



**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS**

Roteiro para execução de diagnóstico hidrogeológico de detalhe nas Áreas Potenciais de Restrição e Controle no Estado de São Paulo

(Anexo da Deliberação CRH n° 259, de 16 de Dezembro de 2021)

APRESENTAÇÃO

A exploração de águas subterrâneas no Estado de São Paulo continua sendo realizada de forma crescente e de difícil controle. A utilização de águas subterrâneas para abastecimento público atinge percentuais entre 50% e 100% em 14 das 22 UGRHs. Além desse uso, a maior quantidade de poços de captação das águas subterrâneas é relativa às soluções alternativas de abastecimento de água por usuários privados, ou seja, para atendimento às demandas das atividades industriais, comerciais, agrícolas e usos domésticos.

Essa situação exige conscientização e atuação efetiva dos atores diretamente envolvidos no processo de gestão representados pelo poder público, Estado e municípios, e a população usuária destes recursos, de acordo com as premissas da Política Estadual de Recursos Hídricos.

Em complementação, em razão das especificidades dos mananciais subterrâneos, o processo de gestão, deve estar calcado em adequado ferramental técnico representado por cartografias geológicas e hidrogeológicas, que forneçam amplo conhecimento das características dos aquíferos, incluindo banco de poços e outras informações desta natureza.

Hirata *et al.*, na publicação “Mapa de águas Subterrâneas do Estado de São Paulo” (SÃO PAULO, 2005) traduzem essas premissas numa proposta técnica de gestão que, resumidamente, é ilustrada na Figura 1.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

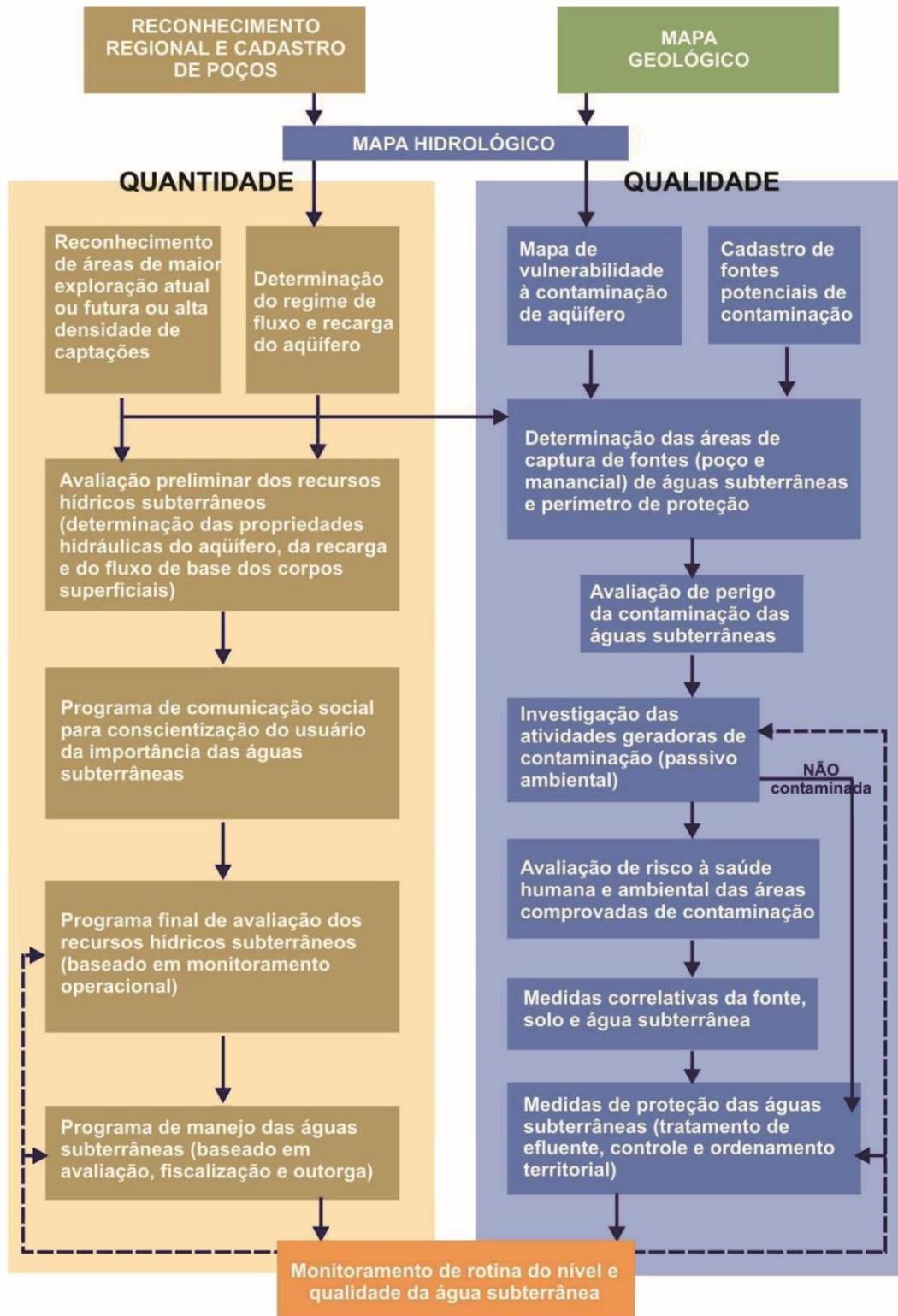


Figura 1. Gestão das águas subterrâneas (Fonte: SÃO PAULO, 2005)



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

É possível traçar um paralelo entre a proposta mostrada na Figura 1 os resultados alcançados no Estado como, por exemplo, um primeiro levantamento e reconhecimento regional da geologia e hidrogeologia realizado pelo DAEE, entre 1972 e 1982, com o projeto denominado Estudos de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, que serviu de base para a construção do Mapa mencionado no parágrafo anterior.

Mais recentemente, complementando esta fase de reconhecimento regional, a publicação “Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - Diretrizes de Utilização e Proteção (DAEE; UNESP, 2013)”, indica 23 áreas englobando 82 municípios que apresentam situações com potencial comprometimento do recurso hídrico subterrâneo e que podem exigir orientações específicas de gestão e uso racional. A identificação dessas áreas considerou a densidade de poços e evidências que podem indicar cenários de superexploração dos aquíferos ou de alteração da qualidade da água subterrânea.

Nessas áreas consideradas potencialmente críticas, com indícios de comprometimento localizado da disponibilidade hídrica subterrânea, pode haver necessidade de implementação de medidas específicas de proteção, de controle e/ou restrição do uso da água subterrânea, incluindo maior fiscalização ou restrição das atividades potencialmente poluidoras.

A implementação de medidas protetivas, ou restritivas, possui respaldo na legislação específica de águas subterrâneas (Lei Estadual nº 6.134/88 e Decreto Estadual nº 32.955/91) e a Deliberação CRH nº 52/2005 fornece diretrizes e procedimentos para definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas, bem como estabelece a classificação de áreas de restrição e determina, em seu Artigo 1º, §1º que a delimitação das Áreas de Restrição e Controle será estabelecida com o apoio de estudos hidrogeológicos de detalhe.

No Estado, alguns locais já foram objeto de estudos desta natureza e o DAEE foi encarregado, por indicação da Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (CTAS) do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) para a execução de tais estudos. Os estudos pioneiros, em caráter piloto, foram iniciados em 2007 e, desde então, já foram avaliadas as seguintes localidades: Bairro de Jurubatuba, na Zona Sul de São Paulo/SP; em São José do Rio Preto, no perímetro urbano de Bauru e no Eixo Jacaréi- São José dos Campos-Caçapava.

Por fim, o sucesso na implantação da Política e do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos requer, entre outras medidas eficazes, que haja homogeneidade no conteúdo e na qualidade dos diagnósticos das águas subterrâneas. Com esta finalidade a CTAS, apresenta um Roteiro para determinar os requisitos mínimos para execução dos diagnósticos das águas subterrâneas nas áreas potenciais à implementação de Medidas de Restrição e Controle do Uso das Águas Subterrâneas.

SUMÁRIO

Apresentação.....	1
1. Objetivo.....	5
2. Aplicação.....	5
3. Premissas.....	7
4. Área de abrangência e escala de trabalho.....	8
5. Escopo geral do diagnóstico hidrogeológico de detalhe.....	8
6. Escopo específico para desenvolvimento dos módulos de atividades.....	9
6.1. Levantamento de dados e de bases cartográficas.....	9
6.1.1. Consolidar banco de dados de captações subterrâneas.....	9
6.1.2. Consolidar banco de dados de fontes potenciais de contaminação.....	10
6.1.3. Identificar e obter bases cartográficas e elaborar mapas temáticos.....	11
6.1.4. Identificar e obter dados diversos, necessários aos módulos de avaliação.....	12
6.1.5. Produzir dados primários em atividades de campo.....	12
6.2. Caracterização da geologia e da hidrogeologia.....	13
6.2.1. Indicação metodológica para caracterização da geologia e da hidrogeologia.....	13
6.3. Avaliação da quantidade da água subterrânea.....	14
6.3.1. Indicação metodológica para avaliação da quantidade da água subterrânea.....	14
6.4. Avaliação da qualidade da água subterrânea.....	15
6.4.1. Indicação metodológica para caracterização hidrogeoquímica e da qualidade natural da água subterrânea.....	16
6.4.2. Indicação metodológica para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea.....	17
6.4.3. Indicação metodológica para avaliação de áreas com problema de contaminação da água subterrânea.....	18
6.5. Proposição de medidas específicas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.....	20
6.5.1. Indicação metodológica para proposição de medidas de gestão.....	20
6.5.2. Indicação metodológica para proposição de programa de monitoramento.....	20
6.5.3. Indicação metodológica para proposição de programa de comunicação social e participação de usuários no processo de gestão.....	21
7. Produtos previstos.....	22
8. Referências Bibliográficas.....	23

1. OBJETIVO

Este Roteiro tem como objetivo principal estabelecer escopo e procedimentos mínimos necessários à execução de Diagnóstico Hidrogeológico de Detalhe em Área Potencial de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea (ARC-PO) no Estado de São Paulo, visando à confirmação quanto à necessidade ou não de implementar medidas restritivas do uso da água subterrânea, bem como definir proposições específicas para gestão e uso racional dos recursos hídricos.

2. APLICAÇÃO

O Roteiro é aplicável à execução de Diagnóstico da Água Subterrânea no Estado de São Paulo, prioritariamente, nas áreas indicadas na publicação do DAEE (Figura 2) “Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - Diretrizes de Utilização e Proteção (DAEE; UNESP, 2013)”, porém, passível de aplicação para a mesma finalidade em outras localidades do Estado de São Paulo, por determinação de gestores da administração pública municipal ou estadual, do Comitê de Bacia Hidrográfica e/ou do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, em função da premência de avaliar a necessidade ou não de implementar medidas específicas de gestão e/ou de controle do uso das águas subterrâneas.

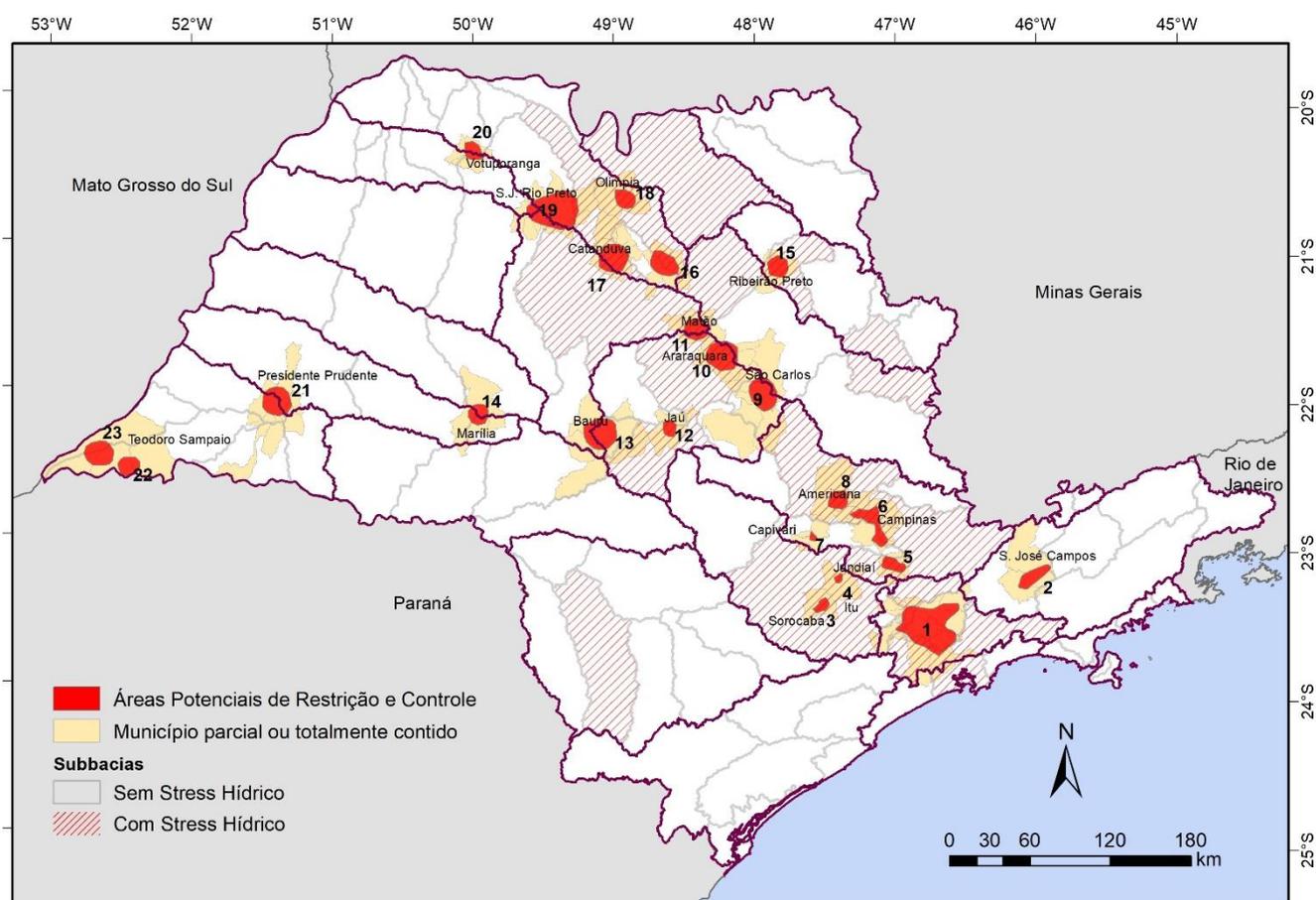


Figura 2 – Áreas com indicação para execução do diagnóstico hidrogeológico de detalhe (Fonte:– DAEE; UNESP, 2013).

As áreas definidas pelo DAEE na Figura 2 abrangem parte ou a totalidade do território dos municípios relacionados no Quadro 1.

Roteiro para execução de diagnóstico das águas subterrâneas nas áreas potenciais de restrição e controle no Estado de São Paulo (Anexo da Deliberação CRH n° 259/2021)

Quadro 1 - Áreas potenciais de restrição e controle, e municípios correlatos, para execução de diagnóstico hidrogeológico de detalhe, segundo DAEE e UNESP (2013)

Área	Municípios total ou parcialmente inseridos	Grupo
1	São Paulo ² , Barueri, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Guarulhos, Mauá, Osasco, Santana de Parnaíba, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Santo André, Taboão da Serra	A
2	Jacareí ¹ , São José dos Campos ¹ , Caçapava ¹	A
3	Sorocaba	B
4	Itu	B
5	Jundiaí, Várzea Paulista	B
6	Campinas, Hortolândia, Paulínia, Sumaré, Valinhos, Vinhedo,	A
7	Capivari, Rafard	C
8	Americana, Limeira, Nova Odessa, Santa Bárbara D'Oeste	C
9	São Carlos, Brotas, Ibaté, Itirapina	B
19	Araraquara ⁴ , Américo Brasiliense	A
11	Matão, Dobrada	C
12	Jaú	C
13	Bauru ¹ , Agudos, Pederneiras, Piratininga	B
14	Marília, Vera Cruz	C
15	Ribeirão Preto ³	A
16	Monte Alto, Vista Alegre do Alto, Pirangi, Taiaçu, Fernando Prestes	C
17	Catanduva, Catiguá, Elisiário, Pindorama, Palmares Paulista, Tabapuã, Novais	B
18	Olímpia, Severínia	C
19	São José do Rio Preto ¹ , Guapiaçu, Ipigua, Bálsamo, Mirassol, Neves Paulista, Cedral, Jacy, Bady Bassitt	A
20	Votuporanga, Valentim Gentil	B
21	Presidente Prudente, Alvares Machado, Anhumas, Indiana, Pirapozinho, Regente Feijó	B
22	Teodoro Sampaio	C
23	Euclides da Cunha, Rosana	C
24	Monte Azul Paulista ⁵	A

¹Municípios com diagnóstico hidrogeológico concluído: São José do Rio Preto, Bauru, Jacareí e São José dos Campos, bem como Caçapava que não foi destacado no mapa da Figura 2.

²No município de São Paulo foi realizado diagnóstico hidrogeológico apenas na região de Jurubatuba, na Zona Sul do município, havendo indicação de realização de diagnóstico com outras abrangências. O Comitê de Bacia do Alto Tietê também realizou um diagnóstico hidrogeológico com área de abrangência na bacia, bem como na microbacia do Rio Baquirivú e que poderá demandar novos diagnósticos de detalhe.

³O CBH-Pardo instituiu a Área de Restrição e Controle Temporários que tem sido periodicamente ratificada pelo CRH, visando disciplinar a perfuração de poços de acordo com zoneamento estabelecido no perímetro urbano de Ribeirão Preto. Há necessidade de estudos

Roteiro para execução de diagnóstico das águas subterrâneas nas áreas potenciais de restrição e controle no Estado de São Paulo (Anexo da Deliberação CRH n° 259/2021)

complementares com objetivo de avaliar a efetividade das restrições aplicadas e a eventual revisão do zoneamento e/ou das medidas protetivas e de restrição aplicadas, bem como de implementar um programa de monitoramento.

⁴Há empreendimento FEHIDRO aprovado pelo CBH-TJ (UGRHI 13) intitulado “Estudo e Diagnóstico hidrogeológico no município de Araraquara - Subsídios de proteção e utilização e controle do uso das águas subterrâneas”, encontra-se na fase do processo licitatório no DAEE.

⁵Município não incluído nas áreas definidas pelo DAEE (DAEE; UNESP, 2013), mas em razão de teores elevados de nitrato, há Área de Restrição e Controle Temporários estabelecida pela Portaria DAEE nº 1066 de 27 de março de 2015. Há empreendimento do CBH - TG para ampliação do diagnóstico hidrogeológico com vistas ao estabelecimento de medidas específicas de gestão e adequação do caráter temporário das restrições.

⁶Grupo de áreas potenciais de restrição e controle como critério de priorização para execução dos diagnósticos hidrogeológicos, conforme prazos estabelecidos na Deliberação CRH que aprova este roteiro.

3. PREMISSAS

Este Roteiro deverá ser considerado na elaboração dos Termos de Referência e/ou dos Planos de Trabalho dos Diagnósticos Hidrogeológicos de Detalhe no Estado de São Paulo, principalmente, se relacionados a empreendimentos financiados com recursos do FEHIDRO.

O Roteiro apresenta os critérios e especificações gerais e mínimas para execução dos diagnósticos hidrogeológicos. Desse modo, os responsáveis técnicos pela contratação, fiscalização e/ou execução dos diagnósticos poderão detalhar as especificações ora apresentadas e/ou incluir atividades e produtos adicionais no desenvolvimento dos diagnósticos.

As especificidades de cada área crítica não estão consideradas nos termos gerais deste Roteiro e, desse modo, deverão ser consideradas na execução do diagnóstico hidrogeológico, por meio de detalhamento da contextualização do problema e/ou dos objetivos específicos do diagnóstico, bem como por atividades complementares às descritas neste Roteiro.

Os responsáveis técnicos pelo planejamento e fiscalização do diagnóstico hidrogeológico deverão estabelecer os requisitos de composição das equipes principal e de apoio necessárias à execução dos trabalhos. Estabelece-se, entretanto, que a Responsabilidade Técnica Principal e a Coordenação Geral devam ser exercidas, sempre, por profissional sênior com especialização (Mestrado ou Doutorado) na área de Hidrogeologia com experiência comprovada na coordenação e/ou atuação de estudos hidrogeológicos com escopo e abrangência similares.

4. ÁREA DE ABRANGÊNCIA E ESCALA DE TRABALHO

O estudo do DAEE (DAEE; UNESP, 2013) que indicou a necessidade de diagnósticos hidrogeológicos específicos foi realizado com abrangência para todo o Estado de São Paulo, com escala 1:250.000 das bases cartográficas. Desse modo, considera-se que estudos com abrangência para toda UGRHI e/ou com escala regional (inferior a 1:200.000) já estão atendidos pelo diagnóstico estadual realizado pelo DAEE.

Recomenda-se que os diagnósticos hidrogeológicos das áreas potencialmente críticas sejam realizados em escala de detalhe. A abrangência dos estudos deverá ser definida pelos responsáveis técnicos e estar especificada no Termo de Referência de contratação e/ou no Plano de Trabalho do diagnóstico.

A área de abrangência poderá variar de um diagnóstico para outro em função: das características do problema; do modelo de contratação e/ou gestão do estudo; e da área potencialmente crítica identificada pelo estudo do DAEE (DAEE; UNESP, 2013).

A abrangência dos diagnósticos poderá ser definida por limites políticos municipais, por limites hidrológicos de sub-bacias hidrográficas, por limites hidrogeológicos relacionados ao corpo hídrico subterrâneo e/ou por ocupação, por exemplo, limitado ao perímetro urbano do município. Em qualquer caso, os limites da área de estudo deverão conter os divisores de água das bacias ou subbacias hidrográficas específicas.

Recomenda-se que a escala de trabalho seja proporcional à área de abrangência do estudo, ou seja, para área de abrangência superior a 500 km², sugere-se escala entre 1:100.000 a 1:200.000. Assim, para área de abrangência inferior a 500 km², sugere-se escala de detalhe maior que 1:100.000, o que poderá ser viabilizada a partir de cartas planialtimétricas eventualmente existentes nos municípios estudados.

Ressalta-se que a escala de visualização dos produtos cartográficos poderá ser reduzida para produção de documentos (digitais) em tamanho de impressão A3 ou A4. As escalas acima referem-se à resolução da base de dados para construção dos produtos cartográficos.

5. ESCOPO GERAL DO DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DE DETALHE

O Diagnóstico Hidrogeológico visando à confirmação quanto à necessidade ou não de implementar medidas restritivas do uso da água subterrânea, bem como à definição de proposições específicas para gestão e uso racional dos recursos hídricos deverá ser estruturado em cinco módulos de execução das atividades:

- Levantamento de dados e de bases cartográficas;
- Caracterização da geologia e hidrogeologia;
- Avaliação da quantidade da água subterrânea;
- Avaliação da qualidade da água subterrânea;
- Proposição de medidas específicas de gestão dos recursos hídricos.

6. ESCOPO ESPECÍFICO PARA DESENVOLVIMENTO DOS MÓDULOS DE ATIVIDADES

Neste item está apresentado o escopo mínimo necessário à execução do Diagnóstico Hidrogeológico, com atividades especificadas para os cinco módulos de execução:

6.1. Levantamento de dados e de bases cartográficas

Objetivo: identificar e obter elenco de dados de interesse pré-existent, em fontes publicamente disponíveis e/ou fornecidas por instituições e parcerias locais, bem como pela produção de dados primários inéditos por execução de atividades em campo, visando à realização dos módulos de avaliação.

6.1.1. Consolidar banco de dados de captações subterrâneas

As captações subterrâneas são predominantemente poços tubulares, mas podem compreender também poços escavados (poços cacimbas) e nascentes.

Os dados de captações subterrâneas compreendem um amplo conjunto de registros cadastrais (identificação do local da captação), técnicos (geológicos e construtivos) e de uso (vazão, regime de produção, finalidade de uso, etc.) que correspondem aos dados de maior relevância para o desenvolvimento do diagnóstico hidrogeológico.

Os principais registros necessários ao desenvolvimento dos módulos de avaliação são os seguintes: coordenadas geográficas do ponto da captação; vazão de bombeamento; regime de produção (h/dia e dia/ano); finalidade de uso; tipo de captação (poço tubular, cacimba ou nascente); e profundidade do poço.

Caso o diagnóstico ocorra em um contexto hidrogeológico de mais de um aquífero, é importante o registro de qual aquífero é captado pelo poço. Por vezes, os dados de profundidade e/ou localização do poço permitem interpretar o aquífero captado pelo poço.

Outros registros necessários, mas comumente disponíveis a apenas uma parcela dos poços, são: perfilagens geofísicas; descrição litológica; interpretação estratigráfica; e dados construtivos, tais como: diâmetro da perfuração; diâmetro do revestimento; intervalo do revestimento; intervalo das seções filtrantes e/ou do perfil não revestido (perfuração em rocha); dados de testes de bombeamento; dados de parâmetros hidráulicos e dados analíticos de qualidade das águas.

Os dados técnicos dos poços são importantes aos módulos de avaliação para: elaborar ou detalhar o modelo conceitual hidrogeológico; reconhecer a geometria do aquífero e, assim, quantificar as reservas hídricas subterrâneas; obter dados de parâmetros hidráulicos necessários ao reconhecimento das potencialidades hídricas; subsidiar, quando aplicável, a elaboração de modelos numéricos, entre outras aplicações.

Caso o diagnóstico hidrogeológico tenha foco em potencial restrição por problema de qualidade das águas subterrâneas, é imprescindível que o banco de dados dos poços tenha um robusto conjunto de dados analíticos de qualidade das águas e, sobretudo, das substâncias químicas de interesse relacionadas ao problema em questão. Além dos dados analíticos relativos ao problema, há também a necessidade de dados hidroquímicos da qualidade natural para compreensão das alterações físico-químicas e qualitativas das águas em decorrência do cenário de contaminação.

Somente como indicação, o levantamento dos dados de captações subterrâneas poderá ser realizado nas seguintes fontes:

- DAEE – relativo ao cadastro de usuários outorgados para captação de água subterrânea e ao cadastro técnico de poços (antigo SIDAS);
- CPRM – consulta ao SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/>
- CBH – cadastro de usuários de água subterrânea, eventualmente organizado e consistido pelo Comitê de Bacia Hidrográfica;
- Cadastros próprios de usuários privados da água subterrânea; empresas de saneamento usuárias de água subterrânea para abastecimento público; empresas de perfuração de poços;
- Cadastramento em campo – consulta direta aos usuários por meio de levantamento censitário em campo.

A consolidação do banco de dados das captações subterrâneas possibilitará reconhecer e organizar o conjunto de registros obtidos pelos executores do diagnóstico, bem como reconhecer as lacunas e/ou inconsistências de dados que deverão ser equacionadas com a obtenção e novos dados primários por atividades de campo.

6.1.2. Consolidar banco de dados de fontes potenciais de contaminação

As fontes potenciais de contaminação compreendem as atividades antrópicas com potencial para gerar carga contaminante ao subsolo e podem estar relacionadas a fontes pontuais ou difusas de contaminação.

As fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação claramente definidas, mas normalmente afetam uma área (e, portanto, um volume) muito maior do aquífero. As fontes de contaminação pontuais geralmente produzem plumas claramente definidas e mais concentradas. No entanto, quando as atividades poluentes de origem pontual são pequenas e múltiplas, acabam representando, no final, uma fonte basicamente difusa no que diz respeito à identificação e ao controle.

A indicação metodológica para cadastramento e classificação das atividades com potencial de gerar carga contaminante ao subsolo está descrita no guia disponibilizado pelo Banco Mundial (FOSTER *et al.*, 2006) intitulado “Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais”.

No Estado de São Paulo, a principal base de dados sobre esse tema é o Sistema de Fontes de Poluição (SIPOL), organizado e gerenciado pela CETESB e que consolida as atividades econômicas com exigência de licenciamento ambiental para sua operação e, geralmente, correspondem às fontes pontuais com potencial de gerar carga contaminante.

A “Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas”, gerenciada e disponibilizada pela CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>) também são registros que devem constituir o banco de dados, uma vez que a contaminação do solo e/ou da água subterrânea podem ocorrer nas atividades incluídas nesta relação.

Ressalta-se que as “Áreas Reabilitadas” também são relevantes nos diagnósticos hidrogeológicos, pois, o processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas possibilita a aplicação de medidas institucionais para controle do risco à saúde humana, mantendo-se contaminada uma parcela do aquífero e, desse modo, com restrição a determinados tipos de uso.

O SIPOL conta com dados de localização por endereço, entretanto, o georreferenciamento das atividades deverá ocorrer no âmbito do diagnóstico hidrogeológico para possibilitar o desenvolvimento do módulo de avaliação. A Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas dispõe de dados de coordenadas geográficas (georreferenciamento) das atividades.

As fontes difusas com potencial de gerar carga contaminante, em geral, são delimitadas por polígonos correspondentes ao zoneamento de uso e ocupação do solo e, desse modo, o cadastro ocorre por mapeamento (cartografia).

Os registros fundamentais à elaboração do banco de dados das fontes potenciais de contaminação são: localização (georreferenciamento) e o tipo de atividade. Secundariamente, registros como porte da atividade e tipo de substâncias manipuladas, podem contribuir com o detalhamento do cadastro.

Esta atividade, a critério dos responsáveis técnicos pelo estudo, poderá contar com levantamento censitário em campo, visando atender eventuais especificidades dos objetivos e/ou da problemática da área do diagnóstico hidrogeológico.

6.1.3. Identificar e obter bases cartográficas e elaborar mapas temáticos

A obtenção de bases cartográficas tem como objetivo constituir o Sistema de Informações Geográficas (SIG) do estudo, visando à elaboração dos produtos cartográficos necessários ao desenvolvimento dos módulos de avaliação e que constituirão os mapas temáticos e de resultados do diagnóstico hidrogeológico.

No Estado de São Paulo, destaca-se o DataGEO (Sistema Ambiental Paulista. <https://datageo.ambiente.sp.gov.br>) gerenciado pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA), vinculada à Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como fonte para diversas bases cartográficas, em diversas escalas, de interesse ao diagnóstico. No entanto, há uma grande diversidade de fontes publicamente disponíveis que fornecem acesso à metadados, imagens, ortomosaicos e cartografias digitais necessárias ao diagnóstico hidrogeológico.

As principais bases cartográficas de interesse a serem obtidas em arquivos de metadados (*shapefiles*) são:

- Topografia, relevo e declividade;
- Divisão política;
- Zoneamento de uso e ocupação do solo;
- Mapa de arruamento e rodovias;
- Hidrografia e delimitação das unidades de gerenciamento de recursos hídricos (bacias e sub-bacias hidrográficas);
- Bases cartográficas de caracterização do meio físico (geologia, geomorfologia, pedologia, aquíferos, etc.);
- Bases cartográficas do clima (zoneamento de isoietas, localização de estações hidroclimatológicas, classificação climática, etc.)

Todas as bases cartográficas, bem como os produtos cartográficos resultantes deverão estar organizados no Sistema de Informações Geográficas (SIG), de modo que, ao final do diagnóstico possam ser disponibilizados em formato editável, passíveis de utilização e edição para futuras aplicações na gestão dos recursos hídricos pelos diversos atores da administração pública estadual e municipal, dos usuários de recursos hídricos e da sociedade civil em geral.

6.1.4. Identificar e obter dados diversos, necessários aos módulos de avaliação

O desenvolvimento dos módulos de avaliação da quantidade e qualidade da água subterrânea pode depender de dados complementares para caracterização de aspectos socioeconômicos e/ou de caracterização do meio físico.

Dados comumente levantados na caracterização da área em avaliação são: hidroclimatológicos (pluviosidade, temperatura, insolação, etc.); fluviométricos (área de contribuição de bacia hidrográfica, vazões de fluxo, etc.); dos serviços de saneamento (produção e distribuição de água pelo sistema público; cobertura da coleta e tratamento de esgoto, etc.); de processos minerários; de censos domiciliares e agropecuários do IBGE.

Os responsáveis técnicos pelo planejamento e/ou execução do diagnóstico hidrogeológico deverão definir sobre quais tipos de dados serão ser levantados, bem como as respectivas fontes a serem consultadas para obtenção dos dados.

6.1.5. Produzir dados primários em atividades de campo

A produção de dados primários é usual e, eventualmente, imprescindível para desenvolvimento do diagnóstico hidrogeológico. Entretanto, a definição acerca de: quais e quantos dados devem ser produzidos; o método de execução da atividade; os critérios de seleção dos locais para determinação dos dados em campo; a abrangência do levantamento, entre outros aspectos não podem ser determinados de forma geral a todos os diagnósticos.

A produção de dados primários deve atender aos objetivos específicos de cada diagnóstico hidrogeológico, bem como devem ser definidos em função das especificidades dos dados disponíveis e das lacunas de informações sobre a área a ser avaliada.

Os responsáveis técnicos pelo planejamento e/ou execução do diagnóstico hidrogeológico deverão definir sobre: os dados primários a serem produzidos, o escopo das atividades, as especificações técnicas e metodológicas de execução.

As atividades que podem estar elencadas no escopo do diagnóstico hidrogeológico para obtenção de dados primários (mas não se limitando a) são:

- Levantamento geofísicos em superfície e/ou no interior de poços;
- Levantamento altimétrico dos poços cadastrados;
- Mapeamento geológico-estrutural em campo;
- Cadastramento censitário de poços e/ou de outros registros de interesse;
- Sondagens investigativas e instalação de poços;
- Ensaio de bombeamento para determinação de parâmetros hidráulicos;
- Monitoramento remoto e/ou automatizado de nível de água e/ou de parâmetros físico-químicos;
- Coleta de amostras de água para análises químicas e/ou isotópicas;
- Mapeamento de fluxo subterrâneo com traçadores.

6.2. Caracterização da geologia e da hidrogeologia

Objetivo: elaborar mapas temáticos e textos explicativos para caracterização da geologia, envolvendo os aspectos litológico, estrutural e estratigráfico, visando à caracterização da hidrogeologia com foco na delimitação da geometria do(s) aquífero(s), da hidroestratigrafia e dos fatores que possam influenciar a infiltração, o armazenamento, o fluxo e/ou a qualidade da água subterrânea.

6.2.1. Indicação metodológica para caracterização da geologia e da hidrogeologia

O diagnóstico hidrogeológico está embasado em diversos fatores ambientais e socioeconômicos, entretanto, a geologia representa o aspecto do meio físico fundamental e preponderante e requer uma caracterização tridimensional em escala compatível ao detalhamento proposto na avaliação, pois, a delimitação do(s) aquífero(s) dependerá do reconhecimento da geologia e da estratigrafia.

Os levantamentos de dados e de bases cartográficas deverão possibilitar a caracterização da geologia e da hidrogeologia, pois contém aspectos e elementos de conhecimento fundamentais para o desenvolvimento dos módulos de avaliação da quantidade e qualidade da água subterrânea. Os levantamentos de dados devem considerar extensa revisão bibliográfica em trabalhos científicos e estudos acadêmicos, visando obter o estado da arte do conhecimento sobre esses temas na área sob avaliação.

Os mapas geológicos regionais atualmente disponíveis em versões digitais apresentam escalas de 1:750.000 (CPRM) e 1:250.000 (DAEE; UNESP, 2013), disponíveis no DataGEO. A depender da escala de trabalho do diagnóstico hidrogeológico e da disponibilidade de dados, o mapa geológico deverá ser elaborado pela compilação de trabalhos científicos e estudos acadêmicos desenvolvidos em escala de detalhe (escalas de 1:10.000 a 1:100.000), possivelmente, requerendo a digitalização de mapas geológicos para compor um mosaico inédito, na maior escala disponível.

Dados geológicos e geofísicos de subsuperfície, proveniente da perfuração de poços e/ou de levantamentos de prospecções geofísicas, são significativas contribuições para reconhecimento da estratigrafia.

O mapa de aquíferos, produto do diagnóstico hidrogeológico, deve derivar do mapa geológico e, quando aplicável, deverá considerar a delimitação dos aquíferos de formações geológicas não aflorantes, visando à caracterização e delimitação da geometria dos corpos hídricos com ocorrência subjacentes a outras formações geológicas.

Os produtos da caracterização da geologia e da hidrogeologia devem incluir:

- Mapa geológico e mapa de aquíferos;
- Seções geológicas;
- Seções hidroestratigráficas, quando aplicável à delimitação de diferentes aquíferos em profundidade;
- Mapas de isópacas e/ou de espessura saturada, quando aplicável a aquíferos sedimentares;
- Mapas de distribuição de parâmetros hidráulicos (vazão de produção dos poços; capacidade específica; transmissividade);
- Estatísticas de dados técnicos dos poços e de parâmetros hidráulicos do(s) aquífero(s);
- Mapa(s) potenciométrico(s) e, se aplicável, com variação temporal para avaliação da evolução da piezometria do aquífero;

- Delimitação das áreas de recarga e descarga do(s) aquífero(s) em avaliação;
- Texto explicativo da caracterização da geologia e da hidrogeologia.

Em condições específicas e mediante a disponibilidade de dados, considerar a elaboração dos seguintes produtos:

- Gráficos de correlação de níveis estáticos por data;
- Curvas de frequência acumulada das capacidades específicas por aquífero e/ou por posicionamento geográfico em relação a condicionantes estruturais, principalmente para diagnósticos de aquíferos fissurais;
- Modelo geológico/hidrogeológico conceitual tridimensional.

Os produtos da caracterização da geologia e da hidrogeologia devem possibilitar a elaboração do “Modelo Conceitual de Fluxo Subterrâneo” contendo a descrição de como ocorrem os processos de infiltração, recarga, circulação e descarga das águas subterrâneas, bem como demonstração por métodos gráficos (figura, desenho, seção vertical e/ou bloco diagrama).

O modelo conceitual de fluxo subterrâneo poderá ser simulado por modelagem numérica com a utilização de programas computacionais que desenvolvem as equações diferenciais que descrevem matematicamente o movimento da água subterrânea no meio poroso.

6.3. Avaliação da quantidade da água subterrânea

Objetivo: quantificar, por meio de um conjunto de atividades, as parcelas de composição do balanço hídrico visando a avaliação do comprometimento das reservas hídricas subterrâneas e a confirmação da ocorrência ou não de superexploração do aquífero ou de parte do aquífero objeto do diagnóstico.

6.3.1. Indicação metodológica para avaliação da quantidade da água subterrânea

A avaliação da quantidade da água subterrânea deverá compreender a estimativa da recarga e/ou das reservas (renovável, permanente e explorável), das demandas (captação das águas subterrâneas) e da disponibilidade hídrica efetiva. Essas estimativas correspondem às parcelas de água armazenada ou em circulação no aquífero e que deverão ser utilizadas no cálculo do balanço hídrico que embasará a avaliação da quantidade e a confirmação quanto à existência ou não de superexploração do aquífero.

A recarga natural corresponde à parcela das precipitações pluviais que se infiltra no solo e consegue atingir o aquífero; e a recarga total do aquífero deve considerar também o aporte por infiltrações induzidas por influência antrópica em virtude das perdas físicas das redes de distribuição de água e por vazamentos das redes de esgotamento sanitário ou a infiltração proveniente das fossas sanitárias. A recarga do aquífero pode ser considerada equivalente a reserva renovável, enquanto o volume de água armazenado no aquífero ao longo do tempo geológico por fluxos regionais com tempo de trânsito milenares, corresponde à reserva permanente.

O cálculo da recarga e/ou das reservas deve ser realizado por métodos utilizados nos diagnósticos hidrogeológicos similares descritos em trabalhos publicamente disponíveis (CONICELLI *et al.*, 2021; DAEE, 2015; 2014; CONICELLI, 2014; ANA, 2012; SÃO PAULO, 2011; 2009) e/ou por métodos consagrados descritos na literatura específica.

Roteiro para execução de diagnóstico das águas subterrâneas nas áreas potenciais de restrição e controle no Estado de São Paulo (Anexo da Deliberação CRH n° 259/2021)

A estimativa da demanda poderá estar embasada nos dados de volume captado pelos poços relacionados no banco de dados consistido no diagnóstico e/ou em outros métodos de estimativa de evolução das demandas hídricas subterrâneas. É imprescindível que as demandas hídricas subterrâneas estejam georreferenciadas e as vazões de captação sejam individualizadas por ponto de captação (poços tubulares ou cacimbas).

Devido à grande extensão lateral dos aquíferos e os elevados volumes de reserva permanente, dificilmente a utilização desses reservatórios subterrâneos demonstra elevado comprometimento da reserva total. Entretanto, o adensamento de poços em determinadas regiões, sobretudo nos perímetros urbanos dos municípios, pode implicar em elevado comprometimento das reservas ou mesmo em condição de superexploração em determinados setores do aquífero. Por essa razão, a regionalização das demandas é imprescindível no cálculo do balanço hídrico.

A disponibilidade hídrica efetiva corresponde ao resultado da diferença entre a recarga e a demanda, calculada por método que possibilite a regionalização das entradas (recarga) e saída (captação ou demanda). Recomenda-se o método empregado em diagnósticos similares (DAEE, 2015; 2014; CONICELLI, 2014), podendo, entretanto, recorrer à aplicação de outras metodologias que possam determinar a parcela de água disponível para o uso futuro.

A reserva explorável compreende o volume de água passível de ser captada para atendimento da demanda. Essa parcela de água pode ser equivalente à disponibilidade hídrica ou, ainda, considerar outros fatores a serem justificados por especificidades da área em avaliação. O conceito principal da reserva explorável é o volume disponível para uso, tal que não provoque a superexploração do aquífero e não comprometa as funções ecossistêmicas desempenhadas pela água subterrânea no contexto ciclo-hidrogeológico em avaliação.

Os principais produtos da avaliação da quantidade da água subterrânea são:

- Demonstração dos cálculos do balanço hídrico;
- Mapa do zoneamento da recarga;
- Mapa do zoneamento da captação da água subterrânea (demanda);
- Mapa da disponibilidade hídrica efetiva e/ou zoneamento das reservas exploráveis;
- Confirmação da existência ou não de superexploração;
- Mapa da delimitação da área com superexploração, se confirmado esse resultado;
- Texto explicativo dos métodos empregados e dos resultados alcançados;

Os responsáveis técnicos pelo planejamento e/ou execução do diagnóstico hidrogeológico poderão definir outros produtos e atividades visando complementar a avaliação da quantidade da água subterrânea, em função das especificidades da área em investigação e/ou do problema objeto do diagnóstico hidrogeológico.

6.4. Avaliação da qualidade da água subterrânea

Objetivo: caracterizar a hidrogeoquímica natural da água subterrânea e, quando aplicável, confirmar a ocorrência e delimitação do comprometimento de parte da reserva hídrica subterrânea por fatores relacionados à alteração da qualidade das águas por meio de atividades econômicas, com foco na caracterização dos processos responsáveis pela contaminação ou alteração da qualidade natural.

6.4.1. Indicação metodológica para caracterização hidrogeoquímica e da qualidade natural da água subterrânea

A caracterização hidrogeoquímica e da qualidade natural da água subterrânea deverá ser realizada por extensa revisão bibliográfica em trabalhos científicos e estudos acadêmicos, bem como pelos dados do monitoramento realizados pela CETESB e os resultados de qualidade da água bruta do SISAGUA (Vigilâncias municipais) e das concessionárias ou departamentos de águas, se disponíveis para a área em avaliação, visando obter o estado da arte do conhecimento sobre o tema.

A critério dos responsáveis técnicos pelo planejamento e/ou execução do diagnóstico hidrogeológico, a avaliação poderá ser complementada por coleta de amostras em uma malha selecionada de poços, visando ampliar o conjunto de análises químicas disponíveis para avaliação hidrogeoquímica.

O escopo analítico necessário à avaliação hidrogeoquímica da água deve compreender análises dos íons maiores e menores, bem como varredura de metais dissolvidos, considerando os seguintes parâmetros analíticos: Alcalinidade total (CaCO_3); Bicarbonato (HCO_3^-); Carbonato (CO_3^{2-}); Fluoreto (F^-); Cloreto (Cl^-); Sulfato (SO_4^{2-}); Fosfato (PO_4^{3-}); Nitrogênio-Nitrato (N-NO_3^-); Nitrogênio-Nitrito (N-NO_2^-); Nitrogênio Amoniacal Total; Sódio (Na), Potássio, (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Alumínio (Al); Bário (Ba); Boro (B); Cádmiio (Cd); Cobalto (Co); Cromo (Cr); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Molibdênio (Mo); Níquel (Ni); Fósforo (P); Chumbo (Pb); Estrôncio (Sr); Vanádio (V); Zinco (Zn); Sílica (SiO_2); Dureza; Sólidos Totais Dissolvidos (STD); Turbidez.

Além das análises laboratoriais, a coleta das amostras deve ser acompanhada pelo monitoramento *in situ* dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH; condutividade elétrica; temperatura; oxigênio dissolvido; potencial de oxi-redução; e cloro residual livre.

A qualidade analítica deverá ser avaliada pela realização do balanço iônico considerando, para validação dos resultados, os percentuais de erro indicados na Figura 3, em relação ao valor de condutividade elétrica da amostra, conforme estabelecido por Custódio e Llamas (1983), onde $r\sum p$ é a concentração total dos cátions e $r\sum n$ é a concentração total dos ânions, em miliequivalente por litro (meq/L). A CPRM (2008) indica que altos valores do erro podem evidenciar: erro analítico; erro nos cálculos; presença de íons não analisados em concentrações apreciáveis; ou águas pouco mineralizadas. Na grande maioria das águas subterrâneas é aceitável erro inferior a 10%.

$$E_p(\%) = \left[\frac{r\sum n - r\sum p}{\frac{1}{2}(r\sum p + r\sum n)} \right] \cdot 100$$

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	200	500	2.000	> 2.000
Erro Permitido (%)	30	10	8	4	< 4

Figura 3 – Erro prático do balanço iônico para análises químicas de água definido por Custódio e Llamas (1983) (Fonte: CPRM, 2008)

As interpretações e resultados da avaliação hidrogeoquímica devem considerar as seguintes atividades e/ou produtos:

- Banco de dados dos resultados analíticos;
- Demonstração dos resultados em meq/L e dos cálculos do balanço iônico;
- Estatísticas dos resultados analíticos, podendo incluir histogramas de distribuição dos resultados por parâmetro;
- Interpretações por correlações iônicas;
- Classificação das águas por métodos gráficos (diagramas de Piper, Stiff, Tickel, etc.);
- Mapas de distribuição dos resultados na área em avaliação;
- Texto explicativo com apresentação de resultados e conclusões;
- Apresentação dos relatórios analíticos emitidos pelo laboratório, quando realizada geração do dado no próprio diagnóstico.

Os resultados e interpretações da avaliação hidrogeoquímica deverão ser empregados para compreensão do modelo hidrogeológico conceitual, em função de diferenciação de tipos hidroquímicos e, eventualmente, poderá contribuir também com o reconhecimento do movimento da água subterrânea, interações entre aquíferos e inter-relações entre águas subterrâneas e superficiais. Neste propósito, poderão também ser utilizadas avaliações isotópicas e datações. As análises isotópicas comumente empregadas são: Oxigênio, Deutério, Tritium, Carbono (C14), Cloro e Nitrogênio. Os responsáveis técnicos pelo diagnóstico hidrogeológico deverão considerar a viabilidade e empregabilidade das avaliações isotópicas e definir o escopo, procedimentos e abrangência das coletas e análises desses parâmetros.

A avaliação da qualidade da água subterrânea deverá considerar as finalidades de uso e comparar os resultados aos padrões estabelecidos na legislação, no caso de consumo humano, e/ou com padrões disponíveis na literatura para usos agrícolas e/ou industriais. Neste caso, poderão ser requeridos parâmetros químicos adicionais aos descritos anteriormente, visando à avaliação em relação ao padrão de qualidade especificado para o tipo de uso.

6.4.2. Indicação metodológica para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea

O perigo de contaminação será avaliado com base na vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação e no potencial de geração de cargas contaminantes por influência de atividades antrópicas.

A indicação metodológica para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação considera a aplicação do método GOD (FOSTER *et al.*, 2006; FOSTER; HIRATA, 1988) e, desse modo, as seguintes bases cartográficas embasam a aplicação do método:

- Mapa potenciométrico e/ou mapa de aquíferos – na determinação do parâmetro G (Grau de confinamento da água subterrânea);
- Mapa geológico e/ou mapa pedológico – na determinação do parâmetro O (Ocorrência de estratos de cobertura);
- Modelo digital de elevação e mapa potenciométrico – na determinação do parâmetro D (Distância até o nível freático ou até o aquífero confinado).

As cartografias relacionadas acima permitem a determinação dos indicadores para cada parâmetro do método e a superposição dos indicadores, por meio de ferramentas das plataformas de SIG, possibilitam os cálculos dos valores finais dos índices de vulnerabilidade, conforme proposto pelo método GOD (FOSTER *et al.*, 2006).

A critério dos responsáveis técnicos pelo diagnóstico hidrogeológico, poderão ser empregados outros produtos cartográficos para determinação dos parâmetros do método GOD, bem como a

utilização de outro(s) método(s) de avaliação da vulnerabilidade, tais como DRASTIC (ALLER *et al.*, 1997) ou AVI – ASTM D6030 (ASTM, 2015), mediante justificativa técnica em função das especificidades hidrogeológicas da área.

A indicação para classificação e avaliação do potencial gerador de carga contaminante considera o método POSH (acrônimo em inglês de *pollutant origin, surcharge hydraulically*) (FOSTER *et al.*, 2006) a ser aplicado nas atividades cadastradas no banco de dados de fontes potenciais de contaminação (item 6.1.2).

O perigo de contaminação será avaliado pela superposição da vulnerabilidade do aquífero e do potencial de geração de cargas contaminantes, permitindo, desse modo, o zoneamento de setores com maior perigo à contaminação e, assim, demandando maior prioridade nas ações de gestão, proteção e/ou controle, de outros setores com menor perigo e, conseqüentemente, com menor prioridade. Avaliações do perigo de contaminação da água subterrânea por aplicação deste método ou com abordagem similar foram realizadas em diagnósticos hidrogeológicos publicamente disponíveis (DAEE, 2015; 2014; CONICELLI; 2014; SÃO PAULO, 2009).

Os principais produtos da avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea são:

- Mapa de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação;
- Mapa de localização das fontes pontuais com potencial de gerar contaminante ao subsolo classificadas pelo método POSH;
- Mapa da delimitação das fontes difusas com potencial de gerar contaminante ao subsolo classificadas pelo método POSH;
- Mapa do zoneamento do perigo de contaminação da água subterrânea;
- Texto explicativo da aplicação dos métodos, discussão dos resultados e conclusões.

6.4.3. Indicação metodológica para avaliação de áreas com problema de contaminação da água subterrânea

O escopo deste item é aplicável exclusivamente ao diagnóstico hidrogeológico de área cuja problemática principal seja a contaminação de água subterrânea por fontes difusas e/ou por múltiplas fontes pontuais que impactam extenso volume de um ou mais aquíferos.

Nesses casos, além do desenvolvimento das atividades e métodos descritos nos itens 6.4.1 e 6.4.2, são necessárias atividades complementares e específicas. Os responsáveis técnicos pelo planejamento e/ou execução do diagnóstico hidrogeológico deverão especificar atividades visando à caracterização detalhada da origem e da delimitação da contaminação com foco no reconhecimento da dinâmica de evolução do problema e, desse modo, possibilitar a proposição de medidas de controle e/ou mitigação.

A avaliação da qualidade da água subterrânea nesses casos deve considerar a coleta de amostras para análises das substâncias químicas de interesse contaminantes da água subterrânea, especificando: a abrangência da malha de monitoramento; os métodos de coleta e de análises; e os produtos esperados para caracterização do cenário da contaminação.

A avaliação de cenários complexos de contaminação deve considerar o emprego de métodos de traçadores e análises isotópicas aplicáveis ao cenário de contaminação específicos.

Em casos de múltiplos aquíferos, aquíferos multicamadas e/ou em aquíferos fissurais, o diagnóstico deverá considerar a construção de poços multiníveis e/ou aplicação de dispositivos que permitam a coleta de amostras em diversas profundidades e, para tanto, deverá haver criteriosa perfilagem e reconhecimento das zonas de fluxo, dos contatos e dos limites entre os distintos corpos hídricos subterrâneos.

Avaliações em casos complexos de contaminação poderão requerer o emprego de alguns desses métodos, mas não se limitando a: perfilagem acústica em poços na rocha; perfilagem ótica; obturadores para coleta seletiva e/ou ensaios hidráulicos em intervalos pré-definidos; medição de fluxo vertical no interior de poços; revestimento interno de poços para isolamento entre níveis e acesso a intervalos pré-determinados; medições de parâmetros específicos em alta resolução; elaboração de modelo numérico de fluxo com transporte de contaminantes; entre outros métodos.

O diagnóstico hidrogeológico deverá ser capaz de reconhecer: a hidroestratigrafia e a inter-relação entre as diversas unidades hidroestratigráficas; os parâmetros hidráulicos das diversas unidades; o comportamento de fluxo em cada unidade e entre as unidades; e a qualidade das águas nas diversas unidades hidroestratigráficas. Esses reconhecimentos deverão permitir a elaboração do modelo conceitual da contaminação e de sua evolução no meio ambiente subterrâneo.

A avaliação do cenário de contaminação deverá ser conclusiva quanto à definição do zoneamento tridimensional de restrição ao uso da água subterrânea, de forma a subsidiar as proposições de medidas de restrição e controle do uso.

Ressalta-se que a indicação metodológica deste item não é aplicável à avaliação de contaminação por uma única atividade poluidora ou por contaminação da água subterrânea com origem e responsáveis legais reconhecidos. Esses casos são enquadrados no processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas que está devidamente regulamentado no Estado de São Paulo por legislação específica (Lei Estadual nº 13.577/2009; Decreto Estadual nº 59.263/2013) com competência conferida à CETESB para fiscalização e controle e que, por meio da Decisão de Diretoria DD 038/2017/C, estabeleceu as diretrizes e procedimentos para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

6.5. Proposição de medidas específicas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos

Objetivo: apresentar proposições de medidas específicas para gestão, proteção da qualidade e/ou controle de efeitos relacionados à superexploração, com base nos resultados dos módulos de avaliação, bem como a proposição de programa de monitoramento da água subterrânea.

6.5.1. Indicação metodológica para proposição de medidas de gestão

As medidas de gestão deverão ser tecnicamente embasadas nos resultados das avaliações da quantidade e da qualidade da água subterrânea e poderão compreender medidas com foco: na proteção da qualidade; no controle do uso; na restrição do uso; e/ou no monitoramento do cenário avaliado pelo diagnóstico hidrogeológico.

As propostas de medidas deverão estar amparadas no arcabouço legal vigente por ocasião da execução do diagnóstico hidrogeológico, visando respaldar a validade e aplicabilidade das medidas de gestão propostas. Desse modo, é parte do escopo do diagnóstico hidrogeológico, a identificação do arcabouço legal relacionado ao tema.

Sempre que aplicável, as propostas deverão definir os atores envolvidos com: a obrigação de atendimento das medidas; a competência para implementá-las; e as responsabilidades pela gestão e/ou fiscalização do atendimento após implementadas as medidas.

Na condição em que os resultados confirmarem a necessidade de medidas de restrição e controle do uso da água subterrânea, em decorrência de cenário de contaminação e/ou superexploração, a delimitação da área, as medidas propostas e a implementação da Área de Restrição e Controle Confirmada (ARC-CO), deverão estar em consonância com os termos da Deliberação CRH nº 52/2005. O zoneamento das classes onde as medidas serão adotadas deverá ser construído em bases cartográficas na escala apropriada ao detalhamento das avaliações.

6.5.2. Indicação metodológica para proposição de programa de monitoramento

A proposição de programa de monitoramento deverá ser justificada pelos resultados dos módulos de avaliação e deverá considerar a utilização de poços existentes inativos e ativos (em operação) cuja integridade física esteja compatível aos objetivos pretendidos e, para tanto, durante as atividades do diagnóstico, a malha de poços do programa de monitoramento deverá ser submetida a inspeção técnica. Caso seja necessário o monitoramento em região desprovida de poços existentes, o programa poderá recomendar a construção de poços específicos ao monitoramento pretendido.

O programa de monitoramento deverá conter, minimamente, as seguintes especificações:

- Mapa da localização dos poços existentes que deverão integrar a malha de monitoramento;
- Mapa da localização dos futuros poços pretendidos para compor a malha de monitoramento;
- Descrição dos objetivos do monitoramento, bem como dos parâmetros a serem monitorados (níveis de água e qualidade) e da frequência de coleta dos dados;
- Definição da frequência de tratamento e interpretação dos dados, visando à atualização do diagnóstico hidrogeológico.

As medidas de implementação dos programas deverão observar consonância com a Portaria DAEE nº 5.578, de 06 de outubro de 2018 que “Aprova as condições e procedimentos para a instalação e a operação de equipamentos medidores de vazões e volumes de água captados ou derivados, relacionados com outorgas de direito de uso de recursos hídricos ou sua dispensa” e, se necessário, estabelecer exigências adicionais como parte das medidas de controle de que trata o item 6.5.1.

Caso as atividades do diagnóstico hidrogeológico reconheçam a oportunidade de utilizar poços inativos como parte da rede de monitoramento, o programa deverá considerar tal recomendação, especificando as necessidades de vistoria, adequação e instalação necessárias às finalidades do programa.

As informações provenientes dos poços de monitoramento deverão compor os Sistema de Declarações das Condições de Uso de Captações (SiDeCC) que é um sistema de informação disponibilizado pelo DAEE, na rede mundial de computadores, nos termos da Portaria DAEE nº 5.579, de 06 de outubro de 2018 que “Dispõe sobre procedimentos relativos à declaração periódica de medições de volumes relacionados a usos e interferências de recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado de São Paulo”. O programa de monitoramento deverá estabelecer as responsabilidades pela implementação do programa, coleta dos dados e remessa da declaração sobre os dados monitorados, em consonância com a referida Portaria.

6.5.3. Indicação metodológica para proposição de programa de comunicação social e participação de usuários no processo de gestão

O efetivo sucesso de medidas de proteção, controle e/ou restrição dos usos dos recursos hídricos, em geral, e das águas subterrâneas, em particular, dependem do engajamento da população usuária, e esta precisa estar devidamente informada dos estudos desenvolvidos e dos resultados que indicam a necessidade de implantar medidas que podem impactar nas suas atividades econômicas, sanitárias, lazer e de subsistência.

Esta é, obviamente, uma diretriz de caráter bastante geral e de aplicação no âmbito do Estado mas, na medida em que os resultados apontem para uma situação que exija aplicação de ferramentas de comando e controle mais rígidas, recomenda-se que o relatório final contenha elementos para implantação de um programa de comunicação social que envolva os usuários dos recursos hídricos subterrâneos, conscientizando-os da importância da legalização dos poços de sua propriedade, medidas de proteção do aquífero e do uso racional da água. O programa deve buscar também a participação e o envolvimento das empresas perfuradoras de poços.

O programa deverá ser formatado de maneira que reúna elementos suficientes para ser implementado pelo CBH, descrevendo como se daria a participação dos três segmentos, indicação de recursos financeiros e, eventualmente, recomendações para introdução de incentivos fiscais provenientes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos dos proprietários de poços que aderirem ao programa de monitoramento, por exemplo.

7. PRODUTOS PREVISTOS

Neste item estão relacionados os produtos mínimos e especificações de entrega resultantes da execução do Diagnóstico Hidrogeológico. Os responsáveis técnicos pelo planejamento e fiscalização do diagnóstico poderão especificar relatórios intermediários, com conteúdo técnico e/ou executivo, visando o acompanhamento do avanço e os resultados parciais gerados pelo executor do diagnóstico.

- Plano de trabalho – produto de caráter técnico e operacional, a ser apresentado previamente à execução das atividades, apresentando detalhadamente o planejamento físico do diagnóstico, bem como o descritivo técnico e metodológico de execução das atividades, especificando os recursos materiais a serem empregados, prazos intermediários e final de execução e a composição da equipe técnica.
- Relatório Final – relatório técnico contendo textos, notas explicativas e mapas consolidando todas as atividades executadas, bem como os dados compilados, resultados obtidos, conclusões e propostas de medidas para gestão, proteção, controle e/ou restrição do uso da água subterrânea e a recomendação do programa de monitoramento.
- Relatório Síntese – relatório técnico simplificado, em linguagem acessível, incluindo os principais resultados e conclusões das avaliações e a síntese das propostas de gestão. Deverá considerar a elaboração de textos concisos, objetivos e priorizar a linguagem por ilustrações, utilizando-se de imagens, mapas, figuras, gráficos, tabelas e quadros. Uma vez aprovado, deverá ser apresentada uma versão com projeto gráfico e diagramação para publicação.
- Bancos de dados – planilhas de consolidação de dados: das captações de água subterrâneas; das análises químicas e isotópicas; das fontes potenciais de contaminação. Documentação digital obtida por levantamento em diversas fontes consultadas, incluindo todo o acervo consolidado para execução do diagnóstico.
- Cartografias em SIG – arquivos editáveis do sistema de informações georreferenciadas (*shapefiles* e/ou *geodatabase*) organizados de forma que a cartografia apresentada nos relatórios final e síntese possam ser visualizada e editada por outros usuários, incluindo as bases de dados (planilha de atributos) associadas aos *shapefiles*.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal. Brasília: ANA, 2012. Disponível em:
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1a1693f1-68f6-4697-9232-fecb8f42a035>
- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R.J.; Hackett, G. **DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035. Washington, D.C. 1997.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6030-15: Standard Guide for Selection of Methods for Assessing Ground Water or Aquifer Sensitivity and Vulnerability**. West Conshohocken, PA, EUA. 8pg. 2015.
- CONICELLI, B. P. **Gestão das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (SP)**. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências-USP. São Paulo, 2014. 163 p.
- CONICELLI, B. P.; HIRATA, R.; GALVÃO, P.; BERNARDINO, M.; SIMONATO, M. D.; ABREU, M. C.; ARANDA, N.; TERADA, R. Determining groundwater availability and aquifer recharge using GIS in a highly urbanized watershed. *In: JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES*, 106 (2021) 103093. Elsevier, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103093>.
- CPRM. Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do estado de São Paulo**. Carlos Augusto Brasil Peixoto [org.]. São Paulo: CPRM, 2010. 176 p.+ 1 DVD-ROM.
- CPRM. Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Feitosa, Fernando A.C. [org.]. Rio de Janeiro, CPRM : LABHID, 2008, 3 ed. Disponível em:
<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14818>
- DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Diagnóstico hidrogeológico e a elaboração de propostas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Eixo Jacaré – São José dos Campos – Caçapava, no Estado de São Paulo. Relatório Final. Simonato, M. D.; Campos, J. E. [Coord.]. DAEE / C3 Consultoria. 2015.
- DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Diagnóstico hidrogeológico e a elaboração de propostas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Bauru, no Estado de São Paulo. Relatório Final. Simonato, M. D.; Campos, J. E. [Coord.]. DAEE / C3 Consultoria. 2014.
- DAEE; UNESP. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção**. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. UNESP, Laboratório de Estudo de Bacias do Instituto Geociências e Ciências Exatas. São Paulo, 2013. 44p + DVD-ROM. Disponível em: [http://201.55.6.68/acervoepesquisa/Atlas%20-%20C3%81guas%20Subterr%C3%A2neas%20\(DAEE-LEBAC\).pdf](http://201.55.6.68/acervoepesquisa/Atlas%20-%20C3%81guas%20Subterr%C3%A2neas%20(DAEE-LEBAC).pdf)
- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHOPAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru. 1988.

- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; MONICA, D.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Groundwater Management Advisory Team – GW/MATE – Banco Mundial. Edição Brasileira: Servmar Serviços Tec. Amb. Ltda., São Paulo. 114 p. 2006. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/211991468005114562/pdf/250710REVISED01R01OFFICAL0USE0ONLY1.pdf>
- SÃO PAULO: Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. IG; CETESB; DAEE. 1997, Vol.1, 129 p.
- SÃO PAULO: Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. DAEE; IG; IPT; CPRM. 2005.
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Geológico; Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Projeto São José do Rio Preto: restrição e controle de uso de água subterrânea**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Geológico; Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos, Departamento de Águas e Energia Elétrica – São Paulo: IG/DAEE, 2011. 140 p. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2011/08/disponivel-para-download-a-publicacao-projeto-sao-jose-do-rio-preto-restricao-e-controle-de-uso-da-agua-subterranea/>
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. **Projeto Jurubatuba: restrição e controle de uso de água subterrânea**. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geológico, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Saneamento e Energia. – São Paulo: DAEE/IG, 2009. 109 p. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2010/03/disponivel-para-download-a-publicacao-projeto-jurubatuba-restricao-e-controle-de-uso-da-agua-subterranea/>