

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO SISTEMA AQUÍFERO BARREIRAS-JANDAIRA NA REGIÃO DE FAZENDA BELÉM/CE: SUBSÍDIO AO MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Paula Stein<sup>1</sup>; Germano Melo Júnior<sup>1</sup>; José Geraldo de Melo<sup>1</sup>; Tereza Cristina Campos Falcão<sup>1</sup>;  
Edeweis Rodrigues Carvalho Júnior<sup>2</sup>; Maria de Fátima Batista de Carvalho<sup>3</sup>; Marcus Paulus  
Martins Baessa<sup>3</sup> & Gerson Romano dos Santos Júnior<sup>1</sup>

**Resumo** – Nas adjacências da área de Fazenda Belém, Aracati/CE, será instalado um experimento de agricultura irrigada utilizando água produzida com petróleo tratada para remoção de contaminantes potenciais majoritários. Um monitoramento ambiental é primordial considerando a atividade a ser implantada. O objetivo do presente trabalho é apresentar os estudos até então desenvolvidos, os quais culminaram na caracterização do sistema aquífero Barreiras-Jandaíra mediante a definição do modelo hidrogeológico conceitual da área. O sistema aquífero Barreiras-Jandaíra na área estudada é do tipo livre e apresenta uma unidade hidroestratigráfica superior, relacionada à Formação Barreiras, responsável pela transferência das águas de chuvas para a unidade hidroestratigráfica inferior, composta por uma rede de condutos/canais/cavidades cársticas interligadas desenvolvida nas rochas da Formação Jandaíra. As águas armazenadas nesse sistema aquífero são ligeiramente salobras (condutividade elétrica média da ordem de 3171  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e têm pH médio de 7,6.

**Palavras-Chave** – aquífero cárstico, modelo hidrogeológico, monitoramento da água subterrânea.

**Abstract** – In the Fazenda Belém vicinity, Aracati/CE, an irrigation agriculture experiment will be carried out, using petroleum-associated produced water after removal of major potential contaminants. An environmental monitoring is of utmost importance, considering the activity to be put into operation. The objective of this work is to present the studies so far developed, which resulted in the characterization of the Barreiras-Jandaíra aquifer system, upon definition of the hydrogeologic conceptual model for the area. In the studied area, the Barreiras-Jandaíra aquifer system is of the free type and presents an upper hydrostratigraphic unit, related to the Barreiras Formation, responsible for rain water transfer to the lower hydrostratigraphic unit, made up by a framework of intertwined karstic conducts/channels/cavities developed in the rocks of the Jandaíra Formation. Waters stored in this aquifer system are slightly brackish (average electrical conductivity of 3171  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and have average pH of 7.6.

**Keywords** – karstic aquifer, hydrogeologic model, groundwater monitoring.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Geologia. Endereço: Campus Universitário Lagoa Nova, s/n. CEP: 59072-970 Natal - RN - Brasil. E-mail: paula.stein@gmail.com; germano@geologia.ufn.br; tc\_falcao@yahoo.com.br; jgmelo@ufn.br; gersonromano@yahoo.com.br

<sup>2</sup> PETROBRAS/UN-RNCE. Gerência de Segurança, Meio Ambiente e Saúde. Endereço: Av. Euzébio Rocha, 1000. Natal-RN. CEP: 59070-900. E-mail: edeweis@petrobras.com.br

<sup>3</sup> PETROBRAS/CENPES. Endereço: Cidade Universitária, Ilha do Fundão. Rio de Janeiro-RJ. CEP: 21949-900. E-mail: fatc@petrobras.com.br; marcus.baessa@petrobras.com.br

## 1 – INTRODUÇÃO

A área de estudo está inserida na região do campo de petróleo de Fazenda Belém e está localizada no município de Aracati-CE, às margens da rodovia BR-304, distando aproximadamente 200 km de Fortaleza-CE e 330 km de Natal-RN (Figura 1). Nessa região ocorrem importantes acumulações de petróleo comercialmente exploradas pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS).

Numa área de aproximadamente 120 m por 160 m será instalado um experimento de irrigação por iniciativa da PETROBRAS, mediante o plantio de espécies de plantas ornamentais e oleaginosas cultivadas sob três condições de irrigação: 1) água de chuva; 2) água do Aquífero Açú; 3) água produzida com o petróleo após tratamento.

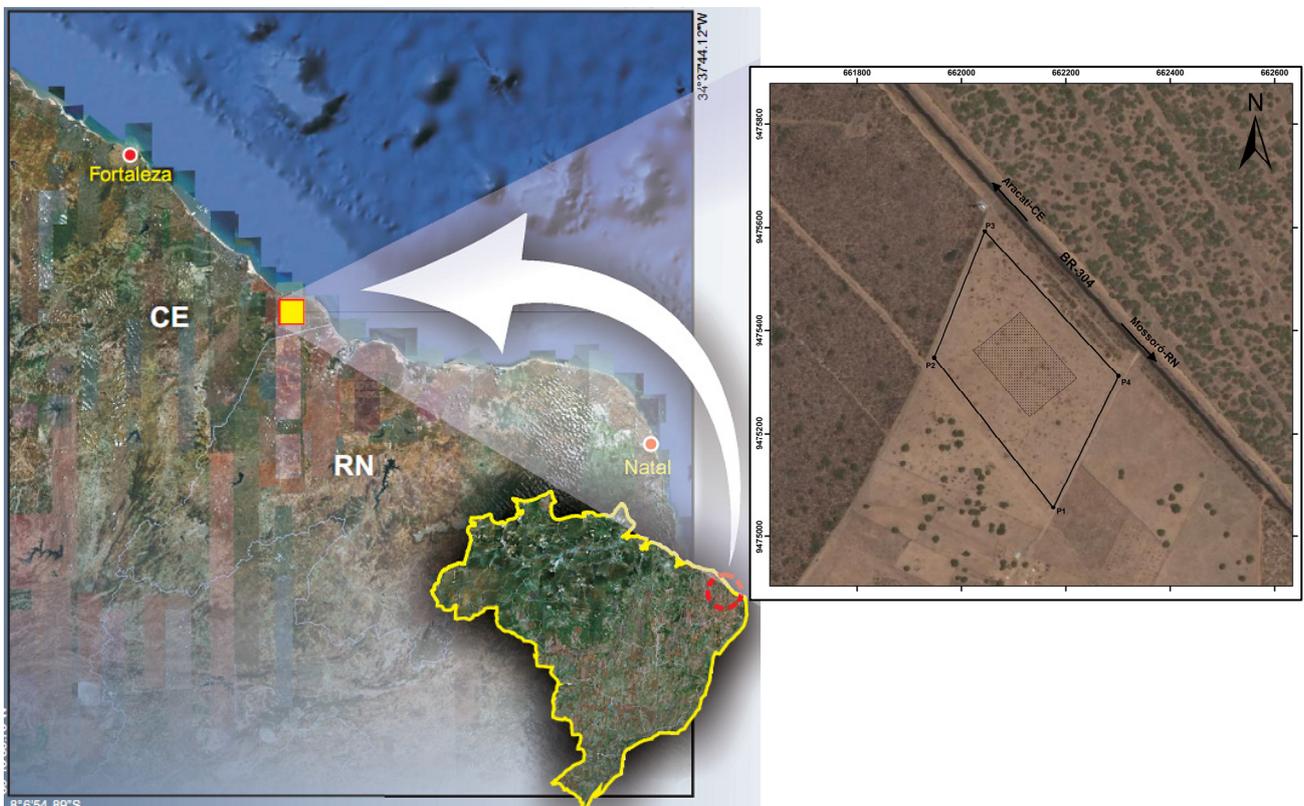


Figura 1. Localização da área de estudo. À direita, no detalhe da figura, o retângulo delimitado pelos vértices P1 a P4 identifica a área alvo dos estudos hidrogeológicos. No retângulo quadriculado central (dimensão 120 x 160 m) serão realizados os experimentos de irrigação.

O desenvolvimento do experimento de irrigação a ser implantado poderá constituir uma atividade de risco potencial de contaminação das águas subterrâneas, notadamente as mais rasas. Nesse sentido, o objetivo principal do estudo é avaliar o potencial poluidor que as águas produzidas tratadas podem causar nas águas subterrâneas mais rasas da região. Para alcançar esse objetivo, é essencial o pleno conhecimento do compartimento água subterrânea na área. No presente trabalho serão apresentados os estudos já desenvolvidos que resultaram na definição do modelo hidrogeológico conceitual do sistema aquífero Barreiras-Jandaíra. Esta atividade constitui a fase I

dos estudos. Posteriormente na fase II, será definida a rede de monitoramento para amostragem de águas subterrâneas antes e após a implantação do experimento de irrigação.

Os aquíferos cársticos, em geral, são extremamente heterogêneos e anisotrópicos e seu conhecimento requer a aplicação de técnicas de investigação específicas. Em algumas situações é possível a presença de águas subterrâneas em grandes quantidades, armazenadas em condutos e cavernas, e a poucos metros de distância a ocorrência de rochas improdutivas. Também, a direção e velocidade do fluxo subterrâneo podem mudar com frequência, o que evidencia que o simples conhecimento de cargas hidráulicas de poços e piezômetros pode não ser suficiente para caracterizar a direção do fluxo subterrâneo. Deve-se estar ciente de que a heterogeneidade do meio aquífero cárstico também significa que todo tipo de interpolação e extrapolação no tratamento dos dados pode ser problemático, dificultando as chances de se obter resultados fidedignos. A técnica que se tem mostrado mais eficiente na definição do fluxo subterrâneo em meios cársticos é o uso de traçadores, mais precisamente os corantes fluorescentes (p. ex.: rodamina; eosina) e não fluorescentes (ex.: cloreto; iodeto), bem como substâncias radioativas (ex.: trítio na forma de água tritiada, T<sub>3</sub>O) (Silva *et al.*, 2009).

No presente trabalho o comportamento do fluxo subterrâneo está sendo avaliado com base no conhecimento das cargas hidráulicas dos poços. Posteriormente, pretende-se utilizar a técnica dos traçadores, com substâncias fluorescentes e não fluorescentes.

## 2 – ASPECTOS METODOLÓGICOS

Foram realizadas 10 sondagens hidrogeológicas de reconhecimento visando à definição das características estratigráficas da área. As perfurações foram executadas de acordo com a Norma Técnica da ABNT NBR 15492:2007 (Sondagens de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimentos). As sondagens foram destinadas à instalação de piezômetros (Figura 2) construídos em tubo de PVC branco de 2 polegadas para a medição dos níveis estáticos da água subterrânea armazenada nesse sistema aquífero, com o objetivo de definir a superfície potenciométrica da área e subsidiar a locação dos poços de monitoramento.

Após a instalação dos piezômetros foi realizado o nivelamento topográfico com o uso de um GPS Geodésico, obtendo-se as cotas do terreno nos respectivos pontos em relação ao nível do mar. Conhecidas as cotas topográficas do terreno e as profundidades dos níveis estáticos nos piezômetros, foram determinadas as cotas potenciométricas do sistema aquífero. O reconhecimento das características básicas da água foi realizado mediante a amostragem de águas dos piezômetros com o uso de *bailer* e medição *in situ* da condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e pH.

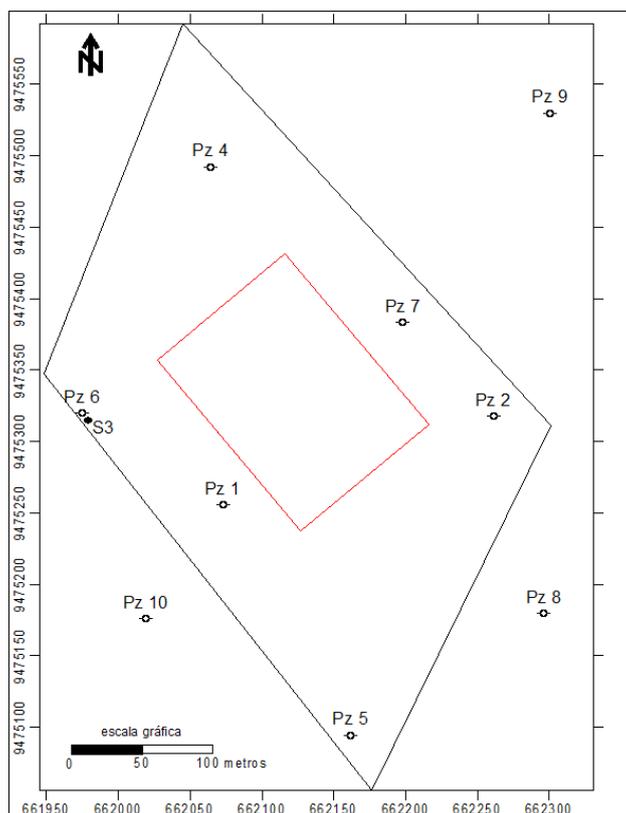


Figura 2. Localização da sondagem (S) e piezômetros (Pz) instalados. O retângulo vermelho central delimita o local onde será realizado o experimento de irrigação.

### 3 – CONDICIONANTES CLIMÁTICOS E BALANÇO HIDROCLIMATOLÓGICO

As precipitações pluviométricas na área, tomando por base o posto pluviométrico de Aracati (cerca de 30 km a noroeste), são da ordem de 934,8 mm anuais. As chuvas ocorrem principalmente nos meses de janeiro a junho, com maior concentração nos meses de março e abril, quando alcançam valores em torno de 200 mm/mês (INMET, 2009).

O balanço hidroclimatológico foi estabelecido tomando por base as temperaturas médias mensais anuais do posto meteorológico de Mossoró (cerca de 70 km a sudeste), já que o município de Aracati não dispõe de estação meteorológica. A evapotranspiração potencial anual obtida foi da ordem de 1493,1 mm e a evapotranspiração real obtida pelo balanço hídrico foi de 718,3 mm/ano, indicando, portanto um déficit hídrico de 774,8 mm/ano. O período de déficit é de julho a janeiro (Figura 3) e o excedente hídrico ocorre nos meses de março e abril, com um total anual de 98,6 mm.

O excedente hídrico representa o volume de água que se infiltra no terreno e que escoia sobre sua superfície. As características morfológicas da área de estudo, com relevo plano, ausência de drenos superficiais e constituição do terreno predominantemente arenoso, sugerem praticamente a ausência de escoamentos superficiais. Neste caso, o excedente hídrico obtido é uma indicação em potencial do volume de água infiltrado no terreno. Portanto, tomando por base o excedente hídrico

de 98,6 mm e a precipitação média anual de 934,8 mm, resulta em uma taxa de infiltração em potencial de 12%, o que é mais característico de regiões semi-áridas a sub-úmidas.

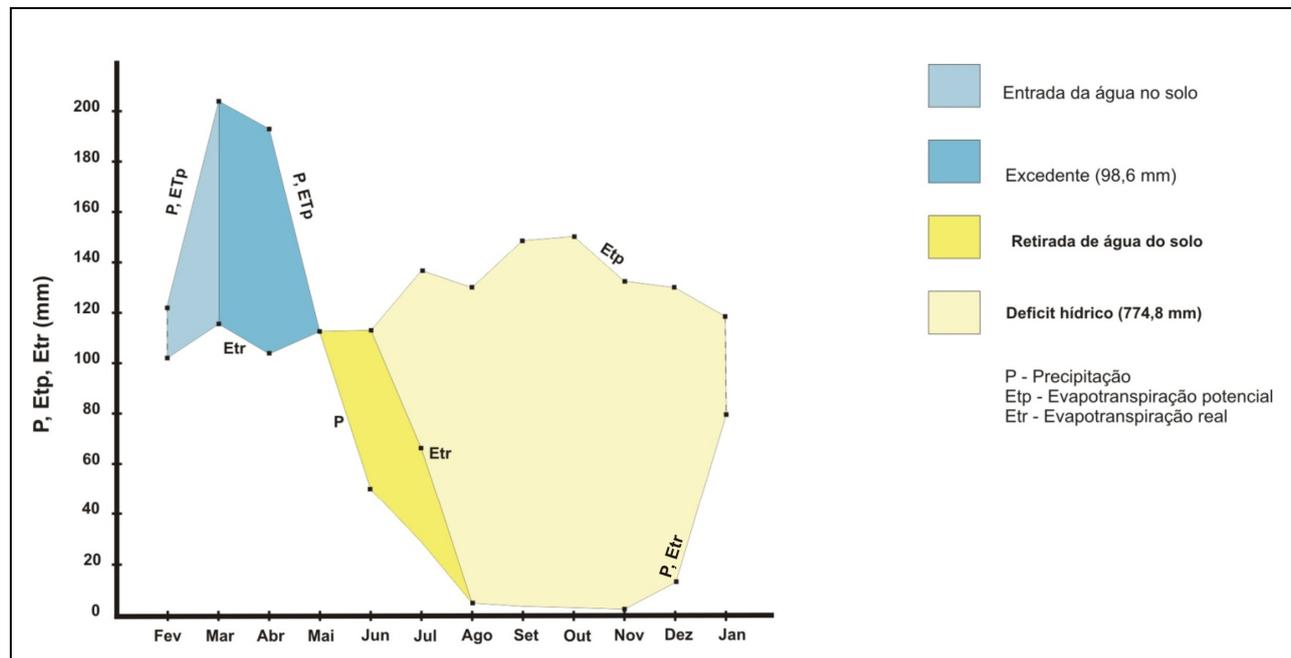


Figura 3. Balanço hídrico na área da Fazenda Belém obtidos com base em dados da estação meteorológica de Mossoró-RN e estação pluviométrica de Aracati, CE.

## 4 – GEOLOGIA

### 4.1 - Geologia Regional

A área está inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar, extremo nordeste do Brasil. Esta bacia abrange em sua maior parte o Estado do Rio Grande do Norte e a borda leste do Estado do Ceará. A referida bacia possui área de 60.000 km<sup>2</sup>, dos quais 24.000 km<sup>2</sup> correspondem à sua porção emersa (Bertani *et al.* 1990) (Figura 4). O campo de petróleo de Fazenda Belém está situado na Plataforma de Aracati (Figura 5), limitado a sudeste pela falha de Areia Branca e a noroeste pela falha de Pescada.

A estratigrafia da Bacia Sedimentar Potiguar pode ser dividida em três supersequências (Pessoa Neto *et al.* 2007) (Figura 6): (i) uma da fase Rifte; (ii) outra segunda da fase Pós-rifte e por último (iii) a fase Drifte.

A fase **Rifte** é caracterizada por deposição de sedimentos continentais, em um regime de estiramento crustal com formação de calhas tectônicas que foram preenchidas por depósitos lacustrinos, flúvio-deltáicos e fandeltáicos.

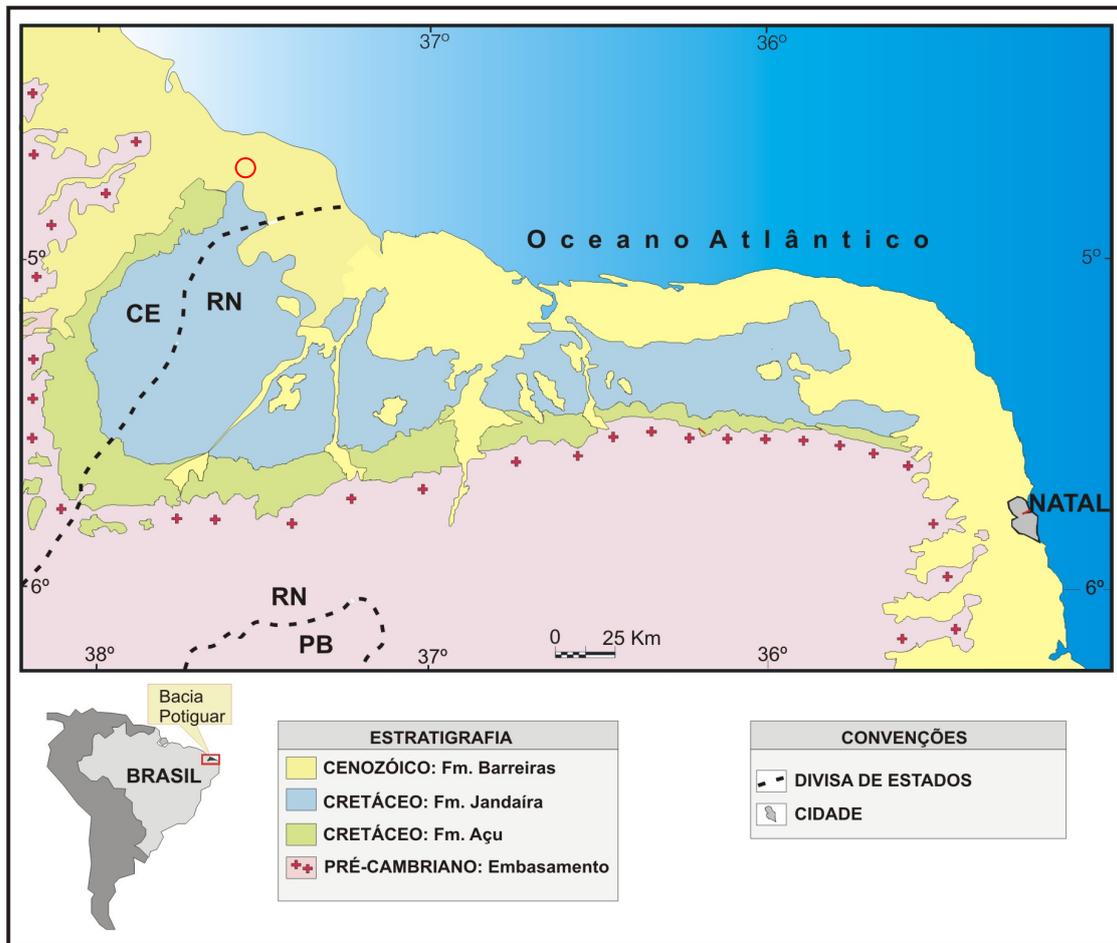


Figura 4. Bacia Potiguar com suas principais formações estratigráficas aflorantes na parte emersa. O círculo vermelho indica a localização da área de estudo.

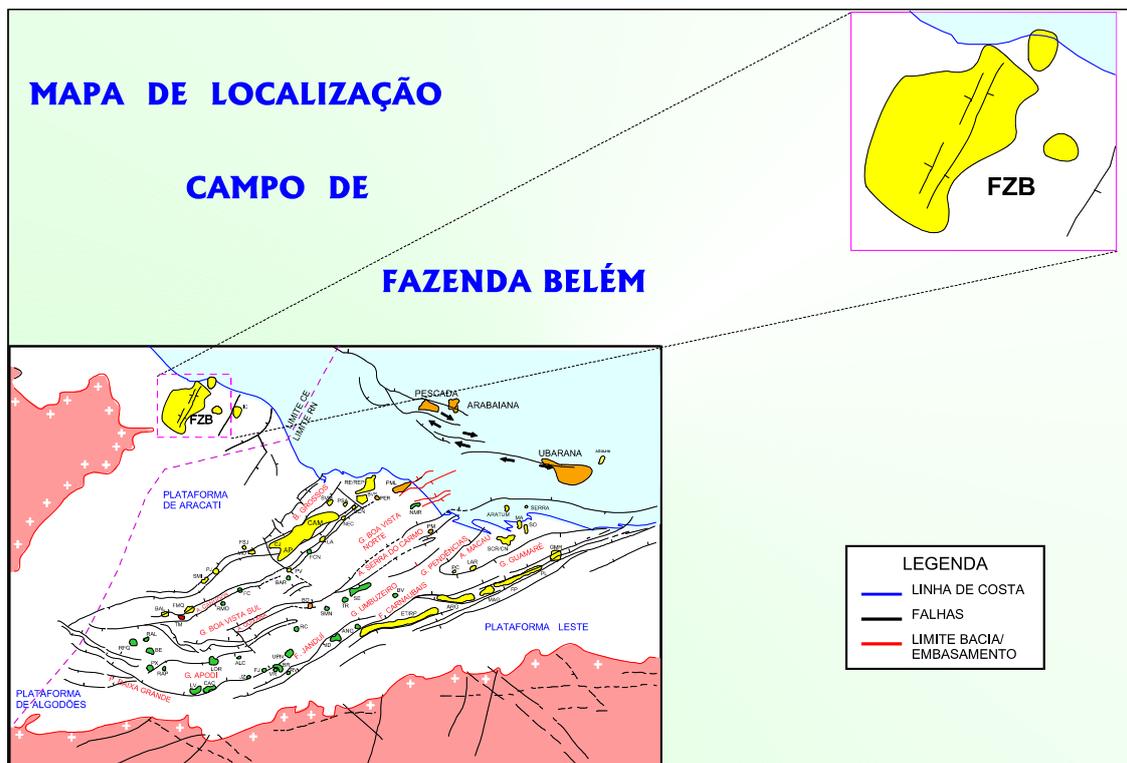


Figura 5. Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (Carvalho Júnior *et al*, 2008).

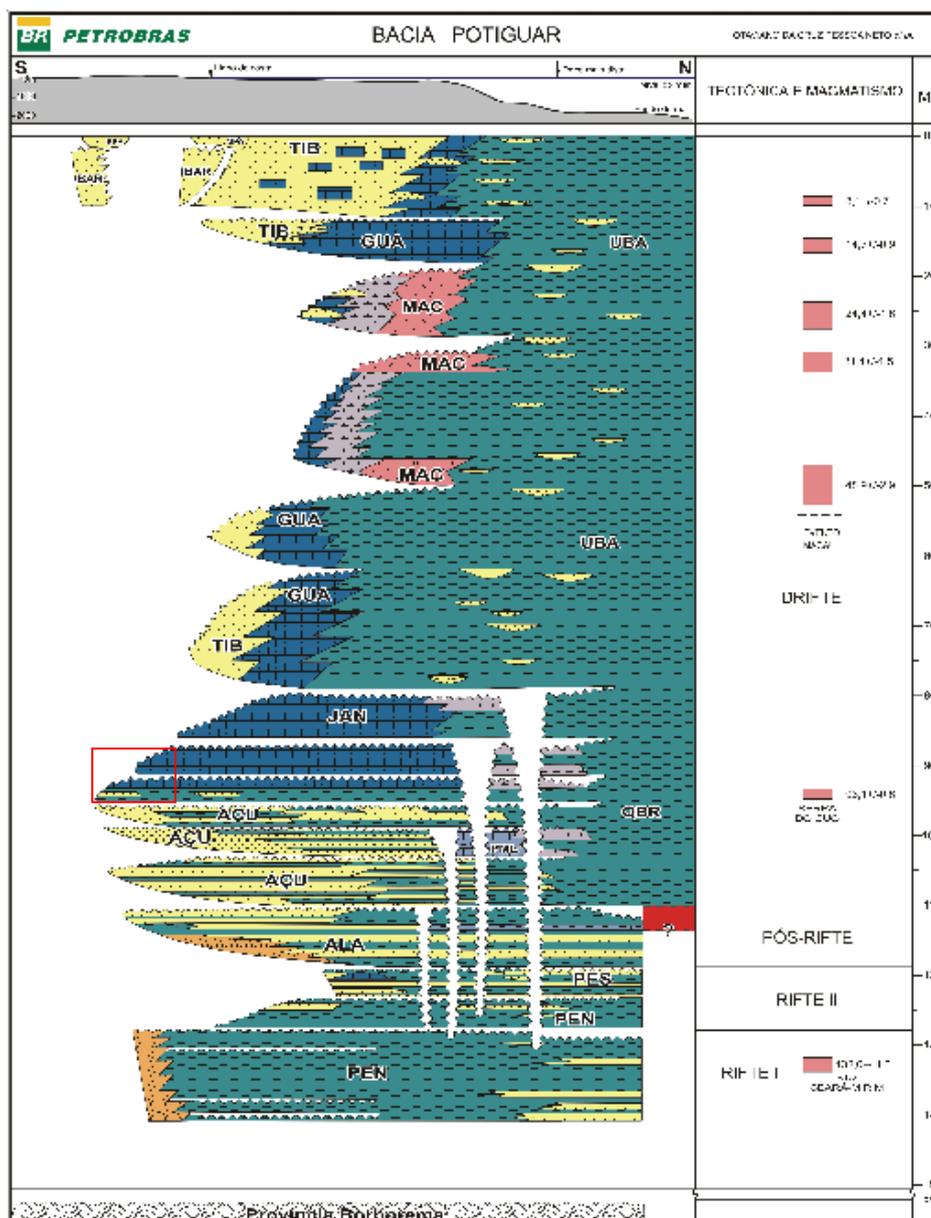


Figura 6. Estratigrafia da Bacia Potiguar (Pessoa Neto *et al.* 2007) e indicação (quadrado vermelho) das unidades estratigráficas inseridas na área de estudo.

A fase **Pós-rifte** marca a passagem gradativa da sedimentação continental para marinha. A sedimentação inicial é dominada por sistemas deposicionais flúvio-lacustres assentados com forte discordância angular sobre o topo da seção rifte.

A Supersequência **Drifte** compreende toda sedimentação marinha depositada a partir do Albiano Inferior e pode ser subdividida em dois conjuntos. Uma sequência marinha transgressiva de idade Eoalbiano-eocampaniano e as sequências regressivas deste o Neocampiano até o Holoceno.

As **sequências transgressivas** têm início com a deposição da seção fluvial a marinha dos sedimentos siliciclásticos proximais (Formação Açú) e marinho distais (Formação Quebradas), bem como pelos depósitos carbonáticos marinhos rasos (Formação Ponta do Mel). O máximo transgressivo ocorreu na passagem Cenomaniano-Turoniano com a deposição de uma seção de

folhelhos contínuos na parte submersa e pelo afogamento dos sistemas fluviais e estuarinos na porção emersa.

A partir daí segue-se a instalação de uma plataforma carbonática dominada por maré (Formação Jandaíra) iniciada no Eocampiano. As rochas carbonáticas da Formação Jandaíra afloram em praticamente toda a porção emersa da bacia, intensamente erodidas e carstificadas, com mergulho de baixa inclinação em direção ao Oceano Atlântico. A espessura varia desde algumas dezenas de metros até 600 m na porção da plataforma interna atual. Dentro do pacote carbonático é possível individualizar duas sequências deposicionais. Uma correspondente ao intervalo Neoturoniano-Eosantoniano que tem o limite basal marcado por quebras nos perfis de poços e bruscas mudanças ambientais identificadas por dados bioestratigráficos. Constitui-se por grainstones bioclásticos e oolíticos na porção proximal e *wackstones* e *mudstones* na porção distal. A segunda sequência corresponde ao intervalo Neosantoniano – Eocampiano é caracterizado pelo total domínio da sedimentação carbonática da bacia.

A partir de um evento erosivo de grande magnitude, durante o Neocampaniano, ocorre um grande ciclo de **sequências regressivas** que perdura até o Holoceno. Os correspondentes litoestratigráficos dessas sequências são as rochas das formações Barreiras, Tibau, Guamaré e Ubarana.

A Formação Barreiras corresponde a uma sequência sedimentar cuja distribuição espacial inclui todo litoral brasileiro desde o Pará até o Rio de Janeiro. Os sistemas deposicionais reconhecidos por Alheiros e Lima Filho (1991) incluem as rochas da Formação Barreiras em um sistema fluvial entrelaçado associado com leques aluviais e depósitos litorâneos, de idade plio-pleistocênica. A idade de deposição das rochas da formação Barreiras possui controvérsia entre vários autores, entretanto, é consenso que os valores nunca seriam mais antigos que o Eoceno, com a maioria das idades posicionando-se entre o Mioceno e Plioceno.

## 4.2 - Geologia Local

A área de estudo é coberta os sedimentos da Formação Barreiras que apresentam variações granulométricas desde areias siltosas até areias argilosas, formando um pacote sedimentar que varia entre 9 a 19 metros de espessura. Esses sedimentos estão assentados sobre a Formação Jandaíra com espessura média de 70 metros, composta por calcários compactos a fraturados com intercalações de argilitos e folhelhos.

Em sub-superfície o contato entre a Formação Barreiras e o calcário Jandaíra apresenta-se fortemente irregular e ruiforme refletindo um relevo cárstico com a ocorrência de pináculos, conforme evidenciado em estudos geofísicos realizados na área (PETROBRAS, 2009). No referido estudo foram reconhecidas as feições interpretadas como pontos susceptíveis a processos induzidos

de abatimentos, notadamente após chuvas torrenciais. Esta questão já havia sido abordada por Xavier Neto (2006) que correlaciona colapsos do terreno à dissolução do substrato carbonático pela percolação de fluidos através das fraturas, que vão se alargando e dando origem a espaços vazios na rocha. A cobertura sedimentar da Formação Barreiras preenche os espaços vazios gerando uma erosão de baixo para cima provocando o afinamento da capa de sedimentos até o ponto de colapso.

De acordo com a coluna estratigráfica da Bacia Potiguar (Figura 6) os carbonatos da Formação Jandaira estão depositados sobre pelitos com intercalações arenosas, correlacionados à Formação Quebradas ou Formação Açú. Os dados das perfurações de sondagens geradas no âmbito desse trabalho evidenciaram que entre os 86 e 100 metros de profundidade ocorrem rochas predominantemente argilosas (folhelhos e argilitos) de coloração avermelhada e intercaladas com finas camadas arenosas.

Diversos autores definem a Formação Açú como sendo composta por camadas relativamente espessas de arenitos muito grossos a finos, esbranquiçados (amarelados a avermelhados em afloramentos), intercalados com argilitos e siltitos castanho-avermelhados e esverdeados. (Vasconcelos *et al.*, 1990) subdividiram a Formação Açú em 4 unidades estratigráficas, da base para o topo: Açú 1 (leques aluviais); Açú 2 (depósitos fluviais entrelaçados, gradando para o topo para sistema fluvial meandrante fino); Açú 3 (sistema fluvial meandrante grosso a entrelaçado, gradando para o topo para meandrante fino); Açú 4 (depósitos marinhos rasos, caracterizando um afogamento regional).

Sabendo-se que a porção superior (topo) da Formação Açú é predominantemente argilosa, a unidade hidroestratigráfica basal da área de estudo será correlacionada à essa formação. Entretanto, com o andamento dos trabalhos e a perfuração de um poço profundo (aproximadamente 300 metros) captando águas do Aquífero Açú mais dados serão gerados e incorporados às interpretações.

## **5 – RESULTADOS DOS ESTUDOS E AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA**

### **5.1 – Características Gerais**

Na Tabela 1 são apresentados os principais dados litológicos e construtivos dos piezômetros executados.

A região de Fazenda Belém apresenta duas unidades aquíferas distintas: o Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra, de natureza cárstica/fissural e do tipo livre; e o Aquífero Açú, de natureza porosa e confinado. Os domínios citados são separados por uma barreira hidráulica composta pelo componente argiloso do topo da Formação Açú e/ou pelos folhelhos da Formação Quebradas, que

conferem o confinamento do aquífero inferior. Esse confinamento propicia ao Aquífero Açú uma carga hidráulica maior do que a existente no Aquífero Jandaíra (Carvalho Jr. *et al*, 2008).

Tabela 1. Dados litológicos e construtivos da sondagem (S) e piezômetros (Pz).

	Profundidade (m)	Espessura (m)			Profundidade da seção filtrante (m)	NE (m) (24-02-10)
		Formação Barreiras	Formação Jandaíra	Formação Açú		
Pz 1	90	15	74	-	75-81	62,84
Pz 2	85	19	66	-	75-84	63,27
S3	100	11	75	14	-	-
Pz 4	67	9	58	-	58-66	61,08
Pz 5	82	14	68	-	76-80	64,59
Pz 6	86	9	76	1	74-80	61,21
Pz 7	83	11	72	-	74-80	63,56
Pz 8	89	15	74	-	80-86	65,87
Pz 9	86	18	68	-	77-86	65,58
Pz 10	84	11	73	-	75-83	63,94

O armazenamento de água subterrânea no Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra, alvo do presente estudo, ocorre através do preenchimento de fraturas e estruturas de dissolução nas rochas calcárias. É composto basicamente por calcários compactos a fraturados com alguns níveis argilosos. A espessura da Formação Jandaíra na região de Fazenda Belém é de aproximadamente 70 metros. As coberturas siliciclásticas (Formação Barreiras) que capeam os calcários não são passíveis de acumular água e representam uma unidade de recepção e transferência vertical de águas de chuva, otimizando a recarga dos potenciais sistemas aquíferos inferiores. Por essa razão, Carvalho Jr. *et al* (2008) consideraram essas duas unidades hidroestratigráficas compondo um sistema aquífero, denominado de Barreiras-Jandaíra. A água ao ser precipitada na superfície do terreno é transferida para subsuperfície através da Formação Barreiras, com acumulação nas fraturas e cavidades da Formação Jandaíra.

## 5.2 - Seções Hidrogeológicas

Na Figura 7 podem-se visualizar seções hidrogeológicas elaboradas a partir dos dados das sondagens. A superfície do terreno é representada pela Formação Barreiras composta por litotipos pouco consolidados de composição areno-silto-argilosos insaturados, de coloração avermelhada e com 9 a 19 metros de espessura.

Da análise dos perfis dispostos na figura pode-se subdividir o Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra em quatro unidades preferenciais:

- Porção superior: composta por arenitos pouco consolidados de coloração avermelhada, correlacionada à Formação Barreiras;

- Porção intermediária superior: composta por calcários compactos ou decompostos de coloração esbranquiçada, correlacionados à Formação Jandaíra;
- Porção intermediária inferior: composta por calcários fraturados com algumas intercalações arenosas ou argilosas preenchendo as fraturas, correlacionadas à Formação Jandaíra. Nesse setor estão localizadas as fraturas/descontinuidades insaturadas ou saturadas em água;
- Porção inferior: composta por folhelhos e argilitos de coloração cinza a cinza esverdeada, correlacionados à Formação Jandaíra.

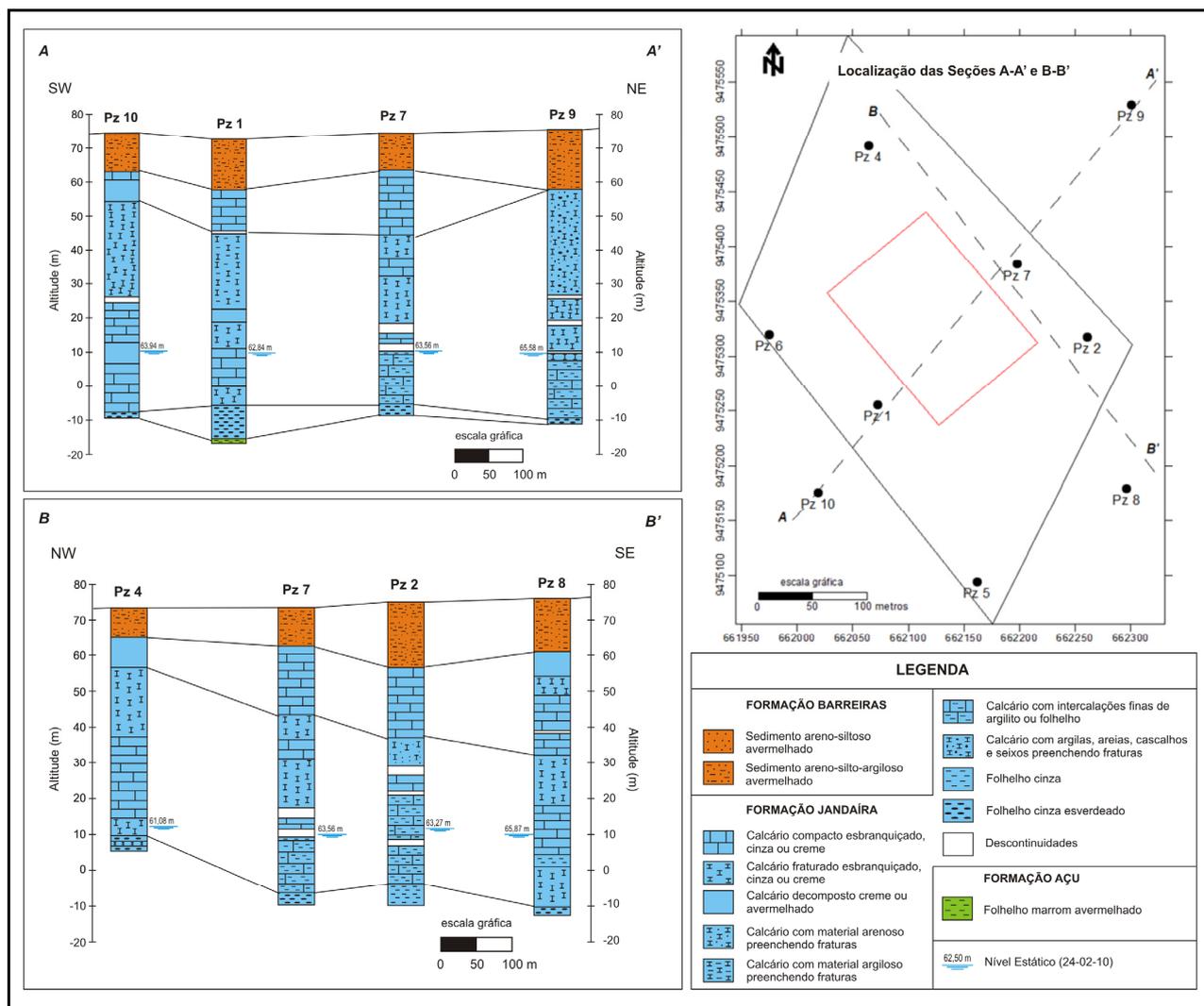


Figura 7. Seções hidrogeológicas.

O nível das águas subterrâneas monitorado no presente estudo está entre 61 e 66 metros de profundidade. A altura do nível se forma após a ascensão da água das camadas sedimentares mais inferiores, a partir das fraturas saturadas interceptadas e apresenta-se ajustado a uma mesma altura potenciométrica, evidenciando um sistema de condutos/canais/cavidades cársticas interligadas.

A Formação Açu foi interceptada no Pz1, cujo topo está à aproximadamente 90 metros de profundidade, sendo composta predominantemente por folhelhos de coloração marrom avermelhada.

### 5.3 - Modelo Hidrogeológico

Na Figura 8 pode-se visualizar o modelo hidrogeológico conceitual estabelecido para a área de estudo utilizando-se os dados até então obtidos. O modelo conceitual foi concebido para fundamentar a compreensão dos aspectos hidrogeológicos de forma a possibilitar a locação de poços de monitoramento para amostragem de águas.

A superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra é de caráter virtual, sendo definida pela migração da água acumulada nos condutos, e ascensão do nível da água nos poços até um determinado nível potenciométrico de equilíbrio. A interligação dos condutos saturados e a constatação de uma superfície potenciométrica abaixo do topo do pacote carbonático indicam a natureza livre do Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra na área de estudo.

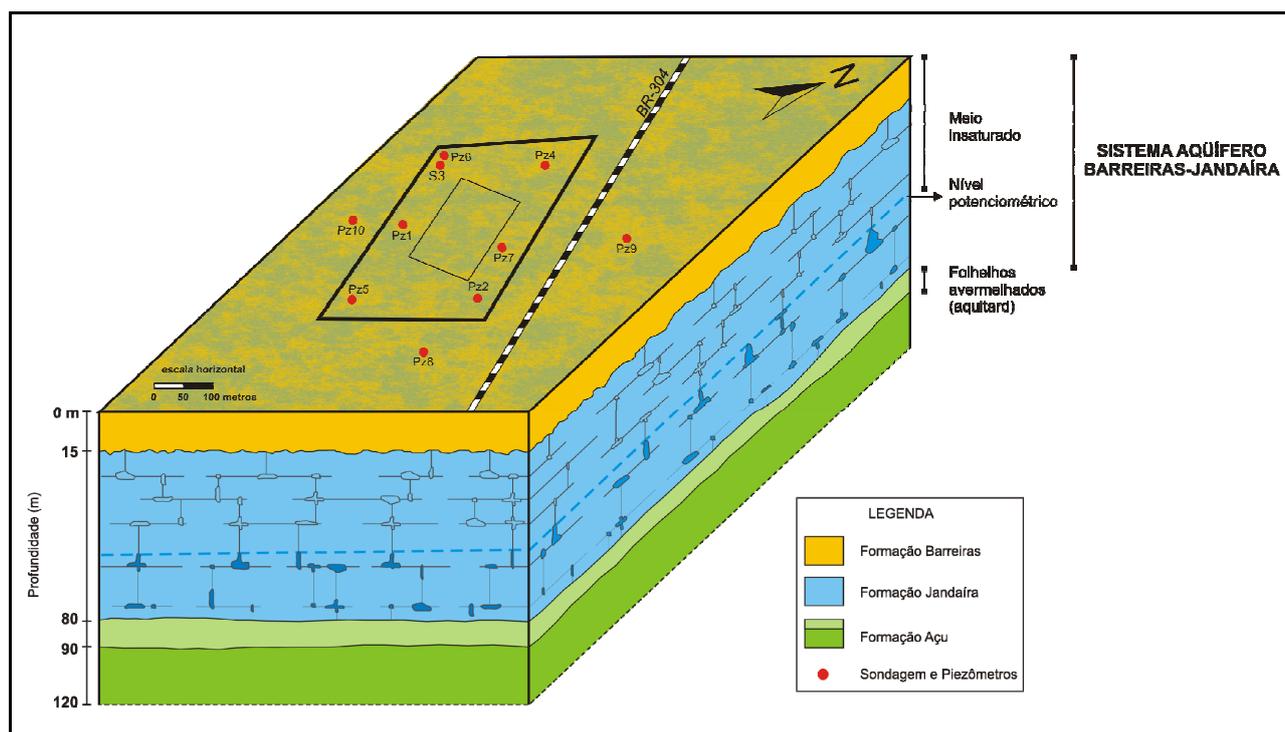


Figura 8. Modelo Hidrogeológico Conceitual da área de Fazenda Belém.

## 6 - QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O reconhecimento de alguns parâmetros básicos de qualidade da água foi realizado mediante a amostragem com o uso de *bailer* coletando águas na altura da seção filtrante dos piezômetros.

Foram determinados *in situ* os parâmetros condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH e sólidos dissolvidos totais ( $\text{mg}/\text{L}$ ) (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados dos parâmetros determinados *in situ* (março de 2010) e estatística descritiva.

Piezômetro	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	Sólidos Dissolvidos Totais ( $\text{mg}/\text{L}$ )
Pz 2	3176	7,26	1818
Pz 4	3165	7,37	1798
Pz 5	3495	7,67	1970
Pz 6	3418	7,69	1954
Pz 7	3011	7,60	1350
Pz 8	2921	7,72	1300
Pz 9	2482	7,56	1090
Pz 10	3700	7,68	2103
<i>Média</i>	<i>3171</i>	<i>7,57</i>	<i>1673</i>
<i>Mínimo</i>	<i>2482</i>	<i>7,26</i>	<i>1090</i>
<i>Máximo</i>	<i>3700</i>	<i>7,72</i>	<i>2103</i>

A condutividade elétrica média das águas foi de 3171  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com valores variando entre 2482 e 3700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Com base nos valores de pH obtidos pode-se afirmar que as águas do aquífero Jandaíra tendem a ser neutras a ligeiramente alcalinas, com pH variando de 7,26 a 7,72 e média de 7,57.

Os sólidos dissolvidos totais representam a soma dos teores de todos os constituintes minerais solúveis presentes na água. O valor médio obtido foi de 1673  $\text{mg}/\text{L}$ , variando entre 1090 e 2103  $\text{mg}/\text{L}$ , sendo classificadas como águas ligeiramente salobras, de acordo com Mcneely *et al.*, 1979 (Tabela 3). De acordo com a Resolução CONAMA 356/2005, as águas são classificadas como salobras (Tabela 3), embora os teores de sólidos dissolvidos totais não sejam muito superiores ao valor máximo do padrão de aceitação para consumo humano estabelecido pela Portaria 518/2005 do Ministério da Saúde (1000  $\text{mg}/\text{L}$ ). Com base nesse critério, as águas objeto desse estudo podem servir para consumo humano após tratamento prévio para redução da salinidade.

Tabela 3. Classificação das águas conforme os sólidos dissolvidos totais (Mcneely *et al.*, 1979) e salinidade (CONAMA, 2005).

Tipo de Água	Sólidos Dissolvidos Totais ( $\text{mg}/\text{L}$ )	
	Mcneely <i>et al.</i> , 1979	CONAMA, 2005
Doces	< 1000	<500
Ligeiramente Salobras	1000 a 3000	500 a 30000
Moderadamente Salobras	3000 a 10000	
Salinas	10000 a 100000	> 30000
Salmouras	> 100000	-

## 7 – CONCLUSÕES

Os litotipos da Formação Barreiras que capeam os calcários da Formação Jandaíra representam uma unidade de recepção e transferência vertical de águas de chuva otimizando a recarga das unidades hidroestratigráficas inferiores.

O Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra na área de Fazenda Belém tem aproximadamente 85 metros de espessura e uma hidroestratigrafia subdividida da seguinte maneira: (i) porção superior (topo) composta por arenitos pouco consolidados; (ii) porção intermediária superior composta por calcários compactos ou decompostos; (iii) porção intermediária inferior composta por calcários fraturados; (iv) porção inferior (base) composta por folhelhos esverdeados

A unidade basal da área é representada pelos folhelhos da Formação Açú, que conferem uma barreira hidráulica, individualizando as unidades aquíferas e confinando o aquífero homônimo. Os resultados obtidos até o momento indicam uma superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra definida pela ascensão do nível da água nos poços até um determinado nível potenciométrico de equilíbrio. A constatação de uma superfície potenciométrica abaixo do topo do pacote carbonático indica a natureza livre do sistema aquífero raso na área de estudo, sendo observado que as águas oriundas de precipitações pluviométricas são transferidas pela Formação Barreiras para serem acumuladas nas fraturas e descontinuidades da Formação Jandaíra, formando, dessa maneira, o Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra. As águas na área delimitada para o estudo são ligeiramente salobras, com valores de sólidos dissolvidos totais variando entre 1090 e 2103 mg/L e pH neutro a ligeiramente alcalino, variando entre 7,26 e 7,72.

A caracterização do fluxo subterrâneo em aquíferos de natureza cárstica/fissural é de difícil avaliação, dado o seu caráter anisotrópico associado a fraturamentos e zonas preferenciais de dissolução. Nessas condições, além dos métodos hidrogeológicos convencionais, surge a necessidade de estudo do meio poroso insaturado, de aplicação de técnicas isotópicas e de traçadores, para caracterização mais precisa da direção e velocidade do fluxo subterrâneo, inclusive o tempo de trânsito e transporte de possíveis contaminantes. Em atendimento ao objetivo geral dos estudos hidrogeológicos e de elaboração do modelo hidrogeológico conceitual, é previsto o desenvolvimento das seguintes técnicas de investigação:

- Instalação de tensiômetros e lisímetros de sucção para caracterização hidrogeológica e hidroquímica do meio poroso insaturado;
- Avaliação de isótopos de oxigênio e deutério para serem integrados aos estudos hidrogeoquímicos e contribuir na caracterização do fluxo subterrâneo;
- Aplicação de traçadores corantes fluorescentes de forma a auxiliar na definição do trajeto do fluxo subterrâneo do Sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra na área deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- Alheiros, M. M.; Lima Filho, M., 2001. A Formação Barreiras. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Recife: UFPE/DEGEO. p. 77-88 (Estudos Geológicos - série B, Estudos e Pesquisas, 10).
- Bertani, R. T., Costa I.G. & Matos R.M.D., 1990. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e o habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: Raja Gabaglia G.P. & Milani E.J. (Eds.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares, Petrobras, p.291-310.
- Carvalho Júnior, E. R.; Baessa, M.P.M.; Braga Júnior, M. G., 2008. Relações Hidráulicas e Hidroquímicas entre os Aquíferos Barreiras-Jandaíra e Açú na Região de Fazenda Belém, Estado do Ceará – Brasil. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, RN.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, 2005. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- Mcneely, R. N.; Neimanis, V. P.; Dwyer, L., 1979. Water Quality Sourcebook; A Guide to Water Quality Parameters. Ottawa, Canadá. 89 p.
- Ministério da Saúde, 2004. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.
- Pessoa Neto O. da C., Soares U.M., Silva J.G.F.da, Roesner E.H., Florêncio C.P. & Souza C.A.V. de. 2007. Revista de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 357-369.
- PETROBRAS, 2008. Investigação Geofísica no Campo da Fazenda Belém. Brain Tecnologia. Relatório Interno. 59p.
- Silva,L.L., Donnici, C.L., José Danilo Ayala, J.D., Freitas, C.H., Moreira, R.M., Pinto, A. M.F. 2009. Traçadores: o uso de agentes químicos para estudos hidrológicos, ambientais, petroquímicos e biológicos. Quím. Nova, São Paulo, v.32, n.6, p. 1576-1585.
- VASCONCELOS, E.P.; LIMA NETO, F.F.; ROOS, S. 1990. Unidades de correlação da Formação Açú, Bacia Potiguar. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36, Natal. Anais... v. 1, p.227-240.
- Xavier Neto, P., 2006. Processamento e interpretação de dados 2D e 3D de GPR : aplicações no imageamento de feições cársticas e estruturas de dissolução no campo de petróleo de Fazenda Belém-CE. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, Natal. Tese de Doutorado.