

# ASPECTOS

## SOBRE A HIDROGEOLOGIA E VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO BARREIRAS SEMI-CONFINADO, A OESTE DA LAGOA DO BONFIM – NÍSIA FLORESTA/RN

José Braz Diniz Filho<sup>1</sup>; Luiz Gustavo Moraes de Macedo<sup>2</sup>; José Geraldo de Melo<sup>3</sup>

### RESUMO

No setor a oeste da Lagoa do Bonfim, Nísia Floresta-RN, a cerca de 20 km ao sul de Natal/RN, tem-se sete (07) poços produtores no aquífero Barreiras inferior semi-confinado, os quais, juntamente com as águas superficiais captadas da própria lagoa, alimentam o sistema adutor Monsenhor Expedito, e abastecem 23 cidades e 53 comunidades (a cerca de 200 mil habitantes). Dada a importância do aquífero, no presente artigo são informados alguns aspectos hidrogeológicos revistos e discutidos a partir da literatura técnica local, complementados com uma atualização parcial dos dados efetuada em 2011 naquele setor, e com indicação de aspectos da vulnerabilidade natural do aquífero Barreiras semi-confinado. A aplicação do método GOD caracterizou uma baixa vulnerabilidade natural do aquífero semi-confinado. Apesar de protegido, torna-se sugestiva a hipótese de contaminação dessa porção inferior semi-confinada por drenança vertical descendente, oriunda do aquífero Barreiras superior livre, caso este estiver contaminado. Essas avaliações deveriam ser consideradas nos processos de gestão hídrica do aquífero Barreiras, visando manter as reservas subterrâneas ambientalmente protegidas e sustentáveis.

### ABSTRACT

In the west sector of Lagoa do Bonfim, Nísia Floresta municipality, Rio Grande do Norte State (RN)/Brazil, about 25 km south of Natal/RN, has seven (07) producing wells in the semi - confined aquifer lower Barriers, which, together with the surface waters captured of Lagoa do Bonfim itself, feed the pipeline system Monsenhor Expedito, and fuel 23 cities and 53 communities (about 200 thousand people). Given the importance of the aquifer in this area, in this article are reported and discussed some hydrogeological aspects revised from the local technical literature, complemented with a partial update of the data performed in 2011 in that sector, and with indication of aspects of the natural vulnerability of the semi - confined aquifer Barreiras. The application of GOD method

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgelo@ufmet.br](mailto:jgelo@ufmet.br)

featured a low natural vulnerability of the semi - confined Barreiras aquifer. Although it has been naturally protected, it is suggestive the hypothesis that it's possible occur the contamination of semi - confined Barreiras aquifer by vertical downward seepage, coming from the unconfined Barreiras aquifer, if it is contaminated. These reviews should be considered in water management of the Barreiras aquifer to keep protected and environmentally sustainable groundwater resources.

Palavras-chave: Aquífero livre, semi-confinado, Vulnerabilidade

## 1 – INTRODUÇÃO

No processo de gestão de recursos hídricos é necessária a implantação de ações estruturais e não estruturais que promovam o uso, controle e proteção das águas subterrâneas e reservatórios superficiais (Lei 9433/97). Em se tratando de proteção de aquíferos quanto à poluição/contaminação, se devem avaliar as condições naturais, estabelecidas pela estrutura hidrogeológica, para se definir ou estimar sua capacidade de suporte quanto à retenção/degradação dos poluentes, que pode ser caracterizada pelo conhecimento da vulnerabilidade natural dos aquíferos.

A estrutura hidrogeológica dos aquíferos condiciona os processos de recarga, fluxo subterrâneo, produtividade dos poços, interação águas superficiais e águas subterrâneas, bem como o aspecto de vulnerabilidade à contaminação.

Dependendo dos aspectos litológicos e variações faciológicas ditadas pelos processos tectônicos e deposicionais que originaram as sequencias sedimentares na bacia de sedimentação, a estrutura dos aquíferos pode se caracterizar por sistemas de natureza livre ou confinada/semi-confinada, podendo ser individualizado, num mesmo aquífero, um domínio de caráter livre, e outro confinado/semi-confinado, em função dos aspectos litológicos e variações faciológicas verticais, e pelas diferenças de carga hidráulica entre ambos, que evidenciem mecanismos de fluxo vertical descendente ou ascendente.

Os aspectos ressaltados neste documento acerca do comportamento hidráulico do aquífero Barreiras e de sua vulnerabilidade à contaminação consistem de informações estratégicas e necessárias ao planejamento hídrico, visando a prevenção frente a eventos contaminantes. A literatura técnica básica compreendeu os estudos de MELO&FEITOSA (1998), PEREIRA (2002), DINIZ FILHO (2011) e MACEDO (2011).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)

A área estudada situa-se na faixa costeira leste do Estado do Rio Grande do Norte, cerca de 25 km ao sul de Natal/RN seguindo-se pela BR-101, sentido Natal – João Pessoa (Figuras 1 e 2). A área possui uma superfície aproximada de 30 km<sup>2</sup>, definida basicamente pela distribuição espacial dos poços produtores (P-01 a P-07) da CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte), os quais compõem o sistema adutor Monsenhor Expedito, junto com a Lagoa do Bonfim.

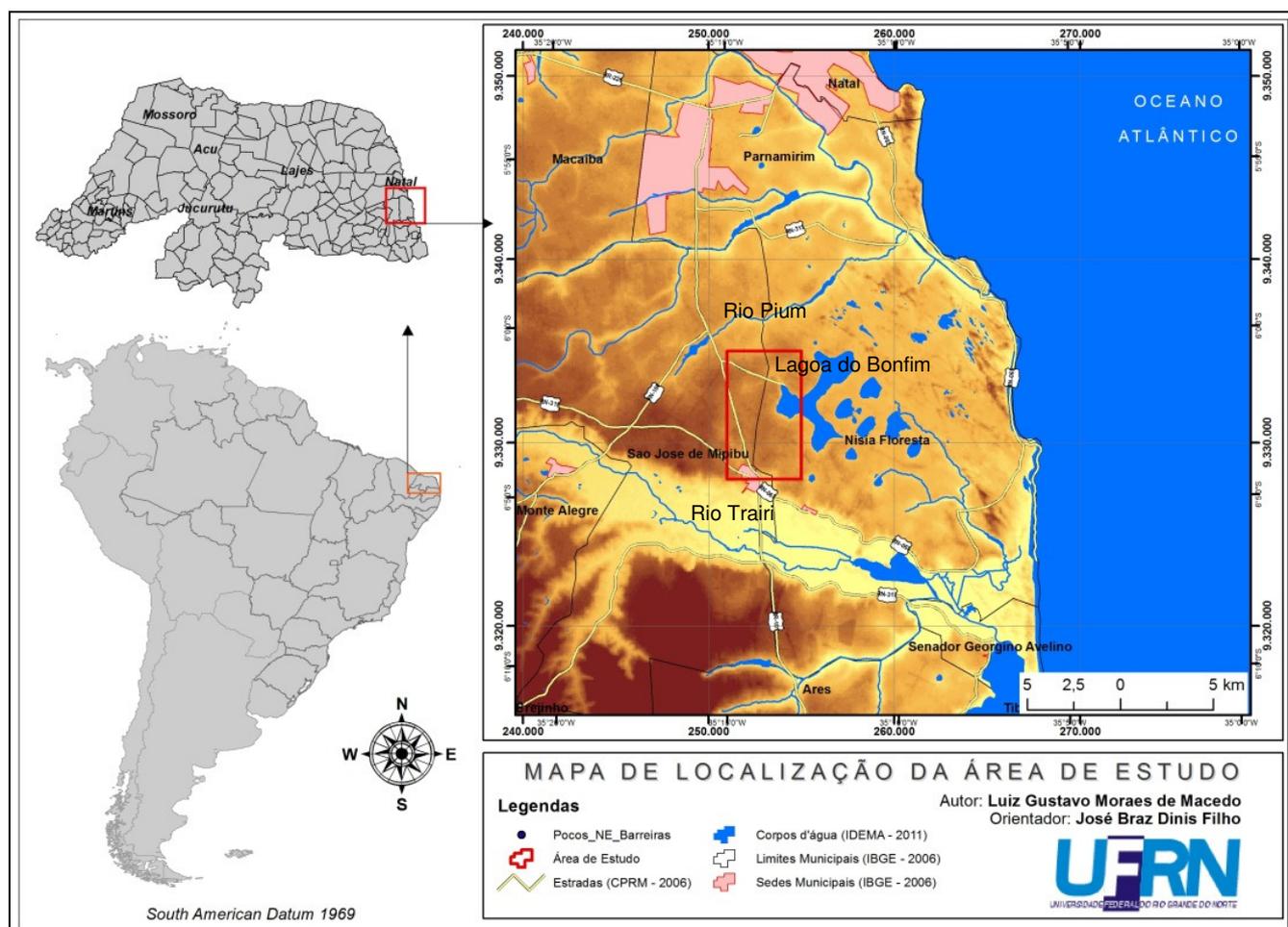


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo dos poços produtores (retângulo vermelho) nas proximidades do sistema lacustre Bonfim (lagoas do Bonfim, Boa Água, Urubu, Ferreira Grande, Carcará). Tem-se ao norte da área o Rio Pium, ao sul o Rio Trairi, e ao leste o complexo lacustre Bonfim e o campo de dunas da APA BONFIM/GUARAÍRA. (MACEDO, 2011).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)



Figura 02: Localização dos poços produtores, situados ao oeste da Lagoa do Bonfim/Nísia Floresta-RN. (MACEDO, 2011).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

Como objetivo geral este trabalho apresenta algumas considerações hidrogeológicas do setor a oeste da Lagoa do Bonfim (região dos poços produtores P-01 a P-07)/Nísia Floresta-RN, estabelecidas com base nos dados e resultados de estudos mais amplos desenvolvidos entre 1998 e 2004, complementados por alguns dados e medições efetuadas nos referidos poços e alguns piezômetros adjacentes, em 2011.

Em termos específicos o artigo revisa, enfatiza e mostra o caráter hidroestratigráfico em função das variações e distribuição vertical de fácies litológicas, e o comportamento hidráulico (livre e semi-confinado) do aquífero Barreiras, em função das cargas hidráulicas obtidas. Informa também sobre o aspecto de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero inferior semi-confinado, e sua associação com o provável mecanismo de fluxo natural e induzido pautados no modelo conceitual estabelecido. Estes parâmetros poderão servir como informações preliminares que podem auxiliar num futuro processo de gestão das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, no que diz respeito à implantação de ações estruturais e não estruturais que visem prevenir e proteger a qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

## 2 – PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

O estudo se desenvolveu por meio de etapas de campo e escritório, assim discriminadas:

- levantamento e Leitura de dados (cadastro de poços, perfis de poços, parâmetros hidrodinâmicos, mapas, etc.), existentes em alguns dos estudos prévios recentemente desenvolvidos na região em apreço (relatórios de pesquisa e trabalhos acadêmicos, entre 1998 e 2011). Dentre estes, foram utilizados resultados dos estudos hidrogeológicos elaborados por MELO&FEITOSA (1998), PEREIRA (2004), DINIZ FILHO (2011) e MACEDO (2011).

- Visita de reconhecimento de campo, para observação, caracterização e checagem dos aspectos gerais sobre a ocorrência dos recursos hídricos na área de estudo, e das águas subterrâneas em particular. Foram verificados elementos geológicos e hidrogeológicos que caracterizam as áreas de recarga do aquífero Barreiras, as interações águas superficiais e águas subterrâneas, verificação dos aspectos de uso e ocupação do solo e outros.

- Uso conjunto de informações de campo e dados bibliográficos e de escritório para a caracterização hidrogeológica e da vulnerabilidade natural do aquífero Barreiras.

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)

### 3 – SITUAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Do ponto de vista climático, a precipitação pluviométrica média na região é da ordem de 1.563,0 mm/ano (maiores precipitações em Abril, Maio e Junho, e menores em Outubro, Novembro, Dezembro e Janeiro). A temperatura média é de 26,8<sup>0</sup>C (estação seca em Dezembro, Janeiro e Fevereiro; e estação chuvosa em Junho, Julho e Agosto), e a classificação climática segundo Koppen é do tipo As', caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa se adiantando para o outono. O Excedente hídrico é estimado em 532,0 mm/ano, o qual corresponde ao volume efetivamente infiltrado para recarga dos aquíferos costeiros (MELO & FEITOSA, 1998).

O Sistema Adutor Monsenhor Exedito abrange 23 municípios da região Agreste Potiguar, atendendo a uma população da ordem de 200.000 pessoas, a qual utiliza águas superficiais da Lagoa do Bonfim e águas subterrâneas captadas do aquífero Barreiras, em sete poços produtores, sendo as águas usadas principalmente para abastecimento humano.

Geologicamente a área situa-se no domínio da Bacia Sedimentar Costeira Leste (PE/PB/RN), no contexto da sub-bacia Natal. Constitui-se de depósitos tércio-quadernários aflorantes (Formação Barreiras, sedimentos siliciclásticos eólicos/dunas, sedimentos aluviais, coberturas colúvio-eluviais), depositados sobre rochas cretáceas compostas por calcários e arenitos calcíferos, não aflorantes – Figura 03.

Desta forma, os arenitos calcíferos/calcários (unidade cretácea não aflorante registrada em perfis de poços) compõem diretamente o substrato da Formação Barreiras (Terciário: materiais sedimentares siliciclásticos, pouco a medianamente compactos como arenitos argilosos, arenitos síltico-argilosos, argilitos, siltitos, níveis conglomeráticos, etc., com grandes variações faciológicas laterais e verticais). A Formação Barreiras em termos geomorfológicos delimita os tabuleiros costeiros que dão sustentação às formas de relevo mais localizadas (planaltos costeiros, vales costeiros, falésias na linha de costa), e constitui o substrato dos materiais mais recentes, quadernários (colúvios, elúvios, aluviões e dunas).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)

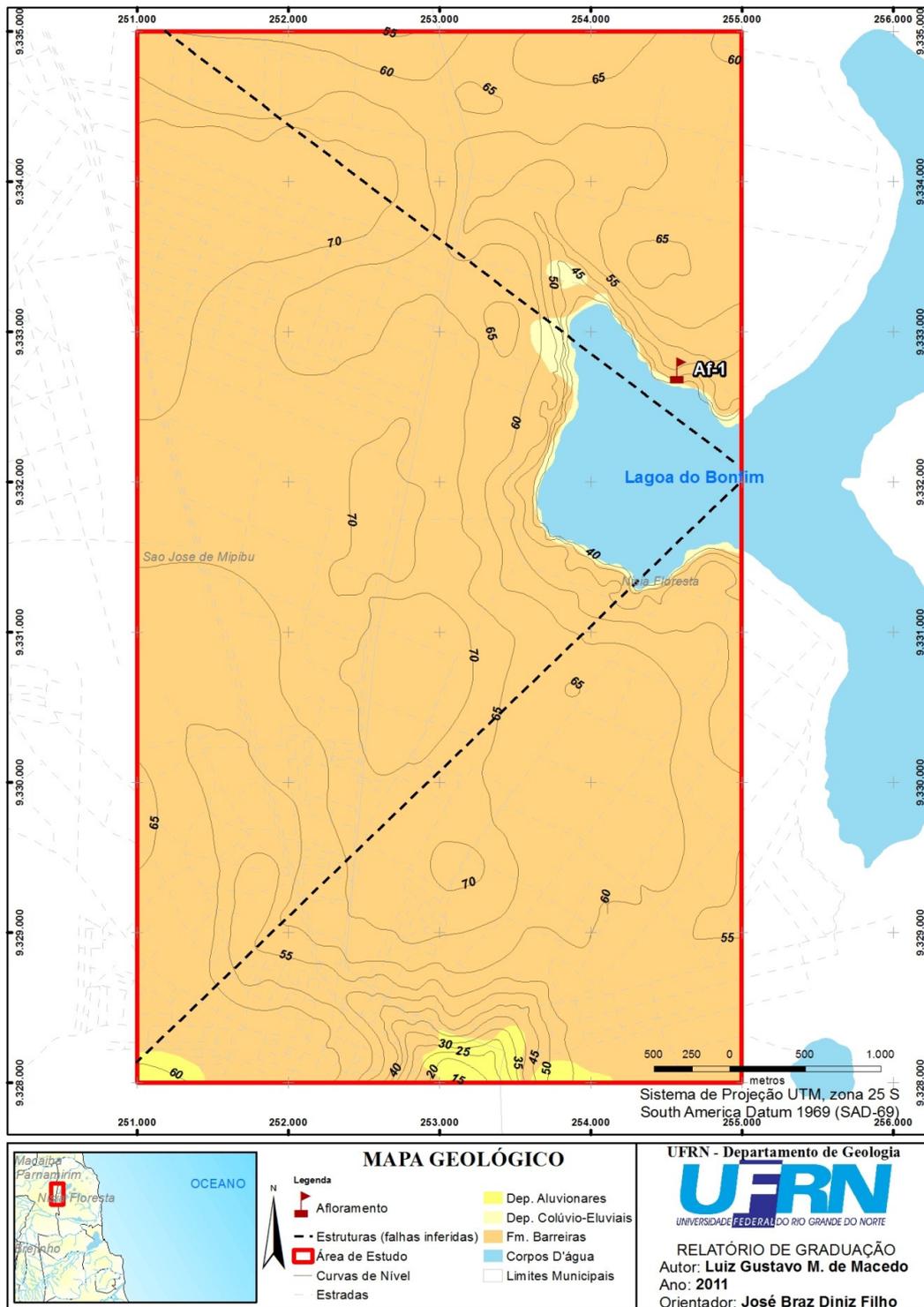


Figura 03: Mapa geológico da área estudada, a oeste da Lagoa do Bonfim/Nísia Floresta-RN. (MACEDO, 2011).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

A Formação Barreiras em apreço constitui o sistema aquífero Barreiras na região costeira do Estado do Rio Grande do Norte. Na porção superior do perfil litológico desta formação, segundo o conhecimento regional, ocorrem mais freqüentemente os arenitos finos síltico-argilosos e mais intercalações de argilitos/siltitos argilosos, e na porção inferior predominam as frações mais arenosas médias a grossas.

Nestes termos, o Aquífero Barreiras propriamente dito, que é normalmente explotado por poços para abastecimento humano, compreende os estratos relativamente mais grossos da porção inferior da Formação Barreiras, sendo possível se admitir em muitos casos que o aquífero Barreiras se comporta regionalmente como um sistema único, de natureza livre (MELO, 1995), tendo em vista que o grau de confinamento ou semi-confinamento se relaciona a um fator local, dadas as variações faciológicas em domínios mais restritos. Este fator local se refere a maior ou menor ocorrência, e/ou descontinuidades das camadas mais argilosas superiores, que caracterizariam o aquífero.

O aquífero Barreiras, portanto, é reconhecidamente de elevado potencial hidrogeológico na região costeira leste do Estado do RN, em função das condições climáticas favoráveis à altas taxas de recarga, a sua constituição arenosa e areno-síltico-argilosa pouco compacta, boa porosidade intergranular e permeabilidade/condutividade hidráulica, além de capeamento arenoso de solos, coberturas inconsolidadas e dunas quaternárias, que favorecem a recarga e renovação das reservas subterrâneas. No entanto, o aquífero pode apresentar geometria e dimensões irregulares controladas por altos e baixos estruturais desenvolvidos por falhas geológicas, bem como variações composicionais e faciológicas que definem descontinuidades de estratos argilosos que compõem aquíferos, interferindo localmente no aspecto livre ou semi-confinado do sistema.

### **3 –ESTRUTURA HIDROGEOLÓGICA**

O aquífero Barreiras na área estudada compreende os materiais sedimentares da Formação Barreiras (Tércio-quaternário), que ocorre como a principal unidade litoestratigráfica aflorante a subaflorante, subjacente às coberturas arenosas diversas (solos orgânicos, aluviões, coluviões, eluviões, sedimentos eólicos retrabalhados, coberturas arenosas diversas). Esses solos e/ou coberturas arenosas diversas são pouco espessos (de 1 a 5 metros), sobrejacentes ao aquífero Barreiras, e retêm mais as águas de chuva e favorece a infiltração e recarga do próprio aquífero.

O aquífero Barreiras repousa sobre arenitos calcíferos e calcários (Cretáceo), cujas profundidades detectadas em perfis de poços na área estudada varia entre 55,0 e 100,0 metros,

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luz.macedo@valefert.com](mailto:luz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)

sendo esta amplitude de variação provavelmente associada a controles tectônicos por falhas, na forma de altos/horsts e baixos/grabens estruturais, influenciando na distribuição espacial e espessuras do aquífero Barreiras (Figura 04).

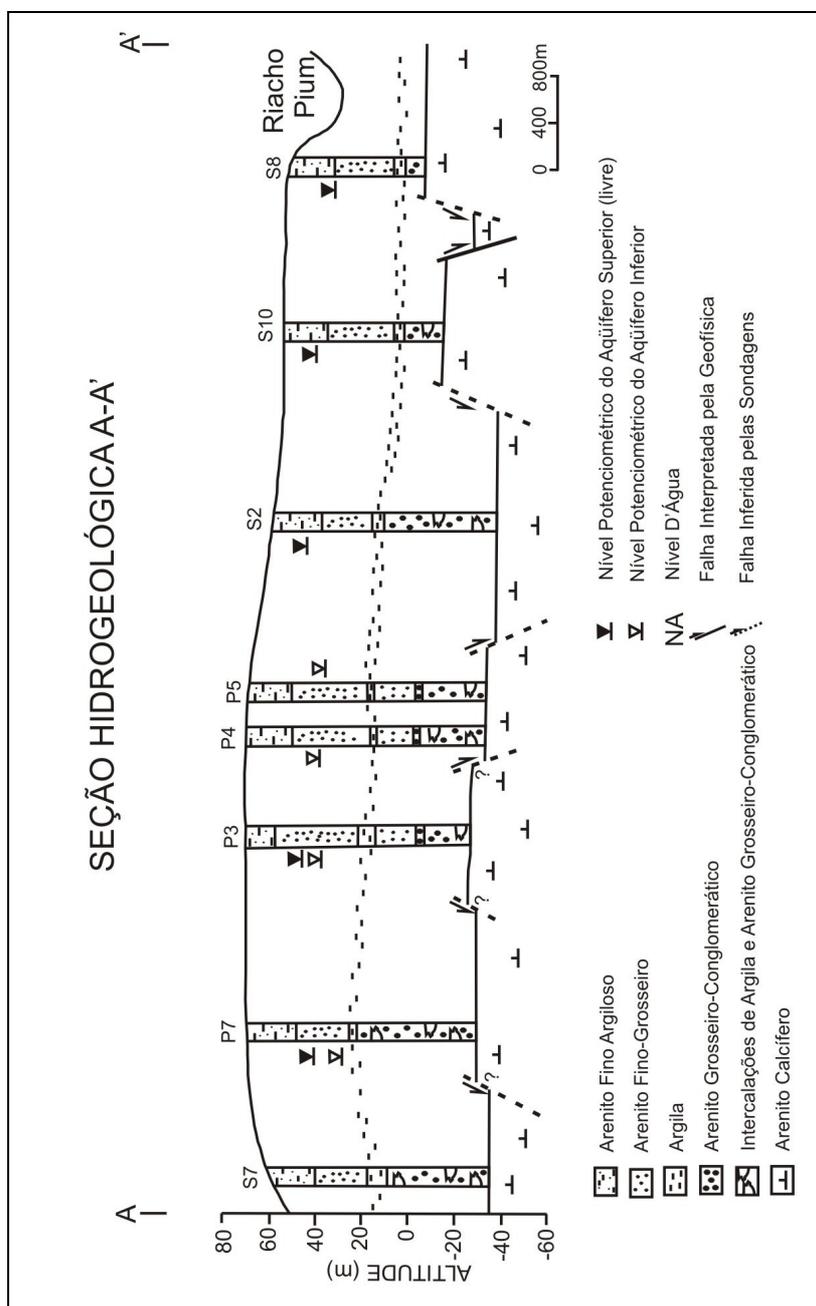


Figura 04: Seção hidrogeológica de sul (A) para norte (A'), transpassando alguns poços da área de estudo (poços produtores P7, P3, P4, e P5), evidenciando os controles estruturais na geometria do aquífero, as variações faciológicas, e a ocorrência de semi-confinamento da porção inferior do aquífero Barreiras. Fonte: MELO&FEITOSA (1998).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG - Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)

A caracterização litológica do aquífero Barreiras foi localmente reavaliada na área dos poços produtores por DINIZ FILHO (2001) e MACEDO (2011), os quais revelaram os seguintes litotipos principais: Argilitos; Arenitos finos, arenitos finos a médios, arenitos finos a grossos de cores variadas, arenitos finos a grossos com lentes conglomeráticas, arenitos grossos; níveis e lentes de Conglomerados. Na porção superior pode ocorrer localmente fácies lateríticas/ferruginosas avermelhadas, às vezes aflorantes. Os Argilitos são amarelo-esverdeado, com níveis caulínicos, amarelado, e localmente avermelhado, e ocorrem com espessuras variando entre 1,0 e 10,0 metros, intercalados nos arenitos. Foi constatado que nas porções média e superior dos perfis existe maior frequência de ocorrência de lentes/intercalações de argilitos com espessuras relativamente maiores, entre 2,0 e 10,0 metros. Na porção inferior, por sua vez, se tem menor ocorrência e menores espessuras relativas desses argilitos, em geral entre 1,0 e 2,0 metros. Este aspecto litológico e dimensional dos argilitos, e os arenitos argilosos finos, devem corroborar com o fato de que o aquífero Barreiras é mais propenso a apresentar conteúdo mais argiloso na porção superior, e conteúdo relativamente mais arenoso na porção inferior (faixa captada pelos poços produtores).

As ocorrências de argilitos na porção intermediária se destacam nos perfis, tendo uma espessura média de 5,4 metros, e controlam o semi-confinamento da porção inferior do aquífero Barreiras. Este aspecto local corrobora com o modelo apresentado na Figura 04, no qual foi evidenciado o caráter semi-confinado do aquífero Barreiras na porção inferior, e o caráter livre do aquífero Barreiras na porção superior, separados pelo aquitard argiloso (cujas espessura média estimada no âmbito dos poços estudados foi de 5,4 metros).

O Quadro 01 relaciona as medições locais do nível estático efetuadas em 2011 nos poços produtores, alguns piezômetros e poços rasos cadastrados por DINIZ FILHO (2011) e MACEDO (2011), a oeste da Lagoa do Bonfim. Constata-se o semi-confinamento em função dos valores de cargas hidráulicas, que são maiores em poços rasos (aquífero Barreiras superior livre), e menores em poços profundos (aquífero Barreiras inferior semi-confinado). Neste caso, se tem o mecanismo natural de drenança vertical descendente, do aquífero livre para o aquífero semi-confinado.

Desta forma, o Sistema Aquífero Barreiras se divide em dois compartimentos: um mais raso (aquífero Barreiras superior livre com espessura média de 38,2 metros), e com maior carga hidráulica; e outro mais profundo (aquífero Barreiras inferior semi-confinado com espessura média 37,6 metros), tendo menor carga hidráulica, sendo separados pelo aquitard (argilitos com espessura média de 5,4 metros) (DINIZ FILHO, 2011).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)

Quadro 01: Valores do Nível Estático em poços captando o aquífero Barreiras Inferior Semi-confinado e o aquífero Barreiras superior livre. Valores do Nível estático medidos entre Abril e Maio/2011. (DINIZ FILHO, 2011); MACEDO (2011).

Poço	UTM E	UTM N	Cota do Terreno (m)	Altura da boca do poço (m)	Nível estático NE (m)	COTA NE (m)	PROF Do poço. (m)	Aquífero Barreiras
P1	254187,73	9329942,38	62,378	0,23	32,83	<b>29,778</b>	85,7	Semi-Confinado
P2	253653,09	9330152,77	61,793	0	31,485	<b>30,308</b>	82	
P4	252711,18	9331756,84	70,627	1,03	35,7	<b>35,957</b>	92	
P5	252743,29	9332140,37	69,82	0	34,98	<b>34,84</b>	102,5	
P7	253056,93	9329283,98	70,039	0,88	44,28	<b>26,639</b>	92	
PE	252105,13	9328347,82	63,664	0,52	36,01	<b>28,174</b>	60	
PJ	254870,23	9334281,43	62,481	0,265	21,76	<b>40,986</b>	78	
Pz3.1	252531,23	9330906,42	70,13	0,3	35,8	<b>34,63</b>	96	
Pz6.1	251864,58	9333940,47	70,993	0,5	33,88	<b>37,613</b>	100	
CACIMBAO 1	253403	9328510	44,707623	0,8	1,365	<b>44,143</b>	10,61	Livre
CACIMBAO 2	251409,35	9330187,59	59,994526	0,55	22,26	<b>37,734</b>	29	
CACIMBAO 4	253489,12	9332757,28	63,699936	0,5	20,255	<b>43,945</b>	21,1	
CACIMBAO 5	252986	9328926	63,961002	0,3	22,93	<b>41,331</b>	23,55	
CACIMBAO 7	252970	9329204	68,644142	0,61	27,21	<b>42,044</b>	30	
CACIMBAO 8	251701,31	9333506,78	70,654922	0,4	30,3	<b>40,755</b>	-----	
CACIMBAO 9	251038	9334202	71,496155	0,52	29,155	<b>42,861</b>	32,7	
piezometro pzv01sj	251566	9331087	71,3	0,0m	27,6	<b>43,7</b>	43	
piezometro pzv02sj	251262	9332396	68,7	0,0m	23,5	<b>45,2</b>	45	

Os testes de aquífero efetuados nos estudos de MELO&FEITOSA (1998) já atestavam que o bombeamento dos poços profundos não afetava o nível potenciométrico do aquífero raso/livre, e ressaltava o isolamento do aquífero Barreiras inferior semi-confinado.

Os resultados desses testes indicaram os seguintes valores dos parâmetros hidrodinâmicos:

- Transmissividade (T) média:  $4,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ;
- Condutividade hidráulica média (K):  $1,12 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ;
- Condutividade hidráulica do aquitard:  $3,6 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ .
- O Fator de Drenança: 939,0 metros.
- Coeficiente de armazenamento médio (S) do aquífero inferior semi-confinado:  $9,62 \times 10^{-4}$ .

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

Embora os referidos testes de aquífero tenham indicado condições de semi-confinamento da porção inferior do aquífero Barreiras, o valor médio do coeficiente  $S=9,62 \times 10^{-4}$  revelou-se muito baixo, e não parece corresponder à realidade geológica/litológica do aquífero Barreiras (inferior e superior) na região de estudo. De fato, a área compõe-se por materiais sedimentares pouco consolidados, com predominância de arenitos finos a grossos (embora com matriz argilosa) e pouco compactos, e encobertos por sedimentos de dunas e outras coberturas arenosas inconsolidadas, sugestivos de um aquífero com maior capacidade de armazenamento (S) e circulação de águas subterrâneas (K). Diante deste fato, é provável também que ambos os domínios superior e inferior possam na realidade corresponder a um sistema hidráulico único e interconectado, estando a porção superior hidráulicamente interligada à porção inferior, e caracterizando um sistema aquífero único de caráter livre, fato este que levaria provavelmente a se obter maiores valores do coeficiente de armazenamento. Para confirmar essa hipótese, contudo, deveriam ser realizados, pelo menos, outros testes de aquífero, visando efetivamente confirmar o semi-confinamento, ou detectar uma possível ocorrência do fenômeno de drenagem retardada, indicativa de aquífero livre.

A Figura 05 apresenta o mapa potenciométrico do aquífero Barreiras inferior semi-confinado, caracterizando que o escoamento das águas subterrâneas se dá preferencialmente de norte para sul no sentido do Rio Trairi. Sendo o fluxo redirecionado na porção intermediária também para a Lagoa do Bonfim, evidencia-se o caráter efluente e perene dos respectivos rio e lagoa, alimentados pelo fluxo subterrâneo. O gradiente hidráulico em geral é baixo, variando de 0,002 a 0,0055. Admitindo-se como sendo muito provável a interação das águas do aquífero Barreiras inferior semi-confinado com as águas da Lagoa do Bonfim, sugere-se, como hipótese de ocorrência, a interferência do bombeamento do aquífero (através dos poços produtores) sobre as reservas hídricas da lagoa, e/ou, do bombeamento da lagoa sobre as reservas subterrâneas.

Estes mecanismos de fluxo natural e induzido pelo bombeamento, entre os reservatórios subterrâneo e superficial, também se aplicariam aos processos de transporte de contaminantes associados a ambos os reservatórios. Entretanto, são necessários estudos, monitoramento temporal quantitativo e qualitativo, e modelagem numérica de fluxo e transporte de contaminantes para constatação desses fenômenos considerados, visando fazer prognósticos e previsões mais precisas sobre processos e mecanismos de fluxo e transporte de contaminantes, com vistas a uma melhor gestão ambiental do aquífero e da lagoa.

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

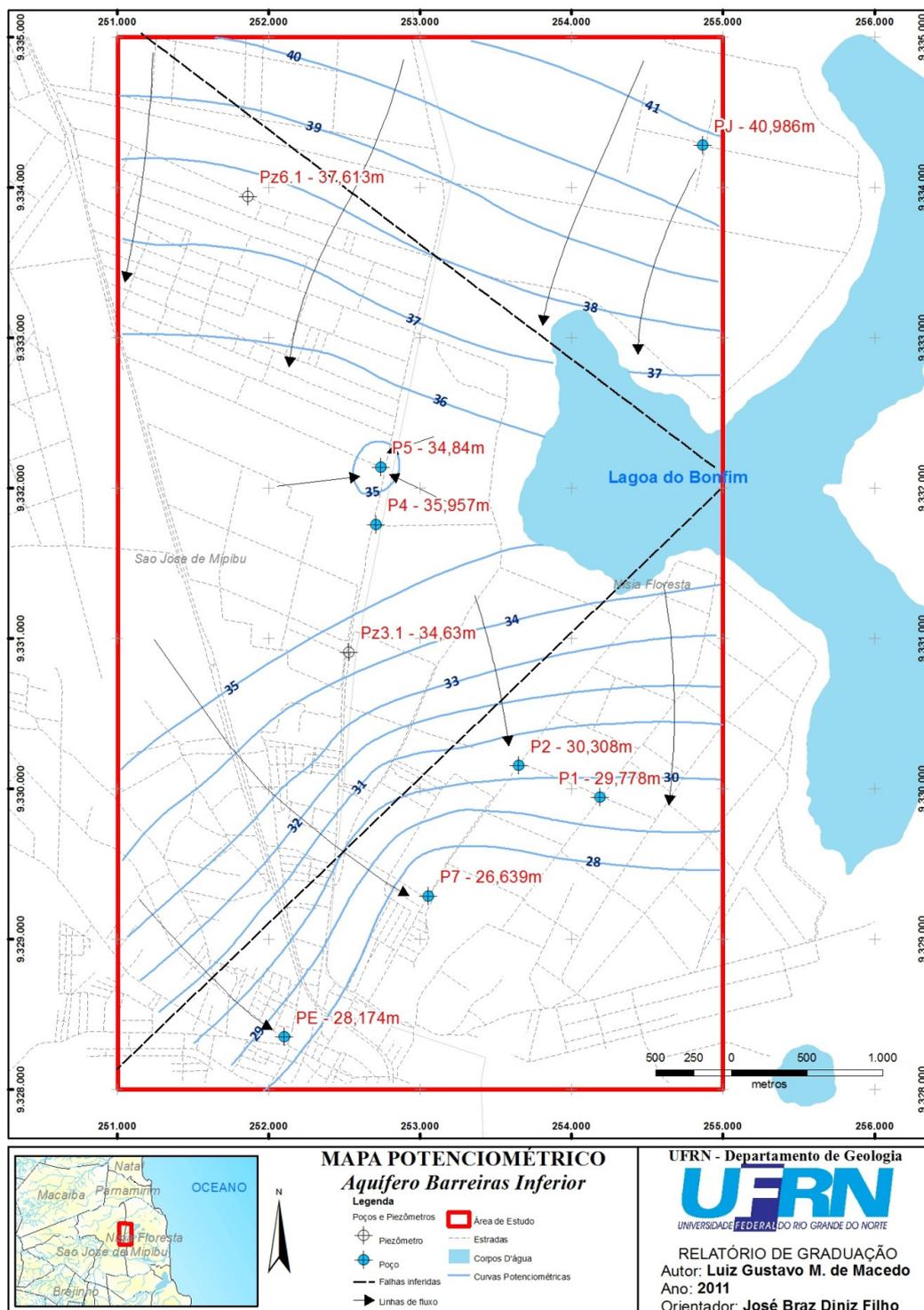


Figura 05: Mapa Potenciométrico do aquífero Barreiras inferior semi-confinado, na região a oeste da Lagoa do Bonfim/Nísia Floresta-RN. (MACEDO, 2001).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

### 3.1 – Aspectos fundamentais da Vulnerabilidade do Aquífero Barreiras Semi-Confinado

Verificou se na área estudada que o Sistema Aquífero Barreiras se divide em dois compartimentos: um mais raso (aquífero Barreiras superior livre com espessura média de 38,2 metros) e com maior carga hidráulica, e outro mais profundo (aquífero Barreiras inferior semi-confinado com espessura média 37,6 metros) tendo menor carga hidráulica, separados pelo aquitard (argilitos com espessura média de 5,4 metros). Nessa concepção foi evidenciado o fenômeno de drenança vertical descendente, do Aquífero Barreiras superior livre para o Aquífero Barreiras inferior, semi-confinado.

Com base neste entendimento hidroestratigráfico, e considerando que a porção inferior do aquífero se destaca por ser explorada através dos sete poços produtores, foi informado neste trabalho sobre o aspecto de vulnerabilidade à contaminação do aquífero Barreiras inferior semi-confinado. Foi aplicado o método consagrado de FOSTER E HIRATA (1988), ou método “GOD”, para determinação do índice vulnerabilidade do aquífero à contaminação (“G” – *groundwater occurrence, ou, Grau de confinamento da água subterrânea*; “O” – *overall litology of aquifer, ou, Ocorrência de estratos na zona insaturada que constituem a cobertura da zona saturada*; e “D” – *depth of water, ou, Distância até o nível freático ou o teto do aquífero confinado*).

Teoricamente, uma vulnerabilidade **nula** indica a ausência de aquífero, pela ausência de água em quantidades aproveitáveis, ou pela baixa qualidade natural. O índice **baixo** significa que o aquífero é vulnerável apenas a compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos. Um aquífero de índice **médio ou moderado** é susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não, e alguns metais pesados e sais menos solúveis. O índice **alto** sugere um aquífero vulnerável a muitos contaminantes, exceto aqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis. Por fim, o índice **extremo** é aplicável ao aquífero que possui sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulnerável na maioria dos cenários de poluição com impactos relativamente rápidos.

Deve-se destacar que o parâmetro “O” foi obtido através da análise das litologias (no intervalo vertical entre o solo e a base do aquífero semi-confinado, ou, base do aquitard), e registrado um valor do índice “O” estabelecido por FOSTER E HIRATA (1988), correspondente a cada litologia encontrada no perfil de cada poço, no intervalo citado. Para o intervalo total se calculou a média dos valores de “O” adotados para cada litologia (MACEDO, 2011), indicados no Quadro 02. Conceitualmente esta *faixa vertical* entre o solo e a base do aquitard pode condicionar o

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

tempo de deslocamento bem como a chegada ou não de prováveis contaminantes à porção inferior semi-confinada do aquífero Barreiras que está sendo explorada, em função da capacidade de retenção/transformação no meio hidrogeológico, e dos tipos e grau de persistência dos contaminantes que podem degradados/biodegradados, preservando a qualidade da água do intervalo aquífero Barreiras captado.

QUADRO 02: Valores dos parâmetros do método “GOD” (FOSTER&HIRATA, 1988) para caracterização da vulnerabilidade à contaminação do aquífero Barreiras inferior semi-confinado.

Poço/Piezômetro	“G” (Grau de confinamento da água subterrânea)	“O” (Ocorrência de estratos da cobertura da zona saturada)	“D” (Distância até o nível freático ou o teto do aquífero confinado)	Índice de vulnerabilidade “GOD”	Coordenada UTM N	Coordenada UTM E
P1	0,40	0,61	0,60	0,146	9329942,4	254187,73
P2	0,40	0,61	0,60	0,146	9330152,77	253653,09
P3	0,40	0,63	0,60	0,151	9330899,18	252530,89
PZ3.1	0,40	0,63	0,70	0,176	9330906,4	252531,23
P4	0,40	0,64	0,60	0,153	9331756,84	252711,18
P5	0,40	0,62	0,60	0,148	9332140,37	252743,29
P6	0,40	0,64	0,60	0,153	9333917,71	251874,85
PZ6.1	0,40	0,64	0,60	0,153	9333940,5	251864,58
P7	0,40	0,67	0,70	0,188	9329283,98	253056,93
PE	0,40	0,59	0,80	0,189	9328347,82	252105,13
PJ	0,40	0,56	0,70	0,157	9334281,43	254870,23

O terceiro parâmetro “D” é o índice correspondente à estimativa da profundidade do nível da água subterrânea pelo método citado. Considerando que se estudou o aquífero Barreiras inferior semi-confinado, obteve-se o valor “D” pelo registro da profundidade do teto deste aquífero em cada poço (correspondente à profundidade da base da camada semiconfinante/aquitard).

O Quadro 02 apresenta os valores dos índices G, O, D obtidos para os poços e piezômetros na área estudada. Desta forma, quanto ao parâmetro “G”, de acordo com o método citado, foi indicado

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmet@ufmet.br](mailto:jgmet@ufmet.br)

o índice referente a aquífero “semi-confinado” em todos os pontos considerados, tendo sido adotado o valor  $G = 0,4$  a todos os poços. Quanto ao índice “O”, conforme citado, obteve-se um valor médio para a faixa vertical entre o solo e a base do aquitard, a partir dos valores de “O” de cada litologia, em cada poço. Conforme mostrado no Quadro 02, os valores médios variam entre 0,56 e 0,64. Quanto aos valores de “D”, o Aquífero Barreiras inferior semi-confinado mostrou profundidades do seu teto variando na ordem de 27,0 m a 65,0 m, correspondentes ao índice “D” variando entre 0,6 e 0,8 (Quadro 02).

O produto dos três parâmetros (“G”, “O”, “D”), correspondente ao índice de vulnerabilidade representativo do aquífero em cada poço, é expresso numa escala de 0 a 1 em termos relativos, caracterizando índices de vulnerabilidade extrema, alto, médio, baixo e nulo. Os valores dos índices GOD obtidos variam de 0,146 a 0,189 (Quadro 02), atribuindo ao Aquífero Barreiras inferior semi-confinado uma vulnerabilidade BAIXA, ou seja, teoricamente susceptível de contaminação apenas a compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos. A Figura 06 ilustra o mapa de vulnerabilidade para a área considerada, demonstrando, como esperado, uma homogeneidade quanto à ocorrência espacial da baixa vulnerabilidade do aquífero Barreiras inferior semi-confinado à contaminação.

Sendo o aquífero de natureza semi-confinada, e sua vulnerabilidade considerada baixa, o mesmo estaria teoricamente mais protegido. Apesar disto, torna-se possível ocorrer a percolação de contaminantes oriundos do aquífero Barreiras superior livre (se porventura já estivesse contaminado) e sua chegada no aquífero Barreiras inferior semi-confinado, através de drenança vertical descendente. Adicionalmente a percolação seria passível de ocorrer por drenança induzida pelo bombeamento e rebaixamento do nível d’água radialmente (com formação e expansão do cone de depressão), ao redor dos poços produtores, sugerindo que uma possível aceleração do processo de transporte vertical de contaminantes.

Se fosse revelado e confirmado, contudo, que o aquífero Barreiras consistisse de um aquífero único e de natureza livre (com as porções superior e inferior hidraulicamente interconectadas), o caráter de vulnerabilidade à contaminação poderia ser significativamente alterado e certamente maior, podendo-se modificar as estratégias de gestão quanto ao planejamento do uso, controle e proteção das águas subterrâneas.

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

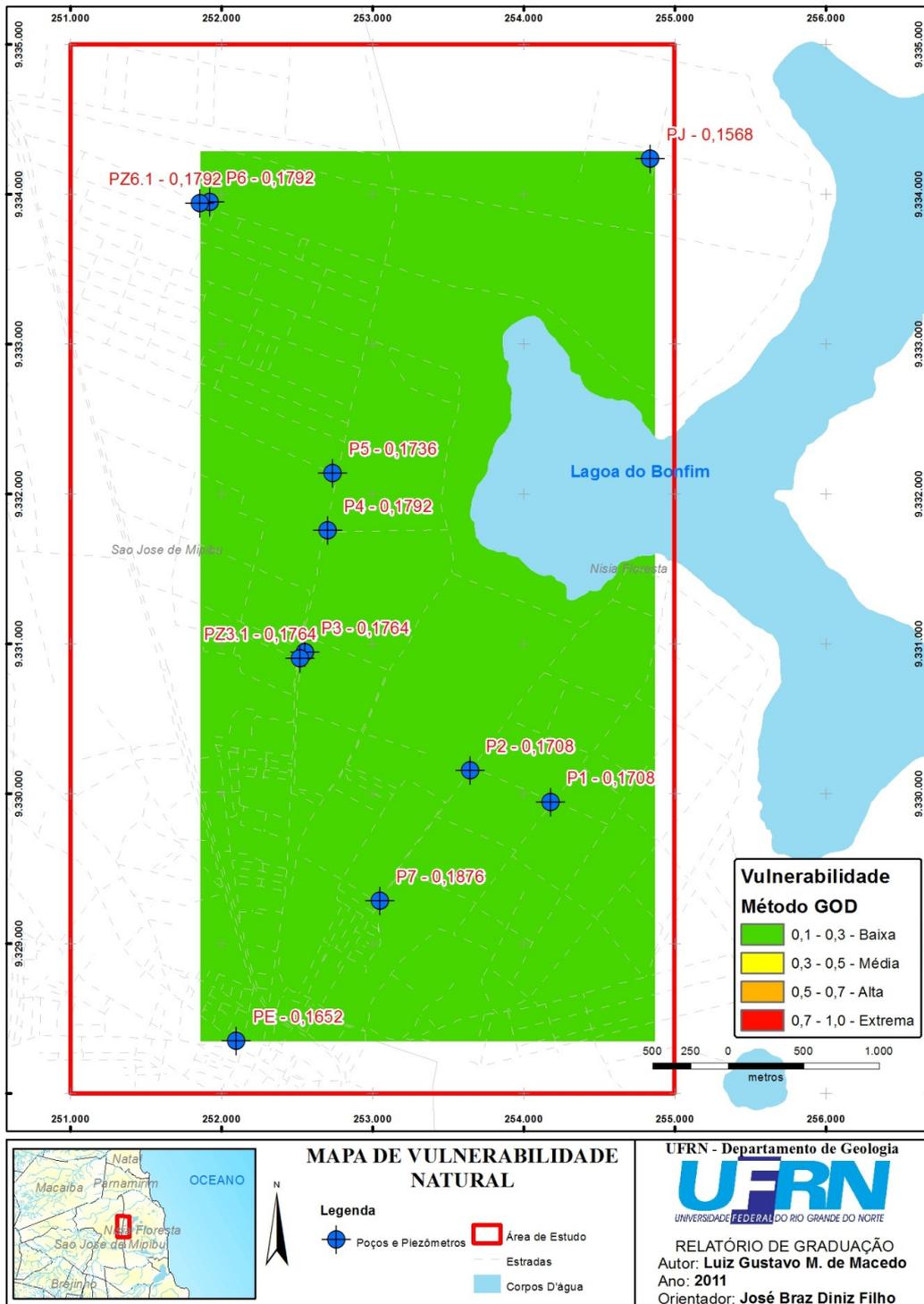


Figura 06: Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero Barreiras inferior semi-confinado, a oeste da Lagoa do Bonfim/Nísia Floresta-RN, segundo o Método de FOSTER & HIRATA (1988). (MACEDO, 2001).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aspectos hidrogeológicos aqui apresentados conforme a literatura técnica consultada, e com algumas medições realizadas em 2011 na região dos poços produtores (P-01 a P-07) da adutora Monsenhor Expedito, a oeste da Lagoa do Bonfim, confirmaram a subdivisão do aquífero Barreiras em duas porções, sendo uma porção correspondente ao aquífero Barreiras superior livre com espessura média de 38,2 metros, e com maior carga hidráulica, e outra correspondente ao aquífero Barreiras inferior semi-confinado com espessura média de 37,6 metros, e menor carga hidráulica, separados pelo aquífero argiloso com espessura média de 5,4 metros. Em função das cargas hidráulicas obtidas, constata-se a ocorrência de drenança vertical descendente, através do qual se processa a recarga do aquífero Barreiras semi-confinado alimentado pelas águas oriundas do aquífero Barreiras superior livre.

A vulnerabilidade do aquífero Barreiras semi-confinado foi classificada como baixa. Sendo o aquífero semi-confinado e sua vulnerabilidade baixa, teoricamente se admite que esta porção do aquífero que abastece o sistema adutor Monsenhor Expedito esteja mais protegida. No entanto, é possível ocorrer a percolação de contaminantes oriundos do aquífero Barreiras superior livre (se porventura estiver contaminado) e sua chegada no aquífero Barreiras inferior semi-confinado, através de drenança vertical descendente durante o processo de recarga natural, ou de forma induzida pelo bombeamento dos poços.

Isto sugere afirmar que o semi-confinamento e a baixa vulnerabilidade do aquífero não garantirão sua proteção total, pois contaminantes muito persistentes e móveis poderão percolar verticalmente e alcançar as porções mais profundas semi-confinadas, podendo ser criado um processo de contaminação difusa, em função do bombeamento/rebaixamento do nível d'água, e evolução do cone de depressão no entorno dos poços produtores.

Recomenda-se que sejam efetuados estudos adicionais com monitoramento qualitativo e quantitativo, integrados a um processo de modelagem de fluxo e transporte de contaminantes, capazes de fazer prognósticos e previsões mais precisas no que diz respeito ao avanço e controle de plumas de contaminação, visando o melhor uso, controle e proteção ambiental das águas subterrâneas e superficiais no âmbito considerado.

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmel@ufmet.br](mailto:jgmel@ufmet.br)

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DINIZ FILHO, JOSÉ BRAZ; 2011. “Avaliação de Áreas de Proteção de Poços – Caso dos Poços Produtores da Região da Lagoa do Bonfim-Nísia Floresta/RN”. Relatório Final de Pós-doutorado. IG-USP. 216p. São Paulo/SP.
- FOSTER, S., e R. HIRATA. 1988. “CEPIS. Technical Report.” *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. 1988: 81.
- MACEDO, LUIZ GUSTAVO DE MORAES; 2011. “Caracterização Hidrogeológica e Aspectos ambientais no Setor Oeste da Lagoa do Bonfim/RN”. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia/UFRN. 90p. Natal/RN.
- MELO, J.G. 1995. Impactos de Desenvolvimento Urbano nas Águas Subterrâneas de Natal/RN. São Paulo/SP. (Tese - Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 196p.
- MELO, JOSÉ GERALDO DE; e EDILTON CARNEIRO FEITOSA. 1998. “Pesquisa Hidrogeológica do Complexo Lagunar do Bonfim”. Relatório Final. FUNPEC/UFRN/SERHID. Natal/RN.
- PEREIRA, Roberto Pereira. 2002. “Análise do saldo de fluxo subterrâneo na caracterização hidrológica das lagoas do sistema lacustre Bonfim, RN-Brasil.”. ABRH::Associação Brasileira de Recursos Hídricos. <http://www.abrh.org.br/revistas/resumo927.asp> (acesso em 4 de Janeiro de 2011).

<sup>1</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [brazdf@geologia.ufrn.br](mailto:brazdf@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup> Vale Fertilizantes, Rodovia MG 341, Km 25 - CEP: 38185-000 - Tapira-MG – Brasil, fone 55 (34) 8856-3229, e-mail [luiz.macedo@valefert.com](mailto:luiz.macedo@valefert.com)

<sup>3</sup> UFRN, Departamento de Geologia/CCET, Av.Sen.Salgado Filho, C. Universitário, CEP 59072-970, Natal/RN, fone (84) 3215-3807, e-mail [jgmelo@ufmet.br](mailto:jgmelo@ufmet.br)