

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**INDICADORES PARA A INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS E O PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Dánika Andrea Castillo Ospina

São Carlos-SP
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

DÁNKA ANDREA CASTILLO OSPINA

**INDICADORES PARA A INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS E NO PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.**

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

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ospina, Danika Andrea Castillo

Indicadores para a integração da Gestão das Águas Subterrâneas e o Planejamento de uso e ocupação do solo / Danika Andrea Castillo Ospina. -- 2018.

186 f. : 30 cm.

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

Orientador: Frederico Yuri Hanai

Banca examinadora: Frederico Yuri Hanai, Rena Bovo Peres, Denilson Teixeira

Bibliografia

1. Gestão das águas subterrâneas. 2. Planejamento de uso e ocupação do solo. 3. Indicadores para 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 da candidata Danika Andrea Castillo Ospina, realizada em 24/07/2018:

Prof. Dr. Frederico Yuri Hanai
UFSCar

Profa. Dra. Renata Bovo Peres
UFSCar

Prof. Dr. Denilson Teixeira
UFG

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Denilson Teixeira 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

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a Deus que é fonte de amor, paciência, fortaleza e sabedoria infinitos e a Glória, Omar e Diego, que são meus motores e minhas razões de luta.

AGRADECIMENTOS

A Pedro José e a sua família, por seu amor e apoio nos momentos mais difíceis deste processo de formação.

Ao professor Frederico Yuri Hanai, por sua orientação, dedicação, paciência e apoio incondicionais, além de acreditar em mim e no meu projeto nas vezes que eu não conseguia.

Aos especialistas Davi Diniz, João Roque Guerrero, Luiz Moschini, Vinicius Dictoro, Stephanie Mazzini, Sidney da Silva e Ana Beatriz Suquizaqui pelas significativas contribuições que foram imprescindíveis no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores Denise Menezes, Renata Peres e Denilson Teixeira pelos muitos ensinamentos e contribuições para o aprimoramento e finalização deste trabalho.

Aos docentes do PPGCAM, pela dedicação e ensinamentos que contribuíram na minha formação como mestranda.

Aos colegas e amigos do PPGCAM, que foram pessoas-chaves no crescimento da minha vida profissional e pessoal, principalmente a Carolcita e Mauricio, pela sua amizade incondicional.

Aos secretários Vinicius Freitas e Anderson Moraes pelo apoio logístico e por serem funcionários de qualidade.

Às minhas famílias são carlenses, pelo seu recebimento, acolhida e ensinamento do dia a dia durante a minha estadia no Brasil.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento desta pesquisa e formação acadêmica.

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

RESUMO

As águas subterrâneas são fonte vital para o desenvolvimento e manutenção da sociedade e do ecossistema hídrico e do solo, portanto é imperativo que as políticas e os instrumentos de gestão ambiental devam estar direcionados a preservar e proteger estes recursos hídricos. Contudo, evidências da perfuração indiscriminada de poços e a contaminação dos aquíferos, como consequência da forma de ocupação do solo, da disposição final dos resíduos líquidos e sólidos, da densidade populacional e do pouco interesse dirigido à gestão das águas subterrâneas, ameaçam a inércia do ciclo hidrológico e a saúde pública e do meio ambiente. Com o passar do tempo, as políticas e os instrumentos da gestão de recursos hídricos têm mostrado a necessidade de abordagens de articulação com o planejamento de uso do solo, demonstrado por diversos estudos que propõem metodologias e instrumentos técnicos que integram as águas subterrâneas como elemento de risco. No entanto, não consideram a necessidade de diretrizes para a integração da gestão e o planejamento, já que a gestão de águas subterrâneas (GAS) e planejamento de uso e ocupação do solo (PUOS) são processos dinâmicos e de relevantes interações. Assim, este estudo investigou, analisou e sugeriu indicadores para uma abordagem integrada entre a GAS e PUOS. Para isso foram empregados os seguintes procedimentos metodológicos: 1) a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), a fim de gerar informações sobre os critérios, aspectos e indicadores potenciais para uma abordagem integradora; 2) a Definição de indicadores potenciais para a abordagem integrada entre GAS e o PUOS, usando critérios de seleção, princípios e descritores definidos 3) o Estabelecimento de prioridades entre indicadores usando o método de priorização ou hierarquização AHP (Analytic Hierarchy Process); 4) a Elaboração e análise da estrutura de indicadores adotando a metodologia de validação 3S e o índice de validade de conteúdo (IVC). Estes processos mostraram que nos últimos 17 anos, as ferramentas identificadas estão mais direcionadas aos aspectos técnicos das águas subterrâneas (monitoramento, dimensionamento do recurso, intensidade de uso) de maneira muito ampla e não tão aprofundadas sobre os aspectos de gestão, gerenciamento e planejamento (participação, avaliação da efetividade de normas sobre GAS e PUOS). Apesar disso, estabeleceu-se uma estrutura de indicadores operacional, funcional, abrangente e consolidada, composta de 20 princípios, 64 descritores e 45 indicadores. Para isso, foram indispensáveis procedimentos sistematizados de seleção, análise e validação dos indicadores propostos. Entretanto, sugere-se estudos futuros para o emprego da estrutura de indicadores de GAS e PUOS, assim como trabalhos para avaliar a sua aplicabilidade em um estudo de caso, com realidades socioeconômicas, políticas e ambientais específicas.

Palavras-chave: *estrutura de indicadores; águas subterrâneas; planejamento do uso e ocupação do solo; processo analítico hierárquico; índice de validade de conteúdo; metodologia 3s.*

ABSTRACT

Groundwater is a vital resource to the society and water ecosystem. Therefore, environmental management policies and instruments need to be directed at preserving and protecting it. However, there are current evidences of indiscriminate drilling of wells and contamination of aquifers as a consequence of landuse, final disposition of liquid and solid wastes, population density and gaps in the groundwater management. These facts are threats to the hydrological cycle and the public and environment health. Recently, groundwater policies and instruments have showed a need for an articulated approach with landuse planning and diverse studies proposed methods and techniques where groundwater was an element in risk. Nevertheless, these studies did not contemplate guidelines for integration of groundwater management (GAS) and landuse planning (PUOS). Therefore, the goal of this work is research, analyze and suggest indicators for integration of GAS and PUOS. The research is developed by the following steps: 1) Systematic literature review (RBS), to generate information about criteria, aspects and potential indicators within an integration approach. 2) Definition of potential indicators to create an integration approach between groundwater management and landuse planning, using the criteria, principles and descriptors defined; 3) Defininition of priorities between indicators adopting an analytic hierarchy process (AHP) ; 4) Development and anyzing an indicator framework adopyting the 3S methodology and the content validity index (IVC). The results indicated that there are many tools related with monitoring, dimensioning, use intensity of groundwater and few tools about participation, normative efficiency in management groundwater and landuse planning. Despite, this information was useful to formulate an indicator framework and it has 20 principles, 64 descriptors and 45 indicators and was created with differents systematized procedures, such as, selection, analysis and validation. However, future studies are necessary for the use of the GAS and PUOS indicator framework, as well as, studies to evaluate indicators applicability in a case study with specific socioeconomic, political and environmental realities.

Keywords: *Indicator framework; groundwater; landuse planning; principle; criteria; Analytic Hierarchy Process; content validity index.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de revisão da literatura _____	32
Figura 2 – Fluxograma de procedimentos metodológicos da pesquisa _____	36
Figura 3 – Formulário de armazenamento de resumos. _____	48
Figura 4 – Formulário de informações. _____	48
Figura 5 – Fluxograma da metodologia de revisão bibliográfica sistemática. _____	50
Figura 6 – Número de ocorrências de estudos agrupados por base de dados relacionadas à área de Ciências Ambientais. _____	51
Figura 7 – Porcentagem de resumos selecionados por base de dados. Fonte: AUTOR55	
Figura 8 – Porcentagem de artigos selecionados para leitura completa. _____	57
Figura 9 – Distribuição de tipo de elementos encontrados nos estudos selecionados	58
Figura 10 – Porcentagem de estudos classificados por temas. _____	59
Figura 11 – Porcentagem de indicadores e princípios classificados por tema. _____	60
Figura 12 – Evolução dos estudos selecionados no período de 2000-2017. _____	61
Figura 13 – Evolução do tipo de informação encontrada nos estudos ao longo do período de 2000-2017 _____	62
Figura 14 – Número de estudos selecionados por periódico _____	63
Figura 15 – Porcentagem de estudos classificados por Intervalo. _____	64
Figura 17 – Distribuição dos descritores por princípio. _____	87
Figura 18 – Número de indicadores por princípio. _____	87
Figura 19 – Matriz de comparação com as somatórias por coluna _____	106
Figura 20 – Matriz com proporções e médias dos indicadores (Vetor de classes) ____	106
Figura 21 – Matriz com valores de prioridades _____	107
Figura 22 – Índices aleatórios (RI) _____	108
Figura 23 – Fluxograma da pesquisa _____	109
Figura 24 – Número de indicadores por descritor _____	110
Figura 25 – Número de indicadores resultantes após da aplicação da técnica AHP e da análise por quartis. _____	110
Figura 26 – Porcentagem de indicadores após a análise do AHP _____	112
Figura 27 – Fluxograma de procedimentos metodológicos capítulo 4 _____	122
Figura 28 – Escala de Likert para a avaliação dos indicadores _____	133
Figura 29 – Índice de Validade de Conteúdo (IVC) de cada indicador atribuído pelo grupo de especialistas em indicadores _____	135
Figura 30 – Índice de Validade de Conteúdo de cada indicador atribuído pelo grupo de especialistas em gestão de águas subterrâneas e em planejamento do uso e ocupação do solo. _____	137

Figura 31 – Número de indicadores finais por princípio após análise com IVC do grupo de especialistas nas áreas de GAS e PUOS _____ 139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala de preferências em AHP.....	34
Tabela 2 – Palavras chave para a busca de fontes primárias da revisão	44
Tabela 3 – Strings de busca na RBS	46
Tabela 4 – Número de ocorrências por Strings nas bases de dados.....	52
Tabela 5 – Número de estudos selecionados na leitura da introdução e da conclusão.	55
Tabela 6 – Princípios, descritores e número de indicadores correspondentes.	80
Tabela 7 – Princípios e descritores da estrutura sistêmica de indicadores.	97
Tabela 8 – Escala de hierarquização para matriz de comparação no AHP.	105
Tabela 9 – Princípios e descritores para uma estrutura de indicadores para a integração da GAS e PUOS	124
Tabela 10 – Critérios para seleção de indicadores.	131
Tabela 11 – Critérios específicos adotados para a seleção de indicadores.....	133
Tabela 12 – Estrutura de indicadores para a integração dos processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.	142

LISTA DE SIGLAS

GAS - Gestão da Águas Subterrâneas

PUOS – Planejamento de Uso e Ocupação do Solo

P, D & I – modelo de Princípios, Descritores e Indicadores

RBS – Revisão Bibliográfica Sistemática

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

IVC – Índice de Validade de Conteúdo

SUMÁRIO

CAPÍTULO INICIAL	16
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	17
I. INTRODUÇÃO	18
II. JUSTIFICATIVA	27
III. QUESTÕES INDUTORAS DA PESQUISA	29
IV. OBJETIVOS	30
IV.1 – OBJETIVO GERAL	30
IV.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
V. METODOLOGIA	30
i. Revisão Bibliográfica Sistemática	31
ii. Identificação de critérios de avaliação de indicadores, princípios e descritores para a integração da gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo.	32
iii. Definição de indicadores potenciais para a abordagem integrada entre a gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	33
iv. Análise dos resultados	34
Capítulo 1. Revisão da Literatura	37
1.1 INTRODUÇÃO	38
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS	42
1.2.1 Planejamento teórico da Revisão Bibliográfica Sistemática	42
1.2.2 Execução da Revisão Bibliográfica Sistemática	43
1.2.2.1 Etapa 1. Entradas.....	43
1.2.2.2 Etapa 2. Procedimento	47
1.2.2.3 Etapa 3. Avaliação dos estudos selecionados e Saída de um banco de critérios de avaliação de indicadores, princípios e indicadores para a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.	49
1.2.3 Análise da Revisão Bibliográfica Sistemática	49
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
1.3.1 Seleção de bases de dados	51
1.3.2 Aplicação do procedimento 1- Leitura de resumos.....	52

1.3.3	Aplicação do procedimento 2- Leitura da introdução e da conclusão dos artigos).	55
1.3.4	Aplicação do processo 3 e geração de banco de indicadores, critérios e princípios	57
1.3.5	Informação classificada por tema do estudo	59
1.3.6	Análise da Evolução no tempo	60
1.3.7	Análise sobre os Periódicos de publicação	62
1.3.8	Análise sobre os Autores	65
1.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
2	Capítulo 2. Proposta de Estrutura de Princípios, Descritores para integrar a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo	70
2.1	INTRODUÇÃO	71
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS	73
2.2.1	Definição de princípios para a gestão integrada das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo	74
2.2.2	Identificação, categorização e agrupamento de indicadores	74
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
3	Capítulo 3. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e Análise por quartis para a seleção de indicadores	92
3.1	INTRODUÇÃO	93
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	95
3.2.1	Estrutura de princípios, descritores e indicadores	95
3.2.2	Definição de indicadores para todos os princípios e descritores	104
3.2.3	Processo Analítico Hierárquico (AHP)	104
3.2.4	Processo Analítico Hierárquico (AHP)	104
3.2.5	Processo de análise por quartis	108
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	109
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
4	Capítulo 4 - Validação de indicadores para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo	115
4.1	INTRODUÇÃO	116

4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	120
4.2.1	Estrutura de princípios, descritores e indicadores para uma abordagem integrada da gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.....	122
4.2.2	Avaliação de indicadores adotando-se critérios específicos de avaliação	123
4.2.3	Análise dos indicadores por meio do Índice de Validade do Conteúdo (IVC)..	134
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	152
	CONCLUSÕES.....	154
	VII. REFERÊNCIAS	162
	APÉNDICE A- PROTOCOLO DE BUSCA DA RBS.....	173
	APENDICE B – LISTA DE PERIÓDICOS ENCONTRAODOS E NÚMERO DE INDICADORES, PRINCIPIOS E CRITÉRIOS EXTRAÍDOS.....	182

CAPÍTULO INICIAL

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é uma compilação dos processos metodológicos e resultados obtidos para o levantamento e análise da seleção dos indicadores para a integração dos processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Esta pesquisa foi apresentada em (4) capítulos, estruturados em formato de artigo e divididos conforme as principais temáticas e discussões envolvidas da pesquisa, cuja distribuição é relatada da seguinte forma:

- O capítulo 1 relata de forma detalhada o planejamento, a execução e a análise da revisão bibliográfica realizada de forma sistemática (RBS). Nele mostram-se as lacunas e as potencialidades das informações da literatura científica sobre indicadores, princípios e critérios de avaliação/seleção nos temas de GAS e PUOS;
- O capítulo 2 exhibe os conceitos sobre a estrutura hierárquica P, D & I, (Princípios, Descritores e Indicadores) e como a estrutura considerada para esta pesquisa proporcionou suporte para o agrupamento dos indicadores identificados na RBS, assim como a estratégia para definir uma estrutura de integração da GAS e o PUOS;
- No capítulo 3, mostrou-se a forma como o Processo analítico Hierárquico (AHP) foi adotado e funcionou como técnica de seleção dos indicadores, complementada pela análise estatística descritiva e a importância do desenvolvimento da seleção objetiva de indicadores;
- No capítulo 4, validaram-se os indicadores por dois grupos. O primeiro grupo formado por especialistas em indicadores avaliou a operacionalidade dos indicadores e o segundo grupo composto por especialistas em GAS e PUOS avaliou a aplicabilidade destes indicadores nos processos de gestão e planejamento. Neste processo de avaliação, utilizaram-se critérios de seleção e o índice de validade de conteúdo (IVC) como métodos para gerar a estrutura

integrada de indicadores para a GAS e o PUOS;

- O último capítulo apresenta as conclusões da pesquisa, relacionadas à relevância da integração da GAS e do PUOS, as contribuições metodológicas e as perspectivas para futuras pesquisas.

De forma geral, os capítulos correspondem às etapas metodológicas, caracterizando-se a primeira pelo levantamento dos indicadores e princípios nas bases de dados (capítulo 1), na segunda etapa (capítulo 2) pela definição dos princípios, descritores e agrupamento dos indicadores encontrados, na terceira (capítulo 3) dos indicadores agrupados, selecionaram-se os indicadores usando o processo analítico hierárquico – AHP e por último na última etapa (capítulo 4), os indicadores da etapa anterior foram avaliados por especialistas em indicadores, em gestão das águas subterrâneas e em planejamento de uso e ocupação do solo, gerando uma lista de indicadores selecionada e validade cientificamente, agrupada por princípios de gestão.

É importante ressaltar que este formato de redação da dissertação de mestrado tem sido amplamente usado pela sua efetividade em facilitar a publicação dos resultados da pesquisa e por viabilizar as análises e a interpretação detalhadas dos resultados apesar da redação de alguns textos repetitivos exigidos pela descrição de alguns métodos e elementos similares em cada capítulo.

I. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são fundamentais para a manutenção e contribuição aos caudais de rios, mananciais, lagos e estuários, e têm um papel importante em muitos processos geológicos (SAHUQUILLO; CUSTODIO; LLAMAS, 2005). Esta importância é ressaltada pelo Ministério do Meio Ambiente no programa de Águas Subterrâneas mencionando que:

“As águas subterrâneas representam a parcela da chuva que se infiltra no subsolo e migra continuamente em direção às nascentes, leitos de rios,

lagos e oceanos. Os aquíferos, ao reterem as águas das chuvas, desempenham papel fundamental no controle das cheias. Nos aquíferos, as águas encontram proteção natural contra agentes poluidores ou perdas por evaporação.” (BRASIL, 2001, p. 10).

Além destas qualidades, o recurso hídrico subterrâneo é fundamental para o desempenho das atividades desenvolvidas pelo setor público ou privado e para o suprimento das necessidades de água nas comunidades, seja como fonte hídrica principal ou secundária.

No Brasil, as análises preliminares sobre o abastecimento de água indicam que os aquíferos atendem de 30 a 40% da população do país, sobretudo em cidades de médio e pequeno porte (HIRATA; ZOBY; OLIVEIRA, 2010). Estes valores podem ser justificados pelos seguintes motivos: a existência da má qualidade e da escassez dos recursos hídricos superficiais; a pequena vulnerabilidade das águas subterrâneas aos efeitos das secas (SAHUQUILLO; CUSTODIO; LLAMAS, 2005); e ao menor número e complexidade de obras para sua captação e operação em comparação com as águas superficiais (BELLINO, 2012).

Não obstante, a mudança feita com a perfuração indiscriminada de poços, o consumo excessivo e a contaminação dos aquíferos, causados pelo pouco interesse dirigido à gestão das águas subterrâneas, estão ameaçando a inércia do ciclo hidrológico e gerando a salinização irreversível dos aquíferos, que além de ter incidência sob a saúde pública e o meio ambiente, pode representar uma diminuição efetiva da sua disponibilidade (SAHUQUILLO, 2009).

De igual forma, o uso e ocupação do solo exerce forte influência sobre a água infiltrada no solo e conseqüentemente sobre as águas subterrâneas, decorrente da forma de ocupação do solo, da disposição final dos resíduos líquidos e sólidos e da densidade populacional (SILVA, 2015; HIRATA; ZOBY; OLIVEIRA, 2010; MENEZES, 2012). Nesse contexto, a gestão das águas subterrâneas (GAS) enfrenta o desafio de proteger um bem oculto, que envolve os dois principais recursos de natureza política: água e solo (VILLAR, 2010).

Atualmente, a gestão de águas no Brasil está estabelecida pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH - Lei nº 9433/97), que considera a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão, e adiciona além de um formato descentralizado, participativo e integrado, o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGREH) para a articulação da gestão entre as distintas esferas políticas (União, Estado, Município).

Apesar das potencialidades da Política Nacional de Recursos Hídricos, ela não determina uma estrutura específica para a gestão das águas subterrâneas. Porém, o plano de bacia e a outorga abordam algumas peculiaridades das águas subterrâneas (VILLAR, 2008).

O plano de recursos hídricos, especificamente o Plano de Bacia, é amplamente usado, já que contém programas, projetos e estudos para a proteção dos recursos hídricos de forma estratégica com o uso e ocupação do solo (PERES; SILVA, 2013)

Mas, com a implementação dos Planos de Bacia, existem diversos desafios relacionados à definição de questões ambientais nas metas e diretrizes, à harmonização dos conflitos de uso e à articulação com instrumentos de uso do solo (IORIS, 2008).

Desta forma, os instrumentos existentes nesta política não contemplam diretrizes específicas para a gestão das águas subterrâneas, como programas governamentais de longo prazo para o setor e de disponibilidade de informações hidrogeológicas (ZOBY, 2008). Assim, se exige definir uma abordagem ampliada, integral e inclusiva da gestão de águas por parte da PNRH, e incrementar estudos bases para a gestão de águas subterrâneas.

Com relação ao planejamento e à gestão do uso e ocupação do solo (PUOS), a Lei 6.938 de 1981 estabelece instrumentos e critérios para o planejamento do território, com objetivo de garantir a distribuição espacial das atividades, considerando as características físicas, biológicas, socioeconômicos e institucionais e desta forma

estabelecer investimentos e ações nas áreas de menor vulnerabilidade e maior aptidão, áreas de proibições, restrições e alternativas de exploração do território.

Mas essa concepção de planejamento no Brasil está focada na questão físico-territorial, principalmente em escala local, direcionada na cidade. Portanto, Peres e Silva (2013) afirmam que o principal instrumento brasileiro para regular o uso e a ocupação do solo e definir parâmetros para o cumprimento da função social da cidade e da propriedade, é o estatuto da cidade. Este foi proposto para garantir o desenvolvimento de municípios sustentáveis, com o crescimento planejado e ordenado (SATÍN; CORTE, 2010).

O Estatuto da cidade (BRASIL, 2001- Lei 10.257/2001) define o plano diretor como um dos instrumentos principais de planejamento. Mas considerando no seu artigo 42-A que “O conteúdo do plano diretor deverá ser compatível com as disposições inserir nos planos de recursos hídricos”, reafirma-se a necessidade da articulação da gestão e planejamento dos recursos hídricos e do solo.

Assim, o planejamento de uso e ocupação do solo representa uma estratégia base para a orientação e a organização de projetos, planos e programas, a fim de obter uma ferramenta dinâmica e integrada a outros instrumentos de gestão (MONTAÑO *et al.*, 2007).

Magalhães (2010) afirma que, especificamente, os instrumentos de planejamento do território fornecem suporte à gestão dos recursos hídricos atendendo à necessidade de incluir os recursos hídricos como fator ambiental no momento de estabelecimento de políticas de desenvolvimento para o território (MONTAÑO, 2002).

A água e o solo, como componentes de um ecossistema, interagem e se relacionam no momento que os diversos fatores, como a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia, influenciam sobre a quantidade e velocidade da circulação da água.

Percebe-se assim, que o estudo do solo é imprescindível para o planejamento dos recursos hídricos, sendo que está diretamente ligado ao ciclo hidrológico, pois este auxilia no movimento das águas nas suas diferentes etapas (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

Um avanço dentro dessa perspectiva sistêmica é considerar a água e o solo, dentro dos processos de gestão e planejamento, como componentes interligados por estarem em um mesmo ecossistema, e que possuem direta ou indiretamente a função comum de dar suporte e fornecer os elementos fundamentais e vitais para a manutenção e desenvolvimento da sociedade.

Tanto as políticas de gestão e planejamento quanto os instrumentos da gestão de recursos hídricos e planejamento de uso e ocupação do solo, têm mostrado a necessidade de considerar abordagens de articulação, como indica a Política Nacional de Recursos Hídricos, que em seu artigo 3º tem como diretriz “a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo” (BRASIL, 1997), e também reafirma no seu artigo 31º ao conferir ao poder executivo que: “os Poderes Executivos dos Municípios promoverão a integração das políticas locais de uso, ocupação e conservação do solo com as políticas federais e estaduais de recursos hídricos” (BRASIL, 1997).

Um dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídrico com potencialidades de articulação é o Plano de Bacia Hidrográfica, que com a definição de ações, programas e projetos de gestão e considerando os demais programas e estudos que incorporem a proteção dos recursos hídricos como os planos municípios de uso e ocupação do solo (planos diretores), asseguram a integração e a perspectiva sistêmica da água (PERES; SILVA, 2013).

Com esta perspectiva de integração entre os instrumentos para o gerenciamento da água e o planejamento de uso do solo, demonstra-se que existe um interesse e uma necessidade de considerar os processos de GAS e PUOS como processos integrados, possibilitando o compartilhamento de responsabilidades, planos, ações, programas e informações.

Esta articulação, apesar de ser relevante e pertinente por incluir uma perspectiva sistêmica e holística do ecossistema no gerenciamento da água e planejamento de uso e ocupação do solo, implica em diversos desafios relacionados aos conflitos de interesses, à setorização dos processos de gestão e planejamento e à produção de informações interdisciplinares.

Segundo o Silva; Porto, (2003), os desafios de integração do gerenciamento do recurso hídrico centram-se na: integração entre sistemas e atividades relacionados com o uso ou impacto direto da água numa localidade da bacia hidrográfica; integração territorial com entidades responsáveis pelo planejamento e gestão urbana; articulação regulada com os setores de habitação e transporte urbanos; e a articulação entre bacias hidrográficas vizinhas.

Assim, para constatar a consideração destes aspectos do recurso hídrico e planejamento da ocupação do solo é indispensável articular os diversos instrumentos e ferramentas específicas relacionadas ao recurso hídrico com ferramentas de gestão e planejamento do uso e ocupação solo.

No caso específico das águas subterrâneas, muitos estudos mostram um retrato da integração atual das águas subterrâneas no planejamento regional por meio da aplicação de metodologias que consideram as águas subterrâneas como elemento em risco, e desta forma facilitar a compreensão das preocupações, competências, recursos, necessidades e interesse dos planejadores em águas subterrâneas (LAVOIE *et al.*, 2015). Mas estes estudos associam-se à avaliação de riscos de contaminação, projeção de cenários de uso, ou outros aspectos técnicos da gestão da água e do planejamento do uso do solo, que não garantem uma gestão integrada.

Assim, temas enfatizados nas diretrizes de gestão, formas de implementação dos planos de bacias hidrográficas ou planos municipais e estratégias de articulação do GAS e o PUOS, são escassos. Conforme afirma Peres (2012), a articulação de metodologias e de instrumentos técnicos não é suficiente para criar uma gestão integrada do sistema recurso água e solo, já que existem limitações no campo de

políticas e, para garantir essa articulação, devem ser considerado que a GAS e o PUOS são processos dinâmicos e de relevantes interações.

Por isso, exige-se a necessidade de identificar os diversos instrumentos existentes e ferramentas disponíveis, e de que forma estes poderiam ser utilizados para garantir a gestão de recursos hídricos de forma articulada com o planejamento do uso e ocupação do solo (CARNEIRO; CARDOSO; AZEVEDO, 2008).

Percebendo a ausência de instrumentos e diretrizes específicas para a gestão das águas subterrâneas e os desafios atuais com a gestão e o planejamento, é necessário criar estratégias para abordar simultaneamente os aspectos envolvidos na gestão ambiental de forma integrada, que podem ser viabilizadas por meio de ferramentas de planejamento e indicadores de gestão ambiental.

Além de reconhecer que estas abordagens de integração da gestão e planejamento da água e o solo são relevantes, também é indispensável o uso de instrumentos específicos que garantam esta articulação. Uma das formas para propor estes instrumentos é o estabelecimento de estruturas hierárquicas ou cadeias conceituais que suportem o desenvolvimento dos objetivos dos processos de gestão, permitindo analisar e avaliar de forma abrangente todos os aspectos em discussão.

Portanto, nesta pesquisa será apresentada uma proposta de estrutura de indicadores visando integrar os processos de Gestão das Águas Subterrâneas (GAS) e de Planejamento de Uso e Ocupação de Solo (PUOS). Esta estrutura está conformada por princípios, descritores e indicadores, que são ferramentas potenciais para atingir esta abordagem integrada.

Para formular esta estrutura, foram desenvolvidos diversos procedimentos metodológicos baseados em técnicas multicritério, métodos de seleção, definição, validação de indicadores, usando quantidade numerosa de informações disponíveis na literatura científica.

Dentre as possíveis ferramentas disponíveis na literatura destacam-se as estruturas e os sistemas de indicadores, que podem ser úteis na modelagem de perspectivas e conceitos, auxiliando de forma lógica a organização e o uso de grande quantidade de informações (GENG *et al.*, 2014).

Os indicadores, ao captar as integrações dos fatores-chave e estratégicos (DUARTE; MALHEIROS, 2012), fornecem informação sintética para avaliar os problemas, permitem analisar objetivamente as condições atuais e situações desejáveis, mostram tendências dos processos de desenvolvimento ao longo do tempo e reconhecem metas e objetivos (HANAI; ESPÍNDOLA, 2016) Isto os define como ferramentas adequadas para compatibilizar o planejamento do uso do território com a gestão de recursos hídricos.

A proposição destes indicadores, além de incentivar a integração do planejamento do uso do território com a gestão de recursos hídricos, representa um passo fundamental para atingir um dos objetivos estabelecidos pelas Nações Unidas (2015) na Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, relacionado a “*Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos*”, considerando a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis.

Para definir os indicadores considerando a gestão integrada dos recursos hídricos, e especificamente a GAS e o PUOS, existem modelos/estruturais (*frameworks*) de indicadores que orientam a coleta, organizam as informações e ajudam na interpretação e na comunicação, determinando as tendências vinculadas e/ou sinérgicas e as principais tensões e causas subjacentes aos problemas de sustentabilidade (TAYRA; RIBEIRO, 2006).

A partir das diferentes perspectivas de sustentabilidade ambiental, ao longo do tempo foram estabelecidas diferentes sistemas de indicadores, tais como: a Estrutura das Nações Unidas para o desenvolvimento de estatísticas ambientais (FDES – *Framework for the Development of Environment Statistics*), que reúne sistematicamente as estatísticas ambientais e os indicadores, sem definir relações

entre eles. Também está o marco proposto pela CDS (Comissão de Desenvolvimento Sustentável) da ONU, que agrupa os indicadores em quatro dimensões- chaves de sustentabilidade: ambiental, econômico, social e institucional (ANTEQUERA; GONZÁLEZ, 2005; HANAI; ESPÍNDOLA, 2016).

Por último, o sistema Princípios, Critérios e Indicadores (P, C & I), que nesta pesquisa é denominada P, D & I, (Princípios, Descritores e Indicadores), é um dos modelos mais versáteis e utilizados de indicadores, e consiste em estruturar tematicamente uma listagem de princípios e critérios ou descritores com indicadores que respondam aos temas propostos nos critérios fundamentais para a execução e avaliação de processos de gestão e gerenciamento dos recursos (VAN CAUWENBERGH *et al.*, 2007).

Esta estrutura conceitual orienta a formulação de parâmetros específicos consistentes e coerentes, a partir de uma estrutura hierárquica, incrementando a probabilidade de cobrir todos os aspectos importantes a serem avaliados e monitorados, gerando uma relação transparente entre o parâmetro que é medido com o princípio ao que está relacionado (LAMMERTS VAN BUEREN; BLOM, 1997)

Esta estrutura sistêmica está configurada por diversos elementos e níveis hierárquicos classificados por Pokorny *et al.*, 2003 em: Princípios, que se definem como uma verdade ou lei fundamental que delinea o raciocínio ou ação do manejo sustentável dos recursos; Critérios ou Descritores, que correspondem a princípios de “segunda ordem”, ou seja, temas genéricos mais específicos que possibilitam maior operacionalidade ao definir os indicadores; e os Indicadores, que corresponde a uma variável ou componente que define a condição ou estado do sistema em relação a um critério ou descritor determinado, com o objetivo de transmitir uma informação significativa para a gestão dos recursos.

A estrutura P, D & I, fundamenta-se na ideia de que os indicadores devem estar inseridos em um sistema, permitindo que a avaliação e o monitoramento dos processos de gestão e planejamento sejam adequados e integrados (HOLVOET;

MUYS, 2004; POKORNY *et al.*, 2003; PRABHU; COLFER; SHEPHERD, 1998). Deste modo, esta estrutura converte-se em uma ferramenta de incentivo para a integração da gestão e na proteção das águas subterrâneas com o planejamento de uso e ocupação do solo, visando gerenciar adequadamente a ocupação do solo e a conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

II. JUSTIFICATIVA

As águas subterrâneas como recurso representam para a sociedade uma fonte vital, sendo imperativo que as políticas e os instrumentos de gestão ambiental devam estar direcionados a preservar e proteger estes recursos hídricos. Assim, todas as estratégias e soluções de gestão e planejamento ambientais devem centrar-se no estabelecimento de sistemas políticos, sociais e econômicos que sejam capazes de manter o comportamento natural e dinâmico do sistema hídrico.

No entanto, as práticas agrícolas inaptas, o desmatamento envolvido na agricultura itinerante, o estabelecimento inapropriado da ocupação do solo, desproteção das fontes hídricas (que influenciam na qualidade e quantidade do recurso hídrico e geram implicações socioeconômicas) mostram que as soluções e estratégias de gestão e planejamento são executadas inadequadamente, ou não são apropriadas.

As políticas e os instrumentos da gestão de recursos hídricos e do solo têm adquirido ajustes que mostram a necessidade de enfoques integradores entre eles. Assim, Farah (2000) afirma que existem e são relevantes as iniciativas que buscam integrar os aspectos da gestão pública do urbano e regional com a conservação e preservação do ambiente e que de acordo

Além desta preocupação por parte do arranjo de gestão pública, existem diversos estudos que têm mostrado os diversos desafios e as necessidades de considerar estes enfoques articulados na GAS e no PUOS. Como por exemplo, Peres; Silva (2013) afirmam que existe uma necessidade de criação de estruturas

consociadas em uma mesma bacia hidrográfica, centradas na integração das ações e políticas públicas territoriais com os interesses da sociedade civil e das instituições responsáveis para o processo de planejamento do solo.

Segundo Carneiro; Cardoso e Azevedo (2008), os avanços percebidos deste enfoque articulado dos planos municipais do território com o tema dos recursos hídricos são muito genéricos e não tem uma forte relação entre as estruturas de gerenciamento dos recursos hídricos com os instrumentos de planejamento.

Magalhães (2010) e Souza (2007) afirmam que é imprescindível o desenvolvimento de mecanismos de articulação da atividade de planejamento, que minimizem incompatibilidades e inconsistências entre a gestão da água e do solo.

Desta forma, evidencia-se não só o interesse de tratar o recurso hídrico nos planos e instrumentos de gestão do solo, mas também a existência de desafios para a gestão de água e do solo, visando integrar as diferentes políticas setoriais (FIDELIS; ROEBELING, 2014).

Porém, pouco tem sido realizado especificamente para a gestão das águas subterrâneas com relação a procedimentos, instrumentos, diretrizes, modelos e indicadores específicos considerando a necessidade de integrar a GAS com o PUOS.

Portanto, os modelos hierárquicos de indicadores são essenciais para o atendimento destas necessidades, já que são fundamentais para o diagnóstico, a avaliação e o monitoramento das atividades relacionadas à regulação do solo e à gestão das águas subterrâneas.

Deste modo, os indicadores que integrem a gestão de águas subterrânea com o planejamento de uso e ocupação do solo, são bases fundamentais para o cumprimento desses objetivos e diretrizes, pois o planejamento do uso do solo e a gestão de águas subterrâneas não devem ser considerados e tratados em esferas isoladas.

Além de reconhecer que existe uma carência de instrumentos e indicadores para articular a GAS e o POUS, é imprescindível ressaltar que a água subterrânea (por sua natureza oculta de não ser visível) é muitas vezes desconsiderada na gestão e quase sempre subavaliada, sobretudo onde não se pode controlar sua exploração (KEMPER *et al.*, 2006).

Esta problemática é justificada por Villar (2008), que menciona a falta de integração e articulação entre os diversos órgãos e atores que tratam do tema, prejudicando a implantação e a aplicação de uma política eficaz para as águas subterrâneas. Isto é causado principalmente pela carência de estudos sobre as águas subterrâneas e da análise de potencialidades e vulnerabilidades do ambiente natural (DA SILVA, 2015; HIRATA; ZOBY; OLIVEIRA, 2010; VILLAR; RIBEIRO, 2009; ZOBY, 2008)

Assim, um sistema de indicadores para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo é fundamental para auxiliar na tomada de decisões de planejamento e na gestão de águas subterrâneas, viabilizando subsídios relevantes e informações para a análise da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos e do uso do solo, visando atender à demanda de pesquisas relacionadas a esta temática precariamente abordada.

III. QUESTÕES INDUTORAS DA PESQUISA

De acordo com os desafios e as problemáticas apresentadas anteriormente, pode-se formular as seguintes perguntas de pesquisa:

- Existem indicadores, princípios e critérios de avaliação que permitam integrar os processos de Gestão de Águas Subterrâneas (GAS) e Planejamento de Uso e Ocupação do Solo (PUOS)?

- Quais são os procedimentos metodológicos e ferramentas mais adequados para definir uma estrutura de indicadores com abordagem de integração entre a GAS e o PUOS?
- É possível propor uma estrutura (sistema) de indicadores com abordagem de integração entre a GAS e o PUOS?

IV. OBJETIVOS

IV.1 – OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve como objetivo analisar e sugerir indicadores para o processo de gestão de águas subterrâneas (GAS) integrado ao de planejamento de uso e ocupação do solo (PUOS) visando propor um modelo Princípios, Descritores e Indicadores destes processos

IV.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar critérios de avaliação, princípios e indicadores potenciais para a abordagem integrada entre a GAS e o PUOS;
- Analisar a relevância e validade científica da seleção dos indicadores propostos por meio de ferramentas estratégicas.

V. METODOLOGIA

Segundo a classificação feita por Gil (2008), a pesquisa aplicada é aquela que a partir de conhecimentos científicos desenvolvidos, tem interesse na aplicação, utilização e consequências práticas do conhecimento. Dentro dos níveis de pesquisa, esta é considerada como descritiva, já que descreve um fenômeno, identificando os problemas, justificando condições e visando aclarar situações para as decisões em planos e projetos (GRESSLER, 2003).

Para (GIL, 2008), a pesquisa descritiva define as características de um fenômeno ou estabelece relações entre variáveis a serem investigadas. Assim, ao se observar a natureza da presente pesquisa e de seus objetivos, pode-se considerá-la como aplicada e descritiva.

Para estudar, analisar, propor indicadores e estabelecer um sistema de indicadores baseado na estrutura P, D & I (Princípios, Descritores e Indicadores), foi necessário executar diferentes métodos de coleta de dados.

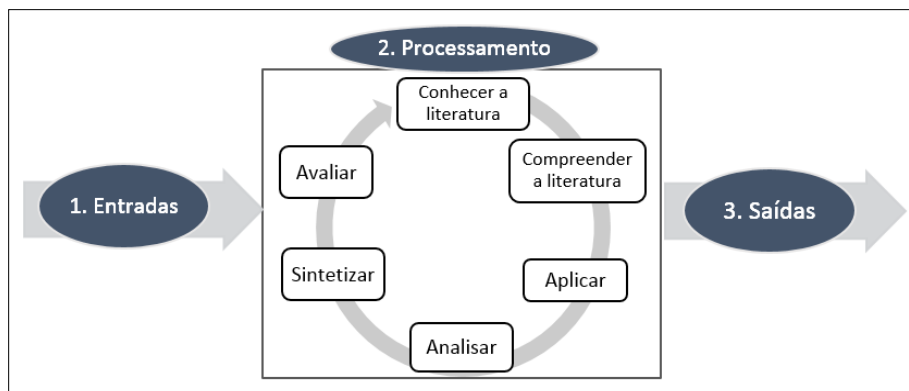
Os delineamentos da pesquisa foram empregados pela aplicação das seguintes etapas metodológicas: 1) Revisão Bibliográfica Sistemática; 2) Identificação de critérios de avaliação de indicadores, princípios e descritores para a integração da gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo 3) Definição de indicadores potenciais para a abordagem integrada entre a gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo; 4) Análise de dados e proposição da estrutura de indicadores para GAS e PUOS.

i. Revisão Bibliográfica Sistemática

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é definida como o processo de coletar, conhecer, compreender, analisar e sintetizar um conjunto de artigos científicos para resumir evidências e criar um fundamento teórico-científico da temática específica (LEVY; ELLIS, 2006; SAMPAIO; MANCINI, 2007).

O objetivo de realizar esta revisão bibliográfica foi gerar informações sobre os critérios, princípios e indicadores potenciais para uma abordagem integradora.

Assim, a presente pesquisa desenvolveu uma revisão bibliográfica sistemática fundamentada nos princípios de Biolchini *et al.* (2005); Kitchenham, B.; Charters (2007) e Levy; Ellis (2006). Na Figura 1 observa-se o processo geral de RBS.

Figura 1 – Processo de revisão da literatura

Fonte: Adaptado de Levy e Ellis (2006)

Este processo consistiu em três etapas: as “entradas”, que incluem a revisão da literatura preliminar da RBS, a definição de bases de dados de busca e a formulação do plano de busca da informação; o “processamento”, que está constituído pelo levantamento de artigos científicos, trabalhos publicados, teses, em duas bases de dados de publicações científicas (*Science Direct* e *Web of Science*).

E por último, as “saídas”, que contém os relatórios, síntese dos resultados (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). Esta fase correspondeu a definição do banco de indicadores caracterizados por serem aplicáveis e úteis nas temáticas referentes a: conservação, uso e recarga das águas subterrâneas; gestão, uso e ocupação do solo; e planejamento do uso de ocupação do solo. Paralelamente foram identificados os princípios para a GAS e o PUOS, como critérios para a avaliação dos indicadores.

ii. Identificação de critérios de avaliação de indicadores, princípios e descritores para a integração da gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo.

Os princípios e os descritores para a seleção de indicadores se caracterizam por serem a base da estrutura a ser proposta ao final da pesquisa. Portanto, nesta

etapa, foram identificados critérios de avaliação de indicadores, princípios e descritores a fim de integrar a GAS e o PUOS.

Os critérios de avaliação de indicadores adotados para a pesquisa envolvem as seguintes dimensões: Características Intrínsecas de Concepção; Características Temporais e Dinâmicas; e Características de Funcionalidade e Execução.

iii. Definição de indicadores potenciais para a abordagem integrada entre a gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo

Após a elaboração da listagem completa (banco) de indicadores, os princípios e os descritores identificados foram aplicados como diretrizes e guias para a definição de indicadores potenciais, por meio do uso de métodos de priorização ou hierarquização.

Para esta pesquisa, foi adotado especificamente o método *Analytic Hierarchy Process* ou Processo Analítico Hierárquico, criado por Saaty (2001), que se fundamenta em ponderar os indicadores usando as matrizes de comparação por pares e sua escala de intensidades de preferências (prioridades) (AZNAR; GUIJARRO, 2012), conforme apresentado na tabela 1.

O resultado gerado desta hierarquização foi analisado por estatística descritiva usando os quartis como medidas de análise. Assim, foi obtido um conjunto de indicadores potenciais para a GAS integrada ao PUOS. Em seguida, os indicadores foram analisados e selecionados como potenciais para o estabelecimento e a proposta de uma estrutura (sistema), de acordo com os procedimentos da etapa descrita a seguir.

Tabela 1 – Escala de preferências em AHP

Intensidade	Grau qualitativo	Explicação
1	De igual importância	Duas atividades contribuem de igual forma ao objetivo
3	Moderadamente importante	A experiência e o juízo favorecem levemente uma atividade sobre a outra
5	Importância forte	A experiência e o juízo favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte ou comprovada	Uma atividade é muito mais favorecida que a outra; sua predominância se comprova na prática
9	Extremadamente importante	A evidência que favorece uma atividade sobre a outra, é absoluta e totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando é necessário atribuir grau de importância entre os valores adjacentes

Fonte: Saaty (2001).

iv. Análise dos resultados

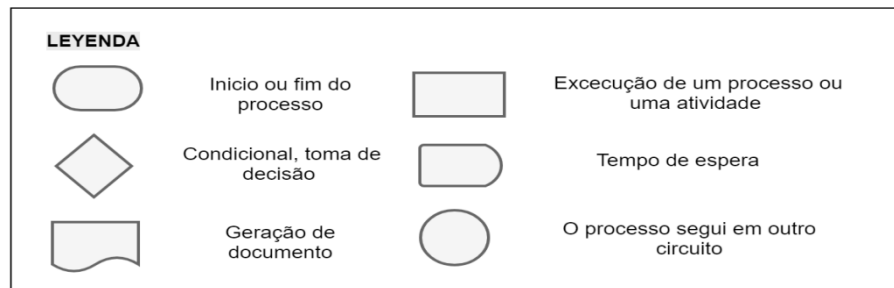
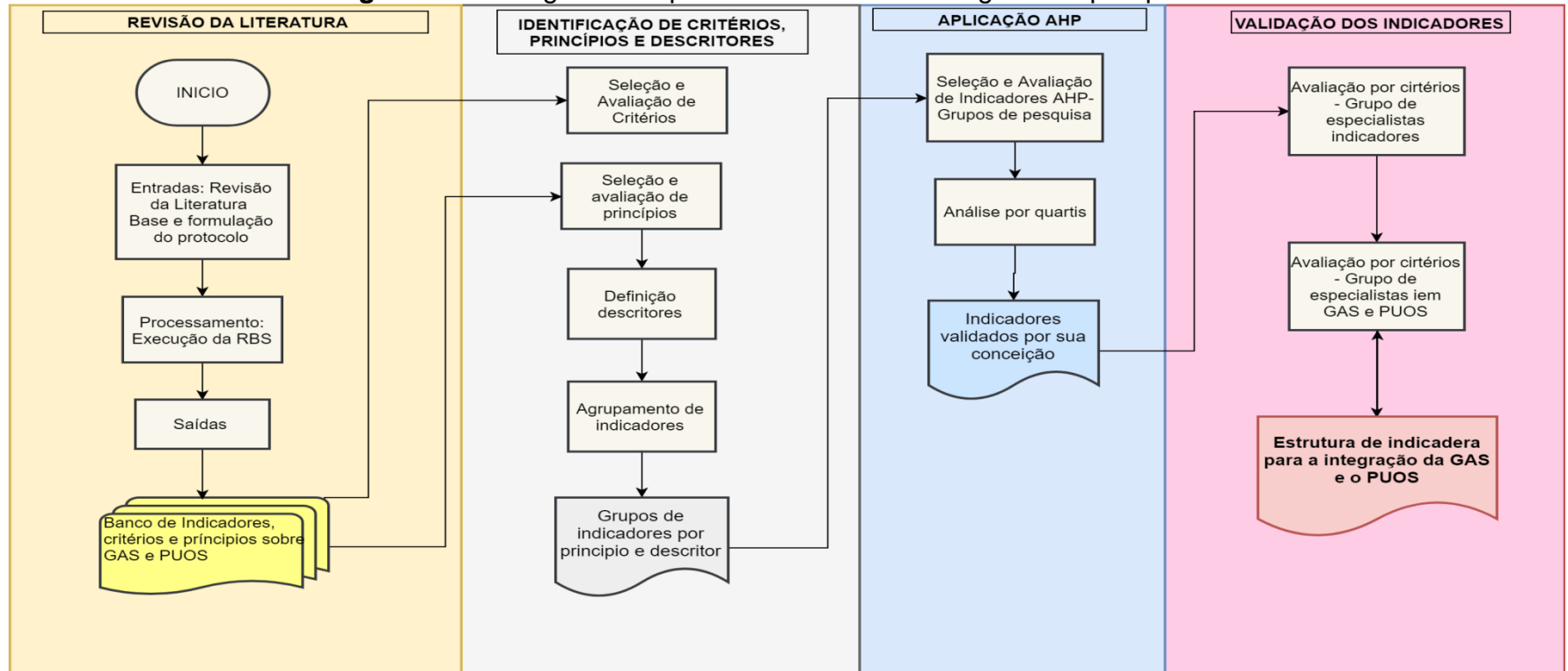
Os indicadores selecionados anteriormente foram analisados e avaliados para definir concretamente a estrutura (sistema) que se pretendeu elaborar nesta pesquisa. Consequentemente, foi solicitada a participação de um grupo de especialistas para análise da viabilidade dos indicadores propostos. Para isso, foi adotada uma adequação da metodologia 3S (Self-validation, Scientific validation, Social validation).

Esta técnica constou de três etapas: a avaliação dos pesquisadores, que correspondeu ao processo preliminar de definição de indicadores adotando a técnica AHP; a avaliação por especialistas de indicadores com o preenchimento de formulários consultando seu parecer e propostas de novos indicadores, e avaliando os indicadores mais adequados (segundo critérios de avaliação de indicadores estabelecidos); e a validação pelos potenciais usuários (GAS e PUOS), que correspondeu à avaliação dos indicadores em relação com a sua Relevância, Abrangência, Utilidade e Funcionalidade para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Após as rodadas de consulta aos especialistas, os resultados obtidos convergiram a uma conclusão da estrutura final de indicadores, elaborada e proposta pelo presente trabalho.

As etapas e as atividades envolvidas na pesquisa estão esquematicamente apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: AUTOR

Capítulo 1. Revisão da Literatura

Revisão bibliográfica sistemática da Gestão das águas subterrâneas e do Planejamento do uso e ocupação do solo

1.1 INTRODUÇÃO

As nações unidas dentro da agenda 2030 estabelecem os objetivos de desenvolvimento sustentável do milênio, centrados em equilibrar as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Dentro desse panorama, a gestão dos recursos hídricos e disponibilidade de água potável possuem um papel fundamental.

A água tem um papel principal e indispensável para a manutenção dos setores econômicos, o desenvolvimento das cidades e suprimento das necessidades humanas, e para a manutenção e preservação dos ecossistemas naturais. Portanto, integrar os processos de gestão do recurso hídrico com as demais dimensões (econômicos, social e ambiental) corresponde a uma das metas específicas.

Considerando o anterior, na prática de governança do recurso hídrico, é fundamental reconhecer sua importância por meio tanto de uma distribuição e acesso equitativos, quanto do uso eficiente e sustentável do recurso (KULKARNI; SHAH; VIJAY SHANKAR, 2015).

Assim, na busca de promover uma gestão dos recursos hídricos visada a maximizar os benefícios sociais e econômicos sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais, é necessário a integração dos desafios espaciais considerando a variabilidade dos recursos hídricos, os diferentes interesses, conflitos e prioridades, as políticas e instrumentos de planejamento (FIDELIS; ROEBELING, 2014)

Portanto, para garantir uma governança efetiva e equitativa do recurso hídrico subterrâneo, é necessário uma gestão integrada das águas subterrâneas, considerando as diversas alterações no uso e ocupação do solo.

Dentro desse contexto, atualmente no Brasil, a gestão dos recursos hídricos subterrâneos está direcionada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH- Lei nº 9433/97), que estabelece como unidade de gerenciamento a bacia hidrográfica. Embora esta unidade manifesta uma perspectiva mais ampla por considerar aspectos geográficos, apresenta limitações para ser internalizada nos planos de uso e ocupação

do solo e em estabelecer guias específicas para a proteção e gerenciamento das águas subterrâneas (VILLAR, 2009).

Uma possível solução para este problema complexo pode ser a adoção de uma perspectiva ecossistêmica da gestão dos recursos hídricos subterrâneos (KULKARNI; SHAH; VIJAY SHANKAR, 2015). Tal perspectiva supõe um conhecimento amplo e detalhado do aquífero baseado no seu monitoramento, no cálculo e/ou modelagem de seu comportamento, e na compreensão e monitoramento das atividades econômicas e sociais dependentes do aquífero e do solo subjacente ao aquífero. (CUSTODIO, 2002).

Para que um processo de gestão de águas subterrâneas incorpore os delineamentos do planejamento e ocupação do solo, é imprescindível o uso de informações, dados e ferramentas validadas cientificamente, que permitam a seleção de estratégias para a solução de problemas e desafios referentes a estes processos.

Uma das estratégias mais usadas para atingir os objetivos da gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos é o uso os princípios de gestão. Segundo Sarkera; Baldwin e Rossa (2009) estes se caracterizam por serem temas genéricos a ser tratados nos objetivos dentro das etapas de gestão.

Desta forma, estes princípios convertem-se em guias de suporte e auxílio para instituições responsáveis pelo gerenciamento do recurso hídrico na definição de suas ações ou no estabelecimento de suas metas. De igual forma, ajudam a fortalecer as relações entre as instituições de gerenciamento do recurso hídrico com outras instituições com as que se desenvolvam responsabilidades conjuntas.

Em outras palavras, os princípios são guias fundamentais para gerenciar cooperativamente o recurso hídrico, já que fornecem às entidades responsáveis, as linhas básicas de ação para incluir o conceito do gerenciamento aninhado dos recursos hídricos no processo de gestão. Dessa maneira, os princípios devem ser considerados como os objetivos específicos de gerenciamento (VAN CAUWENBERGH *et al.*, 2007).

Um das ferramentas mais usadas para responder aos requerimentos de cada princípio são os descritores e os indicadores. Os descritores são temas que

delineiam os princípios, temas específicos para definir ações, ferramentas ou indicadores para a avaliação, articulação e execução da gestão.

No caso dos indicadores, estes permitem avaliar a eficiência e o estado dos objetivos e metas dos processos de gestão e planejamento, revelam informações para o redirecionamento, releitura e reinterpretação das metas e objetivos declarados. (BOTERO *et al.*, 2016). Além disso, facilitam a comparação entre projetos, programas e intervenções.

Estes são fundamentais em todo processo de gestão, porque suportam as atividades de monitoramento e são ferramentas que proporcionam as bases para identificar avanços ou retrocessos nas metas e nos objetivos de gestão.

Os indicadores geralmente são selecionados de forma objetiva e lógica, baseados em aspectos ou parâmetros intrínsecos de qualidade. Estes parâmetros denominados critérios de avaliação e são usados para avaliar, selecionar e definir os indicadores de acordo à suas características próprias, determinando seu grau de qualidade como indicador dentro do tema de estudo (SCHWEMLEIN; CRONK; BARTRAM, 2016).

Para identificar, selecionar e analisar princípios, indicadores e critérios de avaliação de indicadores, deve ser utilizado metodologias dotadas de transparência, sistematização e fundamentação científica. Por esta razão, é preciso o desenvolvimento e uso de métodos consistentes, rigorosos e objetivos. (SCHWEMLEIN; CRONK; BARTRAM, 2016).

No caso de levantamento de métodos e informações consistentes e transparentes, a literatura científica converte-se numa fonte de dados, informações e métodos caracterizada em ter credibilidade, objetividade e ser funcional. Por isso, a revisão bibliográfica garante que as informações aprofundadas sobre o fenômeno de interesse, sobre métodos aplicáveis para a análise dos dados e informações, e sobre a inovação do tema nas áreas de pesquisa.

No entanto, para que a revisão da literatura seja efetiva, prática e executada por meio de um planejamento estratégico, e configure numa base teórica

fundamentada para atingir os objetivos do estudo em questão; deve realizar-se de forma sistemática.

A sistematização do levantamento de informações promove maior confiabilidade tanto pelo amplo alcance da informação coletada a partir da disponibilidade dos estudos científicos, como pela facilidade na análise e síntese da informação disponível.

Segundo Pullin e Stewart (2006), executar uma revisão sistemática de literatura facilita e enriquece as práticas e as políticas de gestão ambiental, pois uma revisão assim conduzida caracteriza-se por seguir evidências científicas que dão rigor, objetividade e transparência, assegurando imparcialidade e solidez na tomada de decisões (COLLABORATION FOR ENVIRONMENTAL EVIDENCE, 2013).

A revisão bibliográfica sistemática é definida como uma metodologia de revisão da literatura que segue passos sequenciais (coleta, conhecimento, compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação), a fim de reunir, avaliar e criar bases concretas relacionadas a um tópico específico (BIOLCHINI *et al.*, 2005; LEVY; ELLIS, 2006).

Esta metodologia mostra as tendências das áreas de pesquisa (as áreas com excesso ou falta de pesquisa), ajuda a justificar as contribuições da pesquisa em questão ao enquadrar o estudo em metodologias, enfoques, e objetivos cientificamente válidos (LEVY; ELLIS, 2006).

Por outro lado, além de criar bases sistematicamente fundamentadas para manter a solidez e transparência na tomada de decisões, também é importante para desenhar estratégias e ferramentas que facilitem a aplicação de uma gestão e gerenciamento efetivo dos recursos. Desse modo, este método de pesquisa é indispensável para identificar e analisar indicadores, critérios e princípios que são ferramentas e diretrizes popularmente usadas para o gerenciamento dos recursos, dentre eles os hídricos subterrâneos.

Ao proporcionar um método de organização lógica para o processo de seleção de indicadores e eliminar a subjetividade, a revisão bibliográfica permite que os

pesquisadores e tomadores de decisão compreendam e aprimorem a análise do estágio da tomada de decisão.

Portanto, este estudo centrou-se em identificar e analisar as informações disponíveis na literatura relacionadas aos princípios e aos indicadores de gestão das águas subterrâneas e do planejamento do uso e ocupação do solo, como os critérios de avaliação desses indicadores.

Desta forma, a revisão bibliográfica sistemática funcionou como método padronizado de levantamento de dados validados cientificamente. Estes dados foram analisados considerando a distribuição e as lacunas destas ferramentas nas temáticas de interesse por meio de estatística descritiva.

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo centram-se na execução da revisão da literatura para o levantamento dos dados e publicações científicas relacionadas a indicadores e princípios nos temas de: águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo e critérios de avaliação de indicadores. Nesse sentido, empregaram-se três etapas: o planejamento teórico sobre Revisão bibliográfica sistemática (RBS), a execução da RBS e a avaliação da RBS; como se apresenta a seguir:

1.2.1 Planejamento teórico da Revisão Bibliográfica Sistemática

O planejamento teórico se fundamentou no levantamento de artigos científicos, teses, em periódicos de diversas bases de dados. Esta informação base foi selecionada considerando como finalidade a construção de um protocolo de busca para os indicadores e princípios nos temas de gestão de águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo (Apêndice A). Assim os parâmetros de seleção dos estudos para esta etapa foram:

- Definição clara dos conceitos, propriedades e utilidades da RBS;

- Esquematização concreta e compreensível das etapas e passos para a execução da RBS;
- Formulação de um protocolo de execução e avaliação da RBS.

A partir da literatura base, que conta com procedimentos metodológicos, obteve-se o protocolo adaptado para o interesse e objetivo da pesquisa.

1.2.2 Execução da Revisão Bibliográfica Sistemática

Para realizar o processo de revisão de forma sistemática e garantir um processo padronizado, foi necessário estabelecer um procedimento de busca (Apêndice A), resultante da etapa anterior, que descreve sistematicamente os procedimentos a seguir para a execução da revisão. Para realizar a revisão e considerando o período de tempo investido, a busca foi distribuída por bases de dados entre colaboradores da pesquisa.

O protocolo consistiu em 3 fases fundamentadas nos estudos de Biolchini *et al.* (2005); Conforto; Amaral; Silva (2011) ; Kitchenham; Charters (2007); Levy; Ellis (2006), sendo uma preliminar de entradas, seguida da aplicação do protocolo e por último uma relacionada às saídas, ou resultados finais, descritas a seguir

1.2.2.1 Etapa 1. Entradas

Esta seção da revisão se direcionou ao planejamento geral para a coleta e análise de artigos e trabalhos referentes à temática de indicadores de águas subterrâneas e de planejamento do uso e ocupação do solo. Neste se descreveram: o problema da pesquisa, as perguntas norteadoras da revisão e as estratégias de busca. Portanto foi necessária a definição de:

- a. Fontes Primárias: Foram todos os estudos, as bases de dados e periódicos utilizados para definir os autores e artigos relevantes. Estas fontes auxiliaram a determinação das palavras chave e termos de busca. Estas fontes primárias cumpriram as seguintes exigências:

- Os critérios para a seleção de fontes: Referem-se aos critérios que permitiram a seleção de boas fontes primárias. No caso específico, foram utilizados estudos, periódicos e revistas indexadas, em sua maioria com índices de alto impacto e de conceito de Qualis; pesquisas relacionadas ao estudo e análises de indicadores para as águas subterrâneas e o uso e ocupação do solo;
- Idioma dos estudos. As fontes aceitas estavam em três idiomas: espanhol, português e/ou inglês.

Para a seleção das fontes primárias, desenvolveram-se buscas simples de estudos nas bases de dados mais utilizadas na área de indicadores, como *Science Direct*, *Scopus*, *Wiley*, *Web of Science*, *Ingenta Connect* e *EBSCO*. As bases de dados selecionadas, *Science Direct* e *Web of Science*, foram umas das bases de dados que apresentaram maior número de ocorrências na busca com as palavras chave iniciais, ocorrências em periódicos de altos níveis de impacto e Qualis, e artigos altamente citados. As palavras chave e ferramentas de busca que foram usados são apresentados a seguir:

Tabela 2 – Palavras chave para a busca de fontes primárias da revisão

Inglês	Português	Espanhol
Criterion AND Indicator	Crítério AND indicador	Criterio AND indicador
Principle AND Indicator	Princípio AND indicador	Principio AND indicador
Criterion AND Land use planning	Crítério AND Planejamento de uso do solo	Criterio AND Planificación de uso del suelo
Principle AND Land use planning	Princípio AND Planejamento de uso do solo	Princípio AND Planificación de uso del suelo
Criterion AND Groundwater management	Crítério AND gestão de água subterrânea	Criterio AND gestión de las agua subterránea
Principle AND Groundwater management	Princípio AND gestão de água subterrânea	Principio AND gestión de las aguas subterráneas
Groundwater AND indicator	Águas subterrânea AND	Aguas subterráneas AND

Inglês	Português	Espanhol
	Indicador	Indicador
Land use AND indicator	Uso do solo AND indicador	Uso del suelo AND indicador
Groundwater AND Land use	Água subterrânea AND Uso do solo	Aguas subterráneas AND Uso del suelo
Groundwater AND Land use planning	Água subterrânea AND Planejamento de uso do solo	Aguas subterráneas AND Planificación de uso del suelo
Criterion AND Indicators AND Groundwater	Critério AND Indicador AND Água subterrânea	Criterio AND Indicador AND Agua subterránea
Principle AND Indicator AND Groundwater	Princípio AND indicador AND Água subterrânea	Principio AND indicador AND Agua subterránea
Criterion AND Indicator AND Land use	Critério AND indicador AND uso do solo	Criterio AND indicador AND uso del suelo
Principle AND Indicator AND Land use	Princípio AND indicador AND uso do solo	Principio AND indicador AND uso del suelo
Criterion AND Indicator AND Land use planning	Critério AND indicador AND Planejamento do uso do solo	Criterio AND indicador AND Planificación de uso del suelo
Principle AND Indicator AND Land use planning	Princípio AND indicador AND planejamento do uso do solo	Principio AND indicador AND Planificación de uso del suelo
Groundwater AND Land use AND indicator	Água Subterrânea AND Uso do Solo AND Indicador	Agua Subterránea AND Uso de Suelo AND Indicador
Groundwater AND Land use planning AND indicator	Água Subterrânea AND Planejamento de uso do Solo AND Indicador	Aguas Subterráneas AND Planificación de Uso del Suelo AND Indicador

Fonte: AUTOR

- b. Strings de busca: Baseado nas fontes preliminares escolhidas e na consulta a especialistas, definiram-se as palavras-chave. As ferramentas de busca e os operadores lógicos variam dependendo de cada base de dados. Assim os *Strings* se modificaram na medida em que foram feitos os testes com as

diferentes combinações na busca. No final, os *Strings* que resultaram pesquisa foram:

Tabela 3 – *Strings* de busca na RBS

<i>Web of Science</i>	<i>Science Direct</i>
"Land use planning" AND (Criterion OR Principle)	"Land use planning" AND (Criterion OR Principle)
Groundwater NEAR (15) management AND (Criterion OR Principle)	Groundwater W/15 management AND (Criterion OR Principle)
Indicator AND (Land use OR Groundwater)	Indicator AND (Land use OR Groundwater)
Groundwater AND (Land use OR "Land use planning")	Groundwater AND (Land use OR "Land use planning")
Indicator NEAR Groundwater AND (criterion OR principle)	Indicator W/15 Groundwater AND (criterion OR principle)
Indicator NEAR Land use AND (Criterion OR Principle)	Indicator W/15 Land use AND (Criterion OR Principle)
Indicator NEAR "Land use planning" AND (Criterion OR Principle)	Indicator W/15 "Land use planning" AND (Criterion OR Principle)
Land use OR "Land use planning" NEAR Groundwater AND Indicator	Land use OR "Land use planning" W/15 Groundwater AND Indicator
"Land use planning" NEAR Groundwater AND Indicator	"Land use planning" W/15 Groundwater AND Indicator

Fonte: AUTOR

- c. Critérios de Inclusão: Estes critérios foram fundamentais para a seleção dos estudos da revisão, proporcionando resposta às perguntas de pesquisa

norteadoras do protocolo. Os estudos selecionados aplicaram pelo menos um dos critérios listados a seguir:

- Tópico principal do estudo é sobre os critérios e princípios para a seleção de indicadores;
- O objetivo do estudo é analisar e/ou aplicar indicadores de águas subterrâneas e/ou uso e ocupação do solo num estudo de caso;
- O estudo se interessa em analisar ou propor princípios que orientem a gestão das águas subterrâneas e/ou planejamento do uso e ocupação do solo.

1.2.2.2 Etapa 2. Procedimento

Esta etapa está relacionada ao método e às ferramentas de busca para a seleção de informação, incluindo as buscas cruzadas, os filtros e formulários definidos. Para esta parte da revisão foi implementado ordenadamente o roteiro de passos a seguir:

1. Aplicação do procedimento 1 (Leitura de Resumos). Definidos os requerimentos preliminares, se realizou uma busca nas bases de dados estabelecidas, usando os *Strings*. Aqui foi preenchido o formulário 1 (Figura 3) que sintetiza a informação geral dos artigos na busca. O objetivo foi a leitura do abstract, o título e as palavras chaves. Aqueles artigos que aplicaram aos critérios de inclusão com a leitura dessas partes foram escolhidos e adicionados no formulário e na plataforma de gerenciamento de referências *Endnote*. Este procedimento ajudou na observação de referências duplicadas

Figura 3 – Formulário de armazenamento de resumos.

Data				
Quantidade de artigos na busca		Quantidade de artigos excluídos		
Quantidade de artigos selecionados		Aproveitado		
Nome do periódico	Título do Artigo	Autores	Ano	String usado

Fonte: AUTOR

- Aplicação do procedimento 2 (Leitura de Introdução e conclusão). Os estudos selecionados no passo 1 foram avaliados com a análise da aplicabilidade dos critérios de inclusão a partir da leitura da introdução e conclusões. Uma vez as referências passaram este filtro, foram organizadas no gerenciador de *Endnote*® e incorporadas em uma plataforma criada no *Mendeley*® outro gerenciador de referências científicas.
- Aplicação do procedimento 3 (Leitura completa). Todos os artigos incluídos na plataforma *Mendeley*® foram lidos, completa e minuciosamente, para serem usados como informação base da revisão bibliográfica sistemática.
- Preenchimento do Formulário 2. O resultado obtido após o processo três, foi adicionado no formulário 2 (Figura 4), que extrai informações mais específicas e detalhadas sobre os estudos, facilitando a síntese e análise das referências selecionadas.

Figura 4 – Formulário de informações.

Autores	Ano	Periódico	Tema	Indicadores	Unidades	Descrição e cálculo

Fonte: AUTOR

1.2.2.3 Etapa 3. Avaliação dos estudos selecionados e Saída de um banco de critérios de avaliação de indicadores, princípios e indicadores para a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

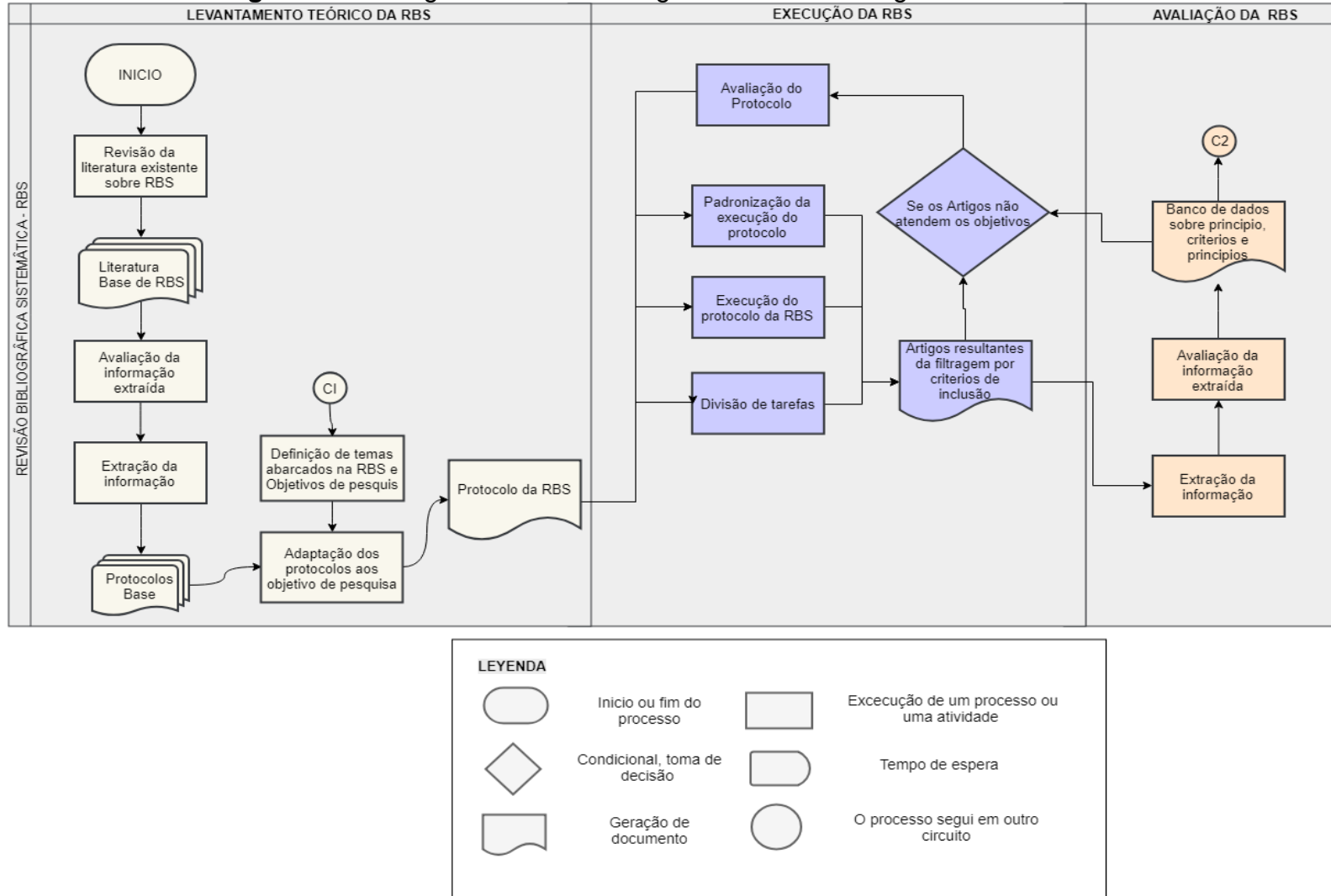
A avaliação dos estudos foi executada usando como instrumento de qualidade as definições de “Critério”, “Indicador” e “Princípio” realizadas previamente na pesquisa. Estas definições permitiram gerar o banco de informações relacionadas à gestão de águas subterrâneas e ao planejamento de uso do solo.

Ao realizar os primeiros testes de busca, ou durante a fase de execução do plano de busca, o protocolo foi modificado para responder às necessidades mostradas nas perguntas de pesquisa.

1.2.3 Análise da Revisão Bibliográfica Sistemática

A informação obtida na revisão foi extraída para formar um banco de dados e esta foi analisada considerando diversos aspectos como o número de elementos encontrados na revisão, os autores presentes nos estudos selecionados, a evolução no tempo, os periódicos de publicação e o tema no que o estudo e os elementos estavam inseridos. Na Figura 5, apresenta-se, de forma geral e resumida, cada uma das etapas de RBS:

Figura 5 – Fluxograma da metodologia de revisão bibliográfica sistemática.



Fonte: AUTOR

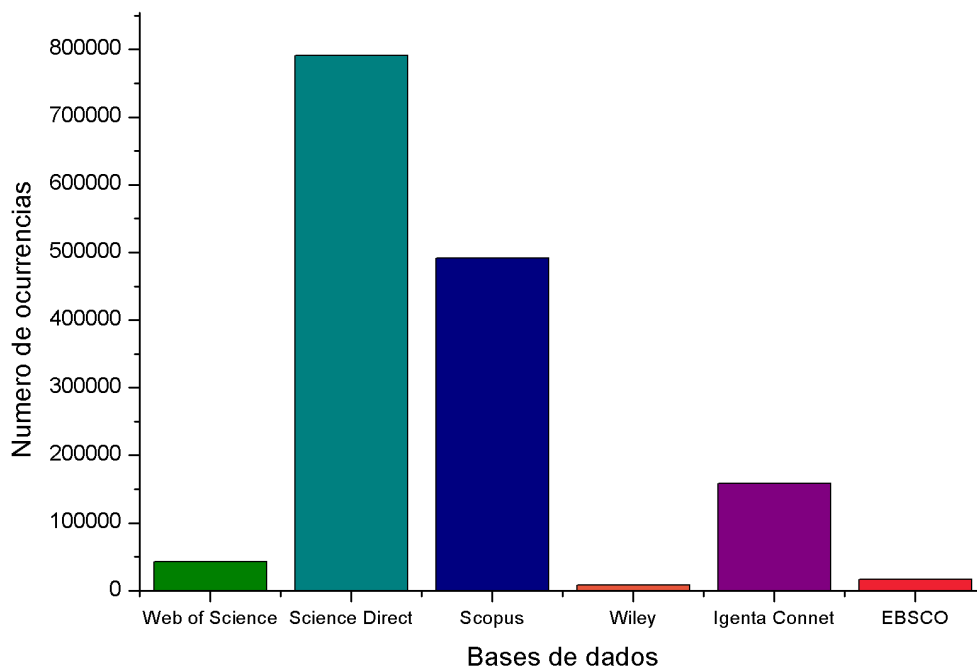
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do protocolo, que contempla um passo a passo do método de busca para o levantamento dos estudos que foram base para estabelecer a estrutura de indicadores, gerou as seguintes informações classificadas pelos processos apresentados a seguir:

1.3.1 Seleção de bases de dados

Para delimitar o universo de informação, foi realizada uma seleção preliminar a partir das 6 bases de dados mais importantes da área, levando em consideração a qualidade e o reconhecimento com relação aos estudos nas Ciências Ambientais. Desta forma, na Figura 6, se apresentam o número de ocorrências por base de dados:

Figura 6 – Número de ocorrências de estudos agrupados por base de dados relacionadas à área de Ciências Ambientais.



Fonte: AUTOR

A partir deste resultado, pode-se observar que as 4 bases de dados com maiores ocorrências foram *Science Direct*, *Scopus*, *Ingenta Connet* e *Web of Science*, ordenadas de forma decrescente.

Na pesquisa foram utilizadas as bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*, que correspondem, respectivamente, a primeira e a quarta com maior número de ocorrências. Estas bases de dados destacaram-se tanto pelo número de ocorrências, quanto pela sua facilidade de aplicar filtros, tais como: a busca pelos resumos, títulos e palavras chaves; seleção de artigos em espanhol, português e inglês; e a classificação da área de estudo no momento da busca. Apesar das bases de dados *Ingenta Connet* e *Scopus* possuírem maior número de ocorrências do que a *Web of Science* muitas das ocorrências representavam réplicas de estudos. Desse modo, se selecionaram as bases de dados que aparentemente diferiam nas ocorrências ou possuíam menor número de repetições.

1.3.2 Aplicação do procedimento 1- Leitura de resumos.

Ao selecionar as bases, executou-se a busca aplicando cada um dos filtros mencionados nos procedimentos metodológicos, gerando os seguintes totais de estudos por *Strings* adotado em cada base de dados:

Tabela 4 – Número de ocorrências por Strings nas bases de dados.

Web of Science		Science Direct	
Strings	Ocorrências	Strings	Ocorrências
"Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	6	Landuse W/15 planning AND (Criterion OR Principle)	4
Groundwater NEAR	225	Groundwater W/15	57

Web of Science		Science Direct	
management AND (Criterion OR Principle)		management AND (Criterion OR Principle)	
Indicator AND (Land use OR Groundwater)	1883	Indicator AND (Land use OR Groundwater)	919
Groundwater AND (Landuse OR "Landuse planning")	64	Groundwater AND (Landuse OR "Landuse planning")	100
Indicator NEAR Groundwater AND (criterion OR principle)	32	Indicator W/15 Groundwater AND (criterion OR principle)	10
Indicator NEAR Landuse AND (Criterion OR Principle)	1	Indicator W/15 Landuse AND (Criterion OR Principle)	14
Indicator NEAR "Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	0	Indicator W/15 "Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	4
Land use NEAR Groundwater AND Indicator	2	Land use W/15 Groundwater AND Indicator	3

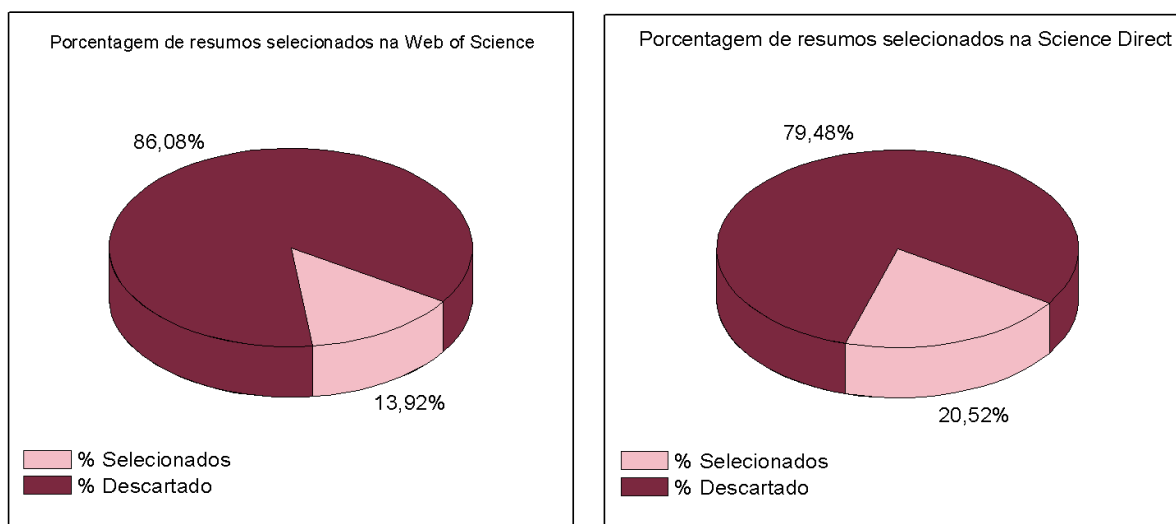
Web of Science		Science Direct	
"Landuse planning" NEAR Groundwater AND Indicator	0	"Landuse planning" W/15 Groundwater AND Indicator	0
TOTAL	2213	TOTAL	1111

Fonte: AUTOR

Assim, a quantidade de resumos lidos para *Web of Science* e *Science Direct* foram 2.213 e 1.111 respectivamente, completando uma leitura de 3.324 resumos. Posteriormente, após a leitura realizada e da análise da aplicação dos critérios de inclusão do protocolo, foram selecionados 308 resumos de *Web of Science* e 228 de *Science Direct*.

Dos estudos selecionados, 12 eram réplicas, resultando no total de 524 estudos. Estes estudos foram utilizados para o procedimento 2 de leitura da introdução e da conclusão dos artigos.

Assim, na Figura 7, representa-se a porcentagem de resumos aproveitados e descartados. Na base de dados *Web of Science* teve um aproveitamento de resumos de 13,92% e na *Science Direct* de 20,52%. Estes valores indicam que no total dos resumos 15,76% passaram ao processo posterior. Apesar de que na base de dados *Science Direct* o número de resumo lidos foi menor que na *Web of Science*. a porcentagem de aproveitamento foi maior.

Figura 7 – Porcentagem de resumos selecionados por base de dados.

Fonte: AUTOR

1.3.3 Aplicação do procedimento 2- Leitura da introdução e da conclusão dos artigos).

Na leitura da introdução e conclusão dos artigos selecionados, a partir dos resumos, foram selecionados por *Strings* a quantidade de estudos a seguir:

Tabela 5 – Número de estudos selecionados na leitura da introdução e da conclusão.

Web of Science	Selecionados	Science Direct	Selecionados
"Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	1	"Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	0
Groundwater NEAR management AND (Criterion OR Principle)	0	Groundwater NEAR management AND (Criterion OR Principle)	1
Indicator AND (Land use OR Groundwater)	94	Indicator AND (Land use OR Groundwater)	51

Web of Science	Selecionados	Science Direct	Selecionados
Groundwater AND (Landuse OR "Landuse planning")	1	Groundwater AND (Landuse OR "Landuse planning")	2
Indicator NEAR Groundwater AND (criterion OR principle)	6	Indicator NEAR Groundwater AND (criterion OR principle)	0
Indicator NEAR Landuse AND (Criterion OR Principle)	1	Indicator NEAR Landuse AND (Criterion OR Principle)	0
Indicator NEAR "Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	0	Indicator NEAR "Landuse planning" AND (Criterion OR Principle)	4
Land use NEAR Groundwater AND Indicator	0	Land use NEAR Groundwater AND Indicator	0
"Landuse planning" NEAR Groundwater AND Indicator	0	"Landuse planning" NEAR Groundwater AND Indicator	0
TOTAL	103	TOTAL	58

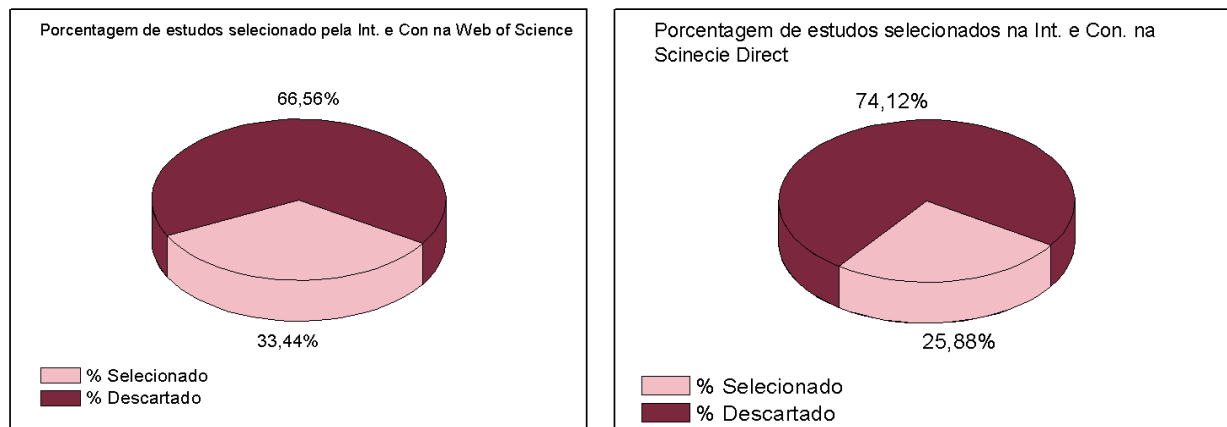
Fonte: AUTOR

Desta forma, 103 artigos de *Web of Science* e 58 de *Science Direct* passaram a ser lidos completamente, dentre os quais 2 estavam replicados, gerando um total final de 159 artigos, representando uma porcentagem total de aproveitamento da informação de 29,66% e de descarte de 70,34% dos artigos. Estes resultados foram obtidos a partir da aplicação dos critérios de inclusão de estudos na revisão.

Na Figura 8, estão apresentados o total de estudos pré-selecionados que cumprem os critérios de inclusão para serem lidos completamente. O resultado se

expressa em porcentagem, sendo maior o aproveitamento por parte da *Web of Science* em comparação com a *Science Direct*:

Figura 8 – Porcentagem de artigos selecionados para leitura completa.

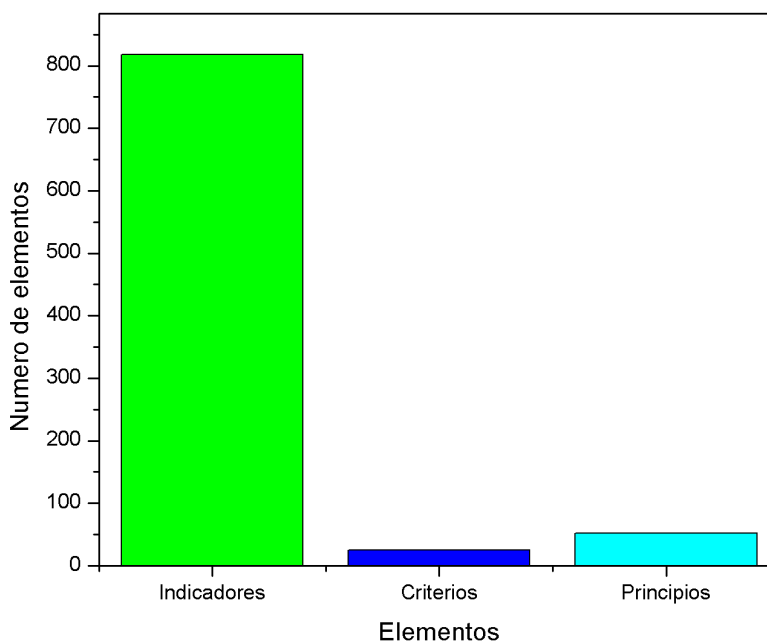


Fonte: AUTOR

1.3.4 Aplicação do processo 3 e geração de banco de indicadores, critérios e princípios

O processo de leitura completa dos artigos selecionados gerou informação relacionada a indicadores, critérios e princípios. Estes foram avaliadas de acordo a concordância dos elementos à definição de indicador, critério e princípio considerados na pesquisa. Em muitos casos, estes componentes não correspondiam à definição estabelecida. Apesar disso, estes artigos trouxeram informações úteis para complementar as definições já propostas.

Na Figura 9, a seguir, mostra-se a quantidade de elementos obtidos depois da leitura completa dos artigos, tendo maior número para os indicadores com 818 componentes, seguido dos princípios com 52 e por último os critérios para avaliação de indicadores com 25.

Figura 9 – Distribuição de tipo de elementos encontrados nos estudos selecionados

. **Fonte:** AUTOR

Assim, o resultado mostra o panorama da quantidade de informação disponível sobre os temas de indicadores, princípios e critérios de gestão das águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo, assim como também as suas lacunas. Como era de esperar-se, foram encontrados alta quantidade de estudos, e conseqüentemente a alta quantidade de indicadores, princípios e critérios, mostrando a ampla abrangência do tema da pesquisa.

Porém, ainda obtendo alta abrangência de informação e aplicando os critérios de inclusão, alguns artigos que não forneceram informação suficiente para serem adicionados dentro do banco de dados.

Para analisar a informação levantada, foi preciso considerar diversos aspectos relevantes: o tema de estudo na qual se direcionava a informação, o número de estudos selecionados por periódicos; a evolução do número de artigos ao longo do tempo; e o número de estudos por autores.

1.3.5 Informação classificada por tema do estudo

A informação na sua totalidade foi agrupada segundo seu escopo, considerando os tópicos de pesquisa: a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso do solo. Nesse caso, o número de estudos selecionados relacionados com a gestão das águas subterrâneas representa o 73,91% com 119 artigos. No caso do planejamento de uso e ocupação do solo, representa 26,09% com 42 estudos (Figura 10).

Figura 10 – Porcentagem de estudos classificados por temas.

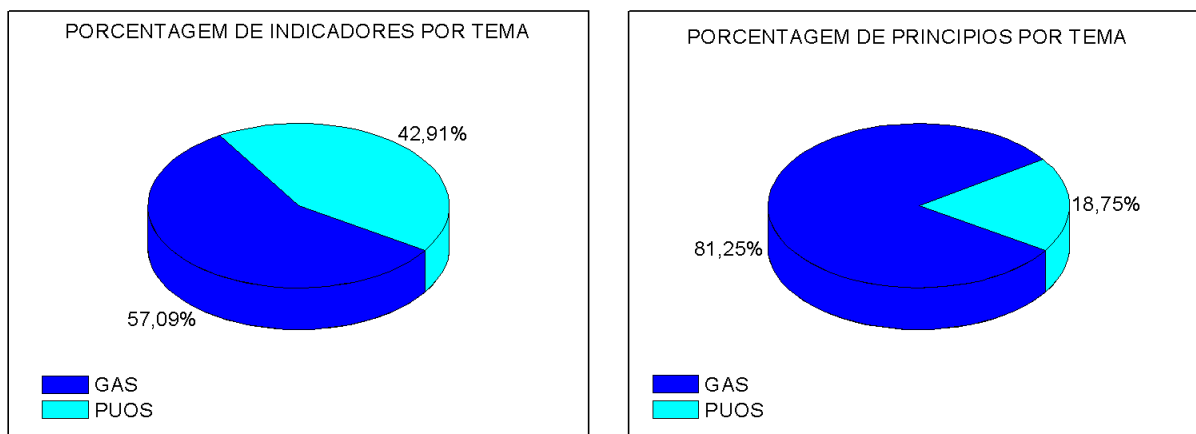


Fonte: AUTOR

Fazendo uma análise mais específica da informação, no caso dos indicadores levantados, 57,09% equivale a 467 indicadores de gestão de águas subterrâneas (GAS) e o 42,91% equivale a 351 indicadores relacionados ao planejamento de uso e ocupação do solo (PUOS).

No caso dos princípios para a GAS e o PUOS, a quantidade difere significativamente, sendo 81,25% que equivale a 39 princípios para a gestão de águas subterrâneas e 18,75% equivale a 9 princípios para o planejamento do uso e ocupação do solo, assim como se apresenta na figura a seguir.

Figura 11 – Percentagem de indicadores e princípios classificados por tema.



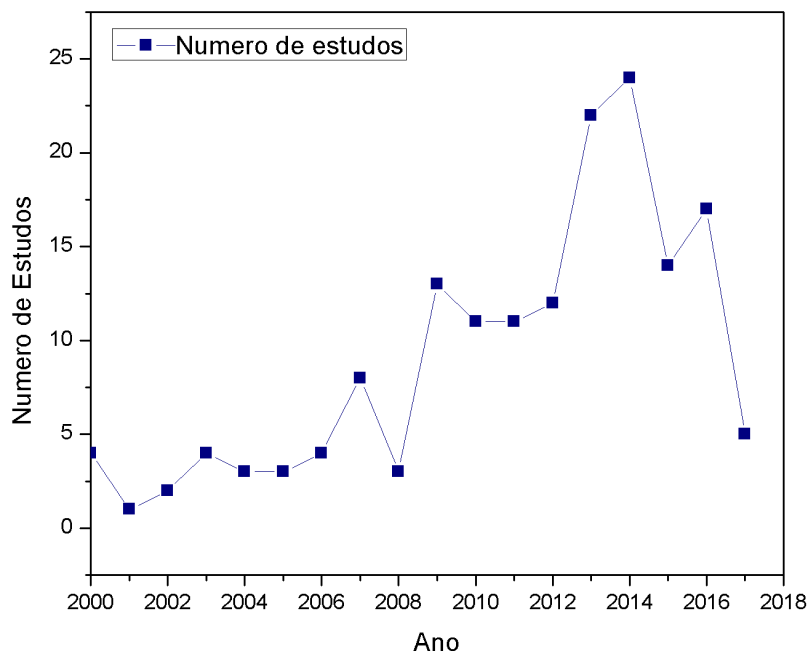
Fonte: AUTOR.

Para os critérios, a classificação não foi realizada, pois estão relacionados aos critérios para seleção de indicadores, não relacionado aos temas específicos de planejamento de uso e ocupação do solo ou de gestão das águas subterrâneas.

1.3.6 Análise da Evolução no tempo

Na busca dos artigos, foram selecionados aqueles publicados dentro do período de Janeiro de 2000 a março de 2017. Assim, o ano 2014 apresentou maior quantidade de estudos, correspondendo a 24 artigos, 14,47% do total selecionados para serem lidos completamente. Em contrapartida, no ano 2001 só foi selecionado 1 estudo para extração de informação. Na figura 12, a seguir, apresenta-se a evolução dos artigos selecionados ao longo do período de análise.

Figura 12 – Evolução dos estudos selecionados no período de 2000-2017.



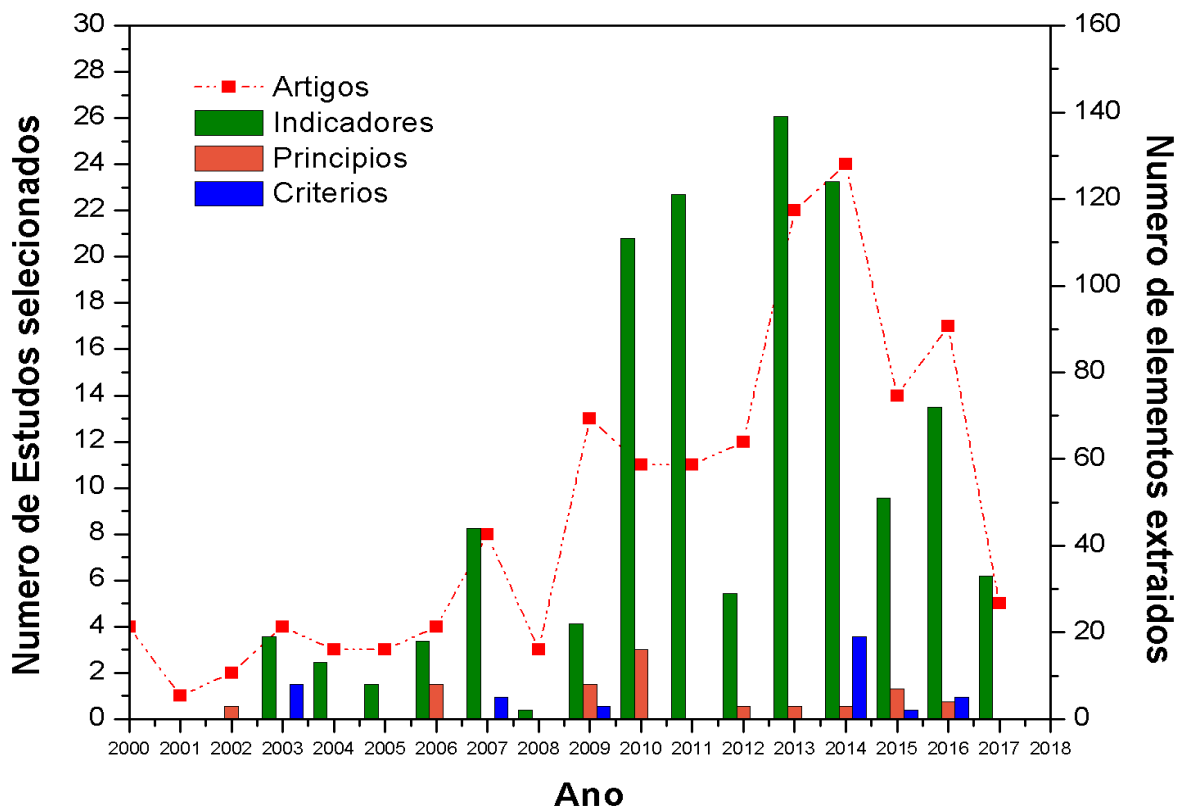
Fonte: AUTOR

O número de indicadores, princípios e critérios extraídos relacionados com o período de análise respondem ao número de estudos selecionados para leitura completa. Porém, como é observado na Figura 13, alguns estudos não apresentam informações relacionadas a indicadores e princípios para a gestão das águas subterrâneas ou sobre o planejamento do uso solo; e/ou critérios para definir indicadores, como se mostram nos 4 artigos do 2000 e no único artigo de 2001.

Por outro lado, dos artigos selecionados, só se obteve informação dos três tipos, indicadores, princípios e critérios; nos anos 2009, 2014, 2015 e 2016, sendo estes os anos quando foram selecionadas quantidades maiores a 14 estudos.

De forma geral, dos elementos extraídos dos estudos, os indicadores representaram o maior número, coincidindo o maior número de estudos por ano com o maior número de indicadores encontrados.

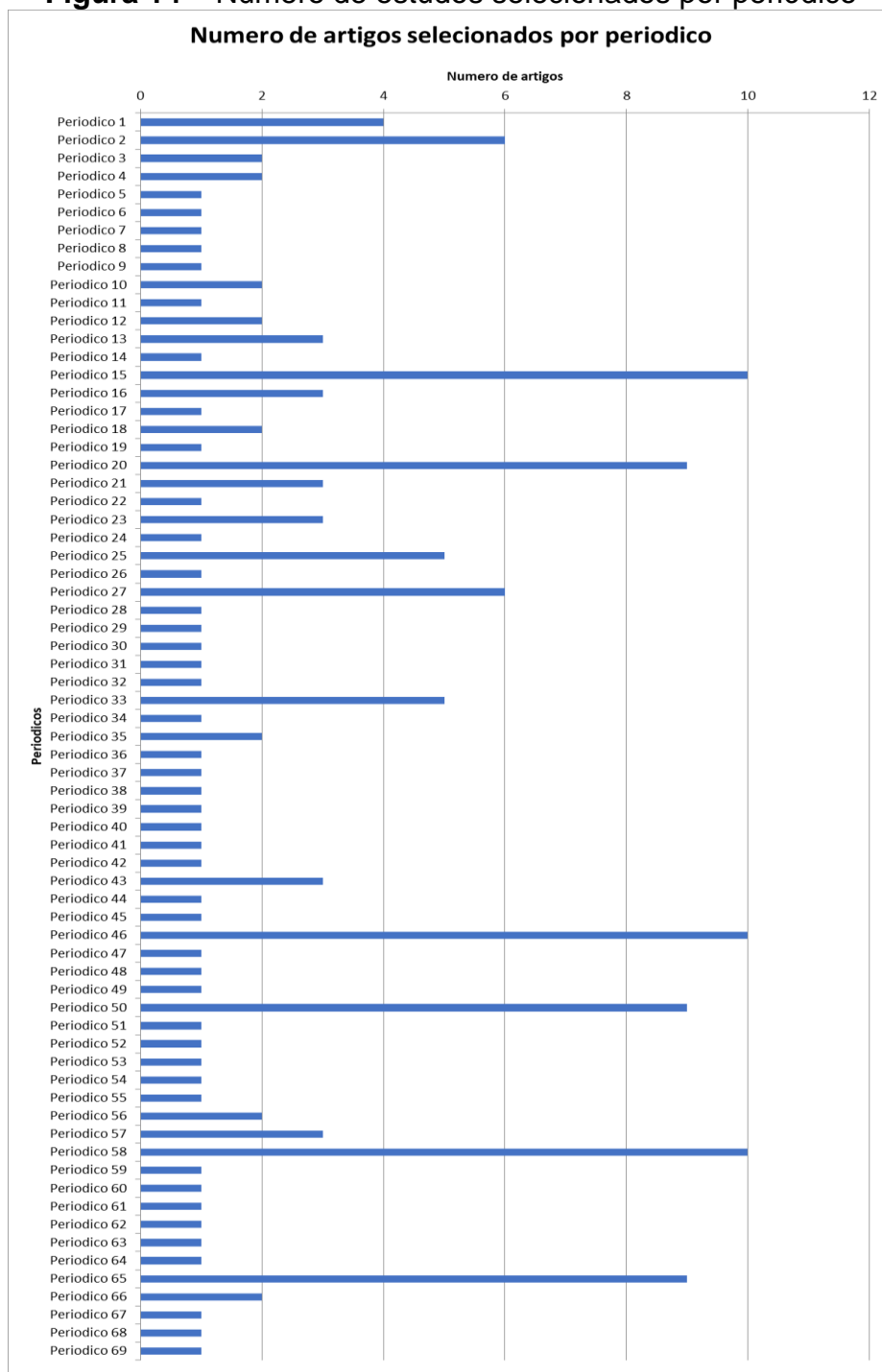
Figura 13 – Evolução do tipo de informação encontrada nos estudos ao longo do período de 2000-2017



Fonte: AUTOR

1.3.7 Análise sobre os Periódicos de publicação

Ao analisar o número de estudos selecionados considerando o periódico no qual foram publicados, se apresentaram 69 periódicos diferentes (Apêndice B), sendo os três com maior número de estudos incluídos (Figura 14) dentro da revisão bibliográfica sistemática: *Ecological Indicators*, *Journal of environmental management* e *Science of the Total Environment*, com 10 artigos para cada um, mas os valores mínimos correspondem a 44 periódicos que tem unicamente 1 de artigo selecionado para leitura completa. Assim, 63,77% do número de periódicos que se encontraram na revisão tem 1 artigo selecionado.

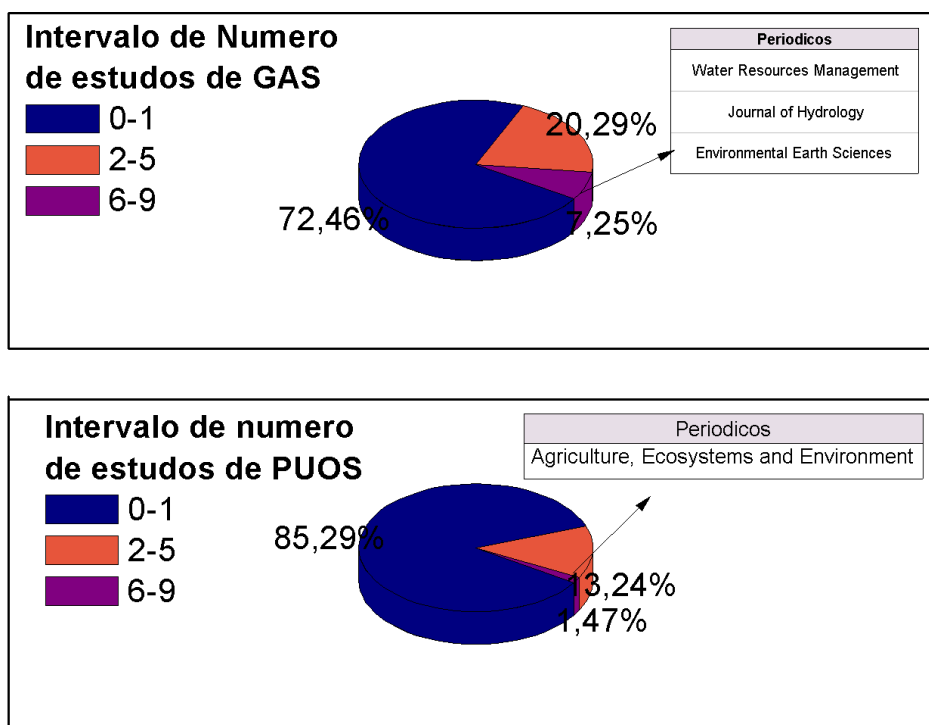
Figura 14 – Número de estudos selecionados por periódico

Fonte: AUTOR

No caso dos periódicos que publicaram artigos relacionados aos temas centrais da pesquisa, observou-se que no tema de gestão de águas subterrâneas 50 periódicos (72,46% do total) publicaram de 0 ou 1 artigo relacionado a esse tema. Só uma

pequena parte do conjunto de periódicos, 7,25% dos periódicos encontrados na seleção, tem maior número de artigos especificamente *Resources Management*, o *Journal of Hydrology* e *Environmental Earth Sciences* com 9, 8 e 9 artigos publicados em esse tema, respetivamente, assim como se apresenta na Figura 15.

Figura 15 – Porcentagem de estudos classificados por Intervalo.



Fonte: AUTOR

Para o tema de planeamento de uso e ocupação do solo, os periódicos com maior quantidade de estudos relacionados correspondem aos periódicos *Agriculture, Ecosystems and Environment* e *Ecological Indicators*, com valores de 6 e 5 respetivamente, equivalente a 1,47% dos periódicos encontrados. No caso de periódicos com número de artigos de 1 a 0, constaram 59 periódicos, representando 85,29% dos períodos.

Na classificação específica da informação segundo ao tipo de dado extraído indicadores, critérios e/ou princípios, os periódicos que geraram mais informações relacionadas a indicadores foram os periódicos 15 e 46, ou seja, o *Journal of*

Environmental Management e *Ecological Indicators* com 86 indicadores para ambos. Mas, em 21 dos periódicos encontrados na revisão bibliográfica, não possuíam artigos que usaram indicadores como foco dos estudos.

Sobre os princípios, aqueles periódicos que apresentaram mais ocorrências foram o *Regional Environmental Change*, *Water Policy* e *Ecology and Society* com valores não maiores que 10 elementos. Dos periódicos encontrados, só 8 apresentaram princípios, a parte restante não apresentou este tipo de informação. No caso dos critérios para a avaliação de indicadores, pouca informação foi encontrada. Portanto obteve-se apenas informações úteis em 5 periódicos, sendo a de maior quantidade no *Environmental Management*.

1.3.8 Análise sobre os Autores

Dentro da busca de informações e nos artigos selecionados, não houve autor ou autores que tenham publicado mais de 1 artigo, mas no caso alguns dos autores publicaram artigos em diversos grupos de pesquisa.

Dos estudos encontrados e selecionados, as maiores porcentagens de informações pertenciam ao tema de gestão de águas subterrâneas, considerando que, nesta pesquisa e na busca, os dois temas possuíam a mesma importância. Isso constata que os focos das pesquisas centravam-se na gestão das águas subterrâneas, possivelmente pelo fato de ser um recurso vulnerável, fazendo-o mais limitante, escasso e conseqüentemente mais estudado, em comparação com o solo.

Entretanto, as informações encontradas ainda não representam informação suficiente para uma gestão integrada e adequada do recurso hídrico subterrâneo. Tal como afirma Kelly; Merrick, (2016), conclui-se que existem investigações sobre a temática das águas subterrâneas, mais ainda com muitas lacunas na compreensão específica das águas subterrâneas e suas interações com o ecossistema no que está imerso.

Esse fato é evidenciado nesta pesquisa, já que o número de estudos coletados foi grande (159 artigos), e dos relacionados à gestão de águas subterrâneas em sua

maioria estudavam temas referentes às estimativas dos processos físicos e químicos dos aquíferos, dimensionamento da potencialidade do abastecimento hídrico, intensidade de uso da água e riscos e vulnerabilidade relacionados à contaminação das águas subterrâneas.

Assim, poucos estudos abordam temas sobre responsabilidades conjuntas entre instituições de gestão, políticas e governança das águas subterrâneas, processos de participação nos processos de gestão e planejamento dos recursos, disponibilidade e qualidade de informação referente ao recurso hídrico subterrâneo, temas imprescindíveis para o gerenciamento do recurso.

Por isso, é notável a lacuna da literatura em relação aos aspectos interdisciplinares das águas subterrâneas e dos estresses socioambientais específicos de cada região.(COMTE *et al.*, 2016), aspecto também justificado com a informação coletada em maior medida sobre indicadores do que em relação princípios para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Além disso, a pouca quantidade de estudos sobre princípios e a grande quantidade de estudos sobre indicadores demonstra o grau de interesse em gerar informações direcionadas a instrumentos e ferramentas científicas e técnicas em comparação à produção de protocolos, ferramentas e diretrizes para o auxílio da gestão das águas subterrâneas e do planejamento do uso e ocupação do solo.

Portanto, com ausência de estudos direcionados para estes fins (gestão, gerenciamento e planejamento), existem limitações de execução prática. Assim como menciona Kelly; Merrick, (2016), a ausência de estudos desse nível de especificidade, limita a capacidade de gerenciar o recurso, em temas de alocação do recurso hídrico subterrâneo (entre todas as partes interessadas, incluindo rural, mineração, produção de energia, usuários urbanos e meio ambiente) e de entender os riscos referentes à sua qualidade.

Além das potencialidades e lacunas demonstradas nas informações encontradas neste estudo, observa-se as tendências das pesquisas que cumprem os requisitos do estudo, nos últimos 17 anos.

Uma dessas tendências refere-se ao aumento de publicações a partir de 2009, observando-se aumento na produção estudos sobre indicadores e ferramentas como na presença de produções de princípios, evidenciando que os temas ambientais de recursos hídricos subterrâneos e de uso e ocupação do solo são discutidos e pesquisados a apesar de que existiram lacunas em temas específicos.

Do mesmo modo, a revisão bibliográfica mostrou a maior produção de estudos nos seguintes periódicos: *Ecological Indicators*, *Journal of environmental management* e *Science of the Total Environment*, que representam os principais periódicos com informação atualizada e relevante referente a ferramentas para temas de gestão das águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo, convertendo-os em fontes de referência nesses temas para outras pesquisas.

Uma revisão bibliográfica sistemática sintetiza o trabalho existente sobre um fenômeno de uma maneira que seja justa e concisa, identifica lacunas atuais nas pesquisas e dá as bases para posicionar adequadamente as atividades e informações duma pesquisa (KITCHENHAM AND CHARTERS, 2007). Em consequência, a partir das anteriores considerações levantadas evidencia-se que esta estratégia de revisão atingiu os objetivos de pesquisa, trazendo as potencialidades e lacunas dos estudos científicos até o momento e sintetizando a informação existente sobre os temas de indicadores e dos princípios investigados.

Desta maneira confirma-se de acordo com Sampaio; Mancini, (2007) que as revisões sistemáticas permitem incluir de forma abrangente um maior número de resultados relevantes, evitando estabelecer conclusões a partir da leitura de somente alguns artigos.

Portanto, a RBS desempenhou um papel fundamental por ser uma metodologia que mostrou a abrangência do tema de gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo na área científica, trazendo segurança na definição de conjeturas e pareceres e de observação da contribuição da pesquisa para a sociedade.

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância dos temas da gestão dos recursos hídricos subterrâneos e o planejamento de uso e ocupação do solo estão sendo manifestadas no aumento de produção científica e na criação de ferramentas para auxiliar esses processos. Estes temas são indispensáveis para garantir a gestão sustentável dos recursos, mas ainda com a informação disponível encontrada e selecionada sobre princípios, indicadores e critérios é insuficiente para evitar conflitos e assegurar a execução efetiva do gerenciamento dos recursos.

Outro aspecto relevante nesta pesquisa, ao longo dos processos de análise e seleção da informação, observou-se uma tendência de produção de artigos que mostraram ferramentas mais técnicas e específicas e menos direcionadas à gestão dos recursos e a interdisciplinaridade.

Isto foi evidenciado com a presença de estudos centrados em temas para o aprimoramento das ferramentas técnicas para a gestão de águas subterrâneas e do planejamento de uso do solo já existentes, mantendo a comunicação da informação e a linguagem mais formal, dificultando a inclusão de temas interdisciplinares e de maior entendimento da comunidade não especialista na área.

Destes estudos técnicos levantados, grande parte caracterizou-se em serem estudos relacionados a temas como o monitoramento e avaliações técnicas do recurso hídrico subterrâneo como foi o caso de Korbel e Hose (2017) e Coulibaly e Rodriguez (2004), que propõem um índice de saúde das águas subterrâneas, desde as características bióticas do ecossistema e indicadores de desempenho da qualidade a partir das características operacionais, de infraestrutura e de manutenção de uso. Outro tema que abordou as relações entre os sistemas de águas subterrâneas e os sistemas socioambientais, por exemplo é o trabalho de Mayer; Winkler e Fry (2014), que determinaram as relações dos impactos nos recursos hídricos e os atributos biofísicos e sociais usando um modelo multivariado estatístico.

Em contrapartida, a interdisciplinaridade dentro da linguagem se evidenciou só em alguns dos estudos, mas relacionados a temas de gestão e planejamento, não considerando aspectos técnicos destes processos, como foi o caso de Sarkera; Baldwin e Rossa (2009), que estabelecem diversos princípios para a governança e a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.

A partir de todas essas informações levantadas e tendências da literatura com relação a indicadores, princípios e critérios de avaliação das águas subterrâneas e o uso e ocupação do solo, pode se dizer que a revisão bibliográfica sistemática, além de dar suporte na avaliação crítica da informação selecionada, é um método que aumenta a abrangência dos estudos incluídos na base teórica e a metodológica da pesquisa. Aspecto justificado pelo alto número de estudos encontrados e selecionados, e de alta qualidade da informação.

Para garantir uma integração entre os processos de gestão e planejamento, é indispensável à execução de estudos que busquem propor diretrizes e ferramentas de suporte para esses processos e a harmonização de estudos relacionados à gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

A pesquisa também mostrou que existe uma lacuna em estudos direcionados à própria gestão das águas subterrâneas e ao planejamento de uso e ocupação do solo, convertendo este estudo numa possível referência base para pesquisas futuras que busquem atingir o mesmo objetivo.

Capitulo 2. Proposta de Estrutura de Princípios, Descritores para integrar a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Identificação de princípios e descritores e agrupamento de indicadores

2.1 INTRODUÇÃO

Para garantir uma boa governança, usos equitativos, preservação e conservação contínuas e efetivas do recurso hídrico subterrâneo e do solo, é fundamental efetuar adequadamente os seus processos de gestão e o planejamento, o que exige a necessidade de superar diversos desafios.

Dentro desses desafios, na gestão das águas subterrâneas está contemplar a influência do uso do solo sobre o recurso hídrico subterrâneo, mas para isso é imprescindível a formulação de políticas e normas específicas para a proteção das águas subterrâneas e o estabelecimento de restrições no seu uso. Assim, para proporcionar melhores suportes de decisão na gestão de águas subterrâneas, são necessários dados e informações multidisciplinares, relevantes e abrangentes.(KULKARNI; SHAH; VIJAY SHANKAR, 2015)

Com relação ao planejamento do uso e ocupação do solo, este enfrenta limitações na sua aplicação e na delimitação de métodos de identificação do conflito de uso do solo. Estas limitações estão influenciadas pela disponibilidade de informação requerida para elaborar de critérios, princípios ou diretrizes mais objetivas e transparentes (IOJĂ *et al.*, 2014).

Assim, com a necessidade de estabelecimento de normas e guias específicas de gestão das águas subterrâneas e a formulação de métodos transparentes no planejamento de uso e ocupação do solo, é imprescindível a aplicação de metodologias simples e de validação científica, com estruturas e sistemas que facilitem a formulação, o desenvolvimento e a avaliação destes processos.

Atualmente existem diversos métodos utilizados para dar suporte na gestão, sendo que, um dos mais utilizados para a execução e avaliação da gestão e de políticas no âmbito regional ou nacional (ou na avaliação dos temas específicos de sustentabilidade), é o processo hierárquico de princípios, critérios ou descritores e indicadores (PC&I). Este se fundamenta em estabelecer uma lista estruturada de

princípios e descritores, relacionada a diversas ferramentas, indicadores, que suportam o processo de gestão (HOLVOET; MUYS, 2004).

Este modelo facilita a conversão dos temas gerais ou aspectos da gestão em objetivos específicos e parâmetros quantitativos. Por isso, a qualidade do modelo estrutural adotado depende amplamente da definição desses temas genéricos do sistema ao nível de princípios, que em conjunto com outros níveis hierárquicos, evitam a subjetividade e a pouca transparência no processo de seleção de indicadores (VAN CAUWENBERGH *et al.*, 2007).

Para aplicar este modelo estrutural é necessário definir minuciosamente cada nível hierárquico e seus significados. Segundo Lammerts Van Bueren; Blom, (1997), o primer nível hierárquico, os princípios, se definem como uma lei ou regra que funciona como base de raciocínio e ação na gestão. Estes se caracterizam por ter o caráter de objetivo ou propósito para o gerenciamento dos problemas ou funções do ecossistema ou do sistema social. Também são definidos como elementos explícitos que compõem um objetivo.

Por outro lado, os descritores, termos genéricos de segundo nível, mostram a relação dos objetivos da gestão com seus principais instrumentos e suas áreas específicas de atuação, facilitando o entendimento do conceito tratado no objetivo ou tema genérico, (MAIA; VASCONCELLOS SOBRINHO; CONDURÚ, 2017), e as condições, estados dos ecossistemas ou os aspectos sociais considerados nos seus respectivos princípios.

Os princípios, como aspectos genéricos, não direcionam de forma explícita os processos de gestão e planejamento, portanto, para alcançar um nível mais específico, é necessário descrever e concretizar os estados e condições do ecossistema hídrico subterrâneo e do solo ou dos aspectos sociais que estão incluídos nos processos de planejamento e gestão.

Por conseguinte, o uso dos descritores auxilia a definir resultados mais práticos e aplicáveis em comparação com os princípios, que são abstratos e imensuráveis,

permitindo relacionar, definir e propor indicadores para estes processos de gestão e planejamento ambiental.

Todavia, a falta do reconhecimento do autogerenciamento dos recursos comuns leva à situação de as águas subterrâneas sejam submetidas à apropriação desigual do recurso (SARKERA; BALDWIN; ROSSA, 2009). Porém, a criação de princípios para o gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo propõe delineamentos às instituições responsáveis pela gestão do recurso e para o gerenciamento conjunto entre os gestores e os usuários do recurso.

Assim, é evidente a necessidade de definir uma estrutura específica de princípios, descritores e indicadores em todo processo de gestão, seja a nível nacional, ou regional (HOLVOET; MUYS, 2004). Dessa forma, uma estrutura lógica de avaliação regida por diversos níveis hierárquicos de princípios, descritores e indicadores, exhibe a possibilidade de integração tanto dos diversos grupos de interesse no processo de gestão das águas subterrâneas, como entre ecossistemas compartilhados, que se interagem mútua e continuamente, tais como a água, o solo e o sistema social.

Portanto, neste capítulo apresenta-se uma proposta de uma estrutura de princípios e descritores que visam à integração dos processos de gestão das águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo, fundamentada na literatura científica sobre a temática da pesquisa.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o agrupamento dos indicadores foi necessário estabelecer diferentes níveis hierárquicos relacionados aos princípios e descritores da gestão das águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo. Para isso foram realizados os seguintes processos:

2.2.1 Definição de princípios para a gestão integrada das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo

Este processo baseou-se na seleção e adaptação de princípios sobre gestão de águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo usando as informações encontradas na revisão bibliográfica sistemática e considerando o significado do termo “princípio” relacionado à pesquisa.

Para analisar e adaptar os princípios encontrados na RBS utilizou-se o significado de princípio estabelecido por Lammerts Van Bueren; Blom (1997), e converteu-se em requerimentos de inclusão. Desta forma para o princípio ser selecionado deveria cumprir pelo menos um dos seguintes requerimentos:

- É um aspecto imprescindível para guiar a governança na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e/ou no planejamento de uso e ocupação do solo;
- É um componente que ajuda a fortalecer as relações entre instituições de gestão que tem responsabilidades conjuntas e/ou complementárias, e entre as instituições, gestores e os usuários dos recursos;
- Tem caráter integrativo entre os diversos aspectos (sociais, ambientais, econômicos e/ou políticos) da gestão dos recursos hídricos subterrâneos e/ou no planejamento de uso e ocupação do solo;
- Auxilia o controle dos processos da gestão dos recursos hídricos subterrâneos e/ou no planejamento de uso e ocupação do solo.

2.2.2 Identificação, categorização e agrupamento de indicadores.

De acordo aos princípios resultantes anteriormente, se direcionou o agrupamento dos indicadores para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso ocupação do solo.

Porém, para cada princípio propuseram-se temas mais específicos que respondiam à definição de descritor (ou critério), segundo o formulado por Lammerts

Van Bueren; Blom (1997). Assim, para gerar um sistema de indicadores de gestão e planejamento integrados, cada indicador foi categorizado no descritor específico considerando sua:

- Característica: O indicador tem propriedades e qualidades que estão relacionadas ao descritor;
- Funcionalidade: O indicador funciona e é útil para dimensionar, avaliar ou qualificar os aspectos do descritor;
- Objetivo: A finalidade do indicador está relacionada com o descritor

Deste modo, cada descritor possuía (ou não) um conjunto de indicadores com características, funcionalidades e objetivos relacionados com o tema no que se referia no descritor.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão bibliográfica sistemática, identificaram-se diversos princípios para a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo, que cumprem os requerimentos de inclusão para a sua seleção. Estes foram propostos por Tian *et al.*, (2016), Sarkera; Baldwin; Rossa, (2009), Ross; Martinez-Santos, (2010), Ward; Dillon, (2012), Kulkarni; Shah; Vijay Shankar, (2015), Bartke; Schwarze, (2015), Zorrilla *et al.*, (2010), e foram selecionados e adaptados para a presente pesquisa. Os princípios resultantes se apresentam a seguir:

- *Princípio 1 -Definição dos limites do sistema para gestão de águas subterrâneas:* Está relacionado à delimitação do sistema do aquífero subterrâneo para a gestão, considerando a água subterrânea como recurso essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o ambiente no processo coletivo de gestão;
- *Princípio 2 -Definição dos direitos de acesso à água:* Está relacionado à definição dos direitos sociais e individuais para o uso das águas subterrâneas

dentro dos processos de gestão, considerando a água subterrânea como recurso finito e vulnerável;

- *Princípio 3 -Equivalência proporcional entre investimentos e benefícios:* Está relacionado ao desenvolvimento de normas para investimentos na extração de águas subterrâneas e seus benefícios;
- *Princípio 4 -Atuação conjunta e integrada das Instituições responsáveis da gestão de recursos hídricos subterrâneos e de planejamento de uso e ocupação do solo:* Este princípio fundamenta-se na execução de forma conjunta e integrada das responsabilidades de diversas instituições envolvidas na gestão, gerando uma governança abrangente do recurso hídrico subterrâneo;
- *Princípio 5 -Participação social e democrática:* Este princípio centra-se na execução da gestão com ampla participação democrática, envolvendo a participação dos diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil nos processos de governança da água subterrânea e no planejamento de uso do solo;
- *Princípio 6 -Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas:* Este princípio centra-se no estabelecimento de normas sociais, que delimitem o comportamento dos usuários, possibilitando a regulação do uso e a garantia de segurança dos recursos hídricos subterrâneos;
- *Princípio 7 -Supervisão do comportamento dos usuários na gestão de águas subterrâneas e de uso do solo:* Este princípio baseia-se supervisão do comportamento dos usuários para a garantia efetiva da governança da água e o cumprimento das normas estabelecidas para uso do território;
- *Princípio 8 - Mecanismos de resolução de conflitos na gestão de águas subterrâneas:* Este princípio está relacionado ao desenvolvimento de mecanismos de resolução de conflitos na distribuição e na gestão do recurso hídrico subterrâneo a nível local, permitindo a compreensão das normas de gestão do recurso, a redução de lacunas legislativas, a diluição de tensões sobre a alocação da água e implementação de soluções mais equitativas;
- *Princípio 9 - Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso do solo:* Este princípio baseia-se no estabelecimento de sistemas de monitoramento de

- dados e avaliações técnicas dos aquíferos e do uso e ocupação do solo, garantindo informações que fundamentem a tomada de decisões para a gestão do recurso hídrico subterrâneo e o planejamento do uso do solo;
- *Princípio 10 -Implementação de sanções proporcionais:* Este princípio baseia-se na implementação de sanções proporcionais sobre os usuários (de acordo ao grau de severidade e ao contexto de situações), pelo não cumprimento de suas obrigações pelo uso das águas subterrâneas;
 - *Princípio 11 -Valorização e inclusão de conhecimentos científicos nos processos de gestão e planejamento:* Este princípio fundamenta-se na valorização e na integração da informação e de conhecimentos multidisciplinares provenientes de estudos científicos com a governança das águas subterrâneas, funcionando como instrumentos efetivos para a tomada de decisões no gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo e no planejamento do uso e ocupação do solo;
 - *Princípio 12 -Adaptação da gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo frente aos desafios ambientais e condições climáticas adversas:* Este princípio relaciona-se à inclusão de estratégias de adaptação nos diversos planos de gerenciamento das águas subterrâneas frente aos desafios socioambientais e as condições climáticas adversas, garantindo o suprimento das necessidades dos usuários e os requerimentos ecológicos do aquífero;
 - *Princípio 13 -O papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas:* Este princípio destaca a relação intrínseca da mulher e o reconhecimento de seu papel na gestão e preservação do recurso hídrico subterrâneo, implicando sua participação de forma ativa e representativa dentro dos processos de governança e gerenciamento da água;
 - *Princípio 14 -Interações dos sistemas socioambientais na gestão de água subterrâneas:* Este princípio orienta à gestão das águas subterrâneas no destaque dos sistemas ambiental, econômico e social como entes que interagem dinamicamente, implicando riscos e incertezas na tomada de decisões, mas visando à sustentabilidade;
 - *Princípio 15 -Interações dos sistemas socioambientais no planejamento do uso e ocupação do solo:* Este princípio orienta o planejamento de uso do solo na busca

da sustentabilidade, reconhecendo que os sistemas ambiental, econômico, sociocultural e institucional que interagem dinamicamente e que estão imersos a riscos e incertezas na tomada de decisões;

- *Princípio 16 - Ocupação adequada e a proteção do solo no planejamento de uso e ocupação do solo:* Este princípio ressalta a importância da ocupação apropriada do território, considerando a aptidão do solo e as condições ecológicas nas que está inserido, assegurando sua preservação e proteção nos processos de planejamento de uso do solo;
- *Princípio 17 -Ocupação do solo adequada e a proteção das águas subterrâneas:* Este princípio baseia-se na ocupação apropriada do território considerando as condições ecológicas do ecossistema hídrico subterrâneo, assegurando sua preservação e proteção do aquífero nos processos da sua gestão;
- *Princípio 18 -Escopo e abrangência adequados para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo:* Em este princípio destaca a importância do dimensionamento apropriado tanto dos períodos (longo, médio e curto prazos), assim como da escala geográfica (local a global) para o planejamento do uso e ocupação do solo, a fim de assegurar a definição adequada dos horizontes projetados;
- *Princípio 19 - Modelos conceituais na gestão das águas subterrânea e no planejamento do uso e ocupação do solo:* Este princípio relaciona-se à definição duma guia lógica conceitual, que mostre as inter-relações entre aspectos e conceitos gerais a considerar nos processos de gestão e planejamento. Estes facilitam estabelecer instrumentos e/ou ferramentas padronizadas para supervisionar os processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo;
- *Princípio 20 -Acessibilidade às informações e comunicação efetiva de dados sobre gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo:* Este princípio relaciona-se à acessibilidade pública de dados e informações confiáveis, simples, claras e práticas sobre o planejamento do uso do solo, garantindo a compreensão e a participação efetiva de todos os envolvidos nos processos de planejamento.

Desta forma, para realizar a análise da informação, se identificaram os principais aspectos ou fatores dos princípios. Os princípios correspondem a temas genéricos fundamentais, guias (diretrizes) para uma gestão integrada da gestão das águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo. na Tabela 6 apresentam-se os princípios com seus respectivos descritores e número de indicadores identificados.

Tabela 6 – Princípios, descritores e número de indicadores correspondentes.

Princípios		DESCRITORES	Nº indicadores	Total
1	Definição dos limites do sistema para gestão	1. Dimensionamento e divisão das áreas do reservatório de água subterrânea	1	2
		2. Delimitação geográfica das unidades dos reservatórios de água subterrânea	1	
2	Definição dos direitos de acesso à água	3. Identificação e delimitação dos direitos sociais e individuais sobre a água subterrânea	1	3
		4. Dimensionamento da capacidade de uso e acesso do recurso hídrico a nível individual e coletivo	2	
3	Equivalência proporcional entre investimentos e benefícios	5. Existência e aplicação de normas para gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo	3	9
		6. Pagamentos de retribuição pelo uso da água subterrânea	0	
		7. Efetividade das normas e instrumentos de cobrança e outorga do recurso hídrico para a manutenção do recurso hídrico	6	
		8. Dimensionamento dos recursos econômicos obtidos nos instrumentos de gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo	0	
4	Atuação conjunta e integrada das Instituições responsáveis da gestão de recursos hídricos subterrâneos e de planejamento de uso e ocupação do solo	9. Integração de normas sobre os processos de gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo	0	1
		10. Efetividade de cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo	1	
		11. Identificação das relações e cumprimento das ações conjuntas das instituições do recurso hídrico subterrâneo	0	
		12. Integração do cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo	0	
5	Participação social e democrática	13. Viabilização e mobilização social para participação	0	1
		14. Incentivo e viabilização da representação dos envolvidos em tomada de decisões	1	
		15. Efetividade da participação dos usuários, planejadores e formuladores de políticas públicas nos processos de	0	

Princípios		DESCRITORES	Nº indicadores	Total
		planejamento de uso e ocupação do solo e de gestão das águas subterrâneas		
6	Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas	16. Definição de normas, obrigações e responsabilidade dos usuários da água subterrânea e da ocupação do solo	1	1
7	Supervisão do comportamento dos usuários na gestão de águas subterrânea e uso do solo	17. Fiscalização dos usos e permissões do uso de águas subterrâneas e ocupação do solo	1	1
		18. Efetividade do cumprimento de obrigações dos usuários da água subterrânea	0	
8	Mecanismos de resolução de conflitos na gestão de águas	19. Existência e efetividade dos mecanismos de resolução de conflitos na distribuição e gestão do recurso hídrico subterrâneo	3	3
		20. Identificação de conflitos na distribuição e proteção do recurso hídrico subterrâneo.	0	
		21. Identificação das lacunas legislativas e normativas sobre a gestão de água subterrânea	0	
9	Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso e ocupação do solo	22. Quantificação do recurso hídrico subterrâneo extraível sustentavelmente	9	47
		23. Monitoramento da qualidade do recurso hídrico subterrâneo e do solo	9	
		24. Probabilidade de ocorrência da contaminação dos aquíferos	7	
		25. Capacidade de suporte do aquífero e do solo frente a contaminantes e/ou perturbações	11	
		26. Acompanhamento e supervisão dos processos de uso da água e ocupação do solo	2	
		27. Análise da evolução de expansão da ocupação do território	0	
		28. Identificação das ferramentas e efetividade de aplicação para o monitoramento dos processos de planejamento do uso do solo e gestão de águas subterrâneas	9	

Princípios		DESCRITORES	Nº indicadores	Total
10	Implementação de sanções proporcionais	29. Instrumentos para implementação de sanções	1	2
		30. Classificação dos níveis de severidade de impactos e interferências ambientais sobre o recurso hídrico subterrâneo	1	
		31. Efetividade da aplicação das sanções sobre os usuários da água subterrânea	0	
11	Valorização e inclusão de conhecimentos científicos nos processos de gestão e planejamento	32. Identificação e valorização dos estudos científicos para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.	1	1
12	Adaptação da gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo frente aos desafios ambientais e condições climáticas adversas	33. Proposição de atividades para sustentar a água subterrânea frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas	7	11
		34. Quantificação dos efeitos das mudanças climáticas sob o recurso hídrico subterrânea	3	
		35. Avaliação da efetividade das estratégias de adaptação dos recursos hídricos subterrâneos frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas	1	
13	O papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas	36. Efetividade da participação e representatividade da mulher nos processos da gestão do recurso hídrico subterrâneo	0	0
14	Interações dos sistemas socioambientais na gestão de águas subterrâneas	37. Classificação das águas subterrâneas de acordo ao tipo de armazenamento de água, grau de intervenção antrópica, ao tipo de fluxo base	3	78
		38. Estimativa dos processos no ambiente hídrico subterrâneo (infiltração, recarga, fluxo base, condutividade hidráulica).	16	
		39. Potencialidade dos aquíferos para abastecimento hídrico público.	19	
		40. Relações do recurso hídrico subterrâneo e do solo com a fauna e flora do ecossistema	6	

Princípios		DESCRITORES	Nº indicadores	Total
		41. Estimativa da escassez das águas subterrâneas e estresse do ecossistema hídrico e do solo	7	
		42. Intensidade de uso de água subterrânea e classificação segundo a atividade antrópica	17	
		43. Vulnerabilidade da população frente à contaminação das águas subterrâneas	2	
		44. Vulnerabilidade da população frente à escassez das águas subterrâneas	1	
		45. Integração dos elementos do ecossistema e os corpos hídricos superficiais com os corpos hídrico subterrâneos e os diversos usos da água	7	
15	Interações dos sistemas socioambientais no planejamento do uso e ocupação do solo	46. Conflito de uso e interesses do solo	6	36
		47. Mudança do uso do solo	5	
		48. Vulnerabilidade da população frente à mudança de uso do solo	1	
		49. Intensidade de uso do solo segundo atividades e assentamentos antrópicos	11	
		50. Riscos ambientais de acordo ao uso e ocupação do solo	2	
		51. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos do solo	9	
		52. Integração dos usos da água subterrânea com o diversos usos e ocupações do solo	2	
16	Ocupação adequada e a proteção do solo no planejamento de uso e ocupação do solo	53. Delimitação e classificação do solo segundo a sua aptidão e de acordo ao interesse de uso sustentável	10	15
		54. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso do solo	1	
		55. Intensidade das intervenções antrópicas sobre zonas de interesse de proteção do solo	4	
17	Ocupação do solo adequada e a proteção das águas	56. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso da água.	2	8

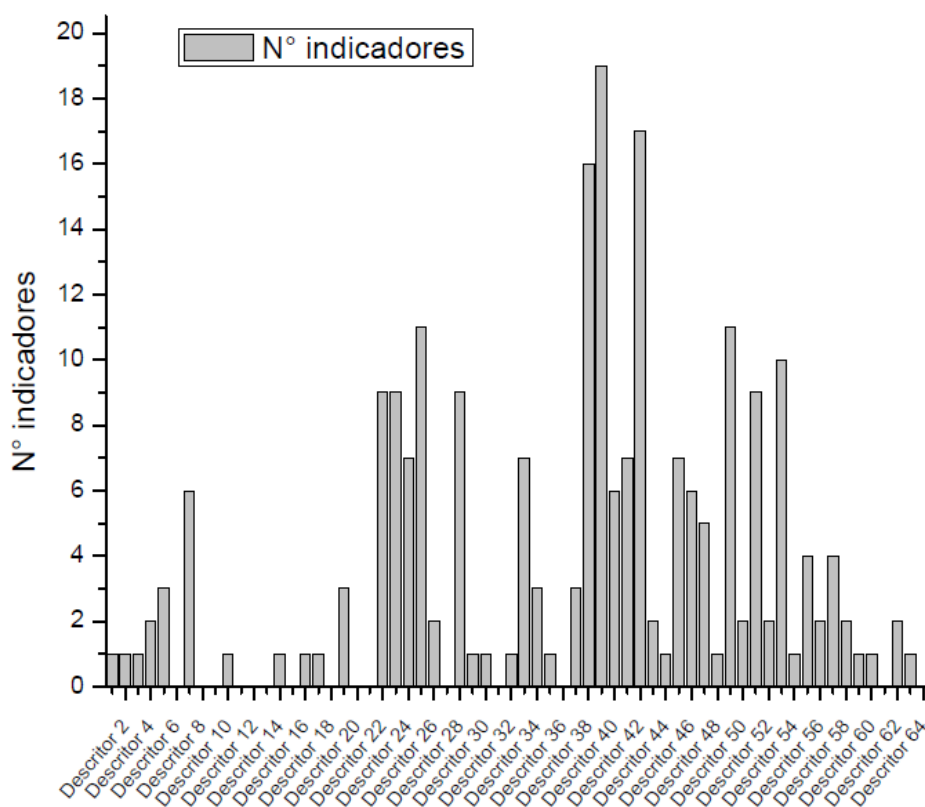
Princípios		DESCRITORES	Nº indicadores	Total
	subterrâneas	57. Integração do uso do solo com a qualidade e quantidade de água subterrânea	4	
		58. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos das águas subterrâneas	2	
18	Escopo e abrangência adequadas para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	59. Delimitação dos períodos e prazos adequados para o planejamento do uso do solo	1	2
		60. Delimitação da escala apropriada para o planejamento do uso do solo	1	
19	Modelos conceituais na gestão das águas subterrâneas e no planejamento do uso e ocupação do solo	61. Definição de modelos conceituais nos processos de planejamento de uso e ocupação do solo	0	0
20	Acessibilidade às informações e comunicação efetiva de dados sobre a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	62. Disponibilização e comunicação de dados e informações	2	3
		63. Qualidade e confiabilidade da informação pública referente ao uso da terra e as águas subterrânea.	1	
		64. Integração das diversas fontes de informação para a gestão das águas e o planejamento do uso do solo	0	

Fonte: AUTOR

Como se observou anteriormente, com os descritores definidos, se agruparam os indicadores (identificados no estudo anterior de Revisão da bibliografia.), de acordo com a concordância de seus objetivos, características e finalidades com o tema dos descritores.

O agrupamento e a categorização dos indicadores foram realizados tanto para classificar os indicadores por grupos de temas, como para agrupar aqueles que possuíam objetivos, finalidades idênticas e características parecidas.

Figura 16 – Distribuição dos indicadores por descritores.



Fonte: AUTOR

Na Figura 16, se exhibe a distribuição dos indicadores nos diferentes descritores. Como se pode observar a distribuição dos indicadores foi desproporcional. Isso poderia estar influenciado pelos aspectos que consideram cada descritor, devido a que os descritores que tem atribuído menor quantidade de

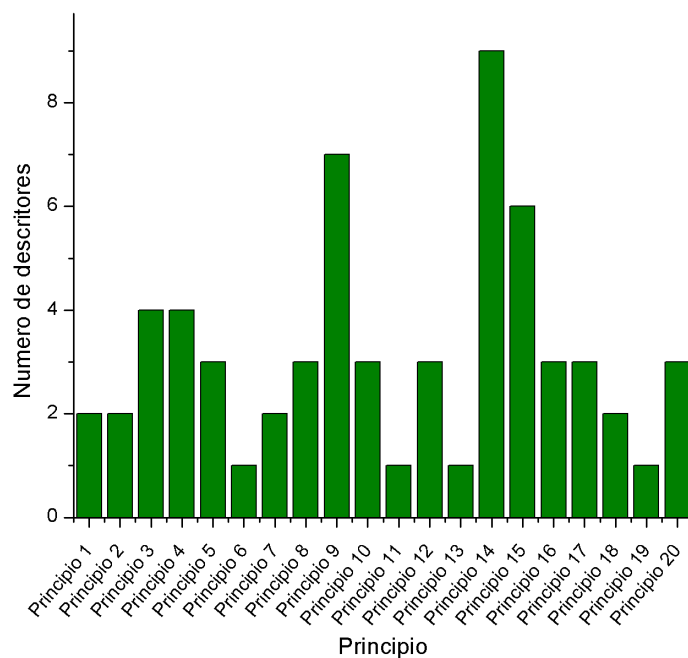
indicadores, abordam temas relacionados aos processos de participação, inclusão do conhecimento científico nos processos de gestão e planejamento, avaliação dos processos de gestão, a existência a normas e políticas como avaliação das suas aplicações, enquanto os grupos maior número de indicadores, estão relacionado a temas de dimensionamento dos recursos (água e solo), avaliação da qualidade dos recursos (água e solo), estimativa da escassez hídrica, potencialidade para abastecimento hídrico, uso e proteção do solo e integração dos elementos dos ecossistemas hídricos e do solo.

Cada princípio possui um número específico de descritores e cada descritor um número específico de indicadores. Na Figura 17, se mostra a distribuição do número de descritores para os princípios, com valores maiores a quatro nos princípios 9, 14 e 15. Portanto, se espera que a distribuição dos indicadores por princípios seja desproporcional.

O número de indicadores atribuídos a cada princípio está influenciado não só pela distribuição desigual dos descritores, mas também pelo tipo de tema considerado no princípio. Como se apresentaram na Figura 18, quatro dos princípios relacionados a: o monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do solo; as interações dos sistemas socioambientais na gestão de água subterrâneas; e as interações dos sistemas socioambientais no planejamento do uso e ocupação do solo, possuem maior número de indicadores.

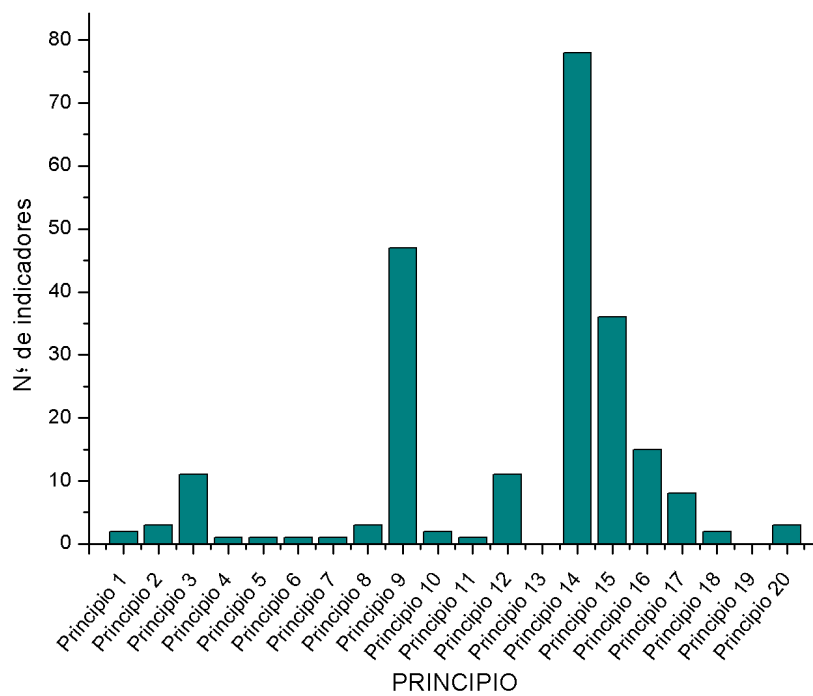
Contudo, os demais princípios, apesar de tratarem de temas importantes para a integração dos indicadores, não possuem grande número de indicadores, já que 10 dos descritores possuem menos de 5 indicadores, ou não houve informação sobre indicadores na revisão bibliográfica, como foi no caso dos princípios 13 e 19 relacionados ao papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas e aos modelos conceituais no planejamento do uso e ocupação do solo, respectivamente.

Figura 17 – Distribuição dos descritores por princípio.



Fonte: AUTOR

Figura 18 – Número de indicadores por princípio.



Fonte: AUTOR.

De acordo com a Figura 18 dos 20 princípios definidos, em 2 estão distribuídos 55,80% dos indicadores, correspondendo aos princípios 14 e 9 . Os princípios que agrupam 27,68% dos indicadores encontrados correspondem aos princípios 15,16 e 12. Os demais indicadores equivalem a 16,518%, distribuídos nos outros 15 princípios.

Assim, observa-se que mais do 50% dos indicadores pertence aos princípios de: interações dos sistemas socioambientais na gestão de água subterrâneas e de monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso do solo.

O primeiro está relacionado a temas como a estimativa dos processos físicos dos aquíferos, a intensidade do uso das águas e o dimensionamento da reserva hídrica e o segundo ao monitoramento de qualidade das águas subterrâneas e do solo e o risco e vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Para a implementação dos indicadores (categorizados pelos descritores) anteriormente mencionados, é necessária a execução de trabalhos técnicos e científicos sobre esses temas específicos de dimensionamento do recurso hídrico subterrâneo, características geológicas e do solo do aquífero. De igual forma, para sua análise e interpretação é necessário conhecimentos específicos relacionados a esses temas.

Portanto, grande parte da informação encontrada representa informação de alta qualidade por serem provenientes de processos de avaliação científica e técnica, mas para a aplicabilidade destes indicadores e consequentes princípios existem diversos desafios técnicos e de disponibilidade de dados.

Dentre estes desafios, destacam-se: a compreensão da função do ecossistema subterrâneo por meio de indicadores, influenciada pela heterogeneidade da tipologia dos aquíferos, a realidade local e as estações do ano; o levantamento e disponibilidade de informações científicas e técnicas sobre o tema; e o requerimento de conhecimento científico e técnico para a interpretação e compreensão dos indicadores nos processos de gestão das águas subterrâneas.

Desta forma, observou-se que as ferramentas disponíveis na literatura científica para uma gestão integrada do recurso hídrico subterrâneo com o solo não garantem a aplicabilidade completa dos princípios estabelecidos para a gestão integrada, mostrando tanto as potencialidades das ferramentas disponíveis quanto as necessidades de propostas de novos indicadores que respondam aos princípios.

Segundo Lammerts Van Bueren; Blom, (1997), para a gestão ou avaliação de qualquer sistema é necessário formular metas claras que respondam a ferramentas e conceitos claros, e do mesmo modo, que os conceitos e ferramentas propostos respondam às metas definidas para a gestão do sistema.

Portanto, para garantir uma gestão integrada das águas subterrâneas com o planejamento de uso e ocupação do solo é preciso o estabelecimento de princípios claros e abrangentes, conseqüentemente para sua implementação dentro dos processos de gestão integrada, sendo indispensável o uso de indicadores que atendam às necessidades de cada princípio.

A distribuição significativamente desproporcional dos indicadores nos princípios mostra a existência de lacunas de ferramentas direcionadas à gestão e ao planejamento integrados. Com isso, esta estrutura funcionou como um instrumento de análise simples das informações existentes sobre indicadores de gestão de águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação do solo, assegurando a criação e o estabelecimento de um modelo abrangente, interconectado e versátil. Deste modo a integração destes dois processos da governança das águas subterrâneas e planejamento do uso do solo são mais evidentes.

Segundo López-Ridaura *et al.* (2005) um conjunto fixo de indicadores para cada sistema de manejo é inapropriado, já que todo sistema precisa de um único e específico número de critérios e indicadores que poderiam ou não ser relevantes.

Portanto, é importante destacar que a proposta desta estrutura facilita a definição de uma estrutura específica de gestão integrada das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação do solo, mas não assegura que em todos os casos da

sua aplicação os descritores e indicadores responderão adequadamente a qualquer realidade.

O estabelecimento de um modelo hierárquico é fundamental para a gestão integrada das águas subterrâneas com o solo, sendo este um procedimento estratégico para a definição de princípios, descritores e indicadores usados como ferramentas de gestão. A apresentação do conjunto de indicadores sem uma estratégia clara para integrar a informação gera um entendimento fragmentado e errôneo do sistema em análise.(LÓPEZ-RIDAURA *et al.*, 2005)

Assim, evidencia-se a necessidade, conforme apontada por Montañó *et al.*, (2007), de promover uma melhor aplicação de indicadores com uma abordagem integradora de gestão de águas e planejamento e uso do solo, a fim de auxiliar a eficácia do zoneamento territorial.

O uso do modelo de Princípios, Descritores e Indicadores (P, D & I) para a gestão dum sistema, fornece uma estrutura baseada num sistema organizacional (hierárquico) e conceitual, facilitando o estabelecimento de atributos quantitativos, ou seja a formulação de indicadores (VAN CAUWENBERGH *et al.*, 2007)

Desta forma, a estrutura de princípios visa ser um passo fundamental para a gestão integrado do recurso hídrico subterrâneo e do planejamento de uso e ocupação do solo mais dinâmica, de acordo com o estudo de caso em questão, devido à dependência de sua funcionalidade e utilidade a cada realidade.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da identificação de princípios e descritores, e no agrupamento de indicadores direcionados à integração da gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação do solo, estabeleceu-se uma estrutura lógica de solidez e transparência nos diversos níveis hierárquicos, Este níveis servem como

ferramenta crucial para garantir o gerenciamento efetivo da gestão da água subterrânea e do planejamento do uso do solo.

A estrutura proposta neste capítulo manifesta as limitações e as tendências relacionadas à gestão, influenciadas pela disponibilidade e acesso às informações que são base para a formulação de uma estrutura lógica, imparcial e abrangente.

A partir desta análise, a qualidade da informação encontrada demonstra a potencialidade dos indicadores e princípios para garantir a gestão integrada das águas subterrâneas com o planejamento de uso e ocupação do solo, mas comprometida e influenciada pela disponibilidade de informação em questão e o grau de aplicabilidade dos indicadores numa realidade específica.

A aplicabilidade dos indicadores e dos princípios dependerá da disponibilidade de dados e informação técnica e científica da realidade, portanto, existem diversos desafios relacionados à informação, à compreensão do ecossistema subterrâneo e às condições sociais e ambientais do local, assim às relações interinstitucionais de gestão das águas subterrâneas e do solo.

Embora na pesquisa com o agrupamento de indicadores, se evidenciem lacunas e falta de informação relacionada a vários aspectos dos processos de gestão e planejamento, também se destaca a potencialidade desta estrutura para avaliar a abrangência da informação sobre os processos de gestão e planejamento, possibilitando a integração da gestão do recurso hídrico subterrâneo com e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Antes de definir uma estrutura lógica de avaliação, é imprescindível descrever concreta e claramente as definições adaptadas na pesquisa referente aos conceitos chave: “Princípio”, “Descritor” e “Indicador”, devido a que estas influenciam na qualidade da estrutura e explicam o enfoque em que está direcionada a estrutura dentro da pesquisa.

Capítulo 3. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e Análise por quartis para a seleção de indicadores.

AHP como técnica de hierarquização para indicadores de águas subterrâneas e de uso e ocupação do solo.

3.1 INTRODUÇÃO

As técnicas de análise multicritério são técnicas que suportam o manejo de amplo número de informações complexas, já que se fundamentam em fracionar os problemas de decisão em partes mais simples e compreensíveis, simplificando a análise e integrando as partes dentro duma estrutura lógica (DOUMOUYA *et al.*, 2012).

Devido às suas características e forma de operação, estas técnicas de análise podem combinar aspectos econômicos, sociais e ecológicos, gerenciando situações de decisão multivariadas, aspecto indispensável na direção das questões ambientais caracterizadas pela sua interdisciplinaridade e complexidade (FONTANA *et al.*, 2013).

As decisões na gestão dos recursos hídricos são frequentemente complexas, especialmente quando há conflito de opiniões sobre como a água deveria ser usada em uma área. Em muitos casos, a adoção de ferramentas, direcionadas a auxiliar os processos de tomada de decisão consensual e justa, poderia resolver qualquer discussão quando se procura gerar benefícios sociais e ambientais (STEFANOPOULOS *et al.*, 2014).

O planejamento do uso e ocupação do solo é um processo fundamental para garantir a eficiência na gestão dos recursos e no gerenciamento da demanda estabelecida pela mudança das situações ambientais adversas e das condições socioeconômicas, implicando estabelecer ponderações entre objetivos conflitantes (NGUYEN *et al.*, 2015). Portanto, é indispensável o uso de ferramentas que simplifiquem a tomada de decisão em que primam aspectos conflitantes e levem em consideração várias variáveis relacionadas.

Por isso, superar os desafios da gestão das águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo, implica em executar tomada de decisões complexas, envolvidas em situações de conflito de interesses e debates sobre os recursos que interferem em diversas variáveis. Desta forma, as técnicas de análise

multicritério propiciam uma solução adequada e efetiva para o escopo dos processos de gestão e planejamento ambiental.

Dentre as diversas técnicas de análise multicritério, uma das mais utilizadas, é o Processo Analítico Hierárquico (AHP), que consiste numa técnica de tomada de decisão sistemática derivada de sólidos princípios matemáticos visando garantir melhor qualidade das soluções para problemas complexos, envolvendo o investimento de pouco tempo no processo de tomada de decisão (BHUSHAN; RAI, 2004).

Esta técnica auxilia o estabelecimento de prioridades de diversas alternativas ou critérios usando comparações por pares, escalas unidimensionais normalizadas, análise de sensibilidade e consistência dos dados e a integração de diversos grupos de avaliações (SAATY, 2001). Estas propriedades mostram a potencialidade da técnica para atender aos desafios da gestão e o planejamento.

Por outro lado, a análise ambiental converteu-se em tema comum nas fases de planejamento e avaliação nas diversas escalas de tomada de decisão de empresas privadas, prefeituras, governos e fóruns internacionais. E é nesses processos que os indicadores ambientais cumprem um papel crucial por serem as ferramentas principais de identificação das pressões ambientais, da análise da evolução do estado do médio e da adequação das políticas públicas ambientais (NIEMEIJER; DE GROOT, 2008).

Assim, para manter a sustentabilidade na gestão das águas subterrâneas, é indispensável a formulação de indicadores baseados em princípios que respondam aos programas de monitoramento. Estes dão suporte à análise dos processos naturais, dos sistemas hídricos subterrâneos e dos impactos nos sistemas sociais e econômicos (LAMBÁN *et al.*, 2011).

Da mesma forma, para encontrar soluções às questões ambientais e da conservação da natureza, é necessária a formulação de estruturas padronizadas de instrumentos de gestão que considerem o uso e ocupação do solo como fenômeno onipresente nos dilemas de gestão e planejamento (FONTANA *et al.*, 2013).

Deste modo, a necessidade de indicadores cada vez é mais evidente no processo de gestão e monitoramento ambiental, porém a seleção de métodos para estudar, analisar e criar indicadores ambientais destaca-se por não ser suficientemente sistemática, transparente e subjetiva (SCHWEMLEIN; CRONK; BARTRAM, 2016). Por isso, a técnica AHP pode responder à exigência do estabelecimento de uma estrutura de indicadores concreta e válida cientificamente.

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar indicadores para a integração das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo adotando a técnica AHP (Processo Analítico Hierárquico) para hierarquizar os indicadores de acordo a sua relevância na pesquisa, selecionando os de maior valor de ponderação.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para selecionar, definir e analisar os indicadores adequados para a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo, foi necessário a aplicação da técnica de hierarquização de AHP e o uso de quartis para a definição destes instrumentos. A seguir se apresentam cada uma das etapas deste estudo:

3.2.1 Estrutura de princípios, descritores e indicadores.

Para selecionar, definir e analisar os indicadores foi estabelecido anteriormente uma estrutura conceitual de relações entre princípios, descritores e possíveis indicadores para a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Esta estrutura caracteriza-se por apresentar princípios norteadores, descritores e indicadores. Os princípios correspondem a temas genéricos fundamentais para a gestão integrada do recurso água e solo, os descritores são temas mais específicos que permitem o agrupamento de indicadores e os indicadores são as ferramentas quantificam os componentes ou a condição do sistema água-solo.

A seguir, na tabela 7, se mostra a lista de princípios e descritores que foram base para a definição dos pesos na comparação dos indicadores usando a técnica AHP:

Tabela 7 – Princípios e descritores da estrutura sistêmica de indicadores.

PRINCÍPIO		DESCRIÇÃO	DESCRITORES
1	Definição dos limites do sistema para gestão	Está relacionado à delimitação do sistema do aquífero subterrâneo para a gestão considerando a água subterrânea como recurso essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o ambiente no processo coletivo de gestão	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimensionamento e divisão das áreas do reservatório de água subterrânea 2. Delimitação geográfica das unidades dos reservatórios de água subterrânea
2	Definição dos direitos de acesso à água	Está relacionado à definição dos direitos sociais e individuais para o uso das águas subterrâneas dentro dos processos de gestão considerando a água subterrânea como recurso finito e vulnerável.	<ol style="list-style-type: none"> 3. Identificação e delimitação dos direitos sociais e individuais sobre a água subterrânea 4. Dimensionamento da capacidade de uso e acesso do recurso hídrico a nível individual e coletivo
3	Equivalência proporcional entre investimentos e benefícios	Este princípio envolve o desenvolvimento de normas para investimentos na extração de águas subterrâneas e seus benefícios (distribuição equivalente de custos e cobrança para uso, manutenção e monitoramento de águas subterrâneas)	<ol style="list-style-type: none"> 5. Existência e aplicação de normas para gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo 6. Pagamentos de retribuição pelo uso da água subterrânea 7. Efetividade das normas e instrumentos de cobrança e outorga do recurso hídrico para a manutenção do recurso hídrico 8. Dimensionamento dos recursos econômicos obtidos nos instrumentos de gerenciamento dos recurso hídrico subterrâneo
4	Atuação conjunta e integrada das Instituições responsáveis da gestão de recursos hídricos	Este princípio fundamenta-se na execução de forma conjunta e integrada das responsabilidades de diversas instituições envolvidas na gestão, gerando uma governança abrangente do recurso	<ol style="list-style-type: none"> 9. Integração de normas sobre os processos de gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo

	subterrâneos e de planejamento de uso e ocupação do solo	hídrico subterrâneo.	<p>10. Efetividade de cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo</p> <p>11. Identificação das relações e cumprimento das ações conjuntas das instituições do recurso hídrico subterrâneo</p> <p>12. Integração do cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo</p>
5	Participação social e democrática	Este princípio centra-se na execução da gestão com ampla participação democrática, envolvendo a participação dos diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil nos processos de governança da água subterrânea e no planejamento de uso do solo	<p>13. Viabilização e mobilização social para participação</p> <p>14. Incentivo e viabilização da representação dos envolvidos em tomada de decisões</p> <p>15. Efetividade da participação dos usuários, planejadores e formuladores de políticas públicas nos processos de planejamento de uso e ocupação da terra e de gestão das águas subterrâneas</p>
6	Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas	Este princípio centra-se no estabelecimento de normas sociais que delimitem o comportamento dos usuários, possibilitando a regulação do uso e garantia de segurança dos recursos hídricos subterrâneos.	<p>16. Definição de normas, obrigações e responsabilidade dos usuários da água subterrânea e da ocupação do solo</p>
7	Supervisão do comportamento dos usuários na gestão de águas subterrânea e uso do solo	Este princípio baseia-se supervisão do comportamento dos usuários para a garantia efetiva da governança da água e o cumprimento das normas estabelecidas para uso do território	<p>17. Fiscalização dos usos e permissões do uso de águas subterrâneas e ocupação do solo</p> <p>18. Efetividade do cumprimento de obrigações dos usuários da água subterrânea</p>
8	Mecanismos de resolução	Este princípio está relacionado ao desenvolvimento	<p>19. Existência e efetividade dos mecanismos de</p>

	de conflitos na gestão de águas	de mecanismos de resolução de conflitos na distribuição e na gestão do recurso hídrico subterrâneo a nível local, permitindo: a compreensão das normas de gestão do recurso, a redução de lacunas legislativas, a diluição de tensões sobre a alocação da água e implementação de soluções mais equitativas	resolução de conflitos na distribuição e gestão do recurso hídrico subterrâneo 20. Identificação de conflitos na distribuição e proteção do recurso hídrico subterrâneo. 21. Identificação das lacunas legislativas e normativas sobre a gestão de água subterrânea
9	Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso e ocupação do solo	Este princípio baseia-se no estabelecimento de sistemas de monitoramento de dados e avaliações técnicas dos aquíferos e do uso e ocupação do solo, garantindo informações que fundamentem a para tomada de decisões para a gestão do recurso hídrico subterrâneo e o planejamento do uso do solo	22. Quantificação do recurso hídrico subterrâneo extraível sustentavelmente 23. Monitoramento da qualidade do recurso hídrico subterrâneo (e do solo) 24. Probabilidade de ocorrência da contaminação dos aquíferos 25. Capacidade de suporte do aquífero e do solo frente a contaminantes e/ou perturbações 26. Acompanhamento e supervisão dos processos de uso da água e ocupação do solo 27. Análise da evolução de expansão da ocupação do território 28. Identificação das ferramentas e efetividade de aplicação para o monitoramento dos processos de planejamento do uso do solo e gestão de águas subterrâneas
10	Implementação de sanções proporcionais	Este princípio baseia-se na implementação de sanções proporcionais sobre os usuários (de acordo ao grau de severidade e ao contexto de	29. Instrumentos para implementação de sanções

		situações), pelo não cumprimento de suas obrigações pelo uso das águas subterrâneas	<p>30. Classificação dos níveis de severidade de impactos e interferências ambientais sobre o recurso hídrico subterrâneo</p> <p>31. Efetividade da aplicação das sanções sobre os usuários da água subterrânea</p>
11	Valorização e inclusão de conhecimentos científicos nos processos de gestão e planejamento	Este princípio fundamenta-se na valorização e na integração da informação e de conhecimentos multidisciplinares provenientes de estudos científicos com a governança das águas subterrâneas, funcionando como instrumentos efetivos para a tomada de decisões no gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo e no planejamento do uso da terra	<p>32. Identificação e valorização dos estudos científicos para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso do solo.</p>
12	Adaptação da gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo frente aos desafios ambientais e condições climáticas adversas	Este princípio relaciona-se à inclusão de estratégias de adaptação nos diversos planos de gerenciamento das águas subterrâneas frente aos desafios socioambientais e as condições climáticas adversas, garantindo o suprimento das necessidades dos usuários e os requerimentos ecológicos do aquífero	<p>33. Proposição de atividades para sustentar a água subterrânea frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas</p> <p>34. Quantificação dos efeitos das mudanças climáticas sob o recurso hídrico subterrâneo</p> <p>35. Avaliação da efetividade das estratégias de adaptação dos recursos hídricos subterrâneos frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas.</p>
13	O papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas	Este princípio destaca a relação intrínseca da mulher e o reconhecimento de seu papel na gestão e preservação do recurso hídrico subterrâneo, implicando sua participação de forma ativa e representativa dentro dos processos de	<p>36. Efetividade da participação e representatividade da mulher nos processos da gestão do recurso hídrico subterrâneo</p>

		governança e gerenciamento da água	
14	Interações dos sistemas socioambientais na gestão de águas subterrâneas	Este princípio orienta à gestão das águas subterrâneas no destaque dos sistemas ambiental, econômico e social como entes que interatuam dinamicamente, implicando riscos e incertezas na tomada de decisões, mas visando a sustentabilidade	<p>37. Classificação das águas subterrâneas de acordo ao tipo de armazenamento de água, grau de intervenção antrópica, ao tipo de fluxo base</p> <p>38. Estimativa dos processos no ambiente hídrico subterrâneo (infiltração, recarga, fluxo base, condutividade hidráulica).</p> <p>39. Potencialidade dos aquíferos para abastecimento hídrico público.</p> <p>40. Relações do recurso hídrico subterrâneo e do solo com a fauna e flora do ecossistema</p> <p>41. Estimativa da escassez das águas subterrâneas e estresse do ecossistema hídrico e do solo</p> <p>42. Intensidade de uso de água subterrânea e classificação segundo a atividade antrópica (geral)</p> <p>43. Vulnerabilidade da população frente à contaminação das águas subterrâneas</p> <p>44. Vulnerabilidade da população frente à escassez das águas subterrâneas</p> <p>45. Integração dos elementos do ecossistema e os corpos hídricos superficiais com os corpos hídrico subterrâneos e os diversos usos da água (geral)</p>

15	<p>Interações dos sistemas socioambientais no planejamento do uso e ocupação do solo</p>	<p>Este princípio orienta ao planejamento de uso do solo na busca da sustentabilidade, reconhecendo os sistemas ambiental, econômico e social que interagem dinamicamente, que imersos a riscos e incertezas na tomada de decisões.</p>	<p>46. Conflito de uso e interesses do solo</p> <p>47. Mudança do uso do solo</p> <p>48. Vulnerabilidade da população frente à mudança de uso do solo</p> <p>49. Intensidade de uso do solo segundo atividades e assentamentos antrópicos</p> <p>50. Riscos ambientais de acordo ao uso e ocupação do solo</p> <p>51. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos do solo</p> <p>52. Integração dos usos da água subterrânea com o diversos usos e ocupações do solo</p>
16	<p>Ocupação adequada e a proteção do solo no planejamento de uso e ocupação do solo</p>	<p>Este princípio ressalta a importância da ocupação apropriada do território considerando a aptidão do solo e as condições ecológicas nas que está imerso, assegurando sua preservação e proteção nos processos de planejamento de uso do solo</p>	<p>53. Delimitação e classificação do solo segundo a sua aptidão e de acordo ao interesse de uso sustentável</p> <p>54. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso do solo</p> <p>55. Intensidade das intervenções antrópicas sobre zonas de interesse de proteção do solo</p>
17	<p>Ocupação do solo adequada e a proteção das águas subterrâneas</p>	<p>Este princípio baseia-se na ocupação apropriada do território considerando as condições ecológicas do ecossistema hídrico subterrâneo, assegurando sua preservação e proteção do aquífero nos processos da sua gestão</p>	<p>56. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso da água.</p> <p>57. Integração do uso do solo com a qualidade e</p>

			<p>quantidade de água subterrânea</p> <p>58. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos das águas subterrâneas</p>
18	Escopo e abrangência adequadas para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	Em este princípio destaca a importância do dimensionamento apropriado tanto dos períodos (longo, médio e curto prazos), assim como da escala geográfica (local a global) para o planejamento do uso e ocupação do solo, a fim de assegurar a definição adequada dos horizontes projetados	<p>59. Delimitação dos períodos e prazos adequados para o planejamento do uso do solo</p> <p>60. Delimitação da escala apropriada para o planejamento do uso do solo</p>
19	Modelos conceituais na gestão das águas subterrâneas e no planejamento do uso e ocupação do solo	Este princípio relaciona-se à definição de modelos conceituais que facilitem estabelecer instrumentos e/ou ferramentas padronizados para supervisionar os processos do planejamento de uso e ocupação da terra	61. Definição de modelos conceituais nos processos de planejamento de uso e ocupação do solo
20	Acessibilidade às informações e comunicação efetiva de dados sobre a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	Este princípio relaciona-se à acessibilidade pública de dados e informações confiáveis, simples, claras e práticas sobre o planejamento do uso do solo, garantindo a compreensão e a participação efetiva de todos os envolvidos nos processos de planejamento	<p>62. Disponibilização e comunicação de dados e informações</p> <p>63. Qualidade e confiabilidade da informação pública referente ao uso da terra e as águas subterrâneas.</p> <p>64. Integração das diversas fontes de informação para a gestão das águas e o planejamento do uso do solo</p>

Fonte: AUTOR

3.2.2 Definição de indicadores para todos os princípios e descritores

De acordo ao capítulo anterior, os indicadores foram classificados e agrupados segundo os descritores definidos na estrutura P, D & I. Assim, os indicadores encontrados na RBS se agruparam considerando a similitude entre eles e classificados em relação à proximidade do objetivo e funcionalidade dos indicadores com o tema central dos descritores.

Para os descritores sem indicadores, o grupo de pesquisa propôs indicadores relacionados aos aspectos relevantes a ser considerados nos descritores. Deste modo, tanto os indicadores encontrados na literatura, previamente agrupados e classificados, quanto os propostos pelo grupo de pesquisa foram incluídos no processo de seleção e hierarquização por AHP, como se explica a seguir.

3.2.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

3.2.4 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

Este processo foi aplicado para avaliar indicadores identificados pela Revisão Bibliográfica Sistemática, de acordo com a sua relevância associada aos respectivos princípios estabelecidos no capítulo anterior. A técnica usada para esse processo de avaliação foi a AHP (*Analytic Hierarquic Process*), que é uma técnica de análise multicritério.

Neste processo, a técnica foi aplicada para comparar par a par os indicadores de acordo a sua relevância, utilizando uma matriz de comparação e a escala de hierarquização. Os valores atribuídos nessa matriz geram um vetor-classe que contém os pesos para cada indicador analisado. Para implementar esta técnica foi necessário adotar as seguintes considerações e efetuar os seguintes passos:

- 1) *Definição de níveis hierárquicos (relacionados aos princípios e aos descritores definidos anteriormente)*. Nesta etapa, definem-se quais são os níveis hierárquicos a serem analisados. Para o caso desta pesquisa os princípios correspondem ao nível de

maior hierarquia, todos igualmente importantes. Portanto a hierarquização (ponderação) foi realizada exclusivamente aos indicadores considerando a sua relevância nos princípios da pesquisa.

2) *Criação de uma matriz de comparação par a par dos indicadores.* Nesta etapa foi estabelecida a matriz de comparação (Determinação do *vetor de classes*. Este vetor é calculado a partir da divisão de cada valor atribuído ao indicador pela somatória de todos os seus valores, resultando numa fração (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**). A média das frações obtidas para cada indicador corresponde ao valor atribuído de ponderação do indicador. Assim, o vetor de classes corresponde ao conjunto desses valores de ponderação dos indicadores (Figura 20).

3) Figura 19 –), contendo a análise dos valores do grau de contribuição ou relevância entre indicadores com relação aos princípios, que correspondem ao nível mais alto de hierarquização. Para realizar esta estimativa foi utilizada a escala de hierarquização de AHP (Tabela 8 –).

Tabela 8 – Escala de hierarquização para matriz de comparação no AHP.

Valor na Escala	Qualificativo	
1/9	Absolutamente	Menos Relevante no princípio
1/7	Muito Fortemente	
1/5	Fortemente	
1/3	Moderadamente	
1	Iguamente relevante	
3	Moderadamente	Mais relevante no princípio
5	Fortemente	
7	Muito fortemente	
9	Absolutamente	

Fonte: Saaty (2001).

4) Além disso, considerou-se para a análise apenas os grupos de indicadores relacionados a descritores que possuíam número maior que 4 indicadores. Os grupos de até 3 ou 4 indicadores representam suficiência e que atingem os aspectos mais relevantes dos descritores.

Para gerar opiniões e valores diversificados das ponderações, a análise foi realizada por dois integrantes do grupo de pesquisa, resultando duas avaliações distintas, ou seja, dois valores de ponderação distintos para cada indicador.

5) *Determinação do vetor de classes.* Este vetor é calculado a partir da divisão de cada valor atribuído ao indicador pela somatória de todos os seus valores, resultando numa fração (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**). A média das frações obtidas para cada indicador corresponde ao valor atribuído de ponderação do indicador. Assim, o vetor de classes corresponde ao conjunto desses valores de ponderação dos indicadores (Figura 20).

Figura 19 – Matriz de comparação com as somatórias por coluna

CLASSES	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3	...	Indicador n
Indicador 1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
Indicador 2	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}
Indicador 3	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}
...
Indicador n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1
Vetor Somatória	$\sum_{j=1}^n a_{i1}$	$\sum_{j=1}^n a_{i2}$	$\sum_{j=1}^n a_{i3}$	...	$\sum_{i=1, j=1}^n a_{in}$

Fonte: Henderson; Dutta, (1992)

Figura 20 – Matriz com proporções e médias dos indicadores (Vetor de classes)

CLASSES	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3	...	Indicador n	VETOR DE CLASSES
Indicador 1	$1/x_1$	a_{12}/x_2	a_{13}/x_3	...	a_{1n}/x_n	$(\sum_{j=1}^n a_{1j})/n$
Indicador 2	a_{21}/x_1	$1/x_2$	a_{23}/x_3	...	a_{2n}/x_n	$(\sum_{j=1}^n a_{2j})/n$
Indicador 3	a_{31}/x_1	a_{32}/x_2	$1/x_3$	...	a_{3n}/x_n	$(\sum_{j=1}^n a_{3j})/n$
...
Indicador n	a_{n1}/x_1	a_{n2}/x_2	a_{n3}/x_3	...	$1/x_n$	$(\sum_{j=1}^n a_{nj})/n$

Fonte: Henderson; Dutta, (1992)

6) Cálculo do vetor de prioridades. Uma vez determinado o vetor de classes, calcula-se a consistência da matriz de comparação usando o vetor de prioridades. Este é calculado pela divisão entre a média das multiplicações dos valores atribuídos ao indicador com o valor de ponderação do indicador (numerador) e o valor de ponderação do indicador (denominador) (Figura 21 –). O conjunto de divisões corresponde ao vetor de prioridade.

Figura 21 – Matriz com valores de prioridades

VETOR DE CLASSES	CLASSES	Indicador 1	Indicador 2	Indicador 3	...	Indicador n		Vetor de prioridades
\bar{x}_1	Indicador 1	$1 * \bar{x}_1$	$a_{12} * \bar{x}_2$	$a_{13} * \bar{x}_3$	...	$a_{1n} * \bar{x}_n$	$(p_1 = \sum_{j=1}^n a_{1j} * \bar{x}_j) / n$	p_1 / \bar{x}_1
\bar{x}_2	Indicador 2	$a_{21} * \bar{x}_1$	$1 * \bar{x}_1$	$a_{23} * \bar{x}_3$	...	$a_{2n} * \bar{x}_n$	$(p_2 = \sum_{j=1}^n a_{2j} * \bar{x}_j) / n$	p_2 / \bar{x}_2
\bar{x}_3	Indicador 3	$a_{31} * \bar{x}_1$	$a_{32} * \bar{x}_3$	$1 * \bar{x}_3$	...	$a_{3n} * \bar{x}_n$	$(p_3 = \sum_{j=1}^n a_{3j} * \bar{x}_j) / n$	p_3 / \bar{x}_3
...
\bar{x}_n	Indicador n	$a_{n1} * \bar{x}_1$	$a_{n2} * \bar{x}_4$	$a_{n3} * \bar{x}_3$	...	$1 * \bar{x}_n$	$(p_n = \sum_{j=1}^n a_{nj} * \bar{x}_j) / n$	p_n / \bar{x}_n

Fonte: Henderson; Dutta, (1992)

7) Teste de inconsistência. Este teste garante que os valores atribuídos aos indicadores mantenham uma lógica de preferência ou importância. Para determiná-lo, usa-se o índice de consistências (CI), definido pela expressão a seguir, a partir do autovalor máximo ($\lambda_{máx}$, que corresponde à média do vetor de prioridades resultantes) e de n (número de indicadores avaliados):

$$CI = (\lambda_{máx} - n) / (n - 1)$$

8) Razão de consistência (CR), esta razão corresponde à divisão entre o índice de consistência (CI) e o índice aleatório (RI), estabelecido conforme a Figura 22 e expressado como:

$$CR = CI / RI$$

Figura 22 – Índices aleatorios (RI)

Índices aleatorios					
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: SEGURA, (2006)

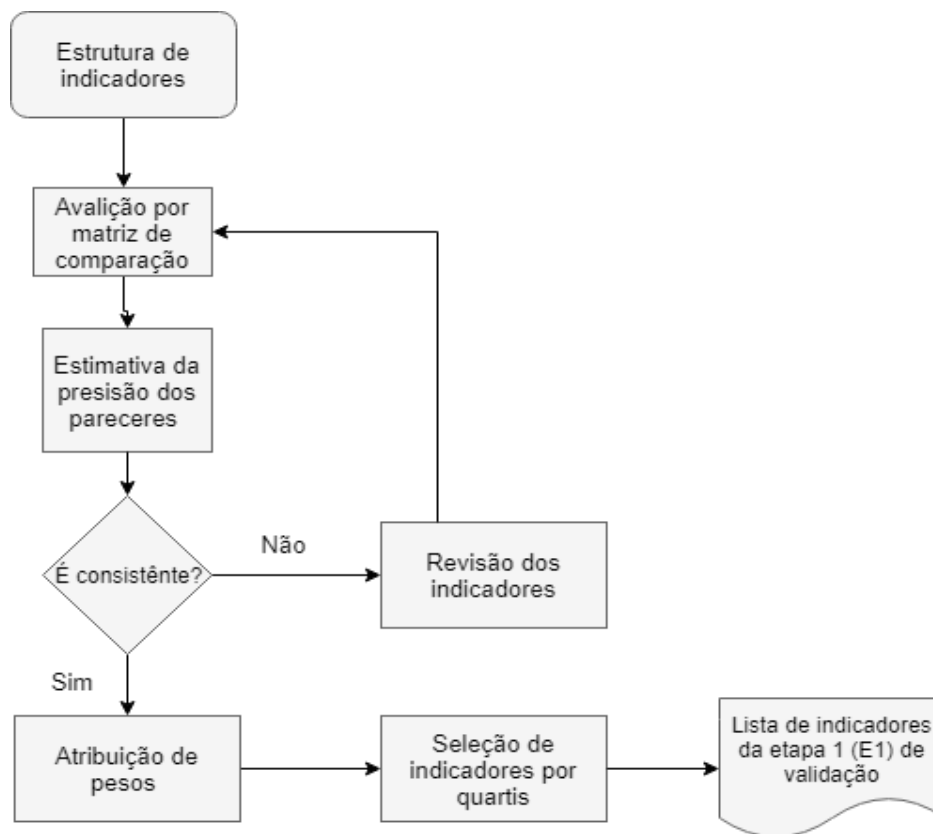
Os valores do índice de consistência (CR) menores a 0,1 estão relacionados a avaliações consistentes, enquanto que valores maiores a 0,1 indicam que a matriz de comparação deverá ser revisada.

3.2.5 Processo de análise por quartis

A partir das avaliações obtidas, que resultou numa lista de indicadores, estes foram analisados usando-se estatística descritiva para identificar a distribuição dos dados, especificamente por meio de quartis, a fim de excluir os indicadores com menores valores da ponderação.

Os quartis são uma medida de distribuição central, que divide os dados ordenados em 4 grupos iguais. O primeiro quartil corresponde ao valor que divide os dados no primeiro grupo (representado 25% do total), o segundo quartil, (q_2) corresponde à mediana (dividindo os dados em 50% do total), e o terceiro quartil (q_3) corresponde ao valor que divide os dados em 75% do total. Assim, o terceiro quartil corresponde à nota corte dos dados, que corresponde aos valores maiores de ponderação, representando os indicadores considerados mais relevantes para a pesquisa.

Portanto, foram considerados indicadores relevantes aqueles em que pelo menos um dos valores de ponderação era maior ao valor do terceiro quartil. A seguir na Figura 23, apresenta-se o fluxograma da metodologia adotada na pesquisa:

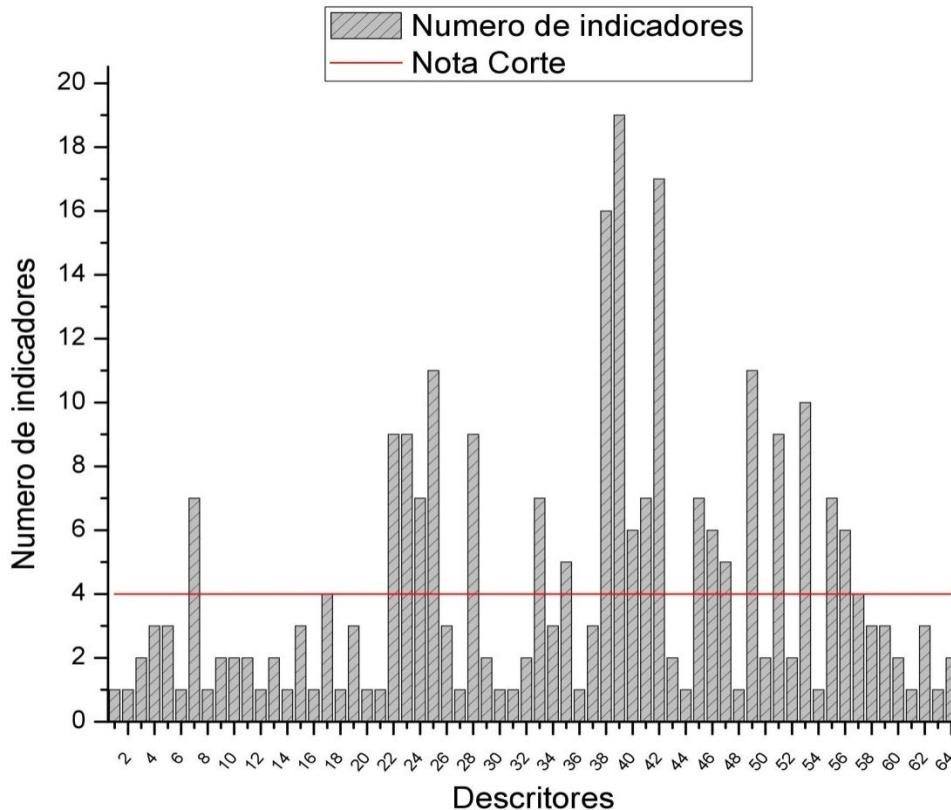
Figura 23 – Fluxograma da pesquisa

Fonte: AUTOR

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 24, apresentam-se os descritores com número de indicadores maiores a 4, considerando os indicadores propostos na pesquisa .

A análise considerou apenas os grupos de indicadores relacionados a descritores que possuíam número maior que 4 indicadores, para serem comparados par a par. Portanto se fizeram 21 avaliações por meio da aplicação da técnica AHP (matriz de hierarquização).

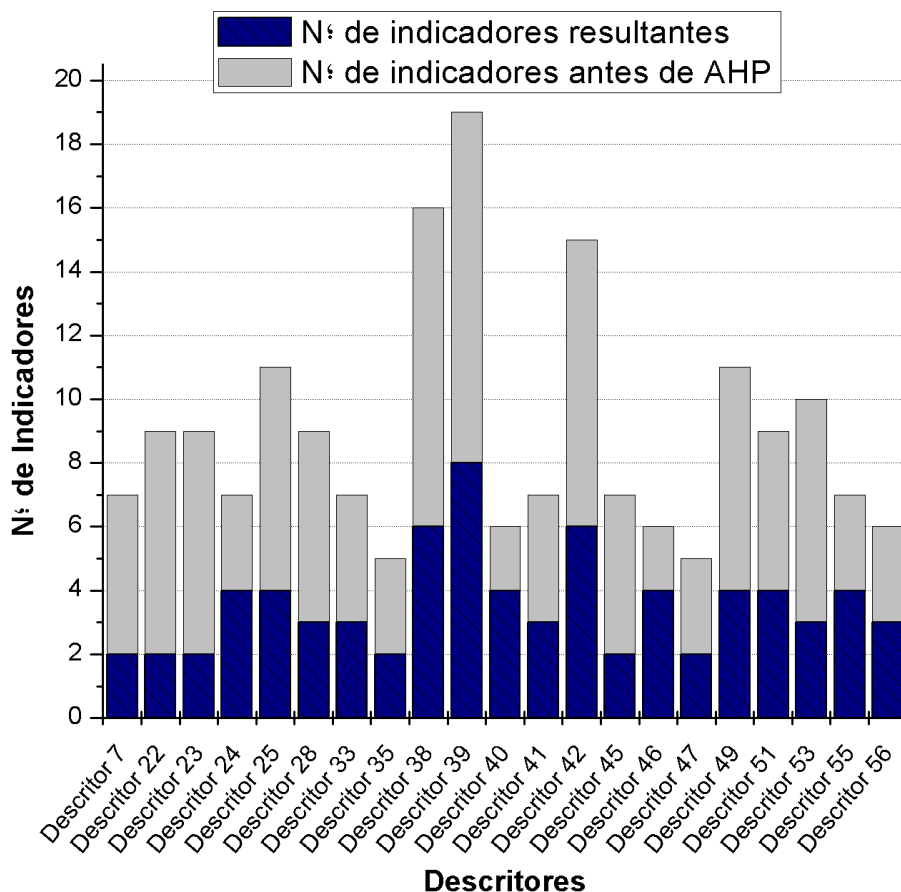
Figura 24 – Número de indicadores por descritor

Fonte: AUTOR

Após a aplicação da técnica AHP, cada grupo de indicadores foi analisado por meio dos quartis. O valor do terceiro quartil variou dependendo tanto do grupo de indicadores quanto da avaliação de cada pesquisador. Assim, os indicadores com valores de ponderação maiores que o seu respectivo quartil q_3 permaneceram para ser considerados na etapa seguinte de avaliação.

Na Figura 25, apresentam-se o número de indicadores resultantes por cada descritor. Pelos resultados obtidos, observou-se que foram desconsiderados pelo menos dois indicadores para cada descritor (conjunto de indicadores).

Figura 25 – Número de indicadores resultantes após da aplicação da técnica AHP e da análise por quartis.



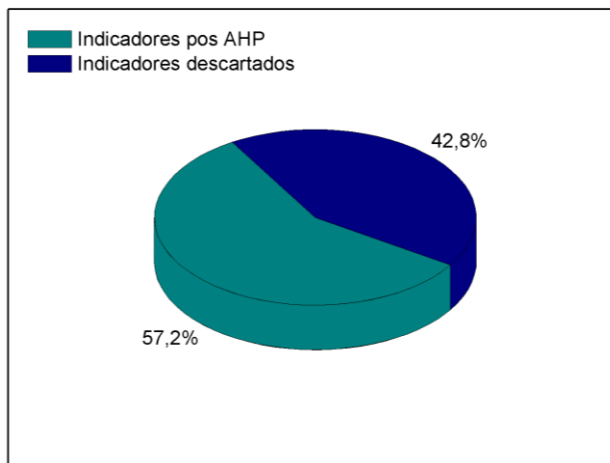
Fonte: AUTOR

Como mostra a Figura 26, dos 271 indicadores que foram encontrados na RBS e propostos pelo grupo de pesquisa, 57,2%, 141 foi considerado como relevante para formar a estrutura de indicadores sugerida pela pesquisa, e desta forma, 42,8% foi considerado como não relevante nos processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Embora a maior parte dos indicadores encontrados na pesquisa atendesse aos critérios dos procedimentos da RBS, e também se mostrasse de potencial utilidade, a técnica AHP e a análise pelo quartis, ao compararem par a par os indicadores, mostraram que quase 50% dos indicadores não atendiam completamente aos

propósitos e critérios da pesquisa (indicadores qualificados e relevantes aos processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo).

Figura 26 – Porcentagem de indicadores após a análise do AHP



Fonte: AUTOR

Além disso, apesar das técnicas adotadas (AHP e procedimentos de análise pelos quartis) implicarem numa execução e num tratamento trabalhoso pela quantidade de dados numéricos, foram ferramentas que garantiram segurança e facilitaram a determinação de avaliações robustas e conclusivas no processo de seleção de indicadores.

Segundo Chen *et al.* (2015), a determinação do grau de relevância dos indicadores implica na integração dos indicadores em diversos sistemas (recursos hídricos, ambiental e o sistema socioeconômico). Assim, é indispensável o uso do AHP combinado com outros métodos complementares que proporcionem bons resultados na ponderação dos indicadores.

Com os resultados anteriores, observou-se que várias propostas de indicadores e a maioria dos indicadores encontrados caracterizam-se por serem usados em diversas realidades de processos de gestão e planejamento, mas não para o caso específico da gestão integrada.

Portanto, esta técnica de análise multicritério dá suporte e auxilia a seleção de indicadores, mas é necessário o uso de métodos aprofundados, que validem a utilidade

e a confiabilidade dos indicadores para a realidade na quais estarão inseridos, neste caso, na de integração da gestão das águas subterrânea com o planejamento do uso e ocupação do solo.

Devido ao grande número de informação levantado sobre indicadores e pela necessidade de atender aos requisitos dos princípios para a gestão integrada das águas subterrâneas e o planejamento uso e ocupação do solo, é necessária a avaliação e validação dos indicadores encontrados. Apesar de que esta técnica viabilizar um suporte na seleção sistematizada de indicadores, não garante completamente a aplicação efetiva da estrutura de indicadores.

Um dos motivos destas limitações está relacionado ao fato de que a técnica não considera as relações entre indicadores ou entre diversos níveis hierárquicos superiores, portanto sendo adequado apenas para problemas com critérios independentes (CHITSAZ, 2016).

Esta característica se evidencia devido ao método fornecer uma estrutura para lidar com decisões sem fazer suposições sobre a independência de elementos de nível mais alto com elementos de nível inferior ou sobre a independência dos elementos dentro de um nível (DAS; CHAKRABORTY, 2011).

Porém, o uso do método do processo analítico hierárquico ainda é considerado como uma forma quantitativa e prática para analisar indicadores. Esta técnica está verificada cientificamente e é amplamente usada nos modelos de decisão multicritério na avaliação de alternativas ou na seleção das alternativas mais adequadas dentro duma estrutura com vários níveis hierárquicos (objetivo, critério e subcritério) (KUZMANA MANJA *et al.* 2013).

Consequentemente, esta técnica atinge a tomada de decisões que envolvem informações de alta complexidade, como são os indicadores direcionados à integração de processos de gestão e planejamento dos recurso hídricos subterrânea e o solo.

Este método ajuda na seleção de indicadores de forma transparente, sistematizada e coerente, gerando uma estrutura integrada, relevante e condensada de

indicadores, considerando sua praticidade e sua consistência lógica na comparação dos indicadores.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo do AHP é uma ferramenta muito útil quando existem diversas variáveis a ser consideradas e quando a importância destas dentro de um sistema é similar, como são os indicadores dentro de uma estrutura baseada na literatura científica disponível.

Além disso, esta técnica avalia e garante a lógica das ponderações atribuídas a cada indicador, mantendo consistentes os valores ponderados, aspecto que não é considerado em outros procedimentos científicos.

Ainda que os indicadores selecionados venham de fontes de literatura científica e foram selecionados com procedimentos sistematizados como a técnica AHP e análise por quartis, é indispensável validação mais detalhada, provendo resultados consistentes à pesquisa e aos especialistas da área.

Assim, a seleção dos indicadores, e sua subsequente validação, são fundamentais para manter e garantir estruturas de indicadores científica e socialmente aceitas, e juntamente com a aplicação de técnicas e análises específicas, auxiliam na compreensão da natureza complexa e interdisciplinar dos processos de gestão de águas subterrâneas e planejamento do uso e ocupação do solo.

Capitulo 4 - Validação de indicadores para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo

Validação dos indicadores usando critérios de avaliação e o índice de validade do conteúdo.

4.1 INTRODUÇÃO

Para garantir o uso sustentável do recurso hídrico subterrâneo e a gestão integrada do recurso, é fundamental estabelecer políticas e normas de gestão visando regular a exploração e priorizar o uso da água pelos diversos setores.

Porém, é necessário elaborar e executar indicadores específicos, úteis para a compreensão e a análise das interações da água subterrânea com seu ecossistema e com o sistema social em que está inserido.

Para essa compreensão, deve se ver o ecossistema subterrâneo como um sistema complexo, levando em consideração a visão sistêmica e não fragmentada dos problemas ambientais e da proposição das suas soluções.

Assim, o enfoque sistêmico é indispensável nos processos de gestão e planejamento, a fim de considerar o carácter interdisciplinar dos fenômenos e as interações da realidade. Portanto, segundo Anjos; Anjos e Oliveira (2013), o planejamento e a gestão também devem possuir uma visão sistêmica, e ser intimamente complementares, dando propostas e soluções na tomada de decisões em um carácter mais complexo, além de um grupo de atividades sequenciais.

Mas na prática, a articulação da gestão e o planejamento, especificamente a gestão de recursos hídricos e o planejamento de uso e ocupação do solo, não se manifesta, evidenciado pelos conflitos nos uso do solo e da água, a informalidade da ocupação do solo e a incapacidade institucional de superar problemas complexos e interdisciplinares (CARNEIRO; CARDOSO; AZEVEDO, 2008).

Desta forma, existe uma lacuna evidente relacionada com a exequibilidade, operacionalidade da gestão dos recursos hídricos desde uma visão holística, que considere tanto as interações da água e solo como ecossistema, quanto à articulação conjunta entre a gestão e planejamento. Isso impossibilita que a gestão seja proativa e efetiva.

Para facilitar tanto a articulação dos processos de gestão e planejamento quanto à compreensão do ecossistema subterrâneo, é fundamental executarem indicadores específicos para a gestão das águas subterrâneas. Estes são considerados como uma variável que resume informação pertinente de um determinado fenômeno em termos de atributos perceptíveis e relevantes.

Desta forma, o objetivo dos indicadores é mostrar as condições ou o estado de um sistema ou identificar pontos de estresse que são apoio na tomada decisões nos processos de gestão.

Assim, os indicadores para a gestão das águas subterrâneas prometem ser uma ferramenta apropriada para auxiliar o processo de gestão do recurso hídrico, já que avaliam o estado do desenvolvimento de impactos e das condições do aquífero, e são muito utilizados por cientistas, por comitês de gerenciamento de bacias hidrográficas e por formuladores de políticas públicas (SARAH *et al.*, 2014).

Para garantir que os estudos ambientais e sociais possuam boa qualidade, credibilidade e utilidade, seus indicadores devem ser definidos de forma transparente e objetiva. Por isso, é necessário o uso de metodologias formais de seleção e análise que funcionem como testes reais e fundamentados cientificamente (BOCKSTALLER; GIRARDIN, 2003).

A seleção e a análise dos indicadores verifica a utilidade do indicador para a realidade na qual pretende desempenhar suas funções. Assim, este processo testa a qualidade do indicador como ferramenta de suporte à tomada de decisão (PANNELL; SCHILIZZI, 2008).

Este processo de seleção e análise se caracteriza por verificar tanto o grau de precisão do indicador na sua aplicação para atingir o objetivo no qual foi concebido, quanto a credibilidade que o indicador proporciona aos potenciais usuários, determinada pela sua utilidade na prática e pela disposição dos usuários em utilizá-lo num estudo de caso (MEUL; NEVENS; REHEUL, 2009).

Os indicadores são caracterizados por sua natureza multifuncional, dessa forma caracterizam-se por serem ferramentas que auxiliam a predição de estados de um fenômeno, observam as tendências e realizam diagnósticos, aspectos que potencializam seu uso e utilidade nos processos de gestão.

Porém, esta multifuncionalidade dos indicadores resulta em processos de seleção e análise relativamente complexos (DONNELLY *et al.*, 2007). Segundo Dale e Bayeler (2001), esta complexidade se manifesta com a ausência e a necessidade de procedimentos robustos para a seleção de indicadores e com as dificuldades de validar a informação que eles geram.

Por outro lado, Hak; Kovanda; Charles (2012) afirma que esta lacuna de procedimentos de análise dos indicadores é uma manifestação da pouca importância dada pela comunidade científica sobre o tema de avaliação da qualidade dos indicadores, gerando pouco desenvolvimento de técnicas e métodos de análise e pouca estimativa da qualidade dos indicadores.

Apesar disso, Niemeijer; Groot (2008) defendem que os processos de seleção e de análise de indicadores realizados de forma mais rigorosa e transparente aumentaria a credibilidade e a validade científica dos relatórios de avaliação ambiental e dos processos de gestão.

Uma forma estratégica é o uso de critérios para a avaliação dos indicadores para estes serem analisados tanto de forma individual, quanto considerando as inter-relações entre o conjunto de indicadores.

Existem diversos estudos relacionados à proposição de metodologias para selecionar e validar indicadores, como é apresentada por Bockstaller; Girardin, (2003), que estabelece três processos de avaliação dos indicadores: o primeiro relacionado à avaliação da sua fundamentação teórica; o segundo relacionado à sua solidez; e o terceiro à utilidade dos indicadores como ferramenta de apoio na tomada de decisão.

Cloquell-Ballester *et al.*, (2006) adaptou a avaliação dos indicadores postulada por Bockstaller; Girardin, (2003), propondo a metodologia 3S por sua abreviatura em

inglês (3S: 1. *self-validation*, 2. *scientific validation* e 3. *social validation*). Esta se centrou na análise dos indicadores em três etapas por diversos grupos: a autoanálise realizada pelo grupo de pesquisa; a *Análise científica* realizada por especialistas na área; e a Análise social realizada pelos próprios usuários dos indicadores.

Por outro lado, Niemeijer; de Groot, (2008) estuda e propõe um modelo conceitual para a seleção de indicadores ambientais usando o conceito de cadeia causal para considerar a inter-relação entre indicadores. Esta cadeia causal facilita a identificação dos indicadores mais relevantes para um problema e localidades específicos e garante que o conjunto de indicadores seja transparente, eficiente e robusto na avaliação do estado do meio ambiente.

Deste modo, para formular e propor indicadores a fim de integrar os processos de gestão das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação do solo, foi necessário estabelece uma metodologia de seleção e análise científica de indicadores, usando como base a metodologia 3S, critérios de avaliação de indicadores e o índice de validade de conteúdo (IVC).

Para executar a metodologia 3S é preciso usar ferramentas de avaliação que auxiliem a análise dos indicadores. Neste estudo utilizaram-se critérios de avaliação a fim de mostrar o grau qualidade dos indicadores desde suas características intrínsecas, sistêmicas, operacionais, conceituais e funcionais.

Também se usou o índice de validade de conteúdo, que avalia a capacidade dos indicadores de sintetizar com precisão o fenômeno estudado, buscando medir a proporção de concordância de cada um dos pareceres dos especialistas em relação aos itens usados para avaliar cada indicador (ALEXANDRE; COLUCI, 2011).

Assim, ao observar as potencialidades que possuem estas ferramentas para gerar uma metodologia robusta de seleção de indicadores, este capítulo fundamentou-se em analisar os indicadores a partir de sua fundamentação científica, avaliando a qualidade dos indicadores e configurando uma lista de indicadores útil para a gestão das águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo foi realizada uma análise dos indicadores adotando como base a metodologia 3S (*Self-validation, Scientific validation, Social validation*) proposta por Cloquell-Ballester *et al.* (2006). Esta metodologia centra-se na análise dos indicadores desde sua concepção, execução e funcionalidade, buscando avaliar o desempenho dos indicadores segundo consensos de diversos grupos especializados. Nesta pesquisa a análise constou da avaliação dos indicadores por parte de dois grupos.

O primeiro grupo correspondeu ao grupo de especialistas em indicadores. Para compor este grupo foram selecionados 5 especialistas experientes em pesquisas relacionadas ao levantamento, definição, seleção e avaliação de indicadores direcionados a processos de gestão ambiental ou áreas afins. Estes correspondem a pesquisadores diversificados e interdisciplinares em áreas relacionadas a Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos.

O segundo grupo corresponde ao grupo de possíveis usuários dos indicadores, composto por pesquisadores e especialistas na área de gestão de águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo.

O grupo de especialistas e potenciais usuários em temas relacionados a águas subterrâneas estava conformado por: um especialista e pesquisador na área de técnica de dimensionamento do recurso hídrico subterrâneo, monitoramento hidrológico de bacias e influências das mudanças climáticas no recurso hídrico, vinculado à Universidade de São Paulo - USP; e o segundo especialista é experiente na área de geologia ambiental e mineral, nos temas contaminação de solo e água subterrânea, como também pesquisador na área de geotécnica ambiental e geologia ambiental, nos temas recuperação de áreas degradadas, áreas contaminadas e pesquisa tecnológica de rochas, vinculado à Universidade Federal de São Carlos-UFSCar.

O grupo de especialistas na área de planejamento de uso e ocupação do solo estava composto por 3 profissionais: dois pesquisadores especialistas na área de processos técnicos de planejamento e gestão de espaços urbanos sustentáveis, geotecnologia ambiental e modelos de bacias hidrográficas e experiência em consultoria em processos de planejamento de áreas protegidas; e um pesquisador na área de planejamento e gestão do território, políticas, produção e uso da habitação de interesse social e processo de urbanização e meio ambiente e consultor na Prefeitura Municipal de São Carlos para a elaboração de Projeto de Urbanização de áreas de lazer. Todos estão vinculados à UFSCar, especificamente ao programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Por outro lado, no estudo os indicadores usados foram obtidos a partir da seleção realizada pelo grupo de pesquisa usando como técnica de análise multicritério o AHP (Processo Analítico Hierárquico) e a análise por quartis, descritas no capítulo anterior.

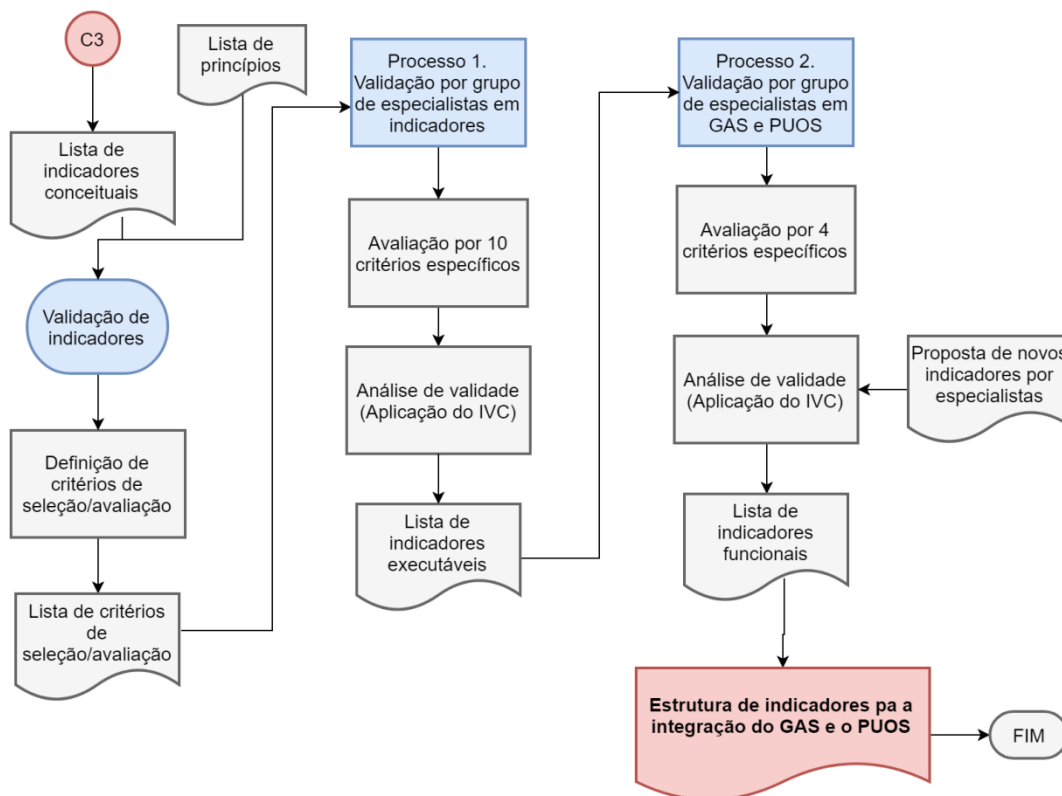
Assim, os procedimentos metodológicos foram adaptados da metodologia 3S, empregando unicamente duas etapas de análise dos indicadores, realizadas pelo grupo de especialistas em indicadores e pelos potenciais usuários (pesquisadores e especialistas nas áreas de gestão das águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo), respectivamente.

Cada grupo possuía uma finalidade de avaliação, o primeiro grupo avaliou a operação interna dos indicadores, se sua formulação permite medir o objeto de interesse, e o segundo avaliou a aplicabilidade dos indicadores para a gestão integrada do recurso hídrico subterrâneo e o solo.

Por outro lado, uma ferramenta também fundamental foi o índice de validade de conteúdo (IVC), já que esta mediu a relevância e representatividade dos critérios de avaliação dentro de cada indicador. Assim, índices (IVC) com valores altos, indicaram que a representatividade dos critérios no indicador foi alta e o IVC com valores baixos indicou que os critérios não são relevantes no indicador.

Na Figura 27 apresenta-se um fluxograma síntese do processo de análise de indicadores para a integração da gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Figura 27 – Fluxograma de procedimentos metodológicos capítulo 4



Fonte: AUTOR

Na análise de indicadores, tanto o grupo de especialistas em indicadores, quanto o grupo de especialistas em gestão das águas subterrâneas e no planejamento de uso e ocupação do solo, executaram as seguintes etapas metodológicas:

4.2.1 Estrutura de princípios, descritores e indicadores para uma abordagem integrada da gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Para definir uma estrutura de indicadores que buscasse integrar a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo, foi necessário estabelecer anteriormente a estrutura conceitual de princípios e descritores. Esta

estrutura permitiu agrupar os possíveis indicadores segundo aspectos imprescindíveis tratados na gestão de águas subterrâneas e no planejamento de uso e ocupação do solo.

Esta estrutura, como se mostra na Tabela 9, caracterizou-se por apresentar no seu primeiro nível hierárquico, os princípios que funcionam como temas objetivos nos processos da GAS e do PUOS. No segundo nível hierárquico, encontram-se os descritores, que funcionam como temas específicos para o agrupamento de indicadores. No último nível hierárquico estão os indicadores que são as ferramentas que possibilitam esta gestão com a abordagem integrada desejada.

4.2.2 Avaliação de indicadores adotando-se critérios específicos de avaliação

Nesta etapa do estudo, os indicadores foram avaliados considerando os critérios de avaliação de indicadores obtidos pelo processo de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). Assim, foram adaptados os critérios encontrados nas referências de: Suquizaqui, (2018); James *et al.*, (2012); Niemeijer; De Groot, (2008); Martínez *et al.*, (2009). Os critérios foram classificados de acordo com as suas características em categorias de: Características Intrínsecas de Concepção; Características Temporais e Dinâmicas; e Características de Funcionalidade e Execução.

Tabela 9 – Princípios e descritores para uma estrutura de indicadores para a integração da GAS e PUOS

PRINCÍPIO	DESCRIÇÃO	DESCRITORES
<p style="text-align: center;">1</p> <p style="text-align: center;">Definição dos limites do sistema para gestão</p>	<p>Está relacionado à delimitação do sistema do aquífero subterrâneo para a gestão considerando a água subterrânea como recurso essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o ambiente no processo coletivo de gestão</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimensionamento e divisão das áreas do reservatório de água subterrânea 2. Delimitação geográfica das unidades dos reservatórios de água subterrânea
<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">Definição dos direitos de acesso à água</p>	<p>Está relacionado à definição dos direitos sociais e individuais para o uso das águas subterrâneas dentro dos processos de gestão considerando a água subterrânea como recurso finito e vulnerável.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. Identificação e delimitação dos direitos sociais e individuais sobre a água subterrânea 4. Dimensionamento da capacidade de uso e acesso do recurso hídrico a nível individual e coletivo
<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">Equivalência proporcional entre investimentos e benefícios</p>	<p>Este princípio envolve o desenvolvimento de normas para investimentos na extração de águas subterrâneas e seus benefícios (distribuição equivalente de custos e cobrança para uso, manutenção e monitoramento de águas subterrâneas)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 5. Existência e aplicação de normas para gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo 6. Pagamentos de retribuição pelo uso da água subterrânea 7. Efetividade das normas e instrumentos de cobrança e outorga do recurso hídrico para a manutenção do recurso hídrico 8. Dimensionamento dos recursos econômicos obtidos nos instrumentos de gerenciamento dos recurso hídrico subterrâneo
<p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">Atuação conjunta e integrada das Instituições</p>	<p>Este princípio fundamenta-se na execução de forma conjunta e integrada das responsabilidades de diversas instituições envolvidas na gestão, gerando uma governança abrangente</p>	<ol style="list-style-type: none"> 9. Integração de normas sobre os processos de gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo 10. Efetividade de cumprimento das responsabilidades das

	do recurso hídrico subterrâneo.	<p>instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo</p> <p>11. Identificação das relações e cumprimento das ações conjuntas das instituições do recurso hídrico subterrâneo</p> <p>12. Integração do cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo</p>
5 Participação social e democrática	Este princípio centra-se na execução da gestão com ampla participação democrática, envolvendo a participação dos diferentes níveis da administração pública e da sociedade civil nos processos de governança da água subterrânea e no planejamento de uso do solo	<p>13. Viabilização e mobilização social para participação</p> <p>14. Incentivo e viabilização da representação dos envolvidos em tomada de decisões</p> <p>15. Efetividade da participação dos usuários, planejadores e formuladores de políticas públicas nos processos de planejamento de uso e ocupação da terra e de gestão das águas subterrâneas</p>
6 Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas	Este princípio centra-se no estabelecimento de normas sociais que delimitem o comportamento dos usuários, possibilitando a regulação do uso e garantia de segurança dos recursos hídricos subterrâneos.	16. Definição de normas, obrigações e responsabilidades dos usuários da água subterrânea e da ocupação do solo
7 Supervisão do comportamento dos usuários na gestão de águas subterrânea e uso do solo	Este princípio baseia-se na supervisão do comportamento dos usuários para a garantia efetiva da governança da água e o cumprimento das normas estabelecidas para uso do território	<p>17. Fiscalização dos usos e permissões do uso de águas subterrâneas e ocupação do solo</p> <p>18. Efetividade do cumprimento de obrigações dos usuários da água subterrânea</p>
8 Mecanismos de resolução de conflitos na gestão de águas	Este princípio está relacionado ao desenvolvimento de mecanismos de resolução de conflitos na distribuição e na gestão do recurso hídrico subterrâneo a nível local, permitindo: a	<p>19. Existência e efetividade dos mecanismos de resolução de conflitos na distribuição e gestão do recurso hídrico subterrâneo</p> <p>20. Identificação de conflitos na distribuição e proteção do</p>

<p>subterrâneas</p>	<p>compreensão das normas de gestão do recurso, a redução de lacunas legislativas, a diluição de tensões sobre a alocação da água e implementação de soluções mais equitativas</p>	<p>recurso hídrico subterrâneo.</p> <p>21. Identificação das lacunas legislativas e normativas sobre a gestão de água subterrânea</p>
<p>9</p> <p>Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso do solo</p>	<p>Este princípio baseia-se no estabelecimento de sistemas de monitoramento de dados e avaliações técnicas dos aquíferos e do uso e ocupação do solo, garantindo informações que fundamentem a para tomada de decisões para a gestão do recurso hídrico subterrâneo e o planejamento do uso do solo</p>	<p>22. Quantificação do recurso hídrico subterrâneo extraível sustentavelmente</p> <p>23. Monitoramento da qualidade do recurso hídrico subterrâneo (e do solo)</p> <p>24. Probabilidade de ocorrência da contaminação dos aquíferos</p> <p>25. Capacidade de suporte do aquífero e do solo frente a contaminantes e/ou perturbações</p> <p>26. Acompanhamento e supervisão dos processos de uso da água e ocupação do solo</p> <p>27. Análise da evolução de expansão da ocupação do território</p> <p>28. Identificação das ferramentas e efetividade de aplicação para o monitoramento dos processos de planejamento do uso do solo e gestão de águas subterrâneas</p>
<p>10</p> <p>Implementação de sanções proporcionais</p>	<p>Este princípio baseia-se na implementação de sanções proporcionais sobre os usuários (de acordo ao grau de severidade e ao contexto de situações), pelo não cumprimento de suas obrigações pelo uso das águas subterrâneas</p>	<p>29. Instrumentos para implementação de sanções</p> <p>30. Classificação dos níveis de severidade de impactos e interferências ambientais sobre o recurso hídrico subterrâneo</p> <p>31. Efetividade da aplicação das sanções sobre os usuários da água subterrânea</p>
<p>11</p> <p>Valorização e inclusão de</p>	<p>Este princípio fundamenta-se na valorização e na integração da</p>	<p>32. Identificação e valorização dos estudos científicos para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso do</p>

conhecimentos científicos	informação e de conhecimentos multidisciplinares provenientes de estudos científicos com a governança das águas subterrâneas, funcionando como instrumentos efetivos para a tomada de decisões no gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo e no planejamento do uso da terra	solo.
<p style="text-align: center;">12</p> <p style="text-align: center;">Adaptação do planejamento e gestão das águas subterrâneas frente aos desafios ambientais e condições climáticas adversas</p>	Este princípio relaciona-se à inclusão de estratégias de adaptação nos diversos planos de gerenciamento das águas subterrâneas frente aos desafios socioambientais e as condições climáticas adversas, garantindo o suprimento das necessidades dos usuários e os requerimentos ecológicos do aquífero	<p>33. Proposição de atividades para sustentar a água subterrânea frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas</p> <p>34. Quantificação dos efeitos das mudanças climáticas sob o recurso hídrico subterrâneo</p> <p>35. Avaliação da efetividade das estratégias de adaptação dos recursos hídricos subterrâneos frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas.</p>
<p style="text-align: center;">13</p> <p style="text-align: center;">O papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas</p>	Este princípio destaca a relação intrínseca da mulher e o reconhecimento de seu papel na gestão e preservação do recurso hídrico subterrâneo, implicando sua participação de forma ativa e representativa dentro dos processos de governança e gerenciamento da água	<p>36. Efetividade da participação e representatividade da mulher nos processos da gestão do recurso hídrico subterrâneo</p>
<p style="text-align: center;">14</p> <p style="text-align: center;">Interações dos sistemas socioambientais na gestão de água subterrâneas</p>	Este princípio orienta à gestão das águas subterrâneas no destaque dos sistemas ambiental, econômico e social como entes que interatuam dinamicamente, implicando riscos e incertezas na tomada de decisões, mas	<p>37. Classificação das águas subterrâneas de acordo ao tipo de armazenamento de água, grau de intervenção antrópica, ao tipo de fluxo base</p> <p>38. Estimativa dos processos no ambiente hídrico subterrâneo (infiltração, recarga, fluxo base, condutividade hidráulica).</p>

	visando a sustentabilidade	<p>39. Potencialidade dos aquíferos para abastecimento hídrico público.</p> <p>40. Relações do recurso hídrico subterrâneo e do solo com a fauna e flora do ecossistema</p> <p>41. Estimativa da escassez das águas subterrâneas e estresse do ecossistema hídrico e do solo</p> <p>42. Intensidade de uso de água subterrânea e classificação segundo a atividade antrópica (geral)</p> <p>43. Vulnerabilidade da população frente à contaminação das águas subterrâneas</p> <p>44. Vulnerabilidade da população frente à escassez das águas subterrâneas</p> <p>45. Integração dos elementos do ecossistema e os corpos hídricos superficiais com os corpos hídrico subterrâneos e os diversos usos da água (geral)</p>
<p>15</p> <p>Interações dos sistemas socioambientais no planejamento do uso e ocupação do solo</p>	<p>Este princípio orienta ao planejamento de uso do solo na busca da sustentabilidade, reconhecendo os sistemas ambiental, econômico e social que interagem dinamicamente, que imersos a riscos e incertezas na tomada de decisões</p>	<p>46. Conflito de uso e interesses do solo</p> <p>47. Mudança do uso do solo</p> <p>48. Vulnerabilidade da população frente à mudança de uso do solo</p> <p>49. Intensidade de uso do solo segundo atividades e assentamentos antrópicos</p> <p>50. Riscos ambientais de acordo ao uso e ocupação do solo</p> <p>51. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos do solo</p> <p>52. Integração dos usos da água subterrânea com o diversos</p>

		usos e ocupações do solo
<p>16</p> <p>Ocupação adequada e a proteção do solo no planejamento de uso e ocupação do solo</p>	<p>Este princípio ressalta a importância da ocupação apropriada do território considerando a aptidão do solo e as condições ecológicas nas que está imerso, assegurando sua preservação e proteção nos processos de planejamento de uso do solo</p>	<p>53. Delimitação e classificação do solo segundo a sua aptidão e de acordo ao interesse de uso sustentável</p> <p>54. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso do solo</p> <p>55. Intensidade das intervenções antrópicas sobre zonas de interesse de proteção do solo</p>
<p>17</p> <p>Ocupação do solo adequada e a proteção das águas subterrâneas</p>	<p>Este princípio baseia-se na ocupação apropriada do território considerando as condições ecológicas do ecossistema hídrico subterrâneo, assegurando sua preservação e proteção do aquífero nos processos da sua gestão</p>	<p>56. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso da água.</p> <p>57. Integração do uso do solo com a qualidade e quantidade de água subterrânea</p> <p>58. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos das águas subterrâneas</p>
<p>18</p> <p>Escopo e abrangência adequadas para planejamento do uso e ocupação do solo</p>	<p>Em este princípio destaca a importância do dimensionamento apropriado tanto dos períodos (longo, médio e curto prazos), assim como da escala geográfica (local a global) para o planejamento do uso e ocupação do solo, a fim de assegurar a definição adequada dos horizontes projetados</p>	<p>59. Delimitação dos períodos e prazos adequados para o planejamento do uso do solo</p> <p>60. Delimitação da escala apropriada para o planejamento do uso do solo</p>
<p>19</p> <p>Modelos conceituais no planejamento do uso e ocupação do solo</p>	<p>Este princípio relaciona-se à definição de modelos conceituais que facilitem estabelecer instrumentos e/ou ferramentas padronizados para supervisionar os processos do planejamento de uso e ocupação da</p>	<p>61. Definição de modelos conceituais nos processos de planejamento de uso e ocupação do solo</p>

	terra	
<p>20</p> <p>Acessibilidade às informações e comunicação efetiva de dados sobre planejamento do uso e ocupação do solo</p>	<p>Este princípio relaciona-se à acessibilidade pública de dados e informações confiáveis, simples, claras e práticas sobre o planejamento do uso do solo, garantindo a compreensão e a participação efetiva de todos os envolvidos nos processos de planejamento</p>	<p>62. Disponibilização e comunicação de dados e informações</p> <p>63. Qualidade e confiabilidade da informação pública referente ao uso da terra e as águas subterrânea.</p> <p>64. Integração das diversas fontes de informação para a gestão das águas e o planejamento do uso do solo</p>

No caso do grupo de especialistas de indicadores, usaram-se 10 critérios apresentados na Tabela 10, com suas respectivas características e descrições.

Tabela 10 – Critérios para seleção de indicadores.

Categoria	Critérios	Características	Descrição
Características Intrínsecas de Concepção	Relevância	Satisfação da necessidade dos usuários; significativo.	O indicador é pertinente para a realidade dos problemas, aspectos, atributos e/ou decisões para os que se busca usar os indicadores.
	Compreensão	Não ser ambíguo, de fácil interpretação.	O indicador é claro e de fácil compreensão tanto para os usuários especialistas quanto para não especialistas.
	Fundamentação teórica/ Validez científica	Ser confiável e validado cientificamente.	O indicador possui, no possível, a maior credibilidade, validade científica e analítica devido a sua fundamentação teórica baseada em conhecimento científica consistente.
Características temporais e dinâmicas	Temporalidade	Hábil para mostrar tendência ao longo do tempo.	O indicador é capaz de apresentar comparações ao longo de uma série temporal (estacional, anual, de décadas), assim compreender a variabilidade do fenômeno de forma heterogênea ou de padrões.
	Resposta às mudanças	Reativos, sensíveis a resposta a alterações; ser eficiente e eficaz.	O indicador sinaliza as mudanças de tendência, e é sensível às mudanças e estresses das atividades humanas relacionadas, preferencialmente em curto prazo.

Categoria	Crêterios	Características	Descri�o
	Predic�o	Ser previsível, Ter ressonância	O indicador mostra as altera�es e pressões nos atributos chave com o objetivo de prever os eventos e permitir a�es antecipadas dos agentes envolvidos.
Características de Funcionalidade e Execu�o	Utilidade e Funcionalidade	Ser útil e funcional	O indicador � útil para atingir os objetivos pelos quais são usados na pesquisa ou pelo usuário.
	Abrangência	Ser abrangente na escala de estudo.	O indicador responde ao escopo e � escala de abrangência do estudo.
	Comparabilidade	Ser comparável	O indicador deve ser concreto de tal forma que permita compara�es em diferentes casos e situa�es
	Operacionalidade	Ser mensurável, viável na sua opera�o, informa�o factível.	O indicador deve ser de baixo custo e fácil de medir, processar, além de que as informa�es para sua medi�o estejam disponíveis.

Fonte: (JAMES *et al.*, 2012; MARTÍNEZ *et al.*, 2009; NIEMEIJER; DE GROOT, 2008; SUQUISAQUI, 2018)

No caso do grupo de especialistas em gestão das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupa o solo, foi necessário gerar indicadores de maior consistência. Por isso, foram utilizados apenas os 4 cr terios relacionados   concep o e   funcionalidade. Na tabela 10 estes são apresentados com suas respectivas características e descri es.

Tabela 11 – Critérios específicos adotados para a seleção de indicadores

Critério	Características	Descrição
Relevância	Satisfação da necessidade dos usuários; significativo.	O indicador é pertinente para a realidade dos problemas, aspectos, atributos e/ou decisões para os que se busca usar os indicadores.
Abrangência	Ser abrangente na escala de estudo.	O indicador responde ao escopo e à escala de abrangência do estudo.
Utilidade	Ser útil	O indicador é útil para atingir os objetivos pelos quais são usados na pesquisa ou pelo usuário.
Funcionalidade	Ser funcional	O indicador é útil para atingir os objetivos pelos quais são usados na pesquisa ou pelo usuário.

Fonte: AUTOR

Para realizar a avaliação dos indicadores pelos critérios estabelecidos, utilizou-se como referência a Escala de Likert (de acordo com à Figura 28), solicitando aos participantes da pesquisa a atribuição dos respectivos valores aos indicadores avaliados por meio de um formulário específico de preenchimento.

Figura 28 – Escala de Likert para a avaliação dos indicadores

Escala	Significado
1	O indicador responde minimamente ao critério
2	O indicador responde moderadamente ao critério
3	O indicador responde ao critério
4	O indicador responde altamente ao critério

Fonte: AUTOR

No formulário, os indicadores foram agrupados pelo tema, ou seja, águas subterrâneas, planejamento de uso e ocupação do solo e processos de gestão e planejamento gerais, e os especialistas avaliaram os indicadores de acordo com seu tema específico.

4.2.3 Análise dos indicadores por meio do Índice de Validade do Conteúdo (IVC)

Após a avaliação dos indicadores utilizando os critérios de seleção, cada um dos indicadores foi analisado determinando-se o Índice de Validade do Conteúdo (IVC). Este índice corresponde à proporção de critérios pontuados com valores 3 ou 4 da escala de Likert (descrita anteriormente). Estes valores estão relacionados aos critérios com maior aplicabilidade no indicador.

O IVC de cada indicador corresponde à média aritmética dos diferentes valores de IVCs atribuídos ao indicador pelos diversos especialistas. Este índice é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$IVC = \frac{\text{Número de respostas 3 e 4}}{\text{Número total de critérios}}$$

Esta expressão mostra uma razão na que o numerador é o número de critérios com valores iguais a 3 e 4, e o denominador é o número total de critérios utilizados para avaliar o indicador.

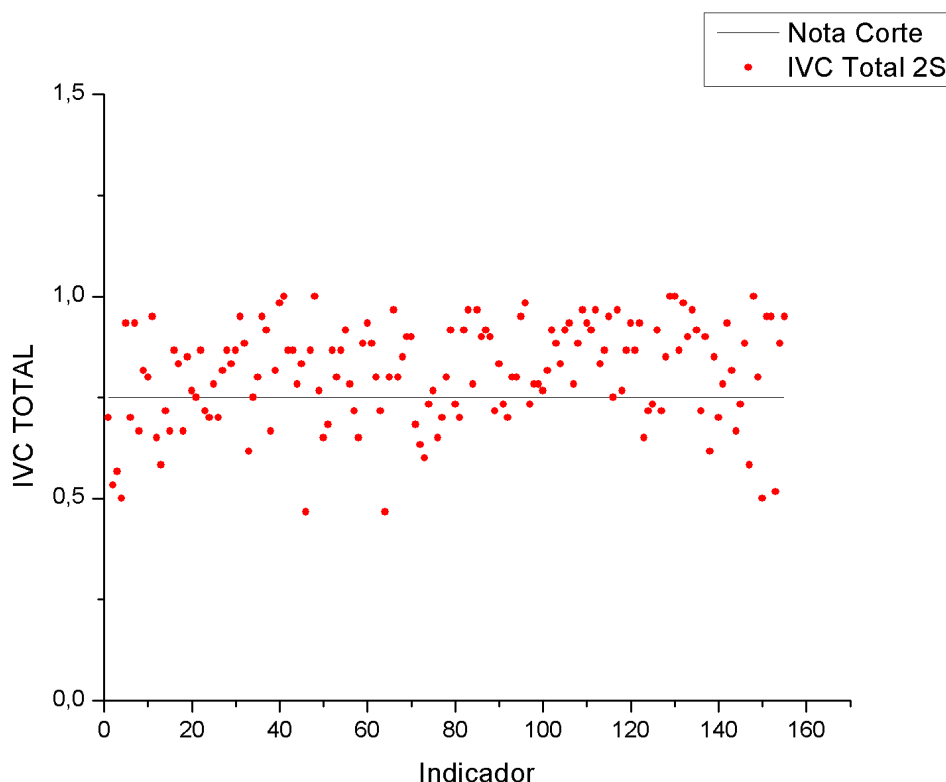
Os indicadores com valores de IVC iguais ou maiores que 0,75 foram considerados como indicadores fundamentados e bem definidos. Portanto, estes foram selecionados para a etapa posterior de avaliação ou para compor a estrutura final de indicadores, dependendo o grupo de avaliação.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa, os indicadores foram avaliados pelos especialistas da área de indicadores e foi calculado o IVC total. Assim como se apresenta na Figura 29, na que 107 indicadores do total de 155 tiveram valores de IVC iguais ou maiores a 0,75, ou seja, estes indicadores possuem maior qualidade em suas características intrínsecas, de concepção e execução.

Por outro lado, 46 indicadores foram avaliados e catalogados como de pouca qualidade pelos especialistas. O número de indicadores que passaram esta fase de avaliação (107) representa aproximadamente o 69,9% dos indicadores, sendo estes considerados como ferramentas bem qualificadas para o auxílio na implementação dos princípios de gestão e planejamento propostos.

Figura 29 – Índice de Validade de Conteúdo (IVC) de cada indicador atribuído pelo grupo de especialistas em indicadores



Fonte: AUTOR

A maioria dos indicadores teve uma boa avaliação por parte dos especialistas de indicadores, possivelmente pelo fato de ser instrumento tratado em estudos científicos. A maioria destes estudos foi selecionada devido ao fato que utilizavam indicadores como ferramentas de análise e provinham de periódicos e revistas indexadas e de alto impacto, aspecto que dá confiabilidade à informação que estes estudos comunicam.

Da mesma forma, muitos estudos selecionados também abordaram indicadores popularmente aplicados, com metodologias concretas e formais, proporcionando peso na credibilidade dos resultados gerados por meio dos indicadores.

Apesar dos indicadores serem avaliados por especialistas com conhecimento abrangente nas áreas de indicadores e da adoção de uma metodologia robusta, ainda existe subjetividade nas respostas, influenciada por variáveis como os prazos de resposta e a quantidade de informação dada na consulta.

Por outro lado, nesta parte da avaliação, não se analisou a relevância da aplicabilidade dos indicadores na gestão das águas subterrâneas e no planejamento de uso e ocupação do solo, mas somente suas características gerais para serem considerados como indicadores qualificados, tais como: suas características intrínsecas e conceituais; sua sensibilidade com relação a mudanças no tempo e no espaço; e sua funcionalidade.

Desse modo, grande parte dos indicadores foi validada como indicadores apropriados por sua potencialidade em representar adequadamente o sistema água subterrânea- solo e ser viável na sua operação.

A segunda etapa de avaliação dos indicadores realizada pelo grupo de especialistas das áreas de gestão de águas subterrâneas e da área de planejamento de uso e ocupação do solo gerou como resultado indicadores com valores de IVC em sua maioria menores a 0,75, como se mostra na Figura 30.

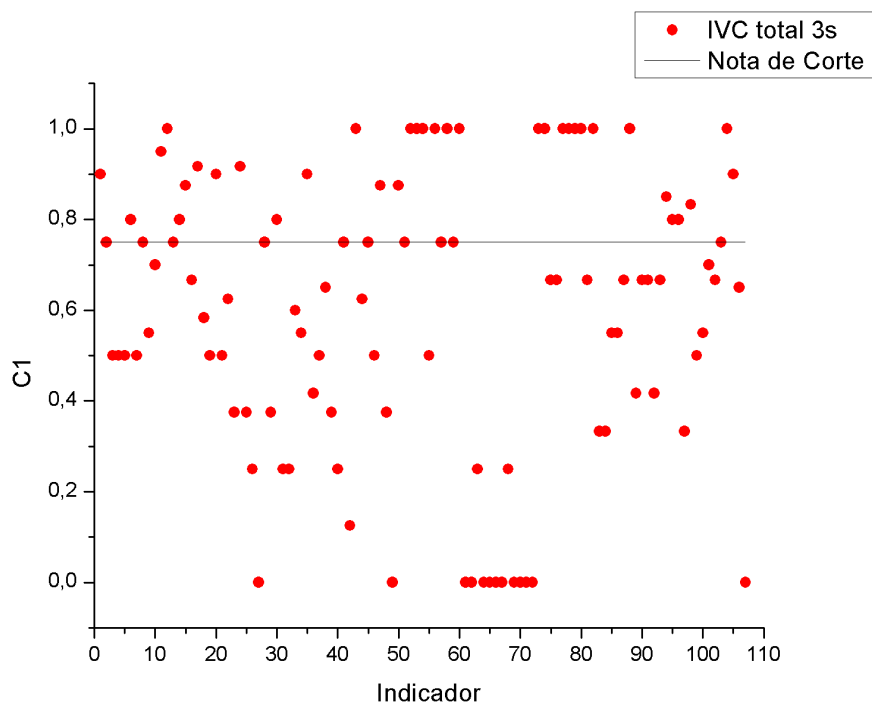
O IVC dos indicadores mostra que, dos 107 indicadores avaliados pelos especialistas das áreas, 42,06% (45 indicadores) foram considerados como relevantes, abrangentes, úteis e funcionais para formar parte da estrutura de indicadores integrados para a gestão de águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

A etapa final de avaliação considerou a relevância da aplicabilidade dos indicadores nos processos de gestão das águas subterrâneas e do planejamento de

uso e ocupação do solo, assim grande parte dos indicadores prevaleceram pela sua potencialidade em ser aplicados na integração destes dois processos.

Esta avaliação gerou os indicadores finais da estrutura integrada para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo, no entanto, esta estrutura de indicadores ainda é muito ampla para ser considerada e aplicada completamente num estudo de caso.

Figura 30 – Índice de Validade de Conteúdo de cada indicador atribuído pelo grupo de especialistas em gestão de águas subterrâneas e em planejamento do uso e ocupação do solo.



Fonte: AUTOR

A qualidade das respostas dadas pelos especialistas está influenciada pela preferência dada a alguns indicadores. Parte dos indicadores é popularmente usada em comparação com outros e isso pode influenciar nas avaliações dadas a cada critério.

As respostas dadas na avaliação também estão influenciadas pelo número de especialistas consultados. Nesta última etapa, 5 especialistas avaliaram os indicadores

(2 da área de gestão de águas subterrâneas e 3 de planejamento de uso e ocupação do solo), o que pode representar um número pequeno de amostras e aumento na sensibilidade no cálculo do IVC final.

O agrupamento dos indicadores por tema produz uma distribuição específica de avaliações. Assim os indicadores de águas subterrâneas foram avaliados por 2 especialistas, os de planejamento de uso e ocupação do solo foram avaliados por 3 especialistas e os de gestão e planejamento geral foram avaliados pelos 5

A distribuição final dos indicadores por princípios após a avaliação realizada pelos especialistas de indicadores e possíveis usuários da estrutura de indicadores é apresentada na Nos princípios 6 e 9 que referem-se aos princípios de “Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas” e “Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso do solo” se manteve o mesmo número de indicadores apesar de passar pela análise dos dois grupos. A causa pode estar atribuída à qualidade e pertinência destes indicadores dentro da abordagem de integração de GAS e PUOS.

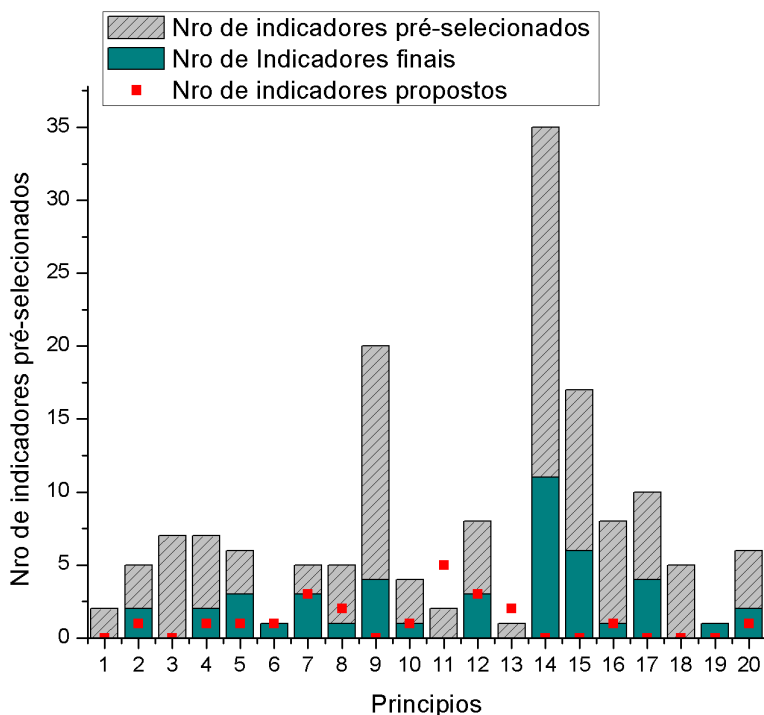
Como mostra na Figura 31, não houve indicadores nos princípios relacionados à definição dos limites do sistema para gestão, equivalência proporcional entre investimentos e benefícios, o papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas, valorização e inclusão de conhecimentos científicos, escopo e abrangência adequadas para o planejamento do uso e ocupação do solo. Isso se deve principalmente pela falta de potencialidade aplicação dos poucos indicadores existentes nos processos de gestão e planejamento e conseqüentemente a pouca probabilidade do princípio ser implementado num processo de gestão integrada.

Todavia, a falta de indicadores nos princípios e a alta probabilidade de não serem implementados, não indica que estes não sejam importantes, mas sim que não são indispensáveis para exercer uma integração no GAS e o PUOS, e os indicadores resultantes na Figura 31, exibe-se que em quase todos os princípios houve redução do número de indicadores, só nos princípios 6 e 19 não houve redução. No caso dos princípios 1, 3, 11, 13 e 18 houve redução total dos indicadores.

Nos princípios 6 e 9 que referem-se aos princípios de “Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas” e “Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso do solo” se manteve o mesmo número de indicadores apesar de passar pela análise dos dois grupos. A causa pode estar atribuída à qualidade e pertinência destes indicadores dentro da abordagem de integração de GAS e PUOS.

Como mostra a Figura 31, nos princípios 1, 3, 11, 13 e 18 não houve indicadores. Estes estavam relacionados a temas como a definição dos limites do sistema para gestão, equivalência proporcional entre investimentos e benefícios, o papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas, valorização e inclusão de conhecimentos científicos nos processos, escopo e abrangência adequada para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo.

Figura 31 – Número de indicadores finais por princípio após análise com IVC do grupo de especialistas nas áreas de GAS e PUOS



Fonte: AUTOR

Isso fato se deve principalmente pela falta de potencialidade de aplicação dos poucos indicadores existentes nos processos de gestão e planejamento seja pela

informação requerida, a definição pouco concreta e simples do indicador, gerando pouca probabilidade do princípio a ser implementado em um processo de gestão integrada.

Além da existência, redução e ausência de indicadores ao longo de seu processo de seleção e análise, é evidente tanto a desproporcionalidade de indicadores nos diferentes princípios, mostrando a necessidade de desenvolvimento de ferramentas sobre vários temas imprescindíveis nos processos de gestão, quanto à tendência de aprimoramento das ferramentas já existentes que ajudam à compressão mais técnica dos aspectos do monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e as relações deste e do solo com o ecossistema socioambiental.

Porém, a maioria dos princípios, que tratam temas afins aos processos de gestão (Princípios 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 20), inclusão de informação científica e avaliação dos processos de gestão e planejamento, a literatura mostra a ausência de qualidade e quantidade de ferramentas.

Um aspecto importante a ressaltar, é que esta etapa gerou novas propostas de indicadores por parte dos especialistas e possíveis usuários das áreas de gestão das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação do solo. Estes indicadores propostos foram adaptados e avaliados pelos pesquisadores, para serem incluídos na estrutura de indicadores integrados para a gestão de águas subterrâneas e planejamento de uso e ocupação do solo.

Desta forma, na Figura 31, também se apresenta a distribuição de novos indicadores propostos por princípio, sendo 11 destes relacionados ao planejamento de uso e ocupação do solo, 4 sobre gestão de águas subterrâneas e 17 relacionados a temas de gestão e planejamento de forma integrada.

No total, 22 novos indicadores propostos foram apresentados pelos especialistas, mas destes apenas foram considerados e adaptados para a estrutura 17 indicadores devido à existência de replicas nas propostas dos diversos especialistas e a que alguns não correspondiam completamente à definição de indicador.

Por último, a estrutura de indicadores direcionados à integração da gestão das águas subterrâneas e do planejamento de uso e ocupação do solo resultante da análise de indicadores é apresentada na tabela 12, com os seus respectivos novos indicadores propostos, destacado com diferente coloração.

Assim, a partir desta metodologia e resultados obtidos observou-se uma forma de sistematizar o processo de validação e seleção de indicadores, com o objetivo de integrar os diferentes processos de gestão e planejamento em discussão. Portanto, se torna imprescindível estabelecer uma metodologia lógica e padronizada para estabelecer indicadores.

Tal como Schwemlein; Cronk; Bartram, (2016) afirmam, não necessariamente a homogeneidade e frequência no uso de indicadores implica em boas práticas ou propostas adequadas para os estudos, mas os métodos de seleção e validação proporcionam uma organização lógica, eliminando a arbitrariedade na seleção e definição de indicadores.

.Por outro lado, um processo definido de seleção proporciona transparência e clareza, permitindo aos tomadores de decisão e outros pesquisadores entenderem melhor o processo de seleção dos indicadores. O uso de métodos de avaliação de indicadores, demonstrada por especialistas e indicadores comprovados por experiências científicas, produz uma lista concisa e sistemática de indicadores (TANGUAY; RAJAONSON; THERRIEN, 2013).

Assim, esta metodologia não só avaliou os indicadores de gestão das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação, mas estabeleceu um roteiro aplicável, claro e simples para garantir sua reprodução em outros levantamentos, seleção e definição de indicadores.

Tabela 12 – Estrutura de indicadores para a integração dos processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
1	Definição dos limites do sistema para gestão	1. Dimensionamento e divisão das áreas do reservatório de água subterrânea	
		2. Delimitação geográfica das unidades dos reservatórios de água subterrânea	
2	Definição dos direitos de acesso à água	3. Identificação e delimitação dos direitos sociais e individuais sobre a água subterrânea	
		4. Dimensionamento da capacidade de uso e acesso do recurso hídrico a nível individual e coletivo	Proporção de águas para tipo de ocupação do solo
			Nível de acessibilidade à água subterrânea
			Quantidade de outorgas concedidas para extração de recurso hídrico subterrâneo
3	Equivalência proporcional entre investimentos e benefícios	5. Existência e aplicação de normas para gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo	
		6. Pagamentos de retribuição pelo uso da água subterrânea	
		7. Efetividade das normas e instrumentos de cobrança e outorga do recurso hídrico para a manutenção do recurso hídrico	
		8. Dimensionamento dos recursos econômicos obtidos nos instrumentos de gerenciamento do recurso hídrico	

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
		subterrâneo	
4	Atuação conjunta e integrada das Instituições responsáveis da gestão de recursos hídricos subterrâneos e de planejamento de uso e ocupação do solo	9. Integração de normas sobre os processos de gerenciamento da água subterrânea e o planejamento do uso do solo	Número de Instrumentos integradores existente na Política Nacional de Recursos Hídricos e nas normas de planejamento de uso do solo
		10. Efetividade de cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo	Número de leis/ portarias/normas conjuntas que vinculem autorizações e/ou outorgas à aprovação conjunta
		11. Identificação das relações e cumprimento das ações conjuntas das instituições do recurso hídrico subterrâneo	Número de ações conjuntas entre entidades gestoras (ex: ANA), agencia de bacia e Prefeituras.
		12. Integração do cumprimento das responsabilidades das instituições para a gestão do recurso hídrico subterrâneo	
5	Participação social e democrática	13. Viabilização e mobilização social para participação	Número de mecanismos de participação pública disponíveis para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso do solo
		14. Incentivo e viabilização da representação dos envolvidos em tomada de decisões	
		15. Efetividade da participação dos usuários, planejadores e formuladores de políticas públicas nos processos de planejamento de uso e ocupação da terra e de gestão das águas subterrâneas.	Nível de efetividade dos mecanismos de participação pública para o planejamento de uso do solo e gestão das águas subterrâneas Nível de representatividade das partes nos mecanismos de participação pública para a gestão das águas subterrâneas e planejamento de uso do solo Número de grupos sociais (sociedade civil organizada)

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
6	Regulamento das ações e dos usos de águas subterrâneas	16. Definição de normas, obrigações e responsabilidade dos usuários da água subterrânea e da ocupação do solo	Existência de normas, responsabilidades e obrigações dos usuários da água subterrânea e da ocupação do solo.
			Elaboração de diretrizes para uso e exploração
7	Supervisão do comportamento dos usuários na gestão de águas subterrânea e uso do solo	17. Fiscalização dos usos e permissões do uso de águas subterrâneas e ocupação do solo	Extração total utilizada relacionada à proporção de uso das águas subterrâneas
			Áreas com uso irregular nas zonas restritas no uso
			Quantidade de cobertura vegetal removida nas áreas com permissões de uso
		18. Efetividade do cumprimento de obrigações dos usuários da água subterrânea	Proporção de usos outorgados e usos não legalizados
Existência de diretrizes eficientes no Zoneamento Geoambiental			
		Proporção de usos outorgados e usos efetivos (uso informado / uso real)	
8	Mecanismos de resolução de conflitos na gestão de águas	19. Existência e efetividade dos mecanismos de resolução de conflitos na distribuição e gestão do recurso hídrico subterrâneo	Existência de mecanismos de resolução de conflitos
		20. Identificação de conflitos na distribuição e proteção do recurso hídrico subterrâneo.	Número de estudos técnicos institucionais de disponibilidade hídrica
			Periodicidade de revisão de estudos técnicos de disponibilidade hídrica
		21. Identificação das lacunas legislativas e normativas sobre a gestão de água subterrânea	

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
9	Monitoramento do recurso hídrico subterrâneo e do uso e ocupação do solo	22. Quantificação do recurso hídrico subterrâneo extraível sustentavelmente	Índice de exposição do solo natural (EI)
		23. Monitoramento da qualidade do recurso hídrico subterrâneo (e do solo)	
		24. Probabilidade de ocorrência da contaminação dos aquíferos	Impacto potencial do solo
			Risco potencial das águas subterrâneas à contaminação pelos usos do solo
		25. Capacidade de suporte do aquífero e do solo frente a contaminantes e/ou perturbações	
		26. Acompanhamento e supervisão dos processos de uso da água e ocupação do solo	Frequência de monitoramento
		27. Análise da evolução de expansão da ocupação do território	
10	Implementação de sanções proporcionais	29. Instrumentos para implementação de sanções	Proposição de Leis de direito de uso e restrições geoambientais
		30. Classificação dos níveis de severidade de impactos e interferências ambientais sobre o recurso hídrico subterrâneo	
		31. Efetividade da aplicação das sanções sobre os usuários da água subterrânea	Proporção de sanções cumpridas relacionadas às sanções outorgadas

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
11	Valorização e inclusão de conhecimentos científicos nos processos de gestão e planejamento	32. Identificação e valorização dos estudos científicos para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso do solo.	Número de estudos científicos incorporados nos instrumentos de gestão institucionais
			Nível de detalhamento dos mapas geoambientais
			Nível de engajamento e envolvimento das instituições de ensino e pesquisa
			Número de estudos realizados por instituições de gestão e centros de pesquisa com visão integradora na gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso
12	Adaptação da gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo frente aos desafios ambientais e condições climáticas adversas	33. Proposição de atividades para sustentar a água subterrânea frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas	Existência de áreas de restrição à ocupação para proteção de recarga ou contaminação de aquíferos
			Índice de exposição do solo natural (EI)
		34. Quantificação dos efeitos das mudanças climáticas sob o recurso hídrico subterrâneo	Taxa rebaixamento da profundidade do aquífero
			Taxa de recarga do aquífero
13	O papel da mulher nos processos de gestão de águas subterrâneas	35. Avaliação da efetividade das estratégias de adaptação dos recursos hídricos subterrâneos frente aos desafios socioambientais e condições climáticas adversas.	Existência de mecanismos de controle de extração temporário correlacionado ao clima
			36. Efetividade da participação e representatividade da mulher nos processos da gestão do recurso hídrico subterrâneo	Propor ações de engajamento e envolvimento das mulheres no planejamento e na tomada de decisão

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
14	Interações dos sistemas socioambientais na gestão de águas subterrâneas	37. Classificação das águas subterrâneas de acordo ao tipo de armazenamento de água, grau de intervenção antrópica, ao tipo de fluxo base	
		38. Estimativa dos processos no ambiente hídrico subterrâneo (infiltração, recarga, fluxo base, condutividade hidráulica).	Taxa de Recarga de águas subterrâneas
			Balanço hídrico da área
		39. Potencialidade dos aquíferos para abastecimento hídrico público.	Captação total de águas subterrâneas em relação aos recursos de águas subterrâneas: (abstração / exploração recursos) x 100
			Índice de retenção de águas subterrâneas (GRI)
			Razão da recarga-descarga do recurso hídrico subterrâneo
			Quantidade da demanda hídrica ambiental
			Taxa de potencial de renovação de água subterrânea
		40. Relações do recurso hídrico subterrâneo e do solo com a fauna e flora do ecossistema	Nível de interesse socioeconômico sobre as águas subterrâneas
			Índice biológico (Ocorrência de macroinvertebrados) IBMWP "Iberian Biomonitoring Working Party"
41. Estimativa da escassez das águas subterrâneas e estresse do ecossistema hídrico e do solo	Índice de integridade e diversidade biótica		

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
		42. Intensidade de uso de água subterrânea e classificação segundo a atividade antrópica (geral)	Índice ponderado da saúde das águas subterrâneas
		43. Vulnerabilidade da população frente à contaminação das águas subterrâneas	
		44. Vulnerabilidade da população frente à escassez das águas subterrâneas	"
		45. Integração dos elementos do ecossistema e os corpos hídricos superficiais com os corpos hídrico subterrâneos e os diversos usos da água (geral)	
15	Interações dos sistemas socioambientais no planejamento do uso e ocupação do solo	46. Conflito de uso e interesses do solo	Porcentagem de área de terras agrícolas convertida à área construída
			Porcentagem de áreas com fragmentação e perda de vegetação/Habitat
		47. Mudança do uso do solo	Taxas e tendências das mudanças de uso e ocupação do solo
		48. Vulnerabilidade da população frente à mudança de uso do solo	
		49. Intensidade de uso do solo segundo atividades e assentamentos antrópicos	Extensão das áreas com atividades produtivas
			Grau de Intensidade de cultivo SrSt
			Número de atividades produtivas
50. Riscos ambientais de acordo ao uso e ocupação do solo			

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
		51. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos do solo	
		52. Integração dos usos da água subterrânea com os diversos usos e ocupações do solo	
16	Ocupação adequada e a proteção do solo no planejamento de uso e ocupação do solo	53. Delimitação e classificação do solo segundo a sua aptidão e de acordo ao interesse de uso sustentável	Indicador de tipo de cobertura do solo
		54. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso do solo	Identificação de práticas e manejo sustentáveis
		55. Intensidade das intervenções antrópicas sobre zonas de interesse de proteção do solo	
17	Ocupação do solo adequada e a proteção das águas subterrâneas	56. Definição e delimitação das condições ambientais das zonas proteção e de restrição de uso da água.	Porcentagem de área de Proteção máxima Porcentagem de áreas de proteção de poços e outras captações
		57. Integração do uso do solo com a qualidade e quantidade de água subterrânea	Porcentagem de água e terra conservadas
		58. Integração dos elementos do ecossistema com os diversos usos das águas subterrâneas	Nível de variabilidade baixa da atividade da vegetação

PRINCÍPIOS		DESCRITORES	INDICADORES
18	Escopo e abrangência adequadas para a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	59. Delimitação dos períodos e prazos adequados para o planejamento do uso do solo	
		60. Delimitação da escala apropriada para o planejamento do uso do solo	
19	Modelos conceituais na gestão das águas subterrâneas e no planejamento do uso e ocupação do solo	61. Definição de modelos conceituais nos processos de planejamento de uso e ocupação do solo	
20	Acessibilidade às informações e comunicação efetiva de dados sobre a gestão das águas subterrâneas e o planejamento do uso e ocupação do solo	62. Disponibilização e comunicação de dados e informações	Existência de sistemas de informações sobre recursos hídricos e planejamento do território
			Existência de base de dados dinâmica para o registro de poços profundos
			Existência de um banco de dados geográficos atualizado de livre acesso e edição.
		63. Qualidade e confiabilidade da informação pública referente ao uso da terra e as águas subterrânea.	
64. Integração das diversas fontes de informação para a gestão das águas e o planejamento do uso do solo			

Fonte: AUTOR

Assim, a partir desta metodologia e resultados obtidos observou-se uma forma de sistematizar o processo de análise e seleção de indicadores, com o objetivo de integrar os diferentes processos de gestão e planejamento em discussão. Portanto, se torna imprescindível estabelecer uma metodologia lógica e padronizada para estabelecer indicadores.

Tal como Schwemlein; Cronk; Bartram, (2016) afirmam, não necessariamente a homogeneidade e frequência no uso de indicadores implica em boas práticas ou propostas adequadas para os estudos, mas os métodos de seleção e análise proporcionam uma organização lógica, eliminando a arbitrariedade na seleção e definição de indicadores.

.Por outro lado, um processo definido de seleção proporciona transparência e clareza, permitindo aos tomadores de decisão e outros pesquisadores entenderem melhor o processo de seleção dos indicadores. O uso de métodos de avaliação de indicadores, demonstrada por especialistas e indicadores comprovados por experiências científicas, produz uma lista concisa e sistemática de indicadores (TANGUAY; RAJAONSON; THERRIEN, 2013).

Assim, esta metodologia não só selecionou os potenciais indicadores de gestão das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação, mas estabeleceu um roteiro aplicável, claro e simples para garantir sua reprodução em outros levantamentos, seleção e definição de indicadores.

Apesar da definição, seleção e análise de indicadores terem sido realizadas de forma transparente, sistemática e objetiva, a estrutura de indicadores resultante ainda precisa ser avaliada em uma área de estudo de caso, já que a aplicabilidade numa realidade permitiria estabelecer os requisitos mínimos para garantir a integração dos processos de gestão das águas subterrâneas e o planejamento de uso e ocupação do solo.

Assim, a seleção e análise da fundamentação teórica dos indicadores para a integração executada nesta pesquisa são fundamentais para gerar indicadores fundamentados em uma metodologia lógica, reproduzível e simples, mas ainda não é

suficiente para definir indicadores específicos que correspondam a uma aplicabilidade e conseqüente validação adequados. Para isso, é necessária sua implementação dentro de uma realidade específica e a avaliação crítica desta implementação.

Portanto, com este estudo observou-se quanto indispensável é a execução de estudos relacionados à avaliação da aplicabilidade de indicadores, desde uma realidade numa área de estudo específica, para determinar o mínimo número de indicadores necessários, as diversas ferramentas estratégicas de análise da aplicabilidade e as propostas de diretrizes para sua implementação.

Também, este estudo mostra a necessidade do desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas ao aprimoramento de técnicas para a análise de indicadores, assegurando que exista uma aceitação do grupo de pesquisa, da comunidade científica e pela comunidade que fará uso deste tipo de ferramenta.

De igual forma, é fundamental a geração de novos indicadores abrangentes, que resumam e sintetizem informações relacionadas aos processos de gestão e planejamento, já que grande parte dos indicadores mostrados enfatiza-se no âmbito específico do monitoramento e do dimensionamento da água e do solo.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da metodologia aplicada, mostrou-se que a análise de indicadores seja para a gestão de águas subterrâneas, para o planejamento de uso e ocupação do solo, ou qualquer outra área, é fundamental para garantir uma seleção e avaliação dos indicadores de forma lógica, transparente e coerente, ressaltando sua importância nos processos de gestão da água e do solo.

Apesar de esta metodologia estar fundamentada em pareceres e experiências científicas, implicando certo grau de subjetividade, seus procedimentos, etapas e ferramentas são adequados, práticos e consolidados e garantem a produção de indicadores operacionais e úteis para a abordagem esta abordagem integrada.

Porém, esta metodologia seria mais diversificada e menos imparcial ao aumentar o número de especialistas consultados, como também o uso de menor quantidade de informação a ser analisada para propor a lista de indicadores.

Esta metodologia, além de analisar os indicadores, ajudou a mostrar as lacunas com relação a indicadores de qualidade para serem aplicados na abordagem integrada da gestão das águas subterrâneas e de planejamento de uso e ocupação do solo, e destacou a reconsideração do estabelecimento dos princípios propostos quanto à sua necessidade e relevância.

Como se evidenciou neste estudo, uma forma de assegurar que a metodologia de análise seja reproduzível e analisada por vários grupos diferenciados é por meio do uso de técnicas de análise e instrumentos de análises comumente usados.

Deste modo, com a descrição do método de forma clara, simples e de fácil compreensão gerará maior credibilidade e confiança para serem considerados por parte dos tomadores de decisão e pesquisadores, os usuários finais deste tipo de ferramentas de gestão.

CONCLUSÕES

No decorrer desta pesquisa, encontraram-se várias observações em relação aos processos de gestão das águas subterrâneas (GAS) e o planejamento de uso e ocupação do solo (PUOS). Estes são processos que enfrentam diversos desafios relacionados à elaboração de diretrizes específicas e de instrumentos que permitam auxiliar sua implementação efetiva.

Estes desafios estão influenciados principalmente pela baixa prioridade dedicada à governança e ao gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e ao planejamento do uso e ocupação do solo de forma sistêmica, assim como pelo conflito de interesses dos diversos setores econômicos, político e social.

Estes conflitos de interesses vêm sendo manifestados pela ilegalidade do uso e ocupação do solo, pela pouca interdisciplinaridade e análise das ações conjuntas entre as instituições gestoras do recurso hídrico, tais como: comitês de bacia; entidades gestoras do estado; e prefeituras municipais. Outros conflitos de interesse são decorrentes da ausência de informação com interesse de integrar os processo de gestão e planejamento nesses temas relevantes da pesquisa que são a água e o solo.

Além desses fatores, também existe a ausência do trabalho conjunto e coordenado entre as instituições gestoras em formular e aplicar normas e instrumentos específicos na gestão integrada destes recursos.

Tanto a gestão das águas subterrâneas quanto o planejamento de uso e ocupação do solo geralmente são processos considerados desarticulados e são concebidos, executados e monitorados de forma independente, apesar das diversas situações conflitivas de alocação e distribuição da água e do uso do solo estarem interconectadas, por se constituírem como elementos componentes de um mesmo ecossistema.

A importância da gestão das águas subterrâneas dentro de um território prevalece principalmente em locais onde a comunidade e os setores econômicos dependem altamente do recurso para seu desenvolvimento. No Brasil, vários estados dependem dos recursos hídricos subterrâneos, mas com a ausência de diretrizes específicas e de instrumentos direcionados para a sua gestão, manifesta-se a incipiência no merecido reconhecimento do recurso para garantir o gerenciamento e a proteção adequados.

Uma estratégia adotada mundialmente é a articulação dos processos de gestão e de planejamento, com estudos e projetos de pesquisa que estimulem e garantam que a informação e os resultados sejam validados cientificamente. Portanto, a literatura bibliográfica nacional e internacional mostra ser um potencial aliado para propor uma visão integrada e sistêmica da GAS e PUOS.

Uma das formas mais apropriadas da revisão da literatura, como se evidenciou nesta pesquisa, é a revisão realizada sistematicamente. Esta Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) permite que a informação disponível sobre o tema seja coletada, analisada e sintetizada apropriadamente, dando bases teóricas completas e abrangentes, ainda que implique em investimento de tempo e em dedicação de esforço para sua consecução.

Com esta revisão da literatura, adquire-se informação tanto científica, como social, propiciando ferramentas a serem elaboradas e transformadas em processos de gestão e de planejamento previamente avaliados e amplamente aceitos pela sociedade.

A partir desta revisão bibliográfica sistemática, encontraram-se informações relevantes e diversificadas, relacionadas a critérios de seleção de indicadores, aos indicadores e aos princípios para a GAS e o PUOS de forma independente. Todavia, pela análise das produções científicas dos últimos 17 anos, as ferramentas identificadas estão mais direcionadas aos aspectos técnicos das águas subterrâneas

(monitoramento, dimensionamento do recurso, intensidade de uso) de maneira muito ampla e não tão aprofundadas sobre os aspectos de gestão, gerenciamento e planejamento (participação, avaliação da efetividade de normas sobre GAS e PUOS).

A produção de indicadores em temas relacionados com a participação e a avaliação da efetividade de normas sobre GAS e PUOS, está determinada pela capacidade e interesse das instituições tanto científicas, como responsáveis pela gestão dos recursos hídricos e pelo PUOS em estudar estes temas, que caracterizam-se por serem complexos e implicam no levantamento e tratamento de alta quantidade de dados e de análises interdisciplinares. Porém, estes temas são imprescindíveis para avaliar e monitorar processos de gestão e planejamento. assim como para fazê-los mais adequados.

Desta forma, evidencia-se a ênfase dada aos estudos atuais no aprimoramento dos instrumentos e ferramentas existentes, mas pouca dedicação a estudos direcionados ao preenchimento de lacunas e à criação de novas perspectivas sistêmicas sobre a gestão dos recursos hídricos.

Com relação ao planejamento de uso e ocupação do solo, há escassez de informações sobre indicadores e princípios que ajudassem a integrar e cumprir os requisitos da pesquisa de auxiliar a gestão integrada da água e do solo, representando um limitante e uma necessidade em produzir informações e ferramentas relacionadas a esta abordagem.

Pelos resultados obtidos, os princípios de GAS e PUOS estabelecidos mostram ser uma estratégia vital para articular os diferentes aspectos do ecossistema hídrico subterrâneo e dos usos do solo e, desta forma, ser suporte na GAS e o PUOS. Porém, pela revisão da literatura realizada, não foram identificados estudos que propusessem uma estrutura hierárquica ou de princípios com a abordagem integradora entre GAS e PUOS, evidenciando o caráter relevante e inovador desta pesquisa.

Além disso, os princípios encontrados a partir da RBS estão relacionados aos diversos temas e aspectos imprescindíveis para a GAS e PUOS de forma separada, convertendo-se em princípios potenciais para ser usados e adaptados na geração de uma abordagem integradora da gestão e planejamento dos recursos hídricos subterrâneos e do solo.

A proposição destes princípios foi fundamental para o agrupamento dos indicadores de acordo a diferentes níveis hierárquicos (princípios e descritores), sendo uma estratégia que atribuiu confiança em relação à abrangência e à integridade necessária para a integração da GAS e o PUOS. Este modelo hierárquico permitiu realizar uma análise simples das ferramentas e dos objetivos de gestão, estudando a grande quantidade dos indicadores existentes e propondo novos indicadores dos temas específicos em questão.

A partir dessa análise, evidenciou-se que, com a ausência de pesquisas encaminhadas com esta abordagem de integração da GAS e o PUOS, os indicadores encontrados não responderam integralmente aos requisitos desta abordagem. Desse modo, manifestam-se as lacunas deste caráter integrador enquanto a estes aspectos mais específicos.

Outro aspecto de relevância fundamental foi a definição dos termos alvos da pesquisa, associados a “Indicador” e “Princípio”. Estes termos foram adotados como base para a análise e a avaliação da qualidade dos indicadores e princípios encontrados na RBS.

Encontrou-se que ainda existe um amplo debate relacionado aos significados concretos desses termos, sem chegar a um consenso convergente. Portanto, em estudos analisados os termos alvo diferiram das definições adotadas nesta pesquisa, ocasionando dificuldade na análise da informação e na seleção preliminar de informações que não cumpriam os requisitos da pesquisa.

Assim, foi necessária a execução de procedimentos metodológicos de seleção e definição de indicadores de forma sistematizada, clara, transparente, a fim de reduzir a sua arbitrariedade e garantir objetividade nos procedimentos de análise e avaliação dos indicadores.

Na literatura existem diversos métodos para a seleção e avaliação de indicadores, mas para responder à complexidade de integrar a GAS e o PUOS, os métodos mais apropriados correspondem às técnicas multicritérios para determinar o grau de importância dos indicadores para esta finalidade.

Existem diversas técnicas multicritério para o análises e hierarquização de multiplex variáveis, mas o Processo Analítico Hierárquico (AHP) responde adequadamente à atribuição de importância aos indicadores, já que permite realizar uma comparação par a par dos indicadores e avalia a consistência das ponderações resultantes da avaliação.

Além de gerar certo grau de objetividade a uma avaliação qualitativa, esta técnica foi útil e eficaz, mas para no final um pouco dificultosa quando se trata de comparações ampla quantidade de elementos.

Entanto, o processo de seleção de indicadores não é suficiente quando se refere ao tratamento de informação abundante, assim como para responder à necessidade, utilidade e confiabilidade da estrutura de indicadores proposta.

Outro aspecto a considerar além da seleção de indicadores é a avaliação deles para ser utilizados numa realidade, sendo analisados e avaliados considerando critérios de avaliação e perspectivas de especialistas nos temas relacionados.

Portanto, o uso de metodologias como a 3S (*Self validation, Scientific validation, Social validation*), a análise usando critérios e a adoção do índice de

validade de conteúdo para validar a operacionalidade e a possível aplicabilidade mostraram ser pertinentes, simples e práticas para a execução da pesquisa.

A adaptação da metodologia 3S para a validação dos indicadores ressaltou a importância da aceitação dos indicadores por parte de grupos de especialistas diferenciados, assegurando a interdisciplinaridade na avaliação destas ferramentas e aumentando a confiança e credibilidade para usos posteriores.

Por outro lado, a análise de indicadores usando critérios de seleção foi apropriada, efetiva e abrangente, considerando que se analisaram as características intrínsecas, de execução e de sensibilidade a mudanças dos indicadores, baseando-se no conhecimento científico proveniente de pesquisadores na área de indicadores.

O Índice de Validade de Conteúdo (IVC), ao mostrar, por meio de uma proporção a representatividade dos critérios de seleção nos indicadores, facilitou a análise das respostas dadas pelos especialistas, e ajudou a observar a relevância dos indicadores na aplicação de uma estrutura com abordagem integrada da GAS e o PUOS.

Assim, por meio destas ferramentas e procedimento metodológicos foi possível estabelecer uma estrutura de indicadores robusta, operacional, funcional abrangente e consolidada, já que são instrumentos de seleção, análise e avaliação complementares.

Apesar de o processo de seleção, definição e análise dos indicadores tenha sido rigorosa, ainda não foi definido um sistema de indicadores, em que se considerem relações interativas de gestão e planejamento e as interações entre a água e solo como elementos de um ecossistema.

No entanto, com a execução dos procedimentos de análise, se demonstra que para a aplicação da estrutura de indicadores com esta abordagem integradora, é indispensável, além da implementação destes indicadores em um estudo de caso,

também sua avaliação crítica com o objetivo para garantir um sistema eficiente de indicadores.

Assim, esta pesquisa apresenta os princípios e as ferramentas gerais que poderão ser aplicados em outras áreas de estudo e realidades social, política, econômica e/ou ambiental, independentemente das condições e especificidades locais.

Desse modo, esta pesquisa funciona como base para a execução de pesquisas e investigações que preencham as lacunas relacionadas aos processos de gestão e planejamento com abordagens integradoras das águas subterrâneas e do solo, considerando suas interações, assim como também interconexões entre outros entes envolvidos, tais como os sociais e os demais ambientais.

Especificamente é fundamental a formulação de propostas de procedimentos e diretrizes para a GAS conjuntamente com o PUOS, assim como também a definição de indicadores e princípios direcionados com essa abordagem integrada.

Da mesma forma, também é indispensável a execução de estudos ambientais que usem a RBS como método de revisão, já que este método permite avaliar a relevância das pesquisas e as potencialidades e lacunas dos temas abordados.

Os métodos para seleção, definição, avaliação e validação de indicadores por serem complexos são escassamente aplicados, apesar de dar validade aos indicadores. Por isso, é crucial a execução de pesquisas centradas em estudar os métodos de seleção, avaliação e validação de indicadores adotados nesta pesquisa, aprimorando as existentes ou propondo novas metodologias práticas e efetivas.

VII. REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. M. C.; COLUCI, M. Z. O. Validade de conteúdo nos processos de construção e adaptação de instrumentos de medidas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 7, p. 3061–3068, jul. 2011.

ANJOS, F. A.; ANJOS, S. J. G.; OLIVEIRA, J. P. DE. A Abordagem Sistêmica no Processo de Planejamento e Gestão de Territórios Urbanos Turísticos. **Rosa dos Ventos**, v. 5, n. 3, p. 390–407, 2013.

ANTEQUERA, J.; GONZÁLEZ, E. ¿Medir la sostenibilidad? Una aproximación al tema de los indicadores de sostenibilidad. **Sostenible?**, p. 133–160, 2005.

BARTKE, S.; SCHWARZE, R. No perfect tools: Trade-offs of sustainability principles and user requirements in designing support tools for land-use decisions between greenfields and brownfields. **Journal of Environmental Management**, v. 153, p. 11–24, 2015.

BELLINO, N. O. Aguas Subterráneas Conocimiento y Explotación. p. 277, 2012.

BHUSHAN, N.; RAI, K. The Analytic Hierarchy Process. **Strategic Decision Making: Applying The Analytic Hierarchy Process**, p. 11–21, 2004.

BIOLCHINI, J. et al. Systematic review in software engineering. **System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ, Technical Report ES**, v. 679, n. 5, p. 45, 2005.

BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, P. How to validate environmental indicators. **Agricultural Systems**, v. 76, n. 2, p. 639–653, 2003.

BOTERO, C. M. et al. An indicator framework for assessing progress in land and marine planning in Colombia and Cuba. **Ecological Indicators**, 2016.

BRASIL, Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 de Setembro de 1981. Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>

BRASIL, Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 de Jan 1997, Seção 1. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>.

BRASIL, Lei 10.257, de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 de Julho de 2001. Seção 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm >

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos (SRH). **Águas subterrâneas: Programa de Águas Subterrâneas**. Brasília, 2001.10 p.

CARVALHO, D.F.; MELLO, J.L.P.; SILVA, L.D.B. Bacia Hidrográfica. In:_____CARVALHO, D.F.; MELLO, J.L.P.; SILVA, L.D.B. **Hidrologia**, 2007. p.15-24

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; AZEVEDO, J. P. S. DE. O planejamento do uso do solo urbano e a gestão de bacias hidrográficas : o caso da bacia dos rios Iguazu / Sarapuí na Baixada Fluminense. **Cadernos metrópole**, p. 165–190, 2008.

CHEN, J. et al. Improving assessment of groundwater sustainability with analytic hierarchy process and information entropy method: a case study of the Hohhot Plain, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 5, p. 2353–2363, 2015.

CHITSAZ, N. Rebuttal on “Multi-criteria decision analysis for planning and management of groundwater resources in Balod District, India” by Kumar et al. (Environ Earth Sci 2016, 75(8):649). **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 18, p. 1240, 2016.

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.

COLLABORATION FOR ENVIRONMENTAL EVIDENCE. **Guidelines for Systematic Review and Evidence Synthesis in Environmental Management Environmental**

Evidence. Gales: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.environmentalevidence.org/wp-content/uploads/2014/06/Review-guidelines-version-4.2-final.pdf>>.

COMTE, J.-C. et al. Challenges in groundwater resource management in coastal aquifers of East Africa: Investigations and lessons learnt in the Comoros Islands, Kenya and Tanzania. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 5, p. 179–199, mar. 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos.** Anais Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos. **Anais...**2011

COULIBALY, H. D.; RODRIGUEZ, M. J. Development of performance indicators for small Quebec drinking water utilities. **Journal of Environmental Management**, 2004.

CUSTODIO, E. Aquifer overexploitation : what does it mean ? **Hydrogeology Journal**, v. 10, p. 254–277, 2002.

DONNELLY, A. et al. Selecting environmental indicator for use in strategic environmental assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, n. 2, p. 161–175, 1 mar. 2007.

DOUMOUYA, I. et al. Modelling of favourable zones for the establishment of water points by geographical information system (GIS) and multicriteria analysis (MCA) in the Aboisso area (South-east of Côte d'Ivoire). **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 6, p. 1763–1780, 2012.

DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F. Habitação e gestão ambiental em áreas de mananciais: o caso do município de Santo André (SP). **Saúde e Sociedade**, v. 21, p. 82–95, dez. 2012.

FARAH, M. F. S. Parcerias, novos arranjos institucionais e políticas públicas locais. **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, v. 5, n. 18, 2000.

FIDELIS, T.; ROEBELING, P. Water resources and land use planning systems in Portugal—Exploring better synergies through Ria de Aveiro. **Land Use Policy**, v. 39, p.

84–95, jul. 2014.

FONTANA, V. et al. Comparing land-use alternatives: Using the ecosystem services concept to define a multi-criteria decision analysis. **Ecological Economics**, v. 93, p. 128–136, 2013.

GENG, Q. et al. A framework of indicator system for zoning of agricultural water and land resources utilization: A case study of Bayan Nur, Inner Mongolia. **Ecological Indicators**, v. 40, p. 43–50, maio 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ta. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008. v. 264

GRESSLER, L. A. **Introdução à pesquisa: Projetos e Relatórios**. 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2003.

HAK, T.; KOVANDA, J.; CHARLES, J. W. A method to assess the relevance of sustainability indicators: Application to the indicator set of the Czech Republic's Sustainable Development Strategy. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 46–57, 2012.

HANAI, Y. F.; ESPÍNDOLA, L. E. G. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE: CONCEITOS, TIPOLOGIAS E APLICAÇÃO AO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO TURÍSTICO. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 135–149, 2016.

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.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. DE. Água Subterrânea: Reserva Estratégica Ou Emergencial. In: **Águas do Brasil: análises estratégicas**. [s.l: s.n.]. p. p.144-164.

HOLVOET, B.; MUYS, B. Sustainable forest management world wide: a comparative assessment of standards. **International Forestry Review**, v. 6, n. 2, p. 99–122, 2004.

IORIS, A. A. R. Os limites políticos de uma reforma incompleta. **Estudos urbanos e regionais**, v. 10, n. 1, p. 61–85, 2008.

JAMES, C. A. et al. A Methodology for Evaluating and Ranking Water Quantity Indicators in Support of Ecosystem-Based Management. **Environmental Management**, v. 49, n. 3, p. 703–719, mar. 2012.

KELLY, B. F. J.; MERRICK, N. Groundwater Knowledge and Gaps in the Condamine Alliance Area Groundwater Knowledge and Gaps in the Condamine Alliance Area National Centre for Groundwater Management University of Technology , Sydney. n. January, 2016.

KEMPER, K. et al. **Instrumentos Económicos para la Gestión del Agua Subterránea usar incentivos para mejorar la sustentabilidad**. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM_Briefing_7_sp.pdf>.

KITCHENHAM, B. AND CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In: **Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE**. [s.l: s.n.].

KORBEL, K. L.; HOSE, G. C. The weighted groundwater health index: Improving the monitoring and management of groundwater resources. **Ecological Indicators**, 2017.

KULKARNI, H.; SHAH, M.; VIJAY SHANKAR, P. S. Shaping the contours of groundwater governance in India. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 172–192, set. 2015.

LAMBÁN, L. J. et al. Application of groundwater sustainability indicators to the carbonate aquifer of the Sierra de Becerrero (Southern Spain). **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 7, p. 1835–1848, 2011.

LAMMERTS VAN BUEREN, E.; BLOM, E. Hierarchical Framework for the Formulation of Sustainable Forest Management Standards. **The Pathfinder**, p. 2–94, 1997.

LAVOIE, R. et al. Integrating groundwater into land planning: A risk assessment

methodology. **Journal of Environmental Management**, 2015.

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. **Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline**, v. 9, n. 1, p. 181–212, 2006.

LÓPEZ-RIDAURA, S. et al. Multiscale methodological framework to derive criteria and indicators for sustainability evaluation of peasant natural resource management systems. **Environment, Development and Sustainability**, v. 7, n. 1, p. 51–69, 2005.

MAGALHÃES, D. S. **Zoneamento Ecológico-Econômico Versus Planos de Recursos Hídricos, com aplicação na Região Norte do Estado do Tocantins**. 2010. 168f. Dissertação (Mestrado –em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

MAIA, P. C. C.; VASCONCELLOS SOBRINHO, M.; CONDURÚ, M. T. Terminologia aplicada à produção científica sobre gestão ambiental: diretrizes à elaboração de um microtesauro. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 22, n. 1, p. 80–99, 2017.

MARTÍNEZ, R. Q. et al. **Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe..** Santiago de Chile: CEPAL Serie Manuales, 2009. v. 6.

MAYER, A.; WINKLER, R.; FRY, L. Classification of watersheds into integrated social and biophysical indicators with clustering analysis. **Ecological Indicators**, 2014.

MENEZES, J. P. C. DE. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da Água Subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na Agricultura**. 2012. 83f. Dissertação (Mestrado –em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Espírito Santo, 2012

MEUL, M.; NEVENS, F.; REHEUL, D. Validating sustainability indicators: Focus on ecological aspects of Flemish dairy farms. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 2, p. 284–295, 1 mar. 2009.

MONTAÑO, M. Os Recursos Hídricos E O Zoneamento Ambiental: O Caso Do Município De São Carlos (Sp). 2002.

MONTAÑO, M. et al. O zoneamento ambiental e a sua importância para a localização de atividades. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, n. 6, p. 49–64, 2007.

NGUYEN, T. T. et al. Design of a GIS and multi-criteria based land evaluation procedure for sustainable land-use planning at the regional level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 1–11, 2015.

NIEMEIJER, D.; DE GROOT, R. S. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. **Ecological Indicators**, v. 8, n. 1, p. 14–25, jan. 2008.

ORTEGA SEGURA, D. A. **La minería y el ordenamiento territorial: Estudio de caso Área minera, Empresa Mineros S.A., El Bagre**. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Escola de Geociencias e Meio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, 2006.

PANNELL, D. J.; SCHILIZZI, S. Sustainable Agriculture: a matter of ecology, equity, economic efficiency or expedience? Sustainable agriculture: a matter of ecology, equity, economic efficiency or expedience? **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 37–41, 2008.

PERES, R. B. **O Planejamento Regional e Urbano e a Questão Ambiental: Análise da relação entre o Plano de Bacia hidrográfica Tietê-Jacarê e os Planos Diretores Municipais de Araraquara e São Carlos, SP**. 2012. 370f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2012.

PERES, R. B.; SILVA, R. S. DA. Interfaces da gestão ambiental urbana e gestão regional: análise da relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 13–25, 2013.

POKORNY, B. et al. **ADAPTIVE COLLABORATIVE MANAGEMENT: Criteria and**

Indicator for Assessing Sustainability. Bogor, Indonésia: Centro para Pesquisa Florestal Internacional Bogor, 2003.

PRABHU, R.; COLFER, C. J. P.; SHEPHERD, G. Criteria and indicators for sustainable forest management: new findings from CIFOR's forest management unit level research. **Rural Development Forestry Network**, p. 20p., 1998.

PULLIN, A. S.; STEWART, G. B. Guidelines for Systematic Review in Conservation and Environmental Management. **Conservation Biology**, v. 20, n. 6, p. 1647–1656, dez. 2006.

ROSS, A.; MARTINEZ-SANTOS, P. The challenge of groundwater governance: Case studies from Spain and Australia. **Regional Environmental Change**, 2009.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process.** [s.l.] Rws Publications, 2001. v. 6

SAHUQUILLO, A. La importancia de las aguas subterráneas. **Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 103, p. 97–114, 2009.

SAHUQUILLO, A.; CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **La gestión de las Aguas Subterráneas.** PANEL CIENTÍFICO-TÉCNICO DE SEGUIMIENTO DE LA POLÍTICA DE AGUAS. **Anais...**2005

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Braz. J. Phys. Ther.(Impr.)**, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.

SARAH, S. et al. Projected groundwater balance as a state indicator for addressing sustainability and management challenges of overexploited crystalline aquifers. **Journal of Hydrology**, 2014.

SARKERA, A.; BALDWINB, C.; ROSSA, H. Managing groundwater as a common-pool resource: An Australian case study. **Water Policy**, 2009.

SATÍN, J.; CORTE, T. **Planejamento Urbano e Águas: O Plano Diretor E A Gestão**

Dos Recursos Hídricos. Encontro Nacional do CONPEDI. **Anais...**Fortaleza: 2010

SCHWEMLEIN, S.; CRONK, R.; BARTRAM, J. Indicators for Monitoring Water, Sanitation, and Hygiene: A Systematic Review of Indicator Selection Methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 3, 2016.

SILVA, G. **Riscos à contaminação dos aquíferos da bacia hidrográfica do córrego Jararaca, São carlos-SP.** 2015. 66f. Monografia (Bacharel em Gestão e Análise Ambiental) - Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, 2015.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F. DO A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, v. 17, n. 47, p. 129–145, abr. 2003.

SOUZA, K. F. **Análise jurídica da Gestão das Águas Subterrâneas no Município de Manaus.** 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, 2007.

STEFANOPOULOS, K. et al. Application of the Multi-Attribute Value Theory for engaging stakeholders in groundwater protection in the Vosvozis catchment in Greece. **Science of the Total Environment**, p. 470–471, 2014.

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

TANGUAY, G. A.; RAJAONSON, J.; THERRIEN, M. C. Sustainable tourism indicators: Selection criteria for policy implementation and scientific recognition. **Journal of Sustainable Tourism**, v. 21, n. 6, p. 862–879, 2013.

TAYRA, F.; RIBEIRO, H. Modelos de indicadores de sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 1, p. 84–95, abr. 2006.

TIAN, N. et al. Design of an Index System for Deep Groundwater Management Efficiency Evaluation: A Case Study in Tianjin City, China Design of an index system for deep groundwater management efficiency evaluation: a case study in Tianjin City. **Chinese Geographical Science**, v. 26, n. 263, p. 325–338, 2016.

VAN CAUWENBERGH, N. et al. SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 120, n. 2–4, p. 229–242, 1 maio 2007.

VILLAR, P. C. **Gestão das áreas de recarga do Aquífero Guarani: O caso do município de Ribeirão Preto, São Paulo**. 2008. 184F. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, 2008.

VILLAR, P. C. **Brazilian Regulatory Process: including groundwater in urban water management**. 9th World Wide Workshop for Young Environmental Scientists WWW-YES-Brazil-2009: Urban waters: resource or risks? **Anais...Belo Horizonte, MG: 26 out. 2009** Disponível em: <<https://hal-sde.archives-ouvertes.fr/hal-00593302/#.WDyCdOlwWZE.mendeley>>. Acesso em: 28 nov. 2016

VILLAR, P. C. **Gestão das águas subterrâneas e o Aquífero Guarani: desafios e avanços**. Encontro Nacional da Anppas. **Anais...Florianópolis: 2010**

VILLAR, P. C.; RIBEIRO, W. Sociedade e gestão do risco: o aquífero Guarani em Ribeirão Preto-SP, Brasil. **Revista de Geografía Norte Grande**, v. 43, n. 0379–8682, p. 51–64, 2009.

WARD, J.; DILLON, P. Principles to coordinate managed aquifer recharge with natural resource management policies in Australia. **Hydrogeology Journal**, 2012.

ZOBY, J. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. 2008

ZORRILLA, P. et al. Evaluation of Bayesian Networks in Participatory Water Resources Management, Upper Guadiana Basin, Spain. **Ecology and society**, v. 3, n. 15, 2010.

APÉNDICE A- PROTOCOLO DE BUSCA DA RBS

Guia para a
realização de
uma revisão
sistemática
de
indicadores

Para desenvolver uma revisão sistemática para indicadores é necessário conhecer cada uma das etapas fundamentais para realizar uma revisão de forma sistêmica. De acordo aos estudos de Biolchini et al. (2005); Conforto; Amaral; Silva (2011) ; Kitchenham; Charters (2007); Levy; Ellis (2006) a revisão é executada em três etapas, uma preliminar de entradas ou planejamento, seguida da execução da pesquisa e por último com referente às saídas ou redação. A seguir se mostra a primeira fase:

1. Entradas

Esta seção da revisão está direcionada ao planejamento geral para a coleta e análise de artigos e trabalhos referentes à temática de indicadores de águas subterrâneas e de planejamento do uso da terra. Neste se descrevem o problema da pesquisa, as perguntas que desejam ser respondidas, as estratégias de busca e a forma como serão selecionados e analisados cada um dos estudos referentes a esta área de indicadores para criar a revisão. A seguir apresentam-se as subetapas que compõem esta fase da revisão

1.1. Problema

Este é o ponto de partida da revisão, onde é contextualizada a pesquisa que se pretende desenvolver. Em alguns casos aqui se definem hipóteses, que com o levantamento e análise de estudos publicados, se pretende corroborar ou refutar.

No caso específico, o problema referido nesta pesquisa é a ausência de uma abordagem ampliada, integral e inclusiva da gestão de águas por parte da Política Nacional de Recursos Hídricos, a falta de estudos bases para a gestão de águas subterrâneas, como também a incipiência da execução do zoneamento ambiental por parte dos gestores ambientais, devido aos diferentes níveis político administrativos das legislações no Brasil, gerando problemas na toma de decisões. Isto mostra a necessidade de criar estratégias para abordar simultaneamente os aspectos envolvidos na gestão das águas subterrâneas e no planejamento do uso da terra de forma integrada, que podem ser viabilizadas por meio de ferramentas de planejamento e indicadores de gestão ambiental.

1.2. Objetivos.

Estes descrevem o foco e a direção central de revisão sistemática, sendo alinhados com o objetivo do projeto de pesquisa. Estes são a base para a definição dos critérios de inclusão e exclusão.

Para o caso desta revisão de indicadores, pretende-se de forma geral:

- Identificar critérios, aspectos e indicadores potenciais para a abordagem integrada entre a gestão de águas subterrâneas e o planejamento do uso da terra.

1.3. Perguntas de pesquisa

Estas permitem que o direcionamento da revisão, incluindo em sua estrutura, o objeto de estudo, o procedimento ou ferramenta usada para direcionar o tema e os resultados relacionando-se aos fatores importantes que se obtêm com a revisão.

Nesta pesquisa, se desenvolveram várias perguntas norteadoras, mencionadas a seguir:

- Quais são os critérios e aspectos mais adequados que devem cumprir os indicadores de gestão de água subterrâneas e planejamento de uso da terra?
- Existem indicadores que integram a gestão de água subterrâneas e planejamento de uso da terra?
- Quais são os indicadores mais relevantes para a gestão de água subterrâneas que influenciam sobre o solo?
- Quais são os indicadores mais relevantes para o planejamento de uso da terra que influenciam sobre as águas subterrâneas?

1.4. Protocolo de Revisão

Este protocolo define o passo a passo para a execução da revisão, e deste depende o desenvolvimento eficiente e adequado da pesquisa. O protocolo deve conter os componentes seguintes:

1.4.1. Fontes Primárias

Corresponde a todos os estudos, as bases de dados e periódicos utilizados para definir os autores e artigos relevantes. Estas fontes auxiliam na determinação das palavras chaves e termos de busca. Para definir estas fontes primárias se realiza:

- a. Definição de critérios para a seleção de fontes: Refere-se aos critérios que permitem a seleção de boas fontes, dando as características apropriadas para ser uma fonte primaria útil.

No caso específico, serão usados estudos, periódicos e revistas indexadas, em sua maioria com índices de alto impacto e de conceito de Qualis, os estudos devem ter como foco de pesquisa o estudo e análises de indicadores para as águas subterrâneas e de uso e ocupação do solo

- b. Idioma dos estudos. Corresponde ao idioma no que os estudos preliminares estarão escritos.

Nesta pesquisa serão aceitas fontes de três idiomas: espanhol, português e inglês.

- c. Seleção de fontes primárias.

Para identificar os estudos bases para realizar a revisão, se deve definir a forma como se realizará a busca destes estudos primários, as ferramentas e as palavras chave para reconhecer estes estudos preliminares. Um grupo de especialistas na área podem auxiliar na avaliação das fontes identificadas, com a possibilidade de excluir ou adicionar mais fontes primárias.

Nesta pesquisa se desenvolverá uma busca simples de estudos nas bases de dados mais usadas na área de indicadores como Science Direct, Scopus, Wiley, Web of Science, Ingenta Connect e EBSCO, selecionando aquelas bases de dados com maiores números de ocorrência na busca com os Strings iniciais, periódicos com altos níveis de impacto e Qualis, e artigos majormente citados. As palavras referência e motores de busca que serão usados se mostram a seguir:

Inglês	Português	Espanhol
Criterion AND Indicator	Criterio AND indicador	Criterio AND indicador
Principle AND Indicator	Principio AND indicador	Principio AND indicador
Criterion AND Land use planning	Criterio AND Planejamento de uso do solo	Criterio AND Planificación de uso del suelo
Principle AND Land use planning	Principio AND Planejamento de uso do solo	Principio AND Planificación de uso del suelo
Criterion AND Groundwater management	Criterio AND gestão de água subterrânea	Criterio AND gestión del agua subterrânea
Principle AND Groundwater management	Princípio AND gestão de água subterrânea	Princípio AND gestión del agua subterrânea
Groundwater AND indicator	Água subterrânea AND Indicador	Agua subterrânea AND Indicador
Land use AND indicator	Uso do solo AND indicador	Uso del suelo AND indicador
Groundwater AND Land	Agua subterranea AND	Agua subterrânea

use	Uso do solo	AND Uso del suelo
Groundwater AND Land use planning	Agua subterranea AND Planejamento de uso do solo	Agua subterránea AND Planificación de uso del suelo
Criterion AND Indicators AND Groundwater	Criterio AND Indicador AND Agua subterranea	Criterio AND Indicador AND Agua subterránea
Principle AND Indicator AND Groundwater	Princípio AND indicador AND Agua subterranea	Principio AND indicador AND Agua subterránea
Criterion AND Indicator AND Land use	Criterio AND indicador AND uso do solo	Criterio AND indicador AND uso del suelo
Principle AND Indicator AND Land use	Princípio AND indicador AND uso do solo	Principio AND indicador AND uso del suelo
Criterion AND Indicator AND Land use planning	Criterio AND indicador AND Planejamento do uso do solo	Criterio AND indicador AND Planificación de uso del suelo
Principle AND Indicator AND Land use planning	Princípio AND indicador AND planejamento do uso do solo	Principio AND indicador AND Planificación de uso del suelo
Groundwater AND Land use AND indicator	Agua Subterranea AND Uso do Solo AND Indicador	Agua Subterranea AND Uso de Suelo AND Indicador
Groundwater AND Land use planning AND indicator	Agua Subterranea AND Planejamento de uso do Solo AND Indicador	Agua Subterránea AND Planificación de Uso del Suelo AND Indicador

As fontes identificadas serão avaliadas pelo grupo pesquisador, dando sugestões de exclusão ou adição de fontes preliminares.

1.4.2. *Strings* de busca

Para definir os *Strings* ou palavras de busca, deve-se utilizar como base as fontes preliminares escolhidas e/ou fazer consulta a especialistas. As ferramentas de busca e os operadores lógicos variam dependendo de cada base de dados. Assim os *Strings* se modificam na medida de que são feitos os testes e as diferentes combinações na busca.

No caso desta pesquisa se usarão como fontes primárias de bases de dados: *Web of Science*, *Science direct*, *Scopus* e *Igenta Connect* que indicam:

1.4.3. Critérios de Inclusão

Estes critérios são fundamentais para a seleção dos estudos da pesquisa, proporcionando resposta às perguntas de pesquisa mencionadas no protocolo. Para a definição destes critérios será indispensável compreender o objetivo geral.

Os estudos devem ser selecionados considerando a aplicação de pelo menos um dos critérios listados a seguir:

- Tópico principal sobre os critérios, princípios para a seleção de indicadores
- O(s) objetivo(s) do estudo deve ser o estudo, análise ou aplicação de indicadores de águas subterrâneas e/ou uso e ocupação do solo.
- O foco dos estudos que tratem dos critérios importantes para a gestão das águas subterrâneas
- O foco dos estudos que tratem dos critérios importantes para o planejamento do uso e ocupação do solo.
- O foco dos estudos que se centrem em indicadores de gestão das águas subterrâneas considerando o planejamento do uso da terra
- O foco dos estudos que se centrem em indicadores para o planejamento do uso da terra considerando a gestão das águas subterrâneas.

1.4.4. Critérios de qualificação dos estudos

Estes critérios avaliam a qualidade dos estudos selecionados para atender o objetivo central da revisão, e desta forma determinar a sua importância. Estes critérios são usados para proporcionar uma base na síntese da informação levantada e na geração de inferências sólidas. Estes, segundo Kietchaman et al (2007) são denominados Instrumentos de Qualificação, e se caracterizam por ser fatores de bastante relevância na seleção dos estudos para a revisão e estar classificados de acordo às fases do estudo: No desenho, a execução, a análises e as conclusões. Esta qualificação pode ser executada considerando uma escala numérica de importância.

Desenho	Análise
Os objetivos dos estudos estão claramente estabelecidos?	A proposta de análise é clara?
No desenho do estudo consideram estas perguntas?	Os métodos estatísticos são analisados?

Como foram os critérios e/ou indicadores obtidos?	A informação básica está adequadamente descrita?
O objeto de pesquisa (critérios e indicadores) escolhidos ao azar?	Conclusões
As variáveis usadas no estudo estão adequadamente estabelecidas?	Foram as perguntas do estudo respondidas?
o estudo é de caráter explicativo ou descritivo?	Os descobrimentos do estudo que significado tem?
Execução	Os descobrimentos negativos do estudo são apresentados?
A coleta de dados está adequadamente descrita?	Se testes estadísticos são usados para determinar diferenças, o significado prático é discutido?
	Como os resultados adicionam à literatura?
	Como se comparam os resultados com relatórios prévios?
	Os pesquisadores explicam as consequências de alguns problemas com a validade e a confiança de suas medidas?

1.4.5. Métodos e Ferramentas

Estes estão relacionados aos métodos e ferramentas de busca e seleção de informação. Como o procedimento, as buscas cruzadas, os filtros e formulários definidos. Para esta parte da revisão se planeja o seguinte roteiro:

- a. Busca nas bases de dados selecionadas. Uma vez definidas cada um dos anteriores componentes do protocolo se realiza uma busca primária pelos periódicos definidos usando os *Strings* de busca. Aqui é preenchido o formulário 1 que se centra em coletar a informação geral da primeira busca. O formulário contém as informações gerais dos artigos, mas executando-se o processo 1, que consiste na leitura do abstract, o título e as palavras chaves. Aqueles artigos que apliquem aos critérios de inclusão com a leitura dessas partes do artigo, são escolhidos. O formulário a preencher se mostra na seguinte tabela. Desta forma são definidos os estudos das fontes da pesquisa

Nome do Periódico		RBS		Data	
-------------------	--	-----	--	------	--

JCR		Quantidade de artigos na busca		Quantidade excluídos		
QUALIS-CAPEIS		Quantidade de artigos selecionados		Aproveitado		
ID	Título do Artigo	Autores	Ano	Palavras chaves	Processo 1	Crítérios de Qualidade

- b. Aplicação do processo 2. Para este passo, aos estudos selecionados no passo a se realiza a leitura da introdução e conclusão para observar com maior clareza se existem aplicáveis os critérios de inclusão ou exclusão.
- c. Aplicação do processo 3. Para este passo, todos aqueles que foram incluídos dentro da lista no passo anterior, serão lidos completa e minuciosamente. São observados com cuidado a aplicabilidade dos instrumentos de Qualidade e é dado o valor respectivo da importância de cada instrumento para o objetivo da pesquisa.
- d. Busca Cruzada. Com a leitura completa dos estudos no final selecionados, é realizada a busca cruzada, ou seja, se faz uma busca com base no artigo selecionado. Pode-se revisar os estudos que estão citados dentro do texto lido, também se realiza uma busca de outros artigos publicados pelo autor sobre a mesma área, ou revisar aqueles artigos que tenham citado o artigo base. Na leitura completa do estudo deve sempre se considerar em adicionar ou mudar palavras chaves que possam melhorar a busca.
- e. Formulário 3. Depois de que todas as referências que tenham passado os três processos, é preenchido o formulário 3, que consiste em um quadro que extrai informações mais específicas e detalhadas sobre o estudo, para proporcionar maior facilidade no momento que é realizada a síntese e análise das referências. Este passo pode ser subsidiado com a avaliação realizada por meio dos instrumentos de qualidade listados previamente.

Nome do Periódico		RBS			QUALIS- CAPES		JCR		
ID	Título	Autores	Ano	Palavras chaves	Processo 1	Objetivos/ resultados relevantes do estudo	Método de Pesquisa	Unidade de Análise	Critérios de Qualidade

- f. Busca em bases de dados. Logo de fazer uma busca nos periódicos específicos, se executará uma busca com os *Strings* passando por cada um dos processos anteriores utilizando os mesmos critérios de inclusão e qualidade, até chegar a ser coletados no formulário 3.
- g. Documentação e armazenamento. Uma vez procurado em estas diversas fontes, os documentos serão armazenados em um programa da gestão de referências como o Mendeley.

1.5. Avaliação do protocolo.

Logo de realizar os primeiros testes de busca, ou durante a fase de execução do plano de busca, o protocolo deve ser modificado na medida em que de que este responda as necessidades mostradas nas perguntas de pesquisa, mas cada mudança deve ser mencionada dentro do protocolo.

APENDICE B – LISTA DE PERIÓDICOS ENCONTRAODOS E NÚMERO DE INDICADORES, PRINCIPIOS E CRITÉRIOS EXTRAÍDOS

Código	Nome do Periódico	N. de Artigos	N. de indicadores	N. de Principios	N de Critérios
P 1	Agricultural Water Management	4	29	0	0
P 2	Agriculture, Ecosystems and Environment	6	18	0	5
P 3	Applied Geography	2	11	0	0
P 4	Applied Mechanics and Materials	2	43	0	0
P 5	Aquatic Procedia	1	6	0	0
P 6	Catena	1	0	0	0
P 7	Chemosphere	1	2	0	0
P 8	Chinese Geographical Science	1	14	4	0
P 9	Current Opinion in Environmental Sustainability	1	14	0	0
P 10	Current problems of hydrogeology in urban areas, urban agglomerates and industrial centres	2	0	0	0
P 11	Desalination and Water Treatment	1	0	0	0
P 12	Ecohydrology	2	2	0	0
P 13	Ecological Economics	3	23	0	0
P 14	Ecological Engineering	1	0	0	0
P 15	Ecological Indicators	10	86	0	2
P 16	Ecological Modelling	3	0	0	0
P 17	Ecology and society	1	0	8	0
P 18	Ecosystem Services	2	8	0	0
P 19	Environment International	1	4	0	0
P 20	Environmental Earth Sciences	9	54	0	0

P 21	Environmental Geology	3	9	0	0
P 22	Environmental Hazards	1	15	0	0
P 23	Environmental Management	3	23	0	8
P 24	Environmental Modelling and Software	1	0	0	0
P 25	Environmental Monitoring and Assessment	5	21	0	0
P 26	Environmental Research Letters	1	0	0	0
P 27	Environmental Science and Policy	6	26	0	0
P 28	Forest Ecology and Management	1	4	0	0
P 29	Forest Policy and Economics	1	4	0	0
P 30	Global Ecology and Conservation	1	9	0	0
P 31	Global Environmental Change	1	0	0	0
P 32	Groundwater for Sustainable Development	1	0	0	0
P 33	Hydrogeology Journal	5	26	3	0
P 34	Hydrological Processes	1	6	0	0
P 35	Hydrological Sciences Journal	2	6	0	0
P 36	IHP-VI SERIES ON GROUNDWATER	1	10	0	0
P 37	International Journal of Environmental Research	1	9	0	0
P 38	International Journal of Sustainable Development and World Ecology	1	14	0	0
P 39	International Journal of Water Resources Development	1	0	3	0

P 40	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	1	0	0	0
P 41	Irrigation and Drainage	1	55	0	0
P 42	Journal - American Water Works Association	1	0	0	0
P 43	Journal of Arid Environments	3	6	0	0
P 44	Journal of Arid Land	1	2	0	0
P 45	Journal of Cleaner Production	1	17	0	0
P 46	Journal of Environmental Management	10	86	0	0
P 47	Journal of Environmental Monitoring	1	0	0	0
P 48	Journal of Environmental Planning and Management	1	39	0	0
P 49	Journal of Groundwater Science and Engineering	1	1	0	5
P 50	Journal of Hydrology	9	20	3	0
P 51	Journal of the Indian Society of Remote Sensing	1	2	0	0
P 52	Land Degradation and Development	1	2	0	0
P 53	Land Use Policy	1	0	0	0
P 54	Landscape and Urban Planning	1	11	0	0
P 55	Landscape Ecology	1	3	0	0
P 56	Ocean and Coastal Management	2	21	0	0
P 57	Regional Environmental Change	3	6	11	0
P 58	Science of the Total Environment	10	17	0	0
P 59	Sustainability of Groundwater Resources	1	0	0	0

	and its Indicators				
P 60	Tecnología y Ciencias del Agua	1	0	0	0
P 61	Water and Environment Journal	1	4	0	0
P 62	Water International	1	5	0	0
P 63	Water Policy	1	0	8	0
P 64	Water Resources and Industry	1	4	0	0
P 65	Water Resources Management	9	7	0	0
P 66	Water AS	2	0	8	0
P 67	Water Science and Technology	1	7	0	5
P 68	Water, Air, and Soil Pollution	1	0	0	0
P 69	Wetlands	1	0	0	0