

GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE

**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS**

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E CONVIVÊNCIA  
COM O SEMIÁRIDO POTIGUAR

**Contrato nº 029/2010**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO MANEJO  
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL À REGIÃO METROPOLITANA  
DE NATAL (BLOCO LITORAL SUL)**

*Relatório Final*  
**Volume 3 - Estratégias de Manejo de Uso Sustentável  
das Águas Subterrâneas**  
*Julho/2012*



**Governo do Estado do Rio Grande do Norte**

Rosalba Ciarlini

Governadora

**Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMARH**

Antônio Gilberto de Oliveira Jales

Secretário

**Programa de Desenvolvimento Sustentável e Convivência com o Semiárido  
Potiguar – PSP/RN**

Ieda Maria de Melo Cortez

Coordenadora

**Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH/RN**

Joana D’Arc Freire de Medeiros

Coordenadora

### **Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização**

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

### **Mobilização Social:**

Lyana Gomes de Melo Fonseca (COGERH/SEMARH-RN)  
Marlise Paiva da Silva (COGERH/SEMARH-RN)  
Sueli Paulo Teixeira Costa (COGERH/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  
Altair Tadeu Alexandre  
Ana Cecília Hardt  
André Souza Cabral  
Andressa Araújo  
Antônio Carlos Lima Pereira  
Bruno Cesar Saraiva Dantas  
Bruno Pirilo Conicelli  
Cícero André de Araújo Neto  
Claudete Rodrigues de Souza  
Daniel Delatim Simonato  
Eduardo Pereira da Silva Junior  
Elaine Cristina da Cunha  
Elvio Saviato Junior  
Emanuel S. P. L'Apicciarella

Frederico Presotto  
Juliana F. da Silva Cabral  
Janete Monteiro de Souza  
Janny Juliana de Macêdo  
Jorge Ramón Penaranda Salgado  
Leandro José Gaspar de Faria  
Lidjia Bruna Siqueira da Silva  
Marcelo Freitas Marques  
Marcio Costa Abreu  
Marco Battaini  
Maria Anísia de Castro Pereira  
Mateus Delatim Simonato  
Maurício Prado Alves  
Rejanne Alves da Silva França  
Tereza Cristina Campos Falcão





**GOVERNO DO RIO GRANDE DO NORTE  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A ORIENTAÇÃO DO  
MANEJO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL SUL À  
REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL (BLOCO LITORAL SUL)**

**RELATÓRIO FINAL**

**VOLUME 3  
ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE USO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS**

**PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E  
CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO POTIGUAR  
CONTRATO Nº029/2010**

<b>Relatório Final Volume 3</b>	<b>Servmar Serviços Técnicos Ambientais Ltda. Julho, 2012.</b>
-------------------------------------	--

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – SEMARH  
Rua Dona Maria, 1884 – Capim Macio  
CEP: 59.082-430 – Natal - RN  
Tel: (84) 3232-2400 – Fax: (84) 3232-2411  
Endereço eletrônico: <http://www.semarh.rn.gov.br>

Equipe:  
Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH  
Programa de Desenvolvimento Sustentável e Convivência com o Semiárido Potiguar – PSP

Elaboração e execução:  
SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.  
Av. Ceci, 2206 – Planalto Paulista  
São Paulo – SP  
CEP: 04.065-004  
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 do Litoral Sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul).

Volume 3 – Estratégias de Manejo de Uso Sustentável das Águas Subterrâneas

Natal: PSP/SEMARH, 2012

1. Recursos Hídricos
2. Aquífero Barreiras
  - I. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
  - II. SERVMAR Serviços Técnicos Ambientais Ltda.



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	MAPA DAS ZONAS EXPLOTÁVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA .....	3
2.1	Procedimentos metodológicos .....	3
2.2	Zonas potencialmente explotáveis .....	5
2.3	Considerações sobre as zonas potencialmente explotáveis .....	8
3	ZONEAMENTO QUANTO A CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, CONFORME A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 396/2008 .....	9
4	DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANEJO VISANDO À PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SEU USO SUSTENTÁVEL NO BLS .....	19
4.1	Políticas afins com a gestão dos recursos hídricos .....	19
4.1.1	Política Nacional de Recursos Hídricos .....	22
4.1.2	Política Nacional de Meio Ambiente .....	27
4.1.3	Política Nacional de Saneamento Básico .....	28
4.1.4	Política Nacional de Desenvolvimento Urbano .....	30
4.1.5	A gestão dos recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Norte .....	34
4.2	Propostas de Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas .....	38
4.2.1	No controle dos usos das águas subterrâneas .....	38
4.2.2	Na qualidade das águas subterrâneas influenciada por atividades urbanas .....	42
4.2.3	Na qualidade das águas subterrâneas influenciada por atividades no meio rural .....	46
4.2.4	Proposições aos municípios para a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos .....	49
4.2.5	Áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea, áreas de proteção de aquíferos e perímetro de proteção de poços de abastecimento .....	51
4.3	Sistema de Informações Geográficas .....	60
5	CONCLUSÕES .....	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## FIGURAS

Figura 2.1. Zonas potencialmente explotáveis do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul.....	7
Figura 3.1. Usos da água dos poços do cadastro no BLS.....	11
Figura 3.2. Usos preponderantes das águas subterrâneas do SAB no BLS .....	12
Figura 4.1. Esquema da delimitação do PPP pelo método de Wyssling .....	58
Figura 4.2. Elaboração do SIG-LS no ArcMap® 10.....	63
Figura 4.3. Estrutura do SIG-LS em arquivos <i>shapefiles</i> organizados por mapas temáticos .....	63
Figura 4.4. Atributos associados à base de dados hidrográfica da LS .....	64
Figura 4.5. Arquivo <i>raster</i> que compõe o SIG-LS (modelo digital de elevação) e janela com os atributos de uma determinada célula da imagem .....	64

## TABELAS

Tabela 2.1. Vazões máximas explotáveis por poço no Bloco Litoral Sul .....	3
Tabela 3.1. VRQ de qualidade natural do SAB no BLS e VMP para o consumo humano.....	15
Tabela 3.2. Padrões de qualidade das águas subterrâneas do SAB no BLS*.....	18
Tabela 4.1. Políticas Nacionais afins com a gestão dos recursos hídricos.....	22
Tabela 4.2. Resoluções CNRH relacionadas com a gestão das águas subterrâneas .....	24
Tabela 4.3. Resoluções CONAMA relacionadas com a gestão das águas subterrâneas.....	28
Tabela 4.4. Planos Diretores Municipais do BLS.....	32
Tabela 4.5. Legislação do Rio Grande do Norte pertinente à gestão dos recursos hídricos .....	36
Tabela 4.6. Exemplos de perímetros de proteção de poços na Europa .....	57



## **VOLUMES**

Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica

Volume 2 – Avaliação da Influência das Atividades Antrópicas Impactantes nas Águas Subterrâneas

Volume 3 – Estratégias de Manejo de Uso Sustentável das Águas Subterrâneas

Volume 4 - Apêndices

## 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 do Litoral Sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul), contratado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH (Contrato N° 029/2010).

As atividades deste estudo foram desenvolvidas de novembro de 2010 a junho de 2012, cujos resultados, apresentados em relatórios parciais, foram aprovados e compilados neste relatório final, elaborado em quatro volumes.

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

*Mapa das Zonas Explotáveis de Água Subterrânea No BLS:* realiza o zoneamento quali-quantitativo das águas subterrâneas do SAB no BLS com produto cartográfico na escala de 1:200.000, delimitando e caracterizando as potencialidades de exploração, os aspectos de qualidade natural e as possíveis ocorrências de alterações da qualidade por influência antrópica, visando à definição das áreas explotáveis para o suprimento das futuras demandas.

*Propostas de zoneamento e classificação das águas subterrâneas conforme a Resolução CONAMA N° 396/2008:* com base no conhecimento hidrogeológico obtido, apresenta os critérios utilizados na definição das propostas de zoneamento e classificação das águas subterrâneas do SAB no BLS, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo CONAMA, visando fornecer, aos gestores do meio ambiente e dos recursos hídricos, subsídios para o futuro enquadramento das águas subterrâneas.

*Estabelecimento de Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas:* apresenta as políticas afins com a gestão dos recursos hídricos, compila o arcabouço legal de maior relevância à matéria de interesse, debate os principais cenários avaliados nos estudos hidrogeológicos com foco na definição de propostas de estratégias de manejo sustentável do Sistema Aquífero Barreiras no BLS. As propostas de estratégia de manejo são fundamentadas nos modelos gestão integrada e participativa, apresentadas nas temáticas sobre o controle do uso dos recursos hídricos subterrâneos; da qualidade das águas subterrâneas, da atuação dos municípios e no estabelecimento de mecanismos de proteção, controle e/ou restrição do uso das águas subterrâneas.



*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 e a capacidade de disponibilizar dados e conhecimento sobre os temas relacionados às águas subterrâneas, favorecendo a integração dos órgãos gestores dos recursos hídricos, a gestão participativa e o fortalecimento do sistema de informações sobre recursos hídricos.

*Monitoramento e avaliação da capacidade do aquífero Barreiras inferior no entorno da Lagoa do Bonfim visando o suprimento da adutora Monsenhor Expedito:* o desenvolvimento desta atividade culminou com a elaboração de um relatório específico, motivado pelos objetivos exclusivos a este estudo, ao extenso conteúdo e ao posicionamento geográfico da área, situada fora dos limites do BLS e que não justificavam a tratativa em conjunto com os aspectos dessa região. O estudo contemplou: o levantamento de todos os dados disponíveis sobre a área de interesse; revisão bibliográfica; desenvolvimento de balanço hídrico climatológico com dados diários; avaliação hidroquímica e isotópica voltada à compreensão do fluxo subterrâneo; avaliação da disponibilidade hídrica a partir do balanço hidrogeológico do SAB e a comparação com os volumes explorados atualmente e na futura expansão do Sistema Adutor Agreste/Trairi/Potengi, concluindo com proposição de rede e modelo de monitoramento da área e com o diagnóstico sobre o potencial hídrico, frente às demandas já previstas. O relatório dessa avaliação é apresentado no **Apêndice K**.

## 2 MAPA DAS ZONAS EXPLOTÁVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O zoneamento das possibilidades de exploração das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras, se constitui numa medida estratégica de manejo voltada para o uso sustentável e proteção das águas subterrâneas. O referido zoneamento indica as áreas potencialmente explotáveis no BLS e informa sobre a qualidade das águas no contexto natural e antrópico, contribuindo 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.

### 2.1 Procedimentos metodológicos

As zonas potencialmente explotáveis foram definidas mediante a estimativa das vazões máximas potencialmente explotáveis por poço, complementada pela superposição do mapa de transmissividade do SAB (Capítulo 12 - Volume 1) com os mapas de qualidade das águas (Capítulo 9 – Volume 2). Cada zona ou subzona definida indica as vazões máximas potencialmente explotáveis e a profundidade média esperada por poço, caracterizando a qualidade atual das águas.

A vazão máxima potencialmente explotável por poço 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 (**Tabela 2.1**). Em alguns casos extrapolações foram efetuadas considerando a transmissividade do aquífero conforme sugeriu o mapa de zoneamento das transmissividades.

Tabela 2.1. Vazões máximas explotáveis por poço no Bloco Litoral Sul							
Poço	Município	Coord E	Coord S	EaB (m)	Q/s m <sup>3</sup> /h/m	T m <sup>2</sup> /dia	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /h
P1G	Goianinha	256226	9306870	40	3,40	336,96	60,0
P2G	Goianinha	256317	9306832	36	1,88	414,72	30,0
P3G	Goianinha	257149	9306852	30	1,00	130,46	35,0
P4G	Goianinha	257258	9306729				40,0
P7G	Goianinha	256751	9304552				20,0
P8G	Goianinha	256892	9307088				20,0
PT 11 GOI	Goianinha	256243	9306492	19	2,20		10,0
PT 12 GOI	Goianinha	256056	9305858	31	1,20	55,03	10,0
PS-0883	Goianinha	259793	9297450	45	0,44		3,0
PS-0891	Goianinha	255850	9297056	60(PP)	1,20		15,0
P68	Arez	260709	9314528	62			11,0
P69	Arez	260446	9314260	60			8,0
P72	Arez	261292	9314380	60			20,0
P73	Arez	261199	9314244				12,0



<b>Tabela 2.1. Vazões máximas explotáveis por poço no BLS (continuação)</b>							
<b>Poço</b>	<b>Município</b>	<b>Coord E</b>	<b>Coord S</b>	<b>EaB (m)</b>	<b>Q/s m³/h/m</b>	<b>T m²/dia</b>	<b>Q<sub>max</sub> m³/h</b>
PS-0713	Arez	252526	9315744	20	3,20	48,03	6,0
PS-0691	Arez	256566	9317518	42	2,70		10,0
PS-0959	Arez	258661	9316574	63	0,16		2,0
PS-0188	Arez	251470	9312094	51	0,39	24,27	2,5
PS-0755	Arez	252859	9314494	64	0,61		4,0
PS-0930	Arez	250752	9312278	56	0,27	15,98	2,0
PS-0427	Arez	258372	9315248	58	0,76		3,5
PS-0423	Arez	252023	9316120	58	0,41	4,10	1,0
PS-0620	Arez	247106	9316690	68	1,00		5,0
PS-0761	Arez	264376	9316568	69	0,75		3,0
PS-1293	Arez	251584	9311824	66	0,08		0,5
PS-0784	Arez	258820	9315320	79	0,67		2,0
PS-0646	Arez	253261	9316536	64	0,60		1,5
PS-0679	Arez	252225	9312022	71	1,44		10,0
PS-0687	Arez	245556	9316202	66	0,42		2,0
PS-0249	Arez	257162	9312504	76,4	0,62		6,0
PS-0491	Arez	252184	9317314	71	0,24		1,0
PT-09	Arez	259342	9314696	52	1,90	59,70	25,0
PT-11	Arez	259190	9314728	46	0,40		10,0
PT-10	Arez	259588	9314784	60			10,0
PT-08	Arez	259064	9314734	43,5			9,5
PT-3A	Arez	261055	9314748	64	0,60	21,90	10,0
P-01	Arez	261281	9314422	59	1,00		10,0
PS-1262	Arez	245927	9318260	52	0,05		0,5
P03	Arez	253255	9316532	63	0,78	27,12	7,0
P08	Arez	259064	9314734	42	0,90	28,68	10,0
P10	Arez	259532	9314756	60	1,50	52,27	10,0
P10	Canguaretama	261710	9296288	65	1,50	236,70	15,0
PS-0751	Canguaretama	259129	9296516	46	1,00		5,0
P 17	Canguaretama	263540	9294990	46(PP)	1,20		15,0
GMPT-PS-0042	Canguaretama	274943	9303346	61	3,00		50,0
PS-0777	Canguaretama	259118	9290582	30(PP)	1,50		10,0
FNS RN PS 215	S. Geor. Avelino	264600	9318308	82	2,50	127,80	20,0
PT 1A GAV	S. Geor. Avelino	262000	9321500	52	0,50	11,57	10,0
PS-0235	S. Geor. Avelino	262465	9319876	30,8(PP)	3,00		20,0
PS-189	S. Geor. Avelino	264726	9318374	90(PP)	0,50		10,0
PS-RIOMAR-01	Tibau do Sul	267949	9315930	60(PP)	3,20		20,0
PS 0127	Tibau do Sul	272019	9310170	70	0,35		3,0
PS-GIRASSOIS-01	Tibau do Sul	273710	9310750	60(PP)	0,80		15,0

Tabela 2.1. Vazões máximas explotáveis por poço no Bloco Litoral Sul (continuação)							
Poço	Município	Coord E	Coord S	EaB (m)	Q/s m <sup>3</sup> /h/m	T m <sup>2</sup> /dia	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /h
PT-04 PIP	Tibau do Sul	272564	9310566	92(PP)	2,80		45,0
POÇO02	Tibau do Sul	274444	9310246	100(PP)	1,50		40,0
2097	Tibau do Sul	269173	9315248	83(PP)	0,41		8,0
PS-0707	Tibau do Sul	274477	9305604	64(PP)	1,00		15,0
PS-1179	Tibau do Sul	267566	9313336	74(PP)	0,78		15,0
PS-TALASSA-01	Tibau do Sul	273179	9310744	60(PP)	1,10		15,0
PT01-PV	Tibau do Sul	272456	9311128	64	5,00	387,07	60,0
POÇO 01	Tibau do Sul	274430	9310072	100(PP)	1,40		30,0
PS-EUROSOL-01	Tibau do Sul	268796	9315582	58	1,20		10,0
PP1Santana Golf	Tibau do Sul	268364	9309415	96	2,40	229,82	50,0
PP2Santana Golf	Tibau do Sul	268511	9308558	95	2,50	154,65	50,0
PS-1304	Baia Formosa	281423	9285100	80(PP)	0,60		18,0
PS-1334	Baia Formosa	274860	9282226	80(PP)	0,20		3,6
PS-1306	Baia Formosa	270958	9283572	54(PP)	1,20		6,0
PS-0056	Baia Formosa	270628	9292078	73,5	0,35	7,68	2,5
PS-1307	Baia Formosa	269609	9285718	64(PP)	0,30		3,5
PT 03	Baia Formosa	278099	9295572	55(PP)	7,00		50,0
PS 1335	Baia Formosa	278200	9294848	80(PP)	0,50		10,0
PT-1B	Baia Formosa	245927	9318260	80,5	11,00	565,05	45,0
P-01 A (181)	Baia Formosa	242900	9295150	80(PP)	1,00		8,0
PT-02	Baia Formosa	277500	9295000	71(PP)	1,40		8,0
PT 01C	Baia Formosa	278297	9295578	71(PP)	13,00		80,0
BFS0052	Baia Formosa	272608	9291137	60	0,28	34	45,0
TBS0149	Tibau do Sul	268795	9305960	80	2,59	147	20,0
AZR139	Arez	262964	9316554	69	3,25	251	5,0

EaB: espessura do Sistema Aquífero Barreiras; Q/s: vazão específica; T: transmissividade;  
Q<sub>max</sub>: vazão máxima explotável; PP: parcialmente penetrante.

## 2.2 Zonas potencialmente explotáveis

Foram definidas 4 zonas potencialmente explotáveis (**Figura 2.1**), com suas respectivas subzonas, conforme apresentado a seguir:

- **Zona A:** Possibilidade de exploração de vazões compreendidas entre 50 e 80 m<sup>3</sup>/h, com transmissividade superior a 100 m<sup>2</sup>/dia, predominando transmissividade superior a 150 m<sup>2</sup>/dia, através de poços com profundidade média de 90 m.

Subzona A1: Situa-se no setor sudeste do BLS, contígua a linha de costa, com uma área de 39,7 km<sup>2</sup>, no município de Baía Formosa, incluindo a sede municipal. Os sólidos totais dissolvidos variam de 40,0 a 130,0 mg/L e o Cl<sup>-</sup> varia de 15,0 mg/L a 25,0 mg/L. São águas de excelente qualidade em condições naturais. Quanto ao NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, embora as informações sejam escassas, entende-se que as águas em geral sejam nativas, portanto com concentrações inferiores a 2,0 mg/L N. As ressalvas são atribuídas ao domínio urbano da cidade de Baía Formosa, onde as águas mostram-se afetadas por nitrato com teores compreendidos entre 2,0 e 5,0 mg/L N.

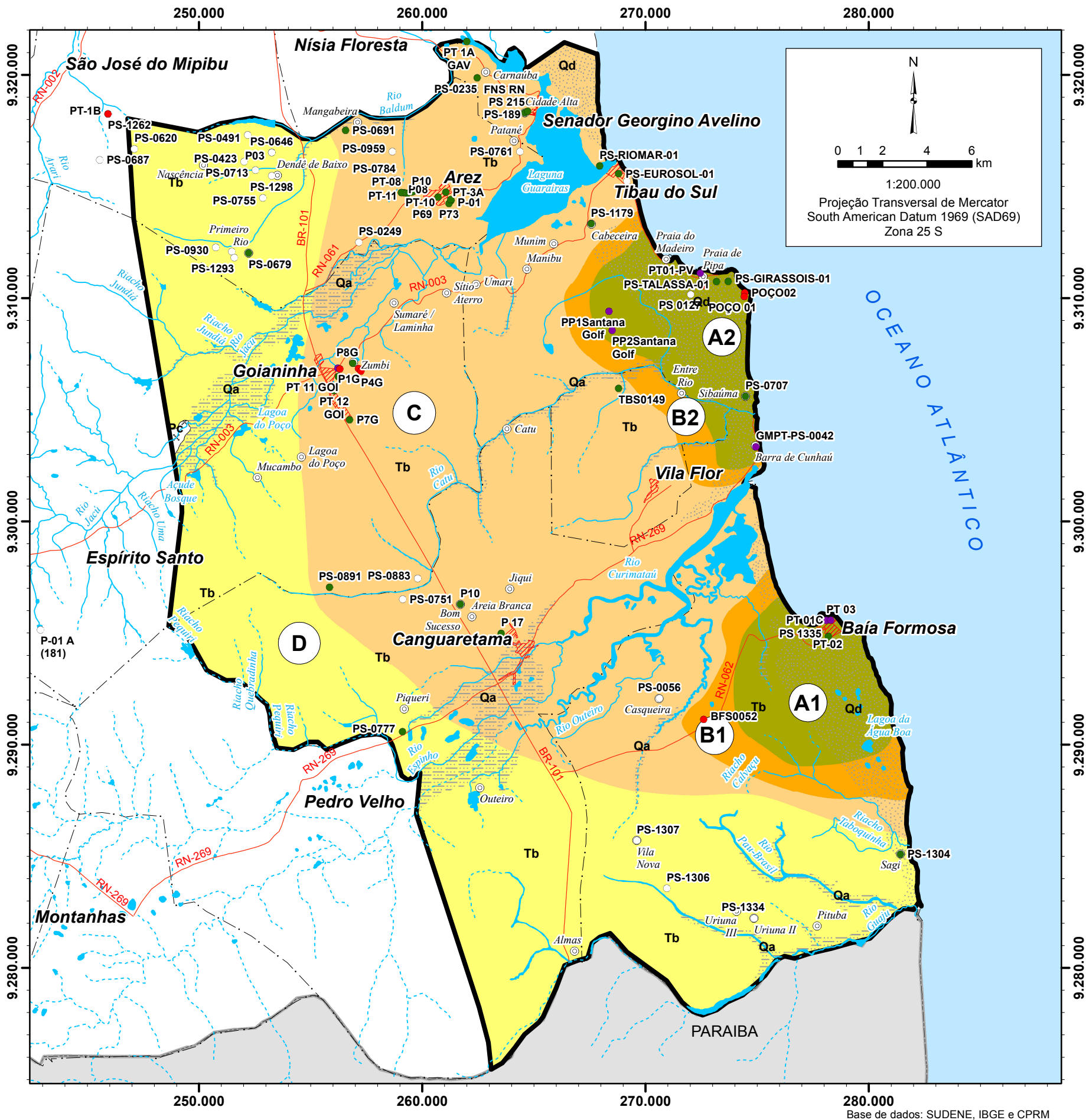
Subzona A2: Está localizada entre a praia do Madeiro, no município de Tibau do Sul e Barra do Cunhaú, em Canguaretama, cobrindo uma superfície da ordem de 42,7 km<sup>2</sup>, no município de Tibau do Sul. Apresenta águas com sólidos totais dissolvidos variando de 50,0 a 120,0 mg/L ; Cl<sup>-</sup> variando de 20,0 mg/L a 45,0 mg/L, e, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é em geral inferior a 2 mg/L N, ou seja, são águas nativas de excelente qualidade. Entretanto, nos domínios habitacionais de Pipa e Sibauma as águas já se mostram afetadas e contaminadas por nitrato com valores de até 16,49 mg/L N (localidade de Pipa).

- **Zona B:** Possibilidade de exploração de vazões compreendidas entre 30 e 50 m<sup>3</sup>/h, com transmissividade predominantemente compreendida entre 75 e 150 m<sup>2</sup>/dia, através de poços com profundidade média de 80 m.

Subzona B1: Faixa estreita contígua a subzona A1, com superfície da ordem de 24 km<sup>2</sup>, no município de Baía Formosa. Os sólidos totais dissolvidos variam de 40,0 a 130,0 mg/L; Cl<sup>-</sup>, compreendido entre 15,0 mg/L e 30,0 mg/L, e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> inferior a 2,0 mg/L N, ou seja, águas nativas de excelente qualidade.

Subzona B2: Faixa estreita contígua a subzona A2, com superfície da ordem de 19,1 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Tibau do Sul, Vila Flor e Canguaretama. Os sólidos totais dissolvidos variam de 40,0 a 100,0 mg/L; Cl<sup>-</sup>, compreendido entre 20,0 mg/L e 45,0 mg/L, e nitrato é inferior a 2,0 mg/L N, ou seja, águas nativas de excelente qualidade.

- **Zona C:** Vazões máximas potencialmente explotáveis por poço entre 10 e 30 m<sup>3</sup>/h, transmissividade inferior a 100 m<sup>2</sup>/dia, predominando valores inferiores a 75 m<sup>2</sup>/dia, e poços com profundidades variadas, que podem chegar a 80 m nos tabuleiros e 30,0 m nos vales dos rios Jacu e Curimataú. Trata-se de uma área extensa que se desenvolve de norte a sul do BLS, abrangendo parcialmente a maioria dos municípios, com superfície da ordem de 465,2 km<sup>2</sup>. Os sólidos totais dissolvidos variam de 50,0 a 150,0 mg/L; cloreto, de 5,0 a 40,0 mg/L, e, nitrato, é em geral inferior a 2,0 mg/L N. São águas de boa qualidade no cômputo geral. Nos domínios urbanos, as águas subterrâneas estão afetadas e ou já contaminadas por nitrato, com valores superiores a 10 mg/L N.



Zonas	Subzonas
A	<b>A1</b> Setor sudeste do BLS, no município de Baía Formosa. <i>Caráter geral</i> – Sólidos totais dissolvidos (STD): 40 a 130 mg/L; Cloreto: 15 a 25 mg/L; Nitrito: <2 mg/L N. Águas nativas de excelente qualidade. <i>Sede de Baía Formosa</i> – Nitrito: 2 a 5 mg/L N, águas afetadas por nitrato.
	<b>A2</b> Entre a Praia do Madeiro (Tibau do Sul) e Barra de Cunhaú (Canguaretama). <i>Caráter geral</i> – Sólidos totais dissolvidos (STD): 50 a 120 mg/L; Cloreto: 20 a 45 mg/L; Nitrito: <2 mg/L N. Águas nativas de excelente qualidade. <i>Povoado de Sibauma</i> – Nitrito: 2 a 5 mg/L N, águas afetadas por nitrato. <i>Praia de Pipa</i> – Nitrito: > 10 mg/L N, águas contaminadas por nitrato.
B	<b>B1</b> Faixa estreita contígua a subzona A1, no município de Baía Formosa. <i>Caráter geral</i> – Sólidos totais dissolvidos (STD): 40 a 130 mg/L; Cloreto: 15 a 30 mg/L; Nitrito: <2 mg/L N. Águas nativas de excelente qualidade.
	<b>B2</b> Faixa estreita contígua a subzona A2, nos municípios de Tibau do Sul, Vila Flor e Canguaretama. <i>Caráter geral</i> – Sólidos totais dissolvidos (STD): 40 a 100 mg/L; Cloreto: 20 a 45 mg/L; Nitrito: <2 mg/L N. Águas nativas de excelente qualidade.
C	<b>C</b> <i>Estende-se de norte a sul, abrangendo parcialmente a maioria dos municípios.</i> <i>Caráter geral</i> – Sólidos totais dissolvidos (STD): 40 a 160 mg/L; Cloreto: 5 a 50 mg/L; Nitrito: <2 mg/L N. Águas nativas de boa qualidade. <i>Domínios urbanos</i> – Nitrito: 2 a 10 mg/L N, águas afetadas por nitrato. <i>Sede municipal de Arez</i> – Nitrito: > 10 mg/L N, águas contaminadas por nitrato.
D	<b>D</b> <i>Desenvolve-se no extremo oeste e extremo sul do BLS, abrangendo parcialmente os municípios de Arez, Goianinha, Canguaretama e Baía Formosa.</i> <i>Caráter geral</i> – Sólidos totais dissolvidos (STD): 50 a 130 mg/L; Cloreto: 15 a 50 mg/L; Nitrito: <2 mg/L N. Águas nativas de excelente qualidade. <i>Domínios urbanos</i> – Nitrito: 2 a 10 mg/L N, águas afetadas por nitrato. <i>Próximo a comunidade Primeiro Rio</i> – Nitrito: > 10 mg/L N, águas contaminadas por nitrato.

#### Convenção Cartográfica

- Sedes municipais
- Povoados ou assentamento
- Estradas pavimentadas
- Rios intermitentes
- Rios perenes
- Lagos, lagoas, lagunas ou açudes
- Limites municipais
- Área de estudo

#### Q<sub>máx</sub> potencial (m<sup>3</sup>/h)

- < 10
- 10 - 29
- 30 - 49
- 50 - 80

#### Geologia

- Aluvião
- Dunas
- Fm. Barreiras
- Cristalino

Localização da área de estudo



**Figura 2.1. Zonas explotáveis do Sistema Aquífero Barreiras no BLS**

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

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012



- **Zona D:** Vazões máximas potencialmente explotáveis por poço inferior a 10 m<sup>3</sup>/h, transmissividade em geral inferior 75 m<sup>2</sup>/dia e poços com profundidades variadas, que podem chegar a 80 m nos tabuleiros e 30,0 m nos vales dos rios Jacu e Curimataú. Trata-se de uma área extensa que se desenvolve no extremo oeste e extremo sul do BLS, abrangendo parcialmente municípios de Arez, Goianinha, Canguaretama e Baía Formosa, com superfície da ordem de 380,7 km<sup>2</sup>. Quanto a qualidade das águas, os sólidos totais dissolvidos variam de 50,0 a 230,0 mg/L; cloreto, de 15,0 a 50,0 mg/L, e nitrato, é em geral inferior a 2,0 mg/L N. São, portanto, águas de boa qualidade. Nos domínios urbanos, as águas subterrâneas estão afetadas e/ou já contaminadas por nitrato, com valores superiores a 10 mg/L N.

### 2.3 Considerações sobre as zonas potencialmente explotáveis

As águas subterrâneas de todas as zonas e subzonas explotáveis definidas no BLS são na maioria dos casos águas nativas e de boa a excelente qualidade. As restrições são atribuídas aos domínios habitacionais, onde as águas subterrâneas se apresentam afetadas e ou contaminadas por nitrato, devido ao sistema de disposição local dos efluentes domésticos.

Entre as zonas e subzonas definidas como potencialmente explotáveis, duas delas merecem destaque, que são as subzonas A1 e A2, pelas suas potencialidades hidrogeológicas mais elevadas e possibilidade de exploração de vazões de até 80 m<sup>3</sup>/h por poço, além de que suas águas são de excelente qualidade e apresentam facilidades de captação. Adicionalmente, o percentual de utilização das mesmas no cômputo geral é ainda baixo.

As subzonas B1 e B2 são de média potencialidade, com exploração limitada ao máximo 50 m<sup>3</sup>/h. São, entretanto, de ocorrência restrita.

A zona C, entre as zonas de exploração definidas, é a que abrange a maior extensão do BLS, com possibilidades de exploração modestas limitadas a no máximo 30 m<sup>3</sup>/h. A zona D, que ocupa uma faixa expressiva no setor ocidental do BLS é de baixa potencialidade hidrogeológica, limitada a exploração de vazões de até 10 m<sup>3</sup>/h. Apesar das modestas condições de exploração definidas para essas zonas, as águas subterrâneas das mesmas são de boa qualidade.

### **3 ZONEAMENTO QUANTO A CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, CONFORME A RESOLUÇÃO CONAMA N° 396/2008**

Esta fase do trabalho está relacionada ao estabelecimento de estratégias de manejo das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul e objetivou o desenvolvimento de uma proposta de zoneamento quanto à classificação das águas subterrâneas, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA N° 396, de 03 de abril de 2008.

A proposta de classificação elaborada possui caráter preliminar, compatível com a escala e escopo técnico deste estudo, permitido subsidiar as futuras ações para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como fornecer ferramental técnico para apoiar os gestores públicos na definição de procedimentos de proteção e controle do uso desses recursos hídricos subterrâneos.

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, fundamental para a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, conforme estabelecido na Lei N° 9.433/97, art. 5º, cujos objetivos, estabelecidos no Art. 9º da mesma lei, são:

- assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;
- diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) possui, dentre outras, a competência de aprimorar a legislação de recursos hídricos, estabelecendo diretrizes para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A Resolução CNRH N° 91/08 dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos e estabelece:

Art. 2º O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA N<sup>os</sup> 357, de 2005 e 396, de 2008, tendo como referências básicas:

I - a bacia hidrográfica como unidade de gestão; e

II - os usos preponderantes mais restritivos.

Assim como o CNRH está para o SINGREH, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) está para Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), desempenhando a atribuição de órgão consultivo e deliberativo do sistema. O CONAMA foi instituído pela Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA).

A Resolução CONAMA No 357/05 define diretrizes para o enquadramento de corpos hídricos superficiais e não foi objeto do presente estudo.

A Resolução CONAMA N° 396/08 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e será utilizada para embasar a proposta de classificação das águas subterrâneas do SAB apresentada neste estudo.

O enquadramento dos corpos hídricos representa a sinérgica articulação entre a PNRH e a PNMA, embasado no modelo de gestão integrada dos recursos hídricos, associando os aspectos qualitativos e quantitativos das águas, bem como o caráter indissociável das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.

Destaca-se, entre os princípios atendidos pela Resolução CONAMA 396/08, o estabelecido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), na Resolução N° 15, de 11 de janeiro de 2001:

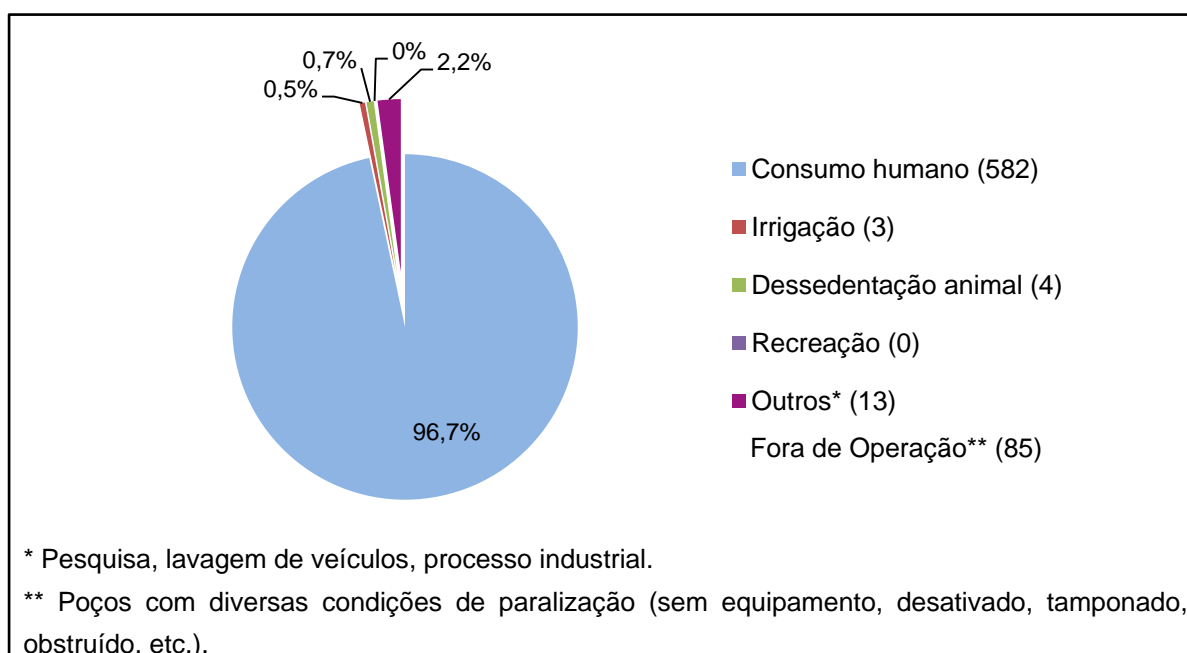
Art. 3º (...) II: O enquadramento dos corpos de água subterrânea em classes dar-se-á segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos; (...)

A partir desses fundamentos sobre o enquadramento das águas subterrâneas, a seguir serão discutidos os aspectos sobre a caracterização hidrogeológica e os usos preponderantes que apoiaram o desenvolvimento da proposta de classificação.

O Bloco Litoral Sul possui 978 km<sup>2</sup> com ocorrência do SAB praticamente em toda a extensão da área (971 km<sup>2</sup>). Os limites de base do SAB são, na porção oeste da área, o aquífero Cristalino e, na parte centro-leste, o aquífero de rochas carbonáticas cretáceas. Entretanto, em comparação com as potencialidades e com a qualidade natural das águas do SAB, essas unidades aquíferas sotopostas não possuem expressividade como fonte de água, sobretudo nesta região.

A importância do SAB como fonte de suprimento de água pode ser verificada pelos dados do cadastro de poços consistido neste estudo que possui 687 registros, sendo que mais de 99% estão instalados no Sistema Aquífero Barreiras. Ainda que o cadastro de poços desenvolvido não contemple a totalidade dos poços existentes, é o maior consistido até o momento e, certamente, registra a grande maioria dos poços existentes e possui representatividade do universo de poços da área estudo.

O cadastro de poços registra que, dos 602 poços em operação no BLS, 97% são utilizados exclusivamente para o consumo humano ou possui usos múltiplos, entre os quais, o consumo humano (**Figura 3.1**).

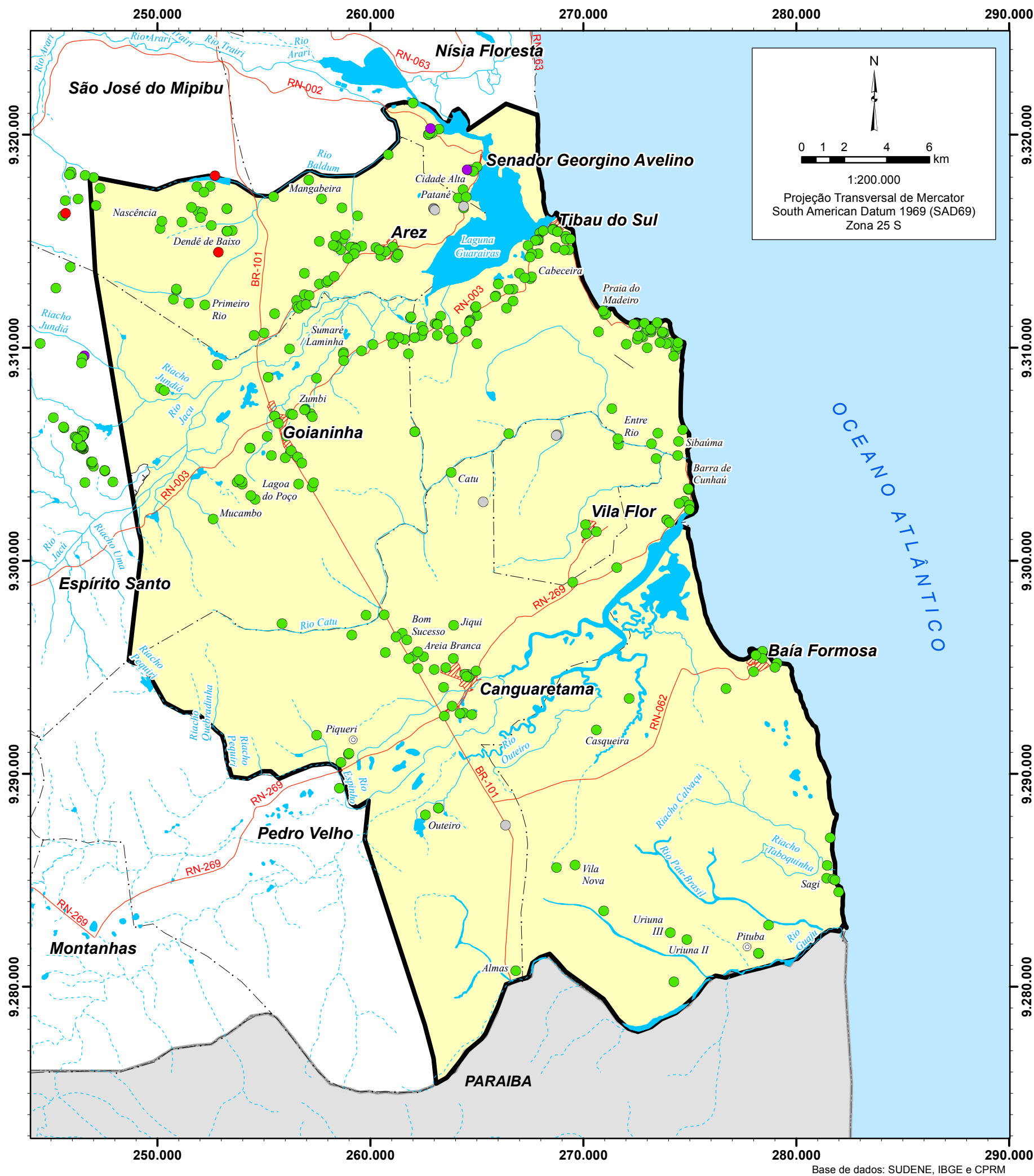


**Figura 3.1. Usos da água dos poços do cadastro no BLS**

Na elaboração da estatística apresentada na **Figura 3.1**, os poços com usos múltiplos e os poços sem informação sobre o tipo de uso foram classificados de acordo com o uso mais restritivo, buscando uma avaliação dos usos das águas subterrâneas do SAB, em consonância com as diretrizes da referida Resolução que, no Art 28, parágrafo único, prevê que o enquadramento nas classes deverá ser efetuado com base nos usos preponderantes mais restritivos.

A distribuição geográfica do uso para consumo humano está distribuída por toda a área de estudo, conforme pode ser observado na **Figura 3.2**. Deve-se ressaltar também que o abastecimento público, realizado principalmente pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), é integralmente suprido por águas subterrâneas do SAB.





**Usos Preponderantes**

- Consumo humano
- Dessedentação animal
- Irrigação
- Outros

**Aquíferos**

- SAB
- Cristalino

**Convenção Cartográfica**

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

Base de dados: SUDENE, IBGE e CPRM

Localização da área de estudo



**Figura 3.2. Usos preponderantes das águas subterrâneas do SAB no BLS**

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

Elaborado por: Servmar Serviços Técnicos Ambientais



Julho de 2012

A tipificação dos usos preponderantes das águas subterrâneas corresponde ao principal fator do enquadramento. A Resolução CONAMA 396/2008, no Anexo I, apresenta o Valor Máximo Permitido (VMP) para os parâmetros de interesse relacionados aos usos preponderantes (consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação). O VMP corresponde ao limite máximo permitido de um dado parâmetro de qualidade da água subterrânea, específico para cada uso. Em função dos usos das águas subterrâneas existentes ou pretendidos ao longo do tempo serão definidos os VMP para os parâmetros de interesse que permitirão, juntamente com os valores de referência de qualidade (VRQ), embasar a classificação do aquífero ou de partes dele.

As demandas de água no BLS são elevadas principalmente pelas estimativas relacionadas à irrigação e ao uso na carcinicultura. Entretanto, esses usos são abastecidos predominantemente pelas águas superficiais e, no caso da carcinicultura, utiliza-se água com salinidade elevada, principalmente das regiões estuarinas. Se considerar os demais usos, os recursos explotáveis do SAB ( $188 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano) são quase 9,5 vezes superiores às demandas projetadas para o ano de 2030. Desse modo, se adequadamente gerido e protegido, o SAB representa uma grande reserva renovável de água, imprescindível para o suprimento das demandas futuras para o consumo humano e, ainda, com oferta para o atendimento de diversos outros usos.

A proposta de classificação elaborada neste estudo, baseada nas características discutidas anteriormente, estabeleceu o consumo humano como sendo o uso preponderante pretendido para toda a área de ocorrência do SAB no BLS. Desse modo, os VMP relativos ao uso para o consumo humano são os limites máximos balizadores da proposta de classificação desenvolvida.

A classificação das águas subterrâneas, de acordo com Resolução CONAMA 396/2008, está definida conforme:

Art. 3º As águas subterrâneas são classificadas em:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Em complementação às classes apresentadas anteriormente, acerca das condições e padrões de qualidade das águas, merecem destaque:

Art. 6º Os padrões das Classes 1 a 4 deverão ser estabelecidos com base nos Valores de Referência de Qualidade (VRQ), determinados pelos órgãos competentes, e nos Valores Máximos Permitidos para cada uso preponderante, observados os Limites de Quantificação Praticáveis (LQPs) apresentados no Anexo I.

Art. 7º As águas subterrâneas de Classe 1 apresentam, para todos os parâmetros, VRQs abaixo ou igual dos Valores Máximos Permitidos mais Restritivos dos usos preponderantes.

Desse modo, a classificação de um aquífero, conjunto de aquíferos ou de porções desse, depende também da caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas, buscando-se estabelecer os valores de referência de qualidade (VRQ). Conforme definido pela Resolução CONAMA 396/2008, no Art. 2º, inciso XIX, VRQ é a concentração ou valor de um dado parâmetro que define a qualidade natural da água subterrânea.

A avaliação hidrogeoquímica realizada neste estudo determinou excelente qualidade natural às águas subterrâneas do SAB em todo o Bloco Litoral Sul. Exceto por ocorrências localizadas de alteração da qualidade por influência antrópica que, a propósito, devem ser controladas e evitadas, as águas do SAB

possui qualidade para o atendimento dos usos mais restritivos com padrões de qualidade muito elevados.

A **Tabela 3.1** apresenta os VRQ dos parâmetros de qualidade natural, definidos com base na avaliação hidrogeoquímica realizada neste estudo, bem como o VMP para uso preponderante pretendido para o SAB no BLS, no caso, o consumo humano.

Tabela 3.1. VRQ de qualidade natural do SAB no BLS e VMP para o consumo humano		
Características Hidrogeoquímicas	VMP (µg/L)	VRQ – SAB-BLS (µg/L)
Cloreto	250.000	20.000 a 50.000
Nitrato (expresso em N)	10.000	<2.000
Sódio	200.000	10.000 a 30.000
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	1.000.000	40.000 a 130.000

VMP: Valores Máximos Permitidos para o uso preponderante de consumo humano, conforme anexo I da Resolução CONAMA 396/2008.

VRQ – SAB-BLS: Valores de Referência de Qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul

A proposta de classificação apresentada foi definida a partir da análise do cenário sobre o uso e a qualidade das águas subterrâneas do SAB no BLS, bem como:

- considerando que a elevada qualidade natural das águas do SAB no BLS deve ser protegida, pois, se poluídas ou contaminadas, sua remediação é lenta e onerosa, além de provocar uma provável redução da oferta aos usos preponderantes mais restritivos;
- considerando a dependência da região na água subterrânea para o consumo humano e as potencialidades do SAB permissivas ao atendimento dessa demanda; e
- considerando as diretrizes de classificação e enquadramento estabelecidas na Resolução CONAMA 396/2008 com destaque ao parágrafo único do Art. 28, inciso II do Art. 3º, Art. 6º e Art. 7º.

Este estudo propõe a classificação das águas subterrâneas, em toda a extensão e profundidade do SAB no BLS, como **Classe 1**.

Deve-se ressaltar que, apesar de o SAB possuir forte correlação com os corpos hídricos superficiais e ser responsável pela manutenção dos níveis de água dos principais rios e córregos da região, principalmente durante o período de estiagem, não foi considerada uma possível classificação em Classe Especial, visto que este estudo não contemplava a avaliação e caracterização de ecossistemas aquáticos



que permitisse embasar essa classificação. Adicionalmente, deve-se mencionar que o Estado do Rio Grande do Norte também não possui classificação dos corpos hídricos superficiais, prevista na Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, não havendo, desse modo, nenhum corpo hídrico superficial já definido em Classe Especial correlacionado ao SAB.

Em complementação à proposta de classificação e visando à proteção da qualidade natural das águas do SAB no BLS, apresenta-se uma discussão sobre a caracterização da qualidade das águas subterrâneas sob influência de atividades antrópicas, objetivando o estabelecimento dos VRQ também para parâmetros específicos de potenciais contaminações decorrentes das atividades existentes na região.

O monitoramento analítico das águas subterrâneas foi realizado em duas campanhas, em uma rede de mais de 90 poços, considerando as finalidades de caracterização hidrogeoquímica e a avaliação de eventuais contaminações por parâmetros específicos. Os resultados alcançados, de um modo geral, detectaram condições da qualidade natural das águas subterrâneas com exceções feitas a alguns poços que apresentaram ocorrências pontuais de contaminação por nitrato ( $\text{N-NO}_3 > 10 \text{ mg/L}$ ) e locais com a indicação de contaminação por esgotos sanitários com nitrato (expresso em N) em concentrações entre 2 e 10 mg/L.

Em relação aos parâmetros indicativos de contaminações específicas por derivados de petróleo, metais e agroquímicos, não foram detectados indícios de contaminações por esses parâmetros na rede de monitoramento analisada. De qualquer modo, estes parâmetros correspondem a indicadores de contaminação de atividades desenvolvidas na região e foram incluídos na lista de VRQ.

Ressalta-se que a caracterização da qualidade das águas subterrâneas do SAB com foco a eventuais alterações por atividades antrópicas não configura, até o momento, nenhum zoneamento específico que pudesse ser alvo de uma classificação específica e, também por essa razão, a proposta de classificação foi pautada em parâmetros da qualidade natural das águas do SAB. Mesmo o parâmetro nitrato que foi detectado em algumas amostras não permite, nessa escala, configurar uma pluma ou a delimitação de uma área que permitisse um zoneamento para a classificação. Conforme já discutido e possível de ser observado nos dados apresentado no Capítulo 9 do Volume 2, as ocorrências de nitrato são pontuais.

O ferro também foi detectado em algumas amostras em concentrações acima da potabilidade, entretanto, os locais de ocorrência foram dispersos no BLS, também não sendo possível a configuração de um zoneamento pautado na restrição por esse parâmetro. Devido, a elevada variação de concentrações de ferro nas águas

do SAB, esse parâmetro não foi adotado para a caracterização dos padrões hidroquímicos, apesar de sua ocorrência natural.

Diante da discussão apresentada anteriormente, a **Tabela 3.2** demonstra uma proposta para os padrões de qualidade das águas subterrâneas do SAB, considerando os VMP do uso para o consumo humano. Esta proposta poderá representar, em um futuro enquadramento das águas subterrâneas, as metas de controle da qualidade das águas e de remediação de eventuais áreas contaminadas.

Para os parâmetros listados na **Tabela 3.2**, se encontrados em valores ou concentrações acima dos VRQ indicados, representam indícios de alteração da qualidade por atividades antrópicas.

A Resolução CONAMA 396/2008 estabelece diretrizes para uma análise multifocal, com destaque ao definido no Art. 29, sendo que os resultados alcançados neste estudo hidrogeológico avaliaram aspectos de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, uso e ocupação do solo e localização das fontes pontuais de poluição, entre outros. Muito embora tenham sido considerados esses aspectos, a necessidade de proteger a excelente qualidade natural do SAB no BLS e o uso preponderante para o consumo humano foram determinantes na classificação das águas subterrâneas ora proposta.

No debate sobre as propostas de estratégia de manejo das águas subterrâneas serão discutidas as análises específicas ao tema de proteção da qualidade das águas subterrâneas sob influência de atividades antrópicas nos meios rurais e urbanos, que poderão incrementar bases técnicas aos órgãos gestores para o futuro enquadramento das águas subterrâneas do SAB no BLS.

**Tabela 3.2 - Padrões de qualidade das águas subterrâneas do SAB no BLS\***

<b>Inorgânicos</b>			
<b>Motivação</b>	<b>Parâmetro de qualidade natural</b>	<b>VMP<sup>1</sup> (µg/L)</b>	<b>VRQ<sup>2</sup> (µg/L)</b>
Características Hidrogeológicas	Cloreto	250.000	10.000 a 50.000
	Nitrato(expresso em N)	10.000	<2.000
	Sódio	200.000	10.000 a 30.000
	Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	1.000.000	40.000 a 130.000
<b>Orgânicos</b>			
<b>Motivação</b>	<b>Parâmetros de origem antrópica</b>	<b>VMP<sup>1</sup> (µg/L)</b>	<b>VRQ<sup>2</sup> (µg/L)</b>
Influência de Contaminação por Derivados de Petróleo - Prováveis fontes potenciais: postos de combustíveis, oficinas, bases de estocagem de combustíveis, etc	Benzeno	5	Ausente
	Benzo antraceno	0,05	Ausente
	Benzo fluoranteno	0,05	Ausente
	Benzo(k)fluoranteno	0,05	Ausente
	Benzo pireno	0,05	Ausente
	Criseno	0,05	Ausente
	Dibenzo antraceno	0,05	Ausente
	Etilbenzeno	200	Ausente
	Indeno(1,2,3)pireno	0,05	Ausente
	Tolueno	170	Ausente
	Xileno Total (o+m+p)	300	Ausente
<b>Agrotóxicos</b>			
<b>Motivação</b>	<b>Parâmetros de origem antrópica</b>	<b>VMP<sup>1</sup> (µg/L)</b>	<b>VRQ<sup>2</sup> (µg/L)</b>
Influência de Contaminação por Agroquímicos <sup>4</sup> - Prováveis fontes potenciais: atividades agrícolas com uso intensivo desses produtos	Alaclor	20	Ausente
	Aldicarb + ald. sulfona + ald. sulfóxido	10	Ausente
	Aldrin + Dieldrin	0,03	Ausente
	Atrazina	2	Ausente
	Bentazona	300	Ausente
	Carbofuran	7	Ausente
	Clordano (cis +trans)	0,2	Ausente
	Clorotalonil	30	Ausente
	Clorpirifós	30	Ausente
	2,4-D	30	Ausente
	DDT (p,p'- DDT + p,p'-DDE + p,p'- DDD)	2	Ausente
	Endosulfan ( I + II+ sulfato)	20	Ausente
	Endrin	0,6	Ausente
	Glifosato + Ampa	500	Ausente
	Heptacloro +heptacloroepóxido	0,03	Ausente
	Hexaclorobenzeno	1	Ausente
	Lindano (gama-BHC)	2	Ausente
	Malation	190	Ausente
	Metolacoloro	10	Ausente
	Metoxicloro	20	Ausente
	Molinate	6	Ausente
	Pendimetalina	20	Ausente
	Pentaclorofenol	9	Ausente
	Permetrina	20	Ausente
	Propanil	20	Ausente
	Simazina	2	Ausente
	Trifuralina	20	Ausente
<b>Microorganismos</b>			
<b>Motivação</b>	<b>Parâmetros de origem antrópica</b>	<b>VMP<sup>1</sup></b>	<b>VRQ<sup>2</sup></b>
Indicativos de infiltração de esgoto <i>in natura</i> - fossas rudimentares e/ou vazamentos de redes coletoras	<i>E. coli</i>	0/100 ml <sup>3</sup>	Ausente
	Enterococos	-	Ausente
	Coliformes termotolerantes	0/100 ml <sup>3</sup>	Ausente

\*Padrões de qualidade das águas subterrâneas para Classe 1, conforme proposta de classificação.

1- Valores máximos permitidos para o consumo humano. Deverão ser considerados como metas de tratamento para o consumo e/ou das remediações de eventuais áreas contaminadas.

2- Valores de referência de qualidade do SAB no BLS.

3- Notação adaptada para indicar "ausentes em 100 ml".

4- Lista completa dos parâmetros de agroquímicos do Anexo I da Resolução CONAMA 396/2008. Adotada pela ausência de registros disponíveis sobre produtos específicos utilizados nas práticas agrícolas do BLS.

## **4 DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANEJO VISANDO À PRESERVAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SEU USO SUSTENTÁVEL NO BLS**

Em atendimento aos termos de referência do estudo, as propostas de estratégias de manejo sustentável foram elaboradas visando à preservação das águas subterrâneas com foco no estabelecimento de área de proteção de aquíferos, delimitação de perímetros de proteção de poços e proposições de melhorias a alguns instrumentos da gestão dos recursos hídricos, principalmente, das águas subterrâneas.

O presente estudo avaliou a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras no Bloco Litoral Sul, 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 com baixa potencialidade à exploração das águas subterrâneas e a caracterização da qualidade geral das águas do SAB. Esses resultados nortearam as definições das propostas de manejo, visando à proteção das reservas estratégicas ao abastecimento das demandas atuais e futuras, ao aproveitamento de usos múltiplos das águas subterrâneas e ao ordenamento do uso e ocupação do solo, conforme será discutido adiante.

A avaliação realizada neste estudo alcançou resultados técnicos capazes de subsidiar propostas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, entretanto, a efetividade na aplicação dos mecanismos de manejo somente é possível por meio de normativas legais que estabeleçam as diretrizes, condicionantes e, sobretudo, a obrigação de fazer aos atores competentes. Por essa razão, é realizada uma discussão do arcabouço legal existente e seu atendimento, bem como a indicação de possíveis lacunas de regulamentos específicos.

### **4.1 Políticas afins com a gestão dos recursos hídricos**

Este item tem o objetivo de apresentar as principais políticas afins com a gestão dos recursos hídricos e os principais instrumentos dessas políticas. A discussão que segue não pretende avaliar o arcabouço legal sobre tema, mas analisar aspectos presentes nos diplomas legais que instituem as políticas nacionais de interesse, com efeito nas proposições de estratégia de manejo das águas subterrâneas elencadas neste estudo.

A gestão dos recursos hídricos é estabelecida na legislação brasileira em um modelo integrado e participativo dos atores envolvidos. A gestão integrada dos recursos hídricos fundamenta que as águas superficiais, subterrâneas e meteóricas são partes integrantes e indissociáveis do ciclo hidrológico e devem ser geridas



conjuntamente pelos órgãos ambientais e órgãos gestores dos recursos hídricos. O modelo participativo está presente ao incluir a sociedade civil no processo decisório e legislativo do tema. As discussões e as proposições de estratégias de manejo foram realizadas visando o fortalecimento dessas características do modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil.

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 diferentes níveis de governança.

Na gestão integrada, os níveis de governo Federal, Estadual e Municipais devem interatuar conjuntamente, buscando evitar, no conteúdo das legislações, as incongruências, as redundâncias e as competências concorrentes. Fiorillo (2000, apud SOUZA 2009) defende que a melhor interpretação para o modelo de interação entre os governos é extraída do Art. 24 da Constituição Federal de 1988, estabelecendo que “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”.

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 No 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 são os mecanismos de implementação e de gestão das diretrizes estabelecidas pelas políticas nacionais. A seguir serão apresentadas as políticas afins com a gestão dos recursos hídricos e seus principais instrumentos com influência ao tema de interesse e discutidos os aspectos de integração com a gestão dos recursos hídricos.

No **Apêndice L** é apresentado um quadro que resume alguns resultados deste estudo e suas respectivas correlações na aplicação dos instrumentos das políticas afins com a gestão dos recursos hídricos, identificando também os principais gestores com a competência de aplicar os instrumentos relacionados.

A **Tabela 4.1** apresenta as principais políticas nacionais afins com a gestão dos recursos hídricos e, a seguir serão destacados os principais instrumentos dessas políticas e os aspectos com efeito à discussão sobre as propostas de estratégias de manejo.

Tabela 4.1. Políticas Nacionais afins com a gestão dos recursos hídricos		
Legislação	Data	Descrição
Lei N° 9.433	08/01/1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Lei N° 6.938	31/08/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
Lei N° 10.257	10/07/2001	(Estatuto das Cidades) dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano e estabelece diretrizes gerais.
Lei N° 11.445	05/01/2007	Dispõe sobre a Política Nacional de Saneamento e estabelece diretrizes para o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana, o manejo dos resíduos sólidos e o manejo das águas pluviais urbanas

#### 4.1.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

Os fundamentos e diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos foram apresentados anteriormente para demonstrar a relação com outras políticas nacionais, bem como para destacar o modelo de gestão integrada e participativa da PNRH.

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.

A Lei 9.433/97 também cria o 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 legislação:

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). Dentre as inúmeras atribuições da ANA, definidas no Art 4º, destaca-se o inciso XI: “promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos de água, de alocação e distribuição de água, e de controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos planos de recursos hídricos”.

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 4.2** estão apresentadas as resoluções de maior relevância às discussões.

Tabela 4.2. Resoluções CNRH relacionadas com a gestão das águas subterrâneas		
Norma Legal	Data	Descrição
Resolução N° 15	11/01/2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos.
Resolução N° 16	08/05/2001	Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos
Resolução N° 22	24/05/2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
Resolução N° 65	07/12/2006	Estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental.
Resolução N° 91	05/11/2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
Resolução N° 92	05/11/2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas.
Resolução N° 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.
Resolução N° 126	29/06/2011	Estabelece diretrizes para o cadastro e integração das bases de dados referentes aos usuários 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°16, de 08 de maio de 2001, que estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos, bem como define competências aos órgãos gestores outorgantes. A definição da outorga é dada no Art. 1º desta Resolução 16/01, conforme transcrito da norma legal:

Art. 1º A outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado previamente ou mediante o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato, consideradas as legislações específicas vigentes.



A gestão integrada dos recursos hídricos também é destacada no Art. 1º, § 4º, no qual é estabelecido que: “a análise dos pleitos de outorga deverá considerar a interdependência das águas superficiais e subterrâneas e as interações observadas no ciclo hidrológico visando a gestão integrada dos recursos hídricos”.

A Resolução 16/01 também estabelece as condições para a obtenção da outorga, conforme alguns termos da referida norma legal:

Art. 4º Estão sujeitos à outorga: (...)

II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; (...)

Art. 16 O requerimento de outorga de uso de recursos hídricos será formulado por escrito, à autoridade competente e instruído com, no mínimo, as seguintes informações:

I - em todos os casos: (...)

Parágrafo único. Os estudos e projetos hidráulicos, geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos, correspondentes às atividades necessárias ao uso dos recursos hídricos, deverão ser executados sob a responsabilidade de profissional devidamente habilitado junto ao Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA.

Deve-se destacar, dentre as atribuições conferidas aos outorgantes, o estabelecido no Art. 27, conforme transcrito da Resolução em questão:

Art 27. As Unidades da Federação a quem compete a emissão das outorgas dos recursos hídricos subterrâneos, deverão manter os serviços indispensáveis à avaliação destes recursos, ao comportamento hidrológico dos aquíferos e ao controle da qualidade e quantidade.

A Resolução CNRH Nº 22, de 24 de maio de 2002, determina a inserção das águas subterrâneas nos Planos de Recursos Hídricos. Os artigos 2º, 3º, 4º e 5º da Resolução Nº 22/02 estabelecem os critérios e os dados relativos 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 no BLS, refinar, revisar e/ou complementar os planos com atendimento às diretrizes determinadas nos citados artigos.

A Resolução CNRH Nº 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° 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. 3º (...) “§1º 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 §2º 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 3º da referida resolução 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, inclusive trazendo uma proposta de zoneamento para a classificação das águas subterrâneas, conforme apresentado no Capítulo 2 deste volume.

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.

As demais Resoluções do CNRH apresentadas na **Tabela 4.2** serão tratadas ao longo da discussão sobre as propostas de estratégias de manejo sustentável das águas subterrâneas, oportunamente relacionadas com suas respectivas aplicações e/ou atendimento às suas diretrizes.

#### 4.1.2 Política Nacional de Meio Ambiente

A Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei 6.938/81, 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. Os principais instrumentos da PNMA com influência à gestão dos recursos hídricos são:

Art. 9º - São Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II - o zoneamento ambiental;

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; (...)

VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas;

VII - o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente; (...)

XI - a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes;

XII - o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais; (...).

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 PNMA também conta com um mecanismo sistematizado para o gerenciamento do meio ambiente, instituído no Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) que possui, como órgão consultivo e deliberativo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República, órgão central do SISNAMA que tem a finalidade de planejar, coordenar, supervisionar e controlar, a política nacional e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente.

O CONAMA tem a finalidade de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões

compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida.

A **Tabela 4.3** traz as principais Resoluções do CONAMA relacionadas com a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Destaca-se que essas normas legais possuem elevada importância na integração da PNRH e da PNMA e subsidiam ações de gestão voltadas, entre outros fatores, ao 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.

Tabela 4.3. Resoluções CONAMA relacionadas com a gestão das águas subterrâneas		
Norma Legal	Data	Descrição
Resolução N° 396	03/04/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas
Resolução N° 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 CONAMA N° 396, de 03 de abril de 2008, estabelece diretrizes de classificação para o enquadramento das águas subterrâneas. Neste estudo foi elaborada uma proposta de classificação que fornece ferramental técnico aos órgãos gestores do meio ambiente e dos recursos hídricos, visando apoiar as futuras ações de enquadramento das águas subterrâneas. O Capítulo 2 deste volume apresenta as diretrizes da referida resolução e discute em detalhe os fatores determinantes para o estabelecimento da proposta de classificação apresentada.

A Resolução CONAMA N° 420, de 28 de dezembro de 2009, estabelece padrões de qualidade ambiental para solo e água subterrânea e constitui importante ferramenta ao processo de gerenciamento de áreas contaminadas que, em geral, são responsáveis por diminuições de reservas hídricas subterrâneas por alteração da qualidade a níveis impróprios aos usos mais restritivos.

No estabelecimento das propostas de manejo sustentável das águas subterrâneas, sobretudo relacionado aos aspectos de proteção à qualidade e ao gerenciamento de atividades potencialmente contaminadoras, serão abordados temas contemplados por essas resoluções do CONAMA.

#### 4.1.3 Política Nacional de Saneamento Básico

A Lei N° 11.445, de 05 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal 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 institui que “os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento básico”. Entretanto, a inter-relação e a dependência dos serviços de saneamento com os recursos hídricos são indissociáveis. Destacam-se os seguintes princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento Básico com estreitas relações com os recursos hídricos:

- universalização do acesso;
- 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;
- disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Além da relação intrínseca do saneamento com os recursos hídricos, a integração entre a PNSB e a PNRH torna-se explícita no parágrafo único, do Art 4º, da Lei de Saneamento, que estabelece: “a utilização de recursos hídricos na prestação de serviços públicos de saneamento básico, inclusive para disposição ou diluição de esgotos e outros resíduos líquidos, é sujeita a outorga de direito de uso, nos termos da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, de seus regulamentos e das legislações estaduais”.

Considerando que, em geral, os titulares dos serviços de saneamento são os municípios ou, pelo menos atuam como reguladores, a Lei de Saneamento legisla da esfera federal diretamente aos municípios. Os Estados, neste caso, atuam especificamente em aspectos associados, como, por exemplo, concedendo a outorga de uso de água e lançamento de efluentes e, muitas vezes, como prestador de serviços, através das concessionárias estatais, como ocorre no BLS com a CAERN.

O principal instrumento de gestão da PNSB é o plano de saneamento que deve ser elaborado pelo titular do serviço de saneamento básico, em geral, o próprio município ou, no caso do serviço ser repassado a terceiros (empresas públicas ou privadas), a responsabilidade é transferida aos prestadores.



Merecem destaques as seguintes diretrizes transcritas da Lei 11.445/07, relativas aos planos de saneamento:

Art. 19. A prestação de serviços públicos de saneamento básico observará plano, que poderá ser específico para cada serviço, o qual abrangerá, no mínimo:

I - diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos e apontando as causas das deficiências detectadas; (...)

§ 3º Os planos de saneamento básico deverão ser compatíveis com os planos das bacias hidrográficas em que estiverem inseridos. (...)

§ 5º Será assegurada ampla divulgação das propostas dos planos de saneamento básico e dos estudos que as fundamentem, inclusive com a realização de audiências ou consultas públicas. (...).

Este estudo realizou um levantamento das condições de atendimento dos serviços de saneamento nos municípios do BLS e compilou informações acerca das infraestruturas hídricas de abastecimento público de água, do atendimento de esgotamento sanitário e das drenagens urbanas.

Nenhum município do BLS possui plano de saneamento, sendo que todos os municípios são totalmente dependentes das águas subterrâneas para o abastecimento público e a taxa de tratamento de esgotamento sanitário da ordem de 5% na área. Este cenário aponta uma grave dicotomia relacionada ao modelo de saneamento básico do BLS, no qual o baixo índice de esgotamento sanitário ameaça a qualidade da fonte de água potável do abastecimento.

Estes estudos não objetivaram levantamentos e interpretações com foco na elaboração de planos de saneamento básico, entretanto, muitas informações existentes poderão subsidiar o futuro desenvolvimento dos planos.

#### 4.1.4 Política Nacional de Desenvolvimento Urbano

A Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU) tem diretrizes regulamentadas, sobretudo, pela Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001, conhecida como “Estatuto das Cidades”. Assim como discutido sobre a Lei de Saneamento, neste caso também ocorre da esfera federal legislar diretamente aos municípios, a quem compete regulamentar as questões de ordenamento e de uso do solo.

As atividades humanas e também de uso dos recursos naturais ocorrem necessariamente nos municípios e, ainda que não tenham a competência de licenciar determinadas atividades, possuem o poder de regulamentar os locais destinados às atividades praticadas em seu território. Esse papel de legislar o ordenamento do uso do solo, entre outros, está contemplado na PNDU que tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, com destaque às seguintes diretrizes gerais:

- garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;
- cooperação entre os governos, a iniciativa privada e os demais setores da sociedade no processo de urbanização, em atendimento ao interesse social;
- ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar a proximidade de usos incompatíveis ou inconvenientes e a poluição e a degradação ambiental;
- adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e do território sob sua área de influência;
- proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico.

Para viabilizar a aplicação das diretrizes estabelecidas no Estatuto das Cidades são instituídos diversos instrumentos, com destaque ao planejamento municipal que, entre outros itens, contempla:

- plano diretor;
- disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo;
- zoneamento ambiental;
- institutos jurídicos e políticos com destaque para a instituição de unidades de conservação e o direito de preempção;
- estudo prévio de impacto ambiental (EIA) e estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV).

O plano diretor municipal representa, ao processo de gestão dos recursos hídricos, o principal instrumento de integração entre a PNDU e a PNRH, uma vez que poderá definir mecanismos de proteção às águas subterrâneas por meio de instrumentos associados ao plano, tais como o zoneamento ambiental e outros mecanismos de ordenamento do uso do solo.

No Art. 182 da Constituição Federal de 1988, assim como na Lei 10.257/01, no Art. 41 ficam obrigadas as cidades com mais de vinte mil habitantes a aprovarem em lei o plano diretor, dado como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana. No caso do BLS, apenas os municípios de Canguaretama e Goianinha possuem mais de vinte mil habitantes. Entretanto, alguns municípios litorâneos, com destaque à Tibau do Sul e Baía Formosa, podem ser enquadrados na obrigatoriedade de elaborar o plano diretor por integrarem áreas de especial interesse turístico, conforme estabelecido na Lei 10.257/01, no Art. 41, inciso IV. A **Tabela 4.4**, apresentada adiante, traz um resumo dos municípios do BLS que possuem regulamentação ao Plano Diretor.

Os municípios de Goianinha e Vila Flor não possuem plano diretor. Deve-se ressaltar que o município possui obrigatoriedade na elaboração do plano diretor, devido ao número de habitantes.

<b>Tabela 4.4. Planos Diretores Municipais do BLS</b>	
<b>Município</b>	<b>Legislação<sup>1</sup></b>
Arez	Lei Complementar N° 13 - 01/10/2009
Baía Formosa	Lei N° 505 - 31/03/2011
Canguaretama	Lei N° 314 - 09/10/2006
Goianinha	Não possui
Senador Georgino Avelino	Lei N° 81 - 10/06/2011
Tibau do Sul	Lei Complementar N° 06 - 30/12/2008
Vila Flor	Não possui

<sup>1</sup>Legislação que regulamenta o Plano Diretor Municipal

Apesar de os planos diretores dos municípios do BLS fazerem alguma menção aos recursos hídricos, comumente definem diretrizes gerais de proteção aos recursos, sem, no entanto, estabelecerem medidas específicas de proteção aos recursos hídricos subterrâneos. Merecem destaques algumas diretrizes estabelecidas nos planos diretores de Canguaretama e Senador Georgino Avelino que configuram incipientes inclusões dos aspectos hidrogeológicos na legislação municipal.

No município de Canguaretama, a Lei Nº 314, de 09 de outubro de 2006, estabelece:

Art. 71 – Para a realização dos objetivos fixados no artigo 69 desta Lei deverão ser observadas as seguintes diretrizes de gestão ambiental: (...) V– promover o reconhecimento e mapeamento hidrogeológico do Município, definindo o zoneamento, funções e condicionantes para conservação das diversas áreas que se pretenda proteger ou conservar; (...).

Art. 94 – Considerando a importância do escoamento das águas pluviais para o bom funcionamento da cidade e a infiltração dessas águas no solo urbano para realimentação do aquífero subterrâneo, amenização e manutenção das áreas verdes urbanas, deverá ser elaborado e implantado, no Município de Canguaretama, o Plano de Drenagem Urbana, que deverá integrar o Plano de Desenvolvimento do Sistema de Saneamento Ambiental, ficando estabelecidas as seguintes diretrizes: I – elaborar zoneamento hidrogeológico do Município de Canguaretama; (...).

Art. 135 – Nas áreas de proteção ambiental englobadas pela Zona de Proteção Ambiental, além dos elementos especificados no artigo 131 desta Lei, devem ser exigidos: I – mapeamento hidrogeológico com descritivo de toda a área a ser parcelada; (...).

Art. 148 – Para a Zona de Proteção Ambiental – ZPA – serão permitidos os seguintes usos, observando-se as prescrições de ocupação especificadas: (...)

II – não residencial – serão permitidos os usos que comportem atividades de apoio ao turismo, lazer, educação, cultura e saúde, como hotéis, pousadas, motéis, restaurantes, escolas especializadas, observatórios ou similares, em glebas com área mínima de 5.000 m<sup>2</sup> (cinco mil metros quadrados), com ocupação máxima de 20% (vinte por cento) da área da gleba; e os usos industrial e agrícola, observando os critérios estabelecidos no Título IV, Capítulo VII, Seção I, desta Lei, e demais restrições estabelecidas para a conservação da zona. (...)

§2º. Independente do uso, o pedido de licenciamento, na área de abrangência da Zona de Proteção Ambiental, deve conter: (...) II – mapeamento hidrogeológico e descritivo da área; (...).

No município de Senador Georgino Avelino, a Lei N° 081, de 10 de junho de 2011, estabelece:

Art. 79. As áreas especiais de interesse ambiental de uso indireto AEIAI são áreas ambientalmente frágeis, com prevalência de ambientes dunares, não sendo permitida a ocupação e o uso direto dos recursos naturais em seus limites, conforme Mapa 02 (Anexo 01), desta Lei.

§1º As AEIAI visam à manutenção das áreas de recarga dos mananciais hídricos, dos recursos paisagísticos, da proteção da flora, da fauna e do solo, bem como da proteção dos atributos naturais do município, principal atrativo de visitantes e turistas; (...).

Os destaques apontados acima demonstram a preocupação destes municípios com a proteção dos recursos hídricos subterrâneos, sendo que os resultados destes estudos hidrogeológicos poderão balizar o aprimoramento dessas diretrizes e, sobretudo, trazer aos demais municípios subsídios para também incluírem os aspectos hidrogeológicos e de proteção das águas subterrâneas em seus planos diretores.

Deve-se ressaltar que diversos dados e resultados existentes neste estudo permitirão, aos municípios do BLS, elaborar e/ou atualizar seus Planos Diretores com foco na gestão e proteção das águas subterrâneas, sendo que adiante serão apontadas algumas sugestões específicas aos municípios para que possam efetuar ações e legislar suplementarmente à União e os Estados, visando ao manejo sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, em consonância ao modelo de gestão integrada.

#### 4.1.5 A gestão dos recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Norte

O modelo de complementariedade da legislação estadual em relação à federal, defendido na introdução deste item, citando Fiorillo (2000, apud SOUZA, 2009), pode ser observado na legislação de recursos hídricos, em vigor no Estado do Rio Grande do Norte. Assim como a horizontalidade na estrutura do Estado, integrando a política de recursos hídricos com a de meio ambiente. A verticalidade na gestão integrada dos recursos hídricos com os municípios ocorre, principalmente, por meio dos sistemas de gestão e de instrumentos integradores, previstos nas políticas estaduais.

A Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), no Rio Grande do Norte é anterior à própria PNRH e foi instituída pela Lei N° 6.908, de 01 de julho de 1996, estabelecendo importantes preceitos para a gestão integrada dos recursos hídricos com destaque a:



Art. 1º. A Política Estadual de Recursos Hídricos tem como objetivos:

I - planejar, desenvolver e gerenciar, de forma integrada, descentralizada e participativa, o uso múltiplo, controle, conservação, proteção e preservação dos recursos hídricos; (...).

Art. 3º. São diretrizes gerais da Política Estadual de Recursos Hídricos:

I - a maximização dos benefícios econômicos e sociais, resultantes do aproveitamento múltiplo e/ou integrado dos recursos hídricos do seu território; (...)

III - o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas subterrâneas, contra a poluição e a exploração excessiva ou não controlada;

IV - a articulação inter-governamental com o Governo Federal, Estados vizinhos e os Municípios, para a compatibilização de planos de uso e preservação dos recursos hídricos.

Os destaques nos objetivos e nas diretrizes da PERH, apresentados acima, mostram a consonância da política estadual com o modelo de gestão integrada e participativa relacionada à matéria dos recursos hídricos. Em relação aos instrumentos que permitem a implementação da política e que viabilizam a gestão dos recursos hídricos, o Estado também está bastante alicerçado, sendo instituído na Lei 6.908/96:

Art. 4º. São instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos:

I - o Plano Estadual de Recursos Hídricos;

II - o Fundo Estadual de Recursos Hídricos;

III - a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e o licenciamento de obras hídricas;

IV - a cobrança pelo uso da água.

Apesar da existência dos importantes instrumentos da PERH e do sólido e integrado arcabouço legal sobre a matéria dos recursos hídricos e meio ambiente, os problemas relacionados às águas subterrâneas evidenciam ações muito tímidas e também pouca efetividade na fiscalização e aplicação dos instrumentos existentes, refletidas, por exemplo, no pequeno número de usuários outorgados e no baixo nível de integração dos órgãos gestores.

A articulação das políticas estaduais de recursos hídricos e de meio ambiente pode ser observada nas legislações em vigor no Estado, assim como o fortalecimento ao modelo de gestão integrada. Os principais diplomas legais estaduais relacionados ou com afinidade à matéria dos recursos hídricos são apresentados na **Tabela 4.5**, sendo, a seguir, destacados os aspectos de interesse, em subsídio às discussões abordadas neste capítulo.

<b>Tabela 4.5. Legislação do Rio Grande do Norte pertinente à gestão dos recursos hídricos</b>		
<b>Diploma Legal</b>	<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
Lei Nº 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 Nº 13.283	22/03/1997	Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e do licenciamento de obras de oferta hídrica
Decreto Nº 13.284	22/03/1997	Regulamenta o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH
Decreto Nº 13.836	11/03/1998	Regulamenta o Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FUNERH
Lei Nº 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 Nº 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 Nº 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 Nº 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 (**Tabela 4.5**) 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 Resolução Conjunta Nº 01, de 21 de fevereiro de 2008 e da Lei Complementar Nº 380, de 27 de dezembro de 2008.

A Lei Complementar Nº 380/2008 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 representa um grande avanço à gestão integrada dos recursos hídricos.

A Resolução Conjunta N° 01/2008 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 está em consonância com a Resolução CNRH N° 65/2006, e também representam uma evolução no processo de gestão integrada dos recursos hídricos, atuando de maneira complementar a legislação Federal.

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.

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 alvos prioritários de melhorias do processo de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

A partir de instrumentos já contemplados nas legislações Federal e 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. Conforme destacado anteriormente, a Política Estadual de Recursos Hídricos define como instrumentos, a cobrança pelo uso da água e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNERH), regulamentado pelo Decreto N° 13.836, de 11 de março de 1998. Diante dos desses instrumentos já existentes devem ser assegurados os repasses de recursos financeiros necessários ao fortalecimento da gestão dos recursos hídricos, sobretudo voltada à proteção e ao controle do uso das águas subterrâneas.

## 4.2 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. No **Apêndice M** são apresentados quadros contendo, resumidamente, as propostas de estratégias de manejo apresentadas neste item.

### 4.2.1 No controle dos usos das águas subterrâneas

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 Nº 9.433, de 08/01/1997 (Art. 14), estabelece que a promulgação das outorgas de uso dos recursos hídricos compete ao Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal. Até o momento, apenas bacias hidrográficas de 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 6.908/1996, da Política Estadual de Recursos Hídricos, no Art. 4º, inciso III, institui o instrumento da outorga e o Decreto 13.283/1997, regulamenta esse instrumento de gestão do uso dos recursos hídricos.

No Bloco Litoral Sul, as águas subterrâneas são responsáveis pela totalidade do abastecimento para o consumo humano e por parte do suprimento para outros usos, exploradas por quase 600 poços, dos quais, apenas 46 (7,6%) são outorgados. Esse nível de irregularidade do uso das águas subterrâneas pode ser atribuído a dois principais fatores: a baixa eficácia na fiscalização e no controle do atendimento ao arcabouço legal existente; e a falta de conhecimento do usuário sobre as águas subterrâneas e sobre a importância na gestão desses recursos hídricos. O Estado, apesar de institucional e legalmente preparado para controlar esse cenário, não foi capaz de impedir o elevado número de poços sem outorgas.

Os estudos hidrogeológicos realizados demonstraram que, atualmente, o volume retirado do SAB pelos poços em operação totaliza  $8,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, representando um comprometimento da potencialidade inferior a 5%. Os recursos exploráveis do SAB estão estimados em  $108 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano e correspondem ao potencial de oferta de água do SAB.

No cenário atual de exploração das águas subterrâneas, a quantidade de poços e os volumes explorados não representam efetivo problema à quantidade das águas do SAB. Entretanto, a elevada clandestinidade impede a implantação de medidas de controle do uso e dificulta a gestão integrada dos recursos hídricos, além de estar em desacordo com a legislação vigente.

As estimativas das demandas de água para a agricultura no Bloco Litoral Sul, principalmente na irrigação da cana-de-açúcar, representam volumes muito superiores às potencialidades das águas subterrâneas. Atualmente, o suprimento às irrigações é feito em grande parte por água superficial. Desse modo, a avaliação da oferta de água subterrânea demonstra dois possíveis cenários bastante antagônicos. Caso as demandas de água na agricultura sejam supridas pelo SAB, o cenário é de déficit hídrico. Porém, se os padrões de uso das águas subterrâneas se mantiverem como os atuais, voltados ao abastecimento humano e utilização nas atividades industriais e comerciais, o cenário é bastante confortável, pois as estimativas das demandas de água desses usos para o ano de 2030 representam volumes inferiores a 10% dos recursos exploráveis.

Deve-se pontuar que as demandas hídricas na carcinicultura são também bastante elevadas, entretanto, as maiores retiradas ocorrem em águas de salinidade elevadas, nos corpos hídricos superficiais nas regiões estuarinas. Desse modo, em geral, não é o tipo de uso que compete fortemente com os praticados nas águas subterrâneas.

Essa avaliação relativa aos usos e à oferta de água no BLS ressalta a necessidade de uma gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, já que somente serão supridas as demandas estimadas, por meio da complementariedade dessas fontes hídricas. Desse modo, são apresentadas duas sugestões relacionadas ao desenvolvimento do uso dos recursos hídricos subterrâneos:

- Buscar a diminuição da clandestinidade dos poços e o consequente aumento no controle da gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais; e
- Controlar a expansão do uso das águas subterrâneas com finalidade de irrigação, em patamares que não comprometam os suprimentos dos demais usos, sobretudo o do consumo humano, cuja prioridade de uso está amparada por lei.

Em relação ao elevado percentual de poços não outorgados (92%), sugere-se o estabelecimento de programas específicos para o maior engajamento dos usuários na gestão compartilhada dos recursos hídricos, bem como a ampliação do aparelhamento tecnológico, estrutural e de pessoal do setor de fiscalização e de outorga da SEMARH.



O cadastro de poços consistido neste estudo permite ao Estado conhecer a maioria dos poços existentes na área, bem como obter dados técnicos importantes às avaliações hidrogeológicas e estimativas dos volumes explorados. No entanto, ainda existe um importante trabalho de ampliação dos dados do cadastro que deve ser parte do processo de gestão e do contínuo aprimoramento dessa ferramenta gerencial. A efetiva evolução que o cadastro representa ao Estado é de permitir o alcance a um universo de usuários anteriormente desconhecidos e, desse modo, buscar a regularização dos poços.

Em contribuição ao processo de regularização dos poços, sugere-se ao setor de outorgas da SEMARH, a realização de um processo de recadastramento de usuários a ser efetuado em consonância com as diretrizes da Resolução CNRH N° 126, de 29 de junho de 2011, visando ao estágio inicial da regularização dos usuários e à consequente atualização do cadastro.

Os trabalhos de cadastramento e monitoramento realizados neste estudo permitiram constatar a ocorrência de poços com baixa qualidade construtiva. A maioria desses casos foi evidenciada principalmente pela ausência de laje de proteção e de cerca de restrição ao acesso, mas também pela falta da tampa, deixando esses poços vulneráveis à contaminação a partir da própria boca do poço.

Entretanto, ainda existem outros aspectos, cuja identificação não é possível por visita ao poço, como, por exemplo, a informação sobre o perfil construtivo e sobre a extensão do selo de proteção sanitária. Muitos poços do cadastro não possuem essas informações e, uma parte destes, pode estar fora dos padrões técnicos exigidos nas normas. Associado ao processo de regularização dos poços recomenda-se impor aos respectivos usuários a desativação de poços em desacordo com as normas técnicas de construção de poços, caso as devidas adequações não sejam possíveis.

Acrescenta-se ao discutido acima que as alternativas de soluções são muito diversificadas para que seja possível elencar um programa específico de ações. No entanto, sugere-se que seja criada uma Comissão Técnica para o desenvolvimento de um programa de ações, sendo apresentadas a seguir algumas contribuições ao estabelecimento de um futuro programa de regularização dos poços:

- Com base no cadastro consistido neste estudo, identificar e regularizar os usuários de águas subterrâneas na área de interesse;
- Promover a contínua atualização do cadastro de usuários realizado neste estudo, visando à ampliação das informações sobre os registros já existentes, bem como a inclusão de outros usuários não identificados até o momento;

- 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;
- Exigir formalmente, dos proprietários de poços em desacordo aos padrões técnicos construtivos, a adequação dos poços ou a desativação (tamponamento), caso a correção do problema não seja tecnicamente possível;
- Criar mecanismos de facilitação de regularização dos pequenos usuários de água subterrânea;
- Efetivar a implementação e a fiscalização sobre eventuais mecanismos de regularização dos poços, visando alcançar os objetivos do programa de ações e a ampliação do controle sobre os usos das águas subterrâneas.

Em discussão ao aspecto técnico da gestão integrada dos recursos hídricos deve-se enfatizar que o ciclo hidrológico inter-relaciona as águas subterrâneas, superficiais e meteóricas, sobretudo em locais com as características climáticas e hidrogeológicas como as existentes no BLS, na qual as chuvas locais são responsáveis pela recarga do SAB que, por sua vez, é responsável pela manutenção dos cursos d'água nos períodos 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.

Apesar de o Decreto Nº 13.283/1997, 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, a interdependências das águas subterrâneas e superficiais não é considerada. Esta afirmativa foi baseada nos termos do referido Decreto no:

Art. 13 (...) II - 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; (...).

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 corpos hídricos 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 com a finalidade de dimensionar os volumes máximos para as outorgas subterrâneas e superficiais de maneira integrada para o BLS. Os resultados obtidos no presente estudo relacionados ao balanço hidrogeológico, aos cálculos de recursos exploráveis e ao cadastro de poços poderão subsidiar os trabalhos de definição do volume de outorga integrada para as bacias hidrográfica da região.

A falta de controle dos poços não outorgados possui também um risco à qualidade das águas do aquífero e/ou à questão de saúde pública. A avaliação hidrogeoquímica realizada neste estudo identificou ocorrências pontuais de alteração da qualidade natural das águas, com indícios de contaminação por esgotos sanitários, principalmente em algumas sedes e aglomerados urbanos mais desenvolvidos. Esse cenário, associado a possíveis problemas construtivos de alguns poços podem, tanto contribuir com a contaminação do aquífero quanto propiciarem a captação de águas contaminadas. A regularização dos poços tende a minimizar esses riscos, uma vez que os poços regularizados devem possuir características construtivas adequadas, bem como fornecer, periodicamente, os resultados de qualidade das águas para o órgão gestor.

Vale ressaltar que, em geral, os poços de abastecimento público, neste caso de propriedade da CAERN, têm suas águas analisadas com alguma frequência, apesar de, geralmente, também não possuírem outorga.

Novamente, a regularização dos poços não outorgados é ressaltada como ação prioritária para a ampliação do controle do Estado relacionado ao uso das águas subterrâneas e, neste caso, à proteção da saúde pública, à melhoria da qualidade de vida e à proteção da qualidade das águas subterrâneas.

#### 4.2.2 Na qualidade das águas subterrâneas influenciada por atividades urbanas

A avaliação hidrogeoquímica caracterizou excelentes padrões de qualidade natural das águas subterrâneas do SAB no BLS, conforme demonstrado no capítulo específico. Esse cenário permite que todo o potencial desse manancial subterrâneo seja utilizado para usos nobres com os mais restritivos padrões de qualidade. Aliás, esse quadro já ocorre no BLS, uma vez todo o consumo humano é abastecido individual ou coletivamente pelas águas subterrâneas do SAB.

As propostas de estratégias de manejo ora discutidas visam à proteção da qualidade natural das águas subterrâneas do SAB, objetivando a manutenção desse padrão de qualidade e, desse modo, garantindo às futuras gerações as mesmas condições para o abastecimento do consumo humano.

O monitoramento analítico permitiu também identificar ocorrências pontuais de alteração da qualidade natural, principalmente causadas pela infiltração de esgotos sanitários, caracterizadas por concentrações de nitrato (expresso em N) acima de 2 mg/L. Alguns casos isolados foram identificados com concentrações acima de 10 mg/L de nitrato (expresso em N), em desacordo com os padrões de potabilidade. Essas ocorrências foram detectadas em poços situados nas sedes municipais e em aglomerados urbanos na faixa litorânea e em comunidades rurais.

As ocorrências de alteração da qualidade natural das águas subterrâneas estão associadas às influências antrópicas, neste caso, principalmente motivadas pelo modelo de esgotamento sanitário que utiliza amplamente fossas na disposição dos efluentes.

A ocupação territorial no BLS caracteriza-se por sedes municipais pouco desenvolvidas, sendo as maiores, Goianinha e Canguaretama, respectivamente com 15.477 e 20.235 habitantes (IBGE, 2010). As sedes de Baía Formosa e Tibau do Sul estão situadas na faixa litorânea, onde estão posicionadas outras relevantes ocupações urbanas da região, com destaque para a praia de Pipa, no município de Tibau do Sul. Além dessas ocupações urbanas, ocorrem diversas comunidades rurais de pequeno porte dispersas pela área de estudo, totalizando uma população de 93.075 habitantes em todo o BLS.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a população atendida com coleta e tratamento de esgoto é de 4.349 habitantes em todo o BLS (SNIS, 2008), ou seja, menos de 5% da população. Esses dados representam coberturas parciais de coleta e tratamento de esgotos na sede de Goianinha, com 2.764 habitantes atendidos, e na Praia de Pipa, em Tibau do Sul, com atendimento a 1.585 habitantes. A utilização de fossas para a disposição dos esgotos ocorre em 85% dos domicílios do BLS, de acordo com o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Os dados do esgotamento sanitário e da avaliação hidrogeoquímica trazem o alerta acerca do potencial de contaminação das águas subterrâneas em decorrência do modelo de saneamento básico atualmente praticado na região. Ainda que, de um modo geral, as águas subterrâneas apresentem bons padrões de qualidade, medidas de controle devem ser tomadas para evitar o avanço da contaminação por nitrato.

Assim como o cenário existente na Região Metropolitana de Natal, sobretudo nos municípios de Natal e Parnamirim, no qual as águas subterrâneas possuem restrições ao consumo humano devido à contaminação por nitrato, estima-se que a evolução do cenário no BLS seja semelhante, caso não seja ampliado o atendimento do esgotamento sanitário.

Acrescenta-se que a ampliação do atendimento do esgotamento sanitário deve ser priorizada nas áreas de expansão dos aglomerados urbanos e nas áreas já urbanizadas que possuem pequena alteração da qualidade natural das águas subterrâneas. Entretanto, deve-se buscar no menor prazo possível o atendimento total dos serviços de saneamento, conforme será tratado a seguir.

Os estudos ora desenvolvidos subsidiarão os futuros planos de recursos hídricos e os planos diretores municipais a definirem o melhor aproveitamento do uso e da ocupação do solo, observando a proteção dos recursos hídricos subterrâneos. Entretanto, este estudo sugere, como ação prioritária, o atendimento aos fundamentos e diretrizes da Lei de Saneamento (Lei Nº 11.445/2007) com destaque a:

Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

I - universalização do acesso; (...)

III - 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; (...)

VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante; (...)

XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Art. 4º (...) Parágrafo único. A utilização de recursos hídricos na prestação de serviços públicos de saneamento básico, inclusive para disposição ou diluição de esgotos e outros resíduos líquidos, é sujeita a outorga de direito de uso, nos termos da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, de seus regulamentos e das legislações estaduais.

Art. 9º O titular dos serviços formulará a respectiva política pública de saneamento básico, devendo, para tanto:

I - elaborar os planos de saneamento básico, nos termos desta Lei; (...).



Conforme discutido anteriormente, no item sobre as estratégias de manejo relacionadas à outorga, um possível o cenário de contaminação das águas subterrâneas pode alcançar um efeito ainda mais crítico, considerando que mais de 90% dos poços são clandestinos. As proposições sobre essa temática foram apresentadas no item específico.

No BLS existe um elevado potencial de desenvolvimento turístico na faixa litorânea. A exemplo do desenvolvimento ocorrido na praia de Pipa, outras localidades e as sedes de Baía Formosa e Tibau do Sul poderão avançar para uma ocupação mais densa com elevado interesse turístico-imobiliário. Este estudo sugere que as implantações de futuros empreendimentos com elevados potenciais de ocupação e adensamento demográfico sejam aprovadas somente mediante a comprovação de capacidade de atendimento à universalização de todo o elenco de serviços do saneamento básico. Esta medida deverá ser acompanhada de fiscalização em todas as fases do licenciamento ambiental, incluindo a fase pós-implantação para a validação do efetivo atendimento aos itens de projeto aprovados nas fases anteriores.

Em relação a outras atividades urbanas potencialmente contaminadoras, este estudo realizou o cadastramento e classificação do potencial de gerar carga contaminante, de acordo com a metodologia POSH (FOSTER *et al.* 2006), cujos resultados e discussões estão apresentados em capítulo específico ao tema. Deve-se destacar que as ações prioritárias relacionadas às fontes pontuais de contaminação devem ser para o controle e fiscalização da disposição de resíduos sólidos urbanos e para as atividades de postos de combustíveis.

Este estudo sugere que o órgão estadual gestor do meio ambiente (IDEMA), agregue o cadastro de fontes pontuais de contaminação consistido, em complementação ao cadastro já existente no referido órgão, do qual parte das informações foi extraída. Acrescenta-se ainda a recomendação de priorizar a fiscalização às atividades indicadas anteriormente e as demais classificadas como de elevado potencial de gerar cargas contaminantes.

Para efeito de fiscalização, bem como de gerenciamento de eventuais áreas contaminada poderá ser regulamentado um procedimento específico para a avaliação e classificação das áreas contaminadas, cuja regulamentação poderá ocorrer por meio de uma Resolução Conjunta do CONEMA e do CONERH com apoio na elaboração dado por trabalhos de uma Comissão Técnica Específica.

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, 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 Nº 420/2009 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 da gestão integrada dos recursos hídricos.

#### 4.2.3 Na qualidade das águas subterrâneas influenciada por atividades no meio rural

O Bloco Litoral Sul, apesar de concentrar a maioria da população nas sedes municipais, possui uma importante ocupação rural, sobretudo alicerçada na agroindústria da cana-de-açúcar e da carcinicultura. Essas duas atividades, devido suas características de produção intensiva podem exercer forte influência aos recursos hídricos, quantitativa e qualitativamente, sendo consideradas neste estudo potenciais fontes difusas de contaminação às águas subterrâneas.

O plantio de cana-de-açúcar corresponde a quase 80% das áreas cultivadas no BLS, recobrando uma extensão de 36.800 ha (IBGE, 2008). A rede de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas definida neste estudo buscou a avaliação de possíveis influências dessas atividades na qualidade das águas subterrâneas. Os resultados encontrados, entretanto, não identificaram nenhuma condição anômala de destaque nos valores de ocorrência de nitrato ou de agroquímicos, conforme discutido no capítulo relativo à avaliação hidroquímica.

Em relação ao discutido anteriormente, deve-se ressaltar que não foram cadastrados poços específicos para o monitoramento da qualidade das práticas realizadas nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar e, talvez, por essa razão não tenha sido evidenciada alguma influência qualitativa. Os poços selecionados foram principalmente poços tubulares situados próximos às áreas de cultivo.

Este estudo sugere ao órgão gestor do meio ambiente, caso essa prática não seja realizada, a definição de procedimentos de avaliação ambiental das atividades agrícolas intensivas a serem exigidos dos empreendimentos agroindustriais, devendo ser realizados periodicamente, visando à comprovação de que suas atividades não estão provocando a alteração da qualidade natural das águas subterrâneas.

Em contribuição ao sugerido, complementa-se que as citadas avaliações ambientais a serem realizadas pelos empreendimentos deverão contar com pontos de coleta de solo e de água subterrânea, dedicados à finalidade de monitoramento e posicionados de modo que possam representar as condições da qualidade dos bens a proteger em relação às atividades praticadas. Esses trabalhos deverão ser desenvolvidos por profissionais habilitados, comprovados pelo recolhimento da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) junto ao Conselho de Classe competente.

Ressalta-se ainda que as usinas de processamento da cana-de-açúcar representam potenciais fontes pontuais de contaminação, também devendo ser avaliadas ambientalmente em relação aos possíveis impactos ao solo e às águas subterrâneas, decorrentes de suas práticas e atividades.

A carcinicultura também exerce pressões qualitativas e quantitativas sobre os recursos hídricos, muito embora com características distintas às discutidas anteriormente. A ocupação dessa atividade ocorre concentrada principalmente no entorno da laguna de Guaraíras, da lagoa de Nísia Floresta e na planície aluvionar do rio Curimataú, na qual diversos tanques de criação foram construídos lado a lado formando extensas regiões, com estimativas de ocupação de cerca de 2.000 ha.

As práticas da carcinicultura exigem elevados volumes de água, entretanto, provenientes, em geral, dos corpos hídricos superficiais adjacentes. Esses locais são regiões estuarinas com águas de elevada salinidade (salobras) e, desse modo, as carciniculturas não competem com os usos preponderantes de água, apesar de necessitarem de grandes volumes de água.

As áreas da carcinicultura estão situadas sobre regiões do SAB com elevado padrão de qualidade natural das águas subterrâneas. O preenchimento dos tanques de criação de camarão com águas salobras possuem potencial de localmente alterar a qualidade natural das águas subterrâneas, devido à infiltração de águas de elevada salinidade, já que os tanques não possuem impermeabilização.

As águas dos poços da rede de monitoramento de qualidade situados nas proximidades das áreas de carcinicultura apresentaram, em geral, salinidade acima da média encontrada nas demais áreas do SAB, entretanto, ainda com bons padrões de qualidade de água, conforme abordado na avaliação hidroquímica.

Assim como discutido no cultivo de cana-de-açúcar, a rede de monitoramento não contou com poços dedicados à avaliação de uma eventual influência da carcinicultura na qualidade das águas.

Apesar de a carcinicultura possuir potencial de gerar cargas contaminantes, devem ser apresentadas algumas considerações que podem explicar os resultados de qualidade das águas detectados nos monitoramentos:

- A avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços de monitoramento construídos especificamente para essa finalidade poderia evidenciar maior influência dessa atividade na qualidade das águas subterrâneas;
- As áreas de carcinicultura estão situadas em áreas de descargas do aquífero e, por essa razão, existe a possibilidade de provocar alterações apenas de maneira localizada, já que se estima que os fluxos subterrâneos sejam ascendentes nessa região e, em direção aos corpos hídricos superficiais;
- A capacidade de infiltração dos tanques de criação diminui com o tempo, em função de diminuição da permeabilidade dado pela deposição de finos no fundo dos tanques, de modo que os impactos podem ser mais significativos no início da atividade e, posteriormente, terem seus efeitos diminuídos.

Este estudo não objetivou avaliações ambientais em escala de detalhe para nenhuma atividade específica, sendo que as considerações apresentadas devem ser avaliadas a partir de estudos específicos. Assim como sugerido anteriormente, relacionado aos empreendimentos sucroalcooleiros, sugere-se que seja exigido dos carcinicultores a realização de avaliações ambientais de detalhe objetivando à caracterização da qualidade das águas subterrâneas na área de influência de suas atividades, bem como a confirmação das componentes de fluxo subterrâneo e da capacidade de infiltração dos tanques.

Caso venham ser constatadas contaminações das águas subterrâneas, o órgão gestor do meio ambiente poderá exigir medidas mitigadoras voltadas ao controle do efeito contaminador da atividade, dentre as quais poderá estar a necessidade de adequar a característica construtivas dos tanques, tornando-os impermeáveis.

Este estudo realizou o cadastramento das principais atividades agroindustriais existentes no BLS, incluindo o georreferenciamento de grande parte dos empreendimentos de carcinicultura, permitindo que o IDEMA possa incrementar as informar de seu banco de dados do licenciamento ambiental, bem como priorizar as ações sugeridas neste estudo com base nos mapas de risco produzidos.

Ainda que no BLS as demais atividades agrícolas sejam menos relevantes, por representarem menos de 20% das áreas cultivadas, sugere-se, assim como feito às demais regiões do litoral leste do Estado, que seja realizado cadastramento detalhado das práticas agrícolas na área de interesse, abrangendo o maior número possível de propriedades rurais visando ao levantamento das seguintes informações:

- 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 visa ao maior controle das possíveis influências das atividades do meio rural nas águas subterrâneas e 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.

O encaminhamento das ações de cadastramento poderá ser conduzido em um modelo de gestão integrada entre 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,:

#### 4.2.4 Proposições aos municípios para a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos

Este estudo, complementando ao definido nos termos de referência, apresenta proposições específicas aos municípios, em consideração ao papel dos municípios em legislar suplementarmente ao Estado, bem como pela influência na quantidade e qualidade das águas subterrâneas das atividades sob competência de controle e ordenamento desses entes da Federação.



Conforme já abordado anteriormente neste capítulo, a contribuição mais efetiva dos municípios à gestão integrada dos recursos hídricos é a de considerar aspectos que levem à proteção e ao uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, na elaboração e/ou revisão dos planos diretores e plano de saneamento.

Em relação ao arcabouço legal sobre o ordenamento urbano que amparam e/ou instituem o estabelecimento de ações sobre esse tema, deve-se destacar que na Constituição Federal de 1988, no capítulo II, Art. 182, trata 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. Na introdução deste capítulo foram apresentados os municípios que possuem a regulamentação do Plano Diretor.

O presente trabalho alcançou os resultados, compatíveis com a escala do trabalho, permitindo aos municípios conhecer dados sobre: a vulnerabilidade do SAB à contaminação; as ocorrências de alteração da qualidade natural; o uso e ocupação do solo; o saneamento básico; a gestão ambiental; a infraestrutura hídrica relacionada ao uso dos recursos hídricos subterrâneos e as potencialidades do SAB. Estes dados poderão ser considerados na atualização e/ou execução dos Planos Diretores e de Saneamento, bem como representar dados preliminares a futuros estudos de detalhe que deverão ser conduzidos nas sedes urbanas do BLS.

Conforme apresentado anteriormente, na região estudada, os municípios de Canguaretama e Senador Georgino Avelino são pioneiros em introduzir alguns aspectos hidrogeológicos nas diretrizes de seus planos diretores. Ainda que de maneira incipiente, esses municípios já apontam preocupação à proteção dos mananciais subterrâneos. Nesses casos, a revisão dos planos diretores poderá contemplar a modificação de algum zoneamento e/ou estabelecer diretrizes adicionais, visando ampliar os aspectos de proteção às reservas hídricas subterrâneas.

Em relação aos demais municípios, sugere-se que sejam realizados os zoneamentos de ocupação territorial, agregando critérios de proteção às águas subterrâneas, bem como a inclusão de diretrizes e exigências específicas aos empreendimentos potencialmente impactantes à qualidade e à quantidade dos recursos hídricos subterrâneos. Deve-se destacar a necessidade do município de Goianinha elaborar e regulamentar seu Plano Diretor, em atendimento à Constituição Federal de 1988 e à Lei Federal N° 11.445/07.

Em complementação ao sugerido anteriormente, recomenda-se que a administração pública dos municípios 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.

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. Entretanto, a partir dos resultados alcançados, em linhas gerais sugere-se aos municípios:

- Ampliação ao máximo das taxas de permeabilidade dos terrenos, de acordo com a realidade de cada sede e do padrão de ocupação;
- Buscar a universalização dos serviços de saneamento, sobretudo de esgotamento sanitário, visando à eliminação do uso das fossas;
- Avaliar alternativas de ampliar a capacidade de infiltração das águas pluviais nas áreas urbanas, desde que com garantias de induzirem águas de boa qualidade ao aquífero;
- Aumentar a eficiência de seus sistemas de abastecimento de água, visando diminuir as perdas de água no processo de distribuição e, sempre que possível, atuem com planejamento modulado, apoiado no uso da água subterrânea;
- Incluir nos planos diretores modelos de ocupação e uso do solo com vista à preservação da qualidade das águas subterrâneas.

#### 4.2.5 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.

## Áreas de proteção de aquíferos e de restrição e controle do uso da água subterrânea

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.

O estabelecimento de áreas com interesse à proteção do meio ambiente e dos recursos naturais está previsto em várias normas legais, nos diversos níveis de governo, sendo que serão apresentados alguns destaques sobre o tema, no caso em questão para a proteção das águas subterrâneas.

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 10.257/2001, Art. 2º, estabelece que a política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais: (...) XII – proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico.

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 Nº 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 Nº 10.257/01 e Lei Nº 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 Nº 6.908/1996), 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.

Deve-se mencionar ainda, relacionado ao estabelecimento de áreas de proteção os seguintes destaques na Lei Complementar Nº 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. Na página do IDEMA, na internet, 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.

Como exemplo isolado da atuação municipal neste tema na região de interesse, o Município de Senador Georgino Avelino, na Lei Nº 081/2011 que regulamenta o Plano Diretor, estabelece zoneamento, denominado de “áreas especiais de interesse ambiental de uso indireto (AEIAI)” que, entre outros objetivos, visa à manutenção das áreas de recarga dos mananciais hídricos.

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 na região de interesse. 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/ou águas subterrâneas com alteração da qualidade natural e/ou contaminadas.

As indicações de áreas com interesse à proteção e restrição, citadas anteriormente, representam sugestões gerais de gestão para essas finalidades de controles. Especificamente aos estudos realizados no BLS, são exemplos de AIPA as seguintes regiões identificadas no mapa de zonas exploráveis (**Figura 2.1** do Capítulo 2 deste relatório): A1, A2, B1 e B2, muito embora, a zona C também possui potencial de suprir águas de excelente qualidade e não deve ter sua proteção negligenciada. Deve-se ressaltar que a delimitação específica para o estabelecimento de uma eventual área de proteção, visando à manutenção da qualidade e quantidade das reservas de águas subterrâneas, deve ser alvo de discussão e decisão no âmbito do CONERH e do CONEMA, podendo haver a necessidade de estudos em escala de detalhe para a efetiva delimitação.



De acordo com o cenário atual avaliado para as condições de quantidade e qualidade das águas subterrâneas do SAB no BLS, não existem áreas com a necessidade de estabelecer restrições e controles específicos. Aproveita-se para reiterar a necessidade de promover a fiscalização para o atendimento aos requisitos legais já existentes, sobretudo relacionados à outorga dos usos das águas subterrâneas.

### Perímetro de Proteção de Poços (PPP)

Os perímetros de proteção de poços (PPP) são áreas de proteção para o controle da qualidade das águas explotadas por um dado poço e 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 explotada 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° 231/1998).

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, de acordo com a referida regulamentação: 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 4.6** (IRITANI; EZAKI, 2010) que compila exemplos de diversos países sobre os critérios utilizados na delimitação dos perímetros de proteção.

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.

<b>Tabela 4.6. Exemplos de perímetros de proteção de poços na Europa</b>				
<b>País</b>	<b>Perímetros de Proteção</b>			
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; Ezaki, 2010

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.

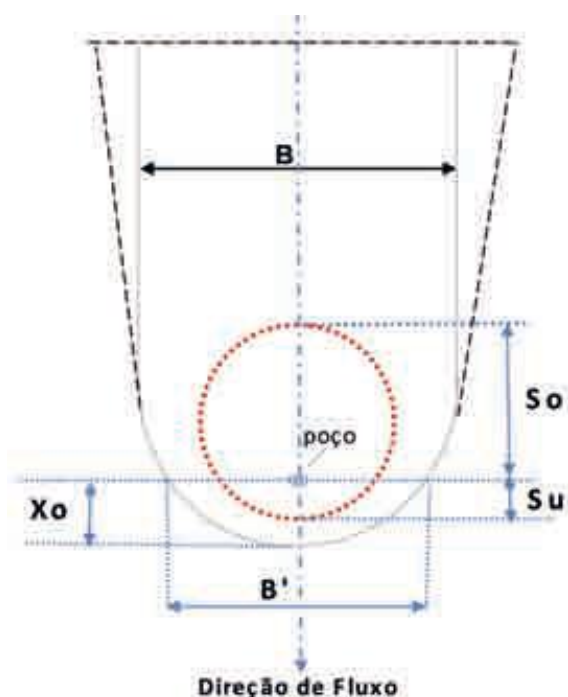
As metodologias de delimitação do PPP mais indicadas para o estágio atual do desenvolvimento do processo de gestão dos recursos hídricos subterrâneos no BLS

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 4.1** (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 4.1. 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:

$$B = \frac{Q}{Kbi}$$

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2Kbi}$$

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi kbi} \quad V_e = \frac{K \cdot i}{n_e} \quad l = V_e \cdot t$$

A partir das quais podem ser calculadas as seguintes equações:

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

Onde:

$Q$  é a vazão do poço de produção (m<sup>3</sup>/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);

$S_o$  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).

Este estudo propõe 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 de água captada e planejar ações de controle específica 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.

#### **4.3 Sistema de Informações Geográficas**

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. Cada informação armazenada possui a correspondente espacialização, neste caso adotado sistema da Projeção Transversal de Mercator.

A maioria dos dados obtidos no desenvolvimento deste estudo hidrogeológico e da avaliação da influência antrópica nas águas subterrâneas do BLS foi operacionalizada em sistema de informações geográficas (SIG) e encontra-se armazenada em um banco de dados sistematizado. Adiante serão apresentadas especificações sobre o sistema de informações elaborado neste estudo.

Ressalta-se, também que representa uma ferramenta valiosa na integração de dados de diferentes setores afins com a gestão dos recursos hídricos, permite a atualização e a ampliação do sistema de informações sobre as águas subterrâneas no Estado, bem como possibilita, a partir de plataformas adequadas, a disponibilização destes dados à sociedade de forma ágil e consistente.

O sistema de informações sobre recursos hídricos é um instrumento previsto na PNRH para a gestão dos recursos hídricos, cujos principais objetivos são: reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa das águas; atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

As características do banco de dados em SIG desenvolvido neste estudo fortalecem esse instrumento de gestão dos recursos hídricos no Estado, sobretudo relativo às águas subterrâneas, bem como facilita a integração com bancos de dados nacionais e/ou de outras regiões do Estado.

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 possibilidades, 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. Quanto mais completas e de maior qualidade forem as informações, mais preciso será o resultado.

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 também 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 do Bloco Litoral Sul (SIG-LS).

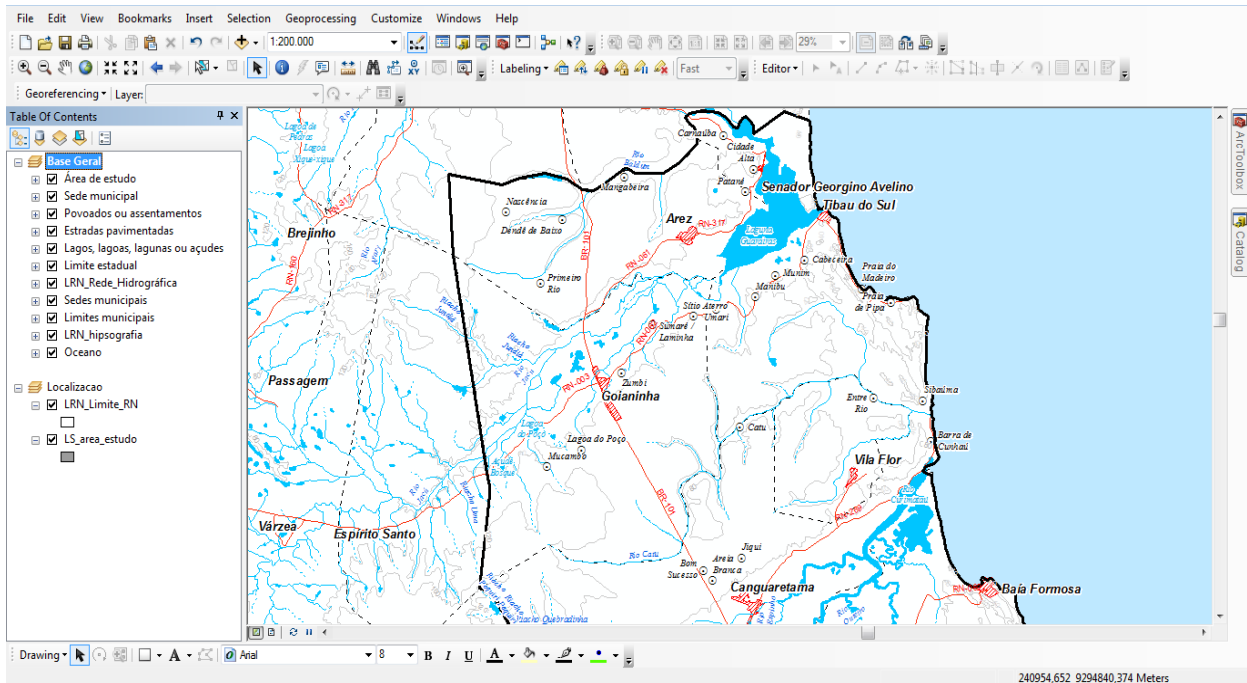
Para o estudo em questão, as informações necessárias ao desenvolvimento do projeto foram georreferenciadas, de forma a serem integradas e visualizadas por meio de mapas temáticos permitindo, assim, a geração de indicadores que apoiassem a elaboração de propostas para o manejo sustentável das águas subterrâneas no LS, 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 base única.

O SIG-LS foi desenvolvido em ambiente *ArcMap 10<sup>®</sup>* para processamento das entidades gráficas georreferenciadas, que recebem a denominação de feição (**Figura 4.2**). Os arquivos que compõem o SIG-LS são totalmente compatíveis com o *ArcGis<sup>®</sup>*, e georreferenciados no *datum South American Datum 1969* (SAD69), na escala 1:200.000.

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 25S, 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. No âmbito deste projeto, devido ao caráter multidisciplinar e o número extenso de informações utilizadas nos mais diversos produtos elaborados, os arquivos *shapefiles* que constituem as feições do SIG foram organizados em pastas divididas de acordo com os mapas temáticos elaborados (**Figura 4.3**).



#### Figura 4.2. Elaboração do SIG-LS no ArcMap® 10

SIG-LS		Arquivos			
Espessura saturada do SAB		LS_amostras_especificas	04/06/2012 11:58	Arquivo DBF	124 KB
Fontes potenciais de contaminacao		LS_amostras_especificas.prj	04/06/2012 11:58	Arquivo PRJ	1 KB
Mapa das unidade aquiferas		LS_amostras_especificas.sbn	04/06/2012 11:58	Arquivo SBN	2 KB
Mapa das zonas explotaveis		LS_amostras_especificas.sbx	04/06/2012 11:58	Arquivo SBX	1 KB
Mapa geologico		LS_amostras_especificas.shp	04/06/2012 11:58	Arquivo SHP	3 KB
Mapa hidrogeologico		LS_amostras_especificas.shx	04/06/2012 11:58	Arquivo SHX	1 KB
Mapa potenciométrico		LS_isoietas_anual2	11/10/2011 17:34	Arquivo DBF	2 KB
Rede de monitoramento		LS_isoietas_anual2.prj	01/06/2011 16:45	Arquivo PRJ	1 KB
shapes		LS_isoietas_anual2.sbn	11/10/2011 17:34	Arquivo SBN	1 KB
Tabelas		LS_isoietas_anual2.sbx	11/10/2011 17:34	Arquivo SBX	1 KB
Vulnerabilidade natural do SAB		LS_isoietas_anual2.shp	11/10/2011 17:34	Arquivo SHP	184 KB
		LS_isoietas_anual2.shp	22/06/2012 14:50	Documento XML	1 KB

**Figura 4.3. Estrutura do SIG-LS em arquivos *shapefiles* organizados por mapas temáticos**

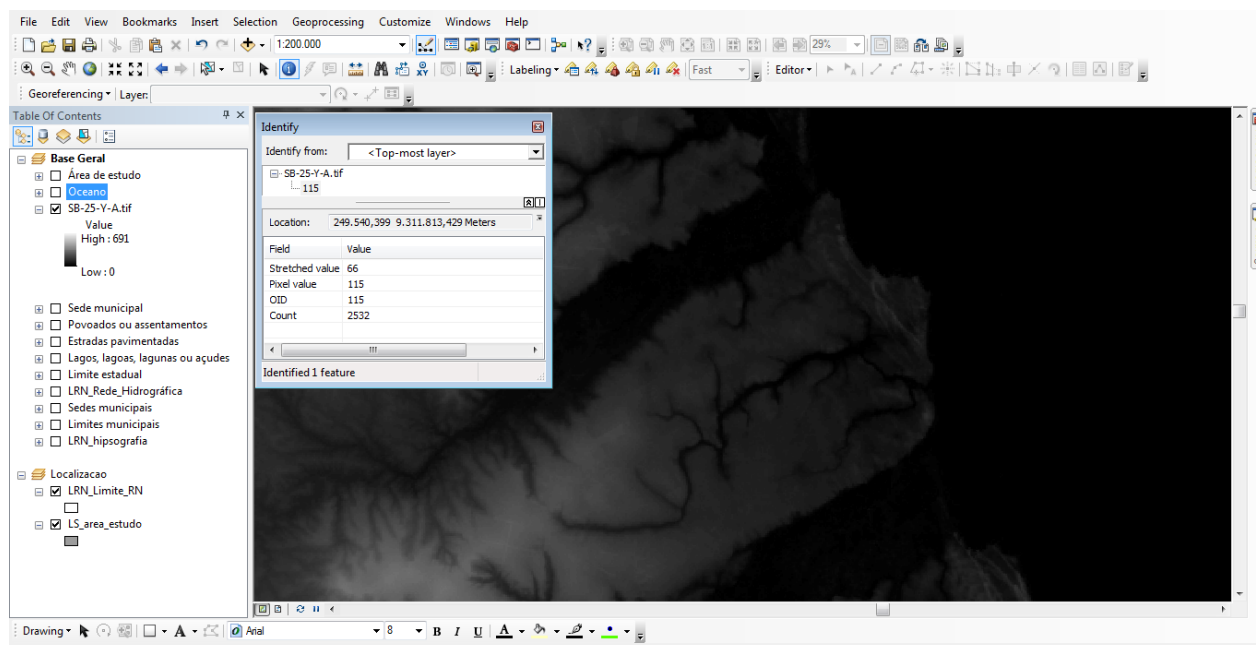
As feições que compõem o SIG-LS estão no formato vetorial, *raster* e planilhas eletrônicas. Os dados vetoriais podem ser compostos por pontos (p.e. povoados), linhas (p.e. rios) ou polígonos (p.e. unidades aquíferas), conforme as características das feições representadas e possuem uma tabela de atributos associada, onde estão arquivadas as informações sobre as respectivas feições (**Figura 4.4**). 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 4.5**).

Hidrografia						
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 4.4. Atributos associados à base de dados hidrográfica da LS**

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

Desta maneira, a atual estrutura do SIG-LS 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.



**Figura 4.5. Arquivo *raster* que compõe o SIG-LS (modelo digital de elevação) e janela com os atributos de uma determinada célula da imagem**



A criação de uma rede automatizada e integrada dedicada as 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-LS será integralmente disponibilizado a contratante na entrega deste relatório final (RF), assim como os projetos dos mapas temáticos elaborados durante o projeto e o cadastro de poços do BLS, 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 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 do Litoral Sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul), sobre os quais as principais conclusões são apresentadas a seguir.

O Bloco Litoral Sul possui 975 km<sup>2</sup> de extensão, correspondentes às áreas dos municípios de Arez, Senador Georgino Avelino, Goianinha, Canguaretama, Tibau do Sul, Vila Flor e Baía Formosa. A região conta com uma população de cerca de 93.000 habitantes, sendo que 70% são residentes nas sedes municipais. Além das sedes, os principais aglomerados urbanos dessa região estão situados na faixa litorânea. A zona rural é caracterizada por pequenas comunidades dispersas na área, sobretudo, associadas à carcinicultura.

A caracterização hidroclimatológica do BLS define condicionamento dado pela Zona de Convergência Intertropical-ZCIT, com chuvas de outono nos meses de março, abril e maio; e das Perturbações de Ondas de Leste (ZIL), caracterizadas pela capacidade de causar precipitações acentuadas ao longo de sua trajetória, principalmente nos meses de junho, julho e agosto. Em ambos os casos as precipitações possuem fluxo migratório do oceano para o continente, sendo que em toda a área ocorrem elevadas taxas pluviométricas anuais que variam em média de 1.700 mm, na faixa litorânea, a 1.000 mm, no limite oeste do BLS.

O cadastro de poços consistido neste estudo conta com cerca de 680 registros de poços tubulares, cacimbas (amazonas) e piezômetros. Apesar de inúmeros poços não apresentarem informações sobre o perfil construtivo e o aquífero que exploram, estima-se que praticamente a totalidade dos poços exploram o SAB. Existe apenas um poço no cadastro com indicação de exploração ao aquífero de rochas carbonáticas cretáceas. Os dados inseridos no cadastro, entre diversas outras aplicações, permitiram calcular o volume de água subterrânea explorado pelos poços existentes e caracterizar os parâmetros hidráulicos do SAB.

Os poços em operação são utilizados para diversas finalidades, entretanto 97% são para o consumo humano, caracterizando a importância das águas subterrâneas do SAB para o suprimento do BLS. Ressalta-se que, quase todo o abastecimento público dessa região é realizado pela Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN), totalmente suprido pelas águas subterrâneas do SAB. Algumas comunidades rurais são abastecidas por poços públicos de propriedade dos municípios, muitas vezes operado pela própria comunidade.

As unidades litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico na BLS são, da base para o topo: o embasamento cristalino pré-cambriano; 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 do BLS. Entretanto, a formação Barreiras ocorre em 99% da área de estudo e 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 do Barreiras, o que levou à denominação de Sistema Aquífero Barreiras (SAB) para o conjunto dessas unidades hidráulicas.

A compartimentação estrutural no BLS possui duas direções predominantes, sendo uma NE-SW com estruturas associadas à formação de *grabens* e *horsts* que condicionam, sobretudo, as bacias hidrográficas do BLS e outra NW-SE com estruturas relacionadas ao processo de formação das bacias sedimentares que condicionam, principalmente, o aumento de espessura da formação Barreiras na parte leste da área, podendo atingir espessuras de até 100 m dessa formação.

O condicionamento estrutural influencia o fluxo subterrâneo das águas do SAB, bem como as potencialidades hídricas desse sistema. As transmissividades do SAB são maiores nos compartimentos tipo *horst*, na região próxima à costa, e menores no limite oeste, na qual as espessuras do SAB são pequenas com a proximidade do contato com o embasamento cristalino.

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 configuração da potenciometria indica a ocorrência de fluxo subterrâneo em direção aos principais rios que drenam a área (Jacu, Curimataú, Catu e Guaju), alimentando o fluxo superficial de base desses rios e caracterizando as condições de efluência dos mesmos, sendo que o sentido do fluxo subterrâneo regional é de oeste para leste em direção ao mar.

As zonas de recarga das águas subterrâneas correspondem às superfícies elevadas arenosas dos tabuleiros dos sedimentos Barreiras e as zonas de descarga situam-se nas encostas e nos fundos dos vales dos principais rios que drenam a área e, por último, as descargas finais ocorrem no mar. As dunas possuem importante papel em potencializar localmente a recarga do SAB, devido a sua elevada

capacidade de infiltração das chuvas, influenciando de forma limitada, já que estão situadas nas áreas de descarga da faixa litorânea.

As avaliações hidrogeoquímicas e isotópicas, em conjunto com a compreensão sobre a compartimentação estrutural e o fluxo subterrâneo, sugerem que as bacias hidrográficas situadas nos compartimentos tipo *horst* (rios Catu e Guaju) drenam fluxos subterrâneos locais das áreas de recarga existente nas próprias bacias desses rios e, as bacias dos rios Jacu e Curimataú, situadas nos *grabens*, drenam fluxos subterrâneos locais, das áreas de recarga do BLS, e regionais provenientes das áreas de recarga a oeste do bloco.

O comportamento do fluxo subterrâneo nas estruturas tipo *graben* (bacia dos rios Jacu e Curimataú), com indicação de ocorrência de fluxos regionais provenientes de áreas a oeste, foi interpretado pelo relativo aumento de salinidade das águas nesses locais, bem como pelas assinaturas isotópicas encontradas nesses locais que possuem empobrecimento em  $^{18}\text{O}$ , compatíveis com a mistura de águas locais com águas de recargas de áreas mais distantes da costa.

As características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas do SAB no BLS, mesmo permitindo as interpretações acerca dos fluxos e do zoneamento correlacionado aos compartimentos estruturais, representam uma pequena variação qualitativa em condições naturais. As águas subterrâneas do SAB nessa região, em geral, apresentam excelente qualidade natural, típicas de elevada diluição, o que é compatível com as taxas de precipitação locais. Mesmos os relativos aumentos de salinidade existentes nos *grabens* de Goianinha e Canguaretama, ainda, representam valores de elevada qualidade natural das águas subterrâneas e com baixas concentrações dos íons maiores, se comparadas com as águas típicas das rochas carbonáticas ou de regiões do SAB com menores volumes de chuvas.

Os resultados analíticos dos parâmetros hidroquímicos apresentam alguns valores destoantes das concentrações medianas das amostras. As concentrações anômalas representam condições pontuais, interpretadas como oriundas de alterações por influência antrópica, em geral, relacionadas com a falta de esgotamento sanitário e o consequente uso de fossas para a disposição final dos esgotos.

O atendimento de esgotamento sanitário, em toda a região, abrange menos de 5% da população do BLS, segundo as informações disponíveis. Apenas a sede de Goianinha e a praia de Pipa, em Tibau do Sul, possuem atendimento parcial de coleta e tratamento dos esgotos. A parcela da população não atendida pelo esgotamento sanitário (95%), em geral, utilizam fossas para a disposição final dos esgotos, representando a principal fonte de contaminação às águas subterrâneas do SAB no BLS.

Os volumes retirados do SAB, estimados a partir dos poços existentes no cadastro elaborado neste estudo, totalizam  $9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. A exploração estimada representa cerca de 5% da recarga total no BLS, calculando-se os recursos exploráveis em  $187 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Os recursos exploráveis estimados configuram um cenário quantitativo extremamente confortável, se consideradas apenas as demandas projetadas para o consumo humano, usos industriais e turísticos.

O atendimento às demandas na agricultura, projetadas para 2020, representariam um comprometimento dos recursos exploráveis do SAB de quase 80%. Se consideradas também as demandas de água na carcinicultura, as potencialidades hídricas subterrâneas não seriam suficientes. No cenário atual, a carcinicultura não compete com os usos das águas subterrâneas, uma vez que as retiradas ocorrem dos corpos hídricos superficiais das regiões estuarinas (águas de elevadas salinidades, não potáveis). E, na agricultura, as demandas são providas em grande parte pelas águas superficiais de médio e alto curso das bacias que cortam a região. Este contexto de utilização dos recursos hídricos do BLS deve ser mantido em equilíbrio e gerido de maneira integrada com as águas subterrâneas.

A partir do cenário de ampla utilização das águas subterrâneas para o consumo humano, compatível com a qualidade natural encontrada em toda a região e a necessidade de manter esses recursos para o abastecimento das futuras demandas de usos preponderantes mais restritivos, foi desenvolvida uma proposta de classificação em conformidade com as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA N° 396/2008, que fornecerá aos gestores de meio ambiente e dos recursos hídricos, subsídios ao futuro enquadramento das águas subterrâneas. A proposta de classificação indicou que as águas subterrâneas em toda a extensão e profundidade do SAB no BLS são de Classe 1.

A avaliação hidrogeológica determinou o zoneamento qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas do SAB, permitindo aos gestores dos recursos hídricos e do meio ambiente desenvolverem programas de proteção desses mananciais subterrâneos, bem como o planejamento do abastecimento de água e dos serviços de saneamento básico com foco na preservação das áreas com elevadas potencialidades e com elevada qualidade natural.

Os resultados alcançados apontam que a principal ameaça à quantidade dos recursos hídricos subterrâneos do SAB está no elevado percentual de poços sem outorga (94%), visto que o controle dos usos múltiplos das águas subterrâneas e superficiais existentes na região depende de uma gestão integrada dos recursos hídricos que somente pode ser alcançada com a regularização das captações.

As avaliações realizadas sintetizam que os principais problemas encontrados no BLS com potencialidade de comprometer a qualidade das reservas hídricas



subterrâneas do SAB estão associados aos baixos índices de coleta e tratamento de esgotos sanitários.

Diante dos cenários de ameaça à quantidade e à qualidade das águas subterrâneas do SAB avaliados neste estudo, 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.

A avaliação hidrogeológica e a percepção adquirida sobre os potenciais problemas relacionados aos recursos hídricos subterrâneos permitiram elencar propostas e orientações visando a proteção e o uso sustentável das águas subterrâneas do SAB no BLS, baseados nos modelos de gestão integrada dos recursos hídricos, na gestão participativa e na complementariedade das ações dos níveis de governo Federal, Estadual e Municipais.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.212**: Poço Tubular: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006. 10 p.

ACCIOLY, P. C. V. **Mapeamento geológico-geofísico na costa leste do Rio Grande do Norte**: área entre os municípios de Goianinha e Canguaretama – RN. Relatório de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1995.

ALVAREZ, R. H.; NIEDZIELSKI, H. Estimation de la recarga en la subcuenca Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México. *In*: Congresso Latino-Americano de Hidr. Sub., 3, México. **Anais...** México, ALHSUD, 1996. p. 35-46.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Postos Pluviométricos** - Séries Históricas. Banco de dados da Agência Nacional das Águas – ANA – HIDROWEB. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: mar. 2011.

\_\_\_\_\_. **Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal**. Volume 1 – Avaliação Hidrogeológica. SERVIMAR/ANA. Brasília, 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.

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.

ASTIER, J. L. **Geofísica aplicada a la hidrogeologia**. Madrid, Ed. Paraninfo, 1975. 344 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Calidad del agua para la agricultura**. Estudio FAO Riego y Drenaje, n.29. Roma: FAO, 1984. 85 p.

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.

BATU, V. **Aquifer Hydraulics**. A comprehensive guide to hydrogeologic data analyses. John Wiley & Sons, Inc. 1998. 727 p.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. **Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil**. Journal of South American Earth Sciences. 2001. p. 61-75.

BLACK, P. **Revising the Thornthwaite and Mather water balance**. Journal of the American Water Resources Association, v.43, n.6. 2007. p.1604-1605.

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

CABRAL NETO, I. **Beachrocks do Rio Grande do Norte: correlação entre os depósitos costeiros e os de zona costa afora com base na faciologia, petrografia e diagênese**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

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

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.

COOPER, H. H.; JACOB, C. E. **A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history**. Transaction, American Geophysical Union 27. 1946. p. 526-534.

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

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

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

DEMANDORO, A. C.; MARIOTONI, C. A.; BETTINE, S. C. A escala demográfica no planeta e a demanda por recursos hídricos: cenários para o desenvolvimento sustentável. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 13. **Anais...** Porto Alegre, ABRH, 1999. CD-ROM.

DRICOLL, F. C. **Groundwater and wells**. 2 ed. St. Paul, Minn.: Johnson Division, 1986.

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.

\_\_\_\_\_. **Solos**. Disponível em <[www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html2006](http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html2006)>. UEP. Acesso em: mai. 2011.

EMPARN. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Meteorologia - Climatologia**. Disponível em: <<http://www.emparn.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/emparn/arquivos/meteorologia/precipitacao.asp>>. Acesso em: jul. 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.

FEIJO, J. F. Bacia Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras 8 (1)**. Rio de Janeiro, 1994. p. 143-147.

FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C.; PORTO LIRA, H. M. 2002. 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 Subterrâneas*. 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.

FERNANDES, R. C. **Diagnóstico geoambiental com uso do geoprocessamento visando a determinação de potencialidades de uso do solo para a área estuarina do rio Curimataú – Canguaretama/RN**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005.

FERREIRA JÚNIOR, A. V. **Mapeamento da zona costeira protegida por arenitos de praia (*Beachrocks*) em Nísia Floresta-RN**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2005.

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

FIGUEREIDO, 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.

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.; MENESES L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Revista do Instituto de Geociências**. Geol. USP Sér. Cient., v. 6, n. 2. São Paulo, 2006. p. 61-70.

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

HEATON, T. H. R. **Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: A review**. Chemical Geology (Isotopic Geosciences Section) 59. 1986. p. 87-102.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções de Cartografia, 1998**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual\\_nocoas/indice.htm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoas/indice.htm). Acesso em: abr. 2011.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: jan. 2012.

\_\_\_\_\_. **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?nomenclatura=Ba%EDa%20...>>. Acesso em: ago. 2011.

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

IDEC. Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Plano de desenvolvimento sustentável do Rio Grande do Norte**. Natal: SEPLAN-RN/IDEC, 1996.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Cartilha de Saneamento do Instituto Trata Brasil – Planos Municipais ou Regionais**. 2009.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo Hidrogeológico Regional do Estado do Rio Grande do Norte**. Secretaria de Indústria e Comércio do Rio Grande do Norte. (Report 15795 - 9 volume). São Paulo, 1982.

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

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

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó** (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília. Brasília, 1994.

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.

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.

LETOLLE, R.; OLIVE, P. **Isotopes as pollution tracers**. In: *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*. IAEA, Vienna, 1983. p. 411-422.

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](http://www.phoenix.org.br/Phoenixx56_JUL03.htm)>. Acesso em: set. 2011.



LIMA FILHO, M. F. Stratigraphic evolution of the Pernambuco e 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.

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

LUCENA, L. R. F. **Implicação da Compartimentação Estrutural no Aquífero Barreiras na área da Bacia do Rio Pirangi/RN**. Tese de Doutorado. 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.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, 18. 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. 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.

MALDANER, C. H. **Recarga de aquíferos em área urbana: estudo de caso de Urânia-SP**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MATHESS, G. **The properties of groundwater**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 406 p.

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos-SP. *In*: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, Ribeirão Preto. **Anais...** ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, v. 1. São Paulo, 2005. p. 1-18.

McKEE, J. E.; WOLF, H. W. **Water quality criteria**. (Publication 3-A). California state Waterresources Control Board, 1963. 548p.

MEDEIROS, W. E.; SILVA, J. B. C. **Geophysical inversion using approximate equality constraints**. Geophysics, v. 61, 1996. p. 81-88.

MEIRELES, A. J. A.; TUPINAMBÁ, S. V. **Relatório síntese: Impactos da Carcinicultura – Grupo de Trabalho (GT) sobre Carcinicultura**. Comissão de Defesa do Consumidor, Meio Ambiente e Minorias da Câmara dos Deputados. 2005. 117 p.

MELO, F. T. L. **Mapeamento Geológico, Geomorfológico e Geoambiental da Região de Goianinha/ Tibau do Sul (Complexo Estuarino – Lagunar Jacú – Guaraíras), Litoral Sul Oriental do RN.** Relatório de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1998. 86 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.

\_\_\_\_\_. **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.

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, ABES. Rio de Janeiro, 1999.

NEUMAN, S. P. **Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed yield, Water Resources Research.** vol. 11, nº. 2. 1975. p. 329-342.

NÓBREGA, L. C. **Estudo temporal dos aspectos geoambientais na região do complexo lagunar Nísia Floresta – Papeba – Guaraíras.** Municípios de Arez, Sen. Georgino Avelino e Tibau do Sul, com vista a elaboração de mapa de vulnerabilidade ambiental. Relatório de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003. 115 p.

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.

ORELLANA, E. **Prospeccion geoeletrica en corriente continua.** Ed. Paraninfo. Madrid, 1972. 523 p.

PAZDRO, Z. **Hydrogeologia ogólna.** Wyd. Geol. 1983.

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.

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.

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

REYNOLDS, J.; FRAILE, J.; HIRATA, R. **Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes ( $^{18}\text{O}$  and  $^{15}\text{N}$ ) in groundwater of the Western Central Valley, Costa Rica**. v. 35. *Ambio* (Oslo), Estocolmo, 2006. p. 229-236.

SALIM, J.; SOUZA, C. J.; MUNIZ, G. C. B.; LIMA, M. R. Novos subsídios para a elucidação do episódio “Barreiras” no Rio Grande do Norte. **Atas...** VII Simpósio de Geografia e Geologia. Fortaleza, 1975.

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, 2010.

SERHID. SECRETARIA DO ESTADO DE RECURSOS HIDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte**. HIDROSERVICE/SERHID. Natal, 1998.

\_\_\_\_\_. **Quantificação da oferta hídrica, elaboração do plano de gestão integrada e estudo de alternativas de reforço do sistema salto-una-tímbo na bacia do rio Jacu no Rio Grande do Norte**. ENGESOFT/SERHID. Natal, 2006.

SILVA, J. A. **Gestão de recursos hídricos e sistemas de informações geográficas: contribuições para a organização sócio-espacial 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. 2009. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=89> >. Acesso em: jan. 2012.

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

SOUZA, M. O. L.; BEZERRA, F. H. R.; AQUINO, M. R. Reativação de falhas sísmicas associadas à alta pressão de fluidos nas regiões de João Câmara e São Rafael - RN. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10. **Anais...** Curitiba: SBG. Curitiba, 2005. p. 155-157.

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.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. Boletim IG-USP. Série didática, v. 5. São Paulo, 1993. p. 1-166.

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. 104p.

UNESP. Universidade Estadual Paulista. Sistemas de Abastecimento de Água, 2000. Disponível em: [www.dec.feis.unesp.br/dib/Abast9.doc](http://www.dec.feis.unesp.br/dib/Abast9.doc). Acesso em: mar. 2012.

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.

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.



