

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA
Contrato 002/ANA/2011



*ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (RMN)*

Relatório Final - RF
Volume 3 - Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas

Maio/2012

República Federativa do Brasil

Dilma Vana Roussef

Presidenta

Ministério do Meio Ambiente

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu (Diretor-Presidente)

Dalvino Troccoli Franca

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Paulo Rodrigues Vieira

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos(Coordenação)

Ricardo Medeiros de Andrade

Humberto Cardoso Gonçalves

Gerência de Águas Subterrâneas

Fernando Roberto de Oliveira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Flávio Soares do Nascimento (Gestor)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Marco Vinicius Castro Gonçalves

Leonardo de Almeida

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Flávio Soares do Nascimento (ANA)
Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)
Paula Stein (SEMARH-RN)
Natalina Maria Tinoco Cabral (SEMARH-RN)
Carlos Alberto Martins (SEMARH-RN)
Elmo Marinho de Figuerêdo (SEMARH-RN)
Glaucia Regina Luz Xavier da Costa (IGARN)
Marcelo Augusto de Queiroz (CAERN)
Joana D'Arc Freire de Medeiros (SEMARH-RN)

Elaboração e Execução

SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

Maurício Prado Alves – Diretor Técnico
Mateus Delatim Simonato – Gerente do Contrato

Equipe Executora

João Carlos Simanke de Souza - Coordenador

Alessandra Marega Motta	Frederico Presotto
Altair Tadeu Alexandre	Juliana F. da Silva Cabral
Ana Cecília Hardt	Janete Monteiro de Souza
André Souza Cabral	Janny Juliana de Macêdo
Andressa Araújo	Jorge Penaranda Salgado
Antônio Carlos Lima Pereira	Lidjia Bruna Siqueira da Silva
Bruno Cesar Saraiva Dantas	Marcelo Freitas Marques
Bruno Pirilo Conicelli	Marcio Costa Abreu
Cícero André de Araújo Neto	Maria Anísia de Castro Pereira
Claudete Rodrigues de Souza	Mateus Delatim Simonato
Eduardo Pereira da Silva Junior	Maurício Prado Alves
Elaine Cristina da Cunha	Rejanne Alves da Silva França
Emanuel S. P. L'Apicciarella	Robson da Silva Rodrigues Trettel
Flávio Luiz Monteiro	Tereza Cristina Falcão

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

Contrato 002/ANA/2011

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (RMN)

RELATÓRIO FINAL

Volume 3 Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas

Maio 2012

Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B, L e M
CEP: 70610-200, Brasília – DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:
Agência Nacional de Águas – ANA
Superintendência de Implementação de Programas e Projetos – SIP
Gerência de Águas Subterrâneas - GESUB

Elaboração e execução:
SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.
Av. Ceci, 2206, Planalto Paulista
CEP: 04.065-004, São Paulo – SP
Tel: 11 5070-6955
Endereço eletrônico: <http://www.servmarambiental.com.br>

Capa:
Fotografia – Mateus Delatim Simonato
Local da Foto – Parque das Dunas, Via Costeira, Natal/RN
Diagramação e Arte – Daniel Delatim Simonato

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das
Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal.

Volume 3 – Estratégias de Manejo Sustentável das Águas
Subterrâneas

Brasília: ANA, 2012

1. Recursos Hídricos
2. Aquífero Barreiras
- I. Agência Nacional de Águas - ANA
- II. SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	ESTRATÉGIAS DE USO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	2
2.1	Gestão Participativa	2
2.2	Gestão Integrada	8
2.3	Propostas de Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas.....	22
2.3.1	Na outorga de uso das águas com vistas à quantidade dos recursos hídricos subterrâneos	22
2.3.2	Na qualidade das águas subterrâneas associada às atividades urbanas... 24	
2.3.3	Na qualidade das águas subterrâneas associada às atividades no meio rural	29
2.3.4	Na avaliação do cenário associado às lagoas do Jiqui, Extremoz e do Complexo Lagunar do Bonfim	30
2.3.5	Na definição de áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea, áreas de proteção de aquíferos e perímetro de proteção de poços de abastecimento.....	31
3	MAPA DAS ZONAS EXPLOTÁVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL E O MANEJO SUSTENTÁVEL DO SAB.....	42
3.1	Procedimentos metodológicos	42
3.2	Zonas potencialmente explotáveis	42
3.3	Considerações sobre as zonas potencialmente explotáveis.....	46
4	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	48
5	SELEÇÃO DE PONTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SENSORES TELEMÉTRICOS	54
6	CONCLUSÕES	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

FIGURAS

Figura 2.1. Esquema da delimitação do PPP pelo método de Wyssling	40
Figura 4.1. Montagem do SIG da RMN no ArcMap® 10.....	50
Figura 4.2. Estrutura do SIG-RMN em arquivos no formato <i>geodatabase</i>	51
Figura 4.3. Atributos associados à base de dados hidrográfica da RMN	52
Figura 4.4. Arquivo <i>raster</i> que compõe o SIG-RMN (modelo digital de elevação) e janela com os atributos de uma determinada célula da imagem	52
Figura 5.1. Localização dos pontos para implantação de sensores telemétricos	60

TABELAS

Tabela 2.1. – Legislação Federal pertinente à gestão dos recursos hídricos subterrâneos	14
Tabela 2.2. - Legislação do Rio Grande do Norte pertinente à gestão dos recursos hídricos	18
Tabela 2.3. Planos Diretores dos municípios da RMN.....	20
Tabela 2.4. - Gestão dos recursos hídricos: instrumentos e gestores	21
Tabela 2.5. Exemplos de perímetros de proteção de poços na Europa.....	38

VOLUMES

Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica

Volume 2 – Avaliação da Urbanização e de Outras Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas

Volume 3 – Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas

Volume 4 – Apêndices

Volume 5 – Mapas na escala 1:100.000

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório, elaborado pela Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda., corresponde ao Relatório Final dos Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal (RMN), contratado pela Agência Nacional de Águas – ANA (Contrato N° 002/2011).

As atividades relativas aos estudos hidrogeológicos foram desenvolvidas no período de 21 de fevereiro de 2011 a 21 de maio de 2012, portanto 15 meses, cujos resultados obtidos e aprovados foram compilados neste relatório final em cinco volumes.

Este Volume 3 – “Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas” apresenta as atividades executadas, os dados obtidos, as discussões, as interpretações e os resultados alcançados sobre os seguintes temas:

Estratégias de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas: debate os principais problemas avaliados neste estudo visando ao estabelecimento de propostas de estratégias de manejo sustentável do Sistema Aquífero Barreiras na RMN, com foco nos modelos de gestão participativa, gestão integrada e na definição de mecanismos de proteção, controle e/ou restrição do uso das águas subterrâneas.

Mapa das Zonas Explotáveis de Água Subterrânea na RMN: realiza o zoneamento quali-quantitativo das águas subterrâneas do SAB na RMN, caracteriza e delimita as áreas com potencialidade explotável para o atendimento das futuras demandas, apresenta e delimita as regiões com as potencialidades comprometidas pela exploração e/ou contaminação das águas subterrâneas e elabora o produto cartográfico desse zoneamento na escala 1:100.000.

Sistema de Informações Geográficas: descreve o conteúdo, os produtos gerados e a metodologia de desenvolvimento do banco de dados georreferenciado e define as possíveis aplicações futuras, com destaque à viabilidade da atualização continuada, versatilidade de conteúdo e a capacidade de disponibilizar dados e conhecimento sobre os temas relacionados às águas subterrâneas à sociedade, favorecendo a integração dos órgãos gestores dos recursos hídricos e a gestão participativa.

Seleção de Pontos para Implantação de Sensores Telemétricos: apresenta e descreve os poços selecionados para compor a proposta de rede de monitoramento das águas subterrâneas na RMN, com a finalidade de implantar sensores telemétricos que permitirão a medição de parâmetros hidráulicos e hidroquímicos remotamente.

2 ESTRATÉGIAS DE USO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em atendimento às diretrizes do estudo, as propostas de estratégias de manejo sustentável foram elaboradas com foco nos modelos de gestão participativa, gestão integrada e no estabelecimento de mecanismos de proteção, controle e/ou restrição do uso das águas subterrâneas. No **Apêndice J** é apresentado um quadro resumo das proposições de estratégias de manejo apresentadas neste item.

O presente estudo avaliou a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas do SAB na Região Metropolitana de Natal, obtendo-se a caracterização do cenário atual sobre as potencialidades desses recursos hídricos, permitindo identificar e localizar as regiões com potencial para o suprimento de água, as regiões cujas potencialidades estão comprometidas pela contaminação das águas e/ou por intensa exploração e regiões que, naturalmente, não possuem potencialidade à captação de água subterrânea. Esses resultados nortearão as definições das propostas de manejo, visando à proteção das reservas estratégicas ao abastecimento das demandas atuais e futuras, bem como das medidas para a mitigação e ou recuperação de áreas degradadas do SAB.

2.1 Gestão Participativa

A Constituição Federal de 1988 define em diversos artigos a responsabilidade dos Governos, da defensoria pública e da coletividade pela preservação ao meio ambiente e estabelece o direito à educação ambiental com os seguintes destaques:

“Art. 23 - É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:”, no inciso VI, “proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.”

“Art. 129. São funções institucionais do Ministério Público:”, no inciso III, “promover o inquérito civil e a ação civil pública, para a proteção do patrimônio público e social, do meio ambiente e de outros interesses difusos e coletivos.”

“Art. 170. A ordem econômica, fundada na valorização do trabalho humano e na livre iniciativa, tem por fim assegurar a todos existência digna, conforme os ditames da justiça social, observados os seguintes princípios:”, no inciso VI, “defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação.”

“Art. 205. A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho.”

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. No parágrafo 1º, “Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:”, no inciso VI, “promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente.”

Desse modo, nos preceitos da magna carta nacional já se estabelece a responsabilidade coletiva sobre a preservação ao meio ambiente e incumbe ao poder público educar a sociedade visando à conscientização pública para tal. A água como elemento indissociável do meio ambiente e passível de contaminação, poluição, degradação e exploração pode e deve ser preservada e gerida por esses fundamentos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997) ratificou esses conceitos da coletividade no seu Art. 1º que estabelece os fundamentos da política, prevendo no inciso VI que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”.

A participação da sociedade civil na gestão dos recursos hídricos está garantida em diversas outras normas legais, com destaque à Resolução CNRH N° 106, de 23 de março de 2010, que institui o Cadastro de Organizações Civas de Recursos Hídricos – COREH, com o objetivo de constituir um banco de dados de organizações civis habilitadas para representação no Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. Entretanto, a sociedade não está motivada a essa participação, dado o desconhecimento sobre a possibilidade e a necessidade em participar da gestão dos recursos hídricos e mesmo sobre o modo ocorrência, uso e proteção das águas subterrâneas.

No contexto dos recursos hídricos, as águas subterrâneas são timidamente abordadas nas legislações fundamentais (políticas e planos gerais da gestão dos recursos hídricos) e dotadas de poucos e isolados regulamentos para o controle e gestão especificamente desse tema, muito embora, de acordo com Howard (1997), as águas subterrâneas representem a maior reserva disponível de água doce do planeta.

Ainda que os mananciais subterrâneos sejam utilizados desde os primórdios das civilizações (poços rasos escavados e nascentes), o uso das águas subterrâneas vivenciou uma “Revolução Silenciosa” (LLAMAS; MARTINEZ-SANTOS, 2004), provocada principalmente pelo desenvolvimento tecnológico das perfurações que tornou as águas subterrâneas econômica e fisicamente acessíveis. Entretanto, esse desenvolvimento ocorreu, de maneira geral, à margem da agenda da gestão pública, dos mecanismos de controle e do conhecimento da sociedade sobre o tema.

A maneira de modificar esse cenário de invisibilidade é através da propagação do conhecimento sobre as águas subterrâneas, favorecendo a participação do usuário e da sociedade na gestão e na proteção dos recursos hídricos subterrâneos. A elaboração de instrumentos legais e a integração de órgãos gestores não alcançam a efetividade na fiscalização e no controle, sem o devido engajamento da sociedade civil.

Alicerçadas na educação como o caminho mais curto para alcançar o envolvimento da sociedade nesse processo e, atendendo aos objetivos estabelecidos neste estudo sobre a gestão participativa, serão abordadas diretrizes gerais sobre uma proposta de conteúdo para um futuro programa de educação ambiental com ênfase na disseminação do conhecimento sobre a ocorrência e o uso das águas subterrâneas.

Apesar de a literatura registrar estudos sobre educação ambiental desde meados da década de 60, o reconhecimento internacional sobre a temática somente ocorreu a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Homem e o Meio Ambiente (Estocolmo-72), na qual foi instituído o Programa Internacional de Educação Ambiental (PIEA). O Ministério da Educação e Cultura através dos Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN, nos anos 95-96 inseriu a temática ambiental como conteúdo transversal em todas as disciplinas do currículo escolar.

A educação ambiental é constituída por processos aos quais os indivíduos e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade, contribuindo para a construção de sociedades sustentáveis com pessoas atuantes e felizes. Este conceito traduz a missão do Programa Nacional de Educação Ambiental - PRONEA, que foi um dos elementos norteadores da Política Nacional de Educação Ambiental - PNEA (Lei Nº 9.795, de 27 de abril de 1999) que institui a educação ambiental em todos os níveis de ensino e o engajamento da sociedade na conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente.

Segundo o PRONEA para que a atuação do poder público no campo da educação ambiental possa ocorrer de modo articulado tanto entre as iniciativas existentes no âmbito educativo como entre as ações voltadas à proteção, recuperação e melhoria socioambiental, e assim propiciar um efeito multiplicador com potencial de repercussão na sociedade, faz-se necessária à formulação e a implementação de políticas públicas de educação ambiental que integrem essa perspectiva. O PRONEA previu três componentes: (a) capacitação de gestores e educadores, (b) desenvolvimento de ações educativas, e (c) desenvolvimento de instrumentos e metodologias, contemplando sete linhas de ação:

- Educação ambiental por meio do ensino formal;
- Educação no processo de gestão ambiental;
- Campanhas de educação ambiental para usuários de recursos naturais;
- Cooperação com meios de comunicação e comunicadores sociais;
- Articulação e integração comunitária;
- Articulação intra e interinstitucional;
- Rede de centros especializados em educação ambiental em todos os estados.

Especificamente na temática dos recursos hídricos, o CNRH promulgou a Resolução N° 98, de 26 de março de 2009, que estabelece princípios, fundamentos e diretrizes para a educação, o desenvolvimento de capacidades, a mobilização social e a informação para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Destacam-se duas definições estabelecidas nos incisos II e IV do Art. 2º da Resolução CNRH 98/09:

- Desenvolvimento de capacidades em GIRH (Gestão Integrada dos Recursos Hídricos) são os processos formativos que contribuem para a ampliação de conhecimentos e competências de indivíduos e grupos sociais, contribuindo para a qualificação das instituições do SINGREH, para a gestão integrada dos recursos hídricos e para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos;
- Mobilização social para a GIRH são os processos que sensibilizam, envolvem ou convocam a sociedade para a atuação crítica e continuada, orientada pelas políticas de recursos hídricos, meio ambiente e educação ambiental, visando o fortalecimento da cidadania ambiental.

As definições acima deverão nortear os processos de educação ambiental almejados para o engajamento da sociedade na gestão dos recursos hídricos e as ações definidas em um futuro programa de educação ambiental deverão estar em consonância com as diretrizes estabelecidas na Resolução CNRH N° 98/09.

O Rio Grande do Norte também estabelece na lei suprema do Estado a responsabilidade do Poder Público em “promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente” (Constituição Estadual do Rio Grande do Norte, de 03 de outubro de 1989, Capítulo VI – do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, Art. 150, parágrafo 1º, VII) e, mesmo em regulamentações específicas, com é o caso do Decreto N° 13.500, de 05/09/1997, que institui o regulamento dos Parques Estaduais, ratifica o compromisso com a educação ambiental, conforme definido no Art. 3º, inciso V, “oferecer condições para lazer, turismo ecológico e realização de atividades educativas e de conscientização ecológica”.

No estabelecimento de atividades educativas ligadas aos recursos hídricos, a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei N° 6.908 de 01/07/1996) prevê no Art. 5º “O Estado elaborará e manterá atualizado o Plano Estadual de Recursos Hídricos em consonância com os princípios e diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos e assegurará recursos financeiros e mecanismos institucionais para garantir: (...) VI - campanhas educativas visando conscientizar a sociedade para a utilização racional dos recursos hídricos do Estado”.

Assim como na legislação Federal sobre a temática dos recursos hídricos, o Estado do Rio Grande do Norte também estabelece um modelo de gestão compartilhada entre os diversos setores da sociedade com os seguintes destaques na Lei N° 6.908 de 01 de julho de 1996:

“Art. 20. O Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CONERH, órgão colegiado de deliberação coletiva e caráter normativo do Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos, compõe-se de:

- I - representantes das Secretarias de Estado com interesse no gerenciamento, oferta, controle, proteção e uso dos recursos hídricos;
- II - representantes das entidades governamentais federais e estaduais com atuação no gerenciamento, oferta, controle, proteção e uso dos recursos hídricos;
- III - representantes indicados pelos Comitês de Bacias Hidrográficas;
- IV - representantes de entidades representativas da sociedade civil”.

“Art. 21. Ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CONERH compete: (...) VI - promover a articulação entre os órgãos estaduais, federais e municipais e a sociedade civil no encaminhamento da Política Estadual de Recursos Hídricos”.

“Art. 24. Os Comitês de Bacias Hidrográficas, órgãos colegiados de atuação descentralizada, no nível das bacias hidrográficas, compõem-se de:

I - representantes das associações de usuários de água;

II - representantes dos Municípios que estejam inseridos dentro da Bacia Hidrográfica;

III - representantes de entidades governamentais federais e estaduais;

IV - representantes de entidades representativas da sociedade civil”.

No Decreto Nº 13.284, de 22/03/1997, que regulamenta, no Rio Grande do Norte (RN), o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos – SIGERH está ratificado no Art. 6º (incisos VI, VII e VIII) o estabelecido pelo Art. 20 da Política Estadual de Recursos Hídricos.

A partir das premissas legais apresentadas, a educação ambiental deve-se pautar por abordagem sistêmica, incluindo a responsabilidade capaz de integrar os múltiplos aspectos da problemática ambiental que exige a interação dos âmbitos naturais, culturais, históricos, sociais, econômicos e políticos. Como também contar com uma gestão descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Diante dos debates discorridos acima sobre a invisibilidade das águas subterrâneas, a falta de conhecimento da sociedade sobre o tema e o baixo envolvimento do poder público e da sociedade no processo de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, sugere-se que as linhas de educação a serem discutidas com a comunidade da RMN sejam os seguintes pilares:

- Disseminação do conhecimento sobre os conceitos básicos de hidrogeologia com destaque para a ocorrência e o comportamento das águas subterrâneas, os potenciais problemas associados à quantidade e à qualidade e os principais mecanismos de proteção;
- Divulgação das legislações pertinentes ao tema, destacando os direitos e obrigações dos atores envolvidos com ênfase à outorga e aos demais instrumentos de gestão dos recursos hídricos vigentes;
- Demonstração das responsabilidades dos gestores públicos, usuário e da sociedade no processo de gestão compartilhada dos recursos hídricos subterrâneos e a indicação das possíveis atuações da sociedade civil nesse processo.

No sentido de efetivar a implantação de um programa de educação ambiental para a conscientização sobre os recursos hídricos subterrâneos, sugere-se que o debate com a sociedade ocorra através da realização de seminários, em um fórum participativo dos atores relacionados à temática, a partir dos quais poder-se-á detalhar as ações, o planejamento e as metas do programa.

Sugere-se ainda, como proposta de encaminhamento à dinâmica do seminário, que os pilares descritos acima poderão ser discutidos em grupos de trabalhos específicos e distintos, sendo que os resultados da discussão serão compilados em um único documento de diretrizes do programa.

O modelo de educação ambiental a ser conduzido no futuro deverá contar com instrumentos institucionais específicos, visando garantir apoio, incentivo e fomento provenientes do Poder Público, para que se possa no prazo definido obter o envolvimento da sociedade civil na gestão compartilhada dos recursos hídricos.

Dentre as diretrizes do programa educacional, alicerçadas nos fundamentos do PRONEA, deve-se prever um conjunto de atividades agregadas objetivando: a melhoria da qualidade de vida; o desenvolvimento social das comunidades; e a conscientização da sociedade quanto aos direitos e deveres relacionados às políticas de meio ambiente e dos recursos hídricos.

É importante compreender que a educação ambiental é, sobretudo, uma educação política, capaz de criar novos hábitos, com cidadãos capacitados em entender as razões de sua ação e a importância de papel para o presente e para as futuras gerações. A educação ambiental deverá objetivar a busca de um novo tipo de pensamento e novas práticas sociais em relação ao uso e à proteção dos recursos hídricos.

2.2 Gestão Integrada

Os aspectos da gestão integrada abordados neste estudo consideraram os seguintes fatores: técnicos, relacionados à interdependência das águas subterrâneas e superficiais; políticos, relacionados à interação entre os órgãos gestores dos recursos hídricos, do meio ambiente, do uso e ocupação do solo, do planejamento e da saúde; e legislativos, relacionados à complementariedade dos instrumentos legais vigentes nos níveis de governança federal, estadual e municipais.

Alguns estudiosos da legislação brasileira sobre os recursos hídricos apontam certas incongruências e/ou competência concorrente entre a União e os Entes da Federação, estabelecidas na própria Constituição Federal de 1988. Souza (2009) em seu livro *Águas Subterrâneas e a Legislação Brasileira* apresenta alguns exemplos dessa ambiguidade de competência, tal como discutido que no Art. 22 se estabelece: “Compete privativamente à União legislar sobre... IV – águas, energia, informática, telecomunicações e radiodifusão”, sendo que nesse mesmo Art. 22, no parágrafo único, há previsão da possibilidade de vir a ser editada lei complementar que poderá autorizar os Estados a legislar sobre questões específicas dessas matérias. A autora cita Fiorillo (2000) para defender que a melhor interpretação é extraída do Art. 24, no qual “a competência para legislar sobre as normas gerais é atribuída à União, cabendo aos Estados e Distrito Federal legislar complementarmente e, ao Município, suplementarmente, com base no Art. 30, II, da Constituição Federal”.

Na visão defendida por Fiorillo (2000, *apud* SOUZA, 2009), na qual a legislação se complementa entre os diferentes níveis de governança, são identificados alguns mecanismos e instrumentos de gestão dos recursos hídricos. O aspecto da gestão integrada dos recursos hídricos é verificado, verticalmente, com base na complementariedade dos níveis de governo e, horizontalmente, na articulação entre as algumas políticas, conforme será destacado a seguir, ao apresentar e discutir as principais legislações com influência na gestão dos recursos hídricos, na esfera Federal, no Estado do Rio Grande do Norte e nos municípios da RMN.

A competência da União em legislar sobre as normas gerais está refletida, sobretudo, na definição das políticas. Na matéria de interesse deste estudo, a principal é a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei N° 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Os fundamentos que alicerçam a Política Nacional de Recursos Hídricos são:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Esses princípios também embasaram as proposições de estratégia apresentadas, como foco no uso sustentável dos recursos hídricos e no fortalecimento do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos. Ressalta-se que estes estudos objetivaram a avaliação das águas subterrâneas e, por essa razão, as discussões são concentradas nesse tema, entretanto, observando a integração com águas superficiais.

A diretrizes gerais que norteiam a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos são:

Art. 3º Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;

II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;

III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;

IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;

V - a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo;

VI - a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Essas diretrizes refletem fortemente os aspectos de gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. Os incisos I e III, por exemplo, integram a gestão dos recursos hídricos com a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e, os incisos II e V, com a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU).

O inciso IV, além de significar, por exemplo, a integração da gestão dos recursos hídricos com a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), ainda reflete o aspecto da gestão participativa, ao incluir o usuário no planejamento da gestão.

O inciso VI representa a integração de diferentes ambientes hídricos. Em defesa ao tema objeto destes estudos e, apenas como debate, a água subterrânea poderia ser explicitamente incluída nas diretrizes da PNRH com o intuito de fomentar a visibilidade dessa importante fonte hídrica e ratificar os preceitos da gestão integrada. Nesse pensamento, poder-se-ia existir o seguinte texto ao inciso VI: “a integração da gestão das bacias hidrográficas com a das águas subterrâneas, dos sistemas estuarinos e das zonas costeiras”.

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos são definidos no Art. 5º da Lei 9.433/97, conforme transcrito a seguir:

Art. 5º São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I - os Planos de Recursos Hídricos;

II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;

III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;

IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

V - a compensação a municípios;

VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O estudo hidrogeológico executado traz importantes contribuições aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos previstos na política nacional. Ao longo deste capítulo serão apresentados alguns resultados deste estudo, em subsídio às proposições de estratégia de manejo sustentável das águas subterrâneas e que permitem o fortalecimento de alguns instrumentos de gestão existentes.

Conforme já destacado ao apresentar as diretrizes para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, as principais políticas com articulação à PNRH são: a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU) e a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB).

A Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) é instituída pela Lei 6.938/81 e, entre outros objetivos, visa ao estabelecimento de critérios e padrões da qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais, sendo que a água, por sua importância à vida e ao desenvolvimento da sociedade, configura o principal recurso ambiental. Deve-se destacar que alguns resultados destes estudos trazem subsídios ao fortalecimento e à aplicação dos instrumentos da PNMA, tais como: o cadastramento e classificação das fontes potenciais de contaminação; o mapa de risco à contaminação baseado na vulnerabilidade natural do aquífero em ser contaminado; e o mapa de zonas exploráveis que traz a indicação de áreas com interesse à proteção às reservas hídricas subterrâneas, bem como o zoneamento qualitativo das águas do SAB.

A Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU) tem diretrizes regulamentadas, sobretudo, pela Lei N° 10.257, de 10 de julho de 2001, conhecida como “Estatuto das Cidades” que estabelece, entre outras diretrizes, a de ordenamento e do uso do solo. Neste caso, a esfera Federal praticamente legisla diretamente ao município, visto que compete a esse ente da Federação as responsabilidades sobre o ordenamento do uso do solo. Apesar de os modelos de ocupação e de uso do solo possuírem fortes influências sobre a qualidade e quantidade das águas subterrâneas, o Estatuto das Cidades não faz menção que os Planos Diretores observem as questões de ordenamento do solo com vistas à proteção dos aquíferos.

A Lei N° 11.445, de 05 de janeiro de 2007, também conhecida como a Lei do Saneamento, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política nacional de saneamento básico. Define-se como saneamento básico, conforme Art. 3º, inciso I, o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

O Art. 4º da Lei do Saneamento institui que “os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento básico”. Entretanto, a interrelação e a dependência dos serviços de saneamento com os recursos hídricos são indissociáveis. O cenário de contaminação do SAB por nitrato avaliado no presente estudo está fortemente relacionado ao atendimento parcial ou não atendimento a alguns dos princípios fundamentais estabelecidos no Art. 2º do referido diploma legal, com ênfase aos incisos I, III, IV e XII

A **Tabela 2.1** apresenta as principais políticas afins com a gestão dos recursos hídricos, bem como as principais legislações da esfera Federal que possuem correlação à matéria dos recursos hídricos, sobretudo às águas subterrâneas, com influência nas discussões e propostas de estratégias de manejo apresentadas neste estudo.

Deve-se destacar ainda, em relação à Lei 9.433/97, a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) que, entre outros objetivos, visa coordenar a gestão integrada das águas e implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos. O SINGREH é integrado por representantes das três esferas de governo e pela sociedade civil, indiretamente, através das seguintes instituições e colegiados, conforme transcrito da referida lei:

Art. 33. Integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

I – o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;

I-A. – a Agência Nacional de Águas;

II – os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;

III – os Comitês de Bacia Hidrográfica;

IV – os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;

V – as Agências de Água.

A Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000, cria a Agência Nacional de Águas – ANA (Art. 1º), autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrando o SINGREH (Art 3º). A ANA possui, entre diversas outras atribuições, a de coordenar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, cuja principal característica é garantir a gestão democrática e descentralizada dos Recursos Hídricos.

Na temática das águas subterrâneas, desde 2007, a ANA implementa a Agenda Nacional de Águas Subterrâneas, cujo foco central é fortalecer a gestão integrada de águas subterrânea e superficial no país, voltada, sobretudo, para dotar os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais de conhecimento hidrogeológico, técnico-gerencial e de capacitação específica em águas subterrâneas, de forma que possam desempenhar adequadamente a gestão sistêmica e integrada dos recursos hídricos (ANA, 2012).

Destaca-se também, dentre os integrantes do SINGREH, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), órgão colegiado que exerce suas atividades desde junho de 1998. Conhecido como “Parlamento das Águas”, o CNRH possui, dentre outras, a competência de aprimorar a legislação de Recursos Hídricos do Brasil, por meio da formulação da Política Nacional de Recursos Hídricos, em caráter complementar, e pelo estabelecimento de diretrizes à sua implementação, à aplicação de seus instrumentos e à atuação do SINGREH (BRASIL, 2011).

Desde sua criação, o CNRH já produziu um extenso conjunto de normas legais importantes ao tema de interesse, sendo que na **Tabela 2.1** estão apresentadas as resoluções de maior relevância às discussões.

Tabela 2.1. - Legislação Federal pertinente à gestão dos recursos hídricos subterrâneos		
Diploma Legal	Data	Descrição
Lei Nº 9.433	08/01/1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Lei No 6.938	31/08/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
Lei Nº 10.257	10/07/2001	Estatuto das Cidades - estabelece diretrizes gerais da política urbana.
Lei Nº 11.445	05/01/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, compreendendo o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana, o manejo dos resíduos sólidos e o manejo das águas pluviais urbanas.
Lei Nº 9.984	17/07/2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA e suas atribuições na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e na coordenação do SINGREH.
CNRH Resolução Nº 9	21/06/2000	Institui e dá atribuições à Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas (CTAS), de acordo com os critérios estabelecidos no Regimento Interno do CNRH.
CNRH Resolução Nº 13	25/09/2000	Estabelece diretrizes para a implementação e fortalecimento do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.
CNRH Resolução Nº 15	11/01/2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.
CNRH Resolução Nº 22	24/05/2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
CNRH Resolução Nº 76	16/10/2007	Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.
CNRH Resolução Nº 91	05/11/2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
CNRH Resolução Nº 92	05/11/2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas.
CNRH Resolução Nº 99	26/03/2009	Aprova o detalhamento operativo de programas do Plano Nacional de Recursos Hídricos com destaque ao de águas subterrâneas.
CNRH Resolução Nº 107	13/04/2010	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.
CONAMA Resolução Nº 396	03/04/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas
CONAMA Resolução Nº 420	28/12/2009	Dispõe sobre os valores orientadores de qualidade do solo e das águas subterrâneas quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas

A Resolução CRNH N° 9, de 21 de junho de 2000, institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas (CTAS) que possui as seguintes competências, de acordo com o estabelecido no Art. 2º da referida norma legal: I - discutir e propor a inserção da gestão de águas subterrâneas na Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos; II - compatibilizar as legislações relativas a exploração e a utilização destes recursos; III - propor mecanismos institucionais de integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas; IV - analisar, estudar e emitir pareceres sobre assuntos afins; V - propor mecanismos de proteção e gerenciamento das águas subterrâneas; VI - propor ações mitigadoras e compensatórias; VII - analisar e propor ações visando minimizar ou solucionar os eventuais conflitos; e VIII - as competências constantes do Regimento Interno do CNRH e outras que vierem a ser delegadas pelo seu Plenário.

A Resolução CNRH N° 13, de 25 de setembro de 2000, estabelece atribuições específicas à ANA, visando promover a gestão integrada das águas e em especial a produção, consolidação, organização e disponibilização à sociedade das informações sobre recursos hídricos, como medida à implementação e fortalecimento do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

A Resolução CNRH N° 15, de 11 de janeiro de 2001, estabelece diversas diretrizes em consonância com o modelo de gestão integrada e define competências específicas à matéria dos recursos hídricos subterrâneos na implementação das Políticas Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos. Esta normativa regulamenta, para o processo de gestão dos recursos hídricos, o que o ciclo hidrológico o faz naturalmente, conforme estabelece:

Art. 2º Na formulação de diretrizes para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos deverá ser considerada a interdependência das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.

A Resolução CNRH N° 22, de 24/05/2002, representa um marco na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que determina a inserção das águas subterrâneas nos Planos de Recursos Hídricos. Os artigos 2º, 3º, 4º e 5º da Resolução N° 22/02 estabelecem o conteúdo mínimo relativo às águas subterrâneas e aos aquíferos que devem estar presentes nos Planos de Recursos Hídricos. Os resultados alcançados nestes estudos hidrogeológicos permitirão às próximas edições dos Planos de Recursos Hídricos com abrangência na RMN, refinar, revisar e/ou complementar o atendimento às diretrizes determinadas nos citados artigos.

A Resolução CNRH N° 65, de 07 de dezembro de 2006, também possui elementos para o fortalecimento do processo de gestão integrada dos recursos

hídricos, ao definir diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental. Ressalta-se novamente a integração da PNRH com a PNMA.

A Resolução CNRH N° 76, de 16 de outubro de 2007, baseada, entre outros preceitos, na necessidade de integração e atuação articulada entre órgãos e entidades cujas competências se refiram aos recursos hídricos, à mineração e ao meio ambiente, estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários. Esta resolução promove o fortalecimento dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, principalmente da outorga e do SNIRH, ao definir o compartilhamento de informações entre os órgãos estaduais gestores dos recursos hídricos e o órgão competente das licenças de exploração mineração, no caso o Departamento Nacional de Exploração Mineral (DNPM), que é responsável pela emissão das concessões de exploração de águas minerais, termais, gasosas, entre outras.

A Resolução CNRH N° 91, de 05 de novembro de 2008, define procedimentos gerais para o enquadramento de corpos de água superficiais e subterrâneos, a partir do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA N°s 357/05 e 396/08 e tendo como referência para o enquadramento, as bacias hidrográficas como unidade de gestão e os usos preponderantes mais restritivos.

A Resolução CNRH 91/08 também está fortemente embasada nos modelos de gestão integrada e participativa, conforme pode ser destacado no Art. 3° (...) “§1° A elaboração da proposta de enquadramento deve considerar, de forma integrada e associada, as águas superficiais e subterrâneas, com vistas a alcançar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade compatíveis com os usos preponderantes identificados; e §2° O processo de elaboração da proposta de enquadramento dar-se-á com ampla participação da comunidade da bacia hidrográfica, por meio da realização de consultas públicas, encontros técnicos, oficinas de trabalho e outros”.

O Art 3° da Resolução CNRH 91/08 também determina que a proposta de enquadramento deverá ser desenvolvida em conformidade com o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica, preferencialmente durante a sua elaboração, devendo conter o diagnóstico e prognóstico das condições relacionadas ao recursos hídricos e dos aspectos que podem influenciar na quantidade e na qualidade das águas. Estes estudos trazem, de acordo com os objetivos e a escala do trabalho, resultados que subsidiarão ao futuro enquadramento das águas subterrâneas.

As diretrizes estabelecidas na Resolução CNRH N° 92, de 05 de novembro de 2008, de maneira geral, visam definir critérios e procedimentos com foco na proteção e conservação das águas subterrâneas. Destaca-se que a realização deste estudo está em consonância ao estabelecido nessa resolução, caracterizando o alicerce técnico ao processo de gestão das águas subterrâneas, a partir do qual poderão ser embasada a adoção de medidas com foco na proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

A Resolução CNRH N° 99, de 26 de março de 2009, aprova o Programa Nacional de Águas Subterrâneas, estabelecido no Plano Nacional de Recursos Hídricos.

A Resolução CNRH N° 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. Dentre outras diretrizes, a Resolução 107/10 define os critérios técnicos que devem ser observados na seleção dos pontos da rede de monitoramento nacional, conforme estabelece o Art. 3º “a escolha dos pontos de monitoramento deverá considerar: I - o uso e a ocupação do solo; II - a demanda pela água subterrânea; III - caracterização geológica; IV - caracterização hidrogeológica; V – hidrogeoquímica; VI - vulnerabilidade natural dos aquíferos, risco de poluição das águas subterrâneas e áreas contaminadas; VII – clima; VIII - aquíferos de importância estratégica; e IX - a proximidade e possibilidade de integração com estações de monitoramento hidrometeorológicas”. Deve-se salientar que estes fatores foram considerados na seleção de pontos para compor a rede de monitoramento deste estudo, bem como a seleção apresentada no Capítulo 5 adiante.

As resoluções CONAMA apresentadas possuem relevante papel na gestão dos recursos hídricos subterrâneos uma vez que estabelecem diretrizes específicas, sobretudo, da qualidade das águas subterrâneas. Esses instrumentos legais permitem embasar decisões e dar suporte a outros diplomas: no estabelecimento de áreas de restrição; na definição e áreas de proteção de aquíferos; e/ou na integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental.

No âmbito do Estado do Rio Grande do Norte, apesar de possuir um corpo institucional e de incluírem na política estadual diversos instrumentos que apoiam a gestão, como a Outorga de Direito de Uso, Cobrança pelo Uso da Água, Licenciamento de Obras Hidráulicas, é possível perceber ações muito tímidas e também pouca efetividade na aplicação desses instrumentos, refletidas, por exemplo, no baixo nível de integração dos órgãos envolvidos e na clandestinidade de grande parte dos usuários das águas subterrâneas. A discussão acima se

baseou na avaliação obtida por Melo (2009), sendo que é reiterada nesse estudo, frente aos resultados da atual avaliação.

Os diplomas legais estaduais mais relevantes à gestão dos recursos hídricos subterrâneos são apresentados na **Tabela 2.2** e discutidos a seguir.

Tabela 2.2. - Legislação do Rio Grande do Norte pertinente à gestão dos recursos hídricos		
Diploma Legal	Data	Descrição
Lei N° 6.908	01/07/1996	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH
Decreto N° 13.283	22/03/1997	Regulamente a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e do licenciamento de obras de oferta hídrica
Decreto N° 13.284	22/03/1997	Regulamenta o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH
Decreto N° 13.836	11/03/1998	Regulamenta o Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FUNERH
Lei N° 8.086	15/04/2002	Cria o Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte (IGARN), autarquia vinculada à SEMARH
Lei Complementar N° 272	03/03/2004	Dispõe sobre a Política e o Sistema Estadual do Meio Ambiente (SISEMA) e define competência ao Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONEMA e ao órgão gestor de meio ambiente (IDEMA), na ocasião, vinculado à Secretaria de Planejamento (SEPLAN)
Lei Complementar N° 380	27/12/2008	Altera a denominação do IDEMA para Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente e o vincula à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH
Resolução Conjunta N° 01	21/02/2008	Estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos e da licença ambiental

O conjunto de diplomas legais apresentados na **Tabela 2.2** acima demonstra que o Estado do Rio Grande Norte encontra-se dotado de amplos instrumentos jurídicos para a gestão dos recursos hídricos, atendendo ao quesito de complementariedade em relação às diretrizes gerais estabelecidas pela legislação Federal e que tem evoluído no sentido de uma gestão integrada dos recursos hídricos e meio ambiente, demonstrado, por exemplo, pela promulgação da Lei Complementar N° 380/08 e da Resolução Conjunta N° 01/08.

A Lei Complementar N° 380, de 27 de dezembro de 2008, determinou que o IDEMA (órgão gestor de meio ambiente) ficasse vinculado à SEMARH (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos) que já vinculava também o IGARN (Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte) e possuía a

competência pela gestão dos recursos hídricos através da responsabilidade pela emissão das outorgas de uso das águas. A partir dessa lei complementar, integrava-se em um mesmo órgão central (SEMARH) a gestão pela qualidade e quantidade das águas no Estado. Esse modelo organizacional já configura um grande avanço à gestão integrada dos recursos hídricos.

A Resolução Conjunta N° 01, de 21 de fevereiro de 2008, estabelece a intersecção de ações dos órgãos gestores dos recursos hídricos e de meio ambiente no processo de emissão de outorga de uso das águas, associado ao licenciamento ambiental. Estão integrados nessa resolução a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – SEMARH, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CONERH, o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente – IDEMA e o Conselho Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – CONEMA. Este procedimento de integração possui diretrizes estabelecidas na Resolução CNRH N° 65/06, e também representam uma evolução no processo de gestão integrada dos recursos hídricos.

No intuito de ampliar ainda mais a gestão integrada dos recursos hídricos no Estado e, principalmente, devido ao fato de que os problemas de qualidade das águas dizem respeito à gestão da saúde pública, sugere-se o desenvolvimento de uma resolução conjunta entre os órgãos gestores dos recursos hídricos (SEMARH e IGARN), do meio ambiente (IDEMA) e da saúde pública (SESAP), no âmbito do CONEMA e/ou CONERH que regulamente ações emergenciais cooperadas para casos de contaminação das águas, incluindo a possibilidade de determinar áreas de restrição do uso das águas subterrâneas em caráter temporário e transitório, visando facilitar ao controle de eventuais gestões de crises.

Deve-se salientar ainda que o Estado conta com uma Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas e com alguns Comitês de Bacias Hidrográficas já instalados. Estes são elementos necessários à efetiva gestão dos recursos hídricos, uma vez que possuem papel atuante na execução e na aplicação dos planos estabelecidos pelos diversos instrumentos legais, bem como no apoio ao desenvolvimento de regulamentação das leis.

Ainda que algumas sugestões para a ampliação do arcabouço legal do Estado venham ser apresentadas em contribuição ao processo de gestão dos recursos hídricos subterrâneos e ao fortalecimento da integração entre os órgãos gestores, avalia-se que a baixa efetividade na aplicação e na fiscalização do atendimento à legislação em vigor sejam os maiores responsáveis pelas condições atuais da qualidade das águas subterrâneas nas principais sedes urbanas da RMN e pelo modelo desordenado de uso dos recursos hídricos subterrâneos.

Em relação aos municípios, ainda que de acordo com premissas constitucionais possam legislar suplementarmente ao Estado, a visão deste estudo sobre a contribuição dos municípios na gestão dos recursos hídricos subterrâneos está na elaboração dos planos diretores e dos planos de saneamento, além de sua participação nos Comitês de Bacias Hidrográficas. Nesses instrumentos os governos municipais podem oferecer forte contribuição à gestão, sobretudo, à proteção das águas subterrâneas, ao estabelecer adequados padrões de ordenamento e de uso do solo e atender aos fundamentos da Lei do Saneamento Básico.

No sentido de introduzir uma visão de gestão e proteção dos recursos hídricos subterrâneos nos planos diretores e de saneamento, os municípios da Região Metropolitana de Natal encontram, neste estudo, dados preliminares, entretanto, consistentes e integradores dos aspectos de uso do solo, saneamento básico, gestão ambiental e, principalmente, da infraestrutura hídrica relacionada ao uso dos recursos hídricos subterrâneos, bem como das potencialidades e fragilidades das águas subterrâneas.

A disponibilidade aos municípios de dados dessa natureza e consistidos de modo a facilitar o acesso aos mesmos, propicia ao Estado um elemento de forte integração com a governança municipal para a gestão dos recursos hídricos.

Vale ressaltar ainda que os planos diretores são instrumentos com atualizações periódicas que permitem adaptar-se às novas realidades do desenvolvimento do município, de ágil elaboração e, conforme previsto no Estatuto das Cidades, deve ser aprovado por lei municipal, ou seja, possui um efetivo valor regulamentador. A **Tabela 2.3** apresenta as legislações municipais que aprovam os respectivos Planos Diretores na RMN.

Tabela 2.3. Planos Diretores dos municípios da RMN	
Município	Legislação
Ceará-Mirim	Lei 006 - 19/12/2006
Extremoz	Lei Compl. 493 - 06/10/2006
Macaíba	Lei Compl. 01 - 19/12/2008
Monte Alegre	Lei 428 - 10/10/2006
Natal	Lei Compl. 082 - 21/06/2007
Nísia Floresta	Lei Compl. 001 - 05/11/2007
Parnamirim	Lei 1058 - 30/08/2000
São Gonçalo do Amarante	Lei Compl. 049 - 17/07/2009
São José de Mipibu	Lei 006 - 28/06/2007

Os municípios ainda podem encontrar a necessidade de criar outros instrumentos legais que tenham relevância à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, em decorrência de uma situação peculiar. Neste caso, uma gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos, aproximando o Estado e os Municípios, permitirá a otimização dos instrumentos legais, desburocratizando os processos aos usuários e ocasionando maior efetividade às leis e aos controles.

Vale exemplificar o caso do Município de Natal que promulgou a Lei 5.347, de 07 de janeiro de 2002, que regulamenta a perfuração e uso de poços para a utilização de água subterrânea em Natal. Neste caso, sem desmerecer o controle que o município pode alcançar, pode-se caracterizar a existência de uma redundância legal, já que o usuário dos recursos hídricos subterrâneos terá que realizar dois processos de licenciamento muito semelhantes, um na Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo – SEMURB e outro na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. Situações como essas, na prática, ao invés de aumentarem o controle sobre o uso das águas subterrâneas, tem mostrado que favorecem a clandestinidade, em virtude da dificuldade que o usuário encontra na legalização do seu poço, frente à facilidade que possui de obter o poço sem que seja fiscalizado e/ou autuado.

O modelo de gestão integrada discutido sob o aspecto político e legal pode ser resumido conforme demonstrado na **Tabela 2.4** que ilustra sinteticamente para os três níveis de governo, as competências, os principais instrumentos de gestão e os principais gestores.

Tabela 2.4. - Gestão dos recursos hídricos: instrumentos e gestores			
Governo	Competências Preponderantes	Principais Instrumentos	Principais Gestores
Federal	Estabelece políticas e leis gerais; planejamento; e controle	Plano Nacional de Recursos Hídricos; Outorga; SINGREH.	ANA; CNRH; CONAMA; Comitês de B.H.
Estadual	Estabelece políticas e leis complementares; controle; planejamento e ações	Plano Estadual de Recursos Hídricos; Outorga; SISEMA; SIGERH.	SEMARH; IGARN; IDEMA; CONERH; CONEMA; Comitês de B.H.
Municipal	Estabelece leis suplementares; planejamento; e ações	Plano Diretor; Plano de Saneamento.	Secretarias de: Planejamento Urbanismo Obras Saúde Finanças Meio Ambiente

2.3 Propostas de Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas

Em contribuição ao arcabouço legal em vigor no Estado, visando aumentar a efetividade no controle do uso e na proteção das águas subterrâneas e fortalecer a integração entre os órgãos gestores dos recursos hídricos, meio ambiente, saúde, planejamento, bem como com a esfera de governança municipal, serão indicadas algumas propostas, com base em algumas problemáticas avaliadas neste estudo.

2.3.1 Na outorga de uso das águas com vistas à quantidade dos recursos hídricos subterrâneos

No intuito de atender aos requisitos previstos neste estudo e considerando que a outorga é o instrumento de gestão, principalmente, da quantidade dos recursos hídricos, o debate a seguir objetivou avaliar e propor medidas relacionadas ao controle do aspecto quantitativo dos recursos hídricos para o ambiente urbano e para as áreas rurais da RMN.

Na discussão dos aspectos técnicos da gestão integrada dos recursos hídricos deve-se enfatizar que o ciclo hidrológico interrelaciona as águas subterrâneas e superficiais, sobretudo em locais com as características climáticas e hidrogeológicas como as existentes na RMN, na qual as chuvas locais são responsáveis pela recarga dos aquíferos que alimentam os cursos d'água efluentes e os sistemas lagunares, mantendo-os perenes, mesmo durante os meses de estiagem. As outorgas concedidas devem considerar um volume máximo respeitando essa interdependência entre as águas superficiais e subterrâneas, visando garantir a sustentabilidade desses mananciais, a manutenção da qualidade e da quantidade dos recursos e a proteção dos respectivos ecossistemas aquáticos.

A Constituição Federal no Art. 26 estabelece: "Incluem-se entre os bens dos Estados: Inciso I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União" e a Lei Federal N° 9.433, de 08/01/1997 (Art. 14), estabelece que a promulgação das outorgas de direito de uso dos recursos hídricos em cursos de água de domínio da União compete ao Poder Executivo Federal. Até o momento, apenas rios transfronteiriços e rios que atravessam mais de um estado possuem outorga de competência da União. Assim, em todas as situações, as outorgas para uso das águas subterrâneas são de competência dos Estados e do Distrito Federal.

No Rio Grande do Norte, a Lei Nº 6.908, de 01/07/1996, da Política Estadual de Recursos Hídricos, no Art. 4º, inciso III, institui o instrumento da outorga e o Decreto 13.283, de 22/03/1997, regulamenta esse instrumento de gestão do uso dos recursos hídricos.

Apesar de o Decreto Nº 13.283/97, no Art. 10, prever a questão de concorrência do uso dos recursos hídricos e recorrer à disponibilidade hídrica para limitar o volume máximo a ser outorgado, no Art. 13 que estabelece os critérios de avaliação da disponibilidade hídrica, as águas subterrâneas e superficiais são abordadas de maneira dissociada, sem considerar a interdependências desses fluxos hídricos em uma mesma bacia. Haja vista que, o inciso II, do Art. 13, estabelece “quando se trata de água subterrânea, o referencial quantitativo deverá levar em conta: a) a capacidade de recarga do aquífero, prevista em portaria, fundamentada em estudo hidrogeológico específico; b) a interferência provocada pelo poço em poços circunvizinhos”, ou seja, voltado somente aos aspectos quantitativos do próprio aquífero. Ainda que no Art. 17, parágrafo único, fica estabelecido que “tratando-se de lagos ou lagoas territoriais, a disponibilidade do corpo d’água deverá ser tratada de forma conjunta com o aquífero associado”, essa abordagem deveria ser estendida aos demais cursos d’água superficiais.

Em contribuição ao discutido acima, sugere-se que, no âmbito da Câmara Técnica Permanente de Água Subterrânea do CONERH seja desenvolvida uma regulamentação complementar, baseada no resultado de um estudo específico com a finalidade de dimensionar os volumes máximos para as outorgas subterrâneas e superficiais de maneira integrada, prioritariamente para a área de influência do SAB na RMN. Os resultados obtidos no presente estudo relacionados ao balanço hidrogeológico, aos cálculos de recursos exploráveis e ao cadastro de poços poderão subsidiar, um trabalho dessa natureza, visto que permitem dimensionar os fluxos subterrâneos em função da recarga, das contribuições para os sistemas hídricos superficiais e também do volume atualmente explorado, considerando o elevado universo de poços não gerenciado pelo cadastro de outorga da SEMARH.

Em relação à baixa abrangência da outorga de poços existentes para a captação das águas subterrâneas no SAB, sugere-se o estabelecimento de programas específicos para o maior engajamento dos usuários na gestão compartilhada dos recursos hídricos, conforme discutido anteriormente, bem como a ampliação do aparelhamento tecnológico, estrutural e de pessoal do setor de fiscalização da SEMARH. Esta última medida sugerida, visa maior efetividade no cumprimento da legislação existente e, principalmente, a eliminação de poços que operam em desacordo com as especificações construtivas exigidas nas normas técnicas em vigor e que, por essa razão, configuram ameaça ao aquífero em questão.

Apesar das contribuições apresentadas com vista às melhorias no processo de gestão da quantidade dos recursos hídricos subterrâneos, o único risco potencial à quantidade das águas subterrâneas avaliado no presente estudo está relacionado ao processo de uma eventual diminuição da recarga urbana no município de Natal. Vale salientar, porém, que a diminuição da qualidade das águas subterrâneas poderá influenciar no aspecto quantitativo e, por isso, a importância em fortalecer a gestão da quantidade ainda que este não seja um problema efetivo em termos de disponibilidade.

Em análise ao volume de recursos exploráveis calculados (478×10^6 m³/ano) e às estimativas de demanda projetadas para o ano de 2030 (352×10^6 m³) avalia-se que a água subterrânea pode e deve ser gerenciada e, sobretudo, protegida como a principal e mais segura alternativa de abastecimento das demandas hídricas da RMN. Ainda que complementarmente, possam ser incorporadas algumas captações de mananciais superficiais, principalmente com finalidade ao abastecimento das demandas de irrigação, o uso das águas subterrâneas para o suprimento às demandas de abastecimento público de água possui inúmeras vantagens em relação ao uso das águas superficiais, destacando-se:

- Menor influência dos aspectos climáticos, resultando em maior estabilidade quanto à disponibilidade e à qualidade das águas;
- Maior segurança em relação à qualidade das águas que, em geral, não são susceptíveis a episódios súbitos de contaminação;
- Praticamente, custo “zero” de tratamento para a distribuição;
- Possibilidade de melhor planejamento das infraestruturas, com investimentos modulares, em acompanhamento ao gradativo aumento da demanda;

O planejamento do uso das águas subterrâneas, em conjunto ou não das águas superficiais, no suprimento às demandas da RMN deverá ser estabelecido nos respectivos planos municipais de saneamento e acompanhado pelo Estado, por meio dos setores de gestão dos recursos hídricos vinculados à SEMARH.

2.3.2 Na qualidade das águas subterrâneas associada às atividades urbanas

A temática abordada nesse tópico está relacionada à influência das sedes municipais na qualidade das águas subterrâneas, em consequência, sobretudo, da recarga urbana. Deve-se, no entanto, enfatizar que a recarga urbana com influência na alteração da qualidade das águas subterrâneas refere-se aos problemas de saneamento básico.

Na avaliação realizada no presente estudo foi possível ratificar a existência de contaminação das águas subterrâneas por nitrato em grande parte das sedes municipais de Natal e Parnamirim, com alguma ocorrência na área limítrofe com Macaíba. Esse cenário já havia sido identificado em diversos estudos anteriores, sendo que neste foi possível atualizar os dados de concentrações da contaminação e evoluir com o conhecimento acerca desse problema através da compilação de dados anteriores, somados aos atuais.

Conforme já abordado anteriormente o principal fator gerador dessa contaminação é o baixo nível de atendimento aos preceitos fundamentais do saneamento básico, principalmente relacionado ao esgotamento sanitário, mas também com alguma contribuição da drenagem urbana. Destaca-se a universalização do acesso; o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; e a integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos como sendo os principais fundamentos com influência à contaminação das águas subterrâneas. Esses fundamentos, previstos na Lei Federal Nº 11.445, de 05/01/2007, são avaliados como não atendidos ou parcialmente atendidos pelas concessionárias dos serviços públicos de esgotamento sanitário e pela administração pública municipal responsável pelos sistemas de drenagem urbana.

Em contribuição ao discutido anteriormente sugere-se aos Governos Municipais da RMN que estabeleçam metas de cumprimento aos fundamentos do saneamento básico, priorizando as áreas de expansão da ocupação urbana, os locais com maior vulnerabilidade do SAB à contaminação e nas áreas já ocupadas que contam com qualidade potável das águas subterrâneas. Para tanto, recomenda-se que a administração pública dos municípios da RMN incorpore profissionais com especialidade na área de hidrogeologia, haja vista a elevada dependência dos recursos hídricos subterrâneos para o suprimento das demandas hídricas dessa região e, principalmente, que sejam exigidos esses profissionais na equipe técnica multidisciplinar responsável pela elaboração dos planos de saneamento e planos diretores dos municípios.

Deve-se ressaltar que o presente trabalho alcançou os resultados necessários para o conhecimento dos municípios sobre a vulnerabilidade do SAB à contaminação em escala regional, bem como sobre a delimitação das áreas com qualidade potável e não potável das águas subterrâneas, relacionadas à contaminação por nitrato. Embora, os municípios e o próprio Estado possam utilizar esses dados como base do conhecimento, é possível que sejam necessários estudos em escala de detalhe para áreas específicas.

A escala de trabalho prevista para o desenvolvimento desse estudo, bem como a diversidade dos temas com o foco concentrado na avaliação hidrogeológica, não são adequados para propor ações específicas aos municípios e por essa razão, defende-se que os dados ora obtidos possam subsidiar estudos de detalhes e/ou revisões aos planos existentes como foco na proteção dos recursos hídricos. No entanto, a partir dos resultados alcançados na avaliação da influência da urbanização na quantidade e qualidade das águas subterrâneas, em linhas gerais sugere-se aos municípios que:

- mantenham os níveis máximos possíveis de taxas de permeabilidade, de acordo com a realidade de cada sede e do padrão de ocupação;
- eliminem ao máximo alternativas individuais de destinação de esgoto sanitário, ou seja, busquem a eliminação das fossas, substituindo por sistemas de coleta, afastamento e tratamento de esgoto;
- utilizem sistemas de drenagem fechados dotados de lagoas de infiltração, desde que garantam a capacidade de limpeza, conservação e de eliminação do lançamento clandestino de esgotos e que as lagoas sejam projetadas levando-se em conta o sua capacidade de infiltração e o balanço hidrogeológico desse sistema;
- busquem aumentar a eficiência de seus sistemas de abastecimento de água, visando diminuir as perdas de água no processo de adução e distribuição e, sempre que possível, atuem com planejamento modulado, apoiado no uso da água subterrânea;
- incluam em seus planos diretores modelos de ocupação e uso do solo com vista à preservação da qualidade das águas subterrâneas.

O cenário de contaminação das águas subterrâneas por nitrato, principalmente nas cidades de Natal e Parnamirim, levanta uma importante discussão em relação ao modelo de uso das águas subterrâneas nessas localidades. A concessionária dos serviços de abastecimento de água desses municípios, no caso a CAERN, tem efetuado diversas ações no sentido de garantir a distribuição de água aos consumidores, dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos na legislação. Dentre as ações efetuadas pela CAERN destacam-se a desativação de poços com elevadas concentrações de nitrato, a captação de águas subterrâneas e superficiais em locais mais distantes e que possuem baixas concentrações de nitrato e a mistura de águas para o enquadramento dentro dos limites aceitáveis de potabilidade. Em relação aos usuários privados que possuem poços particulares captando água de partes contaminadas do aquífero, pode estar ocorrendo o consumo de água fora dos padrões de potabilidade e, desse modo,

caracterizando um potencial problema de saúde pública. Considerando a discussão acima, este estudo sugere ações prioritárias do poder público, integrando os órgãos gestores das pastas dos recursos hídricos, meio ambiente e saúde, a buscarem soluções para essas regiões.

Acrescenta-se ao discutido acima que as alternativas de soluções são muito diversificadas para que seja possível elencar um programa de ações direcionado a essa questão. Este estudo sugere que seja criada uma Comissão Técnica específica para o desenvolvimento de um programa de ações, deixando indicado alguns fatores relevantes ao encaminhamento de soluções para esse problema:

- Identificar, localizar e regularizar os usuários privados de águas subterrâneas na área de interesse, sendo que o cadastro de poços consistido neste estudo já permite a identificação de um grande número de usuários;
- Envolver os usuários privados, em um modelo de gestão participativa, principalmente com a regularização dos poços e com o fornecimento de informações relevantes à gestão, principalmente com a apresentação de análises químicas periódicas e dos volumes explorados a partir de seus respectivos poços;
- Promover, por meio de exigência formal ao proprietário do poço, a adequada desativação (tamponamento) de poços com características construtivas que não atendem aos padrões técnicos exigidos;
- Avaliar a possibilidade e os mecanismos de controle e gestão necessários para que possam ser permitidas outorgas de captação de água subterrânea em áreas contaminadas para determinadas finalidades de usos que não ofereçam risco à saúde pública;
- Criar mecanismos de facilitação de regularização dos usuários privados de água subterrânea dessas áreas para maior alcance do poder público aos mecanismos de gestão que serão criados para essas áreas críticas;
- As medidas de controle elencadas para as áreas críticas deverão ser regulamentadas por algum mecanismo legal para que possa existir a “obrigação de fazer”, prevendo inclusive os mecanismos de sanções aos infratores;
- Efetivar a fiscalização das medidas implantadas para as áreas críticas para que sejam alcançados os objetivos do programa de ações e para garantir os padrões necessários à saúde pública;

Os resultados alcançados neste estudo, principalmente, o cadastro de poços e o zoneamento hidroquímico das áreas contaminadas por nitrato e com ocorrência de nitrato acima dos níveis naturais permitem balizar as discussões para o desenvolvimento de um programa de ações, sendo que o referido programa também deverá contemplar a atualização contínua desses dados.

Em relação às fontes pontuais de contaminação relacionadas às atividades existentes nas áreas urbanas, este trabalho sugere que, a partir do cadastro ora consistido sobre essas atividades potencialmente contaminadoras das águas subterrâneas, o órgão estadual gestor do meio ambiente (IDEMA) priorize a fiscalização de atividades classificadas nesse estudo como sendo de elevado potencial de carga contaminante. Os mecanismos de fiscalização, bem como de gerenciamento de áreas contaminada poderá ser regulamentado no âmbito do CONEMA com auxílio de uma Câmara Técnica Específica que deverá também contar com a participação dos integrantes da Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do CONERH.

Em uma abordagem simplificada sobre o estabelecimento de critérios para deflagrar um processo de avaliação ambiental de um dado empreendimento, pode-se associar os diagnósticos ambientais ao procedimento de licenciamento ambiental. Os modelos de diagnósticos ambientais, bem como quais são os empreendimento enquadrados nessas necessidades, podem ser muito variáveis e devem ser definidos em câmaras técnicas, conforme já sugerido anteriormente.

A título de contribuição ao desenvolvimento de um processo de gerenciamento de áreas contaminadas, alguns procedimentos já estão especificados em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como, por exemplo, a avaliação de passivos ambientais (ABNT NBR 15.515-1:2007 e 15.515-2:2011), bem como em reconhecidas normas internacionais, como, por exemplo, da Sociedade Americana para Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials - ASTM – E1527-00 - Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I*).

A partir de mecanismos de avaliação ambiental das atividades potencialmente impactantes e do estabelecimento dos níveis de contaminação baseados na Resolução CONAMA N° 420 de 28/12/2009 o IDEMA poderá, com base em critério a ser regulamentado, compor um cadastro de áreas contaminadas, a exemplo do que ocorre em outros estados brasileiros e em diversos países, permitindo que os órgãos gestores dos recursos hídricos, da saúde e do planejamento possam estabelecer suas ações com base nesse conhecimento.

Acrescenta-se também que, associado aos aspectos de contaminação das águas subterrâneas, os órgãos gestores estaduais e as secretarias municipais de planejamento, meio ambiente, saúde, entre outras, possam estabelecer convênios de para construção e compartilhamento de um único cadastro de dados relativos às qualidades das águas subterrâneas e demais fatores associados, visando facilitar as ações de gestão dessas instituições.

2.3.3 Na qualidade das águas subterrâneas associada às atividades no meio rural

O meio rural está presente somente em sete, dos nove municípios da RMN, pois Natal e Parnamirim não possuem zona rural. Nessas regiões existem a potencial influência às águas subterrâneas por atividades tipicamente rural, mas também por atividades relacionadas com o meio urbano, associados aos pequenos aglomerados urbanos (distritos, povoados, comunidades, assentamentos, etc).

As influências, sobretudo na qualidade das águas subterrâneas, relacionadas com os aglomerados urbanos da zona rural eventualmente apresentam, guardadas às devidas proporções, problemáticas semelhantes às que ocorrem nas principais sedes municipais, por exemplo, a detecção de nitrato em poços situados na área de influência das comunidades, com concentrações acima dos padrões de ocorrência natural. Assim como debatido anteriormente, o Governo Municipal deverá planejar a implementação das infraestruturas de saneamento básico nessas comunidades, avaliando de maneira integrada, os dados de saúde pública do local, à vulnerabilidade do aquífero à contaminação e os dados de qualidade das águas subterrâneas e, desse modo, priorizar os locais com maior sensibilidade a esses e a outros indicadores.

Em relação à gestão integrada dos recursos hídricos sob influência das atividades estritamente rurais, este estudo sugere, prioritariamente, que ocorra uma ação conjunta entre os órgãos gestores estaduais dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SEMARH, IGARN e IDEMA) e as Secretarias de Estado relacionadas aos temas agrários (SAPE e SEARA), com escopo elaborado no âmbito da Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do CONERH com a participação de membros dos referidos órgãos, visando à elaboração de um cadastramento detalhado das práticas agrícolas na área de interesse, abrangendo o maior número possível de propriedades rurais e identificando pelo menos:

- Tipos de culturas, modelos de cultivos e produção média esperada;
- Levantamento do volume e dos tipos de agroquímicos (pesticidas e fertilizantes) utilizados nas culturas desenvolvidas;

- Inventário dos resíduos de embalagem de agroquímicos, incluindo os locais e os modelos de destinação final;
- Fonte(s) de água, finalidade do uso, volume utilizado e, nos casos com irrigação, modelo de irrigação praticada, área irrigada em hectares e volume de água destinado para irrigação.

A recomendação acima foi motivada em decorrência das lacunas de informações sobre esse tema, identificadas nos levantamentos realizados neste estudo. De qualquer maneira, os resultados alcançados no presente estudo permitiram obter uma avaliação sobre as demandas de água para essa finalidade, apesar de configurar volumes muito superiores aos calculados nas outorgas emitidas e no cadastro de poços.

Em relação à qualidade das águas, não foi constatado nenhum nível de contaminação por agroquímicos em concentrações acima dos valores de intervenção definidos pelo CONAMA (Resolução N° 420, de 28/12/2009) e também não foi verificada nenhuma indicação de contaminação por nitrato que pudesse indicar proveniência de uso de fertilizantes. A proposição ao cadastramento detalhado das práticas agrícolas poderá indicar a necessidade de ampliar e/ou alterar a rede de monitoramento e os parâmetros analisados, à luz de um maior conhecimento sobre o tema não existente atualmente.

2.3.4 Na avaliação do cenário associado às lagoas do Jiqui, Extremoz e do Complexo Lagunar do Bonfim

As lagoas de Extremoz e Jiqui, que fazem parte do suprimento hídrico da cidade de Natal, nas periferias norte e sul desse município, respectivamente, e a lagoa do Bonfim, apresentam uma grande interação com as águas subterrâneas. A origem dessas lagoas está provavelmente associada à ocorrência de falhas geológicas.

As lagoas de Jiqui e Extremoz são alimentadas também por significativos fluxos de águas superficiais oriundos de ressurgências de água do aquífero Barreiras e recebem contribuições direta de águas subterrâneas. A Lagoa do Bonfim recebe unicamente contribuições de água subterrânea, além, é claro das águas de precipitação direta sobre sua superfície (MELO, 2009).

Essas lagoas possuem importante papel no abastecimento público de água, sendo que apenas Jiqui e Extremoz contribuem ao suprimento da RMN, mais especificamente à cidade de Natal e a Lagoa do Bonfim, juntamente com uma bateria de poços de seu entorno, suprem a adutora Monsenhor Expedito que transpõe água para além dos limites da RMN.

A gestão dessas lagoas deve ser adotada de maneira integrada aos cursos d'água superficiais associados, quando for o caso, bem como com as águas subterrâneas sob suas áreas de influência. Assim como, a discussão feita à gestão das águas subterrâneas, o gerenciamento ambiental dos sistemas lagunares e das lagoas isoladas deve observar o atendimento ao arcabouço legal existente, sobretudo no caso das lagoas, ao atendimento às regras das áreas de proteção permanentes, da recuperação da mata ciliar e tornar efetiva a fiscalização e o cumprimento as leis.

Os municípios devem, em seus respectivos plano diretores e de saneamento, definir padrões de ordenamento do uso do solo com vistas a evitar a poluição e o assoreamento das lagoas, bem como promover o atendimento aos serviços de saneamento básico nas áreas circunvizinhas às esses corpos hídricos, evitando, dentre outras atividades de degradação do meio ambiente lagunar: os lançamentos de esgotos em natura nas águas das lagoas; a disposição inadequada de resíduos sólidos e as captações irregulares e depredadoras de água.

Além de medidas específicas definidas nos planos diretores e de saneamento municipais, a exemplo da Lei Estadual 8.426, de 14/11/2003, que dispõe sobre a faixa de proteção ambiental do Rio Pitimbu, podem ser desenvolvidas legislações específicas à proteção desses corpos hídricos, estabelecendo-se níveis de proteção diferenciados para as áreas vizinhas, visando maximizar o controle e a proteção ao meio ambiente, bem como o aproveitamento do uso do solo e das atividades econômicas.

2.3.5 Na definição de áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea, áreas de proteção de aquíferos e perímetro de proteção de poços de abastecimento

O estabelecimento de áreas de proteção de aquíferos e áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea e perímetros de proteção de poços são mecanismos de gestão importantes para a manutenção das reservas existentes e/ou para a mitigação de cenários que afetam quantitativa e/ou qualitativamente um aquífero ou parte dele. A efetividade na gestão, entretanto, somente será alcançada se a determinação das áreas de proteção, restrição e controle estiverem regulamentadas no arcabouço legal do sistema de gestão dos recursos hídricos do Estado.

A regulamentação das áreas de proteção, restrição e controle permitirá a fiscalização, bem como a imposição das obrigações de fazer e as sanções legais aos infratores. Desse modo, serão discutidos neste capítulo alguns instrumentos

que poderão regulamentar a determinação de áreas de interesse à gestão das águas subterrâneas.

Neste estudo serão apresentadas propostas para a definição de áreas de proteção de aquíferos e perímetros de proteção de poços de abastecimento, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea; bem como de áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea, que poderão ser estabelecidas em caráter excepcional e temporário, em função da condição da qualidade e quantidade da água subterrânea e dos potenciais riscos aos aquíferos, à saúde humana e/ou aos ecossistemas.

O estabelecimento de áreas com interesse à proteção do meio ambiente e dos recursos naturais está previsto em diversos diplomas legais nos níveis de governo Federal, Estadual e Municipal e, mesmos instrumentos de gestão, a exemplo dos Planos Diretores, estão regulamentados para viabilizar o ordenamento e o uso do solo, entre outras finalidades, para a proteção ao meio ambiente ou, no caso em questão para a proteção das águas subterrâneas. A seguir serão apresentados, de maneira geral, alguns destaques sobre o tema, já instituídos nas legislações vigentes.

A Constituição Federal de 1988 no capítulo II que trata da política urbana diz que a política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes no artigo 182, instituindo a existência de um plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, que é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana. No caso da RMN todos os municípios estão enquadrados na exigência legal e possuem plano diretor, apesar de não haver nenhum zoneamento estabelecido com o objetivo à proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

A Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Nessa legislação estão definidas diretrizes e definições relevantes aos estabelecimentos de áreas proteção que podem embasar as regulamentações Estadual e Municipais para a implementação de unidades de conservação voltadas à proteção das águas subterrâneas e/ou do SAB.

Ainda no âmbito Federal, a Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001, (Estatuto das Cidades), em seu artigo 2º diz que a política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e

construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico incluído na diretriz geral XII.

O Estatuto das Cidades prevê também, no Art. 26, inciso VII, o direito de preempção (precedência na compra) será exercido sempre que o Poder Público necessitar de criação de unidades de conservação ou proteção de outras áreas de interesse ambiental. Este é um mecanismo que poderá ser utilizado no caso de serem escolhidas áreas de restrição e controle.

Especificamente ao tema de proteção das águas subterrâneas, a Resolução CNRH N° 92, de 05 de novembro de 2008, que estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro, prevê que regiões de interesse, tais como áreas de recarga, áreas com vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, entre outras, devem ser elencadas no Plano de Recursos Hídricos e estabelecidas medidas específicas à proteção.

No sentido de fortalecer os direitos relacionados especificamente às águas subterrâneas, a advogada, Dra. Luciana Cordeiro de Souza, aborda em seu livro *Águas Subterrâneas e a Legislação Brasileira* (2009) a necessidade e a possibilidade de inserir na legislação federal (Lei N° 10.257/01 e Lei N° 9.433/97) mecanismos específicos voltados à proteção e conservação da água subterrânea. Considerando a função competente e capaz do município para legislar sobre uso e ocupação do solo sugere a criação de zoneamento especial ambiental que pode ser incorporado no Plano Diretor com o fim precípua de proteger as áreas de recarga e afloramento de águas subterrâneas para assegurar a sua qualidade.

No âmbito do Estado do Rio Grande do Norte, a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei N° 6.908, de 01/07/1996), no seu Art. 3º, inciso II, institui que há obrigação do Estado de fazer o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas subterrâneas, contra a poluição e a exploração excessiva ou não controlada; igualmente o Art. 5º afirma que o Estado elaborará e manterá atualizado o Plano Estadual de Recursos Hídricos em consonância com os princípios e diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos e assegurará recursos financeiros e mecanismos institucionais para garantir a utilização racional das águas superficiais e subterrâneas, bem como no Art. 16 estabelece que a cobrança pelo direito de uso da água, superficial ou subterrânea, é um instrumento gerencial e de planejamento da Política Estadual de Recursos Hídricos. Cabe a observação de que o poder público não cobra pela emissão de outorga de uso nem pela concessão de licença de obra hidráulica, não havendo, pois a possibilidade de geração de recursos financeiros previstas na legislação no caso do uso de água subterrânea, portanto dependendo de dotação orçamentária estadual.

A partir de mecanismos já previstos nas normas legais relacionadas à gestão dos recursos hídricos, tanto na esfera Federal quanto na Estadual, sugere-se pelo desenvolvimento de regulamentação e implementação do processo de cobrança pelo uso da água, visando ao suporte financeiro da fiscalização e da execução de ações para a mitigação dos problemas de quantidade e qualidade dos recursos hídricos. O cadastro de poços elaborado neste estudo pode embasar o cadastramento de usuários com finalidade de cobrança de uso, a ser efetuado em concordância com as diretrizes da Resolução CNRH N° 126, de 29 de julho de 2011.

Deve-se mencionar ainda, relacionado ao estabelecimento de áreas de proteção os seguintes destaques na Lei Complementar N° 272, de 03/03/2004, no Art. 7º, inciso I, alínea c que compete ao CONEMA com apoio do SISEMA, estabelecer normas gerais relativas às Unidades de Conservação; e no Art. 11, relacionado aos instrumentos da Política Estadual de Meio Ambiente, o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza - SEUC.

No site do IDEMA existe uma lista das unidades de conservação do Estado, mas nenhuma está relacionada à necessidade específica de proteção de aquíferos.

Na legislação Estadual, a única menção específica ao tema interesse e que permite embasar o estabelecimento de áreas de proteção das águas subterrâneas foi encontrada no Decreto No 13.283, de 22/03/1997, na qual, em diversos artigos (7º, 18 e 27) são estabelecidas condições diferenciadas ao denominado “aquífero estratégico em zonas de formação sedimentar” com a possibilidade que essas áreas estratégicas do aquífero sejam estabelecidas por portaria da SEMARH. Neste caso, cria-se uma prerrogativa que facilita o estabelecimento de áreas de interesse estratégico (proteção e/ou restrição) a partir de regulamentação dada pela própria Secretaria.

Este estudo avalia que as áreas de proteção e as áreas de restrição e controle, apesar de possuírem objetivos e aplicações bem distintas, podem ser estabelecidas a partir do mesmo arcabouço institucional e regulamentador, considerando que ambas possuem a finalidade geral de condicionar a sustentabilidade do recurso natural água, relacionado à matéria do meio ambiente e dos recursos hídricos. Desse modo, na falta de regulamentação específica para o estabelecimento das áreas de proteção ao aquífero e/ou de áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea, deve-se assegurar a gestão a partir dos instrumentos de gestão já definidos na legislação.

Este estudo recomenda, no entanto, que o CONERH e o CONEMA, de maneira integrada discutam e estabeleçam regulamentos específicos aos temas em questão, visando ao fortalecimento da gestão dos recursos hídricos no Estado e,

consequentemente, na RMN. Acrescenta, ainda, que esses regulamentos específicos incluam diretrizes que obriguem a definição de áreas de proteção e de restrição e controle somente a partir de estudos técnicos específicos.

Diante do debate sobre os mecanismos que possam permitir o estabelecimento de áreas de interesse à proteção e/ou restrição e, a partir dos resultados do presente estudo sugere-se:

- áreas de interesse à proteção do aquífero (AIPA) – locais com elevadas potencialidades (elevadas transmissividades e vazões de produção), com baixo nível de ocupação urbana e com qualidade natural das águas subterrâneas;
- áreas de interesse à restrição e controle do uso das águas subterrâneas (AIRC) – locais com elevada densidade de poços sem outorga, com potencial indicação de superexploração e com qualidade alterada e/ou contaminada das águas subterrâneas (no caso, águas afetadas e ou contaminadas por nitrato).

Os resultados obtidos nestes estudos e, sobretudo, discutidos nos capítulos sobre as interpretações dos resultados analíticos, o balanço hidrogeológico e o mapa de áreas exploráveis permitem identificar locais que se enquadram com as características descritas acima e que, a critério de discussão e decisão no âmbito do CONERH e do CONEMA, poderão ser definidas as necessidades de instituir áreas de proteção do SAB e/ou de restrição e controle do uso das águas subterrâneas.

De acordo com os resultados deste estudo, são AIPA as seguintes regiões identificadas no mapa de zonas exploráveis (Capítulo 3): A1, A4, A5, B1, B2, B4 e partes localizadas das zonas A2, A3, B2 e B3.

Em análise aos resultados deste estudo, sobretudo da qualidade das águas subterrâneas, são AIRC as seguintes zonas identificadas no mapa de zonas exploráveis (Capítulo 3): A2, A3, B2, B3, C1, C2 e D1, em partes localizadas, associadas aos locais com elevadas concentrações de nitrato.

Diante da indicação de AIPA e AIRC específicas acima e delimitadas em mapa no Capítulo 3 adiante, este estudo recomenda que, baseado em diretrizes estabelecidas no arcabouço legal existente, sejam definidas e regulamentadas áreas de proteção e áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas.

Deve-se destacar, com base no Art. 4º da Resolução CNRH N° 92/08, que a regulamentação de áreas de proteção de aquíferos e/ou de restrição e controle do

uso das águas subterrâneas poderá ser instituída pelo órgão gestor de recursos hídricos competente, em articulação com os órgãos de meio ambiente e com a aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e dos Comitês de Bacias, onde houver.

Em complementação à discussão em curso, deve-se mencionar que a Resolução CNRH N° 91/08, que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, em sinergia com a Resolução CONAMA N° 396/08, também representam importantes contribuições à gestão dos recursos hídricos por permitirem o estabelecimento de padrões de qualidade pretendidos para as águas subterrâneas em função dos usos preponderantes.

O estabelecimento de perímetros de proteção de poços (PPP) também representam mecanismos de controle da qualidade das águas, neste caso, associado ao controle da qualidade da água que será consumida a partir de um determinado poço. Esta medida, também corresponde à delimitação de uma dada faixa territorial, com o objetivo à proteção a uma dada extensão do aquífero em função da captação de um dado poço. A regulamentação de PPP também está prevista na Resolução CNRH N° 92/08, nos mesmos preceitos aplicados às áreas de proteção aos aquíferos.

Os PPP podem ser definidos por diferentes metodologias e também podem possuir diferentes finalidades. Entretanto, independentemente dos citados fatores (metodologia e finalidade) correspondem a uma extensão territorial em superfície, na qual medidas construtivas e/ou institucionais poderão ser aplicadas com vistas ao atendimento da finalidade do perímetro determinado.

Em decorrência da importância à qualidade da água a ser explorada pelo poço, bem como à proteção do aquífero os PPP, em geral, são estabelecidos a partir de regulamentação específica para que haja efetividade no atendimento às medidas relativas a cada perímetro.

A seguir serão discutidos alguns conceitos sobre os perímetros de proteção de poços e apresentadas algumas metodologias para a delimitação dessas áreas, visando apoiar futuras decisões sobre a adoção de medidas dessa natureza no âmbito do sistema de gestão dos recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Norte.

Alguns estados brasileiros possuem legislações, principalmente relacionado aos regulamentos de outorga, que estabelecem medidas relacionadas a perímetro de proteção de poço. No entanto, as medidas mais completas sobre esse tema, definido em regulamentação está associado ao processo de concessão de lavra para exploração de água mineral, regido sob normas, gestão e fiscalização do

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, órgão Federal ligado ao Ministério das Minas e Energia. Dessa regulamentação, a seguir, será apresentada a conceituação de áreas ou perímetro de proteção (adaptado da Portaria DNPM N° 231/98).

As áreas ou perímetros de proteção das águas subterrâneas, captadas através de poços, cacimbas, fontes e nascentes naturais, destinam-se à proteção da qualidade das águas e tem como objetivo estabelecer os limites dentro dos quais deverá haver restrições de ocupação e de determinados usos que possam vir a comprometer o seu aproveitamento.

Os diversos modos de ocorrência e tipos de sistemas aquíferos dão origem a condições bastante diferenciadas no que se refere ao grau de vulnerabilidade ou de riscos de contaminação das águas. Em consequência, torna-se necessário um adequado conhecimento do modelo hidrogeológico local e regional para a avaliação e delineamento de um plano de controle e proteção.

Na definição de áreas ou perímetros de proteção deverão ser conceituadas três diferentes zonas segundo suas características hidráulicas: a ZI ou zona de influência; a ZC ou zona de contribuição e a ZT, zona de transporte.

A zona de influência (ZI) é aquela associada ao cone de depressão (rebaixamento da superfície potenciométrica) de um poço em bombeamento, cacimba, fonte ou nascente natural, este último considerado como um afloramento da superfície piezométrica ou freática, equivalente a um dreno.

A zona de influência ZI, associada ao perímetro imediato do poço, cacimba ou fonte, define uma área onde serão permitidas apenas atividades inerentes ao poço ou fontes e delimita também um entorno de proteção microbiológica. Suas dimensões serão estabelecidas em função das características hidrogeológicas e grau de vulnerabilidade ou risco de contaminação de curto prazo. Nesta zona, no caso de poços públicos, deverá haver severas restrições à atividade agrícola ou outros usos considerados potencialmente poluidores.

A zona de contribuição (ZC) é a área de recarga associada ao ponto de captação (fonte, cacimba ou poço), delimitada pelas linhas de fluxo que convergem a este ponto.

A zona de transporte (ZT) ou de captura é aquela entre a área de recarga e o ponto de captação. É esta zona que determina o tempo de trânsito que um contaminante leva para atingir um ponto de captação, desde a área de recarga. Em geral, este tempo depende da distância do percurso ou fluxo subterrâneo, das características hidráulicas do meio aquífero e dos gradientes hidráulicos.

As zonas de contribuição e de transporte (ZC e ZT) serão estabelecidas objetivando uma segura proteção para contaminantes mais persistentes, como produtos químicos industriais ou outras substâncias tóxicas, por exemplo. Sua definição e dimensões serão baseadas em função principalmente das atividades, níveis e intensidade de ocupação e utilização da terra, levando-se em conta também as estimativas sobre o tempo de trânsito.

Esse modelo de zoneamento do perímetro de proteção do poço (ou diferentes perímetros de proteção) é aplicado de maneira geral pelos órgãos gestores dos recursos hídricos. Entretanto, os critérios de zoneamento variam, conforme pode ser observado na **Tabela 2.5** (IRITANI; EZAKI, 2010) que compila exemplos de diversos países sobre os critérios utilizados na delimitação dos perímetros de proteção.

Tabela 2.5. Exemplos de perímetros de proteção de poços na Europa				
País	Perímetros de Proteção			
Alemanha	Zona I Raio 20 m	Zona II Tempo de trânsito de 50 dias	Zona III A Distância de 2 km	Zona III B Zona de Captura
França	Perímetro Imediato 10 a 20 m	Perímetro Próximo 1 a 10 hectares ou 50 dias de tempo de trânsito	Perímetro Afastado 0,2 a 15 km ou critério técnico	
Reino Unido	Zona I - Proteção inferior 50 m ou 50 dias de tempo de trânsito	Zona II - Proteção exterior 25% da ZC ou 400 dias de tempo de trânsito	Zona III - Captação Total Zona de Captura	Zona Z de Proteção Especial Área fora da ZC, mas que pode transmitir contaminação ao poço
Holanda	Área de Captação 50 ou 60 dias de tempo de trânsito	Área de Proteção I 10 anos de tempo de trânsito	Área de Proteção II 25 anos de tempo de trânsito	Área de Recarga 50 a 100 anos de tempo de trânsito
Itália	Zona de Proteção Absoluta Mínimo de 10 m	Zona de Respeito Mínimo de 200 m	Zona de Proteção Zona de Captura e da Bacia	

Fonte: Iritani e Ezaki, 2010

As metodologias utilizadas na delimitação do PPP também são muito diversificadas, podendo ser simples e, em geral menos precisas, ou complexas, comumente utilizando-se de modelo numéricos desenvolvidos com aplicativos computacionais. Apesar de menor precisão, as metodologias simplificadas não são menos eficientes à gestão das águas subterrâneas. Os parâmetros e os critérios para a delimitação do PPP podem ser instituídos de modo a garantir a proteção necessária, mesmo contando com cálculos aproximados da zona de captura dos poços.

Considerando o estágio incipiente da gestão dos recursos hídricos na área de interesse, sugere-se a adoção de metodologias simplificadas para a delimitação do PPP, visando facilitar a implementação da medida de gestão e viabilizar que os dados disponíveis sejam suficientes para a aplicação do método.

As metodologias de delimitação do PPP mais indicadas para o estágio atual do desenvolvimento do processo de gestão dos recursos hídricos subterrâneos na RMN e para o tipo de aquífero em questão (poroso) são: Raio Fixo Arbitrado e o Método de Wyssling.

O Raio Fixo Arbitrado (RFA) corresponde à determinação de um valor fixo a todo e qualquer poço, em qualquer condição operacional e/ou construtiva. É recomendada a aplicação do RFA apenas para a zona de proteção imediata que poderá representar somente a zona operacional do poço e a zona de proteção sanitária.

O Método de Wyssling corresponde à aplicação de uma equação que será descrita a seguir, na qual são utilizados os parâmetros hidráulicos de vazão do poço, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica, espessura saturada do aquífero e porosidade efetiva, além do conhecimento acerca da direção de fluxo e da disposição das equipotenciais.

A **Figura 2.1** (IRITANI; EZAKI, 2010) demonstra o esquema em planta da delimitação do perímetro de proteção de poço pelo método de Wyssling, indicando os parâmetros que são determinados com as equações que serão apresentadas adiante. As áreas demarcadas indicam: a isócrona (círculo vermelho), a zona de contribuição (linha cinza) e a área de segurança (linha pontilhada preta).

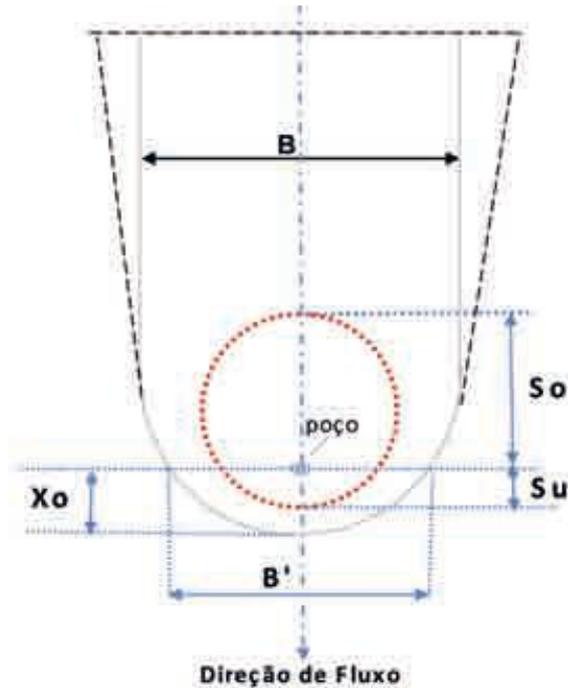


Figura 2.1. Esquema da delimitação do PPP pelo método de Wyssling

As equações que permitem calcular os parâmetros necessários para a delimitação do perímetro de proteção de poço pelo método de Wyssling são:

$$B = \frac{Q}{Kbi} \quad (1)$$

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2Kbi} \quad (2)$$

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi kbi} \quad (3)$$

$$V_e = \frac{K \cdot i}{n_e} \quad (4)$$

$$l = V_e \cdot t \quad (5)$$

A partir das quais podem ser calculadas as seguintes equações:

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2} \quad (6)$$

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2} \quad (7)$$

Onde:

Q é a vazão do poço de produção (m^3/h);
 i é o gradiente hidráulico;
 K é a condutividade hidráulica (m/dia);
 b é a espessura saturada do aquífero (m);
 n_e é a porosidade efetiva;

B é largura máxima da zona de contribuição (m);
 B' é a largura da zona de contribuição na posição do poço (m);
 X_0 é a distância jusante até o ponto de gradiente nulo;
 V_e é a velocidade real da água subterrânea ou Velocidade de Darcy (m/dia)
 t é o tempo de trânsito (dia);
 l é a distância percorrida a um tempo t (m);
 S_0 é a distância a montante correspondente a um tempo de trânsito t (m);
 S_u é a distância a jusante correspondente a um tempo de trânsito t (m).

A escala deste trabalho não permite desenvolver a aplicação de quaisquer metodologias de definição de PPP, pois demandam estudos de detalhe incompatíveis com a escala especificada nos termos destes estudos. Em contribuição à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, propõe-se a aplicação do Método de Wyssling para a delimitação do PPP dos poços que exploram o SAB. Entretanto, considerando o elevado número de poços recomenda-se que sejam priorizadas as determinações aos poços de abastecimento público, incluindo aqueles que fazem o abastecimento de comunidades rurais.

Em contribuição às sugestões apresentadas acima e, considerando que as ações prioritárias estão associadas às infraestruturas hídricas de abastecimento público de água, recomenda-se que a aplicação dessa metodologia seja prevista nos futuros planos de saneamento como medidas a serem implementadas pelas empresas responsáveis pelo abastecimento de água.

A partir da delimitação dos PPP dos poços de abastecimento público será possível reconhecer as eventuais ameaças à qualidade das águas captadas e planejar ações de controle específicas a cada um dos poços que constituem os sistemas de abastecimento municipais.

Os municípios também poderão fazer uso das áreas delimitadas dos PPP para reavaliar o ordenamento do uso do solo visando à proteção da qualidade das águas captadas, incluindo o conhecimento dessas áreas nos estudos relativos à elaboração e/ou revisão dos planos diretores municipais.

3 MAPA DAS ZONAS EXPLOTÁVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL E O MANEJO SUSTENTÁVEL DO SAB

O zoneamento das possibilidades de exploração das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras, se constitui em uma medida estratégica de manejo voltada para o uso sustentável e proteção das águas subterrâneas.

O referido zoneamento indica as áreas potencialmente explotáveis na RMN e informa sobre a qualidade das águas no contexto natural e antrópico, constituindo uma fase importante para a elaboração de uma proposta de enquadramento, que é o “Diagnóstico”, que expressa a situação da área no contexto hidrogeológico e da qualidade atual das águas.

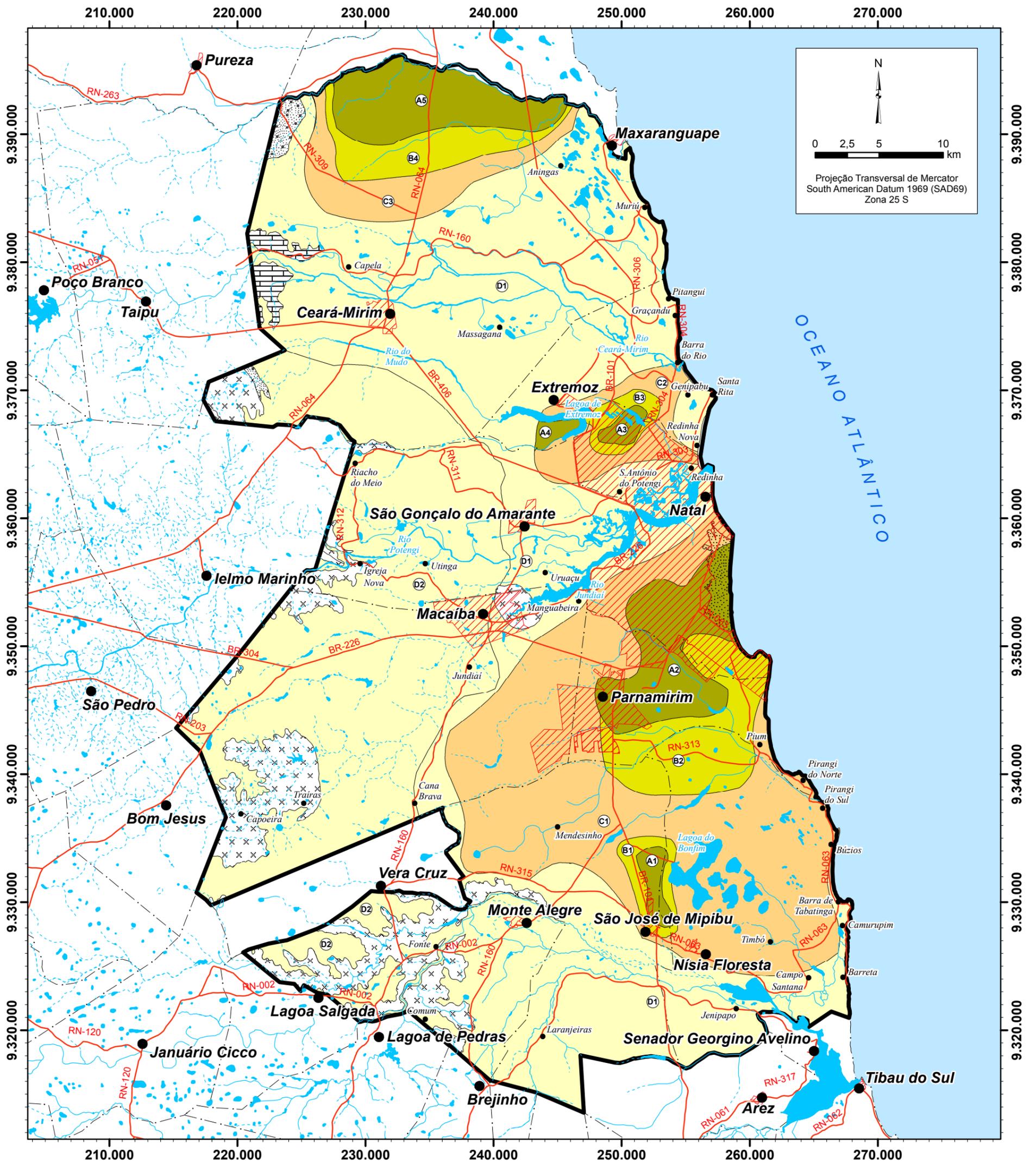
3.1 Procedimentos metodológicos

As zonas potencialmente explotáveis foram definidas mediante a superposição do mapa de transmissividade do SAB, apresentado em Capítulo 12 do Volume 1, com os mapas de qualidade das águas apresentados no Capítulo 10 do Volume 2 deste relatório. Cada zona ou subzona definida indica as vazões máximas potencialmente explotáveis e a profundidade média esperada por poço e informa sobre a qualidade atual das águas.

A vazão máxima potencialmente explotável por poço no domínio de cada zona foi estimada a partir dos perfis construtivos de poços existentes, tomando por base fundamentalmente os rebaixamentos máximos disponíveis em função da profundidade do topo dos filtros, e, das respectivas vazões específicas. Em alguns casos extrapolações foram efetuadas considerando desta feita a transmissividade do aquífero conforme sugeriu o mapa de zoneamento das transmissividades. Os dados utilizados são apresentados na tabela do **Apêndice K**, que possui as seguintes informações: identificação do poço (Poço), município, coordenadas, espessura total do Sistema Aquífero Barreiras (ESAB); a vazão específica (Q/s), transmissividade (T) e a vazão máxima potencialmente explotável (Q Max).

3.2 Zonas potencialmente explotáveis

Foram definidas 4 zonas potencialmente explotáveis, com suas respectivas subzonas (**Figura 3.1**), conforme apresentado a seguir:



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



Figura 3.1. Zonas potencialmente explotáveis do SAB na Região Metropolitana de Natal

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL



Zona A: Transmissividade maior que 350 m²/dia e possibilidade de exploração de vazões compreendidas entre 90 e 120 m³/h através de poços com profundidade média de 80 m.

Subzona A1: Situa-se na região a oeste da Lagoa do Bonfim, em torno do grupo de poços que abastece a Adutora Monsenhor Expedito, cobrindo uma superfície da ordem 10 km². Apresenta águas com CE inferior a 250 µS/cm; Cloreto entre 25 e 50 mg/L, e, nitrato entre 3 e 10 mg/L N; portanto, são águas afetadas por nitrato, o que pode estar associado as atividades agrícolas ou ao desenvolvimento habitacional do setor. No extremo sul desta subzona as águas já estão contaminadas: a CE é mais elevada, compreendida entre 250 e 500 µS/cm, e, o teor de nitrato superior a 10 mg/L N, devido a influência urbana da cidade de São José de Mipibu. Há também registro de poço de abastecimento da CAERN já contaminado por nitrato.

Subzona A2: Área sob influência da urbanização da zona sul da cidade de Natal e da cidade de Parnamirim, cobrindo uma superfície da ordem de 87 km². A CE é em geral inferior a 250 µS/cm, com ocorrências entre 250 e 500 µS/cm. A concentração de cloreto é em geral inferior a 25 mg/L e de nitrato superior a 3 mg/L tingindo valores superiores a 10 mg/L, o que indica influência urbana pelo sistema de disposição local de efluentes.

Subzona A3: Localiza-se na zona norte de Natal e a margem esquerda do rio Doce, já no município de Extremoz, com superfície da ordem de 7 km². Na zona norte, as águas apresentam CE na faixa de 250 a 500 µS/cm; cloreto variando de 25 a 50 mg/L e nitrato superior a 10 mg/L N. Portanto água contaminada pelos efluentes domésticos de fossas e sumidouros. Na margem esquerda do rio Doce, as águas apresentam boa qualidade: CE inferior a 100 µS/cm cloreto menor que 25 mg/L e nitrato inferior a 3 mg/L N, indicando águas nativas de boa qualidade.

Subzona A4: Situa-se entre os rios Guajiru e Mudo, já próximo a confluência com a Lagoa de Extremoz, com superfície de apenas 5 km². As águas apresentam CE inferior a 250 µS/cm; cloreto entre 25 e 50 mg/L, e, nitrato inferior a 1 mg/L N. São portanto águas nativas de boa qualidade.

Subzona A5: Situa-se na Bacia do Rio Maxaranguape, abrangendo uma superfície de 77 km², com águas de excelente qualidade: CE inferior a 100 µS/cm, cloreto menor que 25 mg/L, e, nitrato inferior a 1 mg/L.

Zona B: Transmissividade compreendida entre 200 e 350 m²/dia, e, vazões máximas explotáveis por poço entre 60 e 90 m³/h através de poços com profundidade média de 80 m.

Subzona B1: Trata-se de uma área contígua a subzona A1, situada a oeste da Lagoa do Bonfim, em torno da bateria de poços que abastece a adutora Monsenhor Expedito, com superfície da ordem de 15 km². A CE varia de 150 e 250 µS/cm; cloreto entre 25 e 50 mg/L e nitrato, em geral, entre 3 e 10 mg/L N, o que indica águas já afetadas por nitrato, podendo ser resultado do desenvolvimento agrícola ou até mesmo o desenvolvimento habitacional. Na extremidade sul da subzona em apreço, já na sede de São José de Mipibu a concentração de nitrato é superior a 10 mg/L N, indicando águas contaminadas pelas atividades urbanas (efluentes domésticos).

Subzona B2: Abrange o setor a Nordeste da cidade de Parnamirim e Bairro de Ponta Negra em Natal, cobrindo uma superfície da ordem de 89 km². Em seu maior domínio, as águas são de boa qualidade, com CE inferior a 250 mg/L, cloreto inferior a 25 mg/L e concentrações de nitrato abaixo de 3 mg/L N, portanto águas nativas. No Bairro de Ponta Negra, entretanto, ocorrem águas contaminadas por nitrato, com valores superiores a 10 mg/L N.

Subzona B3: Área contígua a subzona A3. Situa-se na Zona Norte da cidade de Natal e a margem esquerda do Rio Doce, com superfície da ordem de 17 km². Na Zona Norte de Natal, as águas estão contaminadas por nitrato (N - NO₃ superior a 10 mg/L); o cloreto varia entre 25 e 50 mg/L, e, a CE entre 250 e 500 µS/cm. Em torno do grupo de poços situado a margem esquerda do rio Doce, as águas subterrâneas são nativas, com concentração de nitrato inferior a 3 mg/L N.

Subzona B4: Contígua a sub-zona A4, abrange uma superfície de 45 km² na bacia do Rio Maxaranguape, . As águas são de excelente qualidade: CE inferior a 100 µS/cm; Cloreto inferior a 25 mg/L e NO₃ inferior a 1 mg/L N.

Zona C: Transmissividade compreendida entre 50 e 200 m²/dia, vazões máximas potencialmente explotáveis por poço entre 30 e 60 m³/h e poços com profundidade média de 70 m.

Subzona C1: Abrange grande parte dos setores setentrionais dos municípios de Nísia Floresta e São José de Mipibu e os setores oeste de Parnamirim e nordeste da zona Sul de Natal, com superfície da ordem de 266 km². Nos setores fora dos domínios urbanos, as águas em geral são nativas, com concentrações de nitrato inferiores a 3 mg/L N; CE em geral inferiores a 250 µS/cm; e cloreto inferior a 50 mg/L. Nos domínios de influência urbana (cidades de São José de Mipibu, Parnamirim e Zona Sul de Natal), as águas subterrâneas estão afetadas por nitrato com concentrações superiores a 3 mg/L N, com ocorrência de concentrações de nitrato acima de 10 mg/L N na Zona Sul de Natal, portanto águas contaminadas.

Subzona C2: Contígua a subzona B3, abrange parcialmente os municípios de Natal (Zona Norte), Extremoz e de São Gonçalo do Amarante, numa superfície de 48 km². Na Zona Norte de Natal as águas subterrâneas estão contaminadas, com concentrações de nitrato superior a 10 mg/L N; CE entre 250 e 500 µS/cm, e, concentração de cloreto entre 25 e 50 mg/L. Em Extremoz e na Zona rural as águas não estão afetadas por nitrato com concentrações inferiores a 3 mg/L N.

Subzona C3: Contígua a Zona B4, na bacia do Rio Maxaranguape, cobrindo uma superfície de 60 km². Águas nativas de excelente qualidade: CE em geral inferior a 150 µS/cm; cloreto menor do que 25 mg/L, e, nitrato inferior a 3 mg/L N.

Zona D: Transmissividade menor que 50 m²/dia, vazões máximas potencialmente explotáveis inferior 30 m³/h e poços com profundidade variando de 30 a 80 m.

Subzona D1: Abrange uma superfície que se estende de Norte a Sul na RMN, com área da ordem de 814 km². As águas apresentam em geral CE inferior a 250 µS/cm; concentrações de cloreto inferior a 50 mg/L, e, nitrato inferior a 3 mg/L N. Nos domínios de influência urbana, entretanto, as águas subterrâneas apresentam concentrações de nitrato superior a 3 mg/L N, e, em alguns casos já contaminadas (nitrato superior a 10 mg/L N).

Subzona D2: Com superfície da ordem de 571 km². Localiza-se no setor oeste da RMN, em domínio de menor precipitação pluviométrica. As águas são em sua maior parte de CE entre 250 C e 500 µS/cm, cloreto superior a 50 mg/L e nitrato predominantemente inferior a 3 mg/L N, o que sugere a ocorrência de águas em geral nativas de boa qualidade. Em cerca de 30% (entre Igreja Nova, Utinga e Jundiai) desta subzona, a CE é superior a 500 µS/cm e o cloreto entre 100 e 250 mg/L.

3.3 Considerações sobre as zonas potencialmente explotáveis

Entre as zonas e subzonas definidas como potencialmente explotáveis três delas merecem destaque que são as subzonas B2, A5 e B4, pelas elevadas potencialidades hidrogeológicas, excelente qualidade de suas águas (águas nativas), facilidades de captação e além do baixo percentual de utilização das mesmas.

Os recursos explotáveis dessas zonas podem constituir alternativa para suprimento das cidades de Natal (A5 e B4) e Parnamirim (B2). Neste caso, é necessária a definição de estratégia de proteção desses recursos mediante a definição de zonas de captura de poços.

As subzonas A1 e B1, situadas a oeste da Lagoa do Bomfim, apresentam potencialidade hidrogeológica elevada e os poços de captação situados no domínio da subzona B1 produzem mais do que 90 m³/h. Essa captação alimenta a adutora Monsenhor expedito, que abastece várias cidades da Região Agreste do Rio Grande do Norte onde os recursos hídricos são escassos. Apesar da importância das águas subterrâneas dessas zonas, verifica-se que as mesmas já se apresentam afetadas por nitrato, inclusive já existe poço de captação de água da referida bateria de poços com suas águas contaminadas, com concentrações de nitrato superior a 10 mg/L N. Isto se atribui, provavelmente, ao desenvolvimento habitacional no domínio das mesmas. É necessário o desenvolvimento de estratégias de proteção desses recursos que contenha a expansão habitacional mediante a definição de zonas de captura do grupo de poços.

O recurso hidrogeológico associado ao setor oeste da Lagoa de Bonfim é de extensão bastante limitada, o que torna a referida bateria de poços bastante vulnerável já que nas suas imediações as condições hidrogeológicas não se mostram favoráveis à construção de novos poços.

A subzona A2 que engloba parcialmente as cidades de Natal (Zona Sul) e Parnamirim é de elevada potencialidade, entretanto, a mesma já apresenta os seus recursos comprometidos com essas cidades. Ressalta-se, entretanto, que suas águas já apresentam um nível de contaminação por nitrato bastante acentuado devido as atividades do desenvolvimento urbano, especificamente o sistema de disposição local de efluentes domésticos com o uso de fossas e sumidouros.

As subzonas A3 e B3 englobam a Zona Norte de Natal e a captação Rio Doce que está situada a margem esquerda do Rio Doce, já no município de Extremoz. Suas águas fazem parte do suprimento da cidade, ressaltando-se que no domínio da Zona Norte as águas subterrâneas estão contaminadas por nitrato devido a infiltração de efluentes domésticos.

As subzonas C1, C2 e C3, são áreas relativamente modestas em termos de recursos hídricos subterrâneos no caso de atendimento a grandes demandas. As vazões possíveis de exploração variam de 30 a 50 m³/h. As águas são em seu maior domínio, águas nativas, com exceção daquelas sob influência urbana, as quais estão contaminadas.

As subzonas D1 e D2 atingem grandes extensões, porém são de baixa potencialidade hidrogeológica, cuja exploração está restrita ao atendimento de baixas demandas. Suas águas são em geral nativas e de boa qualidade, com exceção apenas dos domínios com influência urbana.

4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é composto por um acervo de informações georreferenciadas que constitui um banco de dados, onde é possível extrair informações sobre uma área ou região específica.

Várias definições de SIG refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. Segundo Mota (1999), os SIG's são utilizados como ferramenta de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, entre outras aplicações complexas, que envolvem diferentes componentes dinâmicos, demonstrando sua utilização multidisciplinar.

Com o avanço da tecnologia de informática, que possibilitou o tratamento de entidades geográficas conjuntamente com dados alfanuméricos em plataformas computacionais, estes sistemas tornaram-se importantes instrumentos de análise para vários campos de estudo, particularmente para aqueles onde é grande o número de variáveis envolvidas, como por exemplo, gestão e planejamento de recursos hídricos.

Em um SIG é possível integrar informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, entre outras, em um banco de dados unificado, o que reflete a multiplicidade de usos e a interdisciplinaridade permitida. Faz-se importante destacar a facilidade de integração dos dados das mais diversas áreas como geologia, hidrologia, geomorfologia, pedologia, demografia, movimentos sociais, urbanismo, saneamento, ecologia entre outras, possibilitando uma abordagem ampla e completa sobre essas variáveis. Assim, a utilização destes recursos tecnológicos é proposta, entre outros, como um instrumento articulador do processo de integração entre o planejamento ambiental e a gestão dos recursos hídricos (PINHEIRO *et al.* 2009).

Na aplicação para apoio à gestão dos recursos hídricos, o uso de SIG constitui-se em ferramenta ampla e complexa de análise, permitindo que várias informações, tanto dos aspectos de planejamento da organização sócio-espacial quanto dos aspectos de recursos hídricos no âmbito da política municipal, estadual e federal sejam sobrepostas e sintetizadas de forma integrada, atualizadas constantemente de maneira dinâmica e eficiente, não limitando o número de variáveis neste processo, ou seja, comportando-se como um sistema aberto e multifinalitário (SILVA, 2006). A avaliação final dos resultados depende da qualidade e quantidade dos dados espaciais inseridos no sistema, sendo mais precisa, quanto maior e melhor forem as informações processadas.

Ressalta-se ainda que a espacialização de dados e informações é de grande importância para gestores e planejadores ambientais. A informação contida nos mapas temáticos minimizam erros de localização e utilização pretéritos em função de uma não verificação em campo dos dados a serem aplicados em estudos e pesquisas (PINHEIRO *et al.* 2009).

Deve-se considerar ainda que os dados utilizados para a gestão dos recursos hídricos e a organização sócio espacial são dinâmicos, devendo estar em constante atualização, quando utilizados como um instrumento de apoio à tomada de decisões.

Com isso, para um melhor resultado dos indicadores que contribuem para o planejamento, não só no que diz respeito aos recursos hídricos, mas também no âmbito das mais diversas áreas, é de fundamental importância uma ação integrada dos órgãos gestores, nas esferas municipal, estadual e federal, através do compartilhamento e atualização constantes das informações.

No âmbito deste projeto, as informações espaciais primárias levantadas foram sistematicamente organizadas de forma a constituir o Sistema de Informações Georreferenciadas da Região Metropolitana de Natal (SIG-RMN).

Para o estudo em questão, as informações necessárias ao desenvolvimento do projeto foram georreferenciadas, de forma a serem integradas e visualizadas por meio de mapas temáticos permitindo assim a geração de indicadores que apoiassem a elaboração de propostas para o manejo sustentável das águas subterrâneas na RMN, apresentadas neste relatório.

Com isso, as informações sobre infraestrutura hídrica, hidrogeologia, geomorfologia, hidrologia, uso do solo, fontes contaminantes, delimitações de bacias, qualidade das águas, sistema viário e diversas outras se relacionam às localizações geográficas, podendo ser sobrepostas em uma única base.

O SIG-RMN foi desenvolvido em ambiente *ArcMap 10*[®] para processamento das entidades gráficas georreferenciadas, que recebem a denominação de feição (**Figura 4.1**). Os arquivos que compõem o SIG-RMN são totalmente compatíveis com o *ArcGis*[®], e georreferenciados no *datum South American Datum 1969* (SAD69), na escala 1:100.000.

A projeção adotada para os mapas temáticos elaborados durante o projeto foi a *Projeção Cilíndrica Transversa de Mercator*, do tipo secante, a qual é utilizada para áreas localizadas entre as latitudes 84°N e 80°S (IBGE, 1998). O sistema de

coordenadas adotado foi *Universal Transversa de Mercator (UTM)*, zona 25 S, com unidade em metros.

Uma das etapas mais importantes para elaboração de um SIG é a definição da estrutura do banco de dados que será criado, que permita o acesso fácil e claro às suas informações. Segundo Hillier (2011) a organização das feições de um SIG em arquivos únicos e integrados é o mais apropriado para manipulação dos dados em um ambiente multiusuário ou quando são exigidas edições complexas e avançadas. Dessa maneira, as feições que compõem o SIG-RMN foram inseridos em arquivos com extensão *geodatabase* e agrupados por grandes temas.

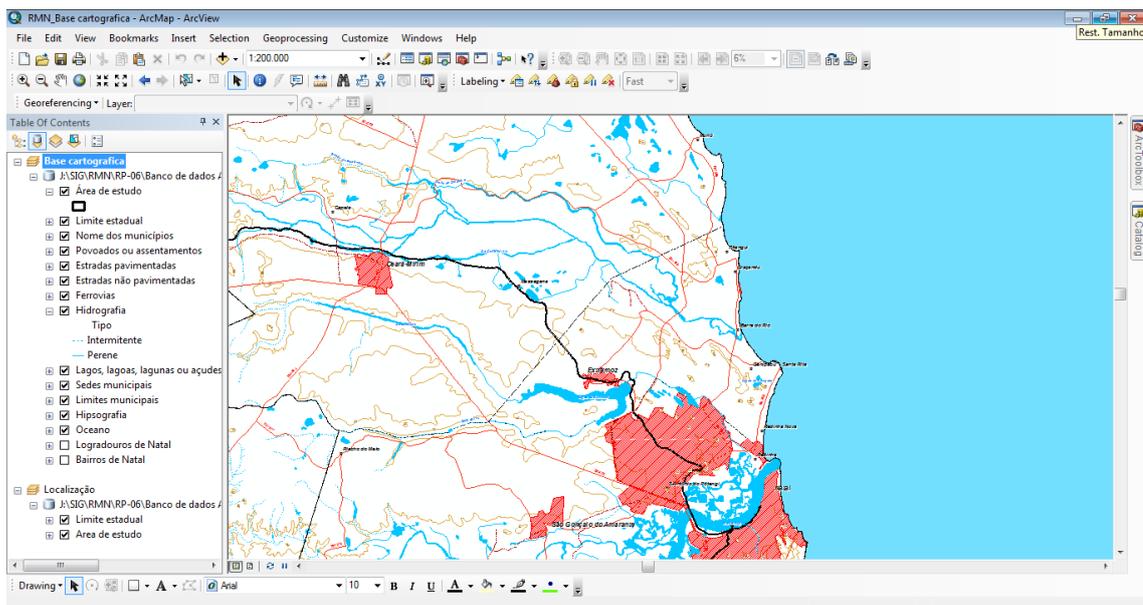


Figura 4.1. Montagem do SIG da RMN no ArcMap® 10

A seguir é feita uma breve descrição dos principais grupos de feições que compõem os *geodatabases* do SIG-RMN (Figura 4.2):

- Base cartográfica: neste grupo estão inseridas as feições relacionadas aos dados cartográficos primários levantados ou elaborados no projeto, por exemplo, sistema viário, hidrografia, hipsografia, limites municipais, sedes municipais, área de estudo, limite estadual, corpos d'água (lagos, lagoas, lagunas ou açudes), povoados ou assentamentos, entre outros.
- Geologia: neste item estão inseridas as feições associadas as informações sobre a geologia e estrutural da RMN, por exemplo, unidades litoestratigráficas, estruturas geológicas (falhas, fraturas, lineamentos) etc.
- Hidrogeologia: neste grupo foram incluídas as informações que representam as características hidrogeológicas da área de estudo, como por exemplo, unidades hidrogeológicas, potenciometria, zonas de recarga e descarga, zonas explotáveis, zoneamentos (transmissividade,

condutividade hidráulica, espessura saturada, espessura total), vulnerabilidade natural do aquífero, qualidade das águas etc.

- Ortofotos: estão inseridas as imagens de satélite e as fotos aéreas obtidas durante o projeto.
- Atividades antrópicas: estão inseridas as informações referentes as intervenções antrópicas sobre o meio, por exemplo, cadastro de fontes potenciais de contaminação, uso e ocupação do solo, etc.

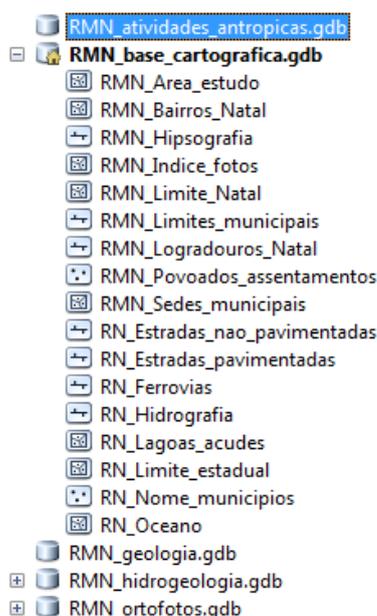


Figura 4.2. Estrutura do SIG-RMN em arquivos no formato *geodatabase*

As feições que compõem o SIG-RMN estão no formato vetorial, *raster* e planilhas eletrônicas. Os dados vetoriais podem ser compostos por pontos (p.ex. povoados), linhas (p.ex. rios) ou polígonos (p.ex. unidades aquíferas), conforme as características das feições representadas e possuem uma tabela de atributos associada, onde estão arquivadas as informações sobre as respectivas feições (**Figura 4.3**). Os arquivos *raster* são imagens compostas por diversas células de dimensão definida, onde cada célula que compõe a imagem possui uma coordenada real e valores de atributos específicos (**Figura 4.4**).

OBJECTID *	Shape *	ENTITY	Name	Tipo	Shape Length
79	Polyline ZM	Polyline	Rio Boqueirão	Perene	5032,589904
1382	Polyline ZM	Polyline	Rio Catu	Perene	29428,052891
288	Polyline ZM	Polyline	Rio da Prata	Perene	3051,113357
290	Polyline ZM	Polyline	Rio da Prata	Perene	3641,045725
51	Polyline ZM	Polyline	Rio das Curicacas	Perene	5931,758635
47	Polyline ZM	Polyline	Rio das Piranhas	Perene	5474,080638
64	Polyline ZM	Polyline	Rio do Saco	Perene	4917,367326
1219	Polyline ZM	Polyline	Rio Espinho	Perene	14304,517427
343	Polyline ZM	Polyline	Rio Grande	Intermitente	14195,407368
226	Polyline ZM	Polyline	Rio Guajiru	Intermitente	2502,125157
2741	Polyline ZM	Polyline	Rio Guaju	Perene	3758,589255
842	Polyline ZM	Polyline	Rio Jacu	Perene	4337,216814

Figura 4.3. Atributos associados à base de dados hidrográfica da RMN

O cadastro compilado da infraestrutura hídrica (poços de captação, fontes naturais e piezômetros) é disponibilizado individualmente em planilha eletrônica no formato Access, além de estar inserido no SIG-RMN.

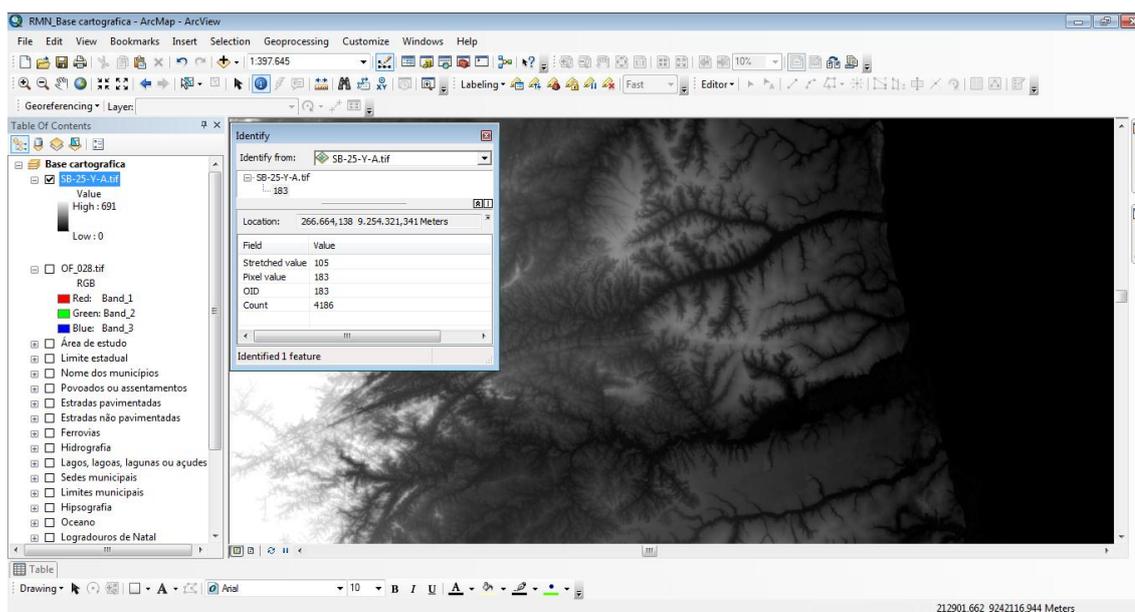


Figura 4.4. Arquivo *raster* que compõe o SIG-RMN (modelo digital de elevação) e janela com os atributos de uma determinada célula da imagem

Desta maneira, a atual estrutura do SIG-RMN permite o compartilhamento das informações entre as diferentes instituições governamentais (gestão de recursos hídricos, planejamento, ambiental, saúde entre outras) para que possam interatuar em conjunto nas tomadas de decisões, desde que gerada a infraestrutura para implementação de tal ambiente.

A criação de uma rede automatizada e integrada dedicada às instituições governamentais, com rotinas pré-estabelecidas, permitiria a atualização eficiente

do banco de dados, redução de erros na inserção de dados e elaboração automática de indicadores no apoio a decisões.

Além disso, seria possível disponibilizar indicadores para acompanhamento da sociedade e dos usuários dos recursos hídricos e, até mesmo, desenvolver um ambiente de educação ambiental para esses usuários.

Portanto, os SIG's constituem um ambiente de inteligência que dá suporte de forma lógica e estruturante à gestão e ao processo decisório das diferentes esferas de aplicação, permitindo, inclusive, a construção de indicadores, baseados em análises geográficas, além de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados, que podem ser amplamente divulgados. Esta tecnologia tem sido alvo de crescente utilização no planejamento ambiental com forte adesão na gestão dos recursos hídricos (PINHEIRO *et al.* 2009).

O SIG-RMN será integralmente disponibilizado a contratante na entrega do relatório final (RF), assim como os projetos dos mapas temáticos elaborados durante o projeto e o cadastro de poços da RMN, este último no formato *access*. Todos esses arquivos são compatíveis com o ArcGis®, nas versões 9.x e 10. Os projetos dos mapas temáticos foram elaborados no ArcMap®, versão 10.

5 SELEÇÃO DE PONTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SENSORES TELEMÉTRICOS

Em atendimento ao definido no escopo técnico destes estudos, foram selecionados 15 poços para instalação de sensores telemétricos (**Figura 5.1**) tendo em vista o monitoramento quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras. No primeiro caso, poderão ser efetuados registros contínuos do nível d'água nos poços, permitindo o controle de exploração dos mesmos e do aquífero, bem como o conhecimento das variações de carga, fundamentais na avaliação das potencialidades do Sistema Aquífero Barreiras. No monitoramento qualitativo poderá ser registrada continuamente a condutividade elétrica das águas nos poços e, por conseguinte, o registro de possíveis modificações na qualidade das águas tanto de origem natural como antrópica.

Os pontos para a instalação dos sensores foram selecionados tendo em vista a obtenção de informações consistentes e precisas sobre o Sistema Aquífero Barreiras para o atendimento as questões relativas as potencialidades, qualidade natural das águas e os aspectos ambientais envolvidos.

Na seleção dos pontos de medição, foram priorizados poços totalmente penetrantes no Sistema Aquífero Barreiras; selecionados poços situados nos tabuleiros e poços situados no domínio dos vales para a obtenção mais precisa das variações de carga potenciométrica; selecionados poços em domínios com águas nativas, domínios com potencial à contaminação, bem como de águas contaminadas.

Ressalta-se que a grande maioria dos pontos de monitoramento elencados neste capítulo são poços que constituíram a rede de monitoramento quali-quantitativa deste estudo. Os critérios avaliados na seleção dos pontos da rede de monitoramento para as diversas finalidades (medição de nível d'água, parâmetros físico-químicos, parâmetros específicos) foram apresentados em detalhe no Capítulo 8, do Volume 1, e estão em consonância com os critérios estabelecidos na Resolução CNRH N° 107/10.

A rede de pontos de monitoramento sugerida neste capítulo considerou poços, em sua grande maioria, públicos e/ou poços privados cujos proprietários permitiram acesso aos trabalhos realizados no âmbito destes estudos.

A seguir são apresentadas considerações a cerca de cada ponto de medição enfatizando a função de cada um deles no contexto de monitoramento das condições hidrogeológicas, hidrogeoquímicas e eventuais interações com os recursos hídricos superficiais.

Bacia do Rio Maxaranguape (Município de Ceará Mirim)

CRM0098: Poço localizado na Fazenda Atala no município de Ceará Mirim, totalmente penetrante no SAB com profundidade 82 m; diâmetro de 8 polegadas e vazão máxima explotável de 100 m³/h. localiza-se na subzona produtora A5, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de excelente qualidade: CE inferior a 100 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 1 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre qualidade da água e possíveis modificações hidroquímicas na subzona produtora A5 indicada para o atendimento à demandas relativamente elevadas, inclusive abastecimento público.

CRM0552: Poço localizado na Fazenda São Mateus no Município de Ceará Mirim, totalmente penetrante com profundidade 83 m; diâmetro 6 polegadas e vazão máxima explotável de 80 m³/h. Localiza-se na subzona produtora B4, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de excelente qualidade: CE inferior a 100 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 1 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre variação sazonal de cargas hidráulicas para avaliação das potencialidades do SAB; avaliação da qualidade da água e possíveis modificações hidroquímicas na subzona produtora B4. Esta área é indicada para o atendimento de demandas médias a elevadas, inclusive abastecimento público.

CRM0146: Poço no Assentamento Riachão no Município de Ceará Mirim, totalmente penetrante com profundidade 76 m; diâmetro 6 polegadas e vazão máxima explotável de 90 m³/h, localizado na subzona produtora B4, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de excelente qualidade: CE inferior a 100 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 1 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre variação sazonal de cargas hidráulicas para avaliação das potencialidades do SAB; avaliação da qualidade da água e possíveis modificações hidroquímicas na subzona produtora B4. A área B4 é indicada para o atendimento de demandas médias a elevadas, inclusive abastecimento público.

Bacia Ceará Mirim (município de Extremoz)

EXT0274: Poço localizado no loteamento Caminho do Mar no município de Extremoz totalmente penetrante com profundidade 72 m; diâmetro 6 polegadas e vazão máxima explotável inferior a 20 m³/h, localizado na subzona D1, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de boa qualidade: CE inferior a 250 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 3 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre variação sazonal de cargas hidráulicas para avaliação das potencialidades do SAB; avaliação da qualidade da água e possíveis modificações hidroquímicas na subzona D1.

Bacia do Rio Doce (municípios Ceará Mirim, Extremoz e Zona Norte de Natal)

EXT0222: Piezômetro situado a margem esquerda da Lagoa de Extremoz totalmente penetrante com profundidade 30 m; diâmetro 2 polegadas, localizado na subzona C2, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em domínio com águas de boa qualidade: CE inferior a 250 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 3 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre a interação hidráulica entre a água subterrânea e a Lagoa de Extremoz; conhecimento da variação sazonal de cargas hidráulicas para avaliação das potencialidades do SAB; avaliação da qualidade da água e possíveis modificações hidroquímicas na subzona C2.

EXT0040: Poço público da captação Rio Doce; totalmente penetrante com profundidade 78 m; diâmetro 8 polegadas e vazão máxima explotável de 90 m³/h, localizado na subzona A3, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de excelente qualidade: CE inferior a 100 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 3 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre qualidade da águas e possíveis modificações hidroquímicas na subzona A3; controle da exploração das águas subterrâneas.

NAT0639: Poço público de Nova Natal (Zona Norte), totalmente penetrante com profundidade 54 m; diâmetro 8 polegadas e vazão máxima explotável de 120 m³/h. Localiza-se na subzona A3, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água está contaminada por nitrato: CE entre 250 µS/cm e 500 µS/cm e nitrato (expresso em N) superior a 10 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** Avaliação da qualidade da água e registro contínuo das modificações hidroquímicas no domínio urbano da Zona Norte de Natal que possam indicar mudanças na concentração de nitrato nas águas subterrâneas.

CRM0489: Piezômetro no sítio Massaranduba no município de Ceará Mirim, totalmente penetrante com profundidade 44 m; diâmetro 2 polegadas, localizado na subzona D1, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de excelente qualidade: CE inferior a 250 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 3 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre as variações sazonais de cargas hidráulicas para avaliação das potencialidades do SAB; avaliação da qualidade da água e possíveis modificações hidroquímicas na subzona D1.

Bacia de Escoamento difuso Leste (Município de Natal Nísia Floresta)

NAT1780: Poço público da captação Dunas na Zona Sul de Natal, totalmente penetrante com profundidade 95 m; diâmetro 8 polegadas, localizado na subzona A2, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água está contaminada por nitrato: CE menor que 250 e nitrato (expresso em N) superior a 10 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** Avaliação da qualidade da água e registro contínuo das modificações hidroquímicas que possam indicar mudanças na concentração de nitrato nas águas subterrâneas; controle da exploração de águas subterrâneas.

NAT1200: Poço no Hotel Porto do Mar na Via Costeira na Zona Sul de Natal parcialmente penetrante com profundidade 72 m; diâmetro 6 polegadas, localizado na subzona A2, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. **Objetivo do monitoramento:** Avaliação da qualidade da água e registro contínuo das modificações hidroquímicas que possam indicar mudanças na concentração de nitrato nas águas subterrâneas; controle da exploração de águas subterrâneas, inclusive riscos de intrusão salina.

NAT0659 e NAT0660: Sistema de piezômetro múltinível, instalado no Bairro de Ponta Negra. Pz1, com profundidade de 50 m (parcialmente penetrante) e Pz2 com profundidade de 105 m (totalmente penetrante). Localiza-se na subzona B2, em local de fácil acesso e deverão ser criadas condições de segurança para instalação do equipamento. Na área onde o mesmo está situado as águas do aquífero apresentam CE inferior a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e nitrato (expresso em N) entre 3 e 10 mg/L, portanto, afetadas por nitrato. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações que possam indicar contaminação das águas subterrâneas devido ao lançamento de efluentes domésticos da lagoa de estabilização de Ponta Negra com base nos dados de CE; Avaliação do comportamento hidrodinâmico do sistema aquífero no local; avaliação das variações sazonais de cargas hidráulicas do SAB.

NZF0404: Poço tubular próximo a localidade de Lagoa Amarela no município de Nisia Floresta, totalmente penetrante com profundidade de 104 m, diâmetro 6 polegadas, localizado na subzona C1 com capacidade de produção de 50 m^3/h , em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de boa qualidade: CE menor que 100 e nitrato (expresso em N) inferior a 1 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre as variações sazonais de cargas hidráulicas tendo em vista o conhecimento mais preciso das potencialidades do SAB; conhecimento da qualidade das águas e registo contínuo das possíveis modificações hidroquímicas.

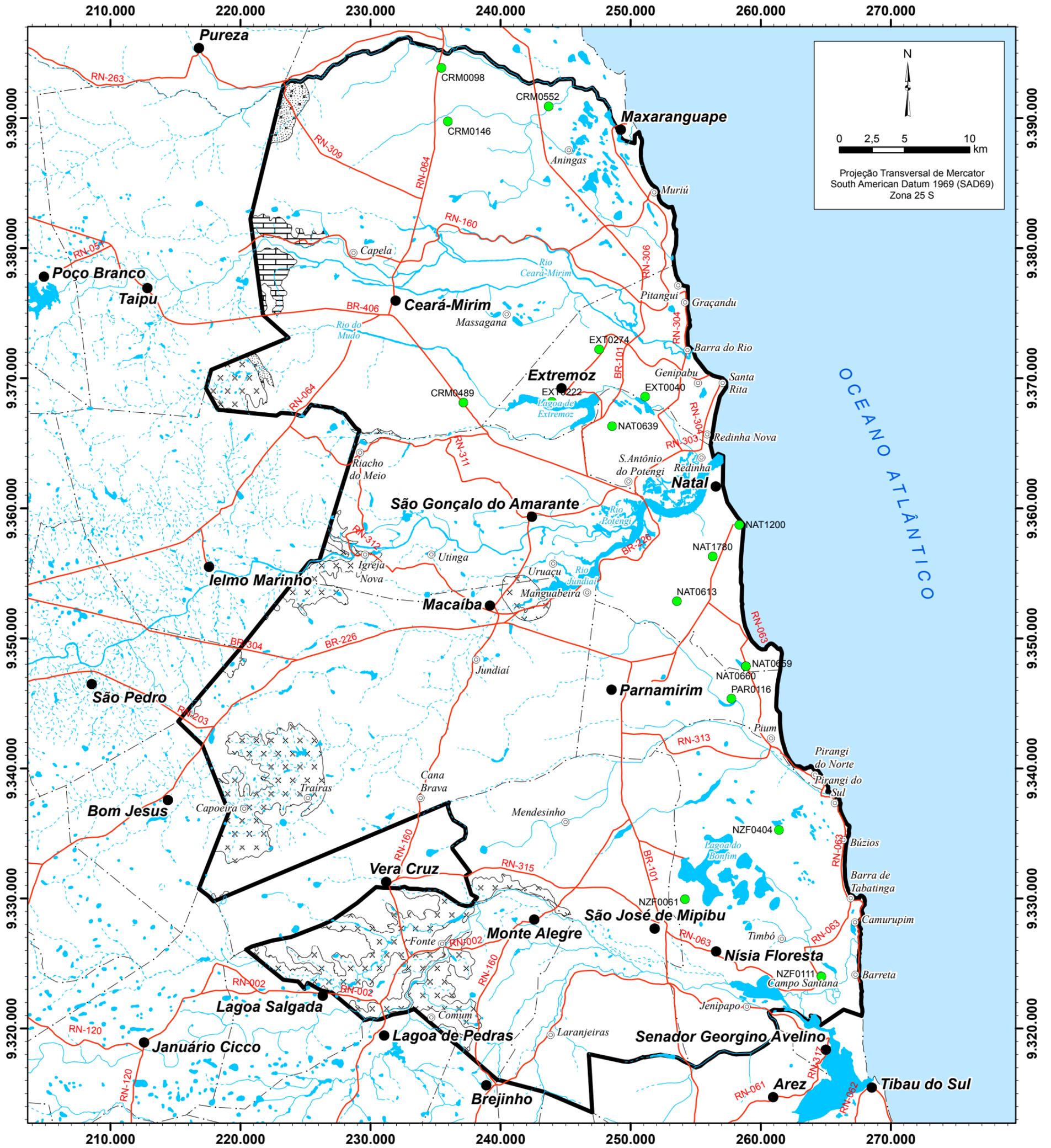
NZF0061: Poço público da captação Lagoa do Bonfim, Adutora Monsenhor Expedito, no município de Nisia Floresta. Poço totalmente penetrante com profundidade de 80 m, diâmetro 10 polegadas, localizado na subzona A1 com capacidade de produção de 100 m^3/h , em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de boa qualidade: CE menor que 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e nitrato (expresso em N) inferior a 1 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** obtenção de informações sobre a contaminação das águas subterrâneas por nitrato nas proximidades do referido poço tomando por base os dados de CE a serem obtidos continuamente; controle da exploração de águas subterrâneas.

NZF0111: Poço público da captação Campo de Santana em Nísia Floresta. Poço totalmente penetrante com profundidade de 94 m, diâmetro 6 polegadas, localizado na subzona D1 com capacidade de produção menor que 30 m³/h, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água está afetada por nitrato: CE menor que 250 µS/cm e nitrato (expresso em N) entre 3 e 10 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** Avaliação da qualidade da água e registro contínuo das modificações hidroquímicas que possam indicar mudanças na concentração de nitrato nas águas subterrâneas.

Bacia do Rio Pirangi (subbacia Pitimbu)

NAT613: Poço público localizado da captação San Vale, totalmente penetrante com profundidade de 82 m, diâmetro 10 polegadas, localizado na subzona A2 com capacidade de produção de 120 m³/h, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água está possui indícios de contaminação por nitrato: CE menor que 250 e nitrato (expresso em N) entre 3 e 10 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** Avaliação da qualidade da água e registro contínuo das modificações hidroquímicas que possam indicar mudanças na concentração de nitrato nas águas subterrâneas; controle da exploração das águas subterrâneas.

PAR0116: Poço público da captação do Jiqui, totalmente penetrante com profundidade de 49 m, diâmetro 8 polegadas, localizado na subzona A2 com capacidade de produção de 90 m³/h, em local de fácil acesso e condições razoáveis de segurança para a instalação e operação do equipamento. Situa-se em zona do aquífero na qual a água é de boa qualidade: CE inferior a 100 µS/cm e nitrato (expresso em N) inferior a 1 mg/L. **Objetivo do monitoramento:** Controle da exploração das águas subterrâneas, avaliação da qualidade das águas e registro de possíveis modificações hidroquímicas.



Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Legenda

- Pontos sugeridos para implantação dos sensores telemétricos

Geologia

- ▨ Formação Jandaíra
- ▨ Formação Açú
- ▨ Embasamento cristalino

Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- ⊙ Povoados ou assentamentos
- Estradas pavimentadas
- ▨ Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- ⋯ Rios intermitentes
- Rios perenes
- ⋯ Limites municipais
- ▭ Área de estudo

Localização da área de estudo



Figura 5.1. Localização dos pontos indicados para implantação de sensores telemétricos

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL

6 CONCLUSÕES

As conclusões acerca da área de estudo foram alcançadas permitindo a elaboração das propostas que orientam as estratégias de manejo apresentadas neste Volume 3 do Relatório Final. Estas estratégias foram estabelecidas a partir dos resultados das avaliações hidrogeológicas, da urbanização e de outras atividades impactantes nas águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal, sobre os quais as principais conclusões são apresentadas a seguir.

As unidades litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico na RMN são, da base para o topo: o embasamento cristalino pré-cambriano; formação Açú e formação Jandaíra da Bacia Potiguar; rochas carbonáticas cretáceas da sub-bacia Paraíba; formação Barreiras; sedimentos colúvio-eluvionares e coberturas sedimentares recentes com destaque para os depósitos eólicos de dunas, paleodunas e aluviões. Todas essas unidades, com níveis variáveis de potencialidade e qualidade, constituem os aquíferos da RMN. Entretanto, a formação Barreiras constitui a unidade aquífera (aquífero Barreiras) mais importante na área devido a sua elevada potencialidade hídrica, facilidade de captação e a excelente qualidade das águas em sua condição natural.

As dunas e as coberturas arenosas superficiais são componentes do sistema hidrogeológico com pouca representatividade como aquíferos, exercendo, entretanto, a importante função de condutores da água de infiltração em direção aos estratos inferiores do Barreiras, o que levou à denominação de Sistema Aquífero Barreiras (SAB) para o conjunto dessas unidades hidráulicas.

A compartimentação estrutural associada ao processo de formação das bacias sedimentares condicionou o aumento de espessura do SAB no sentido de oeste para leste, a partir das rochas do embasamento cristalino em direção à linha de costa, podendo atingir espessuras superiores a 100 m. As transmissividades do aquífero também crescem nessa direção, propiciando a ocorrência de setores preferenciais de maior potencialidade hidrogeológica.

O SAB comporta-se regionalmente como um sistema livre recarregado diretamente pelas chuvas com a ocorrência de semi-confinamentos localizados, condicionados, em geral, pela ocorrência de faciologias mais argilosas da formação Barreiras.

A avaliação isotópica associada ao modelo hidrometeorológico da RMN contribuiu para a compreensão da dinâmica do fluxo subterrâneo. Os isótopos ambientais de oxigênio e hidrogênio identificaram assinaturas isotópicas relativamente enriquecidas em ^{18}O nos fluxos subterrâneos rasos das regiões mais próximas à costa e relativo empobrecimento do ^{18}O nas águas rasas do oeste da área, nos

fluxos mais profundos do SAB e nas áreas de descarga na região costeira, evidenciando a migração das águas subterrâneas de oeste para leste.

A caracterização climática da RMN que corresponde a um clima tropical chuvoso com mínimos de precipitação durante o verão e chuvas distribuídas de março a agosto, entretanto, fortemente concentradas em junho e julho, contribui para evidenciar a intensa correlação entre as águas subterrâneas e superficiais, visto que a perenidade dos rios, riachos e lagoas no período de estiagem é mantida pelas contribuições das águas subterrâneas.

A compreensão obtida com a avaliação dos dados hidráulicos do SAB, a elaboração do mapa potenciométrico e a avaliação isotópica permitiu definir que o fluxo subterrâneo regional está orientado na direção de oeste para leste com inflexões para os vales dos principais rios e riachos. As áreas de recarga ocorrem predominantemente nos “tabuleiros” e as áreas de descarga situam-se ao longo das drenagens superficiais (rios e riachos) e nas áreas costeiras de escoamento difuso, situadas nos interflúvios. Os rios e riachos perenes são alimentados pelas águas subterrâneas e, portanto, efluentes em relação ao SAB. Destaca-se o importante papel das dunas na recarga local do SAB, favorecida pela elevada capacidade desses sedimentos à infiltração das águas pluviais.

O cadastro de poços consistido neste estudo conta com cerca de 4.600 registros de poços tubulares, cacimbas (amazonas) e piezômetros, incluindo também algumas nascentes. Apesar de inúmeros poços não apresentarem informações sobre o perfil construtivo e o aquífero que exploram, estima-se que mais de 95% dos poços captam águas do SAB. Os dados inseridos no cadastro, entre diversas outras aplicações, permitiram calcular o volume de água subterrânea explorado do SAB, sendo estimado um volume total de $167 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

O suprimento total de água para a RMN é de $206 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, sendo que as águas exploradas do SAB representam 81% e as águas superficiais contribuem com 19% ($39 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), provenientes principalmente das captações na lagoa de Extremoz e Jiqui. Os sistemas de abastecimento público respondem por 68% do suprimento total ($142 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), sendo estimados 40% de perdas de água nos sistemas ($57 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$). As alternativas individuais de suprimento de água, na sua totalidade realizada a partir de poços, correspondem a 32% do suprimento total.

As estimativas de suprimento de água, excluindo-se os usos na irrigação, balizaram os cálculos de geração dos esgotos sanitários, totalizados em $106 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ na RMN. Do volume total de esgoto produzido, apenas 12% ($13 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) são coletados e tratados através dos sistemas de esgotamento sanitários, sendo que o restante é destinado através de alternativas individuais, na grande

maioria, por fossas (sépticas e rudimentares). Os esgotos destinados por fossas e eventuais vazamentos dos sistemas de esgotamento sanitário infiltram no subsolo e correspondem aos aportes de esgotos ao aquífero, estimados em um volume total de $74 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Os municípios de Extremoz e Nísia Floresta não possuem sistemas de coleta e tratamento, sendo que destinam a totalidade dos esgotos a partir de alternativas individuais, a maioria fossas. Os demais municípios da RMN possuem atendimento parcial de esgotamento sanitário, sendo que Natal tem a maior cobertura, cerca de 30% da população atendida, e Parnamirim a menor com apenas 1% da população atendida.

As perdas das redes de abastecimento de água e os esgotos infiltrados representam as contribuições da recarga urbana, totalizando um volume de $131 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Ressalta-se que 78% desse volume ($102 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) concentram-se nas áreas urbanas de Natal e Parnamirim.

A recarga urbana total ($131 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) é capaz de suprir 78% de todo o volume explotado do SAB ($167 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) e, desse modo, apenas um volume anual de $36 \times 10^6 \text{ m}^3$ é retirado da reserva do aquífero, calculada em $478 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Assim, menos de 10% das reservas são comprometidas atualmente pelo volume explotado, enquanto, se as recargas urbanas fossem eliminadas, o comprometimento seria de 35%.

O balanço hidrogeológico do SAB, considerando as reservas reguladoras, recargas urbanas e volumes explotados, calculou uma recarga total de $514 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ que representa uma eficiência de 19% em relação à precipitação ocorrida na RMN. As potencialidades do SAB, comparadas com as projeções de demandas futuras para 2020 ($297 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) e 2030 ($352 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) indicam que há o potencial de as águas subterrâneas suprirem totalmente as demandas nesse período avaliado.

Nos municípios de Natal e Parnamirim há um razoável equilíbrio entre as retiradas e as volume de recarga urbana, propiciando uma condição estável das cargas hidráulicas. Entretanto, a diminuição da recarga urbana, pela ampliação do esgotamento sanitário (eliminação das fossas) e pelo aumento da eficiência dos sistemas de abastecimento de água (diminuição das perdas), provocaria um déficit quantitativo nessas áreas e, provavelmente, acarretaria a depleção local das cargas hidráulicas.

Os cenários hipotéticos de diminuição das parcelas da recarga urbana, produzidos por modelos numéricos de fluxo do SAB, demonstraram as quedas dos níveis potenciométricos em Natal e Parnamirim, sobretudo, nas regiões

costeiras das zonas norte e leste de Natal. Entretanto, as simulações computacionais mostraram também que os sistemas de drenagem urbana com a infiltração das águas pluviais por meio de lagoas configuram-se alternativas para o aumento das recargas nas áreas urbanas, desde que adequadamente construídos, mantidos e operados.

A avaliação da quantidade das águas subterrâneas na RMN não apontou problemas de superexploração das águas subterrâneas. Porém, as melhorias nos índices de saneamento básico deverão ser acompanhadas de uma adequada gestão do uso das águas subterrâneas, da quantidade de poços e dos volumes explorados, sobretudo em Natal e Parnamirim, visando evitar o desequilíbrio quantitativo nesses municípios.

As águas do SAB foram caracterizadas, no geral, como águas cloretadas sódicas, de circulação rasa, baixo STD e baixo pH, ocorrendo águas de elevada qualidade em todos os municípios da RMN. Entretanto, na região oeste da RMN, no município de Macaíba e em parte dos municípios de Ceará-Mirim, Monte Alegre e São José do Mipibu, predominam águas com STD acima de 200 mg/L. Já no município de Natal e em parte do município de Parnamirim, a contaminação por nitrato compromete fortemente a qualidade natural das águas do SAB. O zoneamento qualitativo das águas do SAB, baseado sobretudo na variação da qualidade natural e nas alterações por influência antrópica (contaminação por nitrato), auxiliaram na delimitação de áreas de interesse elencadas no mapa de zonas exploráveis.

A ocorrência de nitrato na RMN foi detectada em concentrações superiores ao limite estabelecido pela Portaria MS nº 2914/11 em 23% dos pontos amostrados em toda a RMN e 55% ao se considerar apenas o município de Natal. Estas contaminações foram detectadas pontualmente em São Gonçalo do Amarante, Ceará-Mirim e São José do Mipibu, à montante da Lagoa do Bonfim, em parte da área urbana de Parnamirim e na maior parte do município de Natal. Destaca-se que foi observada uma evolução alarmante da contaminação por nitrato na zona norte de Natal.

As avaliações da quantidade e da qualidade das águas subterrâneas do SAB permitiram identificar áreas com potencialidades para o suprimento das demandas e com boa qualidade; áreas com potencialidade, mas comprometidas pela contaminação das águas subterrâneas por nitrato e áreas com boa qualidade, mas de baixa potencialidade hídrica. A identificação dessas áreas permitirá aos gestores dos recursos hídricos e às municipalidades desenvolver seus programas de proteção dos recursos hídricos subterrâneos, bem como estabelecer seu planejamento de abastecimento de água e dos serviços de saneamento básico.

O mapa de zonas explotáveis elaborado neste estudo apresenta áreas de interesse para suprir o abastecimento público da RMN, bem como as que apresentam problemas de qualidade por contaminação de nitrato. Além deste zoneamento, os mapas de vulnerabilidade contendo a interpolação das atividades potenciais de contaminação também representam elevada contribuição à gestão dos recursos hídricos, sobretudo como ferramental ao ordenamento e uso do solo com foco na definição de áreas com interesse à proteção e/ou restrição de uso das águas subterrâneas.

A RMN apresenta, de maneira geral, elevadas potencialidades hídricas das águas subterrâneas do SAB para o suprimento das demandas, entretanto, regionalmente contaminadas por nitrato nos municípios de Natal e Parnamirim e, localmente, nas demais sedes municipais e em algumas comunidades rurais. O cenário de contaminação encontrado deve-se, sobretudo a ampla utilização de fossas na destinação dos esgotos. A continuidade desse modelo de destinação dos esgotos comprometerá importantes reservas hídricas da RMN para o abastecimento das futuras demandas.

Os testes de aquífero realizados nos conjuntos de poços construídos neste trabalho (poços exploratórios e os respectivos poços de observação) contribuíram na elucidação do comportamento do SAB em regiões com escassas informações acerca da espessura, composição litológica e parâmetros hidráulicos do SAB, ampliando o elenco de informações que subsidiaram a determinação das potencialidades do SAB, caracterização da qualidade e, desse modo, com a elaboração do mapa das zonas explotáveis. Deve-se destacar a confirmação das elevadas potencialidades hídricas do SAB na região NW da RMN, a partir dos resultados obtidos neste estudo.

As avaliações realizadas no âmbito desses estudos hidrogeológicos sintetizam que os principais problemas encontrados na RMN com potencialidade de comprometer as reservas hídricas subterrâneas do SAB estão associados à clandestinidade de poços (93% não possuem outorga de uso da água) e aos baixos índices de coleta e tratamento de esgotos sanitários. Diante deste cenário conclui-se que os problemas encontrados não estão relacionados à ausência de legislação, mas na pouca efetividade da fiscalização e no baixo nível de atendimento às legislações vigentes.

O presente estudo apresentou um elenco de orientações para o manejo dos recursos hídricos subterrâneos na RMN que são discutidos neste relatório e resumidos em um quadro no **Apêndice J** para facilitar a observação das diversas contribuições desse trabalho à gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.649:** Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 10.004:** Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12.212:** Poço Tubular: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006. 10 p.

_____. **NBR 15.515-1:** Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15.515-2:** Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação confirmatória. Rio de Janeiro, 2011.

ALDAN, N. B. **Implicações Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu (RN) Decorrentes das Diversas Formas de Uso e Ocupação do Solo.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Agenda Nacional de Águas Subterrâneas.** Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos/AguasSubterraneas.aspx>. Acesso em: abr. 2012.

APHA. American Public Health Association. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21st ed. American Public Health Association, Washington, D.C., 2005.

ARCGIS. **Environmental Systems Research Institute Inc. – ESRI.** Versão 10. 2011.

ASMUS, H. E. Controle Estrutural da Deposição Mesozóica nas Bacias da Margem Continental Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 3. São Paulo, 1975. p. 160-175.

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

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; GIANNINI, P. C. F. **Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Estado do Rio Grande do Norte.** Revista do Instituto de Geociências da USP, 4:(2). São Paulo, 2004. p. 1-12.

BEZERRA, F. H. R. **Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences. 2001. p. 61-75.

BEZERRA, F. H. R.; SAAD, A.; MOREIRA, J. A. M.; LINS, F. A. P. L.; NOGUEIRA, A. M. B.; MACEDO, J. W. P.; LUCENA, L. R. F.; NAZARÉ JUNIOR, D. Estruturação neotectônica do litoral de Natal-RN, com base na correlação entre

dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. *In*: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, IV. **Anais...** SBG, Núcleo MG. Bol. 12. Belo Horizonte, 1993. p. 317-321.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conjunto de Normas Legais: recursos hídricos**. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 7. ed. Brasília, 2011.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. **Tectonic History of the Borborema Province, Northeast Brazil**. *In*: Cordani, U. G., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31ST IGC, 2000. p. 151-182.

CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. **Estudo Hidrogeológico de Natal, RN**. CAERN/CONTEGE. Natal, 1970.

_____. **Captação de Novo Campo**: Testes de Produção nos Poços Tubulares. CAERN/PLANAT. Natal, 1977.

_____. **Captação de Ponta Negra**: Poços Tubulares. CAERN/ARCO. Natal, 1978.

_____. **Captação do Conjunto Pirangi**: Poços Produtores. CAERN/ARCO. Natal, 1979.

_____. **Estudo Geofísico**: Captação de Novo Campo - Poço N^o 3. Natal, 1982a.

_____. **Captação do Conjunto Candelária**: Poços Produtores. CAERN/PLANAT. Natal, 1982b.

_____. **Captação de Felipe Camarão e Cidade Nova**: Poços Produtores. Relatório Final. CAERN/PLANAT. Natal, 1982c.

_____. **Captação de Cidade Satélite**: Poços Produtores. CAERN/ARCO. Natal, 1983a.

_____. **Dimensionamento das Condições de Exploração dos Poços Tubulares da Bateria de Cidade Satélite - Natal**. PLANAT/CAERN, Natal, 1983b.

_____. **Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana de Natal**. Relatório Inédito. PLANAT/CAERN. Natal, 1983c.

_____. **Diagnóstico e Plano de Ampliação das Captações de Água Subterrânea de Natal/RN**. PLANAT/CAERN. Natal, 1983d.

_____. **Captação de Novo Campo - Natal**: Reavaliação da Bateria Acrescida dos Poços P-3A, P-11A, P-15, P-16 e P-17. ATEPE/CAERN. Natal, 1986a.

_____. **Captação do Conjunto Pirangi - Natal**: Reavaliação da Bateria Acrescida dos Poços P-3 e P-4. ATEPE/CAERN. Natal, 1986b.

_____. **Captação de Ponta Negra - Natal:** Reavaliação da Bateria Acrescida dos Poços P-1A, P-4 e P-5. ATEPE/CAERN, Natal, 1986c.

_____. **Avaliação das Possibilidades de Infiltração de Efluentes Domésticos no Aquífero Dunas na Área de Natal/RN.** ACQ'UAPLAN/CAERN. Natal, 1988.

_____. **Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal/RN.** Natal, 1995.

_____. **Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal – Zona Norte.** Natal, 1998.

_____. **Estudo das Potencialidades Hídricas das bacias hidrográficas de Maxaranguape, Punau e Boa Cica.** Relatório Técnico. FUNPEC/CAERN. Natal, 2008.

CARVALHO JÚNIOR, E. R. **Contaminação das Águas Subterrâneas por Nitrato e sua Relação com a Estrutura Hidrogeológica nos Bairros de Pirangi e Ponta Negra, Natal, RN.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2001.

CASTANY, G. **Prospección y explotación de las aguas subterráneas.** Barcelona, Ed. Omega, 1975. 738 p.

CASTRO, V. L. L. **Águas Subterrâneas no Curso Inferior da Bacia do Rio Doce/RN – Subsídios para um Gerenciamento Integrado.** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2000.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e segurança alimentar. **Revista ITEM**, nº 77, 1º Trimestre. Belo Horizonte, 2008. p. 19 – 21.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in Hydrogeology.** New York, Boca Raton: Lewis Publishers, 1997. 328 p.

CÓRDOBA, V. C.; JARDIM DE SÁ, E. F.; SOUZA, D. C.; ANTUNES, A. F. Bacia Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 15(2). 2007. p. 391-403.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil - Textos, Mapas e SIG.** Recife, 2003.

_____. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte.** Relatórios de diagnósticos dos municípios da região metropolitana de Natal. Recife, 2005.

_____. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte.** Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000. Recife, 2006. 119 p.

CUNHA, E. M. S. **Características e planejamento ambiental do estuário do Potengi.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1982. 121 p.

CUSTÓDIO, E. **Gestión y protección de acuíferos**. II Congreso Latino Americano de Hidrología Subterránea. Santiago de Chile. Apuntes del Curso de Actualización Profesional. 1994.

CUSTODIO, E; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea**. Ediciones Omega, Barcelona, 2001.

DINIZ FILHO, J. B. **Recursos hídricos subterrâneos no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

DUARTE, M. C. **Utilização dos índices do estado trófico (IET) e qualidade da água na caracterização limnológica e sanitária das lagoas de Bonfim, Extremoz e Jiqui - RN**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1999. 144 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Brasil em Relevo**. Monitoramento por Satélite. Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: mar. 2011.

_____. **Sistemas de Produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: jan. 2012.

FADE-UFPE. Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. **Relatório Temático da Dimensão Físico-Territorial - Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável para a Região Metropolitana**. Recife, 2006.

FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C.; PORTO LIRA, H. M. Relações Estratigráficas e Estruturais entre a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira PE/PB/RN – Uma Hipótese de Trabalho. *In*: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas. Florianópolis, 2002.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrologia: conceitos e aplicações**. 3. Ed. Ver. E ampl. Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FENN, D; HANLEY, K; GEARE, T. **Use of the water balance method for predicting leachate generation form solid waste disposal sites**, USEPA - SW168. 1975.

FENZL, N. **Introdução à Geoquímica**. Gráfica e Ed. Universitária, UFPA. Belém, 1988. 189 p.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**, 4th ed. Prentice Hall, 2001.

FIGUERÊDO, E. M. **Análise da contaminação por nitrato no aquífero livre e semiconfinado na área urbanizada de Natal/RN**. Natal, 1990.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.** WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, 1988.

_____. **Groundwater pollution risk evaluation: a methodology based on available data.** CEPIS/PAHO Technical Report. Lima/Peru, 1998. 78 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D. C.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Banco Mundial / Servmar. São Paulo, 2006.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENEZES, L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geol. USP**, Sér. Cient., v. 6, n. 2. São Paulo, 2006. p. 61-70.

GIANNINI, P. C. F.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; TATUMI, S. H. **Idade TL e propriedades sedimentológicas na planície costeira do Rio Grande do Norte.** *In*: Congresso da ABEQUA, 8. Mariluz/Imbé, 2001. p. 135-136.

GUIGUER, N.; FRANZ, T. **Visual MODFLOW.** User's Manual. Waterloo Hydrogeologic Inc.. Waterloo, Canada, 1996. 231 p.

HANTUSH, M. S.; JACOB, C.E. **Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer.** *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 36, no. 1. 1955. p. 95-100.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. **Using groundwater levels to estimate recharge.** *Hydrogeology Journal*, 10 (1). 2002. p. 91-109.

HILLIER, A. **Manual for working with ArcGis 10.** University of Pennsylvania. Pennsylvania, 2011.

HOUNSLOW, A. W. **Water Quality Data Analysis and Interpretation.** 1995.

HOWARD, K. W. F. **Impacts of urban development on groundwater.** *In*: E. Eyles (ed) *Environmental geology of urban areas.* Special publication of the Geological Association of Canada, Geotext, 3. Canadá, 1997. p. 93-104.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções de Cartografia, 1998.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/indice.htm>. Acesso em: abr. 2011.

_____. **Censo Demográfico 2000.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: jan. 2011.

_____. **Produção Agrícola Municipal.** v. 35. Rio de Janeiro, 2008. p. 1-93.

_____. **Produção da Pecuária Municipal, 2009.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/temas.php?nomenum=Ba%EDa%20...>>. Acesso em: ago. 2011.

_____. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwiondow.htm?1>>. Acesso em: jan. 2012.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações e dados.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/>. Acesso em: mar. 2011.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Reconhecimento hidrogeológico e estudo sobre a qualidade atual das águas subterrâneas da Grande Natal.** Relatório nº 14.813 - 2 volumes - / Secretaria de Planejamento do Rio Grande do Norte - SEPLAN. São Paulo, 1981.

_____. **Estudo Hidrogeológico Regional do Estado do Rio Grande do Norte.** Relatório 15.795 - 9 volumes. São Paulo, 1982.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2ed. São Paulo, 2009. p.104.

_____. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço.** São Paulo, Instituto Geológico, 2010. 60 p.

KRUSEMAN, G. P. **Recharge from intermittent flow.** *In:* Simmers I (ed) Recharge of phreatic aquifers in (semi-)arid areas. IAH Int Contrib Hydrogeol 19. AA Balkema, Rotterdam, 1997. p. 145–184.

LACERDA, A. M. A. **Caracterização geológica e hidrogeológica da região de Monte Alegre-RN.** Relatório de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1999. 83 p.

LERNER, D. N.; ISSAR, A. S.; SIMMERS, I. **Groundwater Recharge:** a guide to understanding and estimating natural recharge. International Association of Hydrogeologists, vol 8. Hannover: Heise, 1990.

LIMA FILHO, M. F. Stratigraphic evolution of the Pernambuco - Paraíba Basin and its implications for the development paleogeography of northeast of Brazil. *In:* SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7. **Anais...**, 1999. p. 34-36.

LIMA, W. S.; ALBERTÃO. G. A; LIMA, F. H. O. **Bacia Pernambuco - Paraíba.** Fundação Paleontológica Phoenix, 2003. Disponível em: <http://www.phoenix.org.br/Phoenixx56_JUL03.htm>. Acesso em: set. 2011.

LLAMAS, M. R.; MARTÍNEZ-SANTOS, P. **Coping with the Silent Revolution of intensive groundwater use.** *In:* Int. Water Demand Conf. 2004. CD-ROM, pp.:14.

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água.** U. S. Agency for International Development. Recife/PE, 1965. 75 p.

LUCENA, L. R. F. **Implicações Tectônicas na Hidrologia do Aquífero Barreiras e Sistema Lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1999.

_____. **Implicação da compartimentação estrutural no aquífero Barreiras na área da bacia do rio Pirangi - RN.** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

LUCENA, L. R. F.; ROSA FILHO, E. F.; BITTENCOURT, A. V. L. Potenciometria do aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do rio Pirangi - RN e considerações sobre a relação com mananciais superficiais. **Revista Águas Subterrâneas** / 18. São Paulo, 2004.

LUCENA, L. R. F.; SANTOS, N. C. F. **Estudo Hidrológico e Monitoramento da bacia do rio Pirangi - RN.** Natal, 2001.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, 18. São Paulo, 1988. p. 476 - 482.

MABESOONE, J. M.; CAMPOS E SILVA, A.; BUERLEN, K.; Estratigrafia e Origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, 2. São Paulo, 1972. p. 173-188.

MABESSONE, J. M.; ROLIM, J. L.; CASTRO, C. **Late cretaceous and cenozoic history of northeastern, Brasil.** *Geologie Mijnbouw*, 1977. p. 56-129-139.

MANOEL FILHO, J.; CASTRO, V. L. L. Avaliação e Exploração do aquífero Dunas-Barreiras na região do sistema lacustre do Bonfim-RN. *In*: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis, 2002.

McDONALD, M. G.; HARBAUGH, A. W. **A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model:** techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey. 1988. 586 p.

McNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water Quality Sourcebook: A Guide to Water Quality Parameters.** Ottawa, Canadá 1979. 89 p.

MEDEIROS, T. H. L. **Evolução geomorfológica (des) caracterização e formas de uso das lagoas da cidade do Natal/RN.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2001. 105 p.

MELO, J. G. **Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal – RN.** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1995.

_____. **Avaliação das potencialidades e condições para a exploração das águas subterrâneas da área de emaus, Parnamirim - RN.** Recursos hídricos e qualidade das águas. Departamento de Geologia da UFRN. Natal, 2008.

_____. **Águas subterrâneas em regiões metropolitanas: O caso da região metropolitana de Natal.** Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) / Agência Nacional da Água (ANA). Brasília, 2009.

MELO, J. G.; OLIVEIRA, J. A.; LOPES, V. L.; DINIZ, FILHO, J. B.; VASCONCELOS, M. B.; SILVA, F. H. R. S. Avaliação integrada dos recursos de águas subterrâneas e superficiais da bacia do rio Boqueirão, a oeste de Touros, RN. **Revista Águas Subterrâneas**, v.19, n.2. São Paulo, 2005. p. 121-136.

MELO, J. G.; QUEIROZ, M. The effects on urban development of the groundwater and it's quality in Natal, Brazil. New approaches characterizing groundwater flow. *In: XXXI International of Hydrogeologists Congress. Munique, 2001.*

MELO, J. G.; VASCONCELOS, M. B.; MORAIS, S. D.; ALVES, R. S. Avaliação hidrogeológica da zona norte da cidade Natal (RN) e os problemas associados ao desenvolvimento urbano. **Revista ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.** Porto Alegre, 2011.

MELO, J. G.; VASCONCELOS, M. B.; OLIVEIRA, J.; MEDEIROS, J. I. **Avaliação das condições hidroambientais e definição de estratégias de manejo dos recursos hídricos nos domínios urbanos e periurbanos da zona norte de Natal/RN.** Relatório final de pesquisa. MCT/CNPq/CT-Hidro/CT-Agro, 2009.

MORAES, D. M. F. **Geologia da Porção Central da Sub-Bacia de Olinda, Bacia da Paraíba. Centro de Tecnologia e Geociências.** Relatório de graduação, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2005. 64 p.

MOTA, S. Preservação e conservação de recursos hídricos. 2.ed. Rio de Janeiro, ABES, 1999.

NASCIMENTO, G. F. **Avaliação de nitrato e metais pesados em águas subterrâneas da cidade de Natal/RN.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2001.

NATAL. Prefeitura Municipal do Natal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo: Departamento de Informação, Pesquisa e Estatística. **Anuário Natal.** Natal, 2006.

NEUMAN, S. P. **Theory of flow unconfined aquifers considering delayed response to the water table.** Water Resources Research 8. 1972. p. 1031-1045.

NEUMAN, S. P.; WITHERSPOON, P. A. **Theory of flow in a confined two aquifer system.** Water Resources Research 5 (4). 1969. p. 803-816.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro, IBGE, 1979.

NOGUEIRA, F. C. C.; BEZERRA, F. H. R.; CASTRO, D. L. Deformação rúptil em depósitos da formação Barreiras na porção leste da Bacia Potiguar. **Geol. USP, Sér. cient.** [online], vol.6, n.2. São Paulo, 2006. p. 51-59.

NUNES, E. **Aspectos morfo-estruturais, fisiográficos e de coberturas de alteração intempéricas da Grande Natal (RN), com base para o**

macrozoneamento geoambiental. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 1996. 172 p.

PENZ JUNIOR, A. M. Importância da água na produção de frangos de corte. *In:* IV Simpósio Brasil Sul de Avicultura. Chapecó-SC, 2003.

PEREIRA, A. R. **Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather.** *Bragantia*, 64(2). 2005. p. 311-313.

PEREIRA R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. A.; SILVA JUNIOR, G. C.; MATTOS, A. Avaliação do impacto da captação d'água na lagoa do Bonfim/RN – Brasil. *Rev. Águas Subterrâneas*, 16. São Paulo, 2002. p. 75 – 84.

PESSOA NETO, O. C.; SOARES, U. M.; SILVA, J. G. F.; ROESNER, E. H.; FLORENCIO, C. P.; SOUZA, C. A. V. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2). 2007. p. 357-369.

PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; OLIVEIRA, A. F.; MOTÉ, F.; MARÇAL, M. S.; SILVA, J. A. F.; FERREIRA, M. I. P. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Macaé-RJ. *In:* XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais...* Natal, 2009. p. 4247 - 4254.

PYNE, R. D. **Groundwater Recharge and well**, Lewis Publishers. US, 1995.

RAND, H. M. **Estudos geofísicos na faixa litorânea no sul do Recife.** Tese (Livre-Docência), Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1976. 101 p.

ROSEN L.; LEGRAN H. E. **Systematic makings of early stage hydrogeologic conceptual models.** *Groundwater*, 38. 2000. p. 887-893.

SÃO GONÇALO DO AMARANTE. Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Amarante. **Relatório Técnico – Parte do Plano Municipal de Saneamento Básico.** Serviço Público de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. São Gonçalo do Amarante, 2010.

SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge.** *Hydrogeologic J DOI* 10.1007/s10040-001-0176-2. 2002.

SEMARH. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO RN. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Maxaranguape.** PRRH-BHRM/RN. Natal, 2010.

SEMOPI. SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS E INFRAESTRUTURA DE NATAL. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Natal – Manual de Drenagem.** L.R. Engenharia e Consultoria Técnica / SEMOPI. Natal, 2009

SERHID. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Estudo da disponibilidade hídrica da lagoa do Bonfim.** COSTA/SERHID. Natal, 1997.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte.** Relatório Técnico. HIDROSERVICE/SERHID. Natal, 1998a.

_____. **Pesquisa Hidrogeológica do Complexo Lagunar do Bonfim.** Natal, 1998b.

_____. **Estudo de identificação, avaliação de alternativas de captação e elaboração de projeto básico para a captação das águas da adutora Monsenhor Exedito.** TC-BR/SERHID. Natal, 2002.

_____. **Quantificação da oferta hídrica da região da lagoa de Extremoz/RN.** Engesoft/SERHID. Natal, 2004.

_____. **Cadastramento e nivelamento de poços do aquífero Barreiras no município de Natal/RN.** Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico - FUNCERN. Relatório Final. FUNCERN/SERHID. Natal, 2005.

SILVA, J. A. **Gestão de recursos hídricos e sistemas de informações geográficas: contribuições para a organização sócio-espaial do Pontal do Paranapanema-SP.** Tese (Doutorado), Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2006.

SIMMERS, I. **Recharge of phreatic aquifers in (semi) arid areas.** IAH Int. Contrib. Hydrogeology 19, AA Balkema, Rotterdam, 1997. 277p.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.** Banco de dados. 2008. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=6>>. Acesso em: jan. 2012.

_____. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.** Banco de dados. 2010. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=95>>. Acesso em: jan. 2012.

SOUZA, D. L. G.; HORA NETO, J. A.; LOPES, J. R.; FERREIRA, L. B.; GUIMARÃES, M. E. S.; BARBOSA, Z. H. C. **Drenagem, Comunidade e Saúde: A má utilização da lagoa dos Potiguares em Morro Branco.** Holos, Ano 26, Vol. 1. Natal, 2010. p. 83-91.

SOUZA, L. C. **Águas Subterrâneas e a Legislação Brasileira.** Curitiba, Ed. Juruá, 2009. 236 p.

STEIN, P. **Resultados da perfuração do poço P-6 no Campus Central Universitário da UFRN.** Natal, 2003.

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **PLIRHINE – Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste.** Recife, 1980.

SUGUIO, K.; BIDEGAIN, J. C.; MORNER, N. A. Dados preliminares sobre as idades paleomagnéticas do Grupo Barreiras e da Formação São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, n.2. São Paulo, 1986. p.171-175.

THORNTON, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geographical Review, 38(1). New York, 1948. p. 55-94.

THORNTON, C. W. MATHER, J. R. The water balance Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. **Publications in Climatology**, vol. VIII, n.1. 1955. 104 p.

UNITED NATIONS. **Our Common Future**. World Commission on Environment and Development Report. 1987.

VARNIER, C. L. **O efeito do nitrogênio proveniente de sistemas de saneamento *in situ* a qualidade de águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 150 p.

VASCONCELOS, M. B. **Análise integrada dos efeitos da expansão urbana nas águas subterrâneas como suporte a gestão dos recursos hídricos da zona norte de Natal/RN**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2010. 150 p.

VASCONCELOS, N. S. **O Avanço da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas da zona sul de Natal/RN**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, 90 (5). Ottawa, 1985. p. 8995-9005.

ZAPOROZEC, A. **Graphical interpretation of water-quality data: ground water**. v 10, n 2. 1972. p. 32-43.

