



REALIZAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE AS ÁREAS DE RECARGA NO SISTEMA PERNAMBUCO-PARAÍBA COM A ELABORAÇÃO DO MAPA DE ZONAS DE GERENCIAMENTO E ELABORAÇÃO DE PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DA PARAÍBA

**PLANO DE TRABALHO
PRODUTO 1**



22 de maio de 2023

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA

Diretor Presidente

Porfírio Catão Cartaxo Loureiro –

Diretor Executivo de Acompanhamento e Controle

Beranger Arnaldo de Araújo –

Diretor Executivo Administrativo e Financeiro

Joacy Mendes Nóbrega –

Diretor Executivo de Gestão e Apoio Estratégico

Waldemir Fernandes Azevedo –

Coordenadora PROGESTÃO / Programas e Projetos

Ana Emilia Duarte -

Gestor do Contrato

Armando César Rodrigues Braga

CONSÓRCIO IGNEO/NIP/PROFILL

Coordenação

Paulo Fernando Pereira Pessoa

Equipe Técnica

Antônio Silvio Jornada Krebs

Marcia Regina Stradioto

Ana Luiza Helfer

Sidnei Gusmão Agra

Carla Beatris Gasparini

Isabel Cristiane Rekowsky

Wilma Maria Nunes Memoria

Hygor garcia

Carlos Ronei Bortoli

Tiago Vier Fischer

Mauro Jungblut

Dora Atman

Anna Luiza Lopes Matos

Marco Antonio Pereira Pessoa

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>PÁGINA</u>
1	- APRESENTAÇÃO	7
2	- CONTEXTUALIZAÇÃO DA ABORDAGEM, ESCOPO E CRONOGRAMA E ALOCAÇÃO DE EQUIPE	11
3	- PLANO DE TRABALHO.....	23
3.1	- DIAGNÓSTICO DO CONHECIMENTO HIDROGEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO COM BASE NAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS DA SITUAÇÃO ATUAL DA REDE DE MONITORAMENTO	23
3.2	- CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA AQUÍFERO PARAÍBA-PERNAMBUCO.....	30
3.2.1	- <i>Unidades Hidrogeológicas.....</i>	31
3.2.2	- <i>Caracterização hidroquímica.....</i>	33
3.2.3	- <i>Balanço Hídrico e Aplicação do Procedimento MIHA_1.0 - Método Integrado de Avaliação Hidrogeodinâmica ®</i>	36
3.2.4	- <i>Análise das reservas subterrâneas e potencialidade dos aquíferos.....</i>	52
3.3	- DELIMITAÇÃO DE ZONAS DE GERENCIAMENTO E ESTIMATIVA DO POTENCIAL E DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	57
3.3.1	- <i>Critérios para definição das zonas e subzonas de gerenciamento</i>	58
3.3.2	- <i>Vulnerabilidade dos aquíferos.....</i>	59
3.3.3	- <i>Indicadores de sustentabilidade das águas subterrâneas.....</i>	61
3.3.4	- <i>Estimativa de potencial e disponibilidade de águas subterrâneas para as zonas de gerenciamento</i>	66
3.4	- PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	69
3.5	- PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES E CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA OUTORGAS DE ACORDO COM AS ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO.....	73
3.6	- RELATÓRIO FINAL DO PROJETO.....	75
4	- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
5	- DECLARAÇÕES DE PARTICIPAÇÃO DA EQUIPE CHAVE NA ELABORAÇÃO DO PLANO DE TRABALHO	81

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Localização da área de estudo	10
Figura 2.1 – Contexto hidrográfico e hidrogeológico do Estado da Paraíba	14
Figura 2.2 – Escopo do Projeto e cronograma de entrega dos produtos	21
Figura 3.1 – Mapa Geológico	26
Figura 3.2 – Estações de monitoramento pluviométrico selecionadas (base da Agência Nacional das Águas).....	27
Figura 3.3 – Estações de monitoramento fluviométrico selecionadas (base da Agência Nacional das Águas).....	28
Figura 3.4 – Poços outorgados (com outorgas vigentes) – banco de dados AESA.....	29
Figura 3.5 – Perfil geológico ao longo da linha de costa entre o Alto de Mamanguape e o Alto de Barreiros, mostrando os domínios das bacias da Paraíba e de Pernambuco. Fonte: Barbosa e Filho (2005)	35
Figura 3.6 – Hidrograma com períodos representativos de sazonalidades e padrões comportamentais	42
Figura 3.7 – Valor de $-1/k$ a partir da curva exponencial referente ao período de recessão (constante y) do hidrograma do rio Corrente (estação Porto Novo)	43
Figura 3.8 – Hidrograma do rio Corrente (estação Porto Novo) utilizado na análise de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo.....	47
Figura 3.9 – Análise de vulnerabilidade dos aquíferos segundo o método apresentado por Foster & Hirata (1988)	60

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição da equipe, serviço e carga de trabalho dos especialistas principais.	22
Tabela 3.1 - Métodos para estimativa da recarga	38
Tabela 3.2 – Estimativa das reservas permanentes	56
Tabela 3.3 – Estimativa das reservas renováveis	56
Tabela 3.4 – Estimativa das reservas renováveis	57

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

1 - APRESENTAÇÃO

O Plano de Trabalho é o primeiro produto previsto no escopo do projeto REALIZAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS SOBRE AS ÁREAS DE RECARGA NO SISTEMA PERNAMBUCO-PARAÍBA COM A ELABORAÇÃO DO MAPA DE ZONAS DE GERENCIAMENTO E ELABORAÇÃO DE PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DA PARAÍBA (cujos limites estão ilustrados na Figura 1.1), cujo objetivo principal é ampliar o conhecimento hidrogeológico na área, contribuindo, assim, para a melhoria da gestão das águas superficiais e subterrâneas desse sistema. Os objetivos específicos aplicados ao Sistema Aquífero Pernambuco-Paraíba (SAPP) são:

- a. Diagnosticar o estado do conhecimento sobre área com base nas informações disponíveis e da situação atual da rede de monitoramento;
- b. Construir o modelo conceitual do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco;
- c. Delimitar zonas e subzonas de gerenciamento, estimando a potencialidade e disponibilidade de águas subterrâneas;
- d. Elaborar um projeto executivo da rede de monitoramento quali-quantitativa de águas subterrâneas, com a especificação dos equipamentos e a localização para instalação;
- e. Propor diretrizes gerais e critérios técnicos para outorgas em cada sub-zona de gerenciamento.

O objetivo do Plano de Trabalho é destacar os aspectos metodológicos a serem implantados para cada objetivo específico e o cronograma estabelecido para a apresentação dos produtos parciais e finais. A área de estudo foi definida para englobar a totalidade do SAPP no estado da Paraíba e territórios vizinhos contíguos inseridos nas sub-bacias selecionadas (Figura 1.1). É importante incluir na área de estudos os terrenos

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

fora dos limites políticos da Paraíba que configuram áreas de cabeceira dos cursos d'água que atravessam o estado no contexto do SAPP. Por isso, a área de estudo proposta engloba parcialmente três municípios de Pernambuco, (Ferreiros, Goiana e Itambé), e três municípios no Rio Grande do Norte (Baía Formosa, Canguaretama e Pedro Velho). A lista dos municípios inseridos no domínio de estudo é apresentada na Figura 1.1.

O SAPP tem uma área de 3.400 km², e ocupa aproximadamente 7% do estado da Paraíba. Ocorre na microrregião da zona da Mata Paraibana, com clima tropical úmido, onde se situam os municípios com maior PIB do estado e a maior área urbana. O SAPP é composto por rochas de porosidade granular da bacia sedimentar Paraíba-Pernambuco, cujo substrato é o embasamento cristalino Pré-Cambriano. A Bacia Paraíba-Pernambuco inicia-se na cidade do Recife e prolonga-se por toda a costa do estado da Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. As rochas são parcialmente cobertas por sedimentos areno-argilosos da Grupo Barreiras e localmente por aluviões recentes e depósitos marinhos. Esse conjunto configura dois subsistemas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011): livre (Grupo Barreiras e sedimentos inconsolidados) e confinado (Formação Beberibe/Itamaracá).

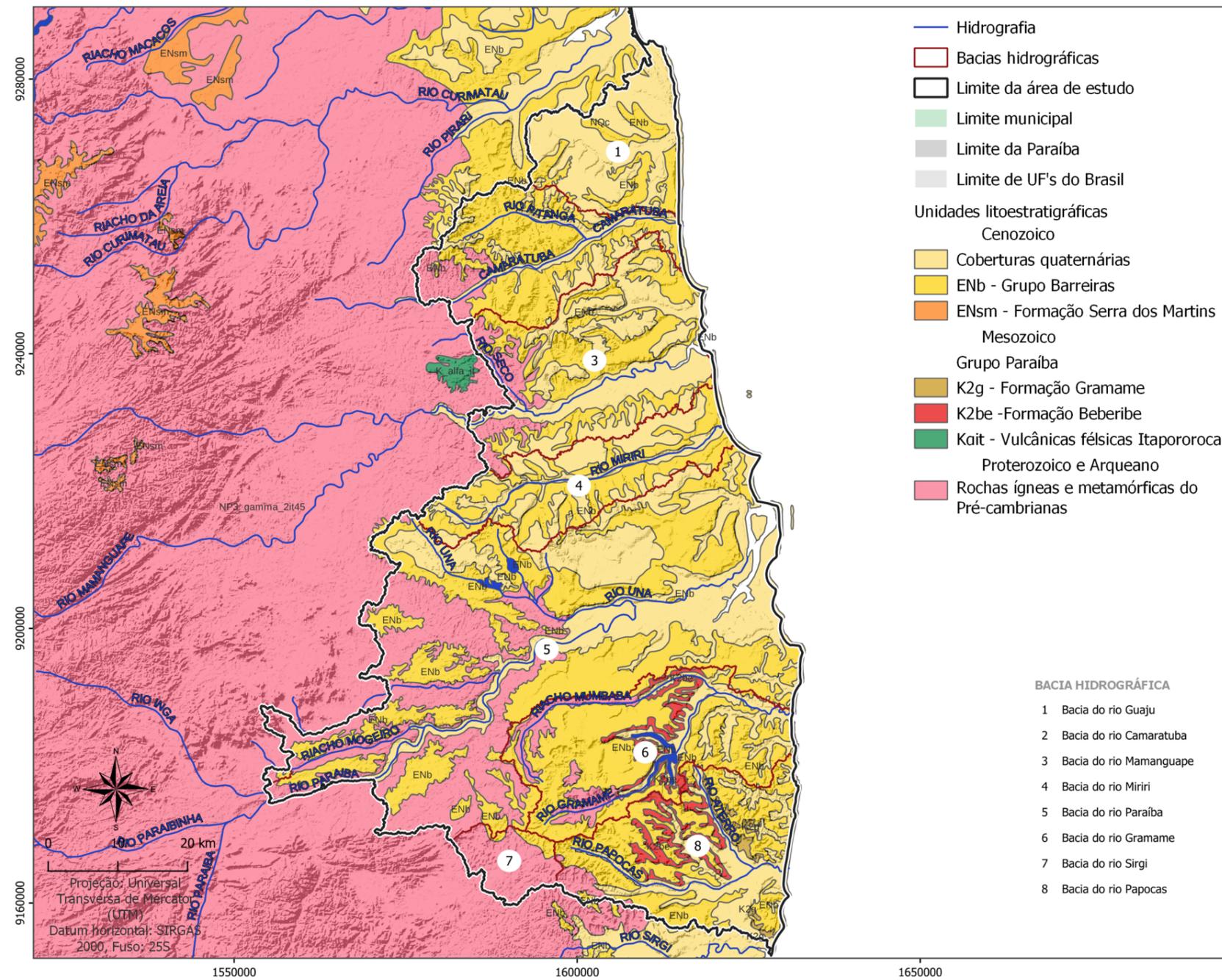
No Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco destaca-se o aquífero Beberibe, que representa uma das maiores reservas permanentes de água subterrânea e manancial explorado para abastecimento público e diversas outras finalidades, tanto na costa da Paraíba como em Pernambuco. Sua disposição em profundidade, sotoposto por rochas predominantemente de baixa permeabilidade vertical, favorece a ocorrência de águas de melhor qualidade, livres de contaminações salinas superficiais. No entanto, conforme ressalta o primeiro Plano de Recursos Hídricos de Pernambuco – PERH-PE (APAC, 1998), há mais de vinte anos atrás já ocorriam zonas salinizadas localizadas no aquífero Beberibe atreladas à exploração exacerbada de águas subterrâneas, além de poços mal construídos e abandonados que induziram a drenança vertical.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

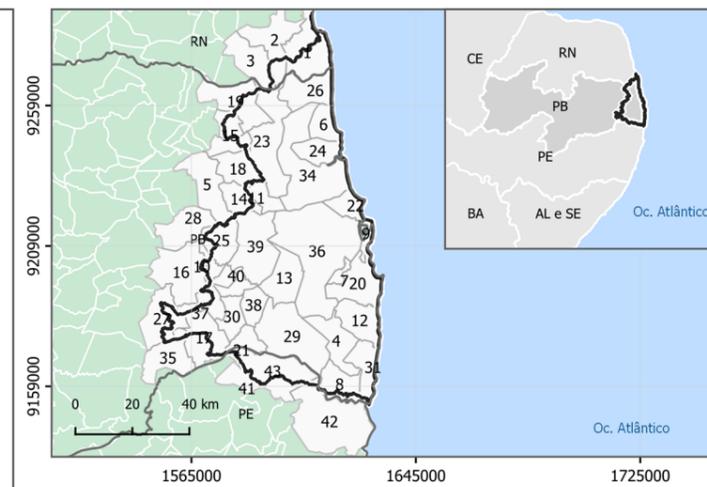
Dadas as suas propriedades naturais e seu papel como recurso estratégico para abastecimento rural, urbano e industrial, o Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco têm se despontado diante dos estudos que vêm sendo elaborados para consolidação dos programas de gestão dos recursos hídricos, onde se destacam os planos de monitoramento hídrico. Dentre os diversos aspectos de interesse aos estudos que dão subsídios à gestão, está a determinação dos valores de recarga dos aquíferos, estimativa das reservas e a delimitação no espaço geográfico que efetivamente contribui para os fluxos hídricos das bacias hidrográficas levando em conta as contribuições subterrâneas específicas dos aquíferos e seus indicadores de sustentabilidade.

O documento foi dividido em cinco capítulos. Os dois capítulos introdutórios contextualizam o estudo, trazendo as justificativas da abordagem escolhida, o escopo e o cronograma previsto. No capítulo três se descreve o Plano de Trabalho, detalhando-se a metodologia a ser aplicada a fim de cumprir os objetivos específicos. Os capítulos quatro e cinco trazem as considerações finais e a lista de trabalhos consultados.

Mapa de localização da área de estudo



Localização da área de estudo



Cód.	Município	Estado	Município	Cód.	Estado
1	Baía Formosa	RN	Mamanguape	23	PB
2	Canguaretama	RN	Marcação	24	PB
3	Pedro Velho	RN	Mari	25	PB
4	Alhandra	PB	Mataraca	26	PB
5	Araçagi	PB	Mogeiro	27	PB
6	Baía da Traição	PB	Mulungu	28	PB
7	Bayeux	PB	Pedras de Fogo	29	PB
8	Caaporã	PB	Pilar	30	PB
9	Cabedelo	PB	Pitimbu	31	PB
10	Caldas Brandão	PB	Pedro Régis	32	PB
11	Capim	PB	Riachão do Poço	33	PB
12	Conde	PB	Rio Tinto	34	PB
13	Cruz do Espírito Santo	PB	Salgado de São Félix	35	PB
14	Cuité de Mamanguape	PB	Santa Rita	36	PB
15	Curral de Cima	PB	São José dos Ramos	37	PB
16	Gurinhém	PB	São Miguel de Taipu	38	PB
17	Itabaiana	PB	Sapé	39	PB
18	Itapororoca	PB	Sobrado	40	PB
19	Jacaraú	PB	Ferreiros	41	PE
20	João Pessoa	PB	Goiana	42	PE
21	Juripiranga	PB	Itambé	43	PE
22	Lucena	PB			

Figura 1.1 – Localização da área de estudo

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

2 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA ABORDAGEM, ESCOPO E CRONOGRAMA E ALOCAÇÃO DE EQUIPE

Segundo os dados do Plano Estadual dos Recursos Hídricos da Paraíba – PERH-PB, AESA (2022), existem cadastrados 1.415 poços no domínio do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco no estado. As bases públicas utilizadas para abordagem das águas subterrâneas no documento citado foram: (i) Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM); (ii) Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), também da CPRM; e (iii) banco de dados da AESA, que foi obtido via Sistema Nacional de Informações em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (SNIRH/ANA). Os principais documentos analisados foram os cadernos do PERH-PB, o “Estudo da Caracterização e Verificação da Disponibilidade Hídrica da Vertente Litorânea do Estado da Paraíba”, realizado pela AESA (COSTA *et al.*, 2007), “Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas; Relatório Técnico Parcial II” (ASUB, 2010) e Projeto BRAMAR.

O monitoramento das águas subterrâneas no Estado da Paraíba é realizado apenas pela CPRM, a partir de quatro poços instalados no aquífero confinado, na região litorânea, nos municípios de João Pessoa, Cabedelo e Bayeux (AES A, 2022). Compõem a rede do RIMAS, portanto, nesse contexto, apenas 4 poços.

A avaliação da qualidade da água subterrânea na Paraíba, descrita pela AESA (2022), teve como base os dados do RIMAS, do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) do Ministério da Saúde (MS), e do Programa Água Doce, administrado no Estado pela Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente (MMA, 2010). No entanto, desse universo de dados, apenas 2 poços estão locados no SAPP. De forma geral, 56% das amostras analisadas no estado apresentam águas de salinidade extremamente alta, sendo as águas dos poços locados no SAPP de salinidade média

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

a alta, fracamente a mediamente sódicas.

O PERH-PB (AESAs, 2022) destaca que as informações sobre as águas subterrâneas, tanto no âmbito federal como estadual, são escassas e de difícil acesso e as bases de dados disponíveis ainda não foram unificadas, o que dificulta a análise. Esse cenário contribuiu para que as estimativas de valores de potencialidades e disponibilidades de águas subterrâneas apresentados na atualização do plano permanecessem os mesmos apresentados no PERH-PB anterior (AESAs, 2006).

Dentre as metas e proposições das ações do plano visando à gestão integrada da oferta (quali-quantitativa) e demanda da água estão as Ações de Monitoramento, que trazem um subprograma voltado à implantação do Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea para caracterização físico-química e bacteriológica das águas e o monitoramento da Superexploração de Aquíferos, voltado ao Aquífero Beberibe. O subprograma prevê a instalação de equipamentos de medição de vazão, nível d'água e condutividade elétrica visando estimar o volume hídrico explotado, a variação do nível d'água e do aspecto qualitativo da água subterrânea nas bacias sedimentares, tendo como meta monitorar pelo menos 10% dos poços distribuídos nessa zona de exploração do aquífero Beberibe/Barreira. O estudo destaca a necessidade de criar um banco de dados gerenciado pela AESA para novos poços outorgados, equipados com sistemas de controle, e reforça também a necessidade de incluir no monitoramento o estudo da Cunha Salina com parceria das Universidades.

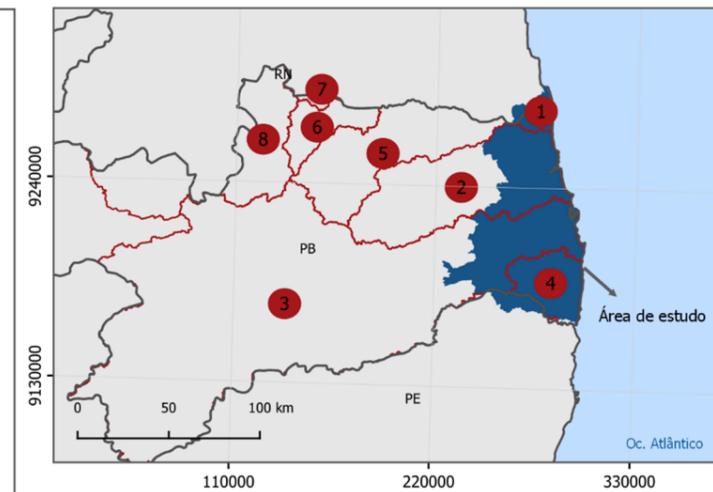
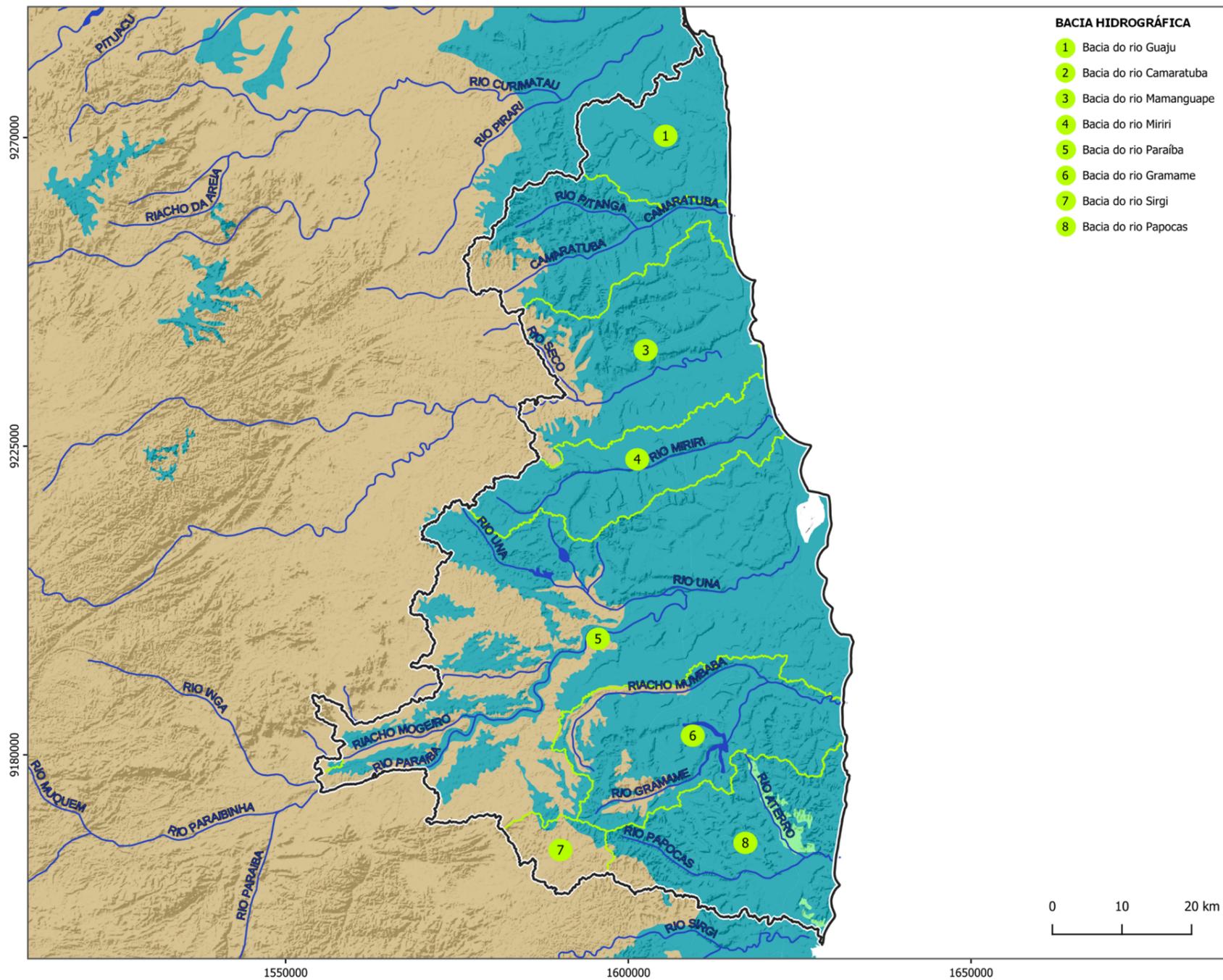
Ressalta-se ainda, o subprograma Preservação das Nascentes da Bacia – que visa a conservação do complexo água-solo-flora através do estabelecimento de metas para APPs dos açudes, cursos d'água e nascentes. Esse subprograma tem como foco o domínio hidrogeológico cristalino, que ocupa a maior área do estado, na porção central e oeste, onde estão posicionadas as cabeceiras das drenagens que atravessam o SAPP (Figura 2.1).

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Conforme mostra a Figura 2.1, no domínio do SAPP foram delineadas 8 sub-bacias hidrográficas na região litorânea. Esse território adentra as bacias dos rios Sirgi, Papocas, Gramame, Paraíba (baixo curso), Miriri, Mamanguape (baixo curso), Camaratuba (médio e baixo cursos) e Guaju. O domínio de ocorrência do SAPP está localizado na Região Administrativa de Água I do Estado da Paraíba.

Sistemas aquíferos da área de estudo e sub-bacias

Localização das grandes bacias do estado da Paraíba



Legenda

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| — Hidrografia | BACIA HIDROGRÁFICA |
| □ Bacias hidrográficas | 1 Bacia do rio Guaju |
| □ Limite da área de estudo | 2 Bacia do rio Mamanguape |
| □ Sistema Aquífero Cárstico | 3 Bacia do rio Paraíba |
| □ Sistema Aquífero Cristalino | 4 Bacia do rio Gramame |
| □ Sistema Aquífero Sedimentar | 5 Bacia do rio Curimataú |
| □ Limite de UF's do Brasil | 6 Bacia do rio Jacu |
| | 7 Bacia do rio Trairi |
| | 8 Bacia do rio Seridó |



Projeção: Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Fuso: 25S

Figura 2.1 – Contexto hidrográfico e hidrogeológico do Estado da Paraíba

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

O diagnóstico realizado pelo PERH-PB (AESAs, 2022) demonstra que os usos preponderantes da água no estado da Paraíba são o abastecimento das cidades e a agricultura irrigada, onde está localizado o SAPP. As demandas hídricas foram consolidadas por bacias hidrográficas, sendo a sub-bacia do Baixo rio Paraíba (20.440 L/s) e Mamanguape (13.165 L/s) as maiores demandantes dos recursos hídricos do estado, com 35 % e 23% das demandas totais, respectivamente. Quanto ao uso da água, observa-se uma concentração de 75% destinada ao consumo no meio agrícola. Segundo Albuquerque *et al.* (2011) os aquíferos sedimentares da região costeira sustentam as maiores demandas de água subterrânea do estado.

Portanto, no cenário atual da gestão das águas na Paraíba é de fundamental importância a implantação do monitoramento quali-quantitativo, especialmente dos aquíferos do SAPP. Conforme as diretrizes do Programa Gestão da Qualidade e da Quantidade dos Recursos Hídricos (Programa 3) do Plano Nacional dos Recursos Hídricos, é fundamental: “promover a implementação da gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos e seu uso sustentável, de forma articulada entre União e Estados, com base no aumento do conhecimento hidrogeológico nacional, em especial sobre as interações rio-aquífero de forma a quantificar a contribuição dos aquíferos para os rios.” (ANA, 2021).

Nesse sentido, entende-se que o Plano de Trabalho proposto deve incorporar como atividade central mecanismos de quantificação das reservas e fluxos do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco ressaltando a sua importância para as interações hidráulicas superficiais e subterrâneas. Entende-se, que os sistemas fluviais podem revelar a partir das variações de vazão uma multiplicidade de interações entre a dinâmica das chuvas (e dos demais componentes do clima), o substrato que sustenta as bacias, suas características morfológicas e de uso e ocupação. Portanto, conhecer os processos de circulação da água no tempo e no espaço, representa o desafio de integrar o conhecimento adquirido a partir da compreensão da importância das reservas hídricas e

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

taxas de transferência para o equilíbrio do meio físico e biótico sem se esquecer da dimensão humana e de suas interações.

Dadas as condições limitantes existentes, fortemente originadas pelas deficiências atreladas ao conhecimento incipiente do contexto hidrogeológico de detalhe na Paraíba, o Plano de Trabalho visa integrar o conhecimento já produzido e estabelecer diretrizes metodológicas para ações futuras que apontem para o aperfeiçoamento dos conceitos atualmente acreditados sobre a hidrogeologia local e regional. Desse modo, as atividades iniciais convergem para um diagnóstico integrado, ligando a caracterização geológica e geomorfológica à hidrologia, cobertura vegetal e formas de uso e ocupação do solo, a fim de avaliar o cenário atual das captações de água subterrânea e demanda de água e as pressões do crescimento econômico dos municípios dentro do contexto hidrogeológico.

Os dados reunidos no diagnóstico integrado darão subsídios à construção do modelo hidrogeológico conceitual, que tem como objetivo descrever os principais processos físicos e químicos que controlam o armazenamento e fluxo das águas subterrâneas. O modelo conceitual ajuda a interpretar as funções ambientais das águas subterrâneas no contexto local e regional, como o seu papel para a perenização e regularização do ciclo hidrológico, na manutenção de áreas úmidas e ecossistemas, na melhoria e estabilização da qualidade das águas disponíveis e até mesmo na estabilidade dos terrenos.

O modelo hidrogeológico conceitual traz informações sobre as unidades hidrogeológicas e seus parâmetros hidráulicos, destacando os principais aquíferos, profundidade do nível d'água, zonas de confinamento e as principais direções de fluxo. As características químicas das águas são avaliadas, bem como as suas variações espaciais e temporais. Nessa etapa também será feito um esforço de caracterização dos regimes hidrológicos das bacias, separando-se os trechos perenes dos trechos intermitentes dos cursos d'água mapeados na escala de interesse.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Uma das importantes tarefas necessárias para a consolidação dos conceitos é a realização do balanço hídrico. No balanço hídrico é feita a quantificação das taxas de chuva, evapotranspiração, escoamento superficial e a infiltração e recarga dos aquíferos. Existem diversos métodos que podem ser aplicados para o cálculo do balanço hídrico, sendo, sempre que possível, recomendada a escolha de mais de um método para aferição dos valores, ou priorização de métodos de acordo com a disponibilidade dos dados.

O balanço hídrico atrelado ao estudo dos hidrogramas, com separação das parcelas do escoamento superficial e subterrâneo, têm-se mostrado uma importante ferramenta para a interpretação da interação dos aquíferos com as calhas fluviais. Esses estudos têm sido ampliados para realçar a percepção das diferentes assinaturas hidrogeodinâmicas das bacias hidrográficas e territórios de bacias (já que muitas vezes as bacias hidrogeológicas não coincidem com as bacias hidrográficas). Essa leitura revela arquiteturas hidrogeológicas mais ou menos favoráveis à produção de água, o que é de grande valor para o estabelecimento de zonas de gerenciamento. Essa análise será conduzida pela aplicação do MIHA – Método de Análise Integrada Hidrogeodinâmica, que será detalhado no item 3.2.

A análise integrada hidrogeodinâmica permite estimar as reservas reguladoras dos aquíferos e diferenciar as zonas mais produtivas das menos produtivas em termos de contribuição dos aquíferos para o fluxo de base. Além disso, será desenvolvido um estudo dos poços e vazões cadastradas nos bancos de dados públicos, destacando as vazões específicas, níveis estáticos e dinâmicos, além de aspectos construtivos e litológicos. O estudo também trará discussões a respeito das possíveis fontes de recarga e descarga do sistema, conexões das águas subterrâneas com os recursos hídricos superficiais. A partir desse olhar, é possível identificar pontos-chave para a distribuição das estações hidrométricas e poços de monitoramento dedicados.

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

O modelo conceitual finaliza com a apresentação do estudo da potencialidade das reservas e da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação, recorrendo ao conhecimento gerado nas etapas anteriores e o conhecimento da hidroestratigrafia dos terrenos. Ao avaliar as potencialidades aquíferas e sua vulnerabilidade natural, é possível expandir a análise para o contexto “hidrossocial”, discutindo os aspectos quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas para suportar as demandas atuais e futuras e as intervenções antrópicas que podem estar alterando a dinâmica hídrica.

Desse modo, a água passa a representar um ativo ambiental de proporções diferenciadas. As especificidades inerentes a certos compartimentos dos sistemas aquíferos são explicitadas, possibilitando delinear de forma criteriosa zonas que guardam características naturais e desafios ambientais similares. Diante disso, torna-se viável, discutir o planejamento das formas de uso e de ocupação dos terrenos existentes, diretrizes e critérios para outorga, bem como a adoção de programas de preservação ambiental nas bacias que se relacionam a partir da dinâmica das águas subterrâneas. Contudo, é imprescindível que tal estudo considere cada domínio hidrogeológico, justificado por sua assinatura hidrogeodinâmica específica, reconhecida por monitoramento contínuo de longo período, condição de importância extrema para comprovar os padrões comportamentais derivados das propriedades físicas e hidráulicas dos distintos tipos litológicos que servem como meios mantenedores de produção hídrica.

Como qualquer metodologia direcionada à realização de cálculos estimativos multiparamétricos, haverá incertezas atreladas aos índices de disponibilidade hídrica obtidos e esses valores não devem ser tomados como absolutos, mas, como valores orientadores ou de referência, que auxiliam no processo de tomada de decisões que se voltam ao gerenciamento do aproveitamento dos recursos hídricos nos variados tipos de domínios hidrográficos, os quais devem ser continuamente investigados e aprimorados.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

A determinação dos limites de exploração dos aquíferos é um tema sensível para a gestão integrada das águas. Esses limites dependem da análise detalhada e atualizada dos efeitos do desenvolvimento do aquífero (ritmo de utilização) e das medidas aplicadas para mitigação ao longo das mudanças das condições hidráulicas. Qualquer desenvolvimento de água subterrânea tem algum efeito negativo, os quais devem ser razoavelmente pequenos, suportáveis, compensáveis, e legalmente toleráveis, tendo em conta a quantidade, qualidade, disponibilidade no espaço e no tempo e o custo das águas subterrâneas (CUSTÓDIO, 2002).

Como efeitos indesejáveis provenientes da exploração dos aquíferos, consideram-se os seguintes:

- Sob o ponto de vista econômico: que os níveis piezométricos desçam abaixo da profundidade econômica de bombeamento;
- Sob o ponto de vista de qualidade: que se permita a entrada de águas de qualidade indesejável;
- Sob o ponto de vista legal: que se afete direitos de outros usuários em decorrência do esgotamento ou redução sensível da descarga de base dos rios ou de poços pré-existentes;
- Sob o ponto de vista ambiental: que nos aquíferos freáticos com nível pouco profundo, este não desça o suficiente para danificar a vegetação natural, paisagem e cultivos típicos da região;
- Sob o ponto de vista geotécnico: que não se produza uma subsidência do terreno com efeitos adversos.

Feitosa *et al.* (2008) apresentam uma abordagem integrada e dinâmica para a discussão da potencialidade e dos limites da exploração dos aquíferos:

“A decisão sobre que cifra deve ser adotada como potencialidade para um dado aquífero, depende tanto dos aspectos hidráulicos ou técnicos e científicos do problema, como dos aspectos sociais, econômicos e legais que possam

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

apresentar. (...) Em outras palavras, se o aquífero é bem monitorado, avaliações confiáveis da descarga segura de exploração, isto é, da potencialidade, tendem a ser cada vez melhores com o passar do tempo, pois se disporá, cada vez mais, de informações confiáveis sobre a resposta do sistema”. Feitosa *et al.* (2008), p.666.

Portanto, a proposição da rede de monitoramento quali-quantitativo, assim como os critérios de outorga, estará ancorada na análise hidrogeodinâmica, nas zonas de gerenciamento e nos indicadores de sustentabilidade dos aquíferos do SAPP.

A Figura 2.2 apresenta a síntese do escopo do projeto e os principais marcos acordados para a entrega dos sete produtos previstos. A relação da equipe técnica envolvida com o projeto, bem como a sua alocação no que diz respeito a atividades e envolvimento, está apresentada na Tabela 2.1, enquanto o detalhamento metodológico será abordado adiante, no item 3.

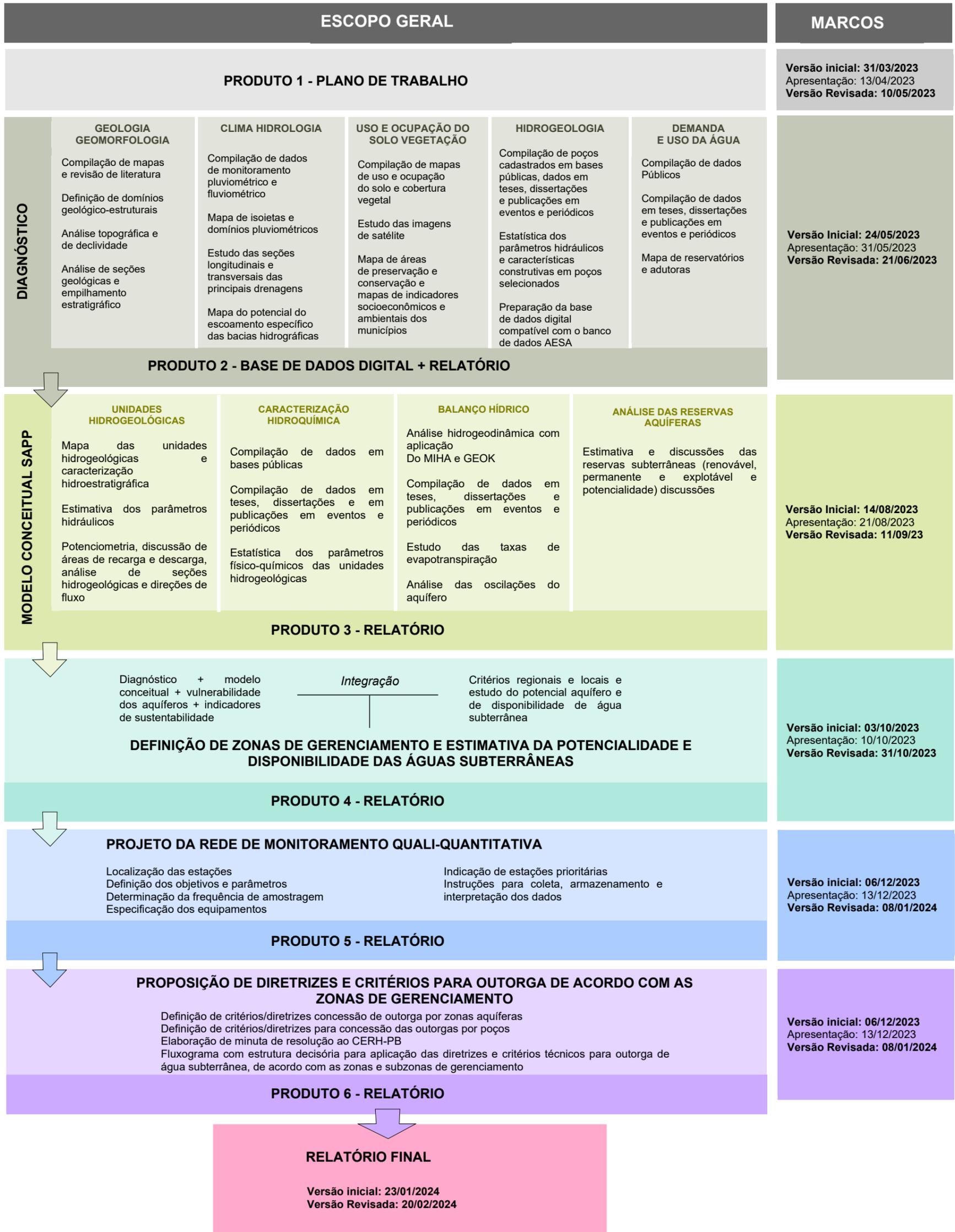


Figura 2.2 – Escopo do Projeto e cronograma de entrega dos produtos

Tabela 2.1 – Composição da equipe, serviço e carga de trabalho dos especialistas principais.

N°	Nome	Carga de trabalho do Especialista (em pessoa-mês) para cada Produto							Carga de trabalho	
		Cargo	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 4	Produto 5	Produto 6	Produto 7	Total h/mês
ESPECIALISTAS PRINCIPAIS										
K-1	Paulo Fernando Pereira Pessoa	Coordenador Sênior com formação em engenharia ou geologia, com doutorado na área de hidrogeologia/gestão de Recursos Hídricos	0,15	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,25	1,06
K-2	Antônio Silvio Jornada Krebs	Consultor Sênior especialista com com formação em engenharia ou geologia, com doutorado na área de hidrogeologia/gestão de Recursos Hídricos	0,13	0,82	0,48	0,35	0,28	0,28	0,40	2,74
K-3	Marcia Regina Stradioto	Consultor Pleno especialista com com formação em engenharia ou geologia, com doutorado na área de hidrogeologia/gestão de Recursos Hídricos	0,13	0,82	0,48	0,35	0,28	0,28	0,40	2,74
K-4	Ana Luiza Helfer	Consultor Pleno especialista em qualidade de água com formação superior	0,07	0,45	0,16	0,23	0,57	0,16	0,28	1,91
K-5	Sidnei Gusmão Agra	Consultor Pleno em Hidrologia, especialista em gestão de Recursos Hídricos	0,09	0,45	0,13	0,09	0,09	0,13	0,19	1,17
Subtotal 1									9,63	
N-1	Carla Beatris Gasparini	Técnico em hidráulica/hidrogeologia	0,13	0,51	0,26	0,35	0,39	0,28	0,32	2,23
N-2	Isabel Cristiane Rekowsky	Especialista em geoprocessamento	0,13	0,15	0,39	0,51	0,25	0,28	0,40	2,10
Subtotal 2									4,34	
Total (h/mês)									13,97	
EQUIPE SUPLEMENTAR										
Nome						Função				
Carlos Ronei Bortoli						Apoio à coordenação				
Tiago Vier Fischer						Apoio à coordenação				
Mauro Jungblut						Apoio à elaboração de documentos técnicos				
Dora Atman						Apoio à elaboração de documentos técnicos				
Anna Luiza Lopes Matos						Apoio à elaboração de documentos técnicos				
Marco Antonio Pereira Pessoa						Apoio à elaboração de documentos técnicos e atividades de campo				
Daniel Wiegand						Apoio ao geoprocessamento				
Vinicius Melgarejo Montenegro						Apoio ao banco de dados				

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3 - PLANO DE TRABALHO

Apresenta-se, a seguir, os aspectos metodológicos a serem implantados para cada objetivo específico.

3.1 - DIAGNÓSTICO DO CONHECIMENTO HIDROGEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO COM BASE NAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS DA SITUAÇÃO ATUAL DA REDE DE MONITORAMENTO

O diagnóstico reúne as informações básicas necessárias ao desenvolvimento dos produtos previstos para as etapas seguintes, e traz a análise do conhecimento atual sobre as águas subterrâneas no sistema Aquífero Paraíba — Pernambuco, contextualizado a partir da integração dos seguintes temas: Geologia e geomorfologia, Clima e hidrologia, Uso e ocupação do solo, Hidrogeologia e Análise da demanda e uso da água nas sub-bacias. Esta etapa compreenderá, essencialmente, um esforço de uniformização, nivelamento, integração, formatação, projeção e síntese dos dados existentes.

- a) **Geologia e geomorfologia** – compilação de mapas e trabalhos da literatura a fim de individualizar e caracterizar as unidades e subunidades litoestratigráficas que constituem o SAPP. Ressalta-se a importância da caracterização geológica e estrutural das rochas do embasamento, bem como do contexto das rochas e sedimentos inconsolidados que recobrem as formações de interesse. A partir desse estudo serão propostos domínios geológico-estruturais, com descrição de suas características geomorfológicas e altimétricas, com visualização de mapas e seções geológicas para entendimento das variações do empilhamento estratigráfico e marcos estruturais relevantes para o fluxo subterrâneo e zoneamento dos aquíferos. A Figura 3.1 apresenta as principais unidades geológicas no contexto do estudo.
- b) **Clima e hidrologia** – compilação de dados pluviométricos e fluviométricos das

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

estações de monitoramento da ANA, CPRM e AESA (Figura 3.2 e Figura 3.3). Criação de mapa de isoietas e definição de domínios pluviométricos. A partir do posicionamento das estações fluviométricas de interesse serão selecionadas seções longitudinais e transversais das principais drenagens para entendimento do entalhamento fluvial, declividade e variações de vazão monitorada no espaço geológico e geográfico das sub-bacias hidrográficas.

- c) **Uso e ocupação do solo** – compilação de mapas de uso e ocupação do solo, tipologia de cobertura vegetal e estudo de imagens de satélite. Serão avaliadas as áreas de preservação e conservação e mapas de indicadores socioeconômicos dos municípios.
- d) **Hidrogeologia** – compilação e análise dos dados disponíveis no acervo da AESA, e outros órgãos, onde se encontrarem estudos e informações técnicas acerca dos poços no Sistema Aquífero Paraíba — Pernambuco, como SIAGAS — Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico Brasileiro e estudos realizados pelas universidades e instituições de pesquisa. Também será avaliada a necessidade de inserção de poços tubulares, piezômetros, cacimbas, além de fontes e nascentes cadastrados pelo CAGEPA, DNOCS, SUDEMA, SEIRHMA-PB e prefeituras. As informações serão espacializadas em mapas com a finalidade de se obter uma visão preliminar da distribuição e confiabilidade dos dados hidrogeológicos, destacando-se as condições dos poços disponíveis, a distribuição conforme sistema aquífero, os poços monitorados ou a serem monitorados, vazões de exploração, os rebaixamentos dos níveis de água e a distribuição dos dados hidroquímicos. Conforme destaca o PERH-PB (AES A, 2022) um dos grandes desafios para a análise dos dados é integrar as informações dos diferentes bancos de dados, já que não há um único código para cada poço, o que impede identificar repetições. Normalmente as coordenadas são imprecisas e a falta de dados construtivos dificulta ainda mais a tarefa. A Figura

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3.3 mostra a distribuição dos poços cadastrados no AESA. Nessa etapa, também será realizado o tratamento estatístico dos dados de produção dos poços e vazões específicas.

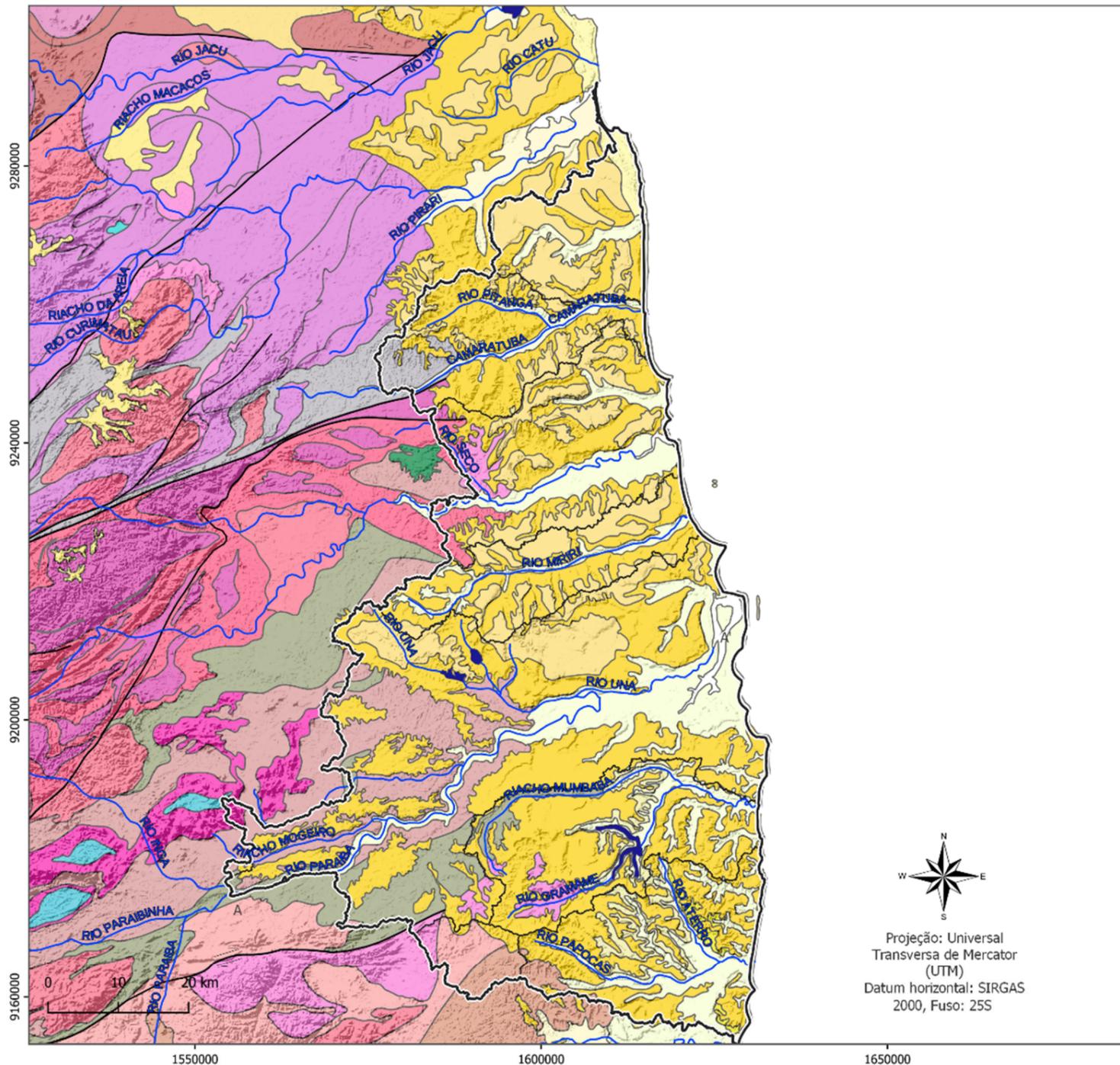
- e) **Análise da demanda e uso da água nas sub-bacias** – Compilação de dados públicos que sintetizam os valores de demanda de água nos municípios (ex. AESA, 2006 e 2022; PAD-PB, 2010) e estudo das outorgas de água subterrânea e suas finalidades, compilados no banco de dados da AESA. Além disso, serão compilados dados provenientes de estudos acadêmicos e publicações que trazem uma visão crítica sobre as demandas atuais de água e projeções futuras. Nesse contexto, será ressaltado o entendimento da distribuição dos reservatórios artificiais e esquemas de adutoras de água construídos para atendimento de zonas prioritárias.

O diagnóstico a ser elaborado deverá ter em conta o recorte geográfico do Sistema Paraíba — Pernambuco, agregando as informações pelas unidades de planejamento hídrico estabelecidas, em tabelas e textos explicativos e espacializando-as em mapas temáticos na escala de 1:250.000. Além disso, está prevista uma visita para reconhecimento da área de estudo para consolidação da versão final do diagnóstico integrado.

Os dados serão uniformizados e organizados, e todas as informações levantadas serão reunidas para a elaboração da base de dados digital como parte do produto da etapa do diagnóstico. Este banco de dados será compatível com o sistema de Informações de Recursos Hídricos da AESA, e deverá ser complementado e atualizado ao longo do estudo.

Mapa geológico da área de estudo (CPRM, 2004) / Escala: 1:1.000.000

Legenda



- Hidrografia
- Limite da área de estudo
- Unidades litoestratigráficas
- Cenozoico
 - Q2a - Depósitos aluvionares
 - Q2l - Depósitos litorâneos
 - Q2r - Recifes
 - Q1ec - Depósitos eólicos
 - Qf1 - Depósitos flúvio-lagunares
 - Qfm - Depósitos flúvio-marinhos
 - NQc - Depósitos colúvio-eluviais
 - ENb - Grupo Barreiras
 - ENsm - Formação Serra dos Martins
- Mesozoico
- Grupo Paraíba
 - K2g - Formação Beberibe
 - K2be - Formação Gramame
 - Kait - Vulcânicas félsicas Itapororoca
- Neoproterozoico
 - NP3y 3q - Suíte Terra Nova
 - NP3y 2c - Suíte Conceição - Plúton Timbaúba
 - NP3su - Complexo Sumé
 - NP23sc - Complexo Surubim-Carolina
 - NP3y2it - Suíte Itaporanga
 - NP3y2di - Suíte Dona Inês
- NP3δ2 - Suíte máfica a intermediária
- NP1sca - Complexo São Caetano
- NP3y2ct - Suíte Catingueira
- NP3yi - Granitóides indiscriminados
- NP3ss - Grupo Seridó
- Mesoproterozoico
 - NP1yrf - Suíte Recanto Riacho do Forno
 - MPve - Complexo Vertentes
 - NP3y3acxc - Suíte alcalina Caxexa
- Paleoproterozoico
 - PP2se - Complexo Sertânia
 - PP2cb - Complexo Cabaceiras
 - PPs - Complexo Salgadinho
 - PP2sc - Complexo Santa Cruz
 - PP2yv - Suíte Várzea Alegre
 - PP2sp - Complexo Serrinha-Pedro Velho
- Arqueano
 - A4yjc - Granitóide São José do Campestre
 - A3br - Complexo Brejinho
 - A23j2 - Complexo Presidente Juscelino
- Estruturas geológicas
 - Falha ou zona de cisalhamento indiscriminada
 - Lineamentos estruturais: traços de superfícies S
 - ⇨ Zona de cisalhamento transcorrente dextral
 - ⇩ Zona de cisalhamento transcorrente sinistral

Perfil topográfico do rio Paraíba

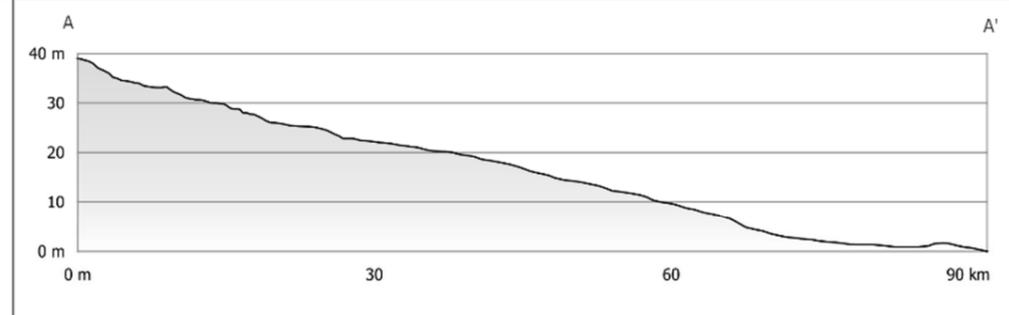
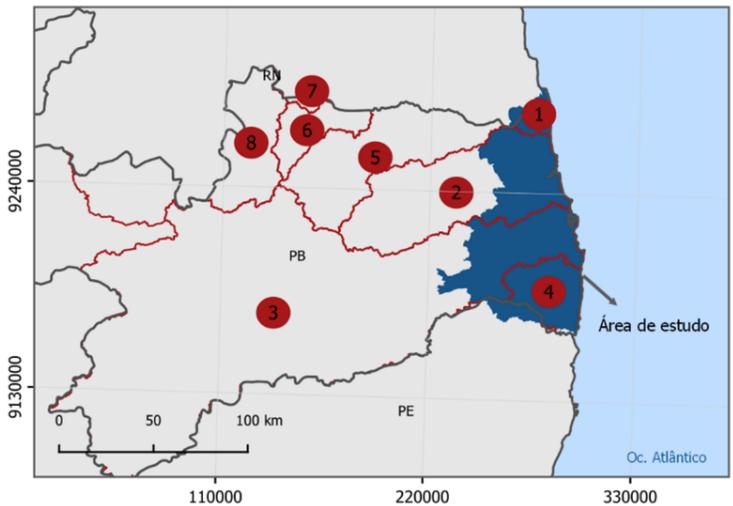
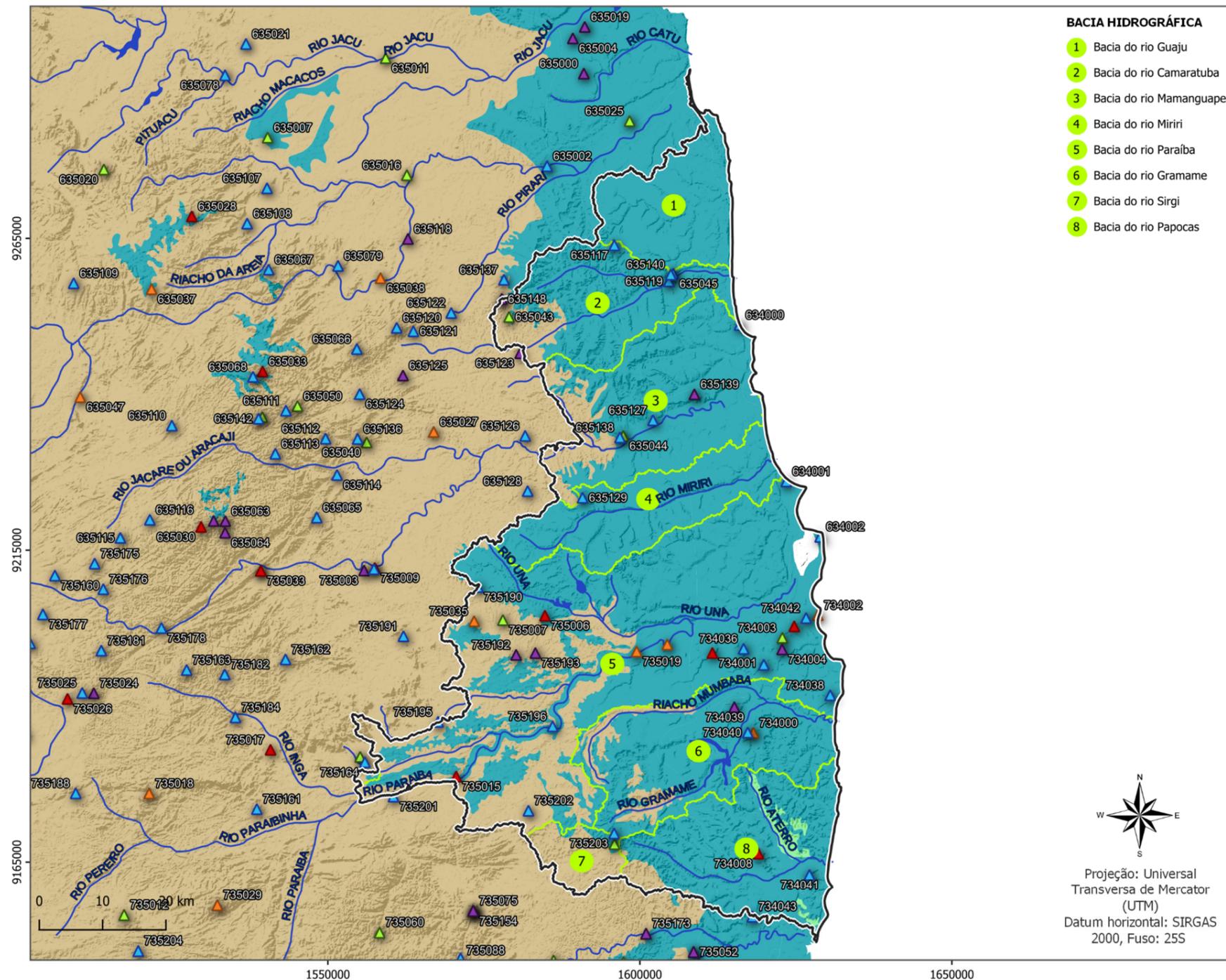


Figura 3.1 – Mapa Geológico

Sistemas aquíferos da área de estudo e sub-bacias

Localização das grandes bacias do estado da Paraíba



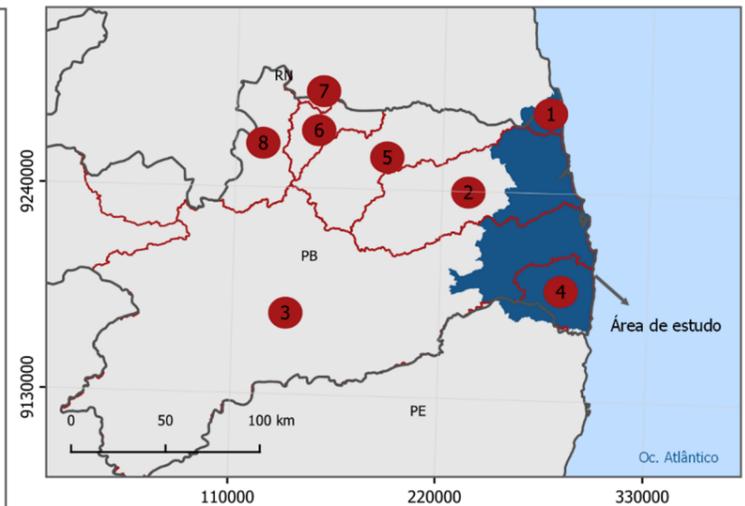
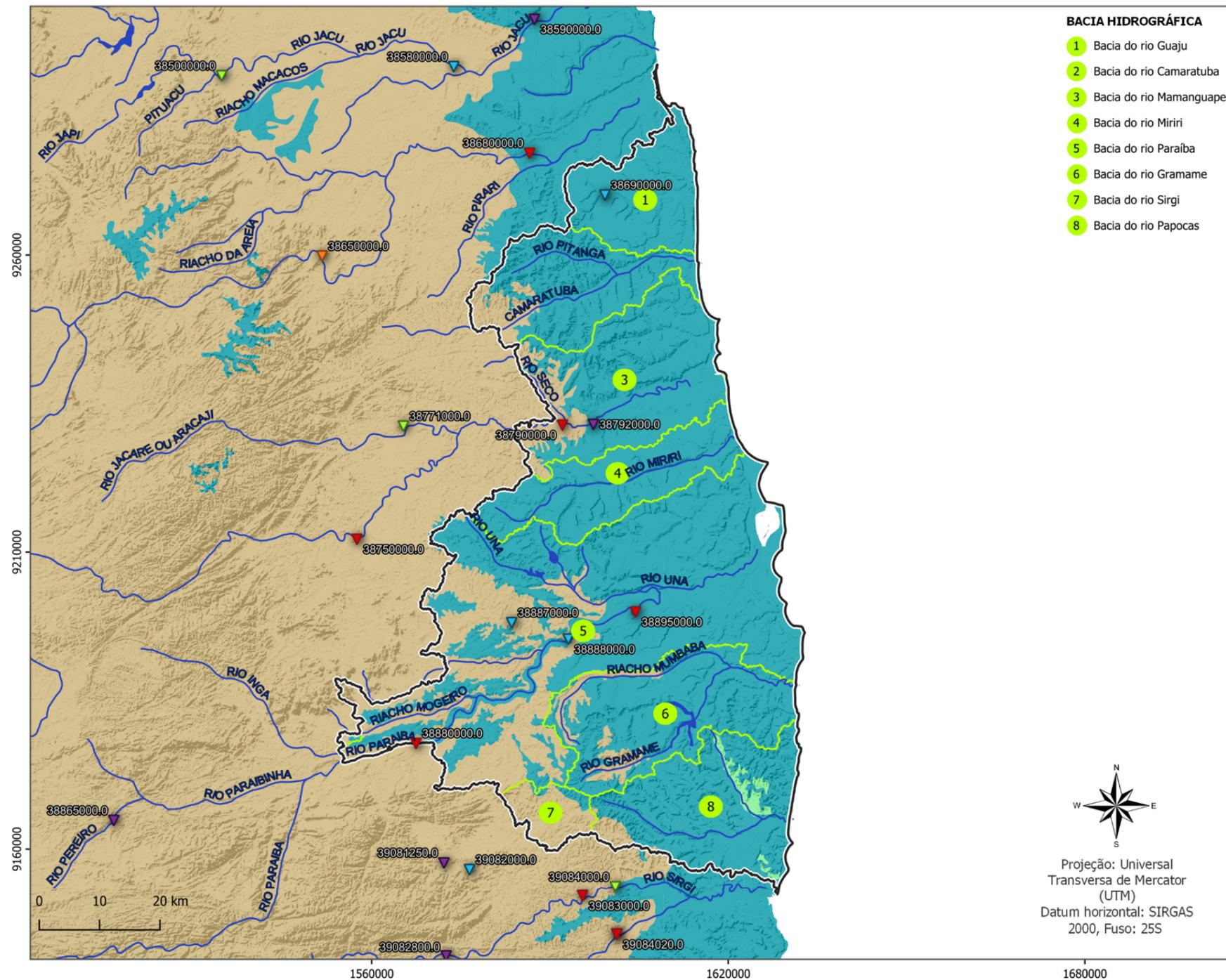
Localização das grandes bacias do estado da Paraíba



Figura 3.2 – Estações de monitoramento pluviométrico selecionadas (base da Agência Nacional das Águas).

Sistemas aquíferos da área de estudo e sub-bacias

Localização das grandes bacias do estado da Paraíba



Legenda



Figura 3.3 – Estações de monitoramento fluviométrico selecionadas (base da Agência Nacional das Águas)

Mapa de localização dos poços cadastrados na Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) - Governo da Paraíba

Localização das grandes bacias do estado da Paraíba

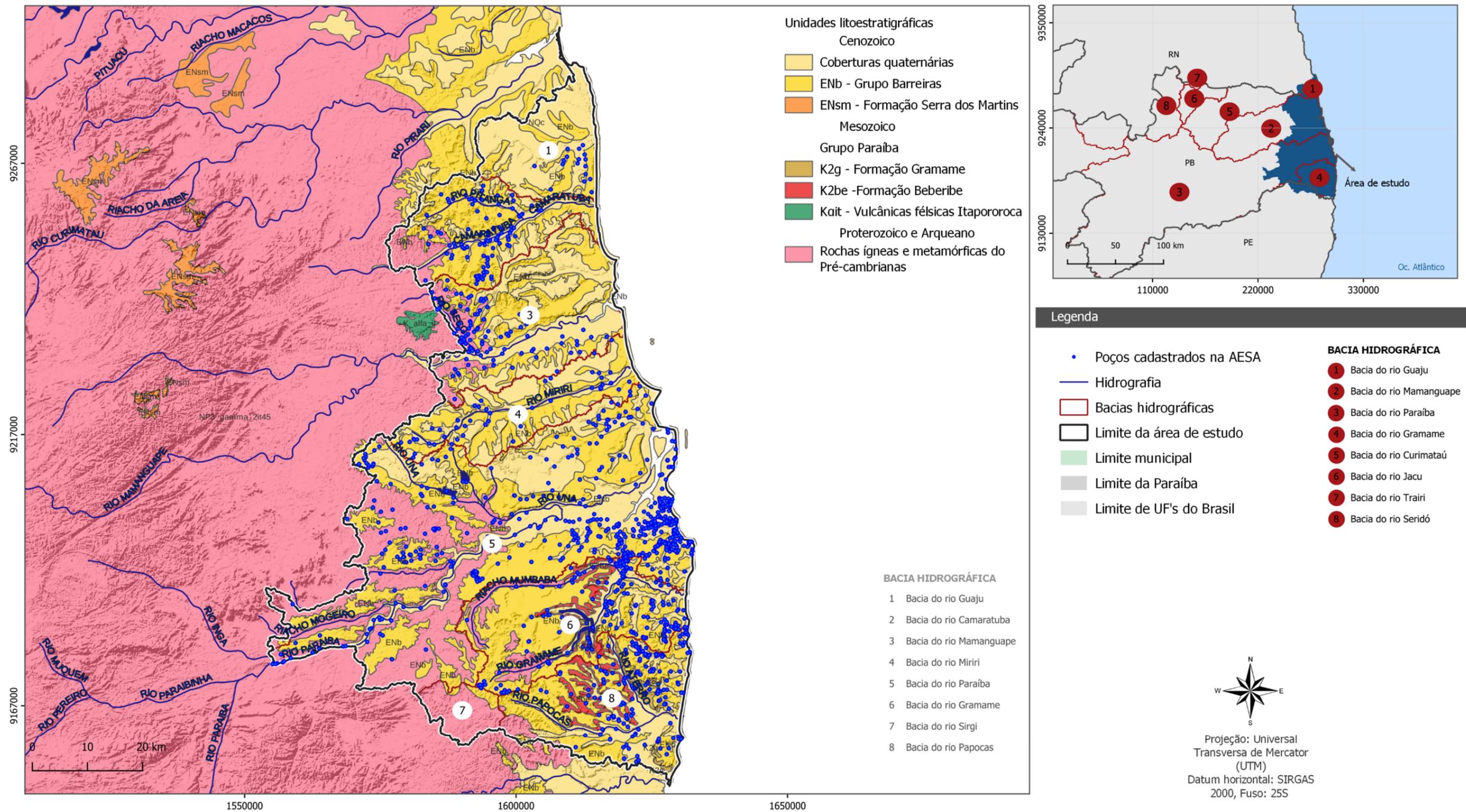


Figura 3.4 – Poços outorgados (com outorgas vigentes) – banco de dados AESA

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3.2 - CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA AQUÍFERO PARAÍBA-PERNAMBUCO

O modelo conceitual visa representar o entendimento das reservas aquíferas e dinâmica de circulação das águas subterrâneas, destacando-se:

- a. As condições de contorno;
- b. Formas de recarga e descarga — representando as entradas e saídas das águas dos sistemas aquíferos;
- c. Possíveis conexões com os recursos hídricos superficiais;
- d. Estimativa das direções dos fluxos subterrâneos;
- e. Estimativas das reservas aquíferas;
- f. Caracterização hidroquímica;
- g. Funções ambientais da água subterrânea;
- h. Caracterização da vulnerabilidade natural dos aquíferos;
- i. Conhecimento da água no ciclo hidrosocial e entendimento das interferências antrópicas.

A gestão eficiente das águas subterrâneas depende do conhecimento dos volumes armazenados, em distintas escalas, bem como das taxas de fluxo de água no ciclo hidrológico. Além disso, é fundamental o conhecimento da função ecológica das águas que interagem com a superfície e criam condições propícias à vida e à biodiversidade. Em contextos antropizados, as intervenções humanas na forma de captações e descarte de água, ou alterações no relevo, vegetação, uso e ocupação do solo, precisam ser conhecidas para que seja possível compreender, diante da fragilidade natural dos diferentes ambientes, os efeitos negativos das intervenções do ponto de vista do meio físico, biótico e socioeconômico.

A composição e a estrutura das rochas e sedimentos que compõem o meio afetam tanto as taxas de armazenamento e escoamento dos fluxos quanto à composição química da água subterrânea. A água é um poderoso solvente e, ao circular por entre os vazios das rochas e sedimentos, é enriquecida em sais, metais e gases. O tempo de residência das águas no

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

subsolo, as diferentes rotas subterrâneas e a qualidade das águas que infiltram permitem que as águas subterrâneas apresentem assinaturas químicas particulares em cada região. Ao aflorar em rios, lagos e áreas úmidas, as águas subterrâneas contribuem para a regulação da temperatura, alcalinidade e outros parâmetros físico-químicos que sustentam a biota aquática. Por outro lado, as águas provenientes da infiltração dos rios, lagos e reservatórios (em condições influentes) também alteram as características das águas subterrâneas, podendo ser fontes de contaminação dos aquíferos.

O modelo conceitual será elaborado com base nos dados compilados no diagnóstico integrado e dados de observação de campo visando a consolidação do conhecimento sobre o Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco. A seguir, descreve-se a metodologia a ser seguida para a caracterização das unidades hidrogeológicas, caracterização hidroquímica, balanço hídrico e análise da potencialidade e vulnerabilidade dos aquíferos, que representam os pilares da construção do modelo conceitual.

3.2.1 - Unidades Hidrogeológicas

A partir de mapas geológicos e hidrogeológicos e publicações técnicas, serão caracterizadas as principais unidades hidrogeológicas que compõem o Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco - SAPP, especialmente as Formações Beberibe, Itamaracá, Gramame e Maria Farinha, além do Grupo Barreiras que capeia a maior parte deste conjunto. Essas unidades litoestratigráficas preenchem a Bacia Paraíba (LIRA, 2005), parcela da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba (Figura 3.5).

A Bacia Paraíba compreende uma faixa costeira limitada, estruturalmente, entre o Alto de Mamanguape ao norte, e o Lineamento Pernambuco, ao sul. Segundo estudos apresentados por Barbosa e Filho (2005) a Bacia da Paraíba se comporta estruturalmente como uma rampa inclinada para o Atlântico. Representa a extensão da margem Atlântica do Brasil, que sofreu uma evolução tardia, a partir de um processo de estiramento crustal, não evoluindo para uma bacia rift típica. O preenchimento sedimentar nesta área teve início,

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

provavelmente, no Cretáceo superior, diferindo das demais bacias marginais. Na área costeira da Bacia Paraíba a profundidade do embasamento está entre 250 e 400 metros.

A Formação Beberibe é composta por arenitos friáveis, conglomeráticos a arenitos finos, com grãos sub-arredondados até sub-angulosos. Os arenitos ocorrem diretamente sobre o embasamento cristalino e são sobrepostos pelos calcários argilosos, com algumas intercalações finas de argila, calcarenitos e calcários arenosos da Formação Gramame (BARBOSA *et al.*, 2003). A Formação Itamaracá é contemporânea, e ocorre intercalada, à Formação Beberibe, e reúne arenitos carbonáticos, folhelhos e carbonatos siliciclásticos fossilíferos (BARBOSA *et al.*, 2003). A Formação Marinha Farinha é uma sequência de calcários detríticos, bem estratificados, fossilíferos, cujas camadas superiores são caracterizadas como dolomíticas e argilosas (BARROS, 2001).

Essas unidades serão caracterizadas do ponto de vista da hidrogeologia a partir de uma criteriosa compilação de dados visando descrever suas espessuras, variações composicionais, parâmetros hidrodinâmicos e grau de confinamento. Nesse contexto, é muito importante trazer informações geológicas e hidrogeológicas das rochas do embasamento e dos sedimentos que formam as coberturas quaternárias (Grupo Barreiras e diversos sedimentos aluviais e marinhos), buscando compreender o empilhamento estratigráfico e os principais controles estruturais que delimitam blocos altos e baixos do embasamento cristalino. As variações estratigráficas e a dissecação do relevo podem criar compartimentos hidrogeológicos, facilitando ou dificultando as condições de recarga e descarga dos aquíferos.

O Aquífero Beberibe é a unidade de maior produtividade, enquanto as Formações Gramame e Maria Farinha tendem a formar aquíferos de baixa produtividade ou aquitardes. No entanto, as variações faciológicas do Aquífero Beberibe condicionam o armazenamento e condutividade hidráulica do aquífero, resultando em variações nas vazões dos poços. Nesse sentido é importante setORIZAR as descrições obtidas dos parâmetros hidráulicos, visando correlacionar com as diferenças do arcabouço estratigráfico e estrutural, sempre que possível, ilustrando por meio de mapas e seções.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Albuquerque *et al.* (2011) dividem os aquíferos da bacia costeira de acordo com as características hidroestratigráficas e hidrostáticas em dois subsistemas:

- ✓ **Subsistema Livre** - formado pelo Grupo Barreiras e, eventualmente, por sedimentos quaternários diversos (areias litorâneas, dunas e aluviões) sobrepostos. De forma restrita, os calcários da formação Gramame e localmente os arenitos calcíferos da formação Beberibe superior também podem apresentar-se em condição livre;
- ✓ **Subsistema Confinado** – formado pelos arenitos quartzozos e/ou calcíferos da formação Beberibe/Itamaracá limitados na base pelo sistema cristalino Pré-Cambriano e no topo pelas seguintes camadas: (i) margas da formação Gramame; (ii) níveis argilosos inferiores da formação Guararapes do Grupo Barreiras; ou (iii) por lentes argilosas ou de folhelhos que ocorrem no topo da formação Beberibe superior (formação Itamaracá). Os recursos hídricos desse sistema se repartem entre as bacias hidrográficas que drenam a região litorânea dos rios Abiaí, Gramame, Paraíba (baixo curso), Miriri, Mamanguape (baixo curso), Camaratuba (médio e baixo cursos) e Guaju.

Essas descrições serão interpretadas juntamente com as características hidroquímica das águas, destacando-se os problemas identificados em relação à salinidade, sólidos totais dissolvidos e concentrações de cloreto e sódio.

3.2.2 - Caracterização hidroquímica

Será realizada a partir do levantamento e análise dos dados existentes sobre os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas por unidade aquífera. Se houver dados suficientes, as águas serão classificadas da seguinte forma:

- ✓ Classificação Iônica – utilização de diagrama de Piper e Stiff;
- ✓ Classificação quanto a potabilidade;
- ✓ Classificação quanto a salinidade e razão de adsorção de sódio, método United States Salinity Laboratory (USSL);

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

A análise será acompanhada do tratamento estatístico e representação cartográfica dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos a fim de caracterizar as águas dos principais sistemas aquíferos e interpretar particularidades dentro dos aquíferos relativas às variações composicionais, ao tempo de trânsito, interação água-rocha e direções de fluxo.

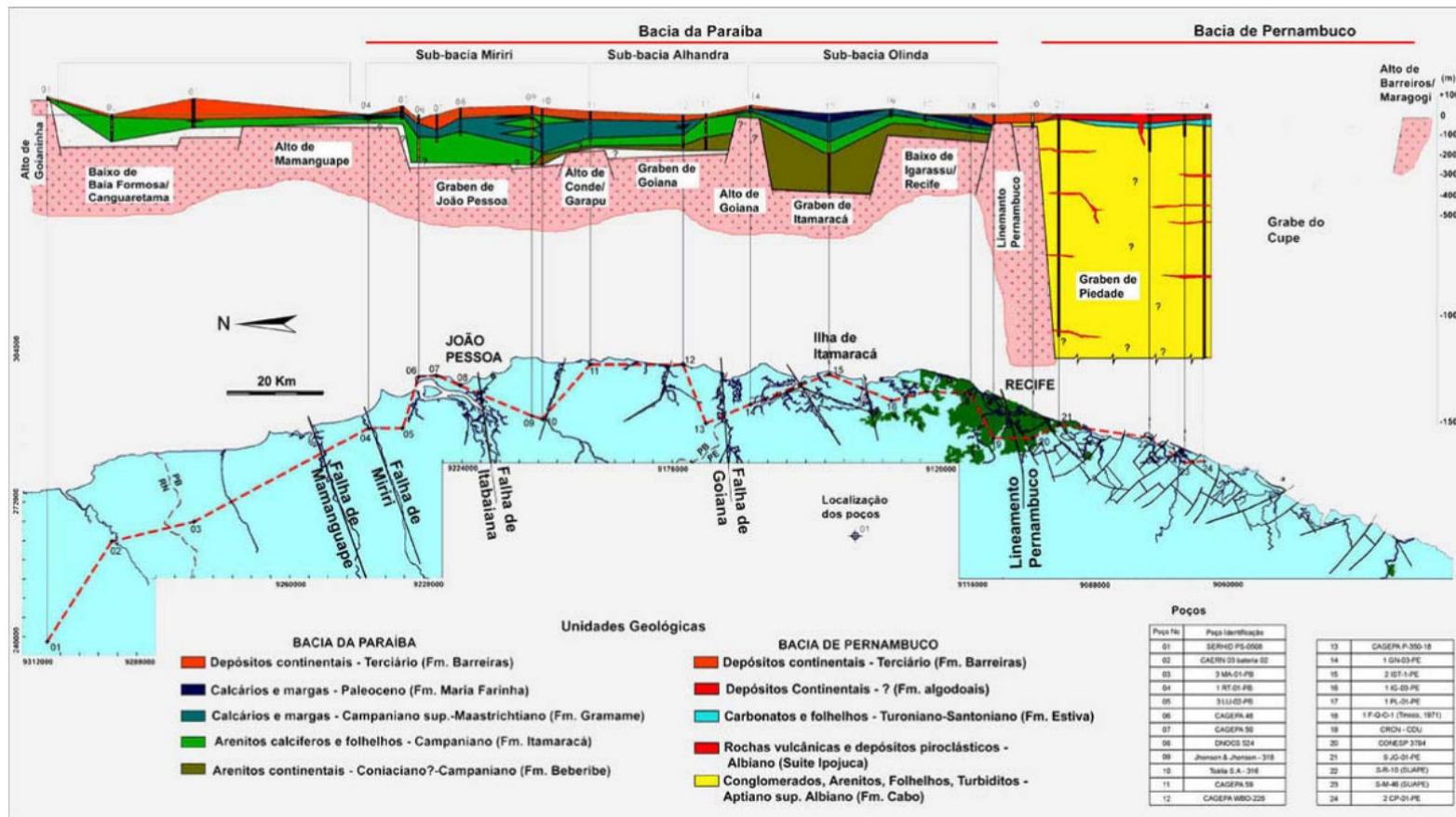


Figura 3.5 – Perfil geológico ao longo da linha de costa entre o Alto de Mamanguape e o Alto de Barreiros, mostrando os domínios das bacias da Paraíba e de Pernambuco. Fonte: Barbosa e Filho (2005)

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3.2.3 - Balanço Hídrico e Aplicação do Procedimento MIHA_1.0 - Método Integrado de Avaliação Hidrogeodinâmica ®

O balanço hídrico é a ferramenta de análise quantitativa das parcelas do ciclo hidrológico em um dado espaço ao longo do tempo: precipitação, evaporação, evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração dos aquíferos. Essa análise é fundamental para o entendimento das taxas de recarga e descarga dos aquíferos. A escolha do método utilizado para a realização do balanço depende do objetivo, disponibilidade de dados e escala do trabalho.

Neste estudo, que visa o entendimento do balanço hídrico das bacias hidrográficas em escala regional para concepção de um modelo hidrogeológico conceitual preliminar, serão utilizados pelo menos dois métodos para a estimativa das parcelas hídricas: o método MIHA, que tem como base o estudo dos hidrogramas e o potencial de contribuição das litologias que compõem as bacias hidrográficas, e o Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather (1948; 1955), que inclui estimativas da evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico, utilizando a premissa de que a evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo.

Essas análises são adequadas para o estudo do balanço hídrico em escala regional e serão complementares, permitindo uma análise crítica dos resultados e a discussão sobre a taxas de recarga esperadas para os aquíferos. A Tabela 3.1 apresenta outros métodos possíveis, cuja aplicação será avaliada na medida em que forem compilados os dados e validada a qualidade das informações existentes.

Devido à escala regional de análise do estudo, escassez de dados de monitoramento e a configuração hidrogeológica heterogênea do SAPP, é um desafio obter estimativas confiáveis para a recarga dos aquíferos profundos e estabelecer a dinâmica de transferência hídrica entre aquíferos. Esses processos podem ser discutidos conceitualmente utilizando-se a distribuição das cargas hidráulicas, composição dos materiais, parâmetros hidráulicos

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

obtidos da literatura e de testes hidráulicos dos poços, além de estudos hidroquímicos e isotópicos.

Tabela 3.1 - Métodos para estimativa da recarga

Método	Vantagens	Limitações	Avanços
Estimativa de taxa de infiltração por unidade hidrogeológica	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de utilização - Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> - Método generalista, que pode ocultar características particulares de uma determinada região. 	
Análise de variações potenciométricas sazonais	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicidade no uso 	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação pontual. - Ausência de dados disponíveis em quantidade suficiente para estudos regionais no Brasil. - Frequência de coleta de dados é parâmetro crítico para avaliações consistentes. - Incertezas em relação ao valor de porosidade efetiva adotado. - Grande variação em função da localização do ponto de medição (geologia, topografia, uso e ocupação do solo, entre outros). - Os níveis d'água podem ser afetados por fenômenos que não a recarga, incluindo pressão atmosférica, bombeamento, evapotranspiração, marés e cargas de superfície. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoria na tecnologia permite coleta de dados em intervalos de tempo adequados para análises mais aperfeiçoadas.
Análise de hidrogramas	<ul style="list-style-type: none"> - Relativa abundância de dados de séries históricas de vazões em rios - Variedade de métodos consagrados para a separação do escoamento de base 	<ul style="list-style-type: none"> - Estações fluviométricas nem sempre situadas em locais de interesse. - Requer conhecimento dos métodos hidrológicos para sua aplicação. - Necessidade de avaliação das interações entre aquífero e rio (regime efluente, influente ou misto). - Medições de vazões em cursos d'água representam o valor resultante entre as contribuições e as retiradas subterrâneas e superficiais, os fluxos entre aquíferos, a evapotranspiração da água subterrânea e a variação no armazenamento, os quais são variáveis com o tempo e distância do curso d'água. Esses parâmetros nem sempre são conhecidos ou podem ser estimados. - Vazões no período de estiagem podem ter influência de outras fontes além dos aquíferos, como áreas brejosas e aluviões ou barramentos. - Método assume que a área de contribuição da bacia superficial coincide com a área da bacia hidrogeológica, o que nem sempre ocorre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Avanços tecnológicos permitem a análise de dados através de programas computacionais, reduzindo o tempo de análise e permitindo a análise de hidrogramas complexos.
Balanço hídrico	<ul style="list-style-type: none"> - Método tecnicamente consagrado. - Pode ser usado em qualquer escala de estudo. - Proporciona uma visão abrangente de todo um sistema hídrico, fornecendo informações não apenas para as taxas de recarga, mas também para as relações entre as recargas e outros componentes do balanço hídrico. - Permite uma parametrização inicial para a análise e contextualização de outras técnicas. - Disponibilidade de dados na literatura na ausência de dados primários. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altamente dependente do modelo conceitual subjacente. - Sujeito a incertezas na medição ou estimativa de valores para os componentes do balanço hídrico. - Requer conhecimento da variabilidade dos componentes no espaço e no tempo. - Elevada incerteza nos valores de recarga se este componente for pequeno em relação a outros componentes do balanço hídrico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoria na precisão para medir e estimar componentes do balanço hídrico com novas ferramentas, tais como sensoriamento remoto, técnicas geofísicas e modelagem.
Modelo hidrogeológico numérico	<ul style="list-style-type: none"> - Podem fornecer indicativos de elementos intervenientes nas recargas. - Possibilidade de prever efeitos de mudanças climáticas, uso do solo e estratégias de gestão de águas sobre as disponibilidades hídricas. - Permite incorporar elementos de complexidades variadas. - Considera efeitos da variação temporal e espacial dos diversos elementos presentes no balanço hídrico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de conhecimento das ferramentas a serem utilizadas, sua aplicabilidade e limitações para a área a ser estudada. - Elevado grau de especialização técnica para sua elaboração. - Necessidade de muitos dados, a depender da ferramenta. - Confiabilidade é diretamente proporcional ao nível de certeza do modelo conceitual, à quantidade e qualidade dos dados de entrada. - Custos e prazos podem representar uma limitação para sua utilização. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento de ferramentas cada vez mais flexíveis e potentes para a resolução de questões complexas, como as interações entre aquíferos e rios e o fluxo na zona não saturada.

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Especial atenção será dada ao aquífero Beberibe, que ocorre confinado na maior parte da área de estudo. Após a análise do excedente hídrico nas bacias, estudo detalhado de trabalhos acadêmicos e poços cadastrados em bases públicas (com levantamento das informações construtivas, perfis litológicos dos furos, vazões específicas e nível d'água estático e dinâmico) serão elaborados mapas piezométricos para representação das cargas hidráulicas ao longo do tempo e seções hidrogeológicas representativas nas áreas de concentração dos poços de bombeamento que exploram águas do aquífero Beberibe. O cálculo das taxas de transferência de água dos aquíferos sotopostos para o aquífero Beberibe pode ser feito por meio de equações matemáticas baseadas na lei de Darcy, como a equação de Huntush (1956), desde que existam medidas das cargas hidráulicas, estimativas dos valores de condutividade hidráulica e conhecimento da geometria do aquífero. O entendimento das relações de transferência de água entre aquíferos e as estimativas da recarga do aquífero Beberibe nos distintos contextos hidrogeológicos dependerá da qualidade e distribuição dos dados existentes.

Outro desafio é fazer o “*upscaling*” dos parâmetros hidráulicos e resultados do balanço hídrico obtidos em estudos locais. Para isso, é fundamental delimitar sub-regiões com propriedades hidrogeológicas relativamente uniformes (estratigrafia, geologia estrutural, geomorfologia, clima, uso e ocupação e excedente hídrico). O estudo das recargas locais, assim como dos processos de transferência entre aquíferos, será realizado após a consolidação do entendimento do excedente hídrico das principais bacias hidrográficas e aprofundamento da compreensão da hidroestratigrafia e piezometria do sistema aquífero nesses domínios.

Destaca-se ainda como desafio para a determinação do balanço hídrico e elaboração do modelo conceitual do SAAP, a existência de rios e reservatórios influentes. A identificação da dinâmica de interação entre os fluxos superficiais e subterrâneos será feita de forma integrada, a partir do estudo das vazões monitoradas nas estações fluviométricas em diferentes trechos dos cursos d'água, estudo da geometria dos aquíferos e análise das cargas hidráulicas dos poços e piezômetros. O entendimento dessas relações, portanto,

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

depende da existência de instrumentos de monitoramento e avanço do conhecimento hidrogeológico. No estágio atual de instrumentação do SAPP, a expectativa é coletar evidências e criar hipóteses preliminares que sirvam para aprofundar o conhecimento dos aquíferos e para o direcionamento da rede de monitoramento quali-quantitativo. Após o diagnóstico, serão identificadas as regiões onde será necessário avaliar, além da recarga difusa, e taxas de transferência entre aquíferos, o efeito da recarga localizada, seja por reservatórios ou cursos d'água.

- MIHA_1.0 - Método Integrado de Avaliação Hidrogeodinâmica[®]

A partir do Método Integrado de Avaliação Hidrogeodinâmica – MIHA (PESSOA *et al.*, 2018), são avaliadas as condições de trânsito e as potencialidades produtivas das águas circulantes nas distintas tipologias aquíferas mapeadas, em relação aos distintos corpos hídricos monitorados em termos de suas bacias de contribuição hidrográfica e suas possíveis formas de interconexão hidráulica.

O Método Integrado de Avaliação Hidrogeodinâmica representa a integração dos resultados alcançados pela aplicação dos módulos de análise (PESSOA *et al.*, 2018):

- HidroX: Análise dos hidrogramas nas seções de controle selecionadas para separação dos escoamentos superficial e subterrâneo.
- GheoK: Análise de quantificação ponderada das reservas aquíferas – o reconhecimento da assinatura hidrogeodinâmica dos distintos materiais geológicos que sustentam as bacias de contribuição a montante das estações fluviométricas de interesse.

Dada a heterogeneidade dos materiais e as suas distintas potencialidades à recarga, a quantificação da água que circula em um sistema aquífero pode ser pouco compreendida e até mesmo falseada para mais ou para menos, devido às possibilidades de interconexão hidráulica entre bacias, podendo variar muito ao longo de diversos subdomínios de um mesmo sistema aquífero.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Portanto, o diferencial que se almeja atingir a partir da metodologia aplicada nesse estudo é a articulação da análise hidrológica integrada entre as características topográficas, geológicas e climáticas no contexto do SAPP. Essa articulação destaca o potencial hidrogeológico dos distintos materiais e permite discutir sobre a disponibilidade hídrica considerando as diferentes variáveis do sistema, o que permite avançar para o desenvolvimento de novos projetos e ferramentas de gestão dos recursos hídricos de acordo com as particularidades de cada domínio.

- Módulo 1 – HidroX: Análise dos hidrogramas nas seções de controle selecionadas

Na área de estudo existem estações pluviométricas e fluviométricas que podem auxiliar no entendimento da distribuição da precipitação e vazões dos cursos d'água nas bacias. Esses dados serão analisados em conjunto para a construção e interpretação dos hidrogramas. A análise dos hidrogramas é fundamental para avaliar as relações entre águas superficiais e subterrâneas, já que é possível por meio de filtros matemáticos realizar a separação do escoamento superficial e subterrâneo.

O procedimento de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo por meio do módulo HidroX consiste, essencialmente, na estruturação de uma rotina configurada em ambiente Visual Basic no Excel, a partir da qual é possível construir um hidrograma com aplicação de filtros numéricos para cada ano hidrológico, utilizando-se os registros das descargas. São identificados os períodos de recessão para todas as estações e calculado o melhor valor para as constantes de ajustamento dos tipos de materiais existentes na bacia em análise e, por fim, realizada a separação dos escoamentos subterrâneo e superficial.

A interpretação do período de recessão utilizando técnicas gráficas foi introduzida por Barnes (1939), sendo aplicada para a separação entre os diferentes componentes do fluxo. Atualmente são utilizados filtros matemáticos para análise de hidrogramas mais extensos, que registram um ano ou mais de monitoramento da vazão. Nesse estudo serão utilizados filtros matemáticos utilizando-se os estudos apresentados por Lyne e Hollick (1979),

Chapman (1991), Chapman e Maxwell (1996), Eckhardt (2005; 2008), e Collischonn e Fan (2013).

De modo geral, é possível identificar três regiões principais em um hidrograma (Figura 3.6), a saber: i) curva de concentração ou acumulação (de B para C), resultante da pluviosidade e porção onde se verifica o aumento da vazão em função do escoamento superficial; ii) vazão máxima ou pico de cheia (C), que reflete a maior concentração da precipitação na bacia e iii) a curva de recessão ou depleção (de C para E), que assinala o fim do escoamento superficial e marca o instante em que o escoamento subterrâneo passa a responder pela totalidade da vazão do curso d'água.

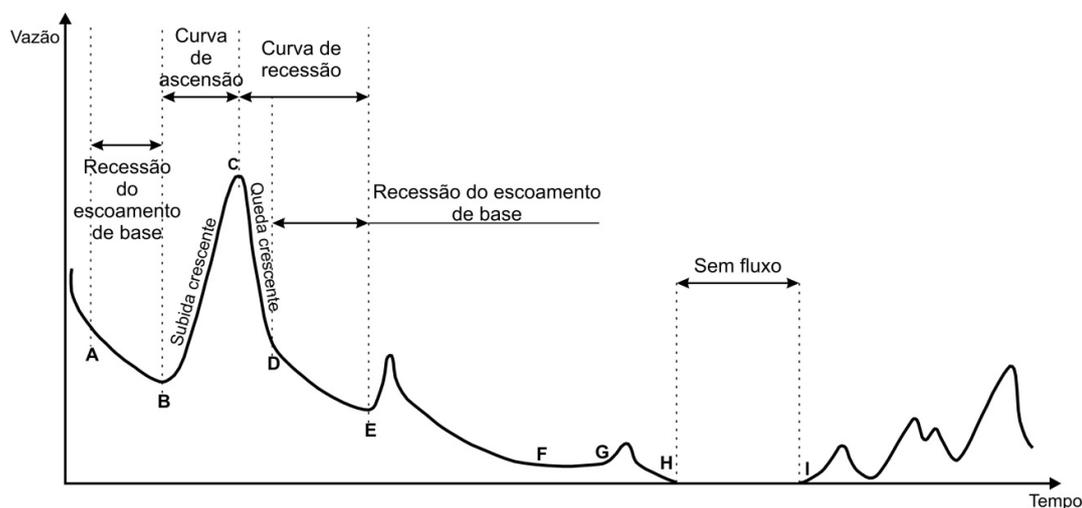


Figura 3.6 – Hidrograma com períodos representativos de sazonalidades e padrões comportamentais

A associação do fluxo subterrâneo calculado a partir do hidrograma com a recarga é uma aproximação decorrente do princípio que a descarga do aquífero é linearmente proporcional ao seu armazenamento, o que se mostra válido para condições de estiagem na maior parte dos rios do mundo. Nesses períodos, a curva de recessão pode ser aproximada para uma exponencial decrescente, sendo representada pela seguinte equação:

$$Q(t) = Q_0 \times e^{\frac{-t}{k}} \quad (\text{Equação 1})$$

onde t é o tempo, Q_0 representa a vazão em um instante t_0 , $Q(t)$ é a vazão no instante t , e é a base dos logaritmos naturais e k é a constante, em unidade de tempo (FREEZE & CHERRY, 1979; COLLISCHON & TASSI, 2008).

Para cada ano hidrológico, portanto, é calculado um valor para $(-1)/k$. Este cálculo é realizado a partir da aproximação da curva no período de recessão com uma curva de tendência exponencial, conforme pode ser visto abaixo (Figura 3.7).

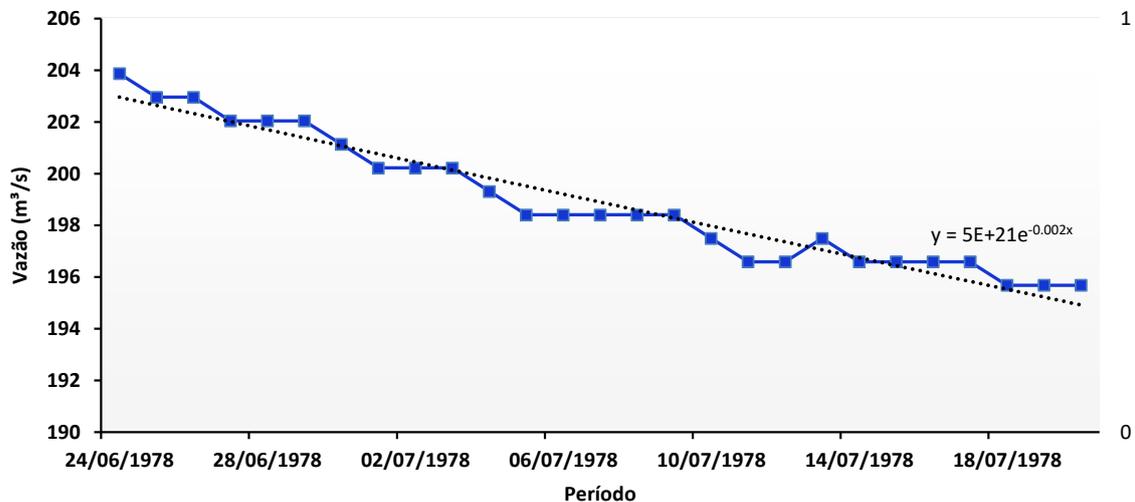


Figura 3.7 – Valor de $-1/k$ a partir da curva exponencial referente ao período de recessão (constante y) do hidrograma do rio Corrente (estação Porto Novo)

Os filtros numéricos permitem separar, de modo aproximado, as componentes superficial e subterrânea de um hidrograma. Para tanto, supõe-se que a vazão total de um hidrograma (y) em um intervalo de tempo (i) é formada pelas componentes escoamento superficial (f) e escoamento subterrâneo (b):

$$y_i = f_i + b_i \quad (\text{Equação 2})$$

onde i representa o intervalo de tempo adotado.

Considerando-se a existência de uma relação linear em períodos de estiagem entre o armazenamento de água nos aquíferos e a vazão, pode-se adotar para os períodos sem recarga do aquífero a seguinte equação:

$$b_{i+1} = b_i \times e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad (\text{Equação 3})$$

onde que k é a constante e Δt é o tamanho do intervalo de tempo entre i e $i+1$. Esta mesma equação também pode ser expressa por:

$$b_{i+1} = b_i \times a \quad (\text{Equação 4})$$

onde,

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad (\text{Equação 5})$$

Uma forma de estimar o valor de b_i para cada intervalo de tempo i foi proposta por Lyne e Hollick (1979) e posteriormente modificada por Chapman (1991) e simplificada em 1996 por Chapman e Maxwell (e.g., ECKHARDT, 2005):

$$b_i = \frac{a}{2-a} \times b_{i-1} + \frac{1-a}{2-a} \times y_i \quad (\text{Equação 6})$$

Se a aplicação desta equação resultar em um valor $b_i > y_i$, então $b_i = y_i$.

O filtro acima foi denominado neste estudo como “Filtro A”. Eckhardt (2005), a partir da equação 6, formulou um filtro com dois parâmetros, a e BFi_{max} (“Filtro B”):

$$b_i = \frac{(1-BFi_{max}) \times a \times b_{i-1} + (1-a) \times BFi_{max} \times y_i}{1-a \times BFi_{max}} \quad (\text{Equação 7})$$

Como no caso anterior, limitado a valores b_i menores ou iguais a y_i .

BFi_{max} é o máximo percentual de escoamento subterrâneo que o filtro permite calcular, e pode ser estimado ao se estender a curva de recessão, de trás para frente no tempo:

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

$$b_i = \frac{b_{i+1}}{a} \quad (\text{Equação 8})$$

Limitado a valores b_i menores ou iguais a y_i , como nos casos anteriores. A partir da aplicação da recessão inversa (COLLISCHONN e FAN, 2013), obtém-se um hidrograma “r” cujos valores são utilizados para o cálculo do BFi_{max} , pela fórmula:

$$BFi_{max} \approx \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (\text{Equação 9})$$

onde N representa o número de intervalos de tempo do hidrograma.

Os filtros A e B se igualam caso BFi_{max} corresponda a 0,5. Entretanto, o filtro B permite uma análise mais detalhada do hidrograma, especialmente quando é utilizada a metodologia de Collischonn e Fan (2013) para a determinação de BFi_{max} .

A Figura 3.8 mostra como exemplo o hidrograma da estação fluviométrica Porto Novo, código 45960001 (rio Corrente) para o ano hidrológico 2010/2011 ilustrando as linhas de separação dos escoamentos que representam os filtros A (verde) e B (vermelho). No presente estudo, será utilizado o Filtro B para o cálculo da parcela do escoamento subterrâneo devido à sua maior aderência ao hidrograma nos períodos de recessão.

A parcela superficial é obtida subtraindo-se a vazão subterrânea da vazão total medida na estação fluviométrica. Para cada bacia, o volume precipitado pode ser calculado a partir dados de estações pluviométrica ou mapas de isoietas, considerando a área das bacias. Subtraindo os volumes de água superficial e subterrânea, obtém-se a parcela de perdas hídricas, as quais incluem a evapotranspiração, uso superficial e subterrâneo, trocas laterais com bacias vizinhas e trocas com aquífero profundos. Estes componentes permitem que seja feito um balanço hídrico simplificado para cada bacia hidrográfica.

Conforme descrito anteriormente, para um processamento mais dinâmico, padronizado e confiável perante a grande quantidade de dados envolvidos no estudo, foram criadas ferramentas computacionais que permitiram o processamento, armazenamento e acesso aos dados de forma muito mais rápida e eficiente.

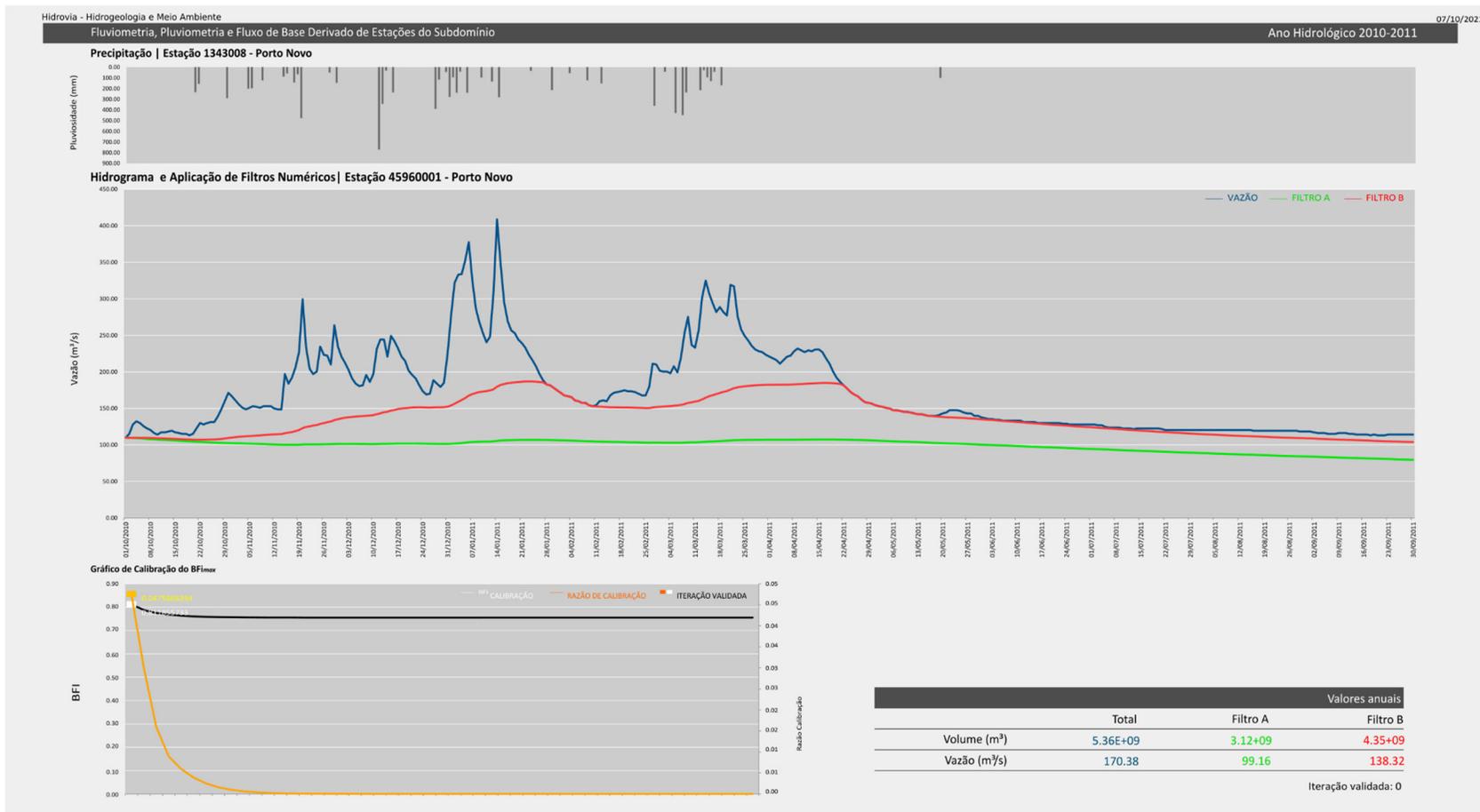


Figura 3.8 – Hidrograma do rio Corrente (estação Porto Novo) utilizado na análise de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

- Módulo 2 – GheoK: Análise de quantificação ponderada das reservas aquíferas

Visando ao entendimento mais aprofundado das condições de contribuição dos aquíferos para as calhas de drenagem nos períodos de estiagem, a metodologia de análise hidrogeológica proposta assume a compartimentação das bacias hidrográficas em domínios geológicos distintos, dadas as diferenciações de seus atributos litoestruturais e propriedades hidráulicas intrínsecas e, conseqüentemente, as suas potencialidades naturais à exploração e restituição de água às calhas de drenagem.

Os tipos de rochas existentes designam, em função de suas propriedades hidráulicas naturais, uma maior ou menor capacidade à condução das águas subterrâneas e ao potencial de armazenamento. Desse modo, a partir dos mapeamentos geológicos, torna-se muito apropriada a delimitação de corpos armazenadores com maior ou menor potencial aquífero, o que, conjuntamente a uma gama de atributos estruturais, possibilita a integração necessária à montagem de cenários favoráveis ou não à ocorrência das águas subterrâneas. De um modo geral, os tipos de rochas que detêm maior potencial aquífero são bastante conhecidos, sendo também conhecidas as rochas que apresentam pequena predisposição natural para armazenar e transmitir água.

Quando considerado o volume de água subterrânea ofertado como reservas anuais renováveis para a totalidade de uma bacia, ao se assumir proporcionalmente uma fração desse valor para um determinado trecho da mesma, o resultado deve acomodar os fatores geológicos intervenientes no cômputo do balanço hídrico. Assim, a ponderação dos pesos relativos aos tipos de rocha existentes no interior de cada bacia hidrográfica assume caráter especial de relevância hidrogeológica, contextualizando especialmente as verdadeiras potencialidades aquíferas de cada domínio.

Por isso é que se considera, dentre outros fatores facilitadores da quantificação das reservas aquíferas, que as unidades hidrogeológicas em análise, juntamente com o levantamento dos percentuais de ocorrência de determinado tipo de rocha, possam otimizar a consistência dos procedimentos de regionalização e, conseqüentemente, do resultado apresentado,

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

fornecendo subsídios para a determinação da 'identidade' de cada tipo de material quanto à sua assinatura hidrogeodinâmica.

As tarefas estão voltadas a consubstanciar os valores de contribuição subterrânea encontrados para cada bacia hidrográfica, normalizando tais valores a partir da atribuição de coeficientes conhecidos de porosidade efetiva para fluxo (N_{ef}) ou armazenamento específico (S_y), em cada tipologia aquífera.

De acordo com a aplicação dessas atribuições de coeficientes específicos em cada tipologia aquífera, o significado dos resultados encontrados passa a ser representado de modo mais realista, onde as contribuições efetivas de cada agrupamento litológico passam a ter um peso diferenciado nos resultados encontrados e, desse modo, as distinções entre as recargas efetivas podem ser reconhecidas e revistas.

Os procedimentos de cálculo envolvem o cálculo das contribuições de fluxo por tipo litológico existente (mapeado) em cada domínio de interesse ou bacia hidrográfica, a partir da obtenção do valor de descarga subterrânea assumida como representativa do período de recessão da referida bacia, numa dada seção fluviométrica (obtido no módulo HidroX).

Considerando-se então o conhecimento da área da bacia e das áreas relativas a cada um dos tipos litológicos presente nesta bacia, é possível se atribuir um valor de porosidade efetiva para fluxo equivalente para as rochas que representam um domínio hidrogeológico.

A análise segue os seguintes cálculos para determinação da contribuição subterrânea de cada uma das litologias nas bacias estudadas:

1. Coeficiente de contribuição efetiva por tipo litológico (C_{cn})

$$C_{Cn} = A_{\%n} \times \eta_{efn} \quad (\text{Equação 10})$$

onde C_{Cn} = coeficiente de contribuição para cada tipo hidrogeológico; $A_{\%n}$ = área percentual correspondente ao domínio de abrangência hidrogeológica (adimensional); η_{efn} = porosidade efetiva para fluxo de um tipo litológico específico (adimensional).

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

2. Índice de contribuição efetiva ou valor normalizado ($I_{ce\eta}$)

$$I_{ce\eta} = \frac{C_{cn}}{C_{ct}} \quad (\text{Equação 11})$$

onde $I_{ce\eta}$ = índice de contribuição efetiva ou valor normalizado de contribuição relativa a um tipo litológico específico (adimensional); C_{cn} = coeficiente de contribuição de cada tipo litológico específico (adimensional); C_{ct} = somatória dos coeficientes de contribuição conforma tipo hidrogeológico (adimensional).

3. Somatória dos coeficientes de contribuição (C_{ct})

$$C_{ct} = \sum_1^n A_{\%n} \times \eta_{efn} \quad (\text{Equação 12})$$

onde C_{ct} = somatória dos coeficientes de contribuição conforme tipo hidrogeológico (adimensional); $A_{\%n}$ = área percentual correspondente ao domínio de abrangência hidrogeológica (adimensional); η_{efn} = porosidade efetiva para fluxo de um tipo litológico específico (adimensional).

4. Índice de contribuição relativa (I_{CR})

$$I_{CR} = I_{ce\eta} \times Q_{minT} \quad (\text{Equação 13})$$

onde I_{CR} = índice de contribuição relativa a um tipo litológico específico (adimensional); $I_{ce\eta}$ = índice de contribuição efetiva ou valor normalizado de contribuição relativa a um tipo litológico específico (adimensional); Q_{minT} = descarga mínima média medida na seção fluviométrica (L^3/T).

Assim, substituindo-se a Equação 11 na Equação 13, tem-se:

$$I_{CR} = \frac{C_{cn}}{C_{ct}} \times Q_{minT} \quad (\text{Equação 14})$$

Substituindo-se a Equação 10 na Equação 14, tem-se:

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

$$I_{CR} = \frac{A_{\%n} \times \eta_{efn}}{C_{ct}} \times Q_{\min T} \quad (\text{Equação 15})$$

Por fim, substituindo-se a Equação 12 na Equação 15, tem-se:

$$I_{CR} = \frac{A_{\%n} \times \eta_{efn}}{\sum_1^n A_{\%n} \times \eta_{efn}} \times Q \quad (\text{Equação 16})$$

Abordando de forma diferenciada a inserção dos distintos tipos litológicos na análise do balanço hídrico, a ferramenta MIHA® (PESSOA *et al.* 2018; ANA, 2018) tem demonstrado nos diversos domínios onde tem sido aplicada, que um dos mais importantes atributos para quantificação dos deflúvios superficiais e subterrâneos e dos próprios componentes do balanço hídrico refere-se ao ambiente geológico que sustenta a bacia hidrográfica, suas formas de alteração em distintos tipos de solos, seus atributos geomorfológicos (topografia e relevo) e sua estruturação tectônica, sendo todos estes elementos geralmente desconsiderados nas abordagens de quantificação das águas circulantes, quando submetidos a procedimentos clássicos da engenharia hidrológica aplicada ao balanço hídrico.

No entanto, para cada ambiente ou região de interesse, devem ser assumidas as premissas necessárias para a aplicação dos referidos procedimentos de análise, cuja fundamentação se alicerça no entendimento precípua de que os volumes de circulação da água subterrânea devem ser objeto de análises espaço-temporais integradas aos atributos geológicos, morfológicos e estruturais dos alvos de interesse, devendo ainda ser considerados e comparados aos ambientes que conformam a sua vizinhança. Desse modo, o objetivo maior da aplicação dessa ferramenta é possibilitar o reconhecimento das condições de fluxo dos aquíferos e a capacidade das reservas hídricas subterrâneas com o intuito de se avaliar as ofertas específicas de água subterrânea nos distintos sistemas aquíferos.

Os procedimentos metodológicos encontram-se constantemente em processo de aprimoramento, principalmente quanto à adoção das variáveis que endossam a análise e as formas de interpretação dos atributos do meio físico. É importante se ater à realidade sobre as limitações existentes, que na maioria das vezes recai sobre a fragilidade ou

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

ausência de dados primários, o que deve ser encarado e tratado à medida em que vão sendo aplicados os procedimentos da análise integrada, diante do universo das informações disponíveis.

3.2.4 - Análise das reservas subterrâneas e potencialidade dos aquíferos

A definição de reservas aquíferas e recursos é um dos aspectos mais controversos na hidrogeologia (CUSTODIO & LLAMAS, 1983). Feitosa *et al.* (2008), na mais completa e didática publicação brasileira acerca dos conceitos e aplicações da hidrogeologia, apresenta uma evolução do conhecimento das definições de reservas e recursos. Os autores mencionam que no Brasil, a terminologia mais utilizada para conceituar as reservas e os recursos subterrâneos segue, em linhas gerais, as propostas de Plotnikov (1962), Castany (1963) e Bogomolov e Plotnikov (1956).

Abaixo apresenta-se o conceito dos termos mais utilizados e que são encontrados na base da gestão dos recursos hídricos no Brasil.

- I. **Reserva Reguladora ou Renovável** – A reserva reguladora ou renovável (BOGOMOLOV E PLOTNIKOV, 1956) foi definida como a reserva associada ao balanço hídrico das águas subterrâneas, representando o comportamento mediano secular das variações sazonais do nível da água subterrânea, produzidas por entradas supostamente iguais às saídas. Traduz um estado de equilíbrio dinâmico entre a recarga e a descarga (vazão de escoamento natural) do sistema aquífero, indicativo de que não existe variação no armazenamento.
- II. **Reserva Geológica ou Permanente** – A reserva geológica corresponde às águas armazenadas ao longo do tempo geológico. No Brasil, essas reservas ficaram mais conhecidas como reservas permanentes, denominação devida a Plotnikov (1962).
- III. **Reserva Natural ou Total** – Representa a soma das reservas geológicas e das reservas reguladoras, sendo denominada por Plotnikov (1962) como Reserva Total.
- IV. **Reserva de Exploração** – Representa a descarga que pode ser retirada regularmente e permanentemente sem perigo de esgotamento da reserva de

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

armazenamento (*safe yield*), sendo conceituada inicialmente por Lee (1915, apud FETTER, 2001) e por Meinzer (1920). O termo vem sendo utilizado até hoje, embora existam discussões quanto ao conceito. No Brasil os termos mais utilizados no sentido de *safe yield* são: reservas explotáveis, vazão de exploração, vazão explotável e descarga explotável (FEITOSA *et al.*, 2008).

Alguns autores consideram que os valores entendidos e adotados como reservas explotáveis não poderiam nunca exceder os valores efetivos das reservas renováveis. Considerando-se uma condição em que o regime dos cursos d'água seja predominantemente perene e que os aquíferos explotados sejam de natureza livre, em sua maioria, admite-se que, em termos médios de longo período e em condições não influenciadas, as entradas de água nos sistemas igualam às descargas ou saídas, que em geral são responsáveis pelo fluxo de base dos cursos d'água. Teoricamente, uma exploração cujo volume se iguala à recarga total do sistema acabaria por influenciar o regime de vazões mínimas do escoamento superficial. Por este motivo, admite-se que os recursos explotáveis representam apenas uma parcela das reservas reguladoras, a fim de garantir a manutenção de uma vazão mínima dos cursos d'água (RAMOS & PAIXÃO, 2003).

Hoje no Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA, 2013) estabelece as seguintes definições aplicáveis à gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos:

- a) **Reserva Renovável ou Reguladora ou Recarga Potencial Direta (RPD):** compreende a parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra e efetivamente alcança o aquífero livre. Corresponde ao somatório da vazão de base, dos volumes de água subterrâneas em exploração, e da recarga profunda;
- b) **Reserva Explotável ou Reserva Potencial Explotável:** corresponde à parcela da RPD indicada pelo Coeficiente de Sustentabilidade (CS) que deve ser explotada de forma sustentável, de modo a não interferir nas vazões mínimas referenciais para a outorga de águas superficiais;
- c) **Coeficiente de Sustentabilidade (CS):** percentual máximo recomendado para se explotar a Recarga Potencial Direta (RPD), com vistas a evitar efeitos adversos nos

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

aquíferos e redução significativa das vazões de base dos rios a eles interconectados. O valor de CS varia entre 0,1 e 1,0, sendo atribuído por aquífero em função de suas características intrínsecas, especialmente sua contribuição por meio do fluxo de base no escoamento superficial total de um rio. A função de indicação desse percentual é evitar o comprometimento da disponibilidade hídrica superficial desses corpos d'água nos períodos de estiagem com o uso indiscriminado da água subterrânea.

Conforme exposto anteriormente, ANA (2013) atribui o recurso renovável à parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra e efetivamente chega aos aquíferos livres, e denominou esse valor de recarga potencial direta (RPD). Nesse documento foi também estabelecido o Coeficiente de Sustentabilidade (CS), que representa o percentual da RPD que pode ser explorado de forma sustentável. O recurso explorável é denominado reserva potencial explorável (RPE), sendo calculada multiplicando a RPD pelo CS. Entretanto, para se conhecer a disponibilidade real de água subterrânea deve ser descontado da RPE o volume total explorado anualmente.

A partir da compilação dos percentuais de taxas de recarga considerados como exploráveis (utilizando o CS), em planos diretores das principais bacias hidrográficas no Brasil onde este conceito tem sido aplicado, verifica-se, de modo geral, que os valores oscilam entre 20% e 50%. (ANA, 2009; ANA, 2011; ANA, 2014; ANA, 2015; AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2018; CBHSF, 2015; CBH Rio das Velhas; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010; FABHAT, 2016).

Para a gestão dos aquíferos em condições climáticas de escassez hídrica onde as reservas reguladoras são baixas ou inexistentes, como ocorre em grande parte dos sistemas aquíferos do semi-árido nordestino, é admissível que as reservas exploráveis sejam constituídas pelas reservas reguladoras e uma parcela das reservas permanentes durante um determinado tempo. O ideal é que essa extração seja acompanhada de ações mitigadoras, como recarga gerenciada e recuperação de nascentes. Esse percentual da reserva permanente passível de uso por um tempo determinado define a potencialidade do aquífero.

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Para o cálculo das reservas aquíferas e potencialidade do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco esses conceitos apresentados por ANA (2013), bem como o conceito de potencialidade, serão utilizados. As estimativas obtidas pelo MIHA para o escoamento de base das bacias, bem como da contribuição efetiva dos diferentes tipos de aquíferos, serão utilizados como referência para as reservas renováveis. Além disso, serão calculados os valores de reservas permanentes, renováveis e potencialidade dos aquíferos seguindo a metodologia utilizada para o cálculo das reservas subterrâneas no PERH – PE (1998, 2022) sintetizada na Tabela 3.2 até a Tabela 3.4. Nesses documentos, os aquíferos no estado do Pernambuco foram agrupados em três grandes grupos: Aquífero Intersticial em Bacias Sedimentares, Aquífero Intersticial Aluvial e Aquífero Fissural. Essas três tipologias aquíferas representam bem as unidades hidrogeológicas que serão estudadas no SAPP no estado da Paraíba.

É importante salientar, contudo, que essas estimativas não levam em consideração efeitos temporais e relações espaciais entre recargas e descargas. Tampouco abrange variáveis de natureza social, econômica ou ecossistêmica ao limitar o volume de água subterrânea passível de ser utilizado. Representam uma proposta de avanço no sentido de integrar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, mas ainda carecem de aperfeiçoamento para que seja possível atingir os objetivos da Política de Recursos Hídricos.

Tabela 3.2 – Estimativa das reservas permanentes

ESTIMATIVA DAS RESERVAS PERMANENTES		
TIPO DE AQUÍFERO	PARÂMETROS	CÁLCULO DA RESERVA PERMANENTE (Rp)
Aquífero Intersticial em Bacias Sedimentares Livre	A - área de ocorrência do aquífero (m ³) b - espessura saturada do aquífero livre (m ³) μ - porosidade efetiva do aquífero (adimensional)	$R_p = A \times b \times \mu \text{ (m}^3\text{)}$
Aquífero Intersticial em Bacias Sedimentares Confinado	A - área de ocorrência do aquífero (m ³) b - espessura saturada do aquífero confinado (m ³) h - carga potenciométrica do aquífero confinado (m); S - coeficiente de armazenamento do aquífero confinado (adimensional).	$R_p = (A \times h \times S) + (A \times b \times \mu)$
Aquífero Intersticial Aluvial	A - área de ocorrência do aquífero (m ³). Se não for conhecido usar 2% da área da bacia hidrográfica. b - espessura saturada do aquífero livre (m ³). Se não for conhecido aproximar para 0,5 m. μ = 0,1 (adimensional).	$R_p = A \times b \times 0,1$
Aquífero Fissural	Simplificação adotada - Variação sazonal média ~5m e profundidade média utilizável ~50 m	$R_p = 10 \times R_r \text{ (Reserva Renovável)}$

Fonte: PERH-PE (APAC, 1998)

Tabela 3.3 – Estimativa das reservas renováveis

ESTIMATIVA DAS RESERVAS RENOVÁVEIS		
TIPO DE AQUÍFERO	PARÂMETROS	CÁLCULO DA RESERVA RENOVÁVEL (Rr)
Aquífero Intersticial em Bacias Sedimentares Livre e Aquífero Intersticial Aluvial	Rr - reserva reguladora do aquífero (m ³ /ano); k - condutividade hidráulica do aquífero (m/ano); b - espessura saturada do aquífero (m); l - largura da frente de escoamento (m) i - gradiente hidráulico medido entre curvas potenciométricas (adimensional);	$R_r = k \times b \times l \times i \text{ (m}^3\text{/ano);}$
	Aq - área de recarga do aquífero (m ²) Δs - rebaixamento médio anual da água dentro do poço (m); μ - porosidade efetiva do aquífero, que em camadas arenosas pode ser considerada igual a 0,1 quando não se dispõe de dados de ensaio de bombeamento.	$R_r = A_q \times \Delta s \times \mu \text{ (m}^3\text{/ano)}$
	A - área de ocorrência do aquífero (m ³). P - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano); I - taxa de infiltração	$R_r = A \times P \times I \text{ (m}^3\text{/ano)}$
Aquífero Fissural	A - área de ocorrência do aquífero (m ³). P - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano); I - taxa de infiltração Simplificação adotada: I = 0,0015	$R_r = A \times P \times I \text{ (m}^3\text{/ano)}$

Fonte: PERH-PE (APAC, 1998)

Tabela 3.4 – Estimativa das reservas renováveis

ESTIMATIVA DA POTENCIALIDADE DOS AQUÍFEROS		
TIPO DE AQUÍFERO	PARÂMETROS	CÁLCULO DA POTENCIALIDADE - Po
Aquífero Intersticial em Bacias Sedimentares	Rp = Reserva Permanente Rr = Reserva Renovável C = Coeficiente de uso da Rp = 10% T = Tempo de uso da Rp = 50 anos (10%/50 anos = 0,2% a.a)	$Po = (Rr \times 0,002) + Rr$ (m ³ /ano).
Aquífero Intersticial Aluvial	A - área de ocorrência do aquífero (m ²). Se não for conhecido, usar 2% da área da bacia hidrográfica. b - espessura saturada do aquífero livre (m ³). Se não for conhecido aproximar para 1,5 m. μ = 0,1 (adimensional). A – aproveitamento = 60%	$Po = A \times 1,5 \times 0,1 \times 0,6 = A \times 0,09$ (m ³ /ano).
Aquífero Fissural	Rr = Reserva Renovável	$Po = Rr \times 1,15$ (m ³ /ano)
Fonte: PERH-PE (APAC, 1998)		

Nesse sentido é importante retomar o entendimento já apontado na literatura nacional e internacional de que os limites da exploração dos aquíferos estão atrelados ao entendimento da tolerância frente aos efeitos negativos ao longo do tempo. Portanto, recomenda-se a adoção de uma abordagem complementar, que utiliza indicadores de sustentabilidade das águas subterrâneas, apoiados na rede de monitoramento quali-quantitativa, para a constante revisão desses valores, conforme será discutido a seguir.

3.3 - DELIMITAÇÃO DE ZONAS DE GERENCIAMENTO E ESTIMATIVA DO POTENCIAL E DISPONIBILIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Partindo-se do diagnóstico integrado e do modelo conceitual do SAPP, nesta etapa serão delimitadas zonas, e eventualmente subzonas de gerenciamento dos aquíferos. As zonas de gerenciamento serão baseadas nas similaridades dos contextos hidrogeodinâmicos e semelhança dos desafios para sustentabilidade das águas subterrâneas. Para a delimitação serão utilizados critérios relativos à escala regional do comportamento do fluxo subterrâneo e critérios relativos à escala local. O conhecimento produzido nas etapas anteriores, distribuídos em mapas temáticos e seções para entendimento do arcabouço tridimensional do sistema aquífero, servirão para a delimitação dos territórios que irão compor as zonas de gerenciamento.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3.3.1 - Critérios para definição das zonas e subzonas de gerenciamento

Os critérios utilizados para a criação dos índices e definição das zonas e subzonas de gerenciamento são:

- a) Na escala regional, que une bacias hidrográficas ou hidrogeológicas, onde são definidas as principais condições de contorno dos fluxos subterrâneos do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco:
 - I. Climatologia;
 - II. Geologia, geomorfologia e hidrogeologia;
 - III. Hidrografia;

- b) Na escala local, individualizando sub-bacias ou conjuntos de sub-bacias, e suas relações com as principais unidades aquíferas:
 - I. Recarga e descarga dos aquíferos e sua potencialidade;
 - II. Características hidroestratigráficas;
 - III. Conexões com os ecossistemas;
 - IV. Condições de uso e cobertura do solo;
 - V. Vulnerabilidades do aquífero;
 - VI. Densidade de poços;
 - VII. Fontes de poluição;
 - VIII. Qualidade das águas subterrâneas;

Uma abordagem que será utilizada como referência é apresentada no trabalho de Albuquerque *et al.* (2011), onde os autores propõem a definição de 7 zonas de gerenciamento das águas subterrâneas para a bacia sedimentar costeira da Paraíba (do Baixo Curso do rio Paraíba), com base em suas características topográficas, geológicas, hidrogeológicas, de uso e ocupação do solo e uso da água. Nesse estudo os autores apontam como áreas prioritárias para a implantação do monitoramento quali-quantitativo as zonas 6 e 7, que abrangem parcialmente os municípios de Santa Rita, Bayeux, Cabedelo e

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

João Pessoa. Essas áreas se destacaram por suas características hidrogeológicas e socioeconômicas, com existência de uma quantidade significativa de poços e uso da água subterrânea para os mais diversos usos. Além disso, as zonas 6 e 7 apresentam condições hidrogeológicas que permitem conexão entre os fluxos subterrâneos, estabelecendo a importância de uma visão sistêmica e integrada da água para ambos os territórios.

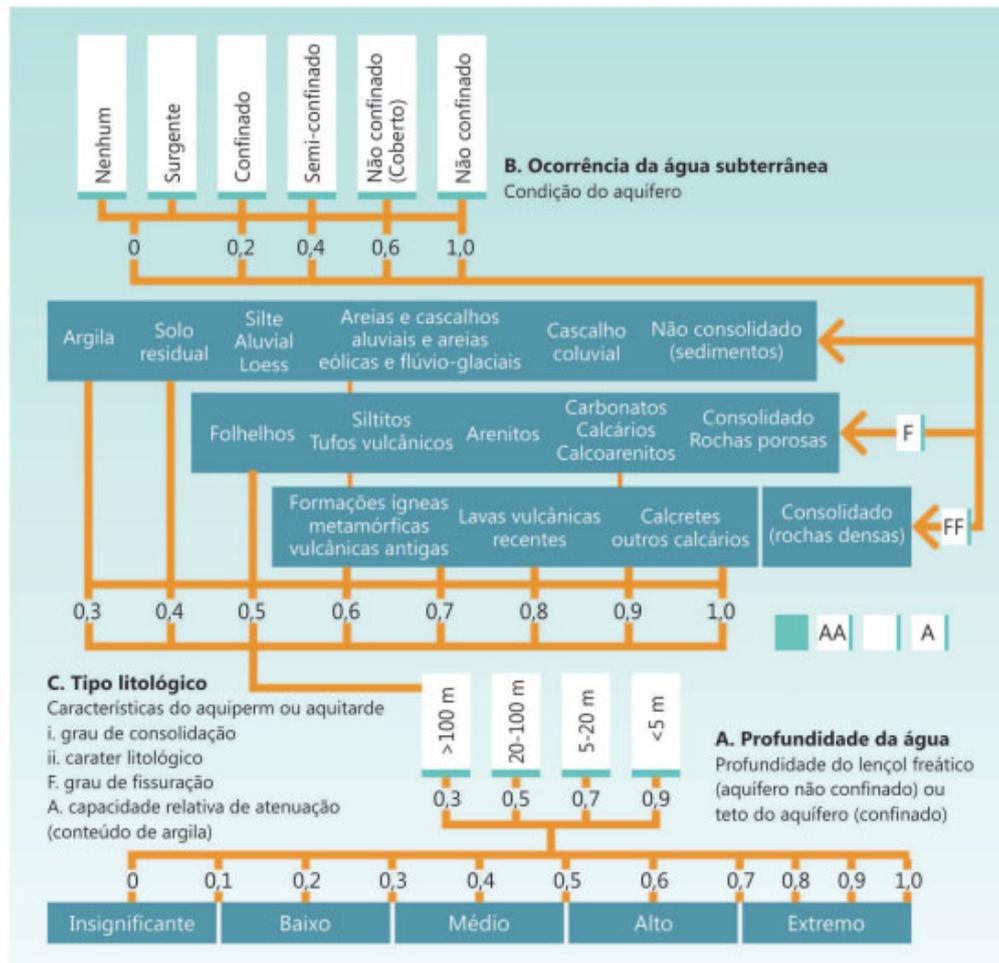
Pretende-se acrescentar a essa abordagem aspectos quantitativos obtidos por meio dos estudos de balanço hídrico, das estimativas das reservas e das potencialidades (modelo conceitual) e aspectos relativos à vulnerabilidade dos aquíferos e aos indicadores de sustentabilidade, conforme metodologia descrita a seguir.

3.3.2 - Vulnerabilidade dos aquíferos

A vulnerabilidade de um aquífero expressa sua maior ou menor suscetibilidade de ser afetado por uma carga poluidora. É uma ferramenta importante para a definição das zonas e subzonas de gerenciamento.

O método selecionado para avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco foi o método proposto por Foster & Hirata (1988). Esse método tem sido amplamente aplicado no Brasil para estudos em escala regional, como o estudo desenvolvido no âmbito do projeto Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – Diretrizes de Utilização e Proteção (DAEE/UNESP, 2013). Foster & Hirata (1988) propõem a utilização de três parâmetros físicos para a classificação da vulnerabilidade: (i) ocorrência do aquífero, (ii) tipo litológico e (iii) profundidade do nível de água. O produto destes valores gera um índice que varia de 0 a 1 e permite o enquadramento em classes de vulnerabilidade que vão desde insignificante até extrema (Figura 3.9).

Índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos



Classes de Profundidade de NA (metros)	
< 2	
2 - 5	
5 - 10	
10 - 20	
> 20	

Figura 3.9 – Análise de vulnerabilidade dos aquíferos segundo o método apresentado por Foster & Hirata (1988)

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3.3.3 - Indicadores de sustentabilidade das águas subterrâneas

Saber qual nível de exploração é aconselhável ou suportável, depende da análise detalhada e atualizada dos efeitos do desenvolvimento do aquífero (ritmo de utilização) e das medidas aplicadas para mitigação dos impactos ao longo das mudanças das condições hidráulicas. Qualquer desenvolvimento de água subterrânea tem algum efeito negativo, o que também acontece com qualquer outro recurso natural e aproveitamento dos recursos hídricos. Esses efeitos negativos devem ser razoavelmente pequenos, suportáveis, compensáveis, e legalmente toleráveis, tendo em conta a quantidade, qualidade, disponibilidade no espaço e no tempo e o custo das águas subterrâneas. (CUSTODIO, 2002).

Feitosa *et al.* (2008) ressaltam que, dependendo das restrições impostas através de instrumentos legais, qualquer desenvolvimento de água subterrânea pode ser considerado como indesejável e pode impedir o uso do aquífero por alguns, favorecendo a outros e gerando especulação econômica por parte dos detentores de outorgas de uso. Os mesmos autores afirmam que, na prática, ações legais intempestivas, tecnicamente pouco fundamentadas, podem trazer mais prejuízos do que benefícios.

Tal perspectiva é compartilhada por Custodio (2002), que defende a ideia de que mesmo às custas de uma redução no armazenamento, o uso da água subterrânea pode produzir benefícios que compensem os custos técnicos, econômicos e ambientais, se a exploração for regulamentada e devidamente controlada.

“Há um benefício de usar a água subterrânea que compensa todos os custos técnicos, econômicos e ambientais, se a retirada for regulamentada, embora o uso de alguma parcela do armazenamento da água subterrânea seja inevitável. Isso significa que uma “superexploração” temporária do aquífero pode ser aceitável e até conveniente, desde que suas características sejam conhecidas, os custos internalizados sejam considerados dentro de todo o conjunto de recursos hídricos disponíveis, presentes e futuros, e os benefícios sociais sejam otimizados. Isso inclui considerar quanta mudança ambiental é aceitável ou compensável, uma vez que não

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

há uma solução única. (...). A exploração excessiva, e até mesmo a mineração das águas subterrâneas, não são necessariamente ruins do ponto de vista ético quando consideradas em um contexto regional. Alguns efeitos negativos estão necessariamente ligados ao uso da água subterrânea como um meio de produzir um benefício econômico e social para desenvolver uma área e ter um uso melhor e mais efetivo da água no futuro. O lado antiético aparece quando nenhum benefício social será derivado e aplicado na área: os danos sociais e ambientais e os custos aumentados da água são transferidos para terceiros e para as gerações futuras que não dispõem de recursos econômicos para enfrentá-los.” Custodio (2002), p. 274-275.

Diante dessas discussões, o conceito de reservas renováveis ou exploráveis vem sendo substituído pelo conceito de “sustainable yield”, ou “vazão sustentável”, refletindo décadas de debates interdisciplinares sobre a gestão de águas (ZHOU 2009; DEVLIN AND SOPHOCLEOUS 2005; KALF AND WOOLEY 2005; ALLEY AND LEAKE 2004; SOPHOCLEOUS 2000; ALLEY ET AL. 1999; DOMENICO 1972; TODD 1959; KAZMANN 1968, 1956; THOMAS 1951; CONKLING 1945, CITADOS POR PIERCE ET AL., 2013). Esse conceito busca englobar outros critérios de sustentabilidade além do balanço volumétrico entre ofertas e demandas, como por exemplo efeitos da exploração sobre a qualidade das águas.

Maimone (2004) e Alley & Leake (2004) fazem uma revisão sobre a aplicação do conceito de sustentabilidade para a gestão de águas subterrâneas, deixando claro que não existe uma definição única do que seria considerado como vazão sustentável. Segundo Loucks et al. (2000), esta deve incluir necessidades sociais, ecológicas e ambientais, sendo um ponto de partida razoável na tentativa de reconhecer que essa vazão é variável ao longo do tempo, como toda condição ambiental (Sophocleous 1997).

Na Austrália, o conceito de vazão sustentável é traduzido pela National Water Initiative como:

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

“Regime de extração de água subterrânea, medido durante um determinado período de planejamento, que permita níveis aceitáveis de estresse e proteja valores dependentes econômicos, sociais e ambientais”.

A regulamentação reconhece que o volume total de extração não é necessariamente a parte mais importante de regime de gestão de águas subterrâneas e que algum nível de estresse sobre o aquífero ocorrerá.

Richardson *et al.* (2011) propõem o termo vazão aceitável ao invés de vazão sustentável, considerando que a definição de sustentabilidade também incorpora benefícios sociais e econômicos, e que a decisão sobre os níveis aceitáveis de impactos deve ser pactuada pelos diversos atores, cada qual com sua visão sobre os aspectos do recurso que devem ser protegidos em uma dada região.

De fato, muitas das situações consideradas como “superexploração” baseiam-se numa evolução ligada ao período transitório após o início da captação da água do lençol freático, e não têm clara relação com a recarga e o desenvolvimento dos aquíferos, mas sim com as características do aquífero. Por essa razão, em muitos lugares, como na Califórnia (EUA) e na Austrália, o foco da gestão das águas subterrâneas são os indicadores de sustentabilidade, e não o cômputo das reservas explotáveis. Cada indicador representa um efeito indesejável potencial ou já existente, e que deve ser monitorado na bacia, sempre que aplicável, para embasar as tomadas de decisão.

Segundo o Guia de Práticas para a Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas da Califórnia (CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES, 2017), os valores de vazões sustentáveis em uma bacia são apresentados como parte do balanço hídrico resultante das interações necessárias para se evitar os efeitos indesejáveis. Entretanto, a manutenção dos valores de vazões dentro do limite admitido como sustentável, por si só, não é considerada uma medida ou prova de sustentabilidade, que é demonstrada efetivamente pelos resultados dos indicadores de sustentabilidade.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Na Austrália, os níveis aceitáveis (Resource condition limits – RCLs) são limites superiores de níveis de impactos ambientais que não podem ser excedidos devido à extração de águas subterrâneas, utilizados como parâmetros indicadores. Com base na definição dos RCLs, são estabelecidos os limites volumétricos para extração de água para usos humanos (Long-Term Average Sustainable Diversion Limits - SDLs) que, caso excedidos, podem comprometer aspectos ambientais, ecológicos ou produtivos de relevância (HARRINGTON & COOK, 2014).

Os principais indicadores de sustentabilidade do uso das águas subterrâneas utilizados nesses países são:

- a. Rebaixamento crônico dos níveis de água subterrânea, indicando um esgotamento significativo da oferta, se continuado ao longo do horizonte de planejamento e implementação dos planos de bacia;
- b. Redução significativa e não razoável do armazenamento de água subterrânea / relação entre o nível do lençol freático e a espessura saturada do aquífero;
- c. Intrusão de água do mar significativa;
- d. Qualidade de água degradada significativamente, incluindo a migração de plumas contaminantes que prejudicam o abastecimento de água;
- e. Subsidência de terrenos que interfere substancialmente com o uso do solo;
- f. Esgotamentos de águas superficiais conectadas ao aquífero que têm impactos adversos significativos e não razoáveis sobre os usos benéficos das águas superficiais.

Esses indicadores têm sido usados como critérios para nortear a gestão sustentável das águas subterrâneas. Os limites aceitáveis para cada um deles devem ser definidos de forma participativa, em uma ampla discussão com representantes dos principais setores da sociedade em cada bacia, estabelecendo-se metas mensuráveis, planos de ação e programas de monitoramento para acompanhar a evolução e a eficácia das ações adotadas (CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES, 2017).

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Conforme evidenciado por praticamente a unanimidade dos trabalhos consultados sobre o tema, a gestão contemporânea das águas é um tema multidisciplinar, que vai muito além da determinação do volume de água armazenada no subsolo ou que pode ser extraída dos aquíferos. Reconhece-se que a gestão integrada e eficiente das águas subterrâneas depende da intersecção de uma variedade de disciplinas, como ciência do clima, ecologia, socioeconomia, políticas públicas e direito, bem como hidrogeologia. É imprescindível uma abordagem de gestão flexível e adaptativa, com colaboração efetiva entre cientistas, tomadores de decisão política, fornecedores e usuários de água.

Essa abordagem aponta para o aperfeiçoamento das análises, que podem evoluir posteriormente para a aplicação de recursos tecnológicos e modelos numéricos de fluxo que melhoram a compreensão do estado transiente do aquífero, mostrando os efeitos do bombeamento no tempo e no espaço, questões que não são possíveis de serem avaliadas apenas pelo balanço entre a recarga e retiradas do aquífero. É necessário levar em conta a distância dos poços em relação à área de recarga e as características da área de recarga, a distância até as áreas de descarga naturais, bem como as características do cone de rebaixamento produzido pelo rebaixamento.

Conforme aponta o PERH-PB (AESAs, 2022), o Sistema Aquífero Paraíba–Pernambuco é o sistema de maior e melhor potencial hídrico do estado, sendo os aquíferos mais captados: o Barreiras; o Beberibe Superior, também conhecido como Itamaracá; e o Beberibe Inferior, formadores do subsistema confinado. O estudo ressalta que não se conhece a participação dessas unidades aquíferas no potencial de cada subsistema, e, portanto, não se sabe a relação entre as disponibilidades atuais e o potencial explorável de cada unidade aquífera, sendo desconhecidas a eficiência e a segurança dessa oferta em relação às disponibilidades, e entre estas e seus usos.

Albuquerque *et al.* (2011) atenta para o fato de que a quantidade de poços na área dos aquíferos sedimentares costeiros da Paraíba e a vazão explotada podem causar o rebaixamento do lençol freático e dos níveis piezométricos do subsistema confinado e conseqüentemente um impacto na qualidade da água extraída, uma vez que com uma

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

grande exploração desse recurso pode haver o comprometimento da água pela intrusão salina ou pela compactação do sistema confinado, na hipótese de se anular toda a sua carga de pressão. Os autores afirmam que esse processo já está em curso, conforme se depreende pelas diferenças pronunciadas entre estas cargas de outrora (bem superiores e, em alguns casos, jorrantes) e atuais, onde as cotas são já negativas, atingindo um máximo de 40 metros abaixo do nível do mar. Os autores apontam ainda a importância de admitir, na definição das zonas de gerenciamento e plano de monitoramento, questões como densidade e o crescimento populacional, uso da água para o abastecimento público, os tipos de atividades econômicas locais e as áreas de conflito.

Além da compilação de dados de vazão dos poços cadastrados, as demandas de água superficial e subterrânea e indicadores socioeconômicos podem ser extraídos de dados do IBGE, dos relatórios do PERH-PB e dos planos diretores de bacias hidrográficas da Paraíba. Pretende-se com dados secundários identificar os principais usos de água nas bacias, identificando problemas relativos à escassez, desperdício, poluição, contaminação, descarte de rejeitos e situações de conflito entre os vários usos da água.

Portanto, ao longo do desenvolvimento desse trabalho, pretende-se aprofundar essa discussão, buscando-se realçar os indicadores de sustentabilidade de cada zona de gerenciamento e assim projetar uma rede de monitoramento quali-quantitativa que dê sustentação à tomada de decisões e ampliação do conhecimento.

3.3.4 - Estimativa de potencial e disponibilidade de águas subterrâneas para as zonas de gerenciamento

As disponibilidades hídricas subterrâneas compreendem uma parcela das reservas subterrâneas totais que pode ser extraída anualmente do armazenamento dos aquíferos durante um período de tempo planejado, de modo a não causar impactos ambientais, econômicos e sociais graves. Essa tarefa está relacionada à avaliação de uso e ocupação do solo, pois contempla uma visão atual e de futuro com o intuito de identificar quais os vetores de crescimento e como os mesmos afetam as demandas atuais e futuras por água.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

A questão da discretização espacial, quer seja por zona de produção e entrega de água conforme os sistemas públicos de fornecimento de água, quer seja por zona de gerenciamento, será objeto de discussões com a AESA.

A partir da posse dos dados consolidados, do modelo conceitual e da definição das zonas de gerenciamento, efetuar-se-á o tratamento estatístico que resultará na compartimentação aquífera existente na bacia, com a descrição dos seus sistemas aquíferos e suas potencialidades hidráulicas, considerando-se, por exemplo, o número de poços outorgados, a hidroquímica, a vazão, a capacidade específica, a profundidade dos níveis de água, entre outros aspectos. Para essa etapa será utilizado, além da bibliografia prevista na etapa anterior, os conceitos e valores adotados no Manual de Cartografia Hidrogeológica (DINIZ *et al.*, 2014). Os Mapas Hidrogeológicos resultantes, na escala 1:250.000, a serem elaborados, deverão conter:

- Os aquíferos caracterizados com suas composições e suas variações com respectivas distribuições geográficas e parâmetros hidráulicos;
- Distribuição espacial dos poços cadastrados;
- Potenciometria com caracterização do fluxo subterrâneo;
- Delimitação de áreas de recarga e descarga, em detalhamento compatível com as informações levantadas;
- Balanço hídrico subterrâneo (calculando a diferença entre os volumes de água subterrânea disponíveis para uso – indicadores de disponibilidade – e os volumes extraídos por poços – indicadores de consumo) resultando na quantidade de água efetivamente à disposição dos usuários, considerando a sustentabilidade dos sistemas aquíferos.

Uma metodologia que poderá ser empregada nesta avaliação está descrita em PAULA & SILVA *et al.* (2021). Segundo descrevem os autores, a informação de intensidade de

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

exploração dos aquíferos será calculada a partir dos dados de vazões de poços, gerando um mapa de densidade de extração anual e partirá da consistência do banco de dados por meio da realização de consultas a sistemas de informações, tais como o Cadastro Nacional dos Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), integrado com análise e verificação para os dados existentes no cadastro de outorga da AESA e no SIAGAS, visando contemplar o cadastro em nível federal e estadual. Será realizada, ainda, a consistência dos dados apresentados em fontes de dados secundários, visando a minimização de valores que estejam fora dos padrões estabelecidos em bibliografias consagradas para usos consuntivos. Para realização da consistência serão adotados coeficientes consolidados em outros trabalhos, bem como a experiência dos profissionais envolvidos na realização dessa atividade. Caso existam inconsistências, os casos serão discutidos com os órgãos competentes. É esperado que o cadastro de outorgas, em virtude da possibilidade de não estar plenamente completo, forneça números parciais de demandas, as quais precisarão ser complementadas com dados censitários de todos os tipos.

Já o indicador de disponibilidade hídrica subterrânea será fundamentado pelas estimativas de recarga, potencialidade dos aquíferos, demandas de água atuais e futuras e indicadores de sustentabilidade em cada zona de gerenciamento.

Assim, será realizada a projeção dos volumes de captação subterrânea para atendimento às demandas consuntivas, e para cada um dos tipos de uso da água, estabelecendo a priorização destes. Estas projeções considerarão, além da dinâmica socioeconômica, os planos, projetos e programas previstos ou em andamento na bacia.

Essa ferramenta será importante para o direcionamento, na próxima etapa, da priorização de áreas a serem monitoradas, a partir da identificação das zonas e subzonas de gerenciamento submetidas a maior estresse hídrico, bem como proposição de diretrizes e critérios de utilização e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

3.4 - PROPOSTA DE REDE DE MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A partir das atividades anteriormente desenvolvidas e levando em consideração as Resoluções CNRH 22/2002, CNRH 107/2010 e CONAMA 396/2008 deverão ser identificadas lacunas no sistema de monitoramento atual de forma a ser proposta uma nova rede de monitoramento que possibilite a operação contínua e o aperfeiçoamento das diretrizes e critérios técnicos sugeridos no presente estudo. Os objetivos dessa rede de monitoramento são identificar possíveis rebaixamentos excessivos do nível potenciométrico, indícios de superexploração, fornecer dados para modelagens futuras, verificar a variação espaço-temporal da qualidade das águas subterrâneas, identificar o início da contaminação e/ou a extensão de eventuais danos ou plumas de contaminação, diagnosticar a qualidade de águas subterrâneas para classificação e enquadramento conforme usos preponderantes, e fornecer subsídios para orientar a responsabilidade legal dos incidentes de contaminação.

A seguir são descritos os itens que constarão da proposta de rede de monitoramento quali-quantitativa de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco:

- a) Definição da rede de monitoramento levando em consideração as zonas e subzonas delimitadas, com a definição dos pontos e escolha dos poços de monitoramento, como também a determinação dos parâmetros a serem monitorados tanto nos aspectos quantitativo e qualitativo

A definição da rede de monitoramento hidrogeológica compreenderá a locação de instrumentos de medição de vazão, de nível da água subterrânea e de chuvas, a serem sugeridos de acordo com as indicações da resolução CNRH 107/10, a qual estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas, quais sejam:

- I. o uso e a ocupação do solo;
- II. a demanda pela água subterrânea:

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

- a. densidade de poços;
 - b. volume de exploração;
 - c. densidade e crescimento populacional;
 - d. uso da água para abastecimento público;
 - e. tipo de atividade econômica; e
 - f. áreas de conflitos;
- III. caracterização geológica;
- IV. caracterização hidrogeológica:
- a. hidráulica;
 - b. geometria;
 - c. tipo de aquífero;
 - d. zonas de recarga/descarga; e
 - e. interação das águas superficiais e subterrâneas;
- V. hidrogeoquímica:
- a. características naturais das águas subterrâneas; e
 - b. águas subterrâneas alteradas por ações antrópicas;
- VI. vulnerabilidade natural dos aquíferos, risco de poluição das águas subterrâneas e áreas contaminadas;
- VII. clima:
- a. tipos climáticos;
 - b. área sujeita a eventos hidrometeorológicos críticos;
- VIII. aquíferos de importância estratégica; e
- IX. a proximidade e possibilidade de integração com estações de monitoramento hidrometeorológicas.

Para o monitoramento quantitativo das águas subterrâneas, os parâmetros de interesse são a profundidade/altimetria do nível d'água nos diversos sistemas aquíferos e sua variação

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

com o tempo. Nos pontos de medição de vazões superficiais, os fluxos monitorados ao longo do tempo, com o respectivo hidrograma da estação, serão utilizados, quando possível, para a análise dos escoamentos de base e a contribuição dos distintos aquíferos para os cursos d'água superficiais, conforme preconizado pela resolução CNRH 28/2018 (que estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão). O monitoramento pluviométrico especializado é fundamental para subsidiar as análises sobre as taxas de recarga e a dinâmica hídrica de forma geral, sendo um componente essencial do balanço hídrico.

Para o monitoramento qualitativo das águas subterrâneas, serão considerados os critérios estabelecidos pela resolução CONAMA 396/08, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, e pela CNRH 107/2010. Os parâmetros deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos considerados relevantes. Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, sólidos totais dissolvidos, nitrato, nitrito, dureza total, alcalinidade total, ferro total, coliformes termotolerantes, pH, turbidez e condutividade elétrica. Além destes, sugere-se a inclusão dos principais cátions e ânions (bicarbonatos, carbonatos, cloretos, sulfatos, cálcio, potássio, sódio e magnésio), que subsidiarão a elaboração de diagramas como Piper, Stiff e Schollen, os quais possibilitam uma visão de conjunto da composição da água e fornecem indicação das fácies hidrogeoquímicas associadas. A partir desta indicação pode-se inferir sobre o tipo de ambiência aquífera por onde as águas passaram, dando uma ideia do contexto hidrodinâmico das águas subterrâneas na região de estudo. Conforme a resolução CONAMA 396/08, os órgãos competentes deverão realizar, a cada cinco anos, uma caracterização da qualidade da água contemplando todos os parâmetros listados no Anexo I, bem como outros que sejam considerados necessários.

As coletas de dados deverão ser realizadas de acordo com critérios e procedimentos normatizados e as análises, realizadas por laboratórios credenciados.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

b) Visitas técnicas a campo para avaliação dos locais e estações selecionados

Após a seleção inicial dos pontos da rede de monitoramento, será feita uma visita técnica em campo com o objetivo de avaliar a integridade dos dispositivos, segurança do local, condições de acesso e de operacionalização da rede, de modo que esta seja passível de ser efetivamente implantada e operada.

No caso das estações fluviométricas, sua localização exata deve ser aferida em campo a fim de se obter a melhor seção possível para a instalação da estação de medição, conhecendo-se ainda as características do entorno e os aspectos naturais e antrópicos intervenientes.

c) Determinação da frequência de amostragem para os parâmetros qualitativos e quantitativos

A frequência de medições e amostragens será definida de acordo com o número e distribuição geográfica das estações da rede de monitoramento, levando em consideração os recursos humanos e financeiros disponíveis para a sua operação.

De acordo com a resolução CONAMA 396/08, a frequência inicial do monitoramento hidroquímico deverá ser no mínimo semestral e definida em função das características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas dos aquíferos e das fontes de poluição.

d) Especificação dos equipamentos de monitoramento

Será elaborado e apresentado um projeto conceitual da rede de monitoramento hídrico que compreenderá a locação e projeto de instrumentos de medição de profundidade de nível d'água (INAs, piezômetros) e vazão (tais como septos, calhas Parshall, vertedouros de chapa metálica, e/ou vertedouros de parede grossa ou similar) a serem definidos de acordo com as características de cada ponto.

e) Proposição de locais e locais prioritários para implantação da rede de monitoramento

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Os pontos considerados como prioritários devem ser definidos com base nos indicadores de sustentabilidade. Serão selecionadas estações alternativas para substituir quaisquer pontos que apresentarem impossibilidade de integrarem a rede de monitoramento, de modo a evitar lacunas importantes de conhecimento.

- f) Procedimento para integração dos dados da rede de monitoramento de água subterrâneas com os dados da rede de monitoramento de águas superficiais

Além dos dados de profundidade do nível d'água subterrânea, as estações fluviométricas são fundamentais para o entendimento da circulação hídrica no domínio da bacia e aferição dos cálculos e interpretações obtidos a partir da aplicação do MIHA.

Assim, serão indicados os procedimentos para que esses dados possam ser integrados e analisados sob uma perspectiva conjunta, de modo a subsidiar uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, conforme preconiza a resolução CNRH 28/2018.

- g) Definição de procedimentos para alimentação do banco de dados

Na proposta da rede de monitoramento, serão indicados os procedimentos de coleta, apresentação e armazenamento dos dados obtidos. Esse conjunto deve conter, no mínimo, as informações construtivas e geográficas dos poços, situação atual, sistema aquífero monitorado, dados quantitativos, dados dos parâmetros de qualidade de água, entre outros, data e hora da coleta, observações sobre as condições da coleta e quaisquer anomalias identificadas pelo coletor. Os dados deverão compor o banco de dados da AESA, onde poderão ser acessados e visualizados de forma integrada, proporcionando agilidade e confiabilidade nas análises e tomada de decisões.

3.5 - PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES E CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA OUTORGAS DE ACORDO COM AS ZONAS E SUBZONAS DE GERENCIAMENTO

Considerando-se as zonas e subzonas de gerenciamento delimitadas como base para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, o estudo também visa a indicação

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

de diretrizes e critérios técnicos para outorgas e licenças de obras hídricas, partindo da escala da bacia hidrográfica para a escala do poço, respeitando as especificidades que subsidiaram o estabelecimento das zonas e subzonas de gerenciamento, do entendimento dos aspectos hidrodinâmicos e da exploração vigente, bem como da cenarização de uso futuro.

Ainda, no que diz respeito ao poço a ser outorgado, deverá ser avaliada a forma como serão feitas as exigências sobre os aspectos construtivos, bem como a relação do poço com as características hidrogeológicas no seu local de instalação, sugerindo procedimentos para a concessão dessas outorgas.

Cabe ressaltar que, segundo Braga (2014), os critérios adotados pelo decreto estadual que regulamenta a outorga não são plenamente eficientes. O autor faz sugestões para complementação dessa regulamentação que poderão ser avaliadas ao longo dos estudos, assim como serão também avaliados outros exemplos de sistemas de outorga e suporte à decisão.

Os critérios e diretrizes para concessão de outorga de direito de uso de água subterrânea a serem aplicáveis de acordo com as zonas e subzonas de gerenciamento deverão seguir as seguintes considerações:

- a. Deverão ser incluídos os aspectos das conexões das águas superficiais com as águas subterrâneas;
- b. Deverão ser incluídas as características de recarga e descarga do sistema aquífero de acordo com cada zona ou subzona de gerenciamento determinada;
- c. Deverão ser incluídos os aspectos hidrogeológicos do sistema sendo estes relacionados com a manutenção das condições de qualidade e quantidade naturais das águas subterrâneas.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

Os critérios e diretrizes para concessão de outorga de direito de uso de água subterrânea a serem aplicáveis considerando o poço a ser outorgado, por sua vez, terão as seguintes condicionantes:

- a. Deverão ser incluídos os aspectos construtivos do poço;
- b. Deverão ser incluídos aspectos relacionados às disponibilidades quali-quantitativas do sistema aquífero no local do poço;
- c. Deverão estar em consolidação com as diretrizes e critérios técnicos para outorgas estabelecidos de acordo com as zonas e subzonas de gerenciamento.

Por fim, será elaborada uma minuta de resolução do CERH-PB sobre Licença de Obra Hídrica (poço) e Outorga de Direito de Uso de Águas Subterrâneas, a qual reunirá o conjunto de informações técnicas e prescrições estabelecidas, no sentido de definir e caracterizar os critérios e diretrizes, o programa e a metodologia relativos ao trabalho ou serviço a ser executado.

3.6 - RELATÓRIO FINAL DO PROJETO

O relatório final consiste na integração e síntese de todos os produtos gerados. Neles serão consolidadas todas as atividades desenvolvidas no projeto, os resultados relevantes alcançados, as conclusões e recomendações futuras, e que devem resultar na indicação dos elementos e procedimentos necessários para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos da região. Serão discutidas as principais conclusões obtidas nos relatórios parciais e as recomendações pertinentes.

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH-PB. Resumo executivo e atlas. AESA, João Pessoa-PB.
- AESA (2022). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PERH-PB. Resumo executivo e atlas. AESA, João Pessoa-PB.
- AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. (2018). Primeira Revisão do Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020. Relatório Final. Tomo II: Diagnóstico. 542 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. (2013). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília; ANA, 2013. 432 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. (2021). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/apresentacao>. Acesso: 29/03/2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2009). Relatório do Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Brasília-DF: ANA, 2009. 530 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2011). Diagnostico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Brasília-DF: ANA, 2011. 922 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2014). UGRH Paranapanema. Diagnóstico - avaliação quantitativa e qualitativa das águas subterrâneas. Brasília-DF: ANA, 2011. 90 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2015). Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Diagnóstico preliminar: Geologia e Hidrogeologia. Brasília-DF: ANA, 2015. 96 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2017). 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 – Relatório Técnico - BALANÇO HÍDRICO. Consórcio Projotec – Techne – Brasil: ANA, SIP, 189 p.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. Plano de Recursos Hídricos de Pernambuco – PERH-PE. 1998. Volume 3.
- AKSOY, H.; WITTENBERG, H.; ERIS, E. 2014. Hydrograph Analysis and Baseflow Separation. In: Handbook of Engineering Hydrology: Fundamentals and Applications, 2014. p. 311-328.
- ALBUQUERQUE, J. P.; CEBALLOS, B.S.O; REGO, J.C.; BARBOSA, L, D.; RIBEIRO, M.M.; SOUZA, J. A.; GALVÃO, C.O. 2011. Proposta para o monitoramento das

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

águas subterrâneas da bacia sedimentar costeira da Paraíba. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais...Maceió, Alagoas.

ALLEY, W.M., LEAKE, S.A. (2004). The journey from safe yield to sustainability. *Ground Water* 42:1

ASUB (2010). *Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas; Relatório Técnico Parcial II*. UFCG/UFAL/UFSM, Campina Grande-PB

BARBOSA, J.A., SOUZA, E.M., LIMA FILHO, M.F., NEUMANN, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos, Recife*, 13: 89-108.

BARBOSA, J.A.; FILHO, M.L. 2005. Os domínios da bacia Paraíba. In: III Congresso brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. IBP. Salvador, Bahia.

BARROS, H.D.de. As Fontes de Água Mineral da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame: Aspectos Legais, Geológicos e Ambientais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba. 2001

BOGOMOLOV, G. V.; PLOTNIKOV, N. A. (1956). Classification des ressources d'eaux souterraines et evaluation de leurs reserver. *International Association Scientific Hydrology Publication*, [S.I.] n. 41, p. 263-271. Simposia Darcy, Dijon.

BRAGA, A. C. R. Avaliação da potencialidade hídrica subterrânea e proposta para metodologia de outorga em uma região da bacia sedimentar costeira do baixo curso do rio Paraíba. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2014.

CASTANY, G. (1963). *Traité pratique dex eaux souterranies*. Paris: Ed. Dunod, 1963. 686p.

CHAPMAN, T. G. & MAXWELL, A. I. 1996. Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. *Hydrological and Water Resources Symposium*, Institution of Engineers Australia, Hobart; 539–545.

CHAPMAN, T. G. 1991. Comment on "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses" by RJ Nathan and TA McMahon. *Water Resources Research*, 27(7), 1783-1784.

COLLISCHONN, W. & FAN, F. M. 2013. Defining parameters for Eckhardt's digital baseflow filter. *Hydrological Processes*, 27(18), 2614-2622.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. 2008. *Introduzindo hidrologia*. 6. ed. Porto Alegre, RS: IPH

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBH RIO DAS VELHAS. (2015). Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas 2015: Plano Diretor Consolidado – Volume II. Belo Horizonte, 2015. 309 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO - CBHSF. (2015). Diagnóstico consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Relatório Parcial, volume 1. 489p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH/MMA 107/2010. RESOLUÇÃO Nº 107, DE 13 DE ABRIL DE 2010. Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA - CONAMA no 396, de 3 de abril de 2008. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME. (2010). Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce. Volume I: Relatório Final. 478 p.

COSTA, W. D.; ALBUQUERQUE, J. do P. T. de; BRANCO, R. L. de C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. (2007). *Estudo de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do estado da Paraíba. Estudos Hidrogeológicos*. Relatório Final. Tomo I – Texto. Ministério da Integração Nacional.

CUSTODIO, E. (2002) Overexploitation, what does it mean? *Hydrogeology Journal* 10(2):254–277.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 1976. *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Ediciones Omega. 1157p.

DAEE/UNESP – 2013. Águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Diretrizes de Utilização e Proteção / Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. - São Paulo. 44 p. DAEE/LEBAC, 2013

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. de C. da; PAULA, T. L. F. de. Manual de cartografia hidrogeológica. [Recife]: CPRM, 2014.

DOMENICO, P. A., SCHWARTZ, F. W. (1998). *PHYSICAL AND CHEMICAL HYDROLOGEOLOGY (2ND ED.)*: JOHN WILEY AND SONS, INC, NEW YORK, 506 P.

ECKHARDT, K. 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes: An International Journal*, v. 19, n. 2, p. 507-515.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

FABHAT. (2016). Relatório – I: Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06. Ano Base 2016/2035. São Paulo. 257 p.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA.E.C.; DEMETRIO, J.G.A (org.). (2008). Hidrogeologia- Conceitos e Aplicações. 3ª Edição Revisada e Ampliada. CPRM. 2008. p. 661-671.

FETTER, C. W. (2001). Applied Hydrogeology. 4ª ed. Prentice-Hall, Inc., USA. 598 p.

FOSTER, S.D.S.; HIRATA, R.C.A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988. v. 78, n. 9

HARRINGTON N AND COOK P. (2014). Groundwater in Australia, National Centre for Groundwater Research and Training, Australia.

HEALY, R. (2010). Estimating Groundwater Recharge. Cambridge: Cambridge University Press, 245 p.

LIRA, G.A.R.; SILVA, A.C.S; SILVA, T.C. Potencialidades e Disponibilidades de Águas Subterrâneas na bacia do Rio Gramame. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió. Anais.... Maceió/Alagoas, dez 2002.

LYNE, V.; HOLLICK, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. In: Institute of Engineers Australia National Conference. Barton, Australia: Institute of Engineers Australia. p. 89-93.

MAIMONE, M. (2004). Defining and managing sustainable yield. GroundWater 42(6):809–814.

MEINZER, O.E. The occurrence of ground water in the United States. U.S. Geological Survey. Water Supply Paper, Washington, n.489, 1920. 321 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programa Água Doce – PAD. 2010. Resumos Executivos Planos Estaduais do Programa Água Doce, 2010-2019.

PAULA E SILVA, F. de; FISCHER, T. V.; EZAKI, S.; GASTMANS, D.; RODRIGUES, V. R.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; FRANZINI, A. S.; & NOALE, J. O. (2021). Avaliação do estresse hídrico subterrâneo das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). Derbyana, 42. <https://doi.org/10.14295/derb.v42.754>

PESSOA, P.F.P., FERNANDES, R.A., KIMURA, G., ATMAN, D., GONÇALVES, L.G.M., ROSA, E.S., LUCAS, R.S. (2018). Aplicação do Método MIHA para Avaliação de Reservas Renováveis de Águas Subterrâneas: Estudo de Caso da Bacia do Rio Itabirito/MG. Anais do XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS, Campinas-SP, novembro, 2018.

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

PLOTNIKOV N.A. (1962) Ressources en eaux souterraines: classification et méthodes d'évaluation (traduit du russe), Gauthiers-Villars et Cie, Paris, 194 p

RICHARDSON, S.; EVANS, R. & HARRINGTON, G. (2011). 'Connecting science and engagement: setting groundwater extraction limits using a stakeholder-led decision-making process', in Connell D and Grafton RQ (eds) 2011, Basin futures: water reform in the Murray–Darling Basin, ANU E Press, Canberra, Australia.

SOPHOCLEOUS, M.A. (1997). Managing water resources systems: why safe yield is not sustainable. Ground Water 35(4):561.

THORNTHWAITE, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev.38, 55-94.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. 1955. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

ZHOU 2009; Devlin and Sophocleous 2005; Kalf and Wooley 2005; Alley and Leake 2004; Sophocleous 2000; Alley et al. 1999; Domenico 1972; Todd 1959; Kazmann 1968, 1956; Thomas 1951; Conkling 1945, citados por Pierce et al., 2013

 	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

5 - DECLARAÇÕES DE PARTICIPAÇÃO DA EQUIPE CHAVE NA ELABORAÇÃO DO PLANO DE TRABALHO

A

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

A/C

Armando Cesar Braga

Ref.: Contrato 1-010/2022

Declaração de disponibilidade da Equipe Técnica

Prezado Senhor,

Tendo em vista o desenvolvimento dos *“Estudos Hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no Sistema Pernambuco-Paraíba com elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba”*, venho por meio deste informar que participei da elaboração do *Produto 01 – plano de trabalho*, na função para a qual fui alocado pelo Consórcio Igneo/NIP/PROFILL.

Atenciosamente,

**Paulo Fernando Pereira Pessoa**

Coordenador Sênior com formação em geologia, com doutorado na área de hidrogeologia/gestão de Recursos Hídricos

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

A

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

A/C

Armando Cesar Braga

Ref.: Contrato 1-010/2022

Declaração de disponibilidade da Equipe Técnica

Prezado Senhor,

Tendo em vista o desenvolvimento dos “*Estudos Hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no Sistema Pernambuco-Paraíba com elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba*”, venho por meio deste informar que participei da elaboração do *Produto 01 – plano de trabalho*, na função para a qual fui alocado pelo Consórcio Igneo/NIP/PROFILL.

Atenciosamente,

ANTONIO SILVIO
 JORNADA
 KREBS:09740899072

Assinado de forma digital por
 ANTONIO SILVIO JORNADA
 KREBS:09740899072
 Dados: 2023.05.24 17:19:28
 -03'00'

Antônio Silvio Jornada Krebs

Consultor Sênior especialista com formação em
 geologia, com doutorado na área de
 hidrogeologia/gestão de Recursos Hídricos

	Tipo de Documento: Documento de trabalho	
	Cód. do Documento: SEIRHMA_PARAIBA_EHIDG_IgneoProfill_Produto01_PlanoTrabalho_REV04	

A

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

A/C

Armando Cesar Braga

Ref.: Contrato 1-010/2022

Declaração de disponibilidade da Equipe Técnica

Prezado Senhor,

Tendo em vista o desenvolvimento dos “*Estudos Hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no Sistema Pernambuco-Paraíba com elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba*”, venho por meio deste informar que participei da elaboração do *Produto 01 – plano de trabalho*, na função para a qual fui alocado pelo Consórcio Igneo/NIP/PROFILL.

Atenciosamente,



Marcia Regina Stradioto

Consultor Pleno especialista com formação em geologia, com doutorado na área de hidrogeologia/gestão de Recursos Hídricos

A

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

A/C

Armando Cesar Braga

Ref.: Contrato 1-010/2022

Declaração de participação na Equipe Técnica

Prezado Senhor,

Tendo em vista o desenvolvimento dos *“Estudos Hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no Sistema Pernambuco-Paraíba com elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba”*, venho por meio deste informar que participei da elaboração do *Produto 01 – plano de trabalho*, na função para a qual fui alocado pelo Consórcio Igneo/NIP/PROFILL.

Atenciosamente,

SIDNEI GUSMAO
AGRA:02211545408

Assinado de forma digital por
SIDNEI GUSMAO
AGRA:02211545408
Data: 2023.05.24 11:02:19
-03'00'

Sidnei Gusmão Agra

Consultor Pleno em Hidrologia, especialista em gestão
de Recursos Hídricos

Msc. Engenharia Civil

A

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

A/C

Armando Cesar Braga

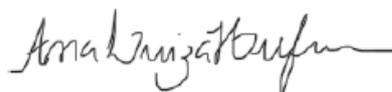
Ref.: Contrato 1-010/2022

Declaração de disponibilidade da Equipe Técnica

Prezado Senhor,

Tendo em vista o desenvolvimento dos “*Estudos Hidrogeológicos sobre as áreas de recarga no Sistema Pernambuco-Paraíba com elaboração do mapa de zonas de gerenciamento e elaboração de proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas do estado da Paraíba*”, venho por meio deste informar que participei da elaboração do *Produto 01 – plano de trabalho*, na função para a qual fui alocado pelo Consórcio Igneo/NIP/PROFILL.

Atenciosamente,



Ana Luiza Helfer

Consultor Pleno especialista em qualidade de água

Msc. Engenheira Ambiental