

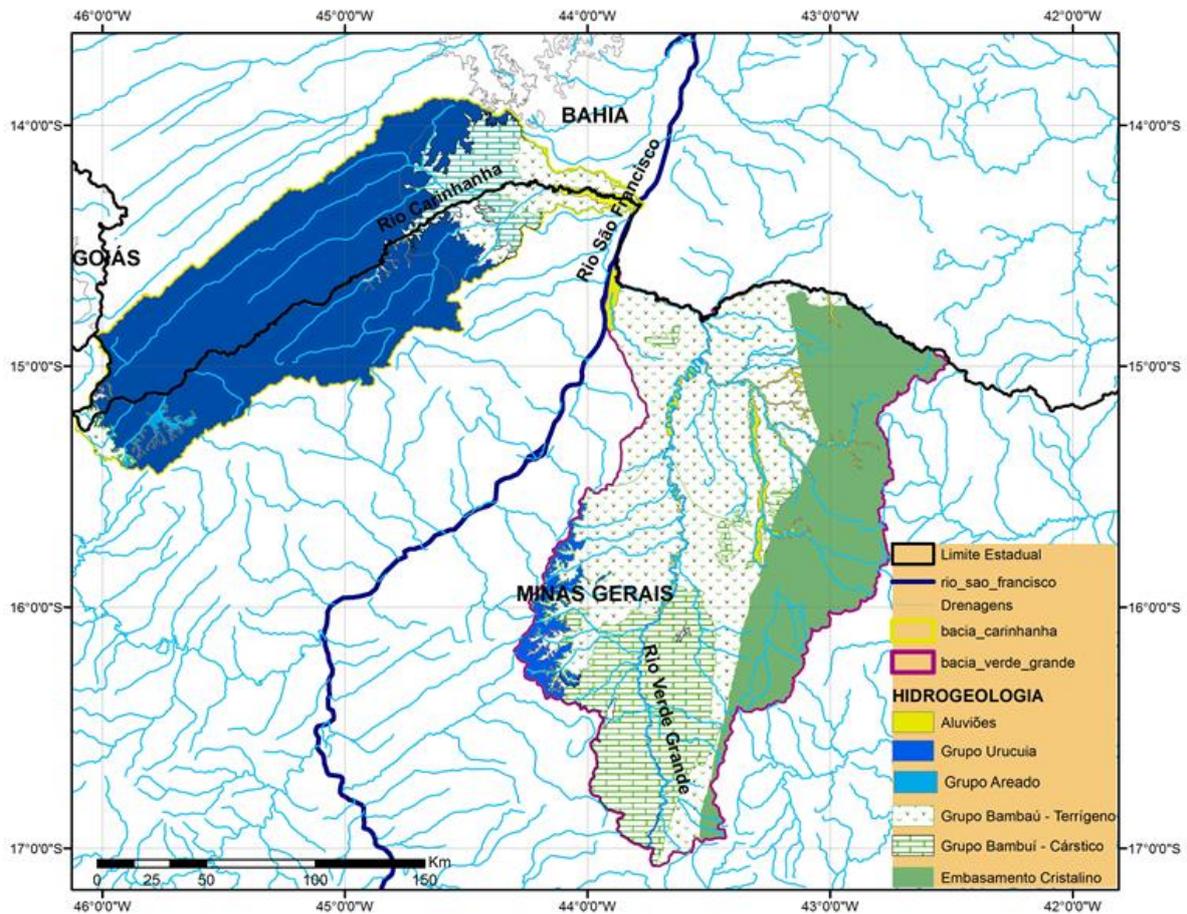
**ANEXO 03**

**ESTUDOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO: SUB-BACIAS DOS RIOS VERDE GRANDE E CARINHANHA”**

**PROPOSTA TÉCNICA DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM)**

Ministério de Minas e Energia  
Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral  
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Proposta de Cooperação Técnica  
CPRM-ANA



**“ESTUDOS PILOTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS  
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO: SUB-  
BACIAS DOS RIOS VERDE GRANDE E CARINHANHA”**

Junho de 2018

# ESTUDOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO: SUB-BACIAS DOS RIOS VERDE GRANDE E CARINHANHA

## PROPOSTA TÉCNICA

Esta proposta de trabalho estabelece diretrizes para a realização dos serviços técnicos a serem prestados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para elaboração dos ***Estudos para a implementação da gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas na Bacia Hidrográfica do São Francisco: Sub-Bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha***

A presente proposta tem como alicerces o delineamento, a partir de reunião com representantes da ANA, e de informações contidas nos termos de referência preliminares por ela repassados, de questões relacionadas aos recursos hídricos em áreas prioritárias, na bacia do Rio Verde Grande e em toda a bacia do Carinhanha, sub-bacias da Região Hidrográfica do São Francisco. Houve ainda a incorporação das informações contidas em estudos efetuados na região, em especial, aquelas geradas no Projeto denominado *“Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco com Vistas à Gestão Integrada e Compartilhada de Recursos Hídricos”*, elaborado pela ANA (2018).

Na Bacia do Rio Verde Grande, as áreas definidas como primordiais para investigação distinguem-se pela existência de conflitos iminentes pelo uso da água e de lacunas no conhecimento quanto ao funcionamento do sistema hidrogeológico e hidrológico em domínios de aquíferos cársticos ou fissuro-cársticos.

Na Bacia do Carinhanha, caracterizada pela forte interação entre as águas subterrâneas de aquíferos cársticos (Bambuí) e porosos (Urucuia), com as águas de superfície, os estudos visam a implementação da efetiva gestão integrada dos recursos hídricos totais.

A construção da proposta fundamentou-se, por um lado, nas características intrínsecas dos aquíferos desenvolvidos em terrenos carbonáticos em que as águas subterrâneas e superficiais comumente constituem-se em um sistema dinâmico único, marcado pela expressiva conectividade por meio de numerosas e diversificadas formas cársticas. Como expressão desta complexidade e heterogeneidade, as bacias hidrográficas e hidrogeológicas coincidem somente em casos excepcionais. No caso dos aquíferos porosos, predominantes na Bacia do Carinhanha, destaca-se o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), contendo águas de excelente qualidade e responsável, segundo apontam estudos recentes, por mais de 80% das vazões dos tributários do Rio São Francisco nos períodos de estiagens.

Especificamente para os aquíferos cársticos, a investigação com vistas à implantação de ações que promovam um equilíbrio entre as disponibilidades e usos dos recursos

hídricos, constitui um desafio significativo, o que tem impulsionado o desenvolvimento de metodologias científicas próprias.

Como conceitos primordiais considerados para a definição das ações e métodos de estudo e análise destacam-se: i) a água subterrânea é um dos principais contribuintes para o fluxo nos cursos d'água nestas sub-bacias e, portanto a interação entre esses corpos d'água é uma questão crítica no gerenciamento integrado; ii) cada aquífero é particular na medida em que a quantidade de água que flui através do sistema depende de fatores intrínsecos (e.g. geologia, relevo) e de fatores externos, tais como as taxas de precipitação e de evapotranspiração. Nesse sentido, exemplos exitosos do desenvolvimento e aplicação de métodos de investigação para sistemas aquíferos compreendem a articulação da análise hidrológica com as características geológico-estruturais e climáticas efetuada pela ANA (2018) e pelo IGAM/CPRM (no prelo), respectivamente na Bacia do Rio São Francisco e na porção norte do Estado de Minas Gerais. Destaca-se que, para o primeiro trabalho, a análise se restringiu aos sistemas cársticos e fissuro-cársticos.

Um aspecto notório para a implementação de uma política de gestão da água, e determinante para os aquíferos cársticos, é a necessidade de uma abordagem interdisciplinar, integrada e sistêmica para que haja compreensão abrangente dos elementos que se interpõem na questão dos recursos hídricos. Assim sendo, uma base de dados consolidada, transformada em uma ferramenta de gestão, pode ser uma das formas mais eficazes de se promover a segurança hídrica.

Com base no exposto, propõe-se a investigação e análise multitemática do meio físico, incluindo as alterações antropogênicas percebidas neste, com o propósito de ampliar o conhecimento a respeito dos sistemas aquíferos cársticos, fissuro-cársticos e porosos, em regiões específicas das bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha, a partir da identificação das interações e influências dos diversos fatores na ocorrência, potencialidade, dinâmica de fluxo e nos aspectos qualitativos e quantitativos. As informações geradas deverão fornecer bases para a gestão destas áreas apontadas como piloto.

A elaboração desses estudos está em consonância com atividades previstas na "Agenda de Ações para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos", instituída com base no Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS), o Programa VIII do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Os estudos a serem desenvolvidos nas bacias hidrográficas dos rios Verde Grande e Carinhanha se enquadram nas ações da Agenda de *"promoção da gestão integrada de aquíferos conectados com rios federais"*, *"elaboração de avaliações para a gestão integrada"*, bem como *"proposição de marcos regulatórios e alocações"*.

Para a Bacia do Rio Verde Grande, este projeto buscará atender a meta estabelecida na "Componente 4" das *"Diretrizes, Intervenções e Investimentos"* previstos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (ANA, 2013). O segundo subprograma dessa componente compreende o estudo de detalhe em área piloto nos

sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico com vistas a propor modelo de gestão das águas subterrâneas e implantação de rede de poços de monitoramento.

Em relação à Bacia do Rio Carinhanha, essa iniciativa da ANA atende a prioridade 10 do Plano Nacional de Recursos Hídricos estabelecida para 2016-2020 na Resolução CNRH Nº181/2016, *“ampliar o conhecimento sobre a ocorrência de chuvas e sobre a quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas”*, mais especificamente na Meta 41, *“implantar projeto piloto de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas”*. Essa meta indica a ANA como executora, e como interlocutora, a Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CTAS/CNRH).

## SUMÁRIO

## Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Bacia do Rio Verde Grande.....   | 2         |
| <b>2. JUSTIFICATIVAS.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO.....</b>   | <b>11</b> |
| 3.1. Bacia do Rio Verde Grande.....   | 11        |
| 3.1.1. Bacia do Rio Vieira.....   | 13        |
| 3.1.2. Área do Jaíba (MG).....  | 16        |
| 3.1.3. Bacia do Rio Salobro.....  | 17        |
| 3.1.4. A Delimitação das Áreas Pilotos da Bacia do Rio Verde Grande.....  | 19        |
| 3.2. Bacia do Rio Carinhanha.....   | 31        |
| <b>4. OBJETIVOS.....</b>  | <b>35</b> |
| 4.1. Objetivo Geral.....  | 35        |
| 4.2. Objetivos Específicos.....   | 35        |
| <b>5. ATIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS.....</b>   | <b>37</b> |
| 5.1. Mobilização, Planejamento e Detalhamento das Ações Previstas.....  | 37        |
| 5.2. Levantamento, Sistematização e Interpretação de Dados Bibliográficos e Cartográficos ....  | 38        |
| 5.2.1. Levantamento de Dados Geológicos, Hidrogeológicos, Hidrológicos, Geofísicos,<br>Geomorfológicos, Pedológicos, Hidrometeorológicos e de Uso e Ocupação da Terra ..... | 38        |
| 5.3. Caracterização do Meio Físico - Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrologia,<br>Hidrometeorologia e Geofísica .....   | 40        |
| 5.3.1. Interpretação de Imagens de Satélite .....   | 40        |
| 5.3.2. Geologia .....   | 42        |
| 5.3.3. Geomorfologia, Pedologia e Uso e Ocupação da Terra .....   | 44        |
| 5.3.4. Investigação Geofísica.....  | 46        |
| 5.4. Caracterização dos Recursos Hídricos.....  | 48        |
| 5.4.1. Cadastro de Usuários de Águas Superficiais e Subterrâneas (Infraestrutura Hídrica).....  | 48        |
| 5.4.2. Testes de Aquífero.....  | 52        |
| 5.4.3. Hidroquímica .....   | 53        |
| 5.4.4. Mapas Potenciométricos e de Fluxo Subterrâneo.....   | 56        |
| 5.4.5. Caracterização Climática e Hidrológica.....  | 58        |
| 5.4.6. Modelo Hidrogeológico Conceitual .....   | 60        |
| 5.4.7. Mapa Hidrogeológico da Bacia do Carinhanha e dos Pilotos da Bacia do Verde Grande.   | 61        |
| 5.4.8. Recarga, Reservas Subterrâneas e Potencialidades dos Sistemas Aquíferos.....   | 61        |
| 5.5. Avaliação Integrada das Águas Subterrâneas e Superficiais.....   | 62        |
| 5.5.1. Balanço Hídrico Integrado.....   | 62        |
| 5.5.2. Evolução do Escoamento de Base .....   | 66        |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| 5.5.3.      | <i>Interferência do Bombeamento entre Poços e na Vazão dos Rios</i> .....                    | 66        |
| <b>5.6.</b> | <b>Proposta e Implementação de Rede de Monitoramento Integrada</b> .....                     | <b>67</b> |
| 5.6.1.      | <i>Locação e Instalação de Poços de Monitoramento</i> .....                                  | 67        |
| 5.6.2.      | <i>Rede de Monitoramento da Bacia do Rio Carinhanha</i> .....                                | 68        |
| 5.6.3.      | <i>Rede de Monitoramento das Áreas Piloto da Bacia do Verde Grande</i> .....                 | 68        |
| <b>5.7.</b> | <b>Estratégias de Gestão Integrada das Águas Superficiais e Subterrâneas</b> .....           | <b>69</b> |
| 5.7.1.      | <i>Elaboração de Proposta de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas</i> ..... | 69        |
| 5.7.2.      | <i>Levantamento do Arcabouço Legal e Institucional para a Gestão de Recursos Hídricos..</i>  | 69        |
| 5.7.3.      | <i>Diretrizes para Gestão Compartilhada entre os Estados</i> .....                           | 70        |
| <b>5.8.</b> | <b>Realização de Seminários de Gestão Participativa</b> .....                                | <b>72</b> |
| <b>6.</b>   | <b>SISTEMATIZAÇÃO E ENTREGA DOS DADOS</b> .....  | <b>73</b> |
| <b>7.</b>   | <b>RELATÓRIOS E PRODUTOS ESPERADOS</b> .....   | <b>74</b> |
| 7.1.        | Relatório Parcial 01 - RP 01 .....   | 75        |
| 7.2.        | Relatório Parcial 02 - RP 02 .....   | 76        |
| 7.3.        | Relatório Parcial 03 - RP 03 .....   | 76        |
| 7.4.        | Relatório Parcial 04 - RP 04 .....   | 76        |
| 7.5.        | Relatório Parcial 05 - RP 05 .....   | 77        |
| 7.6.        | Relatório Parcial 06 - RP 06 .....   | 77        |
| 7.7.        | Relatório Parcial 07 - RP 07 .....   | 78        |
| 7.8.        | Relatório Final - RF.....  | 78        |
| <b>8.</b>   | <b>PRAZOS DE EXECUÇÃO E CRONOGRAMA FÍSICO</b> .....  | <b>79</b> |
| <b>9.</b>   | <b>DESCENTRALIZAÇÃO ORÇAMENTÁRIA</b> .....   | <b>83</b> |
| <b>10.</b>  | <b>EQUIPE TÉCNICA DEMANDADA PARA A EXECUÇÃO DO TRABALHO</b> .....                            | <b>84</b> |
| 10.1.       | Equipe Chave.....  | 84        |
| 10.1.1.     | <i>Coordenação Geral</i> .....   | 85        |
| 10.2.       | Equipe de Apoio.....   | 86        |
| <b>11.</b>  | <b>SUPERVISÃO</b> .....  | <b>86</b> |
| <b>12.</b>  | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>87</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas refere-se a um conjunto ações, procedimentos, normativas e tratativas interinstitucionais que considera a interdependência entre os corpos d'água superficiais e aquíferos, com vistas a garantir a sustentabilidade hídrica e o aproveitamento integrado dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

Essa integração entrou na agenda de discussões da ANA, dos órgãos gestores e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) quando se atentou para a importância de se estabelecer diretrizes para a implementação da gestão integrada. Embora a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) estabeleça em seus objetivos a utilização integrada dos recursos hídricos, e algumas resoluções do CNRH abordem o assunto, poucos esforços são efetivamente práticos.

A importância da gestão integrada decorre de que o principal instrumento de regulação dos usos, a outorga de direito de uso, é analisada e implementada, em geral, de forma separada, para as águas superficiais e subterrâneas. Os planos de bacias, do mesmo modo, ao indicar as disponibilidades hídricas o fazem em separado, para os mananciais superficiais e para os aquíferos. Contudo, as vazões de referência adotadas pelos estados e pela ANA para as outorgas de águas superficiais são baseadas em vazões mínimas, cuja origem nada mais são do que a exsudação da água subterrânea. Desse modo, a disponibilidade hídrica superficial, em geral, sobrepõe-se à subterrânea.

Com o intuito de evitar essa sobreposição ou duplicidade na disponibilidade hídrica entende-se que a implementação da gestão integrada é essencial exatamente pela integração natural do ciclo hidrológico, sendo necessário sua efetividade do ponto de vista técnico como do gerencial/institucional.

Tendo em vista a efetividade da implementação da gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, entende-se que projetos pilotos como prática pioneira sejam primordiais para que sirvam de experiência para outros locais passíveis de implementação. A Agência Nacional de Águas selecionou as bacias hidrográficas dos rios Verde Grande e Carinhanha como áreas piloto para implementação da gestão integrada como forma de cumprimento da meta para a Bacia do Carinhanha estabelecida nas prioridades do Plano Nacional de Recursos Hídricos, horizonte 2016-2020, com base na Resolução CNRH nº 181/2016; e para a Bacia do Verde Grande a meta estabelecida na "Componente 4" das "Diretrizes, Intervenções e Investimentos" previstos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (ANA, 2013).

Do ponto de vista gerencial/institucional a implementação da gestão integrada nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha aborda um cenário singular, uma vez que o seu contexto inclui dominialidade da União no que tange aos rios Verde Grande e Carinhanha e dominialidade estadual referente aos afluentes e às águas subterrâneas.

### 1.1. Bacia do Rio Verde Grande

O Rio Verde Grande é um importante afluente da margem direita do Rio São Francisco que constitui, em parte de seu curso, o limite entre os estados da Bahia e de Minas Gerais. Por esse motivo, assim como seu afluente, o Rio Verde Pequeno, é um rio de domínio federal. Atualmente, o Verde Grande é um rio intermitente, notadamente na sua parte mais a jusante, a partir da sede do município de Jaíba (MG).

Sua bacia tem área de 31.410 km<sup>2</sup> que abrange 08 municípios na Bahia e 27 municípios em Minas Gerais. A população estimada em 2007 era de 741,5 mil habitantes (ANA, 2013).

A região se destaca pela produção agrícola, realizada predominantemente com a irrigação, e pela presença da cidade de Montes Claros (MG), que representa importante polo regional e concentra 1/3 da população da bacia.

Em função do expressivo desenvolvimento regional e da expansão urbana, associada à baixa disponibilidade hídrica dos rios e aquíferos em uma região de clima semiárido, são registrados conflitos pelo uso da água na bacia desde a década de 80. A partir deste período, a implantação de projetos de irrigação nas férteis áreas ribeirinhas promoveu um esgotamento progressivo dos recursos hídricos dessa bacia. Em 1996, tendo em vista o reconhecimento de que a demanda existente à época já não podia ser atendida em todas as situações hidrológicas, o Ministério do Meio Ambiente do Governo Federal editou Portaria suspendendo a emissão de outorgas de direito de uso na Bacia do Rio Verde Grande (Portaria SRH/MMA nº 396/1996).

A regulação dos usos dos recursos hídricos do Rio Verde Grande também foi objeto do marco regulatório contido na Resolução ANA nº 802/2008, posteriormente revisado pelas Resoluções ANA nº 637/2014 e 933/2015. Em 2015, esses atos foram revogados, tendo sido substituídos pela Resolução ANA nº 1132/2015.

Entretanto, conflitos entre usuários e desatendimentos eventuais às regras de uso passaram a ser observados nos períodos hídricos críticos, principalmente a partir de 2013, agravados pela pressão exercida sobre os usos oriunda de novas demandas. O problema hídrico nesse sistema pode ser caracterizado pelo crônico déficit hídrico devido ao regime hidrológico no semiárido brasileiro, sujeito a prolongados e irregulares períodos de estiagem, somado à implantação de projetos para agricultura irrigada, ainda em meados dos anos 1990. Diversos estudos e ações foram realizados pela ANA e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) buscando estabelecer condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico da Bacia do Verde Grande, em especial no Estado de Minas Gerais.

Diante deste quadro, entre 2009 e 2013, foi elaborado o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (PRH Verde Grande), com o objetivo de embasar as ações para a gestão e o uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região, a partir do enfrentamento dos dois principais problemas que se

verificam na bacia: a escassez hídrica com suas repercussões sobre a qualidade e a quantidade de água e a fragilidade na gestão de recursos hídricos na região.

O Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (ANA, 2013) define, em sua Componente 4 (Gestão de Águas Subterrâneas), um programa de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos no domínio fissuro-cárstico da bacia. Esse programa tem como objetivo principal definir um modelo para o gerenciamento das águas subterrâneas da região, visando dotar a região de uma rede integrada de dados capaz de fornecer informações para uma avaliação precisa do comportamento quantitativo e qualitativo das disponibilidades hídricas subterrâneas, bem como a relação entre as disponibilidades hídricas subterrâneas e superficiais. O programa é dividido em 2 subprogramas que envolvem o **Monitoramento Regional** e o **Estudo Piloto** para proposição de modelo de gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

O estudo *“Avaliação Hidrogeológica dos Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos da Região Hidrográfica do São Francisco”*, executado pela ANA (2018), trouxe significativos avanços para gestão dos recursos hídricos da Bacia do São Francisco, porém, por se tratar de estudo regional, carece de detalhamento em áreas críticas. Aponta, por exemplo, para necessidade de monitoramento integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande, e conclui que um dos principais problemas para uma correta gestão é o desconhecimento do número real de poços tubulares em uso na região, portanto do volume extraído de águas subterrâneas. No perímetro urbano de Montes Claros, na região do Alto Verde Grande, especificamente na Bacia do Rio Vieira, os estudos já indicam déficit hídrico subterrâneo.

Este estudo também identificou outra situação referente à interação das águas superficiais e subterrâneas e que pode ser um problema para a gestão dos recursos hídricos na bacia. Pontos de surgências e insurgências no leito do rio, 3 km a montante da sede do município de Jaíba (MG), com forte impacto nas vazões a jusante. A hipótese inicial é que em momentos de baixa vazão no curso principal e de uso intenso das águas subterrâneas, o rio, por meio dos sumidouros, abastece o aquífero. Em situação inversa, em altas vazões no rio, parte delas viria do aquífero, ocasião em que os sumidouros passam a se comportar como surgências. Estudos geofísicos preliminares também identificaram a situação sem, no entanto, serem conclusivos.

Um estudo hidrogeológico realizado na Fazenda Santa Mônica, localizada no município de São João da Ponte (MG), executado pela empresa de consultoria MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente para o empreendedor, teve por objetivo subsidiar respostas aos questionamentos do IGAM quanto à sustentabilidade da captação de água subterrânea na área da bacia do Riacho Salobro para o empreendimento agropecuário. Este estudo não apresentou resultados consistentes para demonstrar e confirmar a sustentabilidade hídrica do empreendimento a partir das explorações atuais de águas subterrâneas, propondo inclusive um plano de monitoramento dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) em parte já implantado e em operação.

Seguindo as diretrizes elencadas em ANA (2013 e 2018) propõem-se a realização de estudos em 03 (três) áreas na região da Bacia do Rio Verde Grande, com a realização de atividades, entre outras, de cadastramento de poços/usuários, levantamento geofísico, ensaios com traçadores, isótopos, cadastro de feições cársticas, planejamento e implantação de rede de monitoramento de águas subterrâneas, além de modelagem de fluxo, voltados ao entendimento do comportamento da dinâmica hídrica da região, de forma a proporcionar os subsídios necessários para a gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nessas áreas piloto e que possam servir de referência para o restante da bacia. A ampliação do conhecimento da dinâmica entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos permitirá a elaboração de um plano de gestão que possa atender às reais necessidades regulatórias para as áreas em questão.

De acordo com os fatos acima explicitados, foram selecionadas as seguintes áreas para o desenvolvimento dos estudos na Bacia do Rio Verde Grande:

- 1) A Bacia do Rio Vieira, na região do Alto Verde Grande, onde está o perímetro urbano de Montes Claros (MG) e já ocorre o déficit hídrico subterrâneo (ANA, 2018);
- 2) Um perímetro de entorno com área em relação aos pontos de surgências e insurgências no leito do Rio Verde Grande, localizados 3 km a montante da sede do município de Jaíba (MG), conforme descreve ANA (2018); e
- 3) A Bacia do Riacho Salobro (Médio Verde Grande - Trecho Alto), que é uma área onde já se instalaram conflitos de uso dos recursos hídricos e onde estudos consistentes devem ser realizados para a adequada gestão das águas superficiais e subterrâneas da região.

A **Figura 1.1** apresenta as 03 (três) áreas prioritárias identificadas na Bacia do Rio Verde Grande para estudos neste projeto.



**Figura 1.1.** - Mapa de localização das 03 áreas selecionadas para os estudos da Bacia do Rio Verde Grande.

## 1.2. Bacia do Rio Carinhanha

A Bacia Hidrográfica do Rio Carinhanha abriga um dos mais importantes afluentes do Rio São Francisco. Situada na margem esquerda do Velho Chico, a bacia é constituída principalmente pelos rios Itaguari e Carinhanha, ambos de domínio da União, por delimitarem a divisa geopolítica entre os estados da Bahia e Minas Gerais. A bacia tem cerca de 17 mil km<sup>2</sup> de área e representa o limite norte da região do Alto São Francisco, segundo a nova divisão deliberada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e encontra-se atualmente dentro dos limites do Semiárido brasileiro redefinido em 2017 pela SUDENE (**Figura 1.2**).

A região tem como principal atividade econômica a agricultura que se dá principalmente nas áreas de chapada. Considerando o pleno desenvolvimento da principal atividade econômica, o uso da água na região é marcante, especialmente pela presença

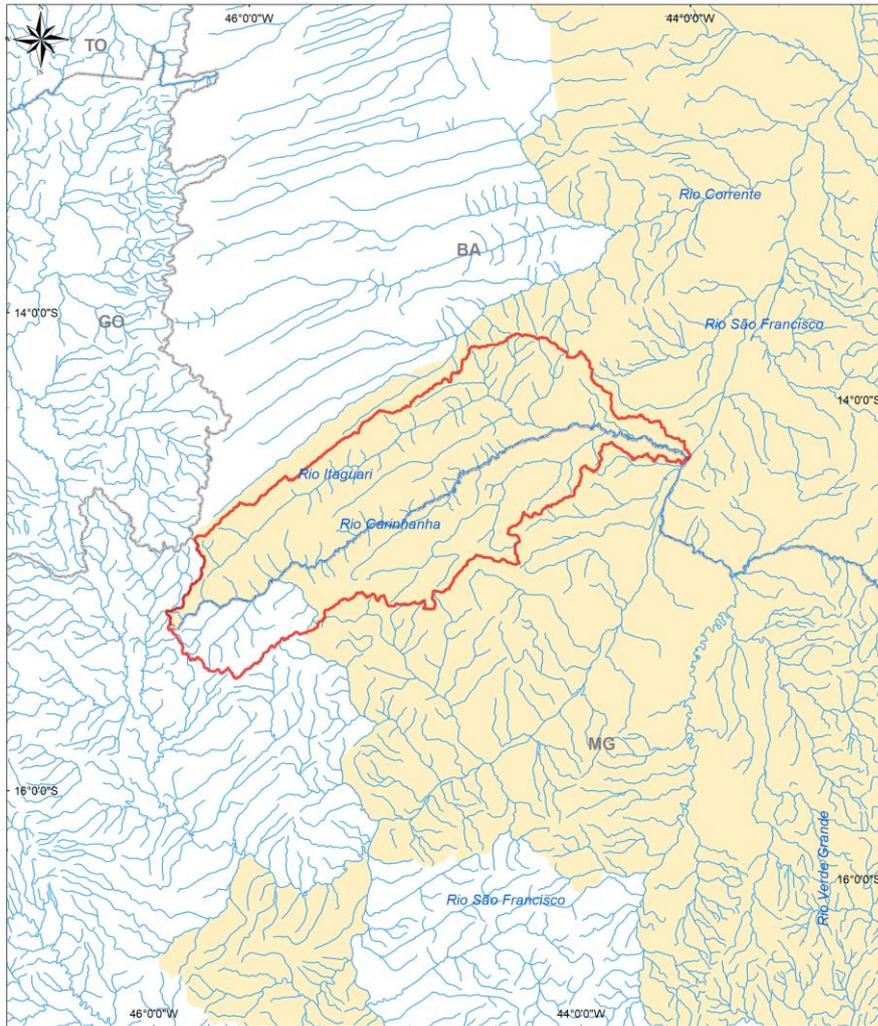
comum de pivôs de irrigação que captam água dos rios ou as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Urucuia ou do Sistema Aquífero Cárstico. Empreendimentos importantes de cultura de soja, café, fumo e criação de gado leiteiro dominam a área da bacia.

Nesses estudos devem ser considerados os levantamentos de dados para os sistemas aquíferos Cárstico e Urucuia, em interação direta com a rede hidrográfica da Bacia do Rio Carinhanha.

Este projeto piloto inclui: o balanço hídrico integrado (águas superficiais e subterrâneas), avaliação da disponibilidade hídrica integrada; avaliação do nível de comprometimento hídrico (disponibilidade *versus* demanda integrada); desenvolvimento e implantação do projeto piloto.

O desenvolvimento e implantação do projeto piloto inclui: proposta de utilização de disponibilidade hídrica integrada entre estados e União; elaboração de proposta de normativos conjuntos para a gestão integrada na bacia, composição de comitê gestor para o acompanhamento da implementação da gestão integrada.

Assim sendo, estabelece-se nesta proposta técnica a Bacia do Rio Carinhanha como área piloto de implementação da gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas, abrangendo todos os levantamentos de dados necessários, bem como ações práticas a serem implementadas em comum acordo entre os estados de Minas Gerais e Bahia e a Agência Nacional de Águas.



Mapa de localização da área de estudo

**Convenções Cartográficas**

- Limite Estadual
- Hidrografia

**Legenda**

- Bacia hidrográfica do rio Carinhanha
- Limite Semiárido

ANA  
Agência Nacional de Águas

Projeto Piloto de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas - Bacia do Rio Carinhanha (BA/MG)

ESCALA GRÁFICA Datum Horizontal: SIRGAS 2000

0 15 30 60 90 120 Km

**Figura 1.2** - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Carinhanha, área piloto de implementação da gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas.

**2. JUSTIFICATIVAS**

A premissa para a implementação da gestão integrada foi apontada por Oliveira *et al.* (2007) como a interconexão hidráulica, num cenário de ocorrência de aquífero livre hidráulicamente conectado com corpos hídricos superficiais perenes. Os autores elencaram áreas onde a gestão integrada deveria ser priorizada: áreas de elevada demanda,

especialmente de usos consuntivos; áreas com estresse hídrico; regiões fronteiriças (países, estados e bacias); locais com risco de intrusão salina, fortes rebaixamentos.

Do ponto de vista legal a iniciativa de implementação de um projeto piloto de gestão integrada entre as águas superficiais e subterrâneas é fundamentado primordialmente no artigo quarto da Lei nº 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

*“Art. 4º - A União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.”*

Entre as diretrizes gerais da lei das águas, indica-se ainda a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de qualidade e quantidade. Já os normativos infralegais, em caráter complementar, expressam a regulamentação da implementação da gestão integrada, e especificam a interdependência dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. As resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) refletem, naturalmente, essas diretrizes da PNRH, como expresso nas resoluções CNRH 13/2000, 15/2001, 16/2001, 22/2002, 91/2008, 92/2009 e 107/2010.

Destacam-se nas resoluções do Conselho o artigo primeiro da resolução CNRH Nº16/2001, que estabeleceu os critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos e o artigo segundo da Resolução CNRH nº 22/2002, a qual estabeleceu diretrizes para a inserção das águas subterrâneas nos planos de recursos hídricos, como destacado:

*Resolução CNRH nº 16, de 08 de maio de 2001*

*“Art. 1º § 4º A análise dos pleitos de outorga deverá considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico visando à gestão integrada dos recursos hídricos”.*

*Resolução CNRH nº 22, de 24 de maio de 2002*

*“Art. 2º Os planos de recursos hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada aquífero com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas.”*

As práticas atuais de gestão de recursos hídricos pouco atendem o que está preconizado nos normativos, no que concerne a considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas visando a gestão integrada, em especial na aplicação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Segundo Liazzi *et al.* (2007), nos órgãos de controle dos sistemas estaduais de gestão de recursos hídricos as outorgas de direitos de uso dos recursos hídricos são concedidas, na prática, de forma dissociadas, nas fases de captações superficiais e subterrâneas, a partir de

procedimentos normativos e técnicos estabelecidos em separado. Todavia, casos isolados e descontínuos são conhecidos no País.

No estado da Bahia há um exemplo prático de implementação da gestão integrada, onde se leva em conta a interação rio-aquífero. A Instrução Normativa do INGA nº 15/2015, ainda vigente no estado, estabelece para a região de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuia, distâncias mínimas entre poços que exploram o Aquífero Urucuia e os rios a ele conectados.

Modelagem desenvolvida pelo DAEE na Bacia do Rio Galante, na UPGRH 20 Aguapeí (Liazi *et al.*, 2007), considerando a parte superior do Aquífero Bauru, indicou uma redução de aproximadamente 20% no escoamento de base em decorrência da exploração subterrânea. Ao confrontar os resultados da modelagem com as estimativas de demanda total (poços e captações superficiais) avaliou-se o cenário de comprometimento da disponibilidade hídrica na bacia, considerando o escoamento de base como oferta hídrica total.

Como desencadeamento de várias discussões acerca da importância da gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas, o CNRH, por meio de discussões entre as câmaras técnicas de águas subterrâneas e procedimento e outorgas apresentou no final de 2017 uma proposta de minuta de resolução de gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, aprovada pelo Conselho em 29 de junho de 2018.

Mais um passo para efetividade dessa implementação advém também do Conselho Nacional de Recursos Hídricos ao aprovar entre as prioridades do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), período 2016-2020, a meta 41 para implantar projeto piloto de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas, tendo a ANA como executora.

Algumas recomendações foram apresentadas na meta de revisão do PNRH para implementação do piloto, no âmbito do CNRH:

- a. Plano de bacia elaborado ou em elaboração;
- b. Informações adequadas de águas subterrâneas de forma a permitir o estudo do projeto piloto;
- c. Escolha da bacia hidrográfica em função da qualidade das informações disponíveis e nível de comprometimento hídrico;
- d. Bacias hidrográficas como as dos rios Doce, Grande, Paranapanema e Paranaíba podem ser consideradas para a escolha visando a definição para o atendimento a essa meta, de acordo com as informações disponíveis de cada uma delas. Considerando o grande porte dessas bacias, recomenda-se que o projeto piloto seja desenvolvido para uma sub-bacia delas com situação de criticidade hídrica.

A implementação da PNRH tem na Agência Nacional de Águas (ANA) a sua executora na esfera federal, que se utiliza como documento balizador das ações em gestão integrada, a Agenda de Ações para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos (ciclo 2015-2019). A agenda foi atualizada para seu segundo ciclo de ações, tendo entre seus objetivos a ampliação do conhecimento hidrogeológico nacional, que busca dotar os órgãos

estaduais gestores de recursos hídricos de ferramentas técnico-gerenciais necessárias para promover a adequada gestão desses recursos.

A Agência Nacional de Águas, enquanto entidade federal implementadora da Política Nacional de Recursos Hídricos atua para a gestão integrada em sua atuação, por meio da instituição da Agenda de Ações para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos. A Agenda tem como objetivo principal fortalecer a implementação da gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas no Brasil.

A implementação do projeto piloto de gestão integrada na Bacia do Rio Carinhanha compreende a Ação A dessa Agenda: *“promoção da gestão integrada entre aquíferos conectados com rios federais”*, na busca de um dos objetivos específicos da Agenda, de *“promover a gestão integrada de recursos hídricos entre União e Estados”*, *“elaboração de avaliações para a gestão integrada”*, bem como *“proposição de marcos regulatórios e alocações”*.

No âmbito dessa Ação prevê-se atividades de diagnóstico, execução de avaliações hidrológicas e hidrogeológicas e proposição de instrumentos administrativos articulando União e Estados envolvidos.

A presente proposta técnica dispõe sobre a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos das bacias hidrográficas do Verde Grande e do Carinhanha e suas interações com os mananciais superficiais, com vistas a subsidiar a gestão integrada de recursos hídricos, especialmente com o uso e a ocupação da terra, por meio da apresentação de propostas de normas e procedimentos para a gestão das águas subterrâneas, bem como do estabelecimento de normas gerenciais, de curto prazo, necessárias para exploração sustentável desses mananciais.

O estudo em apreço deverá considerar todos esses aspectos e a integração dos seus resultados conduzirá à proposição de políticas e estratégias de manejo que busquem a preservação e o uso sustentável das águas superficiais e subterrâneas dessas bacias, contribuindo com o desenvolvimento regional com a qualidade de vida para a população.

O desenvolvimento desses estudos vem ao encontro das diretrizes gerais de ações previstas na Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (Lei nº 13.199/1999), assim como ao estabelecido no Decreto Estadual nº 41.578/2001; e também no que dispõe sobre a política, o gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (leis nº 6.855/1995 e 8.194/2002).

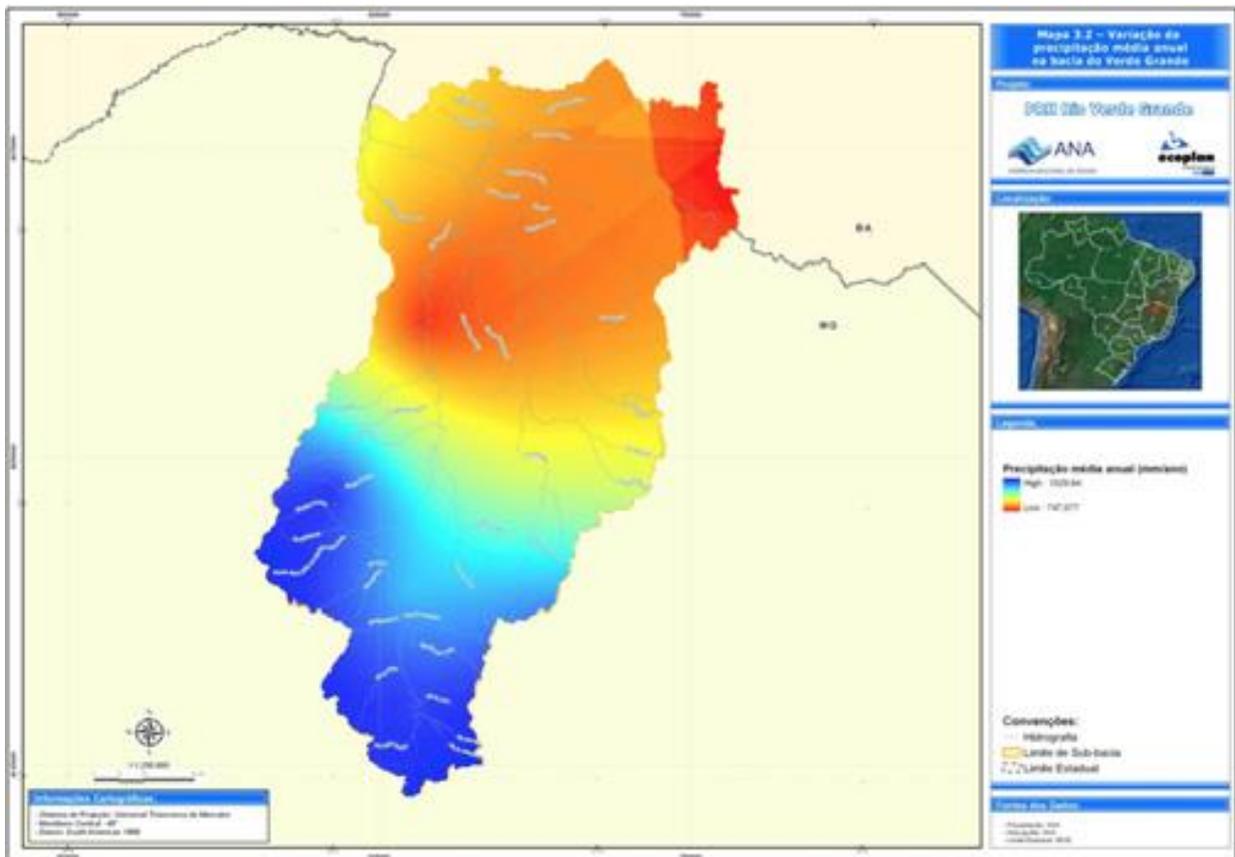
Por fim, ainda cabe destacar que o Senado Federal, por intermédio de seu Relatório sobre **“Segurança Hídrica e Gestão das Águas nas Regiões Norte e Nordeste”** (SENADO FEDERAL, 2017), cita formalmente a Agenda de Ações para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos em implementação pela Agência e recomenda a ampliação de seu orçamento e abrangência.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO

#### 3.1. Bacia do Rio Verde Grande

A Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande drena uma área aproximada de 31.410 km<sup>2</sup>, sendo que desse total 87% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante, 13%, ao Estado da Bahia. Estão inseridos nessa região 35 municípios, sendo 27 mineiros e 08 baianos. A demografia da bacia do Verde Grande é fortemente influenciada pela presença da cidade de Montes Claros, principal polo regional, com mais de 1/3 da população total da bacia.

A Bacia do Verde Grande possui grande variabilidade espacial da chuva. O total anual médio precipitado, considerando o período base de 1979 a 2002, é de 866 mm, sendo que os mais altos índices se concentram nas cabeceiras da bacia, atingindo valores anuais superiores a 1.030 mm. Conforme mostra a **Figura 3.1**, esses índices vão diminuindo gradualmente em direção ao centro da bacia, até atingir valores inferiores a 750 mm (ANA, 2013).



**Figura 3.1** - Distribuição da precipitação média anual na bacia do Verde Grande (ANA, 2013).

A distribuição da chuva na bacia ao longo do ano revela a existência nítida das estações seca e úmida. A análise da ocorrência de chuvas em anos diferentes mostra que em cerca de 20% dos anos, identificados como os mais secos, a chuva na bacia é inferior a 70% da chuva anual média, enquanto que no outro extremo, 20% dos anos, identificados como os mais úmidos, a chuva é superior a 130% da chuva anual média. Este fato comprova a elevada

variabilidade do regime de chuvas, o que se reflete no potencial hídrico dos mananciais da bacia, superficiais e subterrâneos.

Do ponto de vista geológico, o Rio Verde Grande corre sobre rochas carbonatadas do Subgrupo Paraopeba Indiviso (CPRM/COMIG, 2003). De acordo com ANA (2018) o vale do rio aparece esculpido no denominado Grupo Bambuí pouco deformado e caracterizado litologicamente por calcários expostos, apresentando muitas feições cársticas em superfície.

A Bacia do Verde Grande está situada sobre 03 unidades geomorfológicas que guardam estreita relação com a geologia e hipsometria. A Depressão Sanfranciscana, o Planalto São Francisco e o Planalto das Bordas do Espinhaço. As nascentes situadas nesta última unidade são perenes. A abundância de fontes e nascentes que alimentam a rede de drenagem superficial contribui para a manutenção dos tributários da margem direita do Verde Grande. Contudo, após atingirem a região mais plana, áreas de baixa produtividade de águas subterrâneas, esses cursos de água se tornam intermitentes.

As classes de solos predominantes na bacia são os Latossolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos (57% da área total), os Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos (26%) e os Neossolos (12%).

A Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande caracteriza-se pela presença de projetos de irrigação e pelo uso crescente da água subterrânea, especialmente procurada como uma alternativa à escassez hídrica superficial nos anos mais secos. Conflitos entre usuários e desatendimentos às regras de uso passaram a ser observados nos períodos hídricos críticos, principalmente a partir de 2013, quando grandes trechos do rio secaram.

A partir da década de 80 a implantação de grandes projetos de irrigação desencadeou um esgotamento progressivo dos recursos hídricos superficiais e consequente aumento do uso de águas subterrâneas. Aliado à ocorrência de períodos de estiagem prolongada, iniciou-se um desequilíbrio do balanço de água do sistema hídrico, evidenciado tanto pela ausência de água na calha de drenagem do Rio Verde Grande, quanto pela diminuição da vazão de poços tubulares profundos.

Como já descrito, a regulação dos usos dos recursos hídricos do Rio Verde Grande foi inicialmente definida no marco regulatório contido na Resolução ANA 802/2008, posteriormente revisado pelas resoluções ANA 637/2014, 933/2015 e 1132/2015. O novo marco regulatório do Rio Verde Grande está em revisão e prevê uma análise integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e a divisão da bacia em 04 trechos, ou subsistemas hídricos, denominados de Alto Verde Grande, Médio Superior Verde Grande, Médio Inferior Verde Grande e Baixo Verde Grande.

Como a região situa-se em uma área cárstica onde existe uma complexidade inerente ao terreno que se reflete no ciclo da água, é comum a presença de dolinas, sumidouros e outras feições cársticas que controlam a dinâmica hídrica na região. Essas feições e sua consequente dinâmica hídrica local são, entretanto, pouco conhecidas em escala apropriada a uma gestão adequada dos recursos hídricos. Por exemplo, no Baixo Verde Grande, na região

de Jaíba (MG), sumidouros a montante da sede municipal promovem forte impacto nas vazões a jusante.

ANA (2018) descreve um processo de alteração das condições de circulação hídrica superficial e subterrânea, com a ocorrência de ações descontroladas do uso das águas, seja pelo desconhecimento da implantação de barragens e das vazões bombeadas no próprio Rio Verde Grande, seja pelo número de usuários e poços tubulares profundos atualmente ativos, com desconhecimento das vazões explotadas. A ausência de uma rede de monitoramento hidrológico/hidrogeológico impossibilita a aplicação de medidas de gestão integrada eficientes a longo prazo.

Com base na justificativa de que a região merece uma atenção especial em termos de avanço do conhecimento da dinâmica hídrica e da atualização do cadastro de usuários, vazões, volumes atualmente utilizados, tanto de águas subterrâneas como superficiais, demanda-se a realização de estudos específicos com vistas a subsidiar a gestão integrada de recursos hídricos na região, no que tange à atuação da ANA e do IGAM na região.

Uma descrição mais detalhada das 03 áreas selecionadas para os estudos pilotos é apresentada nos subitens abaixo.

### 3.1.1. *Bacia do Rio Vieira*

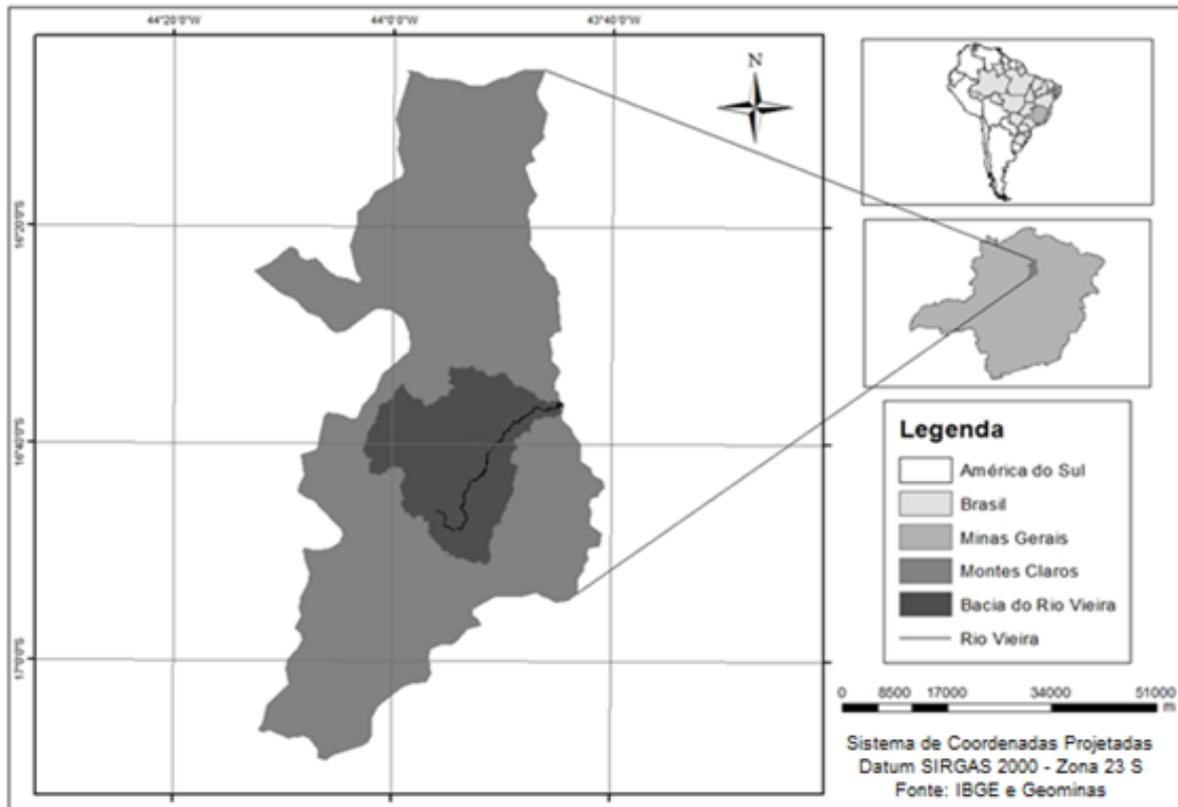
A Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, com uma área de 579 km<sup>2</sup>, está localizada na mesorregião do norte do Estado de Minas Gerais, na região hidrográfica do Verde Grande. O Rio Vieira tem sua nascente principal na Fazenda dos Vieiras, segmento da Serra do Ibituruna, como mostra a **Figura 3.2**.

A Bacia Hidrográfica do Rio Vieira inclui toda a área urbana da cidade de Montes Claros (MG) e está totalmente inserida neste município mineiro, ocupando pouco mais de 16% da sua área total de 3.581 km<sup>2</sup>.

De acordo com ANA (2018), o aquífero que ocorre nessa área é o Aquífero Cárstico, desenvolvido nos 120 metros iniciais da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí. Este aquífero apresenta 02 comportamentos distintos condicionados por características litológicas e topográficas distintas da Formação Lagoa do Jacaré. São eles:

- 1) Aquífero cárstico desenvolvido na Formação Lagoa do Jacaré Inferior: ocupa a porção leste da área piloto em cotas baixas e topografia relativamente plana. A litologia predominante é representada por uma alternância de metassiltitos e calcários exibindo carstificação discreta. A zona urbana de Montes Claros situa-se nessa porção.
- 2) Aquífero cárstico desenvolvido na Formação Lagoa do Jacaré Superior: ocupa a porção oeste da área piloto em cotas altas e topografia acidentada, com desnível médio da ordem de 120 metros em relação à zona urbana. A litologia predominante é representada por calcários escuros exibindo uma grande

diversidade de feições cársticas amplamente distribuídas. É a principal área de recarga na área piloto.



**Figura 3.2** - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira (Barros *et al.*, 2016).

A análise dos dados de vazão e profundidade dos poços existentes sugere que abaixo dos 120 metros dificilmente se encontram estruturas cársticas. Assim sendo, considera-se que o Aquífero Lagoa do Jacaré, desenvolvido em rochas cársticas da Formação Lagoa do Jacaré, do Grupo Bambuí, tem no máximo 120 metros de espessura. As vazões, nesse aquífero, variam comumente entre 20 e 30 m<sup>3</sup>/h na área urbana de Montes Claros. Observam-se, entretanto, zonas isoladas onde as vazões ficam acima de 40 m<sup>3</sup>/h. Nessas zonas os valores podem chegar a 100 m<sup>3</sup>/h e estão, aparentemente, alinhadas nas direções NNE-SSW, E-W e NW-SE.

Os levantamentos geofísicos sugerem que os calcários da Formação Lagoa do Jacaré Superior têm expressividade aquífera maior que os metassiltitos e calcários da porção inferior dessa formação. Sugerem também um extravasamento para sudeste da área piloto dos calcários aquíferos da Formação Lagoa do Jacaré Superior, com sedimentos carbonatados com espessura mínima de 1.600 metros e com espessura saturada não ultrapassando 120 metros.

As recargas que ocorrem na Bacia do Rio Vieira são da ordem de 7,2% da pluviometria anual média local, considerada como 1.100 mm. Isso equivale, em termos médios, a 46 hm<sup>3</sup>/ano. Essas recargas foram avaliadas a partir dos dados históricos de deflúvios (30 anos)

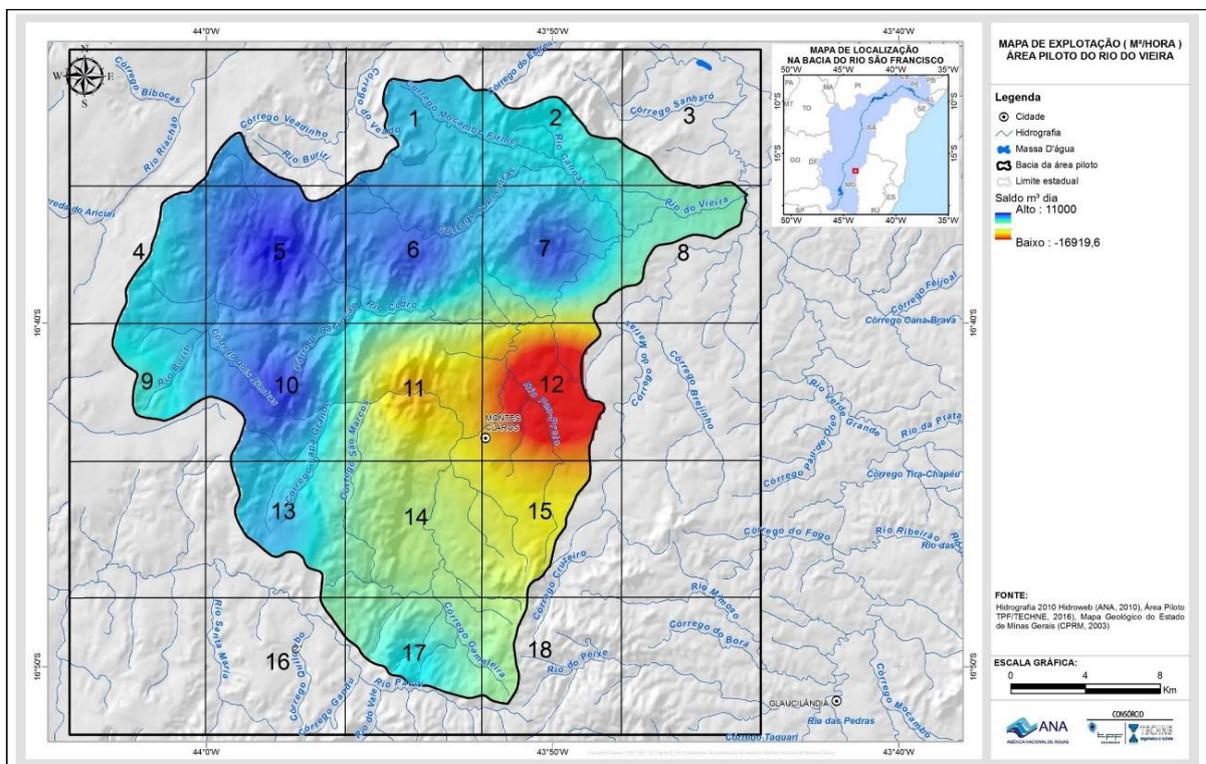
registrados nas estações fluviométricas de Ponte dos Ciganos, Claro dos Poções e Colônia do Jaíba. As reservas e recursos hídricos subterrâneos avaliados são mostrados na **Tabela 3.1**.

**Tabela 3.1** - Síntese da avaliação dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia do Rio Vieira.

|   |                                  |          |
|---|----------------------------------|----------|
| <b>Reservas</b>                                 | Saturação (hm <sup>3</sup> )     | 6.950,00 |
|   | Sob Pressão (hm <sup>3</sup> )   | --       |
| <b>Exploração</b>                               | Efetiva (hm <sup>3</sup> /ano)   | 39,00    |
|   | Instalada (hm <sup>3</sup> /ano) | 334,00   |
| <b>Recarga (hm<sup>3</sup>/ano)</b>             |                                  | 46,00    |
| <b>Reserva Explotável (hm<sup>3</sup>/ano)</b>  |                                  | 14,00    |
| <b>Saldo da exploração (hm<sup>3</sup>/ano)</b> |                                  | -25,00   |

Comparando o valor de recarga apresentado na **Tabela 3.1** (46 hm<sup>3</sup>/ano,) obtido a partir da análise de 30 anos de recessão em 03 bacias distintas, aos valores explorados pelos poços, pode-se observar que a exploração de água subterrânea vem se fazendo em regime de exaustão, de modo que eventuais incrementos de descarga merecem ser ponderados com cautela.

Dessa forma, segundo ANA (2018), a região do Alto Verde Grande, no perímetro urbano de Montes Claros (MG), já apresenta déficit hídrico subterrâneo, com exploração, através de poços tubulares, superior à recarga dos aquíferos (**Figura 3.3**).

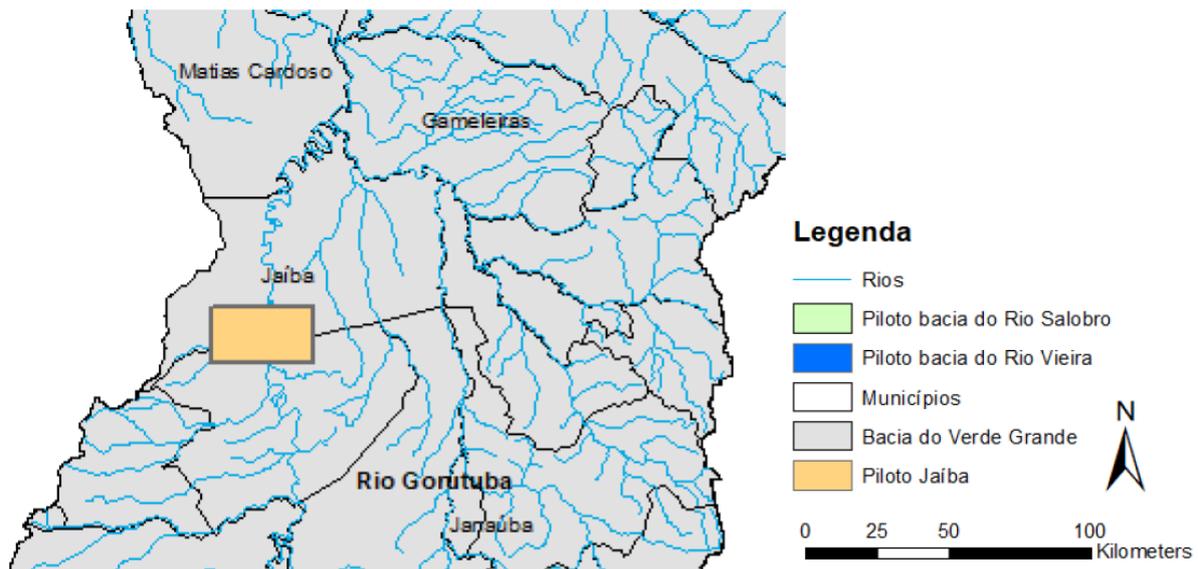


**Figura 3.3** - Mapa de exploração da Bacia Rio Vieira, região de Montes Claros (MG).

### 3.1.2. Área do Jaíba (MG)

A cidade de Jaíba (MG) ocupa ambas as margens do Rio Verde Grande, afluente pela margem direita do Rio São Francisco, no norte de Minas Gerais, já perto da fronteira com a Bahia. Afloram em toda a região rochas carbonatadas do Subgrupo Paraopeba Indiviso, pertencente ao Grupo Bambuí.

A área a ser estudada foi definida em conjunto entre os técnicos da ANA e IGAM, considerando-se estudo anterior desenvolvido pelo CETEC (1982). Trata-se de uma área de 784 km<sup>2</sup>, representada por um perímetro de entorno aos pontos de surgências e insurgências no leito do Rio Verde Grande, localizados 3 km a montante da sede do município de Jaíba (MG), conforme mostra a **Figura 3.4**.



**Figura 3.4** - Mapa de localização da área piloto do Jaíba (MG).

De acordo com ANA (2018), no ano de 2013, o Rio Verde Grande estava com nível muito baixo devido ao fraco período chuvoso 2012/2013 (543,3 mm em 2012), como registrado na estação de Juramento (83452 INMET) em Montes Claros (MG). Cinco quilômetros a montante da cidade de Jaíba (MG), as baixas águas deixaram perceber a existência de 03 sumidouros que absorviam parte do escasso fluxo do rio. Em dezembro deste mesmo ano ocorreu na região a maior pluviometria mensal, considerando um período de 27 anos, submergindo a entrada do grande sumidouro. O período chuvoso seguinte, 2013/2014, foi acima das médias registradas, mas com as chuvas concentradas apenas nos meses de novembro, dezembro e janeiro, fazendo com que em outubro o sumidouro já estivesse novamente seco.

Esse comportamento do sumidouro sugere que as estruturas cársticas observadas no leito e no flanco do canal do Rio Verde Grande se comportam ora como sumidouros, ora como surgências, na dependência das relações de carga hidráulica entre o rio e o freático regional.

Nessa concepção, o Rio Verde Grande teria um comportamento influente, quando em altas águas, e efluente, nas baixas águas.

Por meio de estudos geofísicos, especialmente de eletrorresistividade, foi possível detectar zonas mais intensamente carstificadas na região, entretanto, considerando os resultados obtidos em ANA (2018), é sugerida uma varredura mais densa com a mesma metodologia.

Segundo ANA (2017c), houve uma vistoria à região de Jaíba por técnicos da ANA em março de 2017, às coordenadas 15° 22' 53" Sul e 43° 41' 06" Oeste, quando o Rio Verde Grande estava com baixa vazão e conforme foi registrado no Parecer Técnico nº 6/2017/SER. A verificação em campo demonstrou que a vazão no rio 10 metros a montante do "sumidouro" era igual a 425 l/s, enquanto a vazão em ponto 20 metros a jusante era igual a 192 l/s. Não foi observado qualquer uso entre os dois pontos de medição, ou seja, 233 l/s "sumiram" entre um ponto e outro. Este parecer técnico avalia que a confirmação do comportamento hidráulico do rio nesse trecho dependerá, então, de monitoramento contínuo a ser realizado nas diversas situações hídricas, tanto de afluência do rio quanto de disponibilidade no aquífero, resultados ainda inexistentes.

### 3.1.3. *Bacia do Rio Salobro*

A Bacia Hidrográfica do Riacho Salobro, com uma área de 525 km<sup>2</sup>, está localizada na mesorregião do norte do Estado de Minas Gerais, na sub-bacia do Médio Verde Grande. A área se localiza no município de São João da Ponte (MG). O Riacho Salobro, formado pelos córregos Tamboril e Matão, é afluente da margem esquerda do Rio Verde Grande, como mostra a **Figura 3.5**.



Lagoa do Jacaré (Aquífero Fraturado-Cárstico), onde ocorrem fendas com água entre 8 e 112 metros de profundidade; e as coberturas detrito-lateríticas e aluvionares (Aquífero Granular), cujas espessuras são variáveis com até 34 metros e média de 17 metros. A recarga natural de aquíferos é, predominantemente, pluvial e ocorre ao longo de toda superfície do terreno.

Como descrito anteriormente, o estudo da MDGEO (2016), realizado na Fazenda Santa Mônica, não apresentou resultados consistentes para demonstrar e confirmar a sustentabilidade hídrica deste empreendimento a partir das explorações atuais de águas subterrâneas, especialmente pela falta de dados hidrogeológicos e hidrológicos, propondo inclusive um plano de monitoramento dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) que se encontra em parte implantado e em operação.

#### *3.1.4. A Delimitação das Áreas Pilotos da Bacia do Rio Verde Grande*

O carste é um tipo bastante particular de relevo que tem sua gênese relacionada a processos de dissolução geoquímica associada à hidrodinâmica e condicionantes litoestruturais, sendo caracterizado por uma vasta gama de feições (cavernas, dolinas, vales cegos), um sistema de drenagem subterrânea bem desenvolvido e uma forte interação entre a circulação das águas superficiais e subterrâneas. A heterogeneidade e a anisotropia podem ser consideradas como um dos principais atributos dos sistemas cársticos que apresentam mudanças muito rápidas, ao longo do tempo e no espaço.

Nos terrenos cársticos, as águas subterrâneas e superficiais constituem um único sistema dinâmico e estão hidraulicamente conectadas por meio de numerosas formas cársticas que facilitam e governam a troca de água entre a superfície e a subsuperfície. Assim sendo, esta complexidade da dinâmica de circulação e armazenamento de água no aquífero, induzida pela heterogeneidade das formas cársticas superficiais e subterrâneas, dificulta sobremaneira a quantificação dos volumes de água que fluem no sistema. Entretanto, compreender a interação das águas subterrâneas e superficiais nos aquíferos cársticos e fissuro-cársticos e mensurar a disponibilidade existente é essencial para a gestão dos recursos hídricos.

Em conformidade com esses conceitos apresentados buscou-se estabelecer, a partir das áreas consideradas críticas para o desenvolvimento dos estudos com vistas à apresentação de proposta para gestão integrada, condições de contorno que permitissem a investigação, de forma mais consistente, considerando compartimentos do sistema hidrogeológico. Tais limites apoiam-se em trabalhos realizados na Bacia do Verde Grande, especialmente nas áreas propostas ou em suas adjacências.

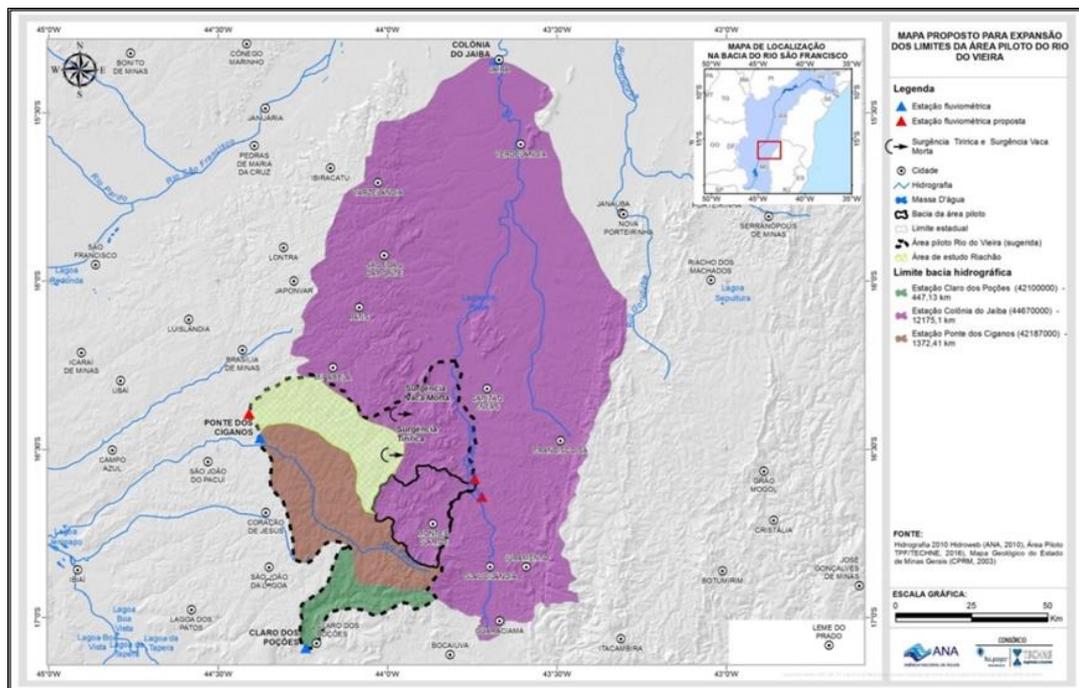
##### *3.1.4.1. Em Relação à Bacia do Rio Vieira*

Estudos efetuados pela ANA (2018) na Bacia do Rio Vieira, em particular aqueles relacionados aos métodos adotados para estimativa das recargas, demonstraram perdas significativas dos volumes infiltrados para outras sub-bacias. Diante desta constatação é

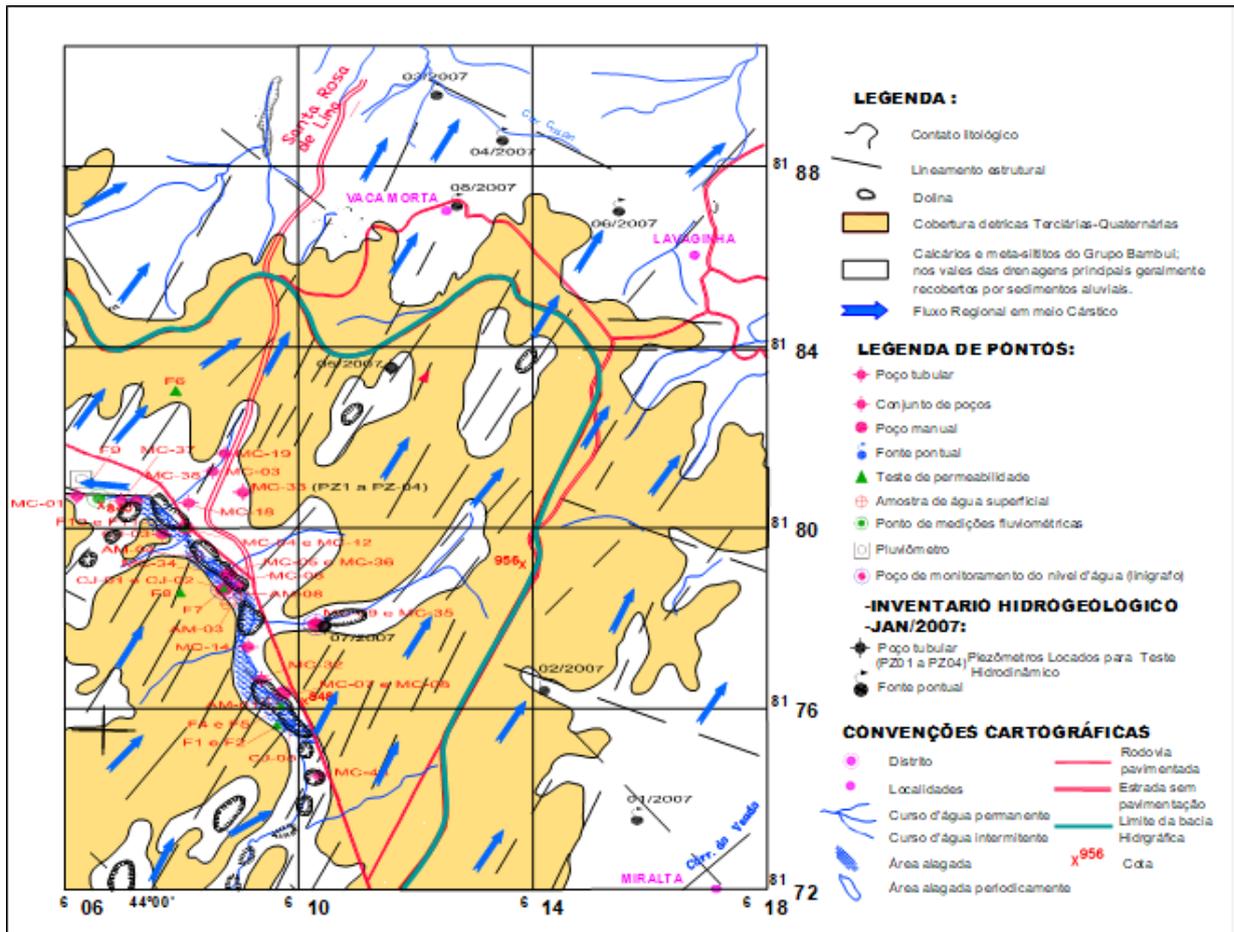
importante salientar que o entendimento conjunto das parcelas circulantes (precipitação, escoamento superficial, escoamento subterrâneo) deve estar sempre e inexoravelmente associado a um dado sistema aquífero, uma vez que é exatamente esse ambiente que funciona como uma válvula de controle dos aportes meteóricos, permitindo ou inibindo sua entrada, retendo por maior ou menor intervalo de tempo o seu trânsito, e retornando suas parcelas em maior ou menor escala rumo às calhas de drenagem, para manutenção de suas descargas.

Desta forma se faz necessária a ampliação da área original da Bacia do Rio Vieira, descrita no item 3.1.1., delimitada por bacias vizinhas, incluindo a Bacia do Rio Riachão, e por parte da Bacia hidrográfica do Rio Verde Grande considerado um domínio de controle mais adequado sobre o cômputo das recargas incidentes (**Figura 3.6**).

Reforçando a extensão norte e noroeste desta área piloto, representada pela Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, IGAM (2007) em estudo realizado na Bacia do Rio Riachão identificou, com base em aspectos morfoestruturais e análises isotópicas, a existência de fluxo subterrâneo regional no sentido NE (nordeste), ao longo do acamamento das rochas carbonatadas e pelítico-carbonatadas, tendo como nível de base o Rio Verde Grande. É registrado que o escoamento natural de água subterrânea a maiores profundidades no Sistema Aquífero Cárstico origina-se a SW da Lagoa Tiririca, até a zona de descarga natural, nos contrafortes da Serra de Santa Rosa de Lima, onde estão as fontes Vaca Morta, do Carmino, do Crispim e do Furadinho em Lavaginha. A **Figura 3.7** ilustra o modelo hidrogeológico concebido e destaca que o fluxo para NW extrapola os limites topográficos na Bacia do Rio Riachão sendo presumido em sua porção adjacente a sudeste.



**Figura 3.6** - Mapa da expansão dos limites da área piloto da Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira.



**Figura 3.7** - Modelo de funcionamento hidrogeológico no Alto-curso do Riachão e faixa ocidental da Sub-bacia do Rio Verde Grande (IGAM, 2007).

Estruturas de monitoramento foram implantadas, na Bacia do Rio Riachão, durante o desenvolvimento do projeto, pela CPRM e IGAM, “Águas do Norte de Minas Gerais” (PANM), compreendendo 06 (seis) poços tubulares de acompanhamento do nível d’água, 04 (quatro) estações climatológicas, 02 (dois) pontos de medição de vazão, 02 (duas) estações fluviométricas automáticas, 01 (uma) estação fluviométrica calha *Parshall* e 02 (duas) estações pluviométricas automáticas (**Figura 3.8**).



apontado que a carstificação na Depressão Sanfranciscana representou fator limitante para o desenvolvimento de uma drenagem subaérea.

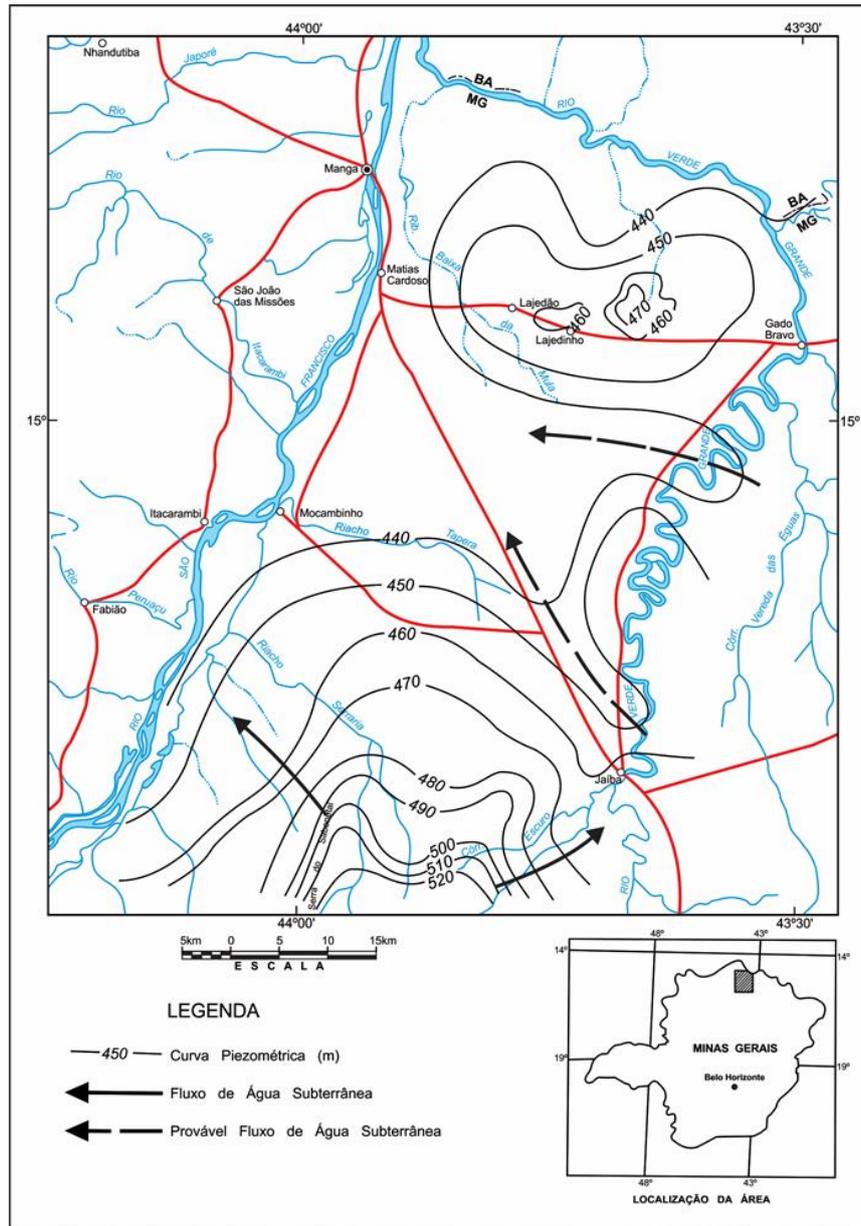
Os processos de dissolução foram evidenciados, sobretudo a profundidades rasas, em torno de 30 metros, o que foi interpretado como resultante do pequeno desnível entre o Rio São Francisco e o topo dos depósitos de cobertura. A região no entorno da cidade de Jaíba é assinalada como típica na evolução do carste.

Os estudos hidrológicos mostraram a existência de descarga subterrânea ao Rio Verde Grande de 0,5 a 1,0 m<sup>3</sup>/s, entre Barreiro do Jaíba e Jaíba. Os dados piezométricos disponíveis na época – incluindo rede de monitoramento instalada para o projeto - não revelaram um divisor de água entre os rios São Francisco e Verde Grande, mas uma superfície piezométrica inclinada que ascende a partir do Rio São Francisco. A área com níveis piezométricos mais profundos, próximo a Jaíba, foi associada a um sistema cárstico melhor desenvolvido. A comparação da piezometria com a cota do Rio Verde Grande revelou que (**Figura 3.9**): i) no trecho Barreiro da Jaíba - Jaíba o rio é efluente (recebe descarga de água subterrânea); ii) no trecho Jaíba - 10 km a jusante, o rio é possivelmente influente (perde água ou está próximo de perdê-la).

Por meio da análise das variações piezométricas, a área foi dividida em várias zonas com comportamentos diferentes (**Figura 3.10**). Destas zonas, duas se destacam: Serra do Sabonetal e ao redor da cidade de Jaíba. A zona Serra do Sabonetal representa a parte sul da área, sendo caracterizada por recarga moderada, muito difusa e com armazenamento reduzido. No entanto, a noroeste e sudeste desta zona verificou-se menor difusividade e maior armazenamento de água, com circulação para o Rio São Francisco (lado noroeste) e para o Rio Verde Grande (trecho a montante de Jaíba), com uma possível componente para Jaíba. Já a zona ao redor da cidade de Jaíba é distinguida pela notável heterogeneidade, sendo percebida uma faixa de permeabilidade preferencial (carste) que conduz o fluxo de água para o Plano Central e que pode receber água do lado sudeste da Serra do Sabonetal e do Rio Verde Grande.

As variações de condutividade elétrica e das vazões no Rio Verde Grande contribuíram na fundamentação dos aspectos percebidos nos estudos descritos anteriormente. A relativa constância encontrada a montante da cidade de Jaíba foi associada a uma maior regularidade na contribuição subterrânea.

Resultados semelhantes aos obtidos por CETEC (1982) foram alcançados por Silva (1994), que demonstrou que o Rio Verde Grande recebe uma restituição importante do aquífero a montante de Jaíba e que as águas infiltradas na Serra do Sabonetal circulam em direção à região desta mesma cidade, onde se constatou um armazenamento importante de água subterrânea. Além disso, foram apontadas evidências de circulação preferencial a partir do entorno de Jaíba em sentido noroeste.



**Figura 3.9** - Mapa potenciométrico elaborado para o período de janeiro-fevereiro de 1979, considerado extraordinariamente úmido (CETEC, 1982).







**Figura 3.12** - Pontos de monitoramento implantados na Fazenda Santa Terezinha e entorno, Bacia do Rio Salobro (MDGEO, 2016).

### 3.1.4.3. Áreas Piloto da Bacia do Rio Verde Grande

Tendo como fundamento os resultados obtidos nos trabalhos previamente mencionados e no esforço de que os estudos propostos - em caráter multidisciplinar, integrado e sistêmico - abranjam da forma mais aproximada possível, compartimentos dos sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico, promoveu-se a expansão dos limites de investigação das áreas piloto originais considerando condições de contorno mais adequadas à dinâmica do fluxo subterrâneo. Entende-se que esta nova conformação irá proporcionar maior segurança e consistência aos produtos e objetivos pretendidos, dos quais se destacam: definição do modelo hidrogeológico conceitual e numérico, com estabelecimento de cenários; indicação de uma rede integrada superficial/subterrânea; concepção de um plano de gestão contemplando a apresentação de alternativas de curto, médio e longo prazo para o suprimento das demandas.

Em função principalmente das conclusões depreendidas dos trabalhos de IGAM (2007) e ANA (2018), apresenta-se como região de investigação para área piloto da Bacia do Rio Vieira aquela delimitada em ANA (2018). Os limites correspondem ao Rio Verde Grande a leste; aos divisores das bacias hidrográficas dos rios Riachão e Barreiras ao norte; a linha que segue a crista da elevação dos terrenos e une os pontos de monitoramento fluviométrico nos

rios Riachão, Pacui e São Lamberto, a oeste; e a borda da bacia deste último curso d'água, ao sul. Destaca-se a existência de uma gama de informações e estruturas de monitoramento recentes que irão contribuir significativamente aos estudos propostos:

- Relatório de mapeamento geológico da bacia hidrogeológica representativa: Bacia do Rio Riachão Escala 1:25.000 (CPRM/IGAM, no prelo);
- Relatório de caracterização hidrogeológica da bacia representativa do Rio Riachão (CPRM/IGAM, no prelo);
- Estações de monitoramento de nível d'água, climatológicas, pluviométricas e fluviométricas implantadas no Rio Riachão pela CPRM/IGAM (no prelo) na Bacia do Rio Riachão e entorno;
- Relatório Final da área piloto da Bacia do Rio Vieira (ANA, 2018).

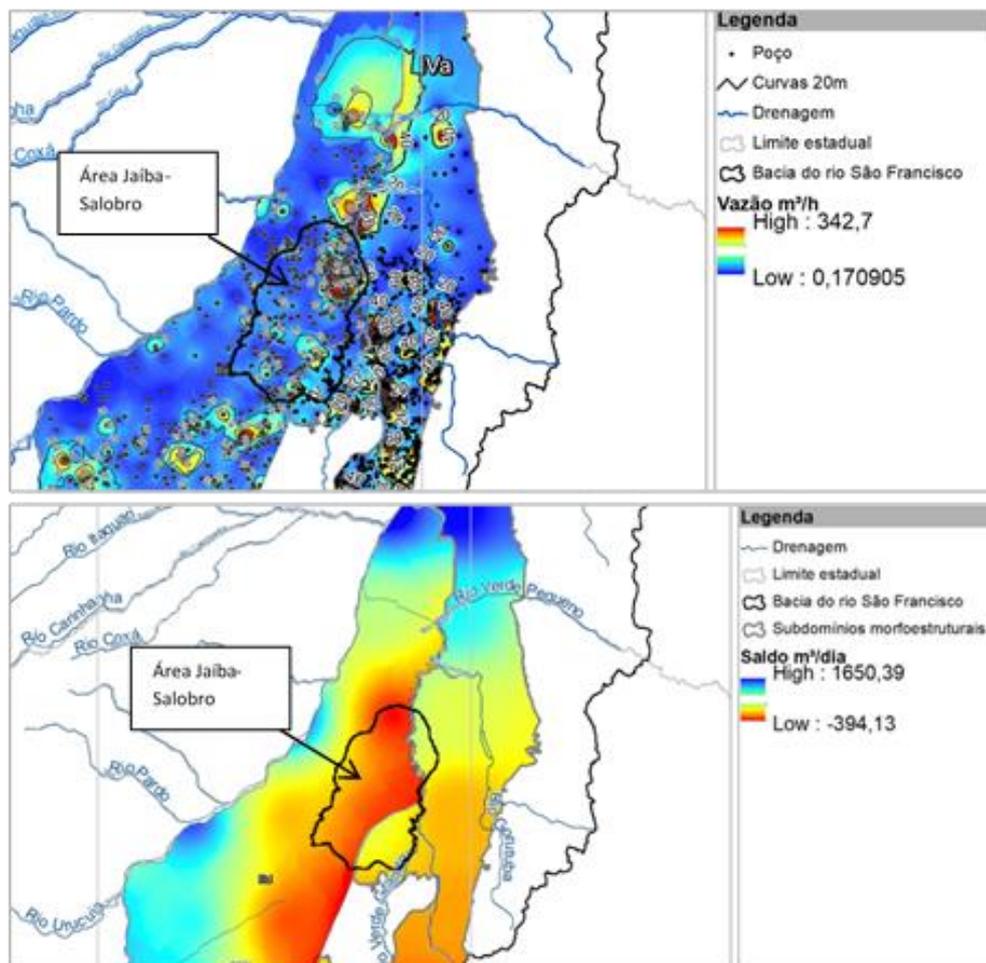
Para o desenvolvimento das áreas de Jaíba (MG) e da Bacia do Rio Salobro assinala-se, como mais efetivo para a execução dos estudos, promover a integração das duas áreas seguindo condições de contorno inferidas a partir dos trabalhos de CETEC (1982), Silva (1994) e ANA (2018). Desta forma, são os seguintes os limites: a leste compreende o divisor do Córrego Bom Jardim, a cumeeira da Serra do Jaíba e uma linha distanciada em média 3 km do leito do Rio Verde Grande; a sul e a oeste refere-se a um traçado igualmente afastado 3 km do limite topográfico da bacia do rio Salobro e da bacia do rio Verde Grande, passando na porção noroeste a acompanhar a crista da Serra do Sabonetal. A demarcação norte foi orientada pela área de interesse de investigação geofísica detalhada em função da ocorrência de estruturas com comportamento hidrogeológico ainda pouco compreendido. Cabe ressaltar que a área envolve região em que a exploração da água subterrânea é elevada e o excedente hídrico (considerando o valor da recarga subtraída a descarga) atinge níveis baixos a medianos (ANA, 2018; **Figura 3.13**).

Além dos aspectos expostos, outros fatores contribuíram decisivamente para se definir esta área de investigação:

- A porção noroeste da área abrange parte da área fundiária do Projeto Jaíba, referente às etapas III e IV que correspondem respectivamente a 12.200 hectares e 9.734 hectares irrigáveis, que ainda não receberam a infraestrutura específica de irrigação (DIJ, 2018).
- A importância percebida de se incluir a Bacia do Rio Macaúbas, com confluência a 16 km a montante de Jaíba (MG), por ser este um importante afluente do Rio Verde Grande e ter sido objeto de estudo detalhado pela CPRM/IGAM (no prelo), envolvendo mapeamento geológico em escala 1:25.000 e a caracterização hidrogeológica com base na análise e interpretação das estruturas de monitoramento implantadas (poços e estações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas). Admite-se que as relações de fluxo presumidas a partir da Serra do Sabonetal para o Jaíba possa se reproduzir para

a extensão da Serra de São Felipe, limite ocidental da Bacia do Verde Grande nesse setor.

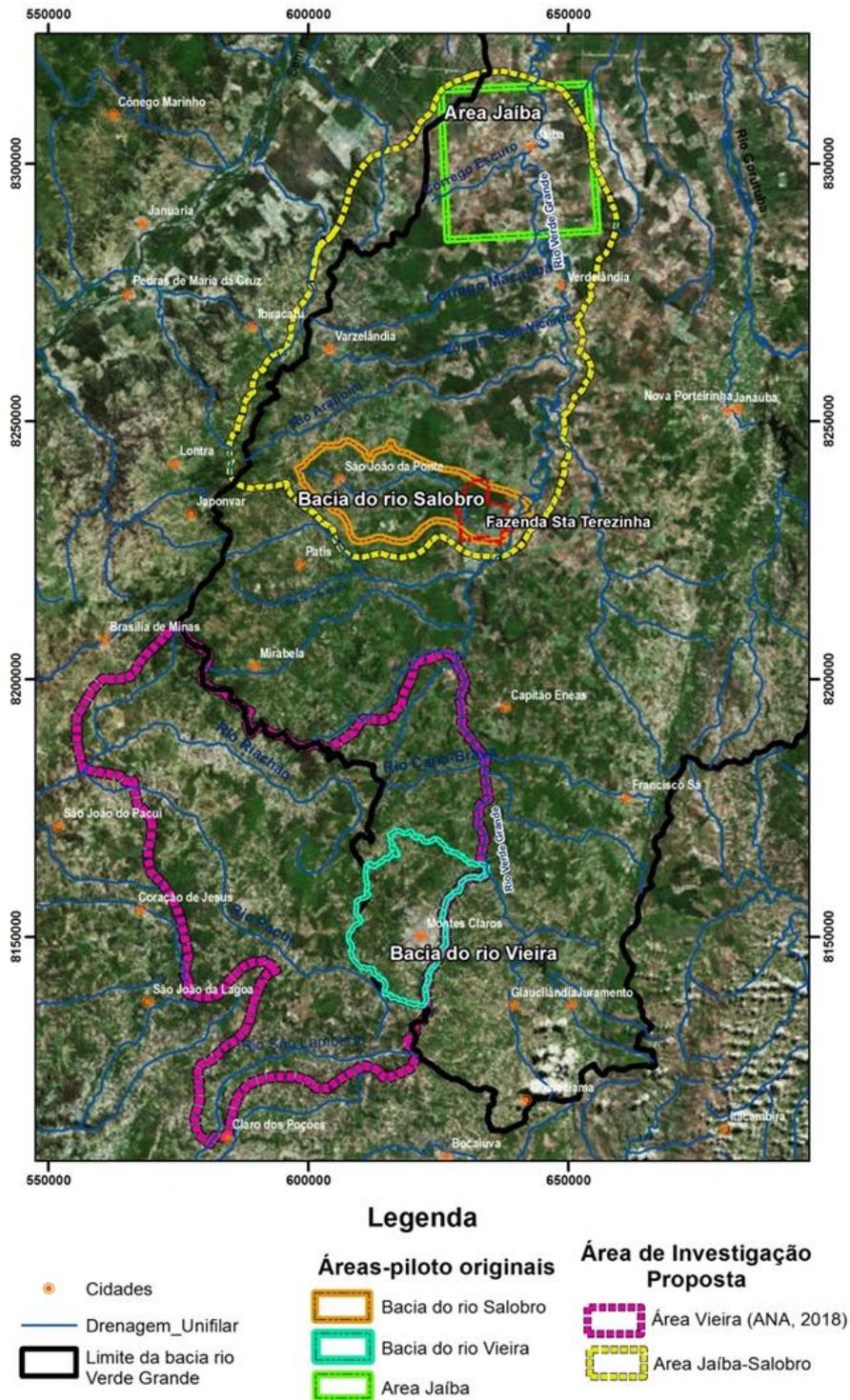
- Igualmente para a região do Jaíba considera-se que a interpretação conjunta das informações e resultados da rede de monitoramento já implantada e a instalar no âmbito do projeto será favorecida, de forma significativa, com todo o arcabouço de conhecimento e instrumentação existente na Bacia do Rio Macaúbas tendo em vista a semelhança do contexto hidrogeológico/geológico conforme apresentado por ANA (2018).



**Figura 3.13** - Exploração de água subterrânea e excedente hídrico para a área piloto Jaíba-Salobro (ANA, 2018).

Desta forma, a realização dos estudos previstos incluindo os mapeamentos temáticos (geologia, solos, uso e ocupação da terra, etc.), em escala 1:50.000, entretanto para o cadastramento integral de pontos d'água e o levantamento das informações de hidrogeologia e geologia estrutural ocorrerá em escala 1:25:000 nas áreas originais do Jaíba (apresentada no Item 3.1.2), da Bacia do Rio Vieira (apresentada no Item 3.1.1) e da Bacia do Rio Salobro (apresentada no Item 3.1.3). Para a superfície complementar prevista, os trabalhos

envolveriam a investigação em caráter mais regional e o cadastramento seletivo de pontos d'água. Não obstante, pretende-se obter todas as informações consideradas necessárias para a compreensão satisfatória do comportamento do sistema hidrogeológico nas áreas ampliadas. A **Figura 3.14** apresenta a delimitação das 02 (duas) áreas piloto.



**Figura 3.14** – Áreas pilotos da Bacia do Rio Verde Grande.

### 3.2. Bacia do Rio Carinhanha

A Bacia Hidrográfica do Rio Carinhanha abriga um dos mais importantes afluentes do rio São Francisco. Situada na margem esquerda do Velho Chico, a Bacia do Rio Carinhanha é constituída principalmente pelos rios Itaguari e Carinhanha, ambos de domínio da União, por delinearem a divisa geopolítica entre os estados da Bahia e Minas Gerais.



Figura 3.6 - Contexto hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Carinhanha.

A bacia tem 17.178 km<sup>2</sup> de área, representa o limite norte da região do Alto São Francisco (**Figura 3.6**), segundo a nova subdivisão aprovada pela Câmara Técnica de Planos, Programas e Projetos do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, em janeiro de 2016. A bacia inclui os municípios baianos de Cocos, Feira da Mata, Carinhanha e Coribe; e os mineiros de Formoso, Chapada Gaúcha, Januária, Bonito de Minas, Cônego Marinho, Montalvânia, Juvenília e os limites de Arinos, Miravânia e Manga.

A região tem como principal atividade econômica a agricultura que se dá principalmente nas áreas de chapada, com destaque ao município de Cocos que ocupa aproximadamente 50 % da área total da bacia e tem cerca de 60% do seu produto interno bruto (PIB) dominado pela agropecuária.

Tendo em vista o pleno desenvolvimento da principal atividade econômica, o uso da água na região é marcante, especialmente pela presença comum de pivôs de irrigação que captam água dos rios ou águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Urucuia e Cárstico. Empreendimentos importantes de cultura de soja, café, fumo e criação de gado leiteiro dominam a área da bacia.

Segundo dados do levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (ANA, 2014), a Bacia do Rio Carinhanha pertence a um dos principais polos nacionais de irrigação por pivôs, o Oeste Baiano. O Atlas Irrigação (ANA, 2017b) atribui um potencial de expansão da área irrigada de mais de 100% na bacia do Carinhanha, principalmente na porção baiana.

A Bacia do Rio Carinhanha tem quase toda a sua área dentro do novo polígono do semiárido, conforme estabelecido pelo Conselho Deliberativo da SUDENE (CONDEL), em novembro e 2017.

A hidrogeologia da Bacia Hidrográfica do Rio Carinhanha é constituída por dois sistemas aquíferos importantes da região hidrográfica do São Francisco: o Sistema Aquífero Cárstico e o Sistema Aquífero Urucuia. Na bacia predomina o Urucuia, que ocupa 67% da área da bacia, seguido do Aquífero Cárstico (15%) e, completando o restante da área, aquíferos formados por coberturas sedimentares recentes (18%) (**Figura 3.7**).

Os sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico presentes na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco apresentam uma área total de exposição de 110 mil km<sup>2</sup>, constituídos por rochas pelíticas e sequências de rochas carbonáticas, onde é comum a presença de feições de dissolução nas rochas, propiciando a formação de dolinas e sumidouros. Na área da Bacia do Rio Carinhanha ocorre especificamente o Sistema Aquífero Bambuí (Cárstico e Fissuro-Cárstico), com a presença das rochas das formações Lagoa do Jacaré, Sete Lagoas e Serra de Santa Helena. Esse manancial tem extensão regional, e ocorre de forma heterogênea e anisotrópica, especialmente devido à diversidade litológica.

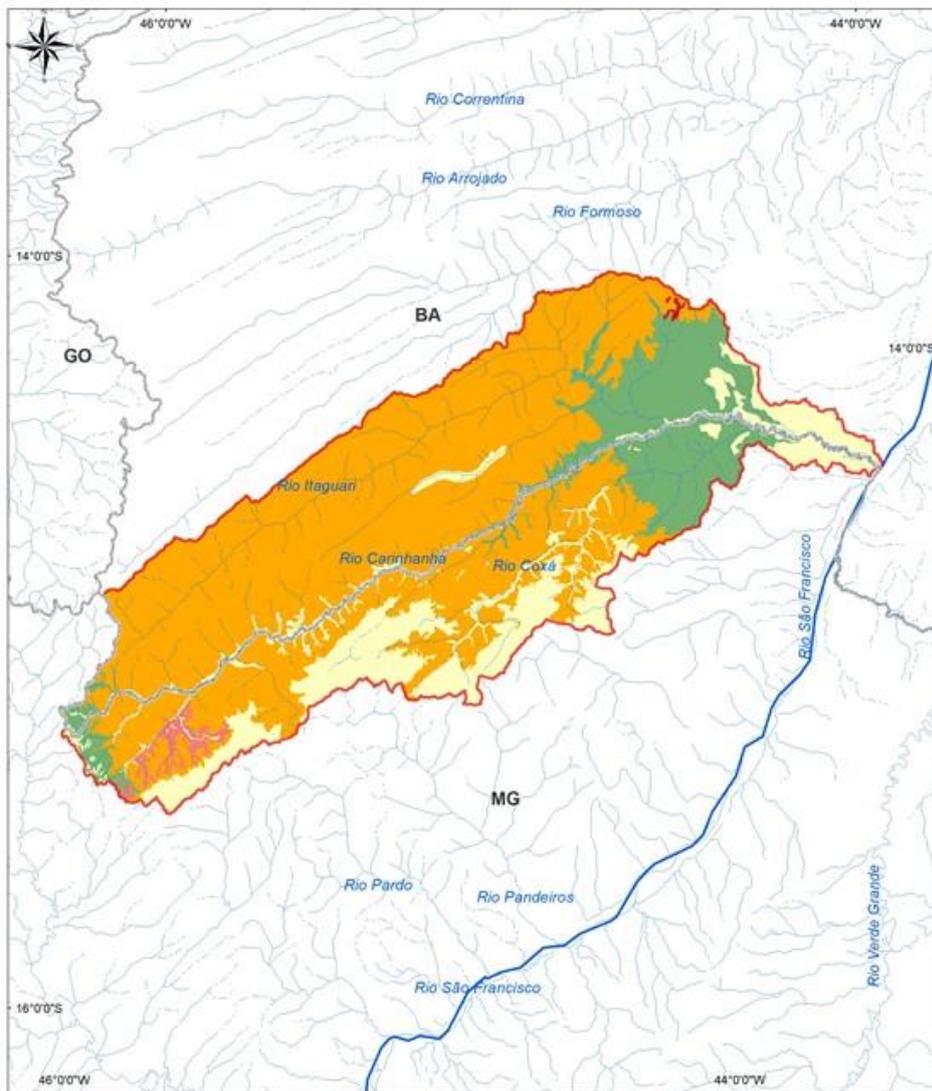
A ocorrência do Sistema Aquífero Bambuí é estratégica na Região Hidrográfica do São Francisco, tido, em vários locais como única fonte de disponibilidade hídrica devido ao baixo índice pluviométrico e a baixa densidade de drenagem da região. As águas subterrâneas do

Sistema Aquífero Cárstico são águas com dureza elevada e existem caso de regiões onde o alto teor natural do flúor ocasiona problemas de fluorose na população.

O Sistema Aquífero Urucuia é constituído por quartzo arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados e intercalações de conglomerados, pertencentes às formações cretácicas Posse e Serra das Araras, do Grupo Urucuia. Abrange seis estados da federação (Piauí, Maranhão, Tocantins, Bahia, Goiás e Minas Gerais) em uma área de cerca de 142 mil km<sup>2</sup> desde o sul dos estados do Piauí e Maranhão até a região norte de Minas Gerais.

As águas subterrâneas do Sistema Aquífero Urucuia são de excelente qualidade, possuem baixas concentrações de íons. As águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas ou cálcicas. Esse sistema aquífero exerce uma grande importância no ciclo hidrológico regional, uma vez que chega a contribuir com cerca de 80% da vazão do Rio São Francisco nos períodos de estiagem. Esse imenso reservatório de água mantém a perenidade dos principais rios do médio São Francisco (Corrente e Grande) e o Carinhanha, no Alto São Francisco. Além destes sistemas aquíferos, em menor proporção, ocorrem sedimentos recentes, pertencentes às coberturas quaternárias das aluviões de rios e depósitos *in situ*.

Os estudos na Bacia do Carinhanha preveem mapeamentos temáticos (geologia, solos, uso e ocupação da terra, etc.), em escala 1:100.000. O cadastramento de pontos d'água será efetuado de forma integral, buscando acesso, o máximo possível, a todas as fontes de captação de água.



Mapa de localização da área de estudo

**Convenções Cartográficas**

- Limite Estadual
- Massas d'água

**Legenda**

- Rio São Francisco
- Bacia hidrográfica do rio Carinhonha

**Geologia**

- Grupo Areado
- Coberturas recentes
- Granito Correntina
- Grupo Bambuí
- Grupo Uruçuia

**ANA**  
Projeto Piloto de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas - Bacia do Rio Carinhonha (SAMG)

ESCALA GRÁFICA Datum Horizontal: SIRGAS 2000  
0 4,5 9 18 27 Km

Figura 3.7 - Contexto hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Carinhonha.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo Geral

Realização dos “**ESTUDOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO: SUB-BACIAS DOS RIOS VERDE GRANDE E CARINHANHA**”. O objetivo geral do documento a ser elaborado é nortear a implementação da gestão integrada entre as águas superficiais e subterrâneas nas bacias hidrográficas dos rios Verde Grande e Carinhanha, a partir da elaboração de avaliações hídricas integradas, propostas de normativos conjuntos, implantação de redes integradas de monitoramento de recursos hídricos e posterior efetivação da implementação de ações integradas.

### 4.2. Objetivos Específicos

- Atualização e cadastramento de usuários e infraestrutura hídrica de águas superficiais e subterrâneas na Bacia do Rio Carinhanha e nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande;
- Levantamento de informações e caracterização geológica, hidrológica, hidrogeológica, hidrogeoquímica, geofísica, hidrometeorológica, pedológica, geomorfológica e de uso e ocupação da terra na Bacia do Rio Carinhanha e nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande;
- Caracterização do meio físico: geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia, hidrogeologia, hidrometeorologia, uso e ocupação da terra, geofísica, etc.;
- Elaboração de modelos geológico-estruturais das bacias analisadas, caracterizando as estruturas regionais e locais, e considerando sua influência no condicionamento das estruturas cársticas, especialmente nas áreas piloto da Bacia do Verde Grande;
- Caracterização hidrodinâmica dos sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande e aquíferos granulares na Bacia do Rio Carinhanha;
- Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas: Coleta de Amostras de Água/Caracterização/Classificação/Análises isotópicas/Datação;
- Avaliação da dinâmica de circulação das águas nos sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico com base em estudos hidráulicos, inclusive com a indicação das principais áreas de recarga, descarga e não fluxo dos sistemas aquíferos;
- Desenvolvimento de funções de pedotransferências de propriedades hidráulicas dos solos (curva de retenção de água e condutividade hidráulica saturada) da região selecionada no contexto desta proposta técnica para interpolação dessas propriedades na área Os valores interpolados das propriedades hidráulicas para os solos da região servirão como dados de

entrada nos modelos hidrogeológicos para simulação dos processos hidrológicos na área;

- Análise da contribuição subterrânea nas estações fluviométricas nas áreas selecionadas para este projeto;
- Caracterização das distintas demandas de recursos hídricos nas áreas piloto;
- Avaliação da influência dos bombeamentos dos poços entre si e nos corpos d'água superficiais;
- Avaliação da evolução temporal do escoamento de base com a chuva e o uso e ocupação da terra nas bacias estudadas;
- Realização do balanço integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e o nível de comprometimento hídrico (disponibilidade *versus* demanda integrada), definindo as reservas, potencialidades e disponibilidades, considerando conjuntamente as águas superficiais e subterrâneas. Considerar no balanço hídrico a parcela das recargas advindas da irrigação e do uso nas áreas urbanas;
- Elaboração de modelos hidrogeológicos conceituais para as áreas estudadas;
- Desenvolvimento de modelagem matemática das áreas de estudo com determinação dos fluxos subterrâneos e suas interações com os rios e córregos das áreas a serem estudadas (modelo hidrogeológico numérico);
- Elaboração dos mapas hidrogeológicos das áreas estudadas;
- Proposição e implantação de redes de monitoramento integrada rio/aquífero nas bacias estudadas;
- Elaboração de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), integrado com banco de dados, contendo todas as informações inventariadas e coletadas no âmbito dos estudos, o qual possibilite o acesso, atualização e disponibilização contínua de informações básicas sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- Definição de estratégias de uso e proteção dos sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico e do Sistema Aquífero Urucuia;
- Levantamento e análise de forma crítica dos normativos referentes a gestão dos recursos hídricos nas bacias, sejam relacionados aos aquíferos e rios de domínio estadual, como aqueles de domínio da União, com vistas a proposição de normativos conjuntos (integrados);
- Proposição da utilização de disponibilidade hídrica integrada entre estados e União;
- Proposição de plano de gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneas, incluindo a apresentação de normas e procedimentos técnicos para tomada de decisão.

Esses objetivos deverão ser materializados através da proposta e implementação de um ***Projeto de Gestão Integrada entre as águas superficiais e subterrâneas nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhonha*** que estabelecerá metas a serem alcançadas, os entes envolvidos, visando efetivar a gestão integrada na Bacia do Rio São Francisco. Deverá ser considerado nesse projeto um programa de articulação e fortalecimento institucional entre estados e união de forma que possa ser replicado em outras bacias.

## **5. ATIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS**

Quando da realização das atividades descritas neste capítulo, deverão ser observados todos os estudos em desenvolvimento na área de investigação de forma a evitar sobreposição de ações. Caso se verifique a sobreposição de atividades ou investigações na área de estudo, tal ocorrência poderá acarretar em replanejamento de atividades, em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização dos Trabalhos (CTAF), para áreas do conhecimento que não foram selecionadas previamente ou alguma prevista, mas que necessite de aprofundamento do conhecimento.

Os trabalhos serão iniciados, logo após a emissão da ordem de serviço e constarão das seguintes atividades:

### **5.1. Mobilização, Planejamento e Detalhamento das Ações Previstas**

- Mobilização dos recursos físicos e humanos;
- Reunião de planejamento para definir os critérios de trabalho com a CTAF, para apresentar a equipe técnica e agendar contatos técnicos para coleta de dados.
- Consolidação do Plano de Trabalho de forma detalhada, explicitando o planejamento técnico e físico de cada atividade, com descrição da metodologia de trabalho a ser empregada, os prazos previstos de execução, os insumos necessários ao desenvolvimento do trabalho e a composição da equipe em cada atividade.
- Entrega de dados pela CTAF com todas as informações de pontos de água (poços, nascentes, barragens, etc.), regularizados ou não, disponíveis na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/MG), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Secretaria de Meio Ambiente da Bahia (SEMA), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento da Bahia (SIHS), Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA), Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), nas concessionárias de abastecimento público locais e na Agência Nacional de Águas (ANA).
- Coleta de dados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com todas as informações de pontos de água (poços) disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

O planejamento e detalhamento das ações previstas ensejará a elaboração e entrega de relatório (Relatório Parcial 01), conforme cronograma físico proposto.

## **5.2. Levantamento, Sistematização e Interpretação de Dados Bibliográficos e Cartográficos**

Compreende o levantamento de estudos técnicos relevantes para as áreas de estudo incluindo geologia, hidrologia, hidrogeologia, hidrometeorologia, geofísica, geomorfologia, solos, uso e ocupação da terra, demandas e disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas e outros estudos que estejam relacionados com os objetivos do trabalho.

### *5.2.1. Levantamento de Dados Geológicos, Hidrogeológicos, Hidrológicos, Geofísicos, Geomorfológicos, Pedológicos, Hidrometeorológicos e de Uso e Ocupação da Terra*

Nesta etapa deverá se realizar o levantamento de dados, informações, estudos e projetos existentes sobre a área, como dados bibliográficos e cartográficos, incluindo relatórios técnicos, bancos e arquivos de dados, gerados em universidades, empresas de saneamento, empresas de exploração mineral, instituições públicas, entre outras. Todas as informações serão adquiridas diretamente pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que poderá contar com o auxílio dos órgãos gestores de recursos hídricos de Minas Gerais (IGAM) e da Bahia (INEMA).

Várias instituições deverão ser consultadas e como referência cita-se a documentação possivelmente existente nas seguintes instituições: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/MG), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Secretaria de Meio Ambiente da Bahia (SEMA), Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento da Bahia (SIHS), Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA), Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA), Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA), Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), Universidade Federal Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG), Universidade Estadual da Bahia (UEBA), outras universidades, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), Ministério Público de Minas Gerais, Ministério Público da Bahia, prefeituras locais, concessionárias de abastecimento público locais, empresas de perfuração de poços e empresas que utilizam águas subterrâneas e superficiais para fins industriais.

Estas informações serão a base para o desenvolvimento das demais ações que integram o trabalho. Os seguintes dados deverão ser levantados:

- Projetos, artigos técnicos, relatórios, monografias, dissertações e teses que trazem informações geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, geofísicas,

geomorfológicas, pedológicas, hidrometeorológicas das áreas a serem estudadas;

- Informações e dados de meio físico em distintas instituições municipais, estaduais e federais, em diferentes escalas.
- Aerofotos, imagens de satélite e MDT existentes nas áreas das duas bacias.
- Cartografia existente da região de estudos referente à hidrologia, hidrogeologia, geologia, estruturas geológicas, geofísica, pedologia, geomorfologia, e hidrometeorologia em distintas instituições municipais, estaduais e federais, em diferentes escalas;
- Cadastro e fichas técnicas de poços tubulares junto às empresas perfuradoras, concessionárias de abastecimento público (COPASA, EMBASA, etc.), órgãos gestores estaduais de recursos hídricos (SEMAD/MG, SEMA/BA, IGAM, INEMA e SIHS/BA), ANA e outras instituições que possam ter dados de poços (CERB, FUNASA, INCRA, FUNAI, etc.), incluindo a base de dados do SIAGAS;
- Dados hidrometeorológicos nas entidades públicas atuantes nessa área;
- Informações referentes à outorga de direito de uso de águas subterrâneas e superficiais junto à SEMAD, IGAM, SIHS, INEMA e ANA;
- Análises de qualidade de água subterrânea: parâmetros físicos, químicos e microbiológicos na COPASA, EMBASA, SEMAD, IGAM, INEMA, SIHS, prefeituras, ANA, banco de dados SIAGAS entre outras fontes, e feitas em estudos hidrogeológicos e trabalhos acadêmicos anteriores;
- Planos diretores locais, municipais, zoneamentos econômicos-ecológicos;
- Levantamentos geofísicos realizados na região junto a ANA, UFMG, UFBA e outras entidades, incluindo investigações efetuadas pela CPRM;
- Informações atualizadas do uso e ocupação da terra nas áreas a serem estudadas, priorizando: centros industriais importantes, áreas urbanizadas, unidades de conservação ambiental, áreas para fins de agropecuária, mineração, entre outros usos a serem definidos junto à CTAF. Deve ser levado em conta nesse levantamento mapas de uso e ocupação da terra existentes;
- Levantamento de dados e informações atualizadas sobre os aspectos socioeconômicos e demandas hídricas, observar as atividades econômicas dos municípios, potenciais conflitos de uso da água ou ambientais; restrições ao uso da água subterrânea.

### *5.2.2. Sistematização e Interpretação dos Dados Consolidados*

Os dados deverão ser sistematizados e integrados para serem utilizados na elaboração dos serviços previstos nesta proposta técnica procurando quantificá-los, para dar consistência ao cronograma físico e financeiro previsto.

A reunião de todas as informações coletadas, sistematizadas e interpretadas, deverão compor um relatório síntese (Relatório Parcial 02) na forma digital, incluindo as diversas formas de apresentação dos resultados, como registros fotográficos, tabelas, mapas, gráficos, entre outras e será parte integrante de relatórios, conforme cronograma físico proposto em 10 (dez) vias digitais. Os dados coletados e sistematizados deverão ainda ser disponibilizados na forma de um banco de dados produzido no *ArcGis 10.3* ou versão mais atual (*filegeodatabase*), apto a permitir a consulta das informações, a geração de novos mapas e atualização de informações. Os dados de poços de usuários regularizados (que possuam outorga de direito de uso ou declaração de uso insignificante das águas subterrâneas ou superficiais) disponibilizados pela SEMAD/MG, SEMA/BA, IGAM, INEMA e SIHS/BA levantados no âmbito desses estudos, deverão ser incluídos no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos da ANA (CNARH/SNIRH). O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá articular com os órgãos gestores de recursos hídricos para que priorizem a inserção e consistência dos dados existentes nas áreas de estudo no CNARH, sem prejuízo das metas já estabelecidas no programa PROGESTÃO da ANA.

### **5.3. Caracterização do Meio Físico - Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrologia, Hidrometeorologia e Geofísica**

Os estudos hidrogeológicos necessários à implementação de uma gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, precisam estar embasados no conhecimento sobre o meio físico da região estudada. Para que este conhecimento seja alcançado fazem-se necessários novos estudos interdisciplinares que envolvam: geologia, geomorfologia, pedologia, geofísica, meteorologia, climatologia, hidrogeologia, uso e ocupação da terra, entre outros.

#### *5.3.1. Interpretação de Imagens de Satélite*

A interpretação de imagens de satélite é essencial para estudos em meio físico. Os principais objetivos dessa análise são a definição da natureza litológica da área, das formas estruturais existentes, das classes de vegetação, da densidade de drenagem, da caracterização do relevo e das condições atuais de uso e ocupação da terra. Nesta etapa inicial é possível caracterizar alguns compartimentos hidrogeológicos específicos e individualizá-los, dentro de cada subsistema específico. Devem-se observar estudos anteriores que utilizaram esse tipo de ferramenta.

A partir da análise das imagens *RAPIDEYE* e dos satélites *CBERS 2* e/ou *LANDSAT*, georreferenciadas, preferencialmente da mesma data de passagem, deverão ser extraídas informações sobre os aspectos geológicos das unidades envolvidas e seus contatos, além dos aspectos estruturais da área (rede de drenagem, fotolineamentos e identificação de compartimentos locais do aquífero). Também deverão ser gerados, a partir de processos de classificação, planos de informações sobre temas como vegetação, urbanização e demais temas que se façam necessários à realização das atividades do respectivo estudo.

Nessa análise deverão ser utilizadas técnicas de processamento digital, tais como: o uso de filtros de convolução direcionais e isotrópicos, realces, razões de bandas, rotações espectrais, transformações IHS e análise de componentes principais. As imagens CBERS 2 e LANDSAT estão disponíveis para download na página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> ou em <https://earthexplorer.usgs.gov/> (somente LANDSAT), enquanto que as imagens de satélite *RAPIDEYE* estarão acessíveis por meio do GeoCatálogo do Ministério do Meio Ambiente.

A partir da interpretação desses sensores integrada com os dados bibliográficos existentes, deverão ser gerados os seguintes produtos em escala 1:25.000 / 1:50.000 (áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande conforme descreve o item 3.1.4.3) e em escala 1:100.000 (Bacia do Rio Carinhonha):

- Mapa de drenagem, corpos de água superficial e nascentes (agregar informações do Cadastro Ambiental Rural - CAR);
- Mapa de densidade de drenagem;
- Mapa das unidades de solo (exploratório);
- Mapa de classes de vegetação;
- Mapa geológico preliminar;
- Mapa geomorfológico preliminar;
- Mapa de uso e ocupação da terra, incluindo evolução temporal, com identificação de áreas de proteção identificadas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e no cadastro do ICMBIO;
- Mapa de domínios morfoestruturais preliminar;
- Mapa de estruturas de carstificação preliminar;
- Mapa de lineamentos estruturais, com separação dos tipos de falhas/fraturas (principais/secundárias, preenchidas/abertas, deslocadas/sem deslocamento).

Todos os mapas gerados nesta etapa de análise de sensores são de caráter preliminar, sendo posteriormente complementados e atualizados com informações dos trabalhos de campo dentro dos diversos temas previstos nesses estudos.

As imagens a serem adquiridas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) são as do satélite CBERS 2 ou LANDSAT 5, 7 e 8 e/ou *RAPIDEYE*, selecionadas de acordo com os sensores com resolução espacial compatível com as escalas de trabalho, nas bandas disponíveis, com as devidas correções radiométrica e geométrica.

Todos os produtos deverão ter títulos, data da cobertura, latitude/longitude, anotações laterais de UTM, escala gráfica, bem como informações sobre o sistema de referência, projeção, processamento e precisão. As imagens digitais deverão estar no formato compatível com o sistema *ArcGis 10.3* ou versão mais atual. Essas características deverão ser observadas para todos os produtos originados a partir de interpretação de imagens de satélite ou fotografias aéreas. Os mapas devem ser apresentados na escala 1:25.000 / 1:50.000 (áreas

piloto da Bacia do Rio Verde Grande conforme descreve o item 3.1.4.3) e na escala 1:100.000 (Bacia do Rio Carinhanha).

As imagens de satélite, na forma digital, deverão, ao final do estudo, compor o acervo do banco de dados do projeto, devidamente georreferenciadas. Os resultados (mapas preliminares produzidos e imagens tratadas), bem como as técnicas utilizadas nos processamentos digitais, deverão ser repassados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (forma digital) e integrarão relatório parcial conforme cronograma físico proposto (Item 9).

### 5.3.2. *Geologia*

Os estudos geológicos deverão, necessariamente, envolver a observação de pesquisas e mapeamentos anteriores das duas bacias a serem estudadas e o entorno, disponíveis em diversas escalas, considerando-se os aspectos litoestratigráficos e tectônicos que influenciam na hidrogeologia, hidrodinâmica e hidroquímica.

As atividades de campo relativas à geologia, para a Bacia do Rio Verde Grande, deverão ser realizadas em 05 (cinco) etapas de campo, e incluirão, principalmente, estudos de litoestratigrafia e estruturas rúpteis com vistas a entender a geometria das unidades que compõem os sistemas aquíferos locais. O levantamento geológico previsto envolverá a visita a afloramentos, drenagens, cortes de estrada, voçorocas e outros pontos de exposição das rochas na região e, se necessário, no seu entorno. A integração dessas informações ocorrerá mediante métodos digitais de cartografia, com atividades de mapeamento em campo, associado aos dados de poços com perfis litológicos conhecidos, geofísica e com dados bibliográficos existentes.

Do ponto de vista da geologia estrutural, as atividades de campo deverão incluir, principalmente, estudos voltados especialmente para estruturas rúpteis com vistas a entender a importância da conformação estrutural da distribuição e geometria dos principais subsistemas que formam os aquíferos locais. A análise e a interpretação dos levantamentos de campo e escritório compreenderão as seguintes ações:

- Análise geométrica e descritiva das estruturas rúpteis considerando os seguintes parâmetros: orientação, tipo, persistência, abertura, conectividade e penetratividade;
- Tratamento estatístico dos dados estruturais e suas correlações com as feições cársticas;
- Zoneamento do Índice de Carstificação, segundo Feitosa (2004) e ANA (2010), efetuado também com as informações da investigação geofísica;
- Análise com tipo/direção de estrutura/carste com agrupamento de poços, vazões e profundidades;
- Elaboração do modelo de desenvolvimento tectono-estrutural para a Bacia do Rio Carinhanha e as 02 áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande e, com vistas a compreender o papel da tectônica enquanto nucleadora ou reativadora de

descontinuidades (neotectônica), as quais foram posteriormente submetidas aos processos de carstificação, gerando o atual cenário cárstico regional e a sua relação com o arcabouço hidrogeológico regional e local, em especial quanto a distribuição de áreas de recarga e descarga, vazões de poços e correlação de estruturas;

- Correlacionar a influência dessas estruturas na formação de superfícies de dissolução, desenvolvimento de cavernas, zonas de recarga e descarga dos sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico.

Relativamente à Bacia do Rio Carinhanha deverá ser efetuada a integração e interpretação de cartas geológicas, em escala 1:100.000, existentes nos estados de Minas Gerais e Bahia, com a inclusão de estudos e pesquisas de maior detalhe realizados. Investigações eventuais em campo poderão ser executadas para esclarecimento de aspectos específicos julgados necessários.

Destaca-se que, em ambas as bacias, será realizado um estudo de reinterpretação geológica e neotectônica, onde deverão ser considerados não só trabalhos e estudos prévios, mas principalmente as investigações de dados a serem obtidos nesta proposta técnica, relativos a interpretações de imagens de satélites, geomorfologia e geofísica, conjuntamente com os levantamentos de campo a serem realizados.

Os resultados referentes aos estudos geológicos deverão integrar relatório parcial que apresentará uma síntese da geologia e estratigrafia da região estudada, acompanhada por mapas, tabelas, gráficos, fotografias, figuras, perfis, modelos geológicos, seções esquemáticas, diagramas, entre outros.

Os produtos resultantes do item Geologia deverão conter, no mínimo, os seguintes aspectos para cada área estudada, lembrando-se que devem ser apresentados na escala 1:50.000 (áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande conforme descreve o item 3.1.4.3) e na escala 1:100.000 (Bacia do Rio Carinhanha):

- Mapa geológico das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande;
- Mapa geológico da Bacia do Rio Carinhanha;
- Bloco diagrama, com as estruturas geológicas locais;
- Seções litoestratigráficas dispostas de modo a exibir as relações de contato entre as distintas camadas geológicas presentes;
- Mapa de estruturas de carstificação para as áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande;
- Mapa dos índices de argilosidade e de carstificação para as áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, segundo Feitosa (2004) e ANA (2010);
- Mapa de lineamentos estruturais;
- Mapa da distribuição espacial das vazões dos poços sobre o mapa geológico-estrutural;

- Mapa de concentração de poços *versus* estruturas geológicas;
- Perfis geológicos em quantidade de, pelo menos, 02 (dois) para cada área piloto original e 02 (dois) para as áreas de expandidas de investigação, estrategicamente posicionados de forma a evidenciar variações de espessura, descontinuidades de seus substratos e estruturas deformacionais rúpteis.

### 5.3.3. Geomorfologia, Pedologia e Uso e Ocupação da Terra

Os estudos geomorfológicos e pedológicos são essenciais para o entendimento da hidrogeologia. As atividades têm como objetivo a elaboração do Mapa Geomorfológico, em associação com Mapa de Solos, com no mínimo, as seguintes informações: drenagens superficiais, nascentes, unidades geomorfológicas, agrupamento de solos (segundo nível de classificação, segundo EMBRAPA, 1999).

Para as áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, os estudos geomorfológicos também são importantes para a caracterização de terrenos cársticos. O processo de carstificação tem grande influência na evolução do relevo e da formação dos solos. Os estudos devem ser orientados no sentido de reconstituir a evolução cárstica das áreas, utilizando diversas ferramentas digitais disponíveis. Deve-se procurar estudar o desenvolvimento da rede cárstica no contexto estratigráfico e estrutural e interpretar a evolução da paisagem segundo as estruturas cársticas e seus condicionantes. Os solos são a camada de material inconsolidado superficial sobrejacente ao saprolito e às rochas e com interface com a atmosfera, exercendo um importante papel na regulação dos processos de infiltração e escoamento das águas da chuva, na recarga dos aquíferos e na sustentação da vida vegetal. Por esse motivo, o conhecimento dos solos tem representado uma fonte de informação relevante na produção de alimentos, na gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e no planejamento racional de uma área.

Especificamente para o estudo dos solos serão aplicados métodos associados a hidropedologia trazendo uma abordagem mais ampla do conhecimento sobre o solo, considerado não somente como material sólido poroso, mas também como um ambiente com onde são armazenados e transportados água e solutos.

A caracterização hidropedológica, definida nesta proposta técnica, consiste na caracterização e na classificação dos solos e de suas propriedades físico-hídricas (em especial do armazenamento de água e da condutividade hidráulica saturada) com informações especializadas. Essa investigação hidropedológica será efetuada tendo como principal propósito suprir os modelos hidrogeológicos, com as informações das propriedades hidráulicas em solos representativos e em diferentes profundidades bem como auxiliar na indicação das áreas potenciais para recarga de aquíferos.

Os produtos resultantes dos levantamentos hidropedológicos deverão conter:

- Base de dados de solos contendo informações das análises físico-químicas e das propriedades hídricas de perfis de solo e de 50 pontos extras selecionados;

- Mapeamento de reconhecimento das propriedades hídricas de solos;
- Descrição das funções de pedotransferência das propriedades hidráulicas e estudo de validação;
- Modelagem da profundidade efetiva do solo/saprolito.

Tendo em vista o propósito final do trabalho, os estudos pedológicos serão orientados principalmente para a caracterização dos solos como um meio de armazenamento e percolação de água. Assim sendo, não deverá ser elaborado um mapa de solos, em sentido estrito, mas um levantamento que auxilie na compreensão da recarga dos aquíferos.

As atividades de campo relativas à geomorfologia e solos deverão, preferencialmente, ser realizadas em conjunto com as de geologia, e deverão incluir, principalmente, estudos das unidades geomorfológicas e tipos de solos associados com vistas a entender as relações, fenômenos e evolução geomorfológica da região de acordo com as unidades geológicas locais. Essa investigação deve contemplar visita a todos os ambientes geomorfológicos das áreas a serem estudadas e, se necessário, no entorno destas. A integração dessas informações ocorrerá mediante métodos digitais de cartografia, integrando geomorfologia, solos e geologia.

Deverá ser realizado um estudo de reinterpretação geomorfológica e pedológica, considerando estudos anteriores. As atividades deverão resultar nos seguintes produtos integrados com os estudos anteriores e entregues em relatório parcial, conforme cronograma físico proposto. É importante ressaltar que os mapas devem ser apresentados na escala 1:50.000 (áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande conforme descreve o item 3.1.4.3) e na escala 1:100.000 (Bacia do Rio Carinhanha):

- Mapa Geomorfológico das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande;
- Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Carinhanha;
- Mapa Pedológico das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande (em escala compatível com os levantamentos físico-hídricos);
- Mapa Pedológico da Bacia do Rio Carinhanha;
- Mapa de domínios morfoestruturais das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande;
- Mapa de Declividade (SRTM) das áreas a serem estudadas;
- Mapa com o uso atual da terra (compilação de trabalhos anteriores, com atualização com informações do processamento e interpretação de imagens de satélites) das áreas a serem estudadas;
- Mapas do uso e ocupação da terra que mostrem a evolução da ocupação nas regiões estudadas.

#### 5.3.4. Investigação Geofísica

Os levantamentos geofísicos deverão ser interpretados de forma integrada entre os métodos e com outras áreas do conhecimento, considerando também dados disponíveis de trabalhos anteriores.

Os produtos gerados pela investigação geofísica necessariamente serão interpretados conjuntamente com as informações obtidas das outras atividades realizadas no âmbito do projeto, como geologia, geomorfologia e solos, isótopos, cadastro de poços tubulares, etc. Todos os dados adquiridos no campo deverão ser entregues no formato original (dados brutos, sem qualquer processo de filtragem ou similar) e tratados, em formato digital e os dados processados em meio digital, em 10 (dez) vias.

##### 5.3.4.1. Caracterização Geofísica da Bacia do Rio Verde Grande

###### i) Sondagem Elétrica Vertical (SEV) na Área do Jaíba (MG)

A realização das Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) tem por objetivo auxiliar na identificação de características das distintas camadas geológicas que compõem os sistemas aquíferos cársticos e fissuro-cársticos exclusivamente da área do Jaíba (MG) descrita no item 3.1.2, na Bacia do Rio Verde Grande. Para conhecimento das propriedades e do comportamento hidrodinâmico dos sistemas aquíferos locais propõe-se a utilização da SEV's que possuem habilidade na detecção e mapeamento de estruturas cársticas. Pretende-se fazer um zoneamento, o mais detalhado possível, do parâmetro elétrico denominado índice de carstificação, de acordo com Feitosa (2004) e ANA (2010).

Será necessário avaliar os estudos anteriores, como por exemplo a "*Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco, com Vistas à Gestão Integrada e Compartilhada de Recursos Hídricos*" (ANA, 2018) de forma a consolidar o conhecimento geofísico pré-existente e utilizá-lo como condição de contorno para a localização daqueles a serem realizados no escopo da presente proposta técnica e, se for o caso, reinterpreta-los, de forma a serem incorporados, quando pertinentes, aos dados obtidos nesta pesquisa. Os levantamentos de campo somente deverão ser iniciados após a apresentação e discussão com a CTAF da proposta do levantamento e análise crítica de dados pré-existentes.

É prevista a realização de 140 (cento e quarenta) SEVs exclusivamente na área do Jaíba (MG) descrita no item 3.1.2, inicialmente adotando o arranjo do quadripolo linear simétrico AMNB de *Schlumberger*, com distâncias AB variáveis em função das respostas à penetração das correntes, das características dos subsistemas e da profundidade do topo do embasamento. As distâncias entre os eletrodos de corrente AB devem ser definidas em função dos resultados obtidos em estudos anteriores. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) poderá sugerir arranjos distintos, devidamente justificados para a análise da CTAF.

Na busca de resultados eficazes e complementares pretende-se, no levantamento eletrorresistivo, utilizar também a técnica de Caminhamento Elétrico (CE). Sustenta-se ainda a execução de levantamento eletromagnético, com uso de equipamento EM34 ou Promis, nas mesmas linhas onde se farão os caminhamentos elétricos.

Previamente à locação da malha, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) se reunirá com a equipe da CTAF para planejar, em comum acordo, a localização das sondagens nas áreas piloto e em outras regiões específicas.

Os dados produzidos nesta atividade deverão ser integrados aos dados indicados no item “5.3.4.3. Reinterpretação do Dados de Geofísica”, com vistas a otimizar o conhecimento das unidades que compõem os aquíferos na área do Jaíba (MG) descrita no item 3.1.2.

#### 5.3.4.2. Caracterização Geofísica da Bacia do Rio Carinhanha

##### i) Perfilagem Geofísica de Poços

Deverão ser perfurados 05 (cinco) poços para monitoramento das águas com profundidade média de 100 (cem) metros em pontos escolhidos conjuntamente entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF na Bacia do Rio Carinhanha, como descreve o item 5.6.1 – *Locação e Instalação de Poços de Monitoramento*.

Nestes poços deverá ser realizada a perfilagem geofísica com perfis de raios gama (GR), potencial espontâneo (SP), resistividade normal curta (SN), resistividade induzida (IL) e sônico compensado (CS). Observa-se que as perfilagens que fornecem dados quantitativos são calibradas no padrão API (*American Petroleum Institute*), amplamente utilizadas na indústria petrolífera.

A perfilagem geofísica deverá permitir a determinação da litologia, das espessuras das camadas, a estimativa das variações granulométricas, marcar o topo e base das formações, indicar zonas mais permeáveis e/ou fraturadas, correlações estratigráficas, avaliar a porosidade total e efetiva dos arenitos e seu conteúdo argiloso, avaliar o conteúdo de sólidos totais na água de formação (salinidade) e reconhecer reservatórios portadores de águas salobras.

Os resultados das perfilagens deverão ser descritos detalhadamente, desde a fase de planejamento, metodologia e equipamentos utilizados, execução e interpretação dos dados. Serão apresentados gráficos e registros fotográficos no relatório dos poços avaliados.

#### 5.3.4.3. Reinterpretação do Dados de Geofísica

Os dados geofísicos brutos de TDEM, SEV e gravimetria levantados no âmbito dos estudos do Sistema Aquífero Urucuia (ANA, 2017) e dos sistemas aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico (ANA, 2018) junto às bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha devem ser reinterpretados, com vistas a otimizar o conhecimento indireto das unidades que compõem os aquíferos nas bacias em tela.

Os levantamentos geofísicos e a releitura dos dados geofísicos destes estudos (ANA, 2017; ANA, 2018) deverão ser novamente avaliados de forma integrada entre os métodos e com outras áreas do conhecimento, considerando dados disponíveis de trabalhos anteriores e deverão fornecer os seguintes produtos para cada uma das áreas a serem estudadas:

- Mapa de isópacas dos sistemas aquíferos Urucuia, Cárstico e Fissuro-Cárstico;
- Seções transversais de perfis mostrando os dados coletados em campo;
- Seções geológicas transversais dos perfis, interpretadas com base nos dados geológicos/geofísicos reinterpretados da área;
- Mapa de Contorno Estrutural dos diferentes subsistemas, com base nas interpretações geofísicas associadas às informações geológicas estruturais;
- Mapas dos índices de argilosidade e de carstificação, segundo a proposta de Feitosa (2004) e ANA (2010);
- Seções hidrogeológicas dos perfis, interpretadas com base nos dados geológicos/geofísicos levantados na área;
- Perfis geológicos, estrategicamente posicionados de forma a evidenciar variações litológicas na bacia, descontinuidades do substrato.

As interpretações geofísicas, associadas às informações de geologia, estrutural, geomorfologia e hidrogeologia deverão fornecer os mapas de isópacas dos sistemas aquíferos Urucuia, Cárstico e Fissuro-Cárstico para as áreas a serem analisadas neste projeto.

A avaliação técnica integrada dos resultados obtidos deverá originar um relatório analítico, que contemple discussões sobre as correlações geofísicas, geológicas e estruturais versus reservas hídricas subterrâneas. A representação cartográfica deverá ser apresentada na forma digital em escala adequada, acompanhados de relatório na forma digital, descrevendo as metodologias adotadas e procedimentos de campo para sua confecção e discussões/comentários. Todos os mapas digitais irão compor, ao final do estudo, um banco de dados no *ArcGis* 10.3 ou versão mais atual (*filegeodatabase*).

## **5.4. Caracterização dos Recursos Hídricos**

### *5.4.1. Cadastro de Usuários de Águas Superficiais e Subterrâneas (Infraestrutura Hídrica)*

O cadastramento de poços, nascentes, barragens e demais fontes de captação de águas superficiais e subterrâneas nas áreas a serem estudadas terá uma fase inicial de escritório, como resultado das análises das informações previstas no item 5.2. A segunda fase compreenderá atividade de campo, onde se buscará complementar o cadastro existente, que deverá ser atualizado de forma a melhorar a representatividade espacial dos dados relativos a demandas de água subterrâneas e superficiais. A estratégia de complementação do cadastro em campo será definida em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.

O cadastro das fontes de captação de águas superficiais e subterrâneas (poços, nascentes, barragens, etc.) tem como objetivo principal buscar o conhecimento praticamente total da infraestrutura hídrica instalada na Bacia do rio Carinhanha e nas áreas originais do Jaíba (apresentada no Item 3.1.2), da Bacia do Rio Vieira (apresentada no Item 3.1.1) e da Bacia do Rio Salobro (apresentada no Item 3.1.3) e em caráter mais regional e seletivo em relação as superfícies complementares das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande que estão previstas no item 3.1.4. Os trabalhos envolveriam a investigação de pontos d'água, uma estimativa dos recursos de águas subterrâneas e superficiais explorados e da oferta de água proporcionada para as áreas a serem analisadas. Essa informação será indispensável para avaliar os volumes potenciais explorados e demandas.

O banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) apontam que as 03 (três) áreas piloto a serem estudadas na Bacia do Rio Verde Grande possuem cerca de 1200 poços cadastrados. Em relação a Bacia do Rio Carinhanha, atualmente existem 187 captações superficiais (CNARH/ANA) e 194 captações subterrâneas (SIAGAS/CPRM, CNARH/ANA e Projeto Urucuia/ANA). Entretanto, para ambas bacias se estima que existam muito mais captações. Portanto, deve-se fazer um grande esforço para cadastrar o maior número de usuários e poços possível.

Assim sendo, é de suma importância a realização desse cadastro, com as seguintes recomendações:

- Realizar cadastro das fontes de captação de águas superficiais e subterrâneas de acordo com metodologias e modelos de ficha a serem elaborados;
- A metodologia a ser adotada para este cadastramento deverá ser adequada para abranger a totalidade ou quase a totalidade das fontes de captação de águas superficiais e subterrâneas, especialmente para as áreas originais da bacia do rio Verde Grande;
- O cadastro de poços e nascentes deverá adequar sua disposição de maneira a permitir a elaboração dos mapas potenciométricos e a coleta de amostras de água para estudos hidroquímicos previstos.

Para o conhecimento da infraestrutura hídrica da bacia, dos usuários cadastrados/regularizados ou em processo de regularização, bem como dos parâmetros hidráulicos e informações sobre a qualidade das águas dos poços, devem ser consultados os bancos de dados ou arquivos de dados dos seguintes órgãos: SEMAD/BA, IGAM, SIHS/BA, SEMA/BA, INEMA, COPASA, EMBASA, CERB, CPRM, FUNASA, INCRA, FUNAI, CODEVASF e ANA (CNARH).

O IGAM e o INEMA dispõem de bancos de dados dos processos de outorga de água superficial e subterrânea.

Para o cadastro de captações superficiais e nascentes, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá elaborar uma ficha de cadastro, a qual será submetida à avaliação da CTAF, com o conteúdo mínimo:

- Local e Município;
- Tipo de captação;
- Curso de água captado;
- Sub-bacia Hidrográfica;
- Nome do usuário;
- Nome do Empreendimento;
- Identificação e localização do ponto d'água utilizando GPS e base cartográfica disponível, adotando o sistema de coordenadas UTM;
- Situação da unidade de captação (conservação, funcionamento, situação geológica);
- Verificação de perenidade;
- Tipo de equipamento instalado para o bombeamento e a sua capacidade ( $m^3/h$ );
- Taxa de bombeamento ( $m^3/h/dia$ );
- Regime de bombeamento (horas/semana; meses/ano);
- Uso das águas (industrial, irrigação, doméstico, consumo humano, lazer, outros);
- Licença de obra hidráulica;
- Autorização de uso da água (outorga);
- Análises de qualidade das águas (físico-químicas e microbiológicas), caso sejam disponíveis.

Para o cadastro de poços, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá elaborar uma ficha de cadastro, a qual será submetida à avaliação da CTAF, com o conteúdo mínimo:

- Local;
- Tipo (tubular, cacimbão ou fonte);
- Nome do usuário;
- Nome do empreendimento;
- Identificação e localização do ponto d'água utilizando GPS e base cartográfica disponível, adotando o sistema de coordenadas UTM e, se possível, a cota do poço;
- Características construtivas do poço (profundidade, diâmetro, altura da boca, natureza do revestimento);
- Parâmetros hidráulicos (nível estático, nível dinâmico, vazão, condutividade hidráulica, vazão específica e transmissividade), caso sejam disponíveis;
- Condição hidráulica do aquífero (livre, semiconfinado e confinado);
- Situação da unidade de captação (conservação, funcionamento, situação geológica);
- Tipo de equipamento instalado para o bombeamento e a sua capacidade ( $m^3/h$ );
- Taxa de bombeamento ( $m^3/h/dia$ );

- Regime de bombeamento (horas/semana; meses/ano);
- Tipo de estrutura geológica associada;
- Tipo de rocha;
- Tipo de solo;
- Tipo de aquífero (poroso, fraturado, cárstico-fraturado);
- Perfilagens geofísicas ou óticas, quando existirem;
- Uso das águas (industrial, irrigação, doméstico, consumo humano, lazer, outros);
- Análises de qualidade das águas (físico-químicas e microbiológicas), caso sejam disponíveis;
- Licença de obra hidráulica;
- Autorização de uso da água (outorga); caso não exista, a licença de perfuração.

A localização de todos os pontos d'água cadastrados e consistidos dos cadastros pré-existentes deverá ser apresentada em mapa em escala 1:25.000 (áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande) e em escala 1:50.000 (Bacia do Rio Carinhonha), na base do mapa hidrogeológico com que deverá integrar o banco de dados deste projeto. As fichas de cadastro em papel com assinatura do responsável pelo cadastro deverão fazer parte de um anexo do volume relacionado ao cadastro de fontes de captação. Deverá constar ainda as fotografias coloridas codificadas e georreferenciadas do ponto de codificação, mostrando o ponto de captação e entorno. Efetuar a codificação impressa no ponto, quando esta não existir, conforme orientação da CTAF.

Deverá ser feito um tratamento estatístico das informações cadastrais compiladas e atualizadas no trabalho de campo, referentes às cotas e profundidades dos níveis de água, vazões, usos da água, poços com outorga, poços desativados, número total de poços por município, estado e global, e sobre os dados de qualidade da água. Tratamento semelhante deverá ser empreendido para as nascentes selecionadas para amostragem e para as captações superficiais.

Todos os poços cadastrados e as informações coletadas nesta etapa serão sistematizadas na forma de um banco de dados no *software ArcGis (filegeodatabase)*, apto a permitir a consulta das informações e a geração de novos mapas e atualização de informações. Os dados de poços, nascentes e informações relativas às licenças de perfuração de poços e outorga de uso de águas superficiais e subterrâneas, disponibilizados pelas instituições listadas acima e/ou obtidos no âmbito desses estudos, deverão ser incluídos pelo INEMA e IGAM no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos da ANA (CNARH/SNIRH).

A entrega do relatório em formato digital deverá ser feita em pelo menos 10 (dez) vias. Ressalta-se que deverá também ser incorporada neste as informações de cadastros pré-existentes ou em elaboração.

#### 5.4.2. Testes de Aquífero

Devem ser testados pelo menos 15 (quinze) pares de poços (bombeamento e observação) em ensaios de bombeamento de 48 (quarenta e oito) horas de duração, com medição contínua do rebaixamento dos níveis e posterior recuperação. Deverão ser efetuadas medidas utilizando-se poço de observação. É necessário verificar se as regiões abastecidas pelos pares de poços selecionados dispõem de reservação para garantia do abastecimento durante os testes, haja vista que se faz necessário desligar os poços para recuperação do nível estático antes do início do teste. E durante o teste não é possível alimentar a reservação ou a rede de distribuição de água. Ademais, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) poderá solicitar aos órgãos responsáveis uma escolta policial para o acompanhamento destes testes.

As distâncias entre os poços em bombeamento e os poços de observação deverão considerar as bases técnicas científicas como, por exemplo, a relação da distância com as espessuras totais e saturadas dos aquíferos e o posicionamento das seções filtrantes nos poços exploratórios e de observação.

Os poços a princípio serão aqueles que irão integrar a rede de monitoramento a ser implantada neste projeto. Devem ser considerados poços com perfis litológico e construtivo conhecidos. A seleção dos poços e o número destes em cada uma das áreas estudadas serão definidos em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.

Em cada um dos ensaios a vazão de bombeamento deve ser constante e para isto se utilizará bombas submersas. As vazões devem ser medidas utilizando, se possível, o dispositivo do “orifício circular”, para que os erros nas medições sejam os mínimos possíveis. Durante os testes de aquífero devem ser observadas as medidas do poço de observação e do poço bombeado e a recuperação, depois de interrompido os bombeamentos, deve ser efetuada até recuperação total do nível. Nas medições dos níveis d’água, utilizar medidores com amperímetros e de nível sonoro e cabos ou fitas devidamente numeradas em milímetros.

Antes da realização do ensaio será elaborada ficha de acompanhamento, contendo localização dos poços testados, coordenadas dos poços de bombeamento observação, cota topográfica, data e hora de início e término do ensaio, dados dos tempos e níveis dinâmicos correspondentes e dados dos rebaixamentos residuais da recuperação. Deve constar registro fotográfico da realização dos ensaios.

Com base nos resultados dos testes de aquífero, determinar: transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva, além dos parâmetros de eficiência do poço. Definir o tipo de aquífero, e no caso de o mesmo comportar-se como semiconfinado, avaliar a condutividade da camada semiconfinante. Aplicar métodos de análise condizentes com o tipo de aquífero e utilizar programas específicos de computador para análise.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório em formato digital, acompanhados de comentários, críticas e conclusões dos

métodos aplicados e resultados obtidos, incluindo registro fotográfico dos ensaios, planilhas de campo, descrição dos métodos aplicados e programas computacionais utilizados.

### 5.4.3 Hidroquímica

#### 5.4.3.1. Coleta de Amostras de Água

Serão efetuadas duas campanhas de coleta de amostras de água para a caracterização hidrogeoquímica da bacia, a primeira para a análise de parâmetros físico-químicos em 100 (cem) pontos selecionados, e a segunda para a análise de parâmetros físico-químicos destes mesmos pontos e também para análise de parâmetros específicos (análise bacteriológica, elementos terras raras, isótopos) em pontos selecionados a partir dos resultados da primeira campanha. A seleção dos pontos de coleta e a distribuição destes nas distintas bacias a serem estudadas devem ser realizadas em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.

A seleção dos poços de coleta deve considerar uma distribuição geográfica adequada e a representação de cada sistema aquífero, assim como condições apropriadas para coleta das águas. Já para as análises específicas, deve-se observar a presença de atividade potencialmente contaminante ou indício observado nos resultados das análises da primeira campanha.

Serão seguidas as normas padronizadas para coleta, preservação e transporte de amostras, de modo que estas sejam as mais representativas possível das condições naturais de ocorrência da água subterrânea. Cada amostra deve ser acompanhada da descrição (indicando chuvas, poços bombeando, etc.) e fotografia do momento da coleta, cadeia de custódia de cada amostra. Os custos relativos à coleta, embalagem, armazenamento, transporte e análises das amostras correm integralmente por conta do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Os resultados das análises, assim como todos os dados coletados em campo deverão ser disponibilizados na forma de um banco de dados no *ArcGis* 10.3 ou versão mais atual (*filegeodatabase*), apto a permitir a consulta das informações e a atualização de informações. Esses resultados, quando se tratarem de poços regularizados, deverão também ser incluídos pelos órgãos gestores estaduais no CNARH/ANA.

#### 5.4.3.2. Análises Físico-Químicas, Microbiológicas e Isotópicas de Amostras de Água

Deverão ser feitas as seguintes análises nos pontos de água selecionados na Bacia do Rio Carinhanha e nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande:

- 100 (cem) análises em amostras coletadas em cada uma das 02 (duas) campanhas, dos seguintes parâmetros: temperatura, cor, turbidez, pH, Eh, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade e dureza. Cátions principais ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), ânions principais ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e componentes químicos secundários, que inclui o ferro (Fe) e manganês (Mn) e os componentes da série nitrogenada (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

- 100 (cem) análises microbiológicas de coliformes totais e termotolerantes e *Escherichia coli* na segunda campanha, onde foram detectados valores de nitrito, nitrato ou amônia anormalmente elevados nas análises da primeira campanha de amostragem.
- 40 (quarenta) análises em amostras de água em poços tubulares, poços rasos, nascentes e cursos d'água superficiais, na segunda campanha, com vistas a efetuar análise dos isótopos ambientais estáveis, Oxigênio-18 (<sup>18</sup>O) e Deutério (<sup>2</sup>H), e os isótopos instáveis do Estrôncio (<sup>87</sup>Sr / <sup>86</sup>Sr). Os pontos serão definidos pela CTAF em conjunto com Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A análise isotópica deverá apoiar a compreensão da dinâmica do transporte de água, interação entre os sistemas aquíferos Urucuia, Cárstico, Fissuro-Cárstico e entre aquífero e rios.
- 20 (vinte) análises de Elementos Terras-Raras (ETR) especialmente em poços situados nas áreas de domínio cárstico na Bacia do Rio Verde Grande, os quais serão selecionados em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF e coleta e análise programadas para a segunda campanha de amostragem.

As amostras coletadas para as análises isotópicas serão armazenadas em frascos plásticos (100 ml) de material polipropileno, de preferência transparente, tendo-se o cuidado para que não fique nenhuma bolha de ar no recipiente, para evitar possíveis alterações nos resultados de análises. A coleta será feita na primeira saída d'água do poço, ou seja, não passando por nenhum outro tipo de armazenamento, tipo caixa d'água, cisterna, etc.

Vale lembrar que a água bombeada do poço para a coleta da amostra não poderá ser realizada em sistema de bombeamento com de injeção de ar, pois afetará o resultado analítico. Não poderão ser coletadas amostras em poços com sistemas de bombeamento do tipo compressor "air lift". De posse dos resultados das análises, serão elaborados os seguintes gráficos:

- a. Concentração de Deutério ( $\delta$  <sup>2</sup>H) em função da Concentração de Oxigênio ( $\delta$  <sup>18</sup>O), em relação à Reta Meteórica;
- b. Concentração de Oxigênio ( $\delta$  <sup>18</sup>O) versus Condutividade Elétrica (CE);
- c. Razão <sup>87</sup>Sr / <sup>86</sup>Sr em função da razão 1/Sr.

#### 5.4.3.3. Datação

O conhecimento da idade das águas subterrâneas é fundamental para entender o modelo de fluxo dos sistemas aquíferos e a interconexão com corpos superficiais. Para

obtenção de informações será empregado o método do trítio ( $^3\text{H}$ ), adequado à datação de águas de até 50 anos, e o método do  $^{14}\text{C}$ , adequado à datação de águas de 200 a 30.000 anos.

A eleição dos poços para amostragem e a distribuição destes nas distintas bacias a serem estudadas ocorrerão em definição conjunta entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF. Serão selecionados 30 (trinta) pontos para coleta de amostras para a realização de datação pelo método do trítio e 30 (trinta) pontos para a análise pelo método de carbono 14. Estas coletas ocorrerão na segunda campanha.

As condições de coleta, quantidade, armazenamento, transporte e análise devem seguir os respectivos protocolos de forma a manter a qualidade e representatividade da amostra, de maneira a refletir corretamente as condições hidrogeológicas do ambiente que a amostra representa.

#### 5.4.3.4. Interpretação dos Resultados das Análises

Com base nos resultados das análises físicas e químicas, deve-se apresentar a classificação química das águas de cada sistema aquífero. Deverão ser avaliados parâmetros hidrogeoquímicos e índices hidrogeoquímicos necessários à caracterização da qualidade das águas e diagnosticar sobre a qualidade dessas águas para os diversos usos, indicando, quando for o caso, a origem e mecanismos da contaminação das águas subterrâneas.

Os resultados das análises químicas serão submetidos a um balanço de massa entre cátions e ânions como forma de verificação da confiabilidade das análises. As metodologias empregadas nas análises físico-químicas serão baseadas nos manuais da APHA/AWWA/WEF (1995) e da ASTM (1992), ou em metodologias compatíveis. A ANA indica a utilização de laboratórios acreditados pelo INMETRO, segundo a ISO 9001.

Devem ser feitas as seguintes avaliações:

- Avaliação de prazos segundo as cadeias de custódia.
- Balanço iônico em todas as amostras das duas campanhas.
- Demais checagem da qualidade das análises químicas.
- Diagramas de estabilidade de todas as amostras.
- Representação da classificação hidroquímica dos dados em diagramas convencionais (*Piper, Stiff*), sendo este último projetado em mapa.
- Avaliação da possibilidade de misturas de águas, trocas catiônicas, evolução geoquímica.
- Elaboração de mapas de zoneamento hidroquímico (STD, sulfato, alcalinidade, sódio e cálcio, cloreto, nitrato, nitrogênio amoniacal) e de índices hidroquímicos, perfis e razões hidroquímica.
- Avaliação da qualidade das águas para os diferentes usos e conformidade com as resoluções vigentes, apontando as áreas mais favoráveis e as mais restritivas à captação das águas subterrâneas, além das principais restrições ao seu aproveitamento do ponto de vista quali-quantitativo.

Serão entregues à ANA todos os resultados de análises (fichas originais) realizadas pelos laboratórios, com a identificação do ponto de coleta, cadeia de custódia das amostras desde a coleta até a entrega no laboratório e interpretação dos dados com relação à dinâmica do transporte de águas e interações tanto entre os sistemas aquíferos, quanto entre as águas subterrâneas e águas superficiais. A hidroquímica será utilizada para melhora do modelo conceitual dos sistemas aquíferos.

A consistência das informações é de fundamental importância para que haja uma confiabilidade na interpretação dos dados e, conseqüentemente, para as conclusões e resultados esperados. Portanto, esta etapa do estudo será executada com rigoroso critério para não induzir erros nas conclusões e produtos gerados.

Uma análise estatística multivariada será desenvolvida correlacionando-se os resultados das análises, com vista a observar a presença ou não de mais de um grupo hidroquímico, se houver. A distribuição dos grupos deve ser apresentada em mapa (Análise de Cluster). Essa análise deve ser posteriormente integrada com a hidrogeologia local.

Deve-se fazer uma avaliação da situação atual das águas subterrâneas em termos de possíveis agentes contaminantes, caso seja evidenciado, bem como a origem e mecanismos dessas contaminações. A análise deve contemplar uma discussão sobre a dinâmica desse possível contaminante, por meio de modelo conceitual de circulação e suas relações com a exploração do aquífero.

Todas as informações relativas às análises hidrogeoquímicas serão apresentadas em relatório, com ilustrações, fotografias, gráficos, mapas. Todos os resultados das análises, mapas de zoneamento hidroquímico e de índices hidrogeoquímicos comporão um banco de dados compatível com o ArcGis 10.3 ou versão mais atual (*filegeodatabase*).

#### 5.4.4. Mapas Potenciométricos e de Fluxo Subterrâneo

Deverá ser proposta uma rede para medição do nível da água nos poços compatível com as escalas utilizadas nos mapas hidrogeológicos das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande e na escala 1:50.000 para a Bacia do Rio Carinhanha, a qual será definida em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF. A visão do monitoramento quantitativo deverá conduzir a uma melhor compreensão e avaliação dos problemas associados ao risco de rebaixamentos da superfície potenciométrica. Assim sendo, a tomada de decisões visando à proteção das águas subterrâneas poderá ser posta em prática em tempo hábil.

Na definição dos níveis d'água serão incluídos poços que serão construídos no âmbito deste projeto para a rede de monitoramento da Bacia do Rio Carinhanha, poços do sistema público de abastecimento e poços de particulares; além destes, serão utilizados os níveis em nascentes e cursos d'água superficiais das áreas a serem estudadas nas duas bacias e entorno. A seleção dos pontos deve priorizar poços que possam estar com o mínimo de interferência de bombeamento, seja no próprio poço ou até mesmo em poços próximos. Também deve ser

observada uma distribuição geográfica uniforme, sempre que possível, na busca de uma densidade que possa ser representativa para as distintas áreas investigadas neste estudo.

Todos os pontos selecionados devem ser nivelados topograficamente, tendo em vista a obtenção das cargas potenciométricas do aquífero no local para elaboração do mapa potenciométrico atual. O nivelamento será orientado no sentido de se obter a maior precisão possível, para que as interpretações do nível potenciométrico levem a obtenção de resultados confiáveis. Os dados de nivelamento também serão utilizados em apoio à obtenção de seções topográficas do terreno para a composição de seções hidrogeológicas.

O *Datum* para o nivelamento topográfico e coordenadas dos poços será o SIRGAS 2000 (planimétrico) e Imituba (altimétrico) estabelecido pelo IBGE como o Sistema Geodésico de Referência Brasileiro.

Será utilizado GPS Geodésico nas atividades de nivelamento topográfico. A precisão requerida para o nivelamento é compatível com erros de, no máximo, 05 (cinco) centímetros. É importante que o ponto a ser nivelado no ponto d'água constitua um referencial permanente e que não seja facilmente alterado com o tempo.

Em todos os pontos d'água selecionados deverão ser medidos o nível da água em duas campanhas, sendo uma no período chuvoso e a outra no período de estiagem. A CTAF deverá acompanhar e fiscalizar esse serviço, zelando para que o mesmo seja executado dentro das especificações técnicas previstas e dentro dos prazos que serão acordados com os usuários.

Esta atividade terá por objetivo elaborar os mapas potenciométricos e de fluxo atuais, caracterizando o fluxo subterrâneo e indicando zonas de recarga e descarga das águas subterrâneas, além das relações entre as águas subterrâneas e as águas superficiais. As escalas destes mapas se darão da seguinte forma:

- Bacia do Rio Verde Grande: na escala 1:25:000 nas áreas originais do Jaíba (apresentada no Item 3.1.2), da Bacia do Rio Vieira (apresentada no Item 3.1.1) e da Bacia do Rio Salobro (apresentada no Item 3.1.3). Para a superfície complementar prevista, os trabalhos envolveriam a investigação em caráter mais regional;
- Bacia do Rio Carinhanha: na escala 1:50.000.

Também será registrada e descrita para as áreas estudadas a evolução da potenciometria com o tempo a partir de mapas potenciométricos, preferencialmente e se possível, a cada intervalo de dez anos a partir de 1980. Os dados dos níveis serão obtidos junto as fichas técnicas de poços do IGAM, INEMA, CODEVASF, CPRM, entre outras instituições, além dos trabalhos de Silva (1984) e ANA (2009). A escala destes mapas deverá ser discutida entre a CTAF e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) diante da quantidade de informações obtidas para a execução desta atividade.

Os mapas deverão ser apresentados em meio digital compatível com *ArcGis 10.3* ou versão mais atual, a partir dos quais serão descritos as direções e sentidos dos fluxos subterrâneos, os respectivos gradientes hidráulicos e calculada as vazões de escoamento

natural, assim como destacadas as áreas de recargas prioritárias. Deverão ser agregados a esses mapas os dados de poços de outras pesquisas, desde que devidamente consistidos.

Chama-se aqui a atenção para os cuidados que devem ser tomados no caso da utilização de programas de computador para a interpolação de linhas equipotenciais. Deverão ser adotados procedimentos que conduzam à apresentação de uma potenciometria consistente.

Todas as informações geradas neste tópico deverão ser avaliadas diante da análise do comportamento temporal do escoamento de base nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, que constam do item 5.4.5, com objetivo de conhecer a evolução da depleção dos níveis das águas subterrâneas e da exploração dos recursos hídricos nestas duas bacias ao longo do tempo, inclusive avaliando variáveis importantes no processo, como a precipitação e o uso e ocupação da terra.

#### 5.4.5. Caracterização Climática e Hidrológica

A caracterização climática da área deve ser efetuada com base em dados de estações pluviométricas e meteorológicas existentes, incluindo dados de séries históricas de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e índice global de radiação, com a consequente avaliação da evapotranspiração real, evapotranspiração potencial e estabelecimento do balanço hídrico. Os excedentes hídricos e déficits hídricos serão determinados pelo balanço. Com base no conhecimento destes excedentes de água, deverá ser feita a avaliação potencial da taxa de infiltração das águas de precipitação que efetivamente recarregam os sistemas aquíferos Urucuia, Cárstico e Fissuro-Cárstico da áreas a serem avaliadas das bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha.

A caracterização hidrológica deverá abordar a realização das estimativas da influência subterrânea sobre a vazão dos cursos de água. Deverão ser utilizados os seguintes métodos:

- 1) Método de análise baseado em curvas de permanência. Este método consiste em adotar um índice que represente a proporção do escoamento de base em relação ao escoamento do rio. O índice é obtido a partir da relação entre duas vazões com permanências distintas, para uma dada seção fluvial, com base em uma série histórica de vazões. Para este estudo, aplicar-se-á o índice correspondente à relação entre a  $Q_{90}$  e a  $Q_{50}$ , que correspondem, respectivamente, às descargas que são iguais ou excedidas em 90% e 50% do tempo. Segundo Silva (2007) *apud* Nathan & MacMahon (1990), esse índice pode ser interpretado como representativo da proporção do escoamento do rio que se origina do reservatório subterrâneo. A relação entre curvas de permanência deve ser ajustada segundo a morfologia da bacia hidrográfica, clima, solo e tipo de aquífero. Deverão ser indicados para todas as estações fluviométricas utilizadas, os valores de  $Q_{50}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ , além das vazões mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_7$ .
- 2) Métodos de análise das curvas de recessão e métodos de separação automática do escoamento de base que empregam o uso de algoritmos ou de filtros digitais (Eckhardt,

2005). Para os primeiros métodos devem-se considerar as diversas funções de recessões propostas na literatura, e avaliar aplicabilidade dessas equações no contexto hidrogeológico da bacia. Como exemplo podem ser citadas as técnicas abordadas em Padilla *et al* (1994), Nathan & McMahan (1990), Griffiths & Clausen (1997) e Tallaksen (1995). Outras proposições metodológicas poderão ser contempladas quanto à aplicabilidade ao estudo em questão. Os métodos a serem selecionados serão definidos em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.

Para a aplicação das metodologias acima descritas, deverão ser identificados os cursos de água que sofrem influência dos distintos sistemas aquíferos em seus fluxos, e os postos fluviométricos neles existentes. Para estas estações, deverá ser realizada a consistência das medições de descarga líquida e das séries de cotas, bem com a análise e traçado das curvas-chave para restituição das séries históricas de vazões médias diárias. Caso essas séries apresentem descontinuidade nos dados de vazão, deverão ser adotados métodos de preenchimento de falhas. Na sequência, os dados deverão passar por uma análise de consistência por meio de técnicas amplamente utilizadas e aceitas na área da hidrologia para, em seguida, realizar a aplicação das metodologias propostas.

Para o desenvolvimento desta atividade, deve-se analisar os mapas e estudos de ocupação e uso da terra que possam contribuir no conhecimento da recarga da região e dos possíveis problemas relacionados também à quantidade das águas. Inclusive deverão ser contabilizadas as atividades relativas à urbanização, como os sistemas de drenagem de águas pluviais (lagoas de infiltração, solo e outras), descargas do esgotamento sanitário, perdas devido a vazamentos nas tubulações de suprimento de água, etc.

Ao final dessa avaliação e considerando o balanço hídrico, será estimada a participação de cada um dos afluentes na vazão total do Rio Carinhanha e das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande nos trechos correspondentes e, por fim, o quanto da vazão desses rios é contribuição dos sistemas aquíferos estudados.

A reunião das séries históricas utilizadas com os dados de vazão média diária consistidos e sem falhas amostrais, as metodologias aplicadas para consolidação desses dados, as curvas de permanência resultantes, os índices decorrentes desses gráficos e as avaliações relacionadas à estimativa do escoamento de base para os rios Vieira e Salobro (Bacia do Rio Verde Grande) e do Rio Carinhanha e seus afluentes deverão fazer parte, incluindo as diversas formas de apresentação dos resultados, como tabelas, gráficos, entre outras, de relatório parcial, conforme cronograma físico proposto.

Adicionalmente, na Bacia do Rio Verde Grande, será avaliado o comportamento temporal do escoamento de base nas áreas piloto, onde o uso e ocupação da terra vem sendo alterado de modo significativo nas últimas décadas. Nesse sentido, serão selecionadas conjuntamente, entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF, duas estações fluviométricas, com áreas de contribuição da ordem de centenas de km<sup>2</sup>, com período de dados diários de, pelo menos, 40 anos, as quais tenham nas proximidades de suas áreas de

influência estações pluviométricas, também, com extensão de séries de, ao menos, 40 anos. Na impossibilidade de obter estações com esse período de dados, a CTAF escolherá outra faixa de cobertura temporal, após sugestões do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O mesmo procedimento será adotado caso os aquíferos indicados tenham alguma limitação areal ou de dados.

A análise consistirá em estimar o escoamento de base pelas diversas metodologias abordadas anteriormente e avaliar o seu comportamento ao longo do tempo, tendo como variáveis a precipitação e o uso e ocupação da terra, além da exploração por poços tubulares e os mapas potenciométricos em função do tempo. Ao final da análise, deverão ser indicados se ocorreu variação no escoamento de base, se esta se deveu a mudanças na precipitação, no uso e ocupação da terra, retiradas por poços ou por um somatório dessas variáveis, apresentando evidências dessas eventuais correlações, entre outras abordagens.

É importante lembrar que as relações entre os cursos superficiais e os aportes de águas subterrâneas são diferenciadas em aquíferos cársticos. Nos carstes as águas infiltradas podem voltar à mesma bacia hidrográfica ou desviar-se para outra bacia hidrográfica. Neste sentido, os estudos hidrológicos devem definir os reais divisores das bacias a serem estudadas e verificar a congruência entre os divisores destas bacias hidrográficas com os das bacias hidrogeológicas.

#### *5.4.6. Modelo Hidrogeológico Conceitual*

Com base em correlações de perfis de poços pré-existentes e a serem executados, nos resultados dos testes de aquífero, nas características do fluxo subterrâneo e recarga dos sistemas aquíferos locais será proposto um Modelo Hidrogeológico Conceitual dos sistemas aquíferos formados pelas rochas do Grupo Urucua e Bambuí das áreas estudadas nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha, de forma conjunta ou individualmente, dependendo dos resultados da avaliação hidrogeológica. O modelo deverá, necessariamente, caracterizar possíveis compartimentações hidrogeológicas locais.

Os tipos de aquífero envolvidos no sistema hidrogeológico serão definidos e serão apresentados os seus parâmetros hidráulicos médios com base nos resultados dos testes de aquífero que serão realizados no âmbito do projeto, em parâmetros hidrodinâmicos apresentados em estudos já realizados e na reavaliação e/ou interpretação de resultados (dados) de testes realizados anteriormente. Esse modelo deve ser descrito criteriosamente com informações de circulação, dinâmica de fluxo, espessura, relações de contato entre as unidades aquíferas, com apresentação de blocos diagramas esquemáticos e figuras que facilitem a compreensão do modelo apresentado.

Esse modelo deve ser ainda apresentado como modelo computacional. Com essa ferramenta, pretende-se aumentar a compreensão da hidrogeologia, determinar as vazões máximas permissíveis de bombeamento, definir as áreas de proteção e controle do uso da

água subterrânea, simular o fluxo subterrâneo natural e os processos de transporte de possíveis contaminantes.

Deverá ser apresentada uma simulação de cenários de longo prazo no que tange ao crescimento da demanda e sua consequência à disponibilidade hídrica integrada das áreas estudadas nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha.

#### 5.4.7. Mapa Hidrogeológico da Bacia do Carinhanha e dos Pilotos da Bacia do Verde Grande

Os mapas hidrogeológicos da Bacia do Carinhanha e dos pilotos da Bacia do Verde Grande deverão reunir as informações coletadas, interpretadas e georreferenciadas nesta fase de estudos hidrogeológicos e deverá conter, no mínimo:

- Os sistemas aquíferos caracterizados com suas descrições litológicas e suas variações com respectivas distribuições geográficas, parâmetros hidráulicos e qualidade das águas (diagramas de Stiff);
- Informações sobre alguns poços típicos de cada sistema aquífero, com apresentação resumida de alguns dados, tais como: nível estático, nível dinâmico, vazão, espessuras do saturado, condutividade elétrica, idade da água (se for o caso);
- Distribuição espacial dos poços cadastrados;
- Potenciometria com caracterização do fluxo subterrâneo;
- Delimitação das áreas de recarga e descarga.

Os mapas deverão ser apresentados na forma digital, compatível com *ArcGis 10.3* ou versão mais atual, e deve observar resultados de estudos anteriores. As escalas serão de 1:25.000 ou 1:50.000 para as áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande conforme descreve o item 3.1.4.3, e na escala 1:50.000 para a Bacia do Rio Carinhanha. Para cada mapa hidrogeológico elaborado neste projeto, haverá a elaboração de um *banner*, o qual deverá conter uma seção geológica esquemática, além de alguns mapas temáticos a serem discutidos com a CTAF.

#### 5.4.8. Recarga, Reservas Subterrâneas e Potencialidades dos Sistemas Aquíferos

O conhecimento da recarga deverá conduzir em uma primeira aproximação a uma indicação dos recursos explotáveis das águas subterrâneas. Assim sendo, seu conhecimento constitui um dos caminhos a trilhar em busca da sustentabilidade do uso das águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Urucuia e Bambuí Cárstico e Fissuro-Cárstico. A recarga poderá ser estimada por diversos métodos indiretos como balanço hídrico integrado, estimativa do escoamento de base, variação de níveis em poços, entre outras possibilidades.

A utilização de diferentes metodologias proporciona a comparação de resultados e permite chegar a valores mais representativos. Deve ser selecionada, de forma justificada, a melhor metodologia para apresentação dos resultados finais nos estudos desses aquíferos.

Em função do conhecimento das dimensões desses sistemas aquíferos, dos dados do cadastro de poços, da porosidade efetiva e das variações sazonais do nível potenciométrico, serão avaliadas as reservas permanentes e reguladoras na Bacia do Rio Carinhanha e nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande. Os conceitos de reservas devem considerar aqueles abordados no Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2013 (ANA, 2013b).

A potencialidade dos sistemas aquíferos também é fundamental para subsidiar o planejamento do uso da água na bacia. Deve ser atualizada em relação a potencialidade do Sistema Aquífero Urucuia calculada no estudo da ANA (2017) na Bacia do Rio Carinhanha, e calculada a potencialidade dos aquíferos Cárstico e Fissuro-Cárstico das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande.

## **5.5. Avaliação Integrada das Águas Subterrâneas e Superficiais**

### *5.5.1. Balanço Hídrico Integrado*

#### 5.5.5.1. Balanço Hídrico Integrado

O balanço hídrico descreve os vários componentes do ciclo hidrológico, como precipitação, escoamento superficial, escoamento subterrâneo, evaporação e transpiração. Contudo, normalmente as estimativas dessas variáveis nos balanços hídricos representam apenas o cômputo das águas superficiais ou apenas dos aquíferos. O balanço hídrico integrado neste estudo, por sua vez, busca alcançar a estimativa das entradas e saídas do sistema hídrico como um todo para a Bacia do Rio Carinhanha e nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, tendo em vista que os rios são conectados com os aquíferos e mantidos por estes no período de estiagem.

No balanço hídrico realizado no âmbito dos estudos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Urucuia (ANA, 2017) considerou-se a bacia hidrogeológica como área de contribuição para as vazões de base estimadas nas estações fluviométricas. A estação Lagoa das Pedras, principal da Bacia do Carinhanha, utilizada na estimativa para o período de 1975-2005, revelou valores de escoamento de base da ordem de 28% da precipitação na bacia, revelando-se no estudo como a bacia com maior contribuição subterrânea.

Deve-se considerar no âmbito deste estudo um balanço hídrico integrado com base na avaliação das variáveis num período mais recente de dados disponíveis (chuva e vazão), contando com a avaliação de todas as estações pluviométricas e fluviométricas das bacias dos rios Carinhanha e Verde Grande, inclusive a separação de escoamento de base, conforme citado no item 5.4.5 da “*Caracterização Climática e Hidrológica*” desta proposta técnica.

É fundamental apresentar um bloco diagrama com uma representação esquemática das componentes de entrada e saída do balanço hídrico integrado para cada área a ser estudada neste projeto, bem como as relações entre as variáveis<sup>1</sup>, tais como: Eb/P, Eb/Et.

---

<sup>1</sup> Eb= escoamento de base, P= precipitação; Et = escoamento total

#### 5.5.5.2. Disponibilidade Hídrica Integrada

Com base nas estimativas efetuadas no balanço hídrico integrado deve-se proceder o cálculo de disponibilidade hídrica integrada, ou seja, uma disponibilidade única.

A gestão de recursos hídricos hoje implementada no Brasil não leva em conta a interação entre as águas subterrâneas e superficiais no instrumento de outorga, a despeito do estabelece a Resolução CNRH nº 16/2001, em seu Art.1º§4º.

*“Art. 1º...*

*§4º A análise dos pleitos de outorga deverá considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico visando a gestão integrada dos recursos hídricos.”*

Logo não se adota atualmente uma disponibilidade hídrica única a ser partilhada entre os usuários de águas subterrâneas de um determinado aquífero com os de águas superficiais de rios que dependem desses aquíferos.

Usualmente quando se fala em gestão integrada, o escoamento de base é a variável “comum” que conecta os mananciais superficiais e subterrâneos, o qual corresponde a uma parcela da reserva renovável ou da recarga anual do aquífero. Esse volume pode ser calculado por diversos métodos (ver item 5.4.5), de modo a determinar aquele que mais se adequa às características da bacia. Deste modo, a questão da disponibilidade única recai sobre o percentual a ser partilhado e a vazão remanescente ou ecológica.

No que concerne às vazões de referências é importante destacar que nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha a ANA utiliza a  $Q_{95}$ , o estado de Minas Gerais a  $Q_{7,10}$ , enquanto que a Bahia, a  $Q_{90}$ . Há de se considerar que essas vazões mínimas nada mais são (em seu computo total ou parcial) do que o escoamento das águas subterrâneas para os rios.

Segundo ANA (2017), a maior parte da vazão do Rio Carinhanha provém do fluxo subterrâneo (fluxo de base ou vazão de base). No posto fluviométrico Lagoa das Pedras, cuja bacia de contribuição é 90% ocupada pelo Sistema Aquífero Urucuia, a vazão de base média correspondeu a 90% sobre a vazão total escoada (1970 a 2005). Ou seja, os cursos d’água da Bacia do Rio Carinhanha recebem significativa contribuição das reservas dos aquíferos, situação em que é essencial que a disponibilidade hídrica seja contabilizada conjuntamente. Deve-se ter em conta que ao se extrair águas subterrâneas das reservas renováveis dos aquíferos, estar-se-á, ao longo do tempo, modificando o escoamento de base dos rios e, conseqüentemente, as vazões mínimas utilizadas como referência para outorgas superficiais.

#### 5.5.5.3. Demanda Integrada de Recursos Hídricos

Elaborar um levantamento atualizado das demandas totais de águas superficiais e subterrâneas em toda a Bacia do Rio Carinhanha e nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, baseadas no cadastro atualizado de usuários de águas superficiais e subterrâneas (conforme definido no item 5.4.1).

Os dados de demanda devem considerar a vazão e o tempo de captação com vistas a calcular os volumes extraídos, assim como o manancial utilizado e o tipo de uso da água.

É necessário fazer um levantamento da demanda dos usuários regularizados nas áreas estudadas pelo projeto junto aos órgãos gestores estaduais e a Agência Nacional de Águas. Quanto aos demais usuários cadastrados e que não tiverem dados de demanda deve-se fazer uma estimativa relacionada ao uso da água, ou seja, utilizar-se-á um valor de demanda médio relacionado àquele usuário que dispõe de dados e que tem uso da água correspondente.

Deve-se fazer um levantamento nos projetos previstos de geração de energia nas bacias estudadas, com base nas declarações de reservas de disponibilidade hídrica concedidas a projetos de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

#### 5.5.5.4. Disponibilidade *versus* Demanda

Com o intuito de avaliar a sustentabilidade dos recursos hídricos nas áreas a serem estudadas deve-se estimar o nível de comprometimento hídrico nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha. A estimativa deve resultar do saldo entre a disponibilidade hídrica integrada e a demanda (disponibilidade *versus* demanda).

Assim, o balanço hídrico final integrado deve avaliar o comprometimento da disponibilidade hídrica integrada frente à demanda instalada. Para uma avaliação mais confiável, é preciso utilizar um cadastro o mais completo possível dos usos superficiais e subterrâneos em uma bacia.

Segundo as estimativas de uso das águas efetuadas no estudo da ANA (2017), a situação do balanço hídrico na Bacia do Rio Carinhanha ainda é de relativo conforto, pois somente 3,79% da reserva subterrânea explotável (RPE) estaria comprometida. A reserva explotável ou disponibilidade hídrica subterrânea adotada no estudo já prevê em seu computo um certo grau de integração entre águas superficiais e subterrâneas, pois é definida como 20% da recarga, prevendo que o volume restante deve ser reservado à alimentação do fluxo de base dos rios. Contudo, é importante ressaltar que essa estimativa foi feita considerando os usuários de água subterrânea cadastrados até 2015 (que representa apenas uma parte dos usuários existentes) e com a concepção deste projeto piloto, faz-se necessário considerar nos cálculos a avaliação integrada tanto da disponibilidade hídrica como dos usos.

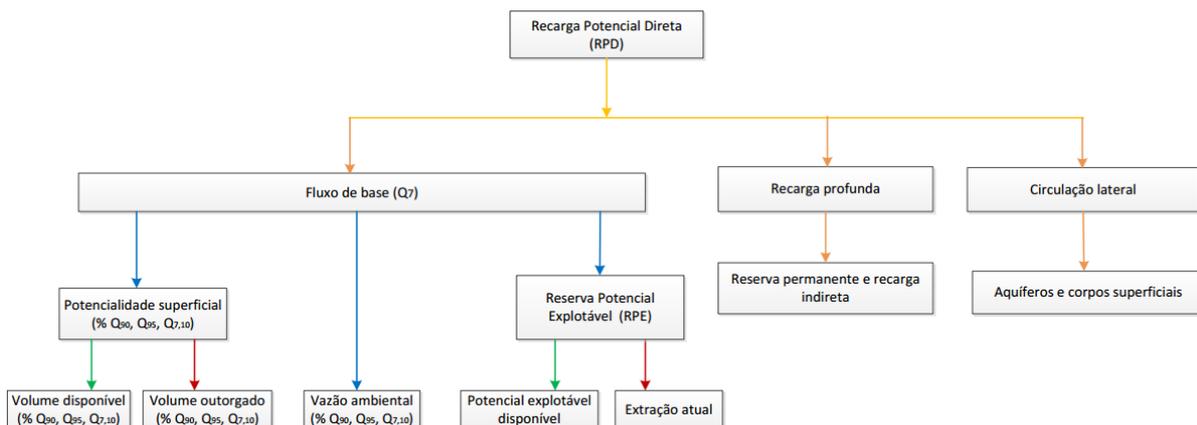
Em relação aos usos superficiais nas duas bacias objeto deste estudo, a situação é menos confortável.

Por exemplo, ao considerar somente os usos superficiais outorgados pela ANA no Rio Carinhanha (dados de 2015 na área correspondente à bacia hidrogeológica do Sistema Aquífero Urucuia), o mesmo estudo apresentou que o comprometimento da disponibilidade hídrica superficial era de 20% da vazão de referência adotada pela ANA (70% da  $Q_{95}$ ). Todavia, foi ressaltado que os dados utilizados apresentavam uma defasagem em relação à realidade, já que os cadastros não contemplavam 100% dos usuários.

Além disso, o estudo da ANA (2017) avaliou a oferta de água com base em uma série de dados para o período de 1970 a 2005, porém apontou diminuição na precipitação pluviométrica e no fluxo de base dos rios a partir da década de 80. Essa tendência certamente se prolonga para o período subsequente ao estudado, com consequente diminuição da oferta de água.

Soma-se às tendências de diminuição da oferta, a tendência de crescimento da demanda por água na Bacia do Rio Carinhanha, especialmente para o uso na agricultura. A área desta bacia integra uma região com potencial de mais de 100% de expansão da agricultura irrigada, conforme apresentado pela ANA no Atlas Irrigação - Uso da Água na Agricultura Irrigada (ANA, 2017b). Tal atividade é acompanhada da substituição do Cerrado por áreas de pastagens e cultivo agrícola, diminuindo a taxa de infiltração da água e consequentemente, a recarga dos aquíferos. O estudo da ANA (2017) sobre o Sistema Aquífero Urucuia avaliou que a taxa de infiltração nas áreas de solo de terras agrícolas é quatro vezes menor que nas áreas de Cerrado. Tais condições tendem a reduzir as cargas potenciométricas dos sistemas aquíferos, com consequente diminuição do escoamento de base dos corpos d'água superficiais.

A análise deverá abordar ainda uma projeção cenários futuros para 5, 10 e 20 anos, em cada área a ser estudada, que considerem as modificações tanto na disponibilidade quanto na demanda, em relação as tendências verificadas no estudo. O modelo computacional previsto deve permitir a avaliação dos efeitos dessas variáveis (chuva, recarga, usos) no escoamento de base e nas vazões mínimas dos rios. Por meio de prognóstico, pretende-se avaliar a sustentabilidade do sistema integrado de recursos hídricos e dimensionar o limite da oferta de água para o futuro, permitindo a adoção de critérios regulatórios compatíveis, bem como permitir um melhor planejamento de empreendimentos.



**Figura 5.1** - Diagrama ilustrando as interdependências entre Recarga, Fluxo de Base, Reserva Potencial Explorável Subterrânea (RPE) e Potencialidade Superficial.

### 5.5.2 *Evolução do Escoamento de Base*

Para avaliação da evolução temporal do escoamento de base nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha serão selecionadas conjuntamente, entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e CTAF, as estações fluviométricas, com áreas de contribuição da ordem de centenas de km<sup>2</sup>, majoritariamente no Sistema Aquífero Urucuia, quando da Bacia do Rio Carinhanha e majoritariamente no Sistema Aquífero Cárstico quando da Bacia do Rio Verde Grande, com período de dados diários preferencialmente superior a 40 anos, as quais tenham nas proximidades de suas áreas de influência estações pluviométricas, também, com extensão de séries de, ao menos, 40 anos. Na impossibilidade de obter estações com esse período de dados, a CTAF escolherá outra faixa de cobertura temporal, após sugestões do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A análise consistirá em estimar o escoamento de base e recarga, por diversas metodologias, incluindo o uso de filtros digitais recursivos, particularmente Eckhardt (2005) e variação do nível d'água dos distintos aquíferos de acordo com a bacia (Sistema Aquífero Urucuia na Bacia do Carinhanha e Sistema Aquífero Cárstico na Bacia do Verde Grande). Deverão ser determinadas curvas de permanência anuais (ano hidrológico) de forma a acompanhar sequencialmente a variação de vazões típicas, tais como  $Q_{50}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ , a relação  $Q_{90}/Q_{50}$  além da determinação das vazões mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_7$ .

Assim, será avaliado o comportamento ao longo do tempo, do escoamento de base, tendo como variáveis a precipitação e o uso e ocupação da terra. Ao final da análise, deverão ser indicados se ocorreram variações temporais no escoamento de base, se estas apresentam correlações com mudanças na precipitação e no uso e ocupação da terra, sinalizando evidências dessas eventuais conexões, entre outras abordagens.

### 5.5.3 *Interferência do Bombeamento entre Poços e na Vazão dos Rios*

Esta atividade será desenvolvida especificamente na Bacia do Rio Carinhanha. Com os resultados, pretende-se definir um espaçamento ótimo entre poços e entre os poços e os rios no contexto local desta bacia, especialmente para as captações no Sistema Aquífero Urucuia.

O estado da Bahia adota entre os critérios técnicos para a perfuração de poços tubulares no Sistema Aquífero Urucuia uma distância mínima entre poços tubulares de 600 a 2.500 metros e a distância entre poços tubulares e corpos hídricos superficiais de 500 ou 2.500 metros, a depender da vazão do poço (IN INGÁ nº15/2010).

No estudo em questão, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá avaliar a influência dos bombeamentos dos poços entre si e nos corpos d'água superficiais. A análise deve ser feita por meio da utilização de métodos de análise consagrados na literatura, como: Theis (1941), Glover-Balmer (1954), Hantush (1965), Hunt (1999) e Theis com correção de Dupuit. Os parâmetros hidrodinâmicos oriundos dos testes de aquífero realizados na bacia (item 5.4.2) devem ser a base para o cálculo dos raios de influência dos poços, bem como para utilização

em simulações numéricas que avaliem os efeitos de depleção de um rio devido ao bombeamento de poço.

## 5.6. Proposta e Implementação de Rede de Monitoramento Integrada

Uma Rede de Monitoramento Integrada é ferramenta fundamental para correta implementação da gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Os presentes estudos pilotos deverão indicar uma rede integrada superficial/subterrânea com implantação de dispositivos de monitoramento automático permanente dos níveis e descargas dos poços para a aquisição de dados com o objetivo de limitar com segurança as retiradas superiores à reserva potencial explorável, que servirá de referência para as outorgas tanto de águas superficiais como de águas subterrâneas.

### 5.6.1. *Locação e Instalação de Poços de Monitoramento*

Deverá ser proposta a locação e realizada a instalação de 10 (dez) poços nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande e 5 (cinco) poços na Bacia do Rio Carinhanha para monitoramento de níveis e qualidade das águas com profundidade média de 100 (cem) metros. A seleção de locais para a perfuração desses poços deverá considerar o conhecimento geológico, hidrogeológico e de geofísica existente e serão escolhidos conjuntamente entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.

Os poços deverão ser perfurados em diâmetro mínimo de 8½ (oito e meia) polegadas e revestidos até a profundidade média de 50 (cinquenta) metros, utilizando-se tubos de revestimento e filtros (Geomecânico) de 4½ (quatro e meia) polegadas de diâmetro mínimo. O espaço anular entre as paredes dos poços e o revestimento, na altura dos filtros, deve ser preenchido com cascalho calibrado (pré-filtro), limpo e de praia. As camadas superiores situadas acima do pré-filtro serão isoladas com cimento *portland* para que não haja contribuição de águas dos níveis mais superiores que venham a influenciar na representatividade dos resultados dos ensaios e também para evitar a entrada no poço de águas pluviais via pré-filtro. Nas Bacias dos Rios Verde Grande e Carinhanha os poços serão perfurados e instalados durante os meses 12 (doze) a 18 (dezoito) do projeto.

Ademais esta escolha deverá considerar os pontos de monitoramento da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) da CPRM, bem como os pontos de monitoramento da Rede Hidrometeorológica Nacional e das redes estaduais, além de outras questões a serem definidas em conjunto com a CTAF. A princípio serão instalados 10 (dez) sensores *dataloggers* internos para a leitura de nível e temperatura para a Bacia do Rio Verde Grande e 05 (cinco) sensores *dataloggers* internos para a leitura de nível, condutividade elétrica e temperatura para a Bacia do Carinhanha.

Entretanto, deverá ser proposto um plano de monitoramento das águas subterrâneas com a implantação dos 15 (quinze) pontos para a instalação de sensores telemétricos para medição dos níveis de águas subterrâneas. Na proposta deverão ser estipulados os

parâmetros, metodologias de análise e frequências de amostragens em função do uso e ocupação da terra e dos resultados obtidos por meio das informações adquiridas com os níveis de água apresentados neste trabalho. Deverão ser avaliados e considerados os custos futuros para manutenção e operação dessa rede, bem como definidas as entidades responsáveis, após a finalização do presente projeto.

### 5.6.2. Rede de Monitoramento da Bacia do Rio Carinhanha

Tendo como propósito o conhecimento da disponibilidade hídrica e da interação das águas superficiais e subterrâneas na região do Aquífero Urucuia, CPRM tem adensado as redes de monitoramento desde 2014, quer seja de monitoramento climatológico, pluviométrico, fluviométrico, piezométrico e de qualidade das águas.

Atualmente a rede da Bacia do Rio Carinhanha é composta por:

- Rede climatológica: 03 (três) estações automáticas instaladas pela CPRM;
- Rede pluviométrica: 10 (dez) estações da RHN – Rede Hidrológica Nacional; 04 (quatro) estações pluviométricas do INEMA; 02 (duas) estações automáticas instaladas pela CPRM; 7 (sete) estações pluviométricas a instalar pela CPRM ao lado dos poços da RIMAS.
- Rede Fluviométrica: 05 (cinco) estações da RHN; 02 (duas) estações do INEMA; 02 (duas) estações convencionais instaladas pela CPRM.
- Rede Piezométrica: 04 (quatro) poços RIMAS instalados na parte mineira; e 05 (cinco) poços novos RIMAS a instalado no âmbito do presente trabalho.

Importante ressaltar que durante a estiagem severa registrada nos últimos anos, os poços RIMAS instalados e equipados na parte mineira da Bacia do Rio Carinhanha foram indevidamente apropriados para abastecimento das comunidades locais. A CPRM está tentando recuperá-los. Caso isto não ocorra e em comum acordo com a ANA e CTAF, pode-se estudar a perfuração e instalação de 04 (quatro) novos poços na parte mineira da Bacia do Rio Carinhanha, a depender de recursos aditivos.

### 5.6.3. Rede de Monitoramento das Áreas Piloto da Bacia do Verde Grande

Para o desenvolvimento do estudo proposto de gerenciamento integrado de recursos hídricos, considerando o domínio dos aquíferos cársticos nas áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, onde a resposta a eventos chuvosos no escoamento superficial e subterrâneo pode ser muito rápida, será interessante, com vistas à ampliar o alcance dos objetivos e produtos propostos para os estudos, que seja implantada uma rede de monitoramento hidrológico com equipamentos automáticos. Para tanto se propõe a instalação das seguintes estações:

- 01(uma) estação climatológica automática;
- 02 (duas) estações pluviométricas automáticas;

- 05 (cinco) calhas *Parshall* com medidores automáticos.

## 5.7. Estratégias de Gestão Integrada das Águas Superficiais e Subterrâneas

As propostas de *Marco de Gestão Integrada entre as águas superficiais e subterrâneas da Bacia do Rio Carinhanha e da Bacia do Rio Verde Grande* compreenderão os aquíferos cársticos e fissuro-cársticos e o Sistema Aquífero Urucua e cursos de água destas bacias, de forma a gerar mecanismos para a efetivação da gestão integrada a serem implementados pelos estados de Minas Gerais e Bahia e pela União.

### 5.7.1. *Elaboração de Proposta de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas*

A gestão integrada dos recursos hídricos deve ser pautada tanto com relação à interdependência das águas superficiais e subterrâneas e suas relações com o uso e ocupação do solo. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deve propor estratégias de manejo sustentável dos recursos hídricos subterrâneos e mecanismos de articulação entre os entes envolvidos de forma a promover a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e sua articulação com o uso e ocupação da terra.

Esta proposta deverá subsidiar a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas nestas bacias hidrográficas, considerando que as vazões de referência adotadas pelos estados são vazões mínimas, e, portanto, representam o fluxo de base dos aquíferos, que mantém a perenidade dos rios nos períodos de estiagem. A proposta deverá sugerir mecanismos para o cálculo da disponibilidade hídrica integrada entre os estados e a União, considerando as contribuições das vazões destes aquíferos para os rios, as dominialidades de cada corpo de água, bem como as condições de entrega entre cada ente.

A reunião de todas as informações geradas, coletadas, sistematizadas e interpretadas, deverá ser parte integrante de relatório a ser protocolado em meio digital. A proposta do Marco deverá conter, no mínimo, os seguintes temas apresentados a seguir:

### 5.7.2. *Levantamento do Arcabouço Legal e Institucional para a Gestão de Recursos Hídricos*

Com o objetivo de propor normativos integrados entre a União e os estados de Minas Gerais e Bahia, bem como entre os dois estados, toda a legislação federal e estadual relacionada a gestão de recursos deve ser levantada de forma a apontar os mecanismos mais adequados para a implementação da gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos nas bacias do Rio Carinhanha e do Rio Verde Grande. Além deste levantamento, deve ser apresentada uma análise crítica da legislação e, se for o caso, as alterações propostas.

Adicionalmente, deve ser levantado todo o arcabouço institucional para a gestão de recursos hídricos da União e dos Estados, explicitando as competências de cada instituição na gestão de recursos hídricos e formas de melhorar a articulação entre elas.

Destaca-se que nas áreas de estudo há a atuação de dois Comitês de Bacia Hidrográfica, do Rio São Francisco e Verde Grande, cujos atos devem ser analisados com vistas à proposição de mecanismos para a gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos nas duas bacias.

Deve-se avaliar a conveniência da criação de um comitê gestor para o acompanhamento da implementação da gestão integrada, que se reporte periodicamente ao CNRH para relatar a evolução da experiência.

### 5.7.3. Diretrizes para Gestão Compartilhada entre os Estados

Para a implantação da **Proposta de Gestão Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas**, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá propor ações que favoreçam a implementação da gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Esta atividade tem a finalidade de apresentar para discussão em seminários os mecanismos mais adequados para a implementação da gestão integrada e compartilhada dos recursos hídricos nas bacias do Rio Carinhanha e do Rio Verde Grande, metodologias de cálculo da disponibilidade hídrica integrada entre os estados e a União, por meio da definição de critérios e limites para outorgas de águas superficiais e subterrâneas, e condições de entrega para cada ente. Ademais deverão ser apresentadas e discutidas as propostas de normativos conjuntos para a implementação da gestão integrada e compartilhada nestas bacias.

A gestão participativa deverá ser desenvolvida a partir da realização de 06 (seis) seminários nos estados da Bahia e Minas Gerais, com duração de um dia, envolvendo todos os atores-chave locais, incluindo representantes dos órgãos gestores de meio ambiente e recursos hídricos, de conselhos e comitês envolvidos, representações de usuários e outros atores importantes identificados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e pela CTAF. As cidades onde serão promovidos os seminários serão escolhidas em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF. Os encaminhamentos dos seminários desenvolvidos no Projeto Aquífero Urucuia (ANA, 2017) e do Projeto Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos (ANA, 2018) devem ser integrados ao presente trabalho.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) se responsabilizará, em articulação com os órgãos gestores estaduais, pelos convites, pela preparação do seminário e pelo seu decurso e, ao final de cada evento, desenvolverá um relatório a ser entregue em meio digital como parte dos relatórios parciais.

A gestão integrada dos recursos hídricos deverá observar todos os aspectos formulados nas estratégias de uso e proteção de águas subterrâneas. Os sistemas aquíferos Bambuí e Urucuia devem, necessariamente, possuir uma análise integrada entre eles e com os cursos de água superficiais. Em função dos resultados dos estudos do Projeto Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e do Projeto Aquífero

Urucuia, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá propor os mecanismos necessários para se efetivar a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos pelos órgãos gestores de recursos hídricos dos Estados e outras instâncias de gerenciamento.

A partir dos resultados obtidos deve-se propor um **Marco de Gestão Integrada entre as Águas Superficiais e Subterrâneas da Bacia do Rio Carinhanha e da Bacia do Rio Verde Grande**, que deverá considerar os seguintes pontos:

- Integrar as propostas de regulamentação ou de reformulação da legislação vigente, sugeridas pelo Projeto Aquífero Urucuia (ANA, 2017) e Projeto Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos (ANA, 2018) da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, que visam controlar o uso e a preservação das águas subterrâneas, considerando a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas dos sistemas aquíferos Bambuí e Urucuia, de forma compartilhada;
- A normatização para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos deverá abordar os seguintes aspectos: mecanismo institucional de gestão, bases técnicas para o licenciamento, outorga, fiscalização e cobrança pelo uso da água e aplicação de sanções e penalidades;
- Sugerir critérios e limites para outorgas de águas superficiais e subterrâneas, e mecanismos para a utilização de disponibilidade hídrica integrada entre estados e União;
- Indicação de Áreas de Proteção de Zona de Recarga de Aquífero;
- Indicação de possíveis Áreas de Restrição e Controle com justificativas técnicas, visando a proteção de mananciais para o abastecimento humano, dessedentação de animais, preservação dos ecossistemas, áreas com iminente risco de contaminação e áreas com superexploração;
- Mapa de zoneamento de vazões exploráveis indicando as melhores áreas para captação de água subterrânea, tanto em termos qualitativo quanto quantitativo e cenários para o estabelecimento de distâncias mínimas a serem observadas entre os futuros poços a serem perfurados, considerando as proposições em vigor nos Estados;
- Mapa com balanço hídrico integrado, indicando as vazões outorgáveis tanto de águas superficiais quanto subterrâneas.

Após as discussões nos seminários, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar as propostas de **Marco de Gestão Integrada entre as Águas Superficiais e Subterrâneas da Bacia do Rio Carinhanha e da Bacia do Rio Verde Grande**, que deverão ser apresentados em plenária do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e do Comitê da Bacia Hidrográfica do Verde Grande, com ênfase nas questões relacionadas acima.

A reunião de todas as informações geradas, coletadas e sistematizadas interpretadas, no item 5.7, deverá ser parte integrante de relatório a ser entregue em meio digital.

## 5.8. Realização de Seminários de Gestão Participativa

Serão realizados 06 (seis) seminários de gestão participativa (03 para a Bacia do Rio Verde Grande e 03 para a Bacia do Rio Carinhanha) com vistas a garantir a divulgação dos estudos (andamento e conclusão) para a sociedade. Com o objetivo de inserir a sociedade no debate referente à preservação dos mananciais subterrâneos e superficiais, bem como proporcionar o seu acesso à informação. Esse processo traz relevantes benefícios, tais como o estímulo à organização e participação na busca das resoluções dos problemas vivenciados cotidianamente na gestão das águas, além de claramente adicionar o componente da mudança de atitudes e comportamentos, de maneira proativa em favor de melhorias nas condições de saúde, qualidade de vida e reflexos positivos no meio ambiente e seu entorno.

Os 02 (dois) primeiros seminários (01 para a Bacia do Rio Verde Grande e 01 para a Bacia do Rio Carinhanha) serão efetuados no mês 02 (dois) do contrato, logo após a entrega do Relatório Parcial 01, quando serão apresentados para a sociedade, pelos integrantes do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e da CTAF, o planejamento e o detalhamento das ações previstas para a execução do projeto. Os resultados compilados destes primeiros seminários deverão ser entregues no Relatório Parcial 02, mês 06 (seis).

Outros 02 (dois) seminários (01 para a Bacia do Rio Verde Grande e 01 para a Bacia do Rio Carinhanha) serão realizados no mês 18 (dezoito) do contrato, ocasião em que serão apresentados resultados parciais dos estudos. Nessa ocasião serão desenvolvidas amplas discussões sobre as atividades desenvolvidas até o momento destes seminários e colhidas sugestões para a conclusão dos futuros produtos, em especial para a futura elaboração das propostas de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas para cada bacia. Os resultados compilados dos destes seminários deverão ser entregues no Relatório Parcial 05, mês 23 (vinte e três).

O quinto e sexto seminários (01 para a Bacia do Rio Verde Grande e 01 para a Bacia do Rio Carinhanha) serão realizados no mês 36 (trinta e seis) do contrato, após a entrega do Relatório Final. Consistirá da apresentação dos resultados finais dos trabalhos e as propostas de modelo de gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas da Bacia do Rio Carinhanha e das áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande, destacando a importância da participação da comunidade na solução dos problemas relativos ao uso dos recursos hídricos em ambas regiões.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá propor a estrutura dos Seminários para avaliação junto à CTAF. Os seminários serão organizados e custeados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em articulação com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos de Minas Gerais e da Bahia e terão a duração de 01 (um) dia. Deverão ser gravados, filmados e documentados; e deve contar com *coffee break* na parte da manhã e à tarde para os participantes. As cidades onde serão promovidos os seminários serão escolhidas em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.

A participação e custeio dos convidados correrá por conta de seu respectivo órgão ou empresa ou por conta própria; não cabendo a ANA, IGAM, INEMA ou o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) arcarem com quaisquer despesas referentes a participação dos convidados. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) será responsável pelas despesas de participação de sua equipe técnica, que deverá estar representada, no mínimo, pela equipe chave dos estudos.

## 6. SISTEMATIZAÇÃO E ENTREGA DOS DADOS

Todas as informações primárias e secundárias levantadas devem ser compiladas e armazenadas em meio digital em um banco de dados no *ArcGis 10.3* ou versão mais atual (*filegeodatabase*), apto a permitir a consulta das informações, a geração de novos mapas, assim como a atualização de informações. Os dados de usuários de recursos hídricos e suas respectivas infraestruturas (poços, nascentes, barragens, etc.) cadastrados neste projeto e compilados de estudos anteriores disponibilizados pelo IGAM, INEMA e/ou obtidos no âmbito desses estudos, deverão ser incluídos pelo IGAM (dados de Minas Gerais) e INEMA (dados da Bahia) no CNARH/SNIRH.

Os dados brutos e processados devem ser entregues em planilhas e incluídos como anexo nos relatórios parciais correspondentes.

O *Datum* de referência para a construção desse banco de dados, confecção dos mapas e para a aquisição de dados primários no âmbito desses estudos será o SIRGAS 2000 (planimétrico) e Imbituba (altimétrico) adotado pelo IBGE como *Datum* do Sistema Geodésico Brasileiro.

O banco de dados deve estar organizado por temas, onde devem ser incluídos todos os dados e informações obtidos nos estudos ou compilados de estudos anteriores (análise, fotografia, gráficos, mapas, modelos, etc.), acompanhados dos respectivos metadados. Os dados vetoriais, matriciais e tabulares devem estar organizados em bancos de dados geográfico do ArcGis (*.gdb*). O SIG deve incluir projetos mxd contendo o *layout* de todos os mapas apresentados nos relatórios finais.

Este ambiente de armazenamento de dados e informações possibilitará o processamento ágil e eficiente das informações georreferenciadas, bem como a visualização e comparação de resultados, contribuindo para o suporte à decisão na gestão de recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

Salienta-se que todos os mapas previstos nesta proposta técnica deverão ser elaborados em ambiente *ArcGis 10.3* ou versão mais atual, em escala 1:25.000 / 1:50.000 (pilotos da Bacia do Rio Verde Grande) e em escala 1:50.000 / 1:100.000 (Bacia do Rio Carinhanha), os quais possuirão diferentes camadas temáticas. A entrega dos mapas deve ser feita em papel (neste formato apenas no Relatório Final e Resumo Executivo) e em meio digital (formato PDF, JPG e *ArcGis*).

O banco de dados e o cadastro dos usuários de recursos hídricos e suas respectivas infraestruturas (poços, nascentes, barragens, etc.) serão apresentados de forma preliminar

nos relatórios parciais 03 a 07, ocasiões em que se discutirão as formas de organização, armazenamento e apresentação do conteúdo. E, ao final, de forma conclusiva, junto ao Relatório Final.

## **7. RELATÓRIOS E PRODUTOS ESPERADOS**

Os relatórios parciais (descritos a seguir), Relatório Final e Resumo Executivo deverão ser apresentados à ANA na forma digital (CD-ROM, PEN DRIVE ou DVD) e apenas o Relatório Final e o Resumo Executivo deverão ser impressos (incluindo texto e anexos). Nesses relatórios devem constar a descrição de todas as atividades realizadas, comentários e críticas sobre as metodologias e resultados alcançados, produtos na forma georreferenciada, planilhas, anexos, registros fotográficos e todos os outros tópicos ressaltados e solicitados em cada subitem especificamente.

Esses relatórios serão considerados como referência do cumprimento das atividades exigidas dentro do prazo estabelecido, bem como da qualidade dos serviços. A análise de tais documentos por parte da CTAF irá referendar ou não os trabalhos executados, podendo ser solicitada a reformulação destes produtos sem custos adicionais para o Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A apresentação de todo o conhecimento gerado nesses estudos será descrita em relatório, de forma didática e clara, com utilização de métodos consagrados na literatura, sempre citando e referenciando trabalhos anteriores de acordo com o tema em questão. Serão incluídos gráficos, tabelas, fórmulas, ilustrações (mapas, diagramas, perfis, fotografias, etc.) que elucidem as metodologias e considerações empregadas desde a obtenção dos dados até a fase de interpretação e conclusões.

As versões finais (aprovadas) dos produtos entregues devem ter as seguintes características mínimas:

- Relatórios Parciais: Serão apresentados apenas em formato digital. A mídia (CD-ROM, PEN DRIVE ou DVD) conterá etiqueta ou impressão de identificação semelhante a uma capa de relatório correspondente.
- Relatório Final: Será apresentado em papel e em formato digital. No primeiro formato será papel couche sem brilho 120 g/m<sup>2</sup>. Encadernação em capa dura com costura, o título do trabalho com arte gráfica que inclua uma imagem da região a ser selecionada em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e CTAF. Este relatório poderá ser entregue em vários tomos, separados por temas, a ser decidido em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF. Deve conter o título dos estudos, número/nome do relatório, mês de entrega e logomarca oficial da ANA e da empresa ou consórcio responsável pelos estudos e uma figura/foto da área de estudos como fundo ou enquadrada. Em formato digital, a mídia (CD-ROM, PEN DRIVE ou DVD) deve

conter etiqueta ou impressão de identificação semelhante àquela impressa na capa do Relatório Final em papel.

- **Resumo Executivo:** relatório de no máximo 150 (cento e cinquenta) páginas. Nesse relatório conterà um resumo dos principais conhecimentos técnicos alcançados pelos estudos em linguagem acessível ao público não-técnico e bastante ilustrado (fotografias, gráficos, mapas, etc.). Será apresentado em papel e em formato digital. No primeiro formato será papel couche sem brilho 120 g/m<sup>2</sup>. Encadernação em capa dura com costura, o título do trabalho com arte gráfica que inclua uma imagem da região a ser selecionada em comum acordo entre o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF.
- **Mapas:** os mapas devem ser apresentados na escala 1:25.000 / 1:50.000 (áreas piloto da Bacia do Rio Verde Grande conforme descreve o item 3.1.4.3) e na escala 1:50.000 / 1:100.000 (Bacia do Rio Carinhonha), segundo padrões mínimos e referências praticados pela ANA. Quando da impressão em papel, esta deverá ser efetuada em papel de qualidade. Todos os mapas devem ser encadernados por tema e armazenados em caixa de capa dura forrada com capa semelhante ao do Relatório Final.

É importante destacar que todos os dados e produtos gerados no âmbito deste trabalho serão de propriedade exclusiva da ANA, sendo vedadas a reprodução e distribuição do conteúdo sem a prévia e expressa autorização da ANA, até que seja dada publicidade aos mesmos.

Ao todo deverão ser entregues 10 (dez) vias dos relatórios parciais e mapas em mídias digitais correspondentes, 15 (quinze) vias em papel do Relatório Final, mapas previstos e 100 (cem) vias do Resumo Executivo e 80 (oitenta) mídias digitais correspondentes do Relatório Final e Banco de Dados em CD-ROM, PEN DRIVE ou DVD, conforme descritos a seguir.

### **7.1. Relatório Parcial 01 - RP 01**

Esse relatório abrangerá as atividades relativas à mobilização, planejamento e detalhamento das ações previstas, a qual constará do planejamento, da definição de critérios de trabalho e a consolidação em si da mobilização, planejamento e detalhamento das ações previstas, explicitando o planejamento técnico e físico de cada atividade, descrevendo a metodologia de trabalho a ser empregada, os prazos previstos de execução, os insumos necessários ao desenvolvimento do trabalho e a composição da equipe. Qualquer proposta de modificação quanto ao planejamento inicialmente previsto nesta proposta técnica deve constar nesse produto.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias e deverá ser entregue no final do mês 01 (um), conforme o cronograma de execução sugerido.

## **7.2. Relatório Parcial 02 - RP 02**

O Relatório Parcial 02 deverá conter todo o levantamento, sistematização e interpretação e dados bibliográficos, cartográficos e das imagens de satélite e as informações obtidas na primeira etapa de seminários, que serão realizados no mês 2. Além disso, deverá constar os resultados parciais do cadastro de usuários de águas superficiais e subterrâneas (infraestrutura hídrica), da caracterização geológica e tectônica, da geomorfologia e uso e cobertura do solo e os estudos climatológicos e avaliação hidrológica. Neste relatório deverão constar nos seus resultados: registros de fotografias, tabelas, mapas, gráficos, entre outros.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias e deverá ser entregue no final do mês 06 (seis), conforme o cronograma de execução sugerido.

## **7.3. Relatório Parcial 03 - RP 03**

O terceiro relatório compreenderá os resultados parciais ao cadastro de usuários de águas superficiais e subterrâneas (infraestrutura hídrica), da caracterização geológica e tectônica, da geomorfologia e uso e ocupação do solo, dados de campo da investigação geofísica e dos estudos climatológicos e avaliação hidrológica.

Entrega do formato preliminar do banco de dados. Nessa primeira entrega, a CTAF avaliará e discutirá com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) a forma de organização dos dados nessa ferramenta.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias, e deverá ser entregue no final do mês 12 (doze), conforme o cronograma de execução sugerido.

## **7.4. Relatório Parcial 04 - RP 04**

O quarto relatório compreenderá os resultados finais relativos ao cadastro de usuários de águas superficiais e subterrâneas (infraestrutura hídrica), dados de campo da investigação geofísica, da eleição de poços para coleta de amostras d'água e do nivelamento topográfico dos poços (para potenciometria). Abrangerá os resultados parciais da interpretação de imagens de satélite, da caracterização geológica e tectônica, da geomorfologia e uso e ocupação do solo, dos estudos climatológicos e avaliação hidrológica, das atividades de campo e escritório relativas aos estudos pedológicos, dos resultados obtidos na medição do nível da água, da perfuração de poços, da reinterpretação dos dados geofísicos, da perfuração de poços e perfilagem geofísica, dos testes de aquífero e da instalação de *dataloggers*.

Entrega da segunda versão do banco de dados com todas as informações compiladas e coletadas neste estudo. Nessa entrega a CTAF avaliará a forma de organização dos dados nessa ferramenta e discutirá possíveis adaptações.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias, e deverá ser entregue no final do mês 17 (dezesete), conforme o cronograma de execução sugerido.

#### **7.5. Relatório Parcial 05 - RP 05**

O quinto relatório compreenderá os resultados finais relativos à caracterização geológica e tectônica, à geomorfologia e uso e ocupação do solo e aos estudos climatológicos e avaliação hidrológica e a reinterpretação dos dados geofísicos e da perfuração de poços e perfilagem geofísica, dos testes de aquífero e da instalação de *dataloggers*, além das informações obtidas na segunda etapa de seminários, como prevê o item 5.8 (Realização de Seminários de Gestão Participativa). Os resultados parciais incluídos envolverão as atividades de caracterização pedológica, a interpretação dos resultados obtidos na 1ª campanha de coleta de água e medição do nível da água, modelo hidrogeológico conceitual, modelo computacional, mapa hidrogeológico das áreas piloto, avaliação da disponibilidade e demanda hídricas integradas dos recursos hídricos.

Entrega da terceira versão do banco de dados com todas as informações compiladas e coletadas neste estudo. Nessa entrega a CTAF avaliará a forma de organização dos dados nessa ferramenta e discutirá possíveis adaptações ainda necessárias.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias, e deverá ser entregue no final do mês 23 (vinte e três), conforme o cronograma de execução sugerido.

#### **7.6. Relatório Parcial 06 - RP 06**

O sexto relatório abrangerá os resultados finais relativos às atividades para a elaboração dos modelos hidrogeológicos conceituais, da avaliação integrada das águas subterrâneas e superficiais (disponibilidade hídrica integrada, demanda integrada de recursos hídricos, disponibilidade *versus* demanda, evolução do escoamento de base, interferência do bombeamento de poços entre si e na vazão dos rios) e a proposta da rede de monitoramento integrada. Os resultados parciais consistirão dos mapas potenciométricos e de fluxo subterrâneo, dos mapas hidrogeológicos das áreas piloto, dos modelos computacionais, da interpretação dos resultados obtidos na 2ª campanha de coleta de água e medição do nível da água, da caracterização hidrogeoquímica do conjunto dos resultados das duas campanhas, dos estudos pedológicos, dos modelos computacionais e do levantamento do arcabouço legal e institucional para a gestão de recursos hídricos.

Entrega da quarta versão do banco de dados com todas as informações compiladas e coletadas neste estudo. Nessa entrega a CTAF avaliará a forma de organização dos dados nessa ferramenta e discutirá possíveis adaptações aplicáveis.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias, e deverá ser entregue no final do mês 29 (vinte e nove), conforme o cronograma de execução sugerido.

### **7.7. Relatório Parcial 07 - RP 07**

O sétimo relatório compreenderá os resultados finais dos estudos pedológicos, dos mapas potenciométricos e de fluxo subterrâneo, dos mapas hidrogeológicos das áreas piloto, dos modelos computacionais, da interpretação dos resultados obtidos na 2ª campanha de coleta de água e medição do nível da água, da caracterização hidrogeoquímica do conjunto dos resultados das duas campanhas do levantamento e do arcabouço legal e institucional para a gestão de recursos hídricos; e os resultados parciais associados à elaboração de proposta de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas e às diretrizes para gestão compartilhada entre os estados.

Entrega da quinta versão do banco de dados com todas as informações compiladas e coletadas neste estudo. Nessa entrega a CTAF avaliará de forma definitiva a forma de organização dos dados nessa ferramenta e discutirá possíveis adaptações finais.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) deverá apresentar os resultados em forma de relatório digital em 10 (dez) vias, e deverá ser entregue no final do mês 34 (trinta e quatro), conforme o cronograma de execução sugerido.

### **7.8. Relatório Final - RF**

É uma consolidação dos conhecimentos gerados nos relatórios parciais e os demais produtos associados. Irá conter um texto explicativo com os resultados obtidos, conclusões e recomendações, inclusive contemplando as observações resultantes da segunda fase de seminários. A organização do conteúdo/temas e a divisão em volumes e tomos devem ser previamente acertadas com a CTAF.

O Relatório Final dos estudos deverá conter a análise detalhada da situação atual do comportamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nas áreas piloto selecionadas, a proposta e implantação da rede integrada de monitoramento e as alternativas de curto, médio e longo prazo para o suprimento das respectivas demandas no período mínimo de 20 (vinte) anos.

Juntamente a este relatório, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) também deverá entregar o banco de dados no *ArcGis 10.3* ou versão mais atual (*filegeodatabase*), o qual estará atualizado e serão disponibilizadas as camadas temáticas e os dados sistematizados e interpretados, além da alimentação pelo IGAM e INEMA de todos os dados de poços no CNARH/SNIRH, conforme descrito no item 5.1 desta proposta técnica.

Também será apresentado um volume denominado “Resumo Executivo”, que se trata de um relatório de no máximo 150 (cento e cinquenta) páginas. Esse relatório deve ser um resumo dos principais conhecimentos técnicos alcançados pelos estudos, em linguagem

acessível ao público não-técnico e bastante ilustrado (fotografias, gráficos, tabelas, figuras, mapas, etc.).

O Relatório Final, os mapas previstos e o Resumo Executivo deverão ser apresentados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) no mês 36 (trinta e seis), devendo em papel compreender 15 (quinze) vias do Relatório Final e 100 (cem) do Resumo Executivo, e estarem presentes em 80 (oitenta) mídias digitais (CD-ROM, PEN DRIVE ou DVD), de forma que todas as informações inerentes aos serviços possam ser encontradas em uma única base física.

Como foi descrito anteriormente, após a entrega do Relatório Final, será efetuada a terceira fase de seminários do projeto para a prestação de contas junto à sociedade, com apresentações do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e de acordo com o mostrado no item 5.8 (Realização de Seminários de Gestão Participativa).

## **8. PRAZOS DE EXECUÇÃO E CRONOGRAMA FÍSICO**

O prazo de execução proposto é de 36 (trinta e seis) meses seguidos, para realização de todas as atividades previstas, obedecendo ao seguinte cronograma (**Tabela 8.1**).

**Tabela 8.1. - Cronograma Físico.**

| Atividades   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|
| Mobilização, planejamento e detalhamento das ações previstas                                     | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Levantamento, sistematização e interpretação de dados bibliográficos e cartográficos             | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Levantamento bibliográfico de dados geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, geofísicos, etc.  | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Sistematização e interpretação dos dados   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| <b>Caracterização do Meio Físico</b>   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■ | ■ |   |
| Interpretação de imagens de satélite   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Caracterização geológica e tectônica   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Geomorfologia e Uso e Cobertura do Solo  |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Pedologia  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■ | ■ |   |
| Investigação Geofísica (SEV's)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Reinterpretação dos dados geofísicos   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| <b>Caracterização dos Recursos Hídricos</b>  | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■ | ■ | ■ |
| Cadastro de usuários de águas superficiais e subterrâneas (infraestrutura hídrica)               |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Eleição de rede de poços para monitoramento qualitativo e nivelamento topográfico dos poços      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Estudos climatológicos e avaliação hidrológica   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Interpretação dos testes de aquífero existentes e avaliação da hidrodinâmica                     |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| 1ª campanha de coleta e medição do nível da água   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Análise dos parâmetros físico-químicos da 1ª campanha de coleta de água                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| Interpretação dos resultados obtidos na 1ª campanha de coleta de água e medição do nível da água |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |
| 2ª campanha de coleta e medição do nível da água   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |

| Atividades  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| Análise dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e isótopos da 2ª campanha de coleta de água |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Interpretação dos resultados obtidos na 2ª campanha de coleta de água e medição do nível da água    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Elaboração de mapas potenciométricos e fluxo subterrâneo  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Modelo hidrogeológico conceitual  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Modelo computacional  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Mapa hidrogeológico das áreas piloto  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Caracterização hidrogeoquímica do conjunto dos resultados das duas campanhas                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| <b>Avaliação integrada das águas subterrâneas e superficiais</b>                                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Disponibilidade hídrica integrada   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Demanda integrada de recursos hídricos  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Disponibilidade versus demanda  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Evolução do escoamento de base  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Interferência do bombeamento de poços entre si e na vazão dos rios                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| <b>Proposta e implantação de rede de monitoramento integrado</b>                                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Proposta da rede de monitoramento integrada   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Perfuração de poços tubulares para monitoramento e perfilagem geofísica                             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Testes de aquífero e instalação dos <i>dataloggers</i>  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| <b>Estratégias de gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas</b>                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Elaboração de proposta de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Levantamento do arcabouço legal e institucional para a gestão de recursos hídricos                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| Diretrizes para gestão compartilhada entre os estados   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |



## 9. DESCENTRALIZAÇÃO ORÇAMENTÁRIA

Tratando-se de execução, pela CPRM, por meio de descentralização orçamentária e financeira, propõe-se o seguinte detalhamento orçamentário e períodos para as correspondentes transferências da ANA para a CPRM, cujos valores orçados encontram-se condicionados as atividades e prazos constantes do cronograma físico (**tabelas 9.1 e 9.2**).

**Tabela 9.1** - Detalhamento Orçamentário.

| <b>Código</b>             | <b>Especificação</b>                 | <b>Valor (R\$)</b> |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| 33.90.95                  | Indenização de campo                 | <b>1.262.604</b>   |
| 33.90.30                  | Material de Consumo                  | <b>811.281</b>     |
| 33.90.33                  | Despesas com Locomoção               | <b>244.635</b>     |
| 33.90.36                  | Serviços Pessoa Física               | <b>136.600</b>     |
| 33.90.47                  | Despesas Tributárias e Contributivas | <b>53.940</b>      |
| 33.90.39                  | Serviços Pessoa Jurídica             | <b>2.170.135</b>   |
| 33.90.35                  | Consultoria                          | <b>153.100</b>     |
| 33.90.37                  | Contratação de Mão de Obra           | <b>261.000</b>     |
| 44.90.52                  | Investimento                         | <b>400.000</b>     |
| <b>Total CUSTEIO ANA</b>  |                                      | <b>5.493.295</b>   |
| <b>Contrapartida CPRM</b> |                                      | <b>9.515.970</b>   |
| <b>Total Geral</b>        |                                      | <b>15.009.265</b>  |

**Tabela 9.2 - Cronograma de desembolso.**

| Descrição                         | ND       | Ano 1<br>(R\$)   | Ano 2<br>(R\$)   | Ano 3<br>(R\$)   | Ano 4<br>(R\$) | Total            |
|-----------------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| Indenização de Campo              | 33.90.95 | 267.383          | 622.846          | 308.000          | 64.375         | 1.262.604        |
| Material de Consumo               | 33.90.30 | 144.100          | 382.398          | 230.393          | 54.390         | 811.281          |
| Despesas Locomoção                | 33.90.33 | 102.435          | 32.550           | 84.010           | 25.640         | 244.635          |
| Outros Serviços - Pessoa Física   | 33.90.36 | 32.400           | 84.200           | 20.000           | 0              | 136.600          |
| Despesas Tributárias              | 33.90.47 | 8.580            | 29.140           | 11.820           | 4.400          | 53.940           |
| Outros Serviços - Pessoa Jurídica | 33.90.39 | 138.314          | 1.095.186        | 837.836          | 98.799         | 2.170.135        |
| Consultoria                       | 33.90,35 | 10.500           | 61.500           | 59.100           | 22.000         | 153.100          |
| Outras Despesas                   | 33.90,37 | 96.000           | 130.000          | 35.000           | 0              | 261.000          |
| Investimento                      | 44.90.52 | 310.000          | 90.000           | 0                | 0              | 400.000          |
| <b>Custeio Total</b>              |          | <b>1.109.712</b> | <b>2.527.820</b> | <b>1.586.159</b> | <b>269.604</b> | <b>5.493.295</b> |

## 10. EQUIPE TÉCNICA DEMANDADA PARA A EXECUÇÃO DO TRABALHO

Não serão admitidos como membros da Equipe Chave ou Equipe Auxiliar, militar, servidor público da ativa, empregado de empresa pública ou de sociedade de economia mista, sob pena de desconsideração do profissional indicado, exceto professores de instituições públicas de ensino que não se encontram em regime de trabalho de dedicação exclusiva, como dispõe o art. 17, inciso VIII, da Lei nº 13.473, de 2017 – Lei das Diretrizes Orçamentárias de 2017. Observar ainda o que dispõe o inciso VI do art. 17 da mesma lei. Não se aplica a restrição a contratação de professor universitário de instituições públicas de ensino, desde que não seja em regime de dedicação exclusiva, e possua compatibilidade de horário suficiente para execução dos serviços a serem contratados.

### 10.1. Equipe Chave

Entende-se por equipe-chave o conjunto de profissionais de nível superior que, cada um em sua especialidade, estará à frente das atividades de projeto, organizando os

trabalhos, orientado as equipes de apoio, definindo metodologias e procedimentos a serem aplicados, implementando atividades, avaliando e interpretando os resultados obtidos, respondendo por sua área de especialização e participando de reuniões técnicas com a CTAF.

Todos os profissionais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) atuantes na realização deste trabalho devem estar em dia com suas obrigações junto aos Conselhos Profissionais que fiscalizam o exercício de suas profissões.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) enviará, quando solicitada, profissional(is) que participou(aram) da execução do projeto e que esteja(m) apto(s) a prestar(em) informações sobre todos os aspectos do projeto.

#### *10.1.1. Coordenação Geral*

Atividade a ser executada pelo responsável por representar o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) durante toda a duração dos serviços objeto desta proposta técnica, contemplando:

- 01 (um) Coordenador - Profissional de nível superior, com experiência ampla na coordenação de estudos e projetos com balanço integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; preferencialmente com mestrado em hidrogeologia.

#### *10.1.2. Equipe Técnica*

É formada pelos profissionais que, em razão das demandas previstas no estudo, deverão alocar parte significativa de tempo para implementar as atividades do projeto e trabalhar em conjunto nos escritórios do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Fazem parte desta equipe, no mínimo, os seguintes profissionais:

- 04 (quatro) Geólogos com experiência ampla em estudos de hidrogeologia, preferencialmente com mestrado ou doutorado na área de hidrogeologia;
- 01 (um) Geólogo Sênior ou Geofísico com experiência mínima comprovada de 10 (dez) anos em geofísica em métodos elétricos;
- 01 (um) Geólogo com ampla experiência em estudos de geologia estrutural ou geotectônica, preferencialmente, com mestrado no tema;
- 01 (um) Geólogo com experiência em estudos e projetos de hidroquímica;
- 02 (dois) Profissionais de nível superior com experiência ampla na área de gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- 03 (três) Engenheiros Cíveis ou Hidrólogos com ampla experiência em estudos hidrológicos.

## 10.2. Equipe de Apoio

É constituída por profissionais que deverão ter dedicação apenas durante o cumprimento das atividades de sua especialidade ou para apoio da equipe-chave. A equipe proposta é:

- 01 (um) Profissional de nível superior com experiência em sistema de informações geográficas e banco de dados;
- 01 (um) Profissional de nível superior com experiência em sensoriamento remoto e interpretação de imagens de satélites;
- 04 (quatro) Geógrafos especializados em Geomorfologia e Uso e Ocupação da Terra, com ampla experiência e mestrado desejável no tema;
- 01 Engenheiro Civil especializada em solos, com doutorado no tema;
- 05 geólogos com experiência em hidrogeologia e cadastramento de pontos d'água;
- 05 técnicos experientes em cadastramento de pontos d'água;
- 03 (três) Geólogos Juniores;
- 01 (um) Geofísico Junior;
- 02 (dois) técnicos de hidrologia;
- 02 (dois) auxiliares de campo;
- 03 (três) Técnicos em Geologia;
- 01 (um) Auxiliar Administrativo.

## 11. SUPERVISÃO

Será constituído uma Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização dos Trabalhos (CTAF), formada por profissionais indicados pela Agência Nacional de Águas (ANA), Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD/MG), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Instituto de Meio Ambiente da Bahia (INEMA), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) e Comitê da Bacia do Verde Grande (CBH-VERDE GRANDE), através de um instrumento administrativo.

A CTAF estabelecerá os critérios de aceitação dos produtos a serem elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e terá também a função de realizar a avaliação, com base nos critérios estabelecidos.

Serão realizadas reuniões bimestrais entre a equipe técnica do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a CTAF. Tais reuniões objetivam avaliar o progresso dos trabalhos, dirimirem dúvidas, acertar critérios e procedimentos, facilitar o acesso aos dados, resolver pendências, propor encaminhamentos, enfim, em tudo que contribua no desenvolvimento dos estudos.

## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, 2009. Relatório do Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande - Elaboração do Plano de Recursos Hídricos do Rio Verde Grande. Agência Nacional de Águas, Brasília. 530 p.
- ANA, 2010. Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará - Relatório Final. Agência Nacional de Águas. 5 Volumes.
- ANA, 2013. Plano de Recursos Hídricos do Rio Verde Grande. Agência Nacional de Águas, Brasília. 124 p.
- ANA, 2013b. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Agência Nacional de Águas, Brasília. 432 p.
- ANA, 2017. Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucua e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada. Agência Nacional de Águas, Brasília. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=b26a6c8e-affa-4766-8cb7-ccdaadb3453>.
- ANA, 2017b. Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada. Agência Nacional de Águas, Brasília, 85 p. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>.
- ANA, 2017c. Parecer Técnico 6/2017/SRE (Documento 00000.019271/2017-95). Agência Nacional de Águas, Brasília. 7 p.
- ANA, 2018. Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Fissuro-Cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco, com Vistas à Gestão Integrada e Compartilhada de Recursos Hídricos - Relatório Final. Agência Nacional de Águas, Brasília. 4 Volumes.
- APHA/AWWA/WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 21 st Edition. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. Washington, DC.
- Barros, K.O.; Ribeiro, C.A.A.S.; Marcatti, G.E.; Silva, E.; Soares, V.P., 2016. Evolução do Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, MG. Revista de Geografia, Recife. V. 33, N. 1, p. 69-83.
- CECAV, 2018. CANIE - Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em 01 de junho de 2018.
- CETEC, 1982 - Plano de Desenvolvimento Integrado do Nordeste Mineiro: Pesquisa e Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneo em Karst, por Meio de Sensores Remotos - Relatório Final-. Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Estado de Minas Gerais. Série de Publicações Técnicas, CETEC/SPT-002: Belo Horizonte. 465 pp.

- Costa, D.A., 2011. Controle Lito-Estrutural e Estratigráfico na Hidrogeoquímica e nas Concentrações de Fluoreto no Sistema Aquífero Cárstico-Fissural do Grupo Bambuí, Norte de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. IGC/UFMG, Belo Horizonte, 138 p.
- CPRM/COMIG, 2003. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala:1:1.000.000. CPRM/COMIG, Belo Horizonte.
- CPRM / IGAM, (no prelo). Projeto Águas do Norte de Minas. Mapeamento Geológico de Bacias Hidrogeológicas Representativas. Bacia do Rio Riachão. Escala 1:25.000. CPRM/IGAM: Belo Horizonte. Inédito.
- CPRM / IGAM, (no prelo). Projeto Águas do Norte de Minas. Mapeamento Geológico de Bacias Hidrogeológicas Representativas. Bacia do Rio Macaúbas. Escala 1:25.000. CPRM/IGAM: Belo Horizonte. Inédito.
- CPRM / IGAM, (no prelo). Projeto Águas do Norte de Minas. Relatório de Caracterização Hidrogeológica da Bacia Representativa do Rio Riachão. CPRM/IGAM: Belo Horizonte. Inédito.
- CPRM / IGAM, (no prelo). Projeto Águas do Norte de Minas. Relatório de Caracterização Hidrogeológica da Bacia Representativa do Rio Macaúbas. CPRM/IGAM: Belo Horizonte. Inédito.
- DIJ – DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DE JAÍBA. 2018. O Projeto Jaíba. Disponível em: <http://www.projetojaiba.com.br/>. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- Eckhardt, K., 2005. How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. *Hydrological Processes*, 19: 507-515.
- EMBRAPA, 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA, Rio de Janeiro. 412 p.
- IGAM, 2007. Projeto Estudos Hidrogeológicos Complementares na Sub-bacia do Riachão. Relatório Técnico de Atividades 3/2007. IGAM: BELO HORIZONTE. 51p.
- IGAM, 2017. Projeto Básico: Aprimoramento do Monitoramento Quali-quantitativo das Águas Subterrâneas em Minas Gerais. Documento Interno.
- Feitosa, E.C., 2004. O Aquífero Jandaíra no Município de Baraúna/RN – Atualização dos Conhecimentos. ANA/PróÁgua Semiárido/SERHID RN – FADE/LABHID/UFPE. Recife, relatório inédito. (Zoneamento dos calcários aquíferos e mapeamento das áreas de maior índice de carstificação através do método geofísico de eletrorresistividade).
- Glover, R.E.; Balmer, C.G., 1954. River Depletion from Pumping a Well Near a River. *American Geophysical Union Transactions* 35, nº 3: 468-470.
- Griffiths, G.A.; Clausen, B., 1997. Streamflow recession in Basins with Multiple Water Storages. *Journal of Hydrology*, 190, 60-74.
- Hantush, M.S., 1965. Wells Near Streams with Semipervious Beds. *Journal Geophysical Research* 70, nº 12: 2829-2838.

- Hunt, B., 1983. *Mathematical Analysis of Groundwater Resources*. London: Butterworth-Heinemann. 280 p.
- Hunt, B., 1999. Unsteady Stream Depletion from Groundwater Pumping. *Ground Water*, 37 (1), 98-102.
- ICMBIO / MMA, 2005. Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Encarte 3.
- Liazi, A; Mancuso, M.A.; Campos, J.E.; Rocha, G., 2007. Outorga Integrada - Águas Superficiais e Águas Subterrâneas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 17 p.
- MDGEO, 2016. Estudo Hidrogeológico para Avaliação da Disponibilidade Hídrica - Fazenda Santa Mônica. MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente, Belo Horizonte. 94 p.
- MDGEO, 2017. Outorga de Pesquisa Hidrogeológica da Bateria de Poços da Fazenda Santa Mônica. Escopo das Atividades/Plano de Pesquisa. Fortaleza de Santa Teresinha Agricultura e Pecuária Ltda - F.S.T.A.P. São Joao da Ponte/MG.
- Nathan, R.J.; Mcmahan, T.A., 1990. Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis. *Water Resources Research*, 26(7):1465-1473.
- Oliveira, F.R.; Cardoso, F.B.F.; Varella Neto, P.L., 2007. Panorama da Gestão Integrada Água Subterrânea / Água Superficial no Brasil. I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, Gramado, 13 p.
- Padilla, A.; Pulido-Bosh, A.; Mangin, A., 1994. Relative Importance of Baseflow and Quickflow from Hydrographs of Karst Spring. *Ground Water*, 32, 267-277.
- SENADO FEDERAL, 2017. Segurança Hídrica e Gestão das Águas nas Regiões Norte e Nordeste - Relatório da Comissão de Desenvolvimento Regional e Turismo - Senado Federal, Brasília. 87 p.
- Silva, A.B., 1984. Análise Morfoestrutural, Hidrogeológica e Hidroquímica no Estudo do Aquífero Cárstico do Jaíba, Norte de Minas Gerais. Tese de doutoramento apresentada ao IG/USP, São Paulo.
- Tallaksen, L.M., 1995. A Review of Baseflow Recession Analysis. *Journal of Hydrology*, 165:349-370.
- Theis, C.V., 1941. The Effect of a Well on the Flow of a Nearby Stream. *American Geophysical Union Transactions* 22, nº 3: 734-738.