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Avaliação da qualidade da água em regiões de nascente da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos	(BENVENUTI et al., 2013)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Avaliação eco toxicológica e microbiológica da água de nascentes urbana no município de Piracicaba SP	(GASPAROTTO, 2011)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Qualidade microbiológica da água de algumas nascentes de Muzambinho/MG	(BARBIERI et al., 2013)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Análise da vegetação em nascentes da bacia hidrográfica do rio Piauitinga, Salgado, SE	(OLIVEIRA et al., 2012)	1, 2 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira	(CARMO; FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2014)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Fauna edáfica como bioindicadores de qualidade ambiental na nascente do rio São Lourenço, Campo Verde –MT, Brasil.	(CÂNDIDO et al., 2012)	1, 2 e 3	Uso de bioindicadores para avaliação ambiental de nascentes de água e outros corpos hídricos
O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista	(FRANCO; HERNANDEZ; MORAES, 2013)	1 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte MG	(FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2012)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Estado de conservação das nascentes no perímetro urbano da cidade de Muriaé-MG	(ROBERTI; GOMES; BITTENCOURT, 2016)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Diagnóstico ambiental de nascentes no município de Criciúma, Santa Catarina	(GALATTO et al., 2011)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>CATEGORIA</b>
Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno	(PINTO; ROMA; BALIEIRO, 2012)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte MG	(FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2009)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Dinâmica de supressão de nascentes: análise em microbacias urbanas de São Carlos	(CONTI; HANAI; MENEZES, 2014)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Mobilização do conhecimento socioambiental de professores por meio do desenvolvimento de ações para conservação de nascentes urbanas	(TEIXEIRA; ALVES, 2015)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
A Preservação de Nascentes em áreas urbanas consolidadas: Micro-áreas de Proteção Ambiental como instrumento urbanístico para um zoneamento	(YAMATO; PARMA; SCHUTZER, 2014)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Proposta metodológica para desenvolvimento do Índice de Risco à Poluição das Águas de Nascentes	(FILIZZOLA; MAGALHÃES JUNIOR; FELIPPE, 2013)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Alterações na paisagem e seus impactos diretos nas áreas de preservação permanentes das nascentes da bacia hidrográfica do ribeirão Taboca (DF): uma análise espaço-temporal 1964-2004	(SILVA; STEINKE, 2009)	1, 2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Avaliação da qualidade ambiental nas nascentes do rio monjolinho na porção a montante da estação de captação de água do espreado, São Carlos-SP	(SOUZA, 2011)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Mineração na Amazônia e impactos na nascente da microbacia do rio Água Boa em Juruti	(MARTURANO; SILVA, 2012)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Índice de qualidade da água nas nascentes do rio Piauitinga - SE por análise multivariada e o uso na irrigação.	(FIGUEIREDO, 2016)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Nascentes, Áreas de Preservação Permanentes e restauração florestal: histórico da degradação e conservação no Brasil	(SILVA, 2014)	1, 2 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Agricultores familiares e nascentes: construção de estratégias participativas de conservação no médio Jequitinhonha, Minas Gerais	(CALIXTO, [s.d.])	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Qualidade da água da nascente Jardim da Luz do córrego Barreiro em Goiânia/GO	(LIMA, 2009)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>CATEGORIA</b>
Estudo e avaliação de condições de nascentes de água: proposição de uma ferramenta para subsidiar o planejamento e a gestão integrada de bacias hidrográficas	(ROSSO; HANAI, 2017)	1	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de nascentes - Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores	(SANTOS; MELO, 2014)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Avaliação da Área de Preservação Permanente da nascente no bairro Peró, no município de Três Corações	(REGINA et al., 2016)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Avaliação macroscópica da qualidade das nascentes do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora	(PAULA OLIVEIRA, 2013)	1, 2 e 3	Indicador/ferramenta para avaliação e conservação de nascentes
Avaliação das nascentes do território do alto Camaquã/RS	(CARVALHO; BORBA, 2012)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Avaliação ambiental e indicação de medidas mitigadoras para a nascente do Córrego Mutuca, Gurupi - TO	(SANTOS; BARBOSA, 2015)	1, 2 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Diagnóstico das nascentes da bacia hidrográfica do córrego do Vargedo	(MARCIANO; SILVA; SILVA, 2016)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG)	(MENEZES et al., 2009)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Diagnóstico ambiental da sub-bacia hidrográfica do Córrego Amarelo, abordando o uso e ocupação do solo e a qualidade da água	(LOUGON et al., 2009)	2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes
Nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté/MT: estudo do uso, topografia e solo como subsídio para gestão	(OLIVEIRA, SOUZA, PIERANGELI, 2010)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Proposta de recuperação para a nascente do córrego mutuca em Gurupi–TO	(OLIVEIRA et al., 2015)	1, 2 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração	(FERREIRA et al., 2011)	1, 2 e 3	Aplicação de estratégias para recuperação de nascentes de água
Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis	(VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010b)	2 e 3	Sensoriamento remoto e geoprocessamento como técnica de análise ambiental em áreas de nascentes

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>CATEGORIA</b>
Qualidade da água em uma microbacia de uso agrícola e urbano em Xanxerê – SC	(DORIGON; STOLBERG; PERDOMO, 2008)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba -PR, com o emprego de indica dores quantitativos e perceptivos	(BOLLMANN; EDWIGES, 2009)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial
Comparação entre o Índice de Qualidade da Água (IQA) com o Protocolo de Avaliação Rápida de Habitats no córrego liso, município de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais.	(SOUZA; REIS; DE SÁ, 2014)	1, 2 e 3	Monitoramento e avaliação físico-química e microbiológica da qualidade da água superficial

### **BUSCA COMPLEMENTAR: GOOGLE**

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>
Avaliação do estado de conservação de nascentes localizadas em áreas rurais do município de Itaiópolis, SC.	(PALIVODA; POVALUK, 2015)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em revista
Recuperação de nascentes e Pagamentos por Serviços Ambientais- reflexões ambientais e normativas	(MARTA; MEDES; FARIAS, 2015)	1 e 3	Resumo expandido publicado em anais de evento
Diagnóstico do estado de conservação de nascentes do rio Gongogi nas comunidades rurais de cabeceira do Gongogi, Cebola e Vela Branca, município de Nova Canaã, Bahia.	(OLIVEIRA. et al., 2010)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em revista
Plano Nascentes São Francisco: Plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do Rio São Francisco	(CODEVASF, 2016)	Não aplica	Documento – Plano
Aplicativo para monitoramento de nascentes é desenvolvido em MG – Aplicativo Olhos de água	(UEMG DIVINOPOLIS, 2016)	Não aplica	Aplicativo
Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente	(FREITAS et al., 2013)	1 e 3	Artigo completo publicado em revista
Comportamento hidrológico de duas nascentes associadas ao uso do solo numa sub-bacia hidrográfica de cabeceira	(MENEZES et al., 2009)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em anais de evento
Água para o futuro	(INSTITUTO AÇÃO VERDE; MATO GROSSO; UFMT, 2018)	Não aplica	Aplicativo
Mapeamento e análise de impactos ambientais das nascentes do córrego Alfenas, Ubá	(TORRES, 2016b)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em revista

<b>TÍTULO</b>	<b>CITA</b>	<b>REQUISITOS SATISFEITOS</b>	<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>
Programa Plantadores de Rio	(SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2017)	Não aplica	Aplicativo
Avaliação da qualidade da água das nascentes urbanas de Assis/SP, por meio do IQA – Índice de Qualidade das Águas	(JOSELINO; CORTES; MELLO, 2015)	1, 2 e 3	Resumo expandido publicado no repositório da Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA
Aspectos técnicos para priorização de recursos em recuperação e conservação de nascentes	(IKEMATSU et al., 2016)	1, 2 e 3	Resumo expandido publicado em anais de evento
Estudo e implantação de projeto de monitoramento de vazão das principais nascentes do lajeado erval novo	(BOHRER et al., 2015b)	1	Resumo publicado em revista
Avaliação do Potencial de Conservação de Nascentes na Zona da Mata Pernambucana	(MACHADO; SELVA, 2017)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em revista
Gestão ambiental e preservação de nascentes: um estudo para elaboração de políticas de gestão ambiental da nascente do Igarapé do Mindú, no bairro Cidade de Deus – Manaus/AM	(BORGES; CONCEIÇÃO, 2011)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em revista
Grau de Priorização das APPs de Nascentes na Bacia do Ribeirão Pipiripau – DF	(MOURA; CHAVES; CAMPOS, 2017)	1, 2 e 3	Artigo completo publicado em anais de evento
Classificação de nascentes urbanas através de protocolo de avaliação rápida em Araxá – MG	(SILVA et al., 2015)	1, 2 e 3	Resumo expandido publicado em anais de evento

## **APÊNDICE B: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO INTEGRADA E MONITORAMENTO DE NASCENTES DE CORPOS DE ÁGUA – PANÁgua**

### **1. Objetivo do PANÁgua**

Avaliar e monitorar de forma integrada as condições ambientais de nascentes e áreas de entorno, determinando seu estado de conservação, por meio da valoração e ponderação de parâmetros e indicadores que abrangem todos os fatores que influenciam essas condições. Este protocolo é proposto como ferramenta de subsídio aos processos de tomada de decisões sobre a gestão dos recursos hídricos e o planejamento de bacias hidrográficas.

### **2. Escopo e usuários do PANÁgua**

O PANÁgua é uma ferramenta para avaliação integrada e monitoramento de nascentes constituída por um grupo de parâmetros e indicadores que permitem determinar suas condições ambientais. Esta ferramenta auxilia a coleta uma série de informações relevantes para determinar o estado de conservação de nascentes e suas áreas de entorno as quais são apresentadas de forma simples e sintetizada e podem ser usadas como base para formular e executar futuros projetos de preservação, conservação e/ou recuperação ambiental.

Finalmente, o PANÁgua visa ajudar aos órgãos ambientais; empresas, firmas ou startups; ONGs; universidades; grupos de pesquisa; dentre outras instituições com interesse na área de recursos hídricos, na realização de atividades relacionadas à avaliação, monitoramento, conservação e/ou recuperação de nascentes.

### **3. Frequência da aplicação**

Para fazer o monitoramento efetivo das condições ambientais de nascentes utilizando o PANÁgua é extremamente importante sua aplicação de forma contínua, se estabelecendo, no mínimo uma aplicação durante o período seco e outra durante o período de chuvas em um ano, porém quanto maior o número de aplicações, maior a consistência da análise realizada.

### **4. Estrutura e forma de aplicação do PANÁgua**

O PANÁgua está dividido em três etapas devido à necessidade de realizar aplicações em diferentes escalas que partem da avaliação local até a análise em escala de bacia hidrográfica. As etapas estabelecidas foram: **avaliação das condições ambientais em campo; pesquisa sobre**

## **ações de conservação e recuperação desenvolvidas e avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs).**

A primeira etapa exige a observação em campo por meio de uma visita técnica para coletar e avaliar os parâmetros estabelecidos, sendo importante considerar duas áreas de influência: Área de Proteção Permanente (APP); e Área de Interface da Vegetação (Área de interface). A APP para áreas de nascentes está suportada na Lei Federal nº 12.651 (Capítulo II, Artigo 4º, item IV), que define um raio de 50 metros de vegetação ao redor da nascente. Já a Área de Interface da Vegetação foi definida pelos autores deste protocolo a partir da necessidade de considerar uma área que amortize os impactos provenientes das diferentes atividades desenvolvidas ao redor da nascente. Esta decisão está de acordo com o estabelecido por Calheiros; Tabai e Bosquilia (2004) e Fumagalli et al. (2017). Assim, foi estabelecida como Interface da Vegetação a área formada pela largura de 50 metros contínua à APP, conformando no total um raio de 100 metros para a aplicação.

**A avaliação das condições ambientais em campo** (primeira etapa) consta de quatro categorias que são: 1) *monitoramento qualitativo da água da nascente*; 2) *interferências na nascente*; 3) *integridade física do solo*; 4) *características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente*. Cada uma destas categorias está constituída por parâmetros e indicadores específicos que permitem a coleta das informações para a aplicação do protocolo.

A segunda etapa **pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas**, pode ser aplicada por meio dos seguintes métodos: a própria observação em campo; entrevistas não estruturadas ou estruturadas às comunidades moradoras ao redor das nascentes de interesse; a pesquisa bibliográfica de artigos, documentos, relatórios, planos, etc., que possam conter as informações requeridas; a consulta aos órgãos e autoridades ambientais com atuação na região do estudo, dentre outros. Esta etapa está constituída pela única categoria de *ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas*.

A terceira etapa **avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)** integra duas categorias: *existência de vegetação natural no entorno da nascente* e *características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente*, constituídas por parâmetros e indicadores cuja utilização requer a análise de áreas maiores à área de interface. Assim, para efeitos da aplicação estabeleceu-se a área formada pelo raio de 1 quilômetro ao redor da nascente (buffer) seguindo a proposta de Fumagalli et al. (2017) que poderá ser analisada por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para a avaliação dos indicadores que compõem

esta etapa é necessária a obtenção e o processamento de alguns dados espaciais, tais como: a rede hídrica; identificação das nascentes, realização do buffer de 1 quilometro para a área de avaliação e o mapeamento por classificação supervisionada do uso e ocupação do solo e/ou das classes de hemerobia. Essas análises são consideradas simples e podem ser desenvolvidas por profissionais que possuam conhecimento básicos sobre o uso de SIG. Além disso, em ocasiões encontram-se disponíveis em artigos, documentos, relatórios e/ou planos de bacias hidrográficas.

## 5. Avaliação dos parâmetros

A avaliação dos parâmetros se realiza com base a escala ordinal adaptada de Likert (1932) que se apresenta na Tabela 1. As notas atribuídas representam a condição daquele parâmetro, sendo a nota 1 relacionada a condições ruins e 5 a condições ótimas. Para cada caso foram elaboradas descrições qualitativas que se relacionam à escala.

Tabela 41. Escala de avaliação dos parâmetros

Pontuação	Conceito qualitativo
4 a 5	Ótimo
3 a 4	Bom
2 a 3	Regular
1 a 2	Ruim

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

## 6. Ponderação da avaliação dos parâmetros e determinação do estado de conservação da nascente

Foram definidos pesos de relevância para os parâmetros, categorias e etapas do PANÁgua, conforme apresenta-se na tabela 2, para isso foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Os parâmetros ressaltados em negrito contemplam vários itens específicos (sub-parâmetros) que podem ser ou não avaliados dependendo as características da nascente e a acessibilidade às informações necessárias para essa avaliação, assim, quando não forem determinados estes não se integram ao PANÁgua e são desconsiderados da análise.

O procedimento para determinar o estado de conservação das nascentes se apresenta a seguir:

1. Multiplique a nota outorgada aos parâmetros (Tabela 1) pelo peso correspondente ao parâmetro (Tabela 2);
2. Some os resultados da multiplicação anterior para os parâmetros dentro de uma mesma categoria;

3. Multiplique o resultado dessa somatória pelo peso da categoria correspondente;
4. Some os resultados da multiplicação anterior para as categorias dentro de uma mesma etapa;
5. Multiplique o resultado dessa somatória pelo peso da etapa correspondente;
6. Some os resultados da multiplicação anterior e compare novamente com a escala apresentada na Tabela 1 para determinar o estado de conservação da nascente.

Tabela 42. Pesos para ponderação da avaliação

Etapas	Pesos	Categorias	Pesos	Parâmetros	Pesos
Avaliação das condições ambientais em campo	0,65	Monitoramento qualitativo da água da nascente	0,1	Coliformes totais e/ou E. Coli	0,4
				Condutividade elétrica	0,28
				Turbidez	0,18
				Presença de espuma	0,07
				Presença de óleos ou graxas	0,07
		Interferências na nascente	0,24	Eutrofização	0,04
				Interferências no fluxo de água	0,1
				Deslocamento do afloramento da água	0,19
				Acesso de animais de criação à área de nascente	0,12
				Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente	0,3
Integridade física do solo	0,24	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente	0,25		
		Assoreamento do solo	0,26		
		Movimentação de terra com ferramentas e maquinários	0,1		
		Ocorrência de erosão	0,46		
Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente	0,42	Compactação do solo	0,18		
		Densidade da cobertura de vegetação natural na APP	0,3		
		Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface	0,14		
		Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface	0,08		
		Isolamento e proteção da APP	0,1		
Avaliação das condições ambientais em campo	0,65			<b>Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente*</b>	0,38

<b>Etapas</b>	<b>Pesos</b>	<b>Categorias</b>	<b>Pesos</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Pesos</b>
Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	0,1	Ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas	1	<b>Desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes*</b>	1
Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)	0,25	Existência de vegetação natural no entorno da nascente	0,6	Respeito ao raio de APP estabelecido na Lei 12.727 de 2012 (Código Florestal Brasileiro)	0,6
				Índice de Quantidade de Fragmentos de vegetação (IQF) (Área de Fragmentos dentro do buffer/Área formada pelo buffer de 1 quilômetro)	0,4
		Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Buffer de 1 Km)	0,4	Grau de antropização do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Grau de hemerobia)	1

Fonte: elaborado pelo autor (2019)

**\*Os parâmetros ressaltados estão compostos por vários itens (sub-parâmetros). Para a avaliação destes, considere apenas os itens presentes na nascente avaliada, posteriormente calcule a média e multiplique pelo peso do parâmetro. A partir desse cálculo, continue no passo 2 do procedimento descrito acima.**

### **1º ETAPA: AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM CAMPO**

**Instruções:** Para o preenchimento da primeira etapa do protocolo é necessário avaliar cada um dos parâmetros durante a visita de campo, observando e analisando as condições ambientais da nascente em cada caso. Recomenda-se que a aplicação seja realizada minimamente por dois profissionais de forma individual, permitindo a comparação dos resultados para dar consistência a avaliação, eliminando erros e subjetividades. Por favor, leia e analise detalhadamente cada um dos parâmetros, considerando as observações e exemplos descritos para selecionar a resposta de classificação mais adequada.

<b>AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM CAMPO</b>					
<b>Orientações gerais</b>	<p>Inicialmente devem ser preenchidos os dados de caracterização da nascente a avaliar, cuja função é orientar ao profissional sobre as características gerais auxiliando na organização dos dados. Para a avaliação da primeira etapa do PANÁgua devem ser consideradas as seguintes áreas: Área de Preservação Permanente (APP): a área formada pelo raio de 50 metros ao redor da nascente; e a Área de Interface da Vegetação, determinada por mais 50 metros contínuos à APP. No total deve ser analisada a área formada pelo raio de 100 metros ao redor da nascente (por se tratar de uma aplicação direta em campo, essas distancias podem ser aproximadas).</p> <p>O parâmetro classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente está composto por vários itens (sub-parâmetros), para determinação do estado de conservação serão considerados apenas os que seja possível avaliar ou determinar, dependendo a localização e características da nascente.</p>				
Nome do avaliador					
<b>Dados de caracterização</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>	<b>N5</b>
Nome dos cursos de água					
Localização (coordenadas)					
Data e horário da aplicação					
Vazão (L/s) (Caso seja possível mensurar)					

<b>Categorias de avaliação</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Respostas de classificação</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>	<b>N5</b>
<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	Coliformes totais e/ou E. Coli. (UFC/100ml)	(1) Maior que 4500 (2) Maior que 1000 e menor que 4500 (3) Maior que 200 e menor que 1000 (4) Menor que 200 (5) Ausência de coliformes totais					
	Condutividade elétrica (µS/cm)	(1) Maior que 2500 (3) Maior que 800 e menor que 2500 (5) Menor que 800					
	Turbidez (UNT)	(1) Maior que 100 (3) Maior que 40 e menor que 100 (5) Menor que 40					
	Presença de espuma	(1) Presente (3) Intermediária (5) Ausente					
	Presença de óleos ou graxas	(1) Presente (3) Intermediária (5) Ausente					

Categorias de avaliação	Parâmetros	Respostas de classificação	N1	N2	N3	N4	N5
<b>Interferências na nascente</b>	Eutrofização (Desenvolvimento exagerado de algas e plantas hidrófitas Ex. Tabôa " <i>Typha dominguensis</i> ")	(1) Presença (3) Intermediária (5) Ausência					
	Interferências no fluxo de água (Ex. instalações para captação, impermeabilização do leito da nascente, canalização, barragens, represamentos, entre outros)	(1) Existência de barragens ou represamentos (2) Existência de obras de canalização ou mudanças no curso da água (3) Existência de obras de impermeabilização do leito da nascente (4) Existência de instalações para captação de água (drenos, tubulações, caixas de captação, mangueiras, entre outros) (5) Inexistência de interferências no fluxo de água					
	Deslocamento do afloramento da água (Consequência de impactos como: secamento da nascente, rebaixamento do lençol freático, impermeabilização do solo, erosão, entre outros)	(1) Nascente suprimida (Sem afloramento de água, sem vegetação ao redor ou formação de canal a jusante) (3) Deslocamento do afloramento da água à jusante ou a montante da APP (5) Nascente sem deslocamento à jusante ou a montante da APP					
	Acesso de animais de criação à área de nascente (Ex. Avistamento de animais de criação, pegadas, fezes, cercas quebradas, vegetação derrubada, entre outros) <b>Animais de criação:</b> Gado, cavalos, porcos, galinhas, patos, entre outros. <b>Observação:</b> lembre-se da diferença entre APP e área de interface de vegetação, descrita nas orientações gerais.	(1) Presença permanente de animais de criação na APP e área de interface (3) Indícios do acesso de animais de criação na APP e área de interface (5) Ausência de animais de criação nas áreas consideradas					

<b>Categorias de avaliação</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Respostas de classificação</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>	<b>N5</b>
<b>Interferências na nascente</b>	Lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados na nascente (Ex. tubulações que despejam esgoto na nascente, evidências de escoamento de efluentes contaminados, cor da água escura, cheiro de esgoto, entre outros)	(1) Existência permanente de esgoto e/ou efluentes contaminados (3) Indícios de lançamento ou presença de esgoto e/ou efluentes contaminados (5) Ausência de esgoto e/ou efluentes contaminados					
	Lançamento e/ou escoamento de água pluvial na nascente (Ex. tubulações ou canais de água pluvial que desaguam na nascente, indícios de escoamento de água pluvial em direção à nascente, água turba, presença de resíduos comuns)	(1) Existência permanente de lançamento e/ou escoamento de água pluvial (3) Indícios do lançamento e/ou escoamento de água pluvial (5) Ausência de lançamento e/ou escoamento de água pluvial					
<b>Integridade física do solo entorno da nascente</b>	Assoreamento do solo	(1) Forte: nascente totalmente soterrada (3) Intermediária: nascente com presença de sedimentos ou lama (5) Ausência de assoreamento na nascente					
	Movimentação de terra com ferramentas e maquinários (Ex. Terra revirada, revolvida e/ou remexida)	(1) Presença de terras movimentadas com ferramentas e maquinários (5) Ausência de terras movimentadas com ferramentas e maquinários					
	Ocorrência de erosão	(1) Forte: com presença de voçorocas, ravinas, grandes sulcos e áreas extensas de solo exposto na APP e área de interface (3) Intermediária: com presença de sulcos e ocorrência de solos transportados e desagregados na APP (5) Ausência de erosão nas áreas consideradas					
	Compactação do solo (Consequência da urbanização, pisoteio de gado, maquinaria agrícola, lavoura do solo, entre outros)	(1) Forte: solos da APP e área de interface altamente compactados (3) Intermediária: solos da APP em processo de compactação (5) Ausência de compactação dos solos nas áreas consideradas					
<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	Densidade da cobertura de vegetação natural na APP <b>Observação:</b> - Vegetação densa: área com vegetações arbóreas e arbustivas emaranhadas e concentradas no local (mata fechada)	(1) Ausência de cobertura de vegetação natural na APP (3) Vegetação natural de baixa densidade na APP (5) Vegetação natural densa na APP					

Categorias de avaliação	Parâmetros	Respostas de classificação	N1	N2	N3	N4	N5
Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente	- Vegetação de baixa densidade: área como vegetações arbóreas dispersas e não concentradas (mata aberta)						
	Densidade da cobertura de vegetação natural na área de interface <b>Observação:</b> - Vegetação densa: área com vegetações arbóreas e arbustivas emaranhadas e concentradas no local (mata fechada) - Vegetação de baixa densidade: área como vegetações arbóreas dispersas e não concentradas (mata aberta)	(1) Ausência de cobertura de vegetação natural na área de interface (3) Vegetação natural de baixa densidade na área de interface (5) Vegetação natural densa na área de interface					
	Presença de espécies exóticas invasoras na APP e área de interface <b>Observação:</b> -A vegetação exótica está conformada por espécies introduzidas em ambientes diferentes do qual são originárias, que se estabelecem, dominam novas áreas, formam grandes populações e causam a perda da biodiversidade.	(1) Ausência de cobertura de vegetação (1) Predominância de espécies exóticas e invasoras na vegetação da APP e área de interface da nascente (5) Predominância de espécies nativas na vegetação da APP e área de interface da nascente					
	Isolamento e proteção da APP (Ex. Cercas, placas ou sinalizações informativas, vegetação densa sem possibilidade de acesso, entre outros)	(1) APP sem isolamento e/ou desprotegida (3) APP parcialmente protegida (Presença de alguns elementos para proteção) (5) APP isolada e/ou protegida					

Categories de avaliação	Parâmetros		Respostas de classificação	N1	N2	N3	N4	N5
<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente  <b>Observação:</b> Este parâmetro contempla diferentes classes de uso e ocupação do solo que podem impactar a nascente. Para a determinação do estado de conservação serão consideradas apenas as que seja possível avaliar ou determinar, dependendo a localização e características da nascente	Presença de edificações (Ex. Residências, prédios comerciais, construções e infraestruturas urbanas em geral) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes urbanas, peri urbanas e/ou localizadas em áreas edificadas	(1) Presença de edificações na APP e área de interface da nascente (3) Presença de edificações na área de interface da nascente (A) Ausência de edificações nas áreas consideradas					
		Presença de indústrias (Ex. Indústrias de bens de consumo, bens de capital ou bens de produção, indústrias extrativas ou de transformação, entre outras) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes urbanas, peri urbanas e/ou localizadas em áreas edificadas	(1) Presença de indústrias na APP e área de interface da nascente (3) Presença de indústrias na área de interface da nascente (A) Ausência de indústrias nas áreas consideradas					
		Presença de cultivos agrícolas (Ex. cana de açúcar; milho; soja; feijão; arroz; laranja; uva; entre outros) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes rurais e/ou localizadas em áreas agrícolas	(1) Presença de cultivos agrícolas na APP e área de interface da nascente (3) Presença de cultivos agrícolas na área de interface da nascente (A) Ausência de cultivos agrícolas nas áreas consideradas					
		Presença de atividade pecuária (Ex. áreas de pastagem para criação de gado; galinheiros; chiqueiros; celeiros; entre outros) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes rurais e/ou localizadas em áreas de atividade pecuária	(1) Presença de atividade pecuária na APP e área de interface da nascente (3) Presença de atividade pecuária na área de interface da nascente (A) Ausência de atividade pecuária nas áreas consideradas					
		Presença de silvicultura (Ex. Cultivos de eucalipto; pinus; entre outros) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes rurais e/ou localizadas em áreas com silvicultura	(1) Presença de silvicultura na APP e área de interface da nascente (3) Presença de silvicultura na área de interface da nascente (A) Ausência de silvicultura nas áreas consideradas					

categorias de avaliação	Parâmetros		Respostas de classificação	N1	N2	N3	N4	N5
Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente	Classes do uso e ocupação do solo presentes no entorno da nascente	Práticas de queimadas (Ex. Árvores, arbustos, pastagem, galhos e folhas queimadas, cinzas, entre outros) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes com presença de práticas de queimadas no entorno	(1) Presença permanente de práticas de queimadas na APP e área de interface (3) Indícios de práticas de queimadas na APP e área de interface (A) Ausência de práticas de queimadas nas áreas consideradas					
		Presença de rodovias, estradas ou ruas <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes com presença de rodovias, estradas ou ruas no entorno	(1) Presença de rodovias, estradas ou ruas dentro da APP (3) Presença de rodovias, estradas ou ruas na área de interface a montante da nascente (A) Ausência de rodovias, estradas ou ruas nas áreas consideradas					
		Presença de fontes geradoras de partículas sólidas (Ex. Incineradoras de lixo, veículos automotores, beneficiadoras de grão, estradas de terra transitadas, entre outras) <b>Observação:</b> Avaliar apenas em nascentes com presença de pelo menos um tipo de fonte geradora de partículas sólidas no entorno	(1) Presença de fontes geradoras de partículas sólidas na APP e área de interface da nascente (3) Presença de fontes geradoras de partículas sólidas na área de interface da nascente (A) Ausência de fontes geradoras de partículas sólidas nas áreas consideradas					
		Disposição de resíduos comuns, perigosos, urbanos e/ou agrícolas (Ex. Papeis, plásticos, vidro, metais, restos de alimentos, efluentes, embalagens de defensivos agrícolas, fertilizantes ou reativos químicos, animais mortos, resíduos hospitalares, resíduos de construção civil, entre outros) <b>Observação:</b> Avaliar apenas no entorno de nascentes nas quais há disposição inadequada de resíduos	(1) Presença de resíduos sólidos comuns, perigosos, urbanos e/ou agrícolas na APP e área de interface da nascente (3) Presença de resíduos sólidos comuns, perigosos, urbanos e/ou agrícolas na área de interface da nascente (A) Ausência de resíduos sólidos comuns, perigosos, urbanos e/ou agrícolas nas áreas consideradas					

## 2º ETAPA: PESQUISA SOBRE AÇÕES DE CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DESENVOLVIDAS

**Instruções:** Para o preenchimento da segunda etapa do PANÁgua, devem ser considerados os seguintes métodos para coleta das informações requeridas: a observação em campo das condições ambientais das nascentes; entrevistas não estruturadas ou estruturadas às comunidades ao redor; a pesquisa bibliográfica de artigos, documentos, relatórios, planos, dentre outros que possam conter as informações de interesse; e a consulta à órgãos ambientais, grupos de pesquisa, ONGs ou empresas com atuação na área de interesse.

<b>PRESQUISA SOBRE AÇÕES DE CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DESENVOLVIDAS</b>	
<b>Orientações gerais</b>	Caso não seja possível obter essas informações para a avaliação, o profissional poderá optar por escolher a resposta de classificação: <b>indeterminado</b> . Nesta etapa existe um único parâmetro e uma única categoria. Porém observa-se que o parâmetro está composto por alguns itens (sub-parâmetros) que podem ou não ser determinados. Assim, para realizar a avaliação, precisa-se calcular a média das notas dos sub-parâmetros que conseguiram ser avaliados e posteriormente multiplicar esse resultado pelo peso da etapa (0,10).

Categorias de avaliação	Parâmetros	Respostas de classificação	N1	N2	N3	N4	N5
<b>Ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas</b>	Evidências do desenvolvimento de projetos de reflorestamento da APP da nascente específica que está em avaliação <b>Observações:</b> - Caso não for possível obter as informações marque <b>indeterminado</b> .	(1) Ausência de projetos para o reflorestamento da APP da nascente (5) Projetos desenvolvidos para o reflorestamento da APP da nascente (A) Indeterminado					
	Desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes  Estabelecimento de programas ou ações que visem à conservação e/ou à recuperação de nascentes no plano da bacia hidrográfica à qual contribui <b>Observações:</b> - Caso não for possível obter as informações marque <b>indeterminado</b> .	(1) Ausência de programas ou ações relacionadas a conservação e/ou recuperação de nascentes (5) Existência de programas ou ações relacionadas a conservação e/ou recuperação de nascentes (A) Indeterminado					

<p><b>Ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas</b></p>	<p>Desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes</p>	<p>Estabelecimento de programas ou ações que visem o monitoramento da qualidade da água de nascentes no plano da bacia hidrográfica à qual contribui</p> <p><b>Observações:</b> -Caso não for possível obter as informações marque <b>indeterminado.</b></p>	<p>(1) Ausência de programas ou ações relacionadas ao monitoramento da qualidade da água de nascentes (5) Existência de programas ou ações relacionadas ao monitoramento da qualidade da água de nascentes (A) Indeterminado</p>					
		<p>Desenvolvimento de ações de fiscalização, por parte dos órgãos responsáveis, em cumprimento à Lei 12.727 de 2012 (Código florestal) no relacionado às Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia hidrográfica na qual a nascente avaliada contribui</p> <p><b>Observações:</b> -Caso não for possível obter as informações marque <b>indeterminado.</b></p>	<p>(1) Ausência de ações de fiscalização por parte dos órgãos responsáveis (5) Evidências de ações de fiscalização que foram desenvolvidas pelos órgãos responsáveis (A) Indeterminado</p>					
		<p>Estabelecimento de programas ou ações para a sensibilização ambiental sobre a conservação das nascentes no plano da bacia hidrográfica na qual contribui ou em outros documentos relacionados à gestão dos recursos hídricos e planejamento de bacias hidrográficas</p> <p><b>Observações:</b> -Caso não for possível obter as informações para a avaliação marque <b>indeterminado.</b></p>	<p>(1) Ausência de programas ou ações para a sensibilização ambiental relacionados à conservação de nascentes (5) Existência de programas ou ações para a sensibilização ambiental em relação à conservação de nascentes (A) Indeterminado</p>					

<b>Ações de conservação e recuperação adotadas e desenvolvidas</b>	Desenvolvimento de projetos, programas, planos e ações de conservação e/ou recuperação de nascentes	Desenvolvimento de projetos de capacitação para produtores rurais sobre boas práticas edáficas, vegetativas e mecânicas (Ex. Adubação orgânica, recomposição florestal, cultivos em contorno, cordões de vegetação permanente, pastejo rotacionado, construção de terraços, entre outras) <b>Observações:</b> -Caso não for possível obter as informações para a avaliação marque <b>indeterminado.</b>	(1) Ausência de projetos de capacitação a produtores rurais (5) Evidências do desenvolvimento de projetos de capacitação a produtores rurais (A) Indeterminado					
		Existência e/ou permanência de tradições na população que envolvam a existência de nascentes no local e promovam sua conservação (intensões de respeito, admiração e cuidado, reconhecimento da importância, uso sustentável) <b>Observações:</b> -Caso não for possível obter as informações para a avaliação marque <b>indeterminado.</b>	(1) Ausência de tradições na população local (5) Existência de tradições na população local (A) Indeterminado					

### 3º ETAPA: AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS UTILIZANDO SIGs

**Instruções:** A avaliação por SIG busca ampliar e constatar informações sobre as condições ambientais de nascentes de corpos d'água em uma escala maior de aplicação (*buffer* de 1 quilômetro ao redor da nascente). Este processo será realizado por meio da determinação de indicadores desenvolvidos a partir de dados espaciais e geoprocessos simples no SIG complementando com a pesquisa de dados cartográficos previamente elaborados.

**AValiação das Condições Ambientais Utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)**

<b>Orientações gerais</b>	<p>Para aplicar esta etapa do protocolo devem ser realizadas análises pelo SIG considerando como área de aplicação o <i>buffer</i> de 1 quilômetro ao redor da nascente.</p> <p>Alguns mapas necessários para o cálculo dos indicadores são: rede hídrica da bacia hidrográfica; identificação da nascente; elaboração da área de entorno da nascente e o mapeamento do uso e ocupação do solo ou das classes de hemerobia (mudança e intensidade da paisagem em relação à área natural) para a área de aplicação de cada nascente (raio de 1 quilômetro ao redor).</p>
---------------------------	---

<b>Categorias de avaliação</b>	<b>Parâmetros/indicadores</b>	<b>Respostas de classificação</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>	<b>N5</b>
<p><b>Existência de vegetação natural no entorno da nascente</b></p> <p><b>Observação:</b> O entorno da nascente será considerado como a área formada pelo <i>buffer</i> de 1 quilômetro</p>	<p>Respeito ao raio de APP estabelecido na Lei 12.727 de 2012 (Código Florestal Brasileiro)</p>	<p>(1) Menor que 20 metros</p> <p>(2) Maior que 20 metros e menor que 40 metros</p> <p>(3) Maior que 40 metros e menor que 60 metros</p> <p>(4) Maior que 60<sup>o</sup> metros e menor que 100 metros</p> <p>(5) Maior que 100 metros</p>					
	<p>Índice de Quantidade de Fragmentos de vegetação (IQF) (Área de Fragmentos dentro do <i>buffer</i>/Área formada pelo <i>buffer</i> de 1 quilômetro)</p>	<p>(1) IQF maior que 0 e menor que 0,2</p> <p>(2) IQF maior que 0,2 e menor que 0,4</p> <p>(3) IQF maior que 0,4 e menor que 0,6</p> <p>(4) IQF maior que 0,6 e menor que 0,8</p> <p>(5) IQF maior que 0,8 e menor que 1</p>					
<p><b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b></p> <p><b>Observação:</b> O entorno da nascente será considerado como a área formada pelo <i>buffer</i> de 1 quilômetro</p>	<p>Grau de antropização do uso e ocupação do solo no entorno da nascente (Grau de hemerobia)</p>	<p>(1) Predominância do grau meta-hemerobiótico ou substrato artificial (Classes de uso e ocupação do solo: área urbana concentrada)</p> <p>(2) Predominância do grau Eu-hemerobiótico ou de substrato quase artificial (Classes de uso e ocupação do solo: solo exposto; áreas urbanas pouco concentradas)</p> <p>(3) Predominância do grau Meso-hemerobiótico ou agrícola (Classes de uso e ocupação do solo: culturas agrícolas; pastagem; silvicultura)</p> <p>(4) Predominância do grau Oligo-hemerobiótico ou quase natural (Classes de uso e ocupação do solo: reflorestamento; áreas com vegetação seminatural)</p> <p>(5) Predominância do grau A-hemerobiótico ou natural (Classes de uso e ocupação do solo: vegetação natural)</p>					

## APÊNDICE C: CÁLCULO DOS PESOS DE RELÉVANCIA POR MEIO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO

### 1. Processo Analítico Hierárquico para as etapas do PANÁgua

Matriz de hierarquização das classes			
Classes	Avaliação das condições ambientais em campo	Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)
Avaliação das condições ambientais em campo	1	4	5
Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	1/4	1	1/3
Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)	1/5	3	1
$\Sigma$	1,45	8	6,33

Matriz de hierarquização das classes normalizada				
Classes	Avaliação das condições ambientais em campo	Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)	Vetor de classes
Avaliação das condições ambientais em campo	0,6897	0,50	0,7895	<b>0,65</b>
Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas	0,1724	0,1250	0,0526	<b>0,1</b>
Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)	0,1379	0,3750	0,1579	<b>0,25</b>

<b>Matriz do vetor de prioridades</b>					
<b>Classes</b>	<b>Avaliação das condições ambientais em campo</b>	<b>Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas</b>	<b>Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)</b>	<b>P</b>	<b>Vetor de prioridades</b>
<b>Avaliação das condições ambientais em campo</b>	0,6597	0,4667	1,1180	2,2445	3,4022
<b>Pesquisa sobre ações de conservação e recuperação desenvolvidas</b>	0,1649	0,1167	0,0389	0,3205	2,7468
<b>Avaliação das condições ambientais utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIGs)</b>	0,1319	0,3500	0,2236	0,7056	3,1555

## **2. Processo Analítico Hierárquico para as categorias da primeira etapa do PANÁgua**

<b>Matriz de hierarquização das classes</b>				
<b>Classes</b>	<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	<b>Interferências na nascente</b>	<b>Integridade física do solo</b>	<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>
<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	1	1/3	1/3	1/3
<b>Interferências na sobre a nascente</b>	3	1	1	1/2
<b>Integridade física do solo</b>	3	1	1	1/2
<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	3	2	2	1
$\Sigma$	10,0	4,33	4,33	2,33

<b>Matriz de hierarquização das classes normalizada</b>					
<b>Classes</b>	<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	<b>Interferências na nascente</b>	<b>Integridade física do solo</b>	<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	<b>Vetor de classes</b>
<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	0,1000	0,0769	0,0769	0,1429	0,1
<b>Interferências na nascente</b>	0,3000	0,2308	0,2308	0,2143	0,24
<b>Integridade física do solo</b>	0,3000	0,2308	0,2308	0,2143	0,24
<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	0,30	0,4615	0,4615	0,4286	0,42

<b>Matriz do vetor de prioridades</b>						
<b>Classes</b>	<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	<b>Interferências na nascente</b>	<b>Integridade física do solo</b>	<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	<b>P</b>	<b>Vetor de prioridades</b>
<b>Monitoramento qualitativo da água da nascente</b>	0,0992	0,0813	0,0813	0,1376	0,3995	4,028
<b>Interferências na nascente</b>	0,2975	0,2440	0,2440	0,2065	0,9919	4,066
<b>Integridade física do solo</b>	0,2975	0,2440	0,2440	0,2065	0,9919	4,066
<b>Características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente</b>	0,2975	0,4879	0,4879	0,4129	1,6863	4,084

**2.1. Processo Analítico Hierárquico para os parâmetros da categoria monitoramento qualitativo da água da nascente.**

Matriz de hierarquização das classes					
Classes	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	Condutividade elétrica	Turbidez	Presença de espuma	Presença de óleos ou graxas
Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	1	2	3	4	4
Condutividade elétrica	1/2	1	2	4	4
Turbidez	1/3	1/2	1	3	3
Presença de espuma	1/4	1/4	1/3	1	1
Presença de óleos ou graxas	1/4	1/4	1/3	1	1
$\Sigma$	2,33	4,00	6,67	13,0	13,0

Matriz de hierarquização das classes normalizada						
Classes	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	Condutividade elétrica	Turbidez	Presença de espuma	Presença de óleos ou graxas	Vetor de classes
Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	0,4286	0,5000	0,4500	0,3077	0,3077	0,4
Condutividade elétrica	0,2143	0,2500	0,3000	0,3077	0,3077	0,28
Turbidez	0,1429	0,1250	0,1500	0,2308	0,2308	0,18
Presença de espuma	0,1071	0,0625	0,0500	0,0769	0,0769	0,07
Presença de óleos ou graxas	0,1071	0,0625	0,0500	0,0769	0,0769	0,07

Matriz do vetor de prioridades							
Classes	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	Condutividade elétrica	Turbidez	Presença de espuma	Presença de óleos ou graxas	P	Vetor de prioridades
Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	0,3988	0,5519	0,5276	0,2988	0,2988	2,0759	5,2054
Condutividade elétrica	0,1994	0,2759	0,3518	0,2988	0,2988	1,4247	5,1631
Turbidez	0,1329	0,1380	0,1759	0,2241	0,2241	0,8950	5,0885
Presença de espuma	0,0997	0,0690	0,0586	0,0747	0,0747	0,3767	5,0430
Presença de óleos ou graxas	0,0997	0,0690	0,0586	0,0747	0,0747	0,3767	5,0430

## 2.2. Processo Analítico Hierárquico para os parâmetros da categoria interferências na nascente

Matriz de hierarquização das classes						
Classes	Eutrofização	Interferências no fluxo de água	Deslocamento do afloramento da água	Presença de animais de criação	Esgoto	Água pluvial
Eutrofização	1	1/3	1/4	1/2	1/5	1/4
Interferências no fluxo de água	3	1	1/3	1/2	1/3	1/3
Deslocamento do afloramento da água	4	3	1	2	1/3	1/2
Presença de animais de criação	2	2	1/2	1	1/5	1/3
Esgoto	5	3	3	5	1	1/3
Água pluvial	4	3	2	3	3	1
$\Sigma$	19,0	12,33	7,08	12,0	5,0667	2,7500

Matriz de hierarquização das classes normalizada							
Classes	Eutrofização	Interferências no fluxo de água	Deslocamento do afloramento da água	Presença de animais de criação	Esgoto	Água pluvial	Pesos finais
Eutrofização	0,0526	0,0270	0,0353	0,0417	0,0395	0,0909	0,04
Interferências no fluxo de água	0,1579	0,0811	0,0471	0,0417	0,0658	0,1212	0,1
Deslocamento do afloramento da água	0,2105	0,2432	0,1412	0,1667	0,0658	0,1818	0,19
Presença de animais de criação	0,1053	0,1622	0,0706	0,0833	0,0395	0,1212	0,12
Esgoto	0,2632	0,2432	0,4235	0,4167	0,1974	0,1212	0,3
Água pluvial	0,2105	0,2432	0,2824	0,2500	0,5921	0,3636	0,25

Matriz do vetor de prioridades								
Classes	Eutrofização	Interferências no fluxo de água	Deslocamento do afloramento da água	Presença de animais de criação	Esgoto	Água pluvial	P	Vetor de prioridades
Eutrofização	0,0383	0,0318	0,0496	0,0563	0,0620	0,0613	0,2994	7,8124
Interferências no fluxo de água	0,1150	0,0953	0,0661	0,0563	0,1033	0,0818	0,5179	5,4314
Deslocamento do afloramento da água	0,1533	0,2860	0,1983	0,2253	0,1033	0,1227	1,0890	5,4911
Presença de animais de criação	0,0766	0,1907	0,0992	0,1127	0,0620	0,0818	0,6229	5,5288
Esgoto	0,1916	0,2860	0,5949	0,5634	0,3100	0,0818	2,0277	6,5414
Água pluvial	0,1533	0,2860	0,3966	0,3380	0,9299	0,2454	2,3493	9,5742

### 2.3. Processo Analítico Hierárquico para os parâmetros da categoria integridade física do solo

Matriz de hierarquização das classes				
Classes	Assoreamento	Carreamento ou movimentação de terra	Erosão	Compactação
Assoreamento	1	3	1/3	2
Carreamento ou movimentação de terra	1/3	1	1/4	1/2
Erosão	3	4	1	2
Compactação	1/2	2	1/2	1
$\Sigma$	4,83	10,0	2,08	5,50

Matriz de hierarquização das classes normalizada					
Classes	Assoreamento	Carreamento ou movimentação de terra	Erosão	Compactação	Vetor de classes
Assoreamento	0,2069	0,30	0,160	0,3636	0,26
Carreamento ou movimentação de terra	0,0690	0,10	0,120	0,0909	0,1
Erosão	0,6207	0,40	0,480	0,3636	0,46
Compactação	0,1034	0,20	0,240	0,1818	0,18

Matriz do vetor de prioridades						
Classes	Assoreamento	Carreamento ou movimentação de terra	Erosão	Compactação	P	Vetor de prioridades
Assoreamento	0,2576	0,2849	0,1554	0,3626	1,0605	4,1164
Carreamento ou movimentação de terra	0,0859	0,0950	0,1165	0,0907	0,3880	4,0858
Erosão	0,7729	0,3799	0,4661	0,3626	1,9815	4,2514
Compactação	0,1288	0,1899	0,2330	0,1813	0,7331	4,0433

## 2.4. Processo Analítico Hierárquico para os parâmetros da categoria características do uso e ocupação do solo no entorno da nascente

Matriz de hierarquização das classes					
Classes	Vegetação na APP	Vegetação na área de interface	Presença de espécies exóticas	Ocupação do solo entorno a nascente	Isolamento e proteção da APP
Vegetação na APP	1	3	4	1/2	3
Vegetação na área de interface	1/3	1	2	1/3	2
Presença de espécies exóticas	1/4	1/2	1	1/4	1/2
Ocupação do solo entorno a nascente	2	3	4	1	3
Isolamento e proteção da APP	1/3	1/2	2	1/3	1
$\Sigma$	3,9167	8,0000	13,0000	2,4167	9,5000

Matriz de hierarquização das classes normalizada						
Classes	Vegetação na APP	Vegetação na área de interface	Presença de espécies exóticas	Ocupação do solo entorno a nascente	Isolamento e proteção da APP	Vetor de classes
Vegetação na APP	0,2553	0,3750	0,3077	0,2069	0,3158	0,3
Vegetação na área de interface	0,0851	0,1250	0,1538	0,1379	0,2105	0,14
Presença de espécies exóticas	0,0638	0,0625	0,0769	0,1034	0,0526	0,08
Ocupação do solo entorno a nascente	0,5106	0,3750	0,3077	0,4138	0,3158	0,38
Isolamento e proteção da APP	0,0851	0,0625	0,1538	0,1379	0,1053	0,1

<b>Matriz do vetor de prioridades</b>							
<b>Classes</b>	<b>Vegetação na APP</b>	<b>Vegetação na área de interface</b>	<b>Presença de espécies exóticas</b>	<b>Ocupação do solo entorno a nascente</b>	<b>Isolamento e proteção da APP</b>	<b>P</b>	<b>Vetor de prioridades</b>
<b>Vegetação na APP</b>	0,2921	0,4274	0,2875	0,1923	0,3268	1,5261	5,2240
<b>Vegetação na área de interface</b>	0,0974	0,1425	0,1437	0,1282	0,2179	0,7296	5,1210
<b>Presença de espécies exóticas</b>	0,0730	0,0712	0,0719	0,0961	0,0545	0,3668	5,1032
<b>Ocupação do solo entorno a nascente</b>	0,5843	0,4274	0,2875	0,3846	0,3268	2,0106	5,2280
<b>Isolamento e proteção da APP</b>	0,0974	0,0712	0,1437	0,1282	0,1089	0,5495	5,0443

**NOTA:** O valor de n (número de variáveis comparáveis) para as categorias e parâmetros das etapas 2º e 3º do PANÁgua foi insuficiente para a aplicação da metodologia AHP ( $n > 2$ ).

## APÊNDICE D: FOTOS DA ETAPA DE APLICAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS EM CAMPO

### 1. Aplicação da versão preliminar do PANÁgua



Nascente do córrego da Lagoa Dourada  
(Itirapina, SP)



Nascente do Rio Itaquerí (Itaquerí da  
Serra, SP)



Nascente do Rio Itaquerí (Itaquerí da  
Serra, SP)



Nascente do Ribeirão do Tamanduá  
(Itirapina, SP)



Nascente do Ribeirão do Tamanduá  
(Itirapina, SP)



Nascente do Ribeirão do Tamanduá  
(Itirapina, SP)

## 2. Microbacia hidrográfica do Ribeirão do Tamanduá

### 2.1. Nascente NTam\_1



## 2.2. Nascente NTam\_2



## 2.3. Nascentes NTam\_3



#### 2.4. Nascentes NTam\_4



#### 2.5. Nascentes NTam\_5



## 2.6. Nascentes NTam\_6

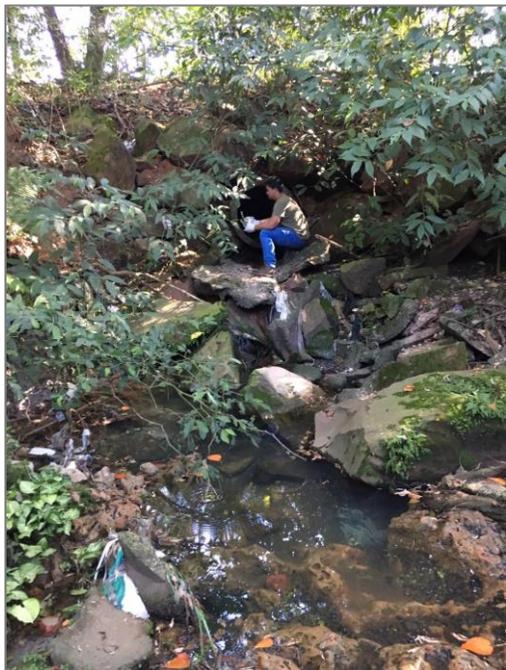


## 2.7. Nascentes NTam\_7



### 3. Microbacia hidrográfica do córrego Mineirinho

#### 3.1. Nascente NMin\_1



#### 3.2. Nascente NMin\_2

