



COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO E HIDROQUÍMICO
DO SISTEMA AQUÍFERO BARREIRAS-JANDAÍRA-AÇU
NA ÁREA DA FAZENDA BELÉM, OESTE DA BACIA
POTIGUAR, CE

HYDRODYNAMIC AND HYDROCHEMISTRY BEHAVIOR
OF THE BARREIRAS-JANDAÍRA-AÇU AQUIFER SYSTEM
IN THE AREA OF FAZENDA BELÉM, WEST OF THE
POTIGUAR BASIN, CE

Maurilo Gonçalves Braga Junior¹ ; José Geraldo de Melo¹ ; José Braz Diniz Filho¹

Artigo recebido em: 24/11/2016 e Aceito para publicação em: 05/06/2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i3.28674>

Resumo: A avaliação do comportamento hidrodinâmico e hidroquímico de aquíferos em áreas sob a influência da atividade petrolífera são essenciais para a proteção e gestão do recurso hídrico subterrâneo. Neste sentido, são analisadas neste trabalho as relações entre as cargas potenciométricas dos aquíferos Barreiras-Jandaíra e Açú na área de Fazenda Belém, oeste da Bacia sedimentar Potiguar estado do Ceará e suas implicações na qualidade das águas subterrâneas. Foram consultados trabalhos regionais e estudos específicos na área de Fazenda Belém, acerca das características hidrodinâmicas e hidroquímicas das águas dos dois sistemas Aquíferos. Foram obtidos os dados hidroquímicos e de nível estático e definidas as superfícies potenciométricas e os tipos iônicos dessas unidades aquíferas em diferentes períodos desde seu estado original, antes da influência da atividade petrolífera, até os dias atuais. O Aquífero Açú apresentou um rebaixamento da ordem de até 110m, enquanto o sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra sobrejacente, apresentou somente pequenas variações da ordem de 2 a 4m. Os dados hidroquímicos permitem afirmar que na área de estudo, as águas armazenadas no Aquífero Barreiras-Jandaíra são classificadas como do tipo cloretada-bicarbonatada – sódica-cálcica e as águas armazenadas no Aquífero Açú são classificadas como do tipo bicarbonatada-cloretada – sódica. Foi possível concluir que os aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra correspondem a sistemas aquíferos individualizados. O fato de que o rebaixamento do nível estático verificado no Aquífero Açú, não afetou as cargas potenciométricas do Aquífero Barreiras-Jandaíra e os tipos iônicos distintos definidos para os dois sistemas aquíferos, sugere a existência de um isolamento hidráulico e a inexistência de mistura de águas entre os mesmos, desde seu estado original até o presente.

Palavras Chave: Superfícies potenciométricas. Tipos iônicos. Influência da atividade petrolífera.

Abstract: The evaluation of the hydrodynamic and hydrochemistry behaviour of the aquifers in areas under the influence of the oil exploration activity, are essential to the protection and management of the groundwater resource. The aim of this study was to analyse the relationships between the hydraulic loads of Açú and Barreiras-Jandaíra aquifers in the area of Fazenda Belém, sector west of the Potiguar basin, state of Ceará and its implications on the quality of groundwater. Regional and local studies in the area of Fazenda Belém were consulted, about the hydrodynamic and hydrochemistry properties of the two Aquifer systems. Hydrochemistry e static level data were obtained and the potentiometric surfaces of the two aquifers for different periods, since its original state, before the influence of the oil exploration activity, until the present day were set,. The Açú Aquifer presented a fall of approximately 110 m, while the Barreiras-Jandaíra Aquifer presented only minor variations, between 2m to 4m. The hydrochemistry data allow to affirm that in the study area, the waters stored in the Barreiras-Jandaíra Aquifer are classified as chlorine-bicarbonate - sodium-calcium (Na-Ca-Cl-HCO₃) and the waters stored in the Açú Aquifer are classified as bicarbonate-chlorine - sodium (Na-HCO₃-Cl). With this information it is possible to affirm that the Açú and Barreiras-Jandaíra aquifers correspond to individual aquifers systems. The fact that the fall of the static level in the Açú Aquifer, did not affect the hydraulic loads of the aquifer Barreiras-Jandaíra and the distinct chemical classes of the water of the two aquifers suggest the existence of a hydraulic isolation and indicating the absence of water mix between the two systems, since its original state until the present.

Keywords: Potentiometric surface. Ionic types. Influence of the oil exploration activity.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN. E-mails: (maurilog@petrobras.com.br, jgmel2@gmail.com, brazdf@geologia.ufrn.br)

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Potiguar localiza-se na porção setentrional do estado do Rio Grande do Norte, compondo aproximadamente 26.500 km² na parte submersa e 22.000 km² na parte emersa, dos quais uma pequena porção inserida na porção leste do estado do Ceará.

Na Bacia Potiguar, as operadoras da indústria do petróleo vêm exercendo atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural há mais de 40 anos, interagindo com os recursos hídricos subterrâneos em todas as etapas de suas atividades, quais sejam: na perfuração e completação de poços, na produção de hidrocarbonetos, nos métodos de recuperação secundária (injeção de água e vapor), no armazenamento e processamento de petróleo e gás, no tratamento e disposição da água produzida em conjunto com o petróleo, na captação de água para usos diversos, no armazenamento de resíduos, etc (SOUTO FILHO *et al.*, (2008).

Segundo Dias *et al.*, (2008), no Brasil, a importância de uma gestão integrada dos recursos hídricos está conceituada no Artigo 2º da Lei 9.433 (BRASIL, 1997) - Política Nacional de Recursos Hídricos - que define, dentre seus objetivos, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Segundo o Relatório da Agência Nacional de Águas na região da Chapada do Apodi, a gestão integrada deve ser feita considerando a quantidade e a qualidade de água nas distintas fases do ciclo hidrológico, particularmente entre as águas superficiais e subterrâneas. Defende ainda que para que se promova um desenvolvimento sustentável, as atividades antrópicas que envolvam os recursos hídricos, devem se processar respeitando e preservando o meio ambiente, buscando-se um equilíbrio social e econômico (ANA, 2010).

O Programa Nacional de Águas Subterrâneas, inserido no Plano Nacional de Recursos Hídricos, estabelecido pela Lei nº

9.433/97, postula que a ampliação do conhecimento hidrogeológico é a primeira etapa para subsidiar a implantação de um sistema de gestão integrado entre as águas subterrâneas e superficiais e que a definição de diretrizes para o monitoramento das águas subterrâneas é uma necessidade premente. Define que o objetivo do monitoramento é justamente o de ampliar a base de conhecimento hidrogeológico dos aquíferos e acompanhar as alterações espaciais e temporais na qualidade e quantidade das águas subterrâneas para fins de uma gestão integrada dos recursos hídricos.

A Bacia Potiguar caracteriza-se por apresentar a maior parte da sua produção de petróleo associada a águas de baixa salinidade, presentes na Formação Açú, que se constituiu no principal aquífero da Bacia e que é amplamente utilizado tanto para abastecimento público, quanto para irrigação e uso industrial (SOUTO FILHO *et al.*, (2008).

Assim, torna-se cada vez mais importante e necessário a implementação de planos de monitoramento e gestão de aquíferos nas áreas de influência da atividade petrolífera, baseados nos controles hidrogeológicos identificados, essenciais para o entendimento, proteção e otimização do uso do recurso hídrico subterrâneo.

Guimarães Junior *et al.*, (2015) estudou os Aquíferos na região de Fazenda Belém, definindo os valores médios para os parâmetros hidrodinâmicos e suas disponibilidades hídricas e alertou para o rebaixamento localizado do Aquífero Açú e seus possíveis reflexos na reserva hídrica explorável desse aquífero.

Neste contexto, as informações sobre a hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos em áreas sob a influência da atividade petrolífera, são essenciais para o entendimento, proteção e otimização do uso do recurso hídrico subterrâneo.

Assim, com base no levantamento da bibliografia disponível, nas investigações realizadas pela Petrobras na área de estudo e nos dados hidroquímicos e potenciométricos

disponíveis e adquiridos durante o presente trabalho, foram analisadas as relações das cargas potenciométricas dos sistemas aquíferos Barreiras-Jandaíra e Açú na área de Fazenda Belém, desde o início das atividades de exploração de petróleo, incluindo a exploração de água subterrânea, até os dias atuais, com o objetivo de avaliar as possíveis modificações hidrodinâmicas e hidroquímicas nas águas subterrâneas nos dois aquíferos, decorrentes da atividade petrolífera.

2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de trabalho localiza-se no extremo noroeste da Bacia Potiguar, no litoral leste do Estado do Ceará, aproximadamente 36 km a SE da cidade de Aracati, onde se encontra o campo de petróleo de Fazenda Belém (Figura 1).

De acordo com CSD-GEOKLOCK (2004), a Chapada do Apodi e os Tabuleiros Pré-Litorâneos constituem os dois compartimentos geomorfológicos mais importantes na área de estudo. A Chapada do Apodi é reconhecida como uma superfície plana, conservada sobre os calcários da Formação Jandaíra e dissecada, quando observada nos sedimentos da Formação Barreiras. Os tabuleiros Pré-Litorâneos estão geralmente dispostos à retaguarda dos cordões de dunas, em contato com a Depressão Sertaneja (AB SÁBER, 1969). São constituídos pelos litotipos da Formação Barreiras que frequentemente adentram no continente por mais de 40 km. A altimetria é variável, entre 30 e 50 metros, raramente ultrapassando os 80 metros. Na área de estudo o relevo é bastante homogêneo, plano a levemente ondulado, não sendo observados declives íngremes ou vales de rios.

A área de Fazenda Belém está total-

mente inserida na bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe. Os cursos d'água são intermitentes, com escoamento fluindo no decorrer da época de chuva (CSD-GEOKLOCK, 2004). Devido à presença dos campos sedimentares arenosos da unidade morfológica dos tabuleiros, predomina a infiltração das águas precipitadas, o que dificulta o escoamento superficial bem como a formação de corpos d'água (Melo Junior *et al.*, 2015). Vale salientar que na área de estudo especificamente, não foram identificados corpos hídricos superficiais.

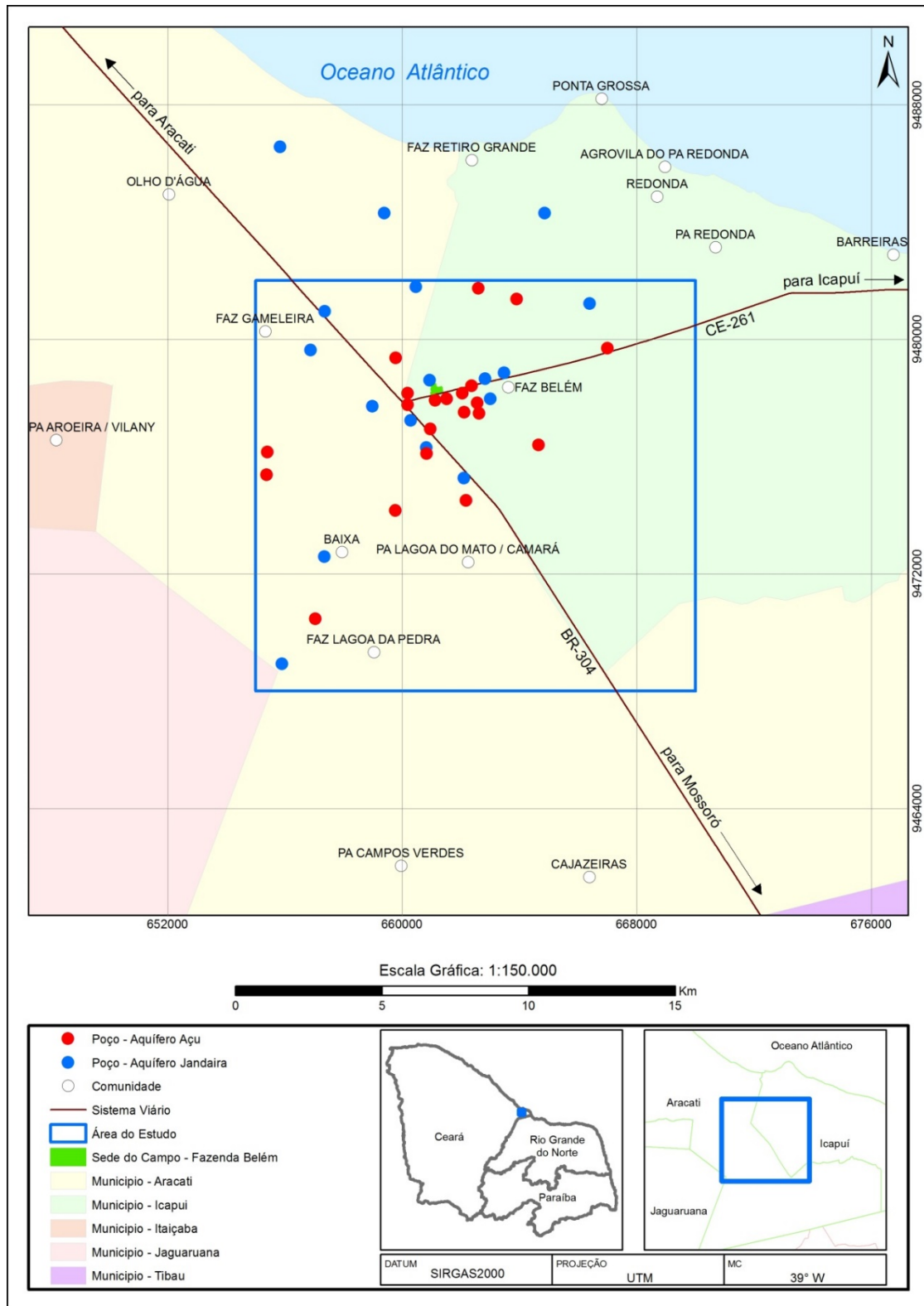
A área de trabalho está inserida na Província Atlântica e Subprovíncia Litorânea (RIZZINI, 1979). A vegetação predominante é a de Tabuleiro Litorâneo, composta, em sua quase totalidade, por uma capoeira densa com várias espécies de caatinga. Também são observadas fazendas de cultivo do cajueiro, principalmente visando à exploração da castanha.

Segundo Melo Junior *et al.* (2015), a distribuição das chuvas ocorre entre os meses de janeiro a junho com maior concentração nos meses de março e abril, neste caso, alcançando valores em torno de 200 mm e uma média anual de 771 mm. A temperatura varia anualmente ao longo dos meses com uma amplitude média de 2,6°C, com temperaturas entre 26°C e 29°C.

O balanço hídrico, calculado com base em dados da estação meteorológica de Mossoró-RN, para uma série de histórica de 35 anos (1974 – 2008), apontou para uma evapotranspiração potencial anual da ordem de 1493,1 mm e uma evapotranspiração real de 718,3 mm/ano. Assim, constata-se um déficit hídrico de 774,8 mm/ano, sendo que o excedente hídrico ocorre entre os meses de março e abril, com um total anual de 98,6 mm (MELO JUNIOR *et al.*, 2015).

Comportamento hidrodinâmico e hidroquímico do sistema aquífero Barreiras-Jandaíra-açu na área da Fazenda Belém, oeste da Bacia Potiguar, CE

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo com os poços da Petrobras e de usuários particulares utilizados



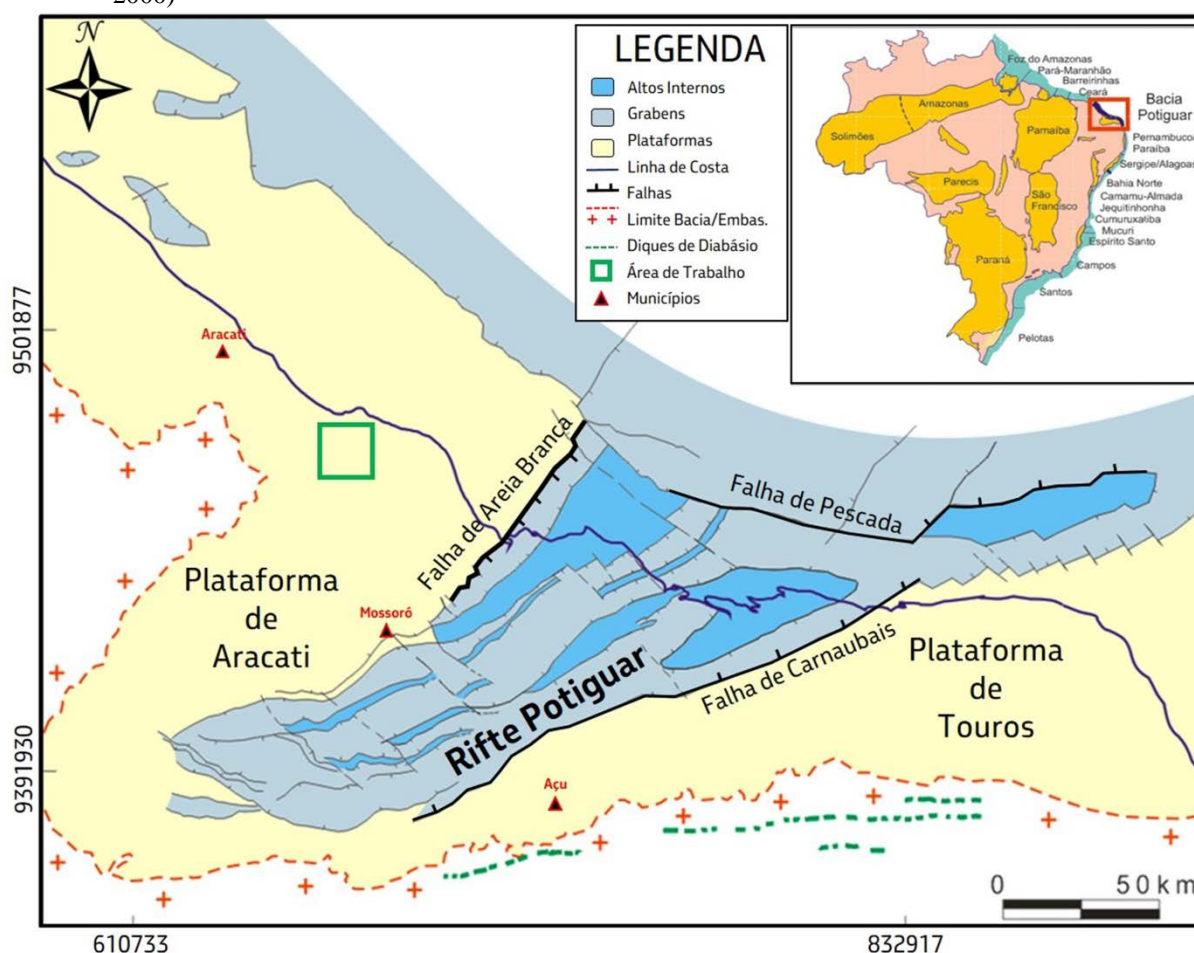
O excedente hídrico representa o volume de água que se infiltra no terreno e que escoia sobre sua superfície. As características

morfológicas da área de estudo com relevo plano, ausência de drenos superficiais e 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 816,9 mm, resulta em uma taxa de infiltração em potencial de 12%, a qual é característica de regiões semiáridas a sub-úmidas (MELO JUNIOR *et al.*, 2015).

No contexto do arcabouço estrutural, a área de Fazenda Belém está situada na Plataforma de Aracati, na porção noroeste da Bacia Potiguar (Figura 2). A Plataforma de Aracati é limitada a sudeste pela falha de Areia Branca, que é o limite com o *Graben* de Boa Vista e a nordeste pela Falha de Pescada, que é o limite com o *Graben* de Pescada/Arabaiana (GUSHIKEM *et al.*, 2005).

Figura 2 – A área de Fazenda Belém no contexto do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar (modificado de Soares, 2000)



A estratigrafia da área de estudo é composta pela Formação Açu na base, depositada diretamente sobre o embasamento pré-cambriano da região, recoberta concordantemente pela Formação Jandaíra, sobre a qual foi depositada discordantemente a Formação Barreiras (Figura 3). Coberturas quaternárias recobrem todo esse pacote, as quais são representadas essencialmente pelos

sedimentos de dunas (GUSHIKEM *et al.*, 2005).

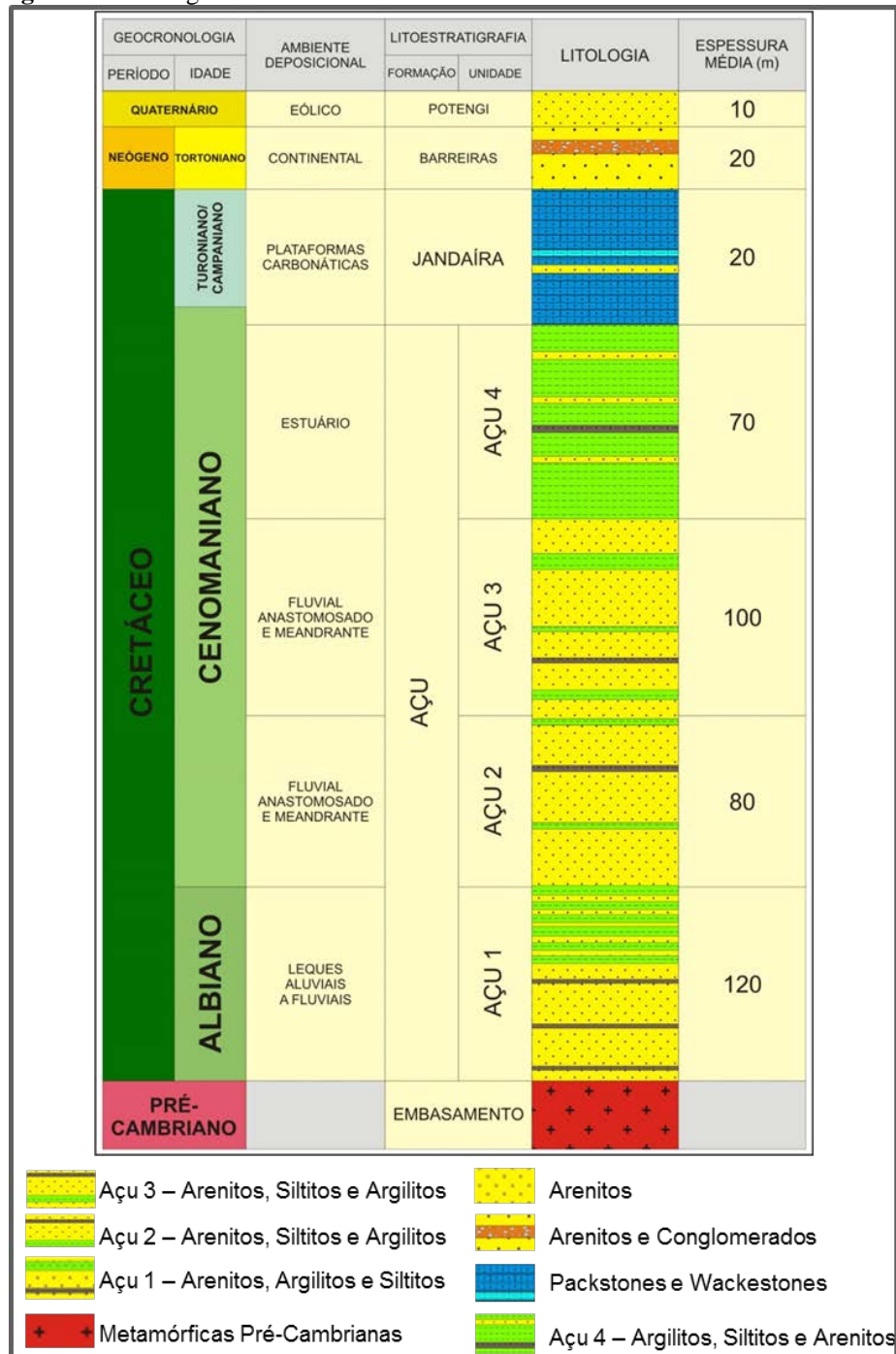
A Formação Açu caracteriza-se por camadas relativamente espessas de arenitos muito grossos a finos, esbranquiçados, intercalados com argilitos e siltitos castanho-avermelhados e esverdeados (GUSHIKEM *et al.*, 2005).

Vasconcelos *et al.* (1990), definiram

na parte emersa da Bacia Potiguar quatro subdivisões nesta formação, definidas como “Unidades de Correlação”, denominadas da mais antiga para a mais nova, de Unidade Açu 1 até Unidade Açu 4 (Figura 3). Esta divisão

teve por base características observadas em perfis elétricos de poços perfurados visando à exploração de petróleo, com o suporte de descrições de testemunho e de afloramentos.

Figura 3 – Estratigrafia da área de Fazenda Belém



Na Unidade Açu 1, os sistemas deposicionais predominantes são compostos por leques aluviais, sendo que localmente

pode ocorrer a implantação de um sistema fluvial incipiente. Na região de Fazenda Belém apresenta conglomerados na base,

passando para arenitos grossos e no topo depósitos de planície de inundação.

A Unidade Açú 2 corresponde a depósitos fluviais entrelaçados, representado por arenitos grossos na base, gradando para o topo para um sistema fluvial meandrante fino com arenitos médios a finos, com uma maior intercalação de finos.

A base da Unidade Açú 3 é marcada por um aumento na energia deposicional, instalando-se um sistema fluvial entrelaçado a meandrante, com arenitos grossos e espessos na base, gradando para arenitos médios a finos intercalados com siltitos e argilitos para o topo.

Observa-se então, um afogamento regional, representado por uma camada de sedimento predominantemente argiloso, que corresponde à Unidade Açú 4. Esta unidade é caracterizada por um ambiente litorâneo estuarino com argilitos, siltitos e arenitos finos. Sua espessura na área de estudo é em média de cerca de 70 metros.

A Formação Jandaíra na área de Fazenda Belém, segundo Souza (2002), está representada predominantemente por uma fácies *packstones* a *wackstones* com bioclastos, dispersos em uma matriz micrítica recristalizada. Seus constituintes principais são bivalves, equinodermas, gastrópodos, algas verdes emiliolídeos e secundariamente ostrácodes e grãos siliciclásticos. Pode apresentar também uma fácies *wackstones* com bioclastos, com maior contribuição de siliciclásticos. O arcabouço é formado por grãos bioclásticos e subordinadamente siliciclásticos.

As rochas da Formação Barreiras formam coberturas terciárias sobre a Bacia Potiguar. Ainda segundo Souza (2002), na área de estudo é representada por rochas de cor avermelhada agrupando arenitos com granulometria variando de areia média a grossa, contendo ainda grânulos e seixos dispersos. Apresenta intercalações de níveis conglomeráticos, com seixos de quartzo, cobertos por uma película de óxido de ferro. Localmente ocorrem arenitos finos siltico-argilosos.

A sequência quaternária está representada principalmente pelas areias de dunas fixas. São paleodunas de areias quartzosas apresentando contatos retilíneos e sobrejacentes à Formação Barreiras.

Desta forma, na região de Fazenda Belém e adjacências foram caracterizados dois sistemas aquíferos: Açú e Barreiras-Jandaíra.

O Aquífero Açú localiza-se na porção basal da coluna sedimentar descrita para a região, sendo o mesmo do tipo confinado. É composto pelas Unidades Açú 2 e Açú 3 da formação homônima, anteriormente descritas. A base desse Aquífero de expressão regional corresponde aos termos pelíticos da porção superior da Unidade Açú 1, a qual isola os arenitos portadores de hidrocarbonetos que ocorrem na porção basal dessa unidade. No topo do Aquífero Açú ocorre um pacote de 70 metros de espessura de rochas pelíticas da Unidade Açú 4, representando o auge de um mega ciclo transgressivo, o qual recobre as unidades Açú 2 e Açú 3.

O Aquífero Açú na região de Fazenda Belém é detentor de águas de boa qualidade físico-química e bacteriológica, servindo para diversos tipos de usos, tais como: abastecimento humano, industrial, irrigação e dessedentação animal.

A base do sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra corresponde aos termos pelíticos da Unidade Açú 4, a qual corresponde ao substrato impermeável entre esse sistema e o Aquífero Açú.

O topo do sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra, representado por afloramentos da Formação Barreiras e Sedimentos Quaternários, expõem as águas subterrâneas desse Aquífero à pressão atmosférica, sendo caracterizado como do tipo livre. Gushikem *et al.*, (2005), constataram que as águas deste sistema Aquífero estão armazenadas nos carbonatos da Formação Jandaíra. Isto implica dizer que os sedimentos quaternários e da Formação Barreiras funcionam como um condutor hidráulico de águas de recarga superficiais, que infiltram e são armazenadas na Formação Jandaíra.

Miranda *et al.*, (2012), aponta que as fraturas de extensão da Formação Jandaíra são as estruturas de maior destaque na área da Chapada do Apodi e que o padrão de fraturamento e as juntas de alívio de pressão, são os principais formadores de espaços porosos e estão diretamente ligadas à formação de sumidouros, furnas e cavernas. Isto ocorre devido à forte dissolução das rochas calcárias causada pelas águas superficiais. O fenômeno de dissolução, principalmente da calcita, condiciona claramente o desenvolvimento e alargamento de feições cársticas na região, que favorecem a recarga, o fluxo e o armazenamento de água subterrânea no Aquífero Barreiras-Jandaíra.

Segundo Melo *et al.*, (2015), estudos realizados na Chapada do Apodi, na região de fronteira entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte, constataram o caráter heterogêneo e anisotrópico do Aquífero Barreiras-Jandaíra e a sua baixa potencialidade hidrogeológica.

Na área de estudo, o uso preponderante e em pequena escala das águas do Aquífero Barreiras-Jandaíra é voltado para a dessedentação animal.

3 METODOLOGIA

O método de pesquisa aplicado foi o indutivo, considerando que foram utilizados dados e informações diretas obtidas em campo e em perfis de poços tubulares e de poços perfurados para a exploração de petróleo, que propiciaram o entendimento das relações hidráulicas e dos aspectos hidroquímicos dos Aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra.

Primeiramente procurou-se analisar as relações hidráulicas e características hidroquímicas dos Aquíferos Barreiras-Jandaíra e Açú na área de Fazenda Belém, nos primórdios das atividades da indústria petrolífera, notadamente a exploração de petróleo e captação de água subterrânea na Formação Açú.

Determinadas as relações hidráulicas e os tipos iônicos originais do sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra-Açú na área de Fazenda

Belém, partiu-se para a investigação de como reagiu este sistema, com o início das atividades de exploração de petróleo e o incremento na captação de água.

A exploração de petróleo em reservatórios da Unidade Açú 1, na área de Fazenda Belém, começou no início da década de 1980, enquanto que a captação de água subterrânea no Aquífero Açú, nas Unidades Açú 2 e Açú 3, para a geração de vapor e injeção nos reservatórios de petróleo, se consolidou na década de 1990.

3.1 Revisão Bibliográfica

Foram consultados dados e interpretações de trabalhos regionais acerca das características hidrodinâmicas e hidroquímicas das águas dos Aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra, bem como de estudos específicos na área de Fazenda Belém, tanto de autoria da Petrobras como da comunidade acadêmica e órgãos gestores de recursos hídricos dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

3.2 Cargas Potenciométricas

Os dados de carga potenciométrica (CP) foram obtidos através da medida direta de nível estático (NE) em poços de captação de água da PETROBRAS e particulares, além de poços de monitoramento (de instalações e centrais de resíduos) localizados na área de Fazenda Belém, através da equação:

$$CP = \text{Altimetria} - NE \quad (1)$$

Também a partir de dados de pressão estática extrapolada em operações de teste de bombeamento realizadas em poços perfurados pela Petrobras para a exploração de petróleo e que atravessaram o Aquífero Açú, derivados da seguinte Equação:

$$CP = (MR) - ((PR - (PE / Da)) \quad (2)$$

onde:

CP = Carga potenciométrica (m);

MR = Altura da mesa rotativa da sonda (m) que equivale à Altimetria;

PR = Profundidade do registrador de pressão (m);
 PE = Pressão estática extrapolada (kgf/cm^2) para um tempo $t = \text{infinito}$;
 Da = Gradiente de pressão da água ($0,1 \text{ kgf/cm}^2/\text{m}$).
 $(\text{PE}/\text{Da}) =$ Altura equivalente da coluna d'água no poço de acordo com a pressão estática extrapolada.
 $((\text{PR} - (\text{PE} / \text{Da})) =$ Nível estático

A partir dos dados levantados foram elaborados os mapas de superfície potenciométrica na área de estudo. No Aquífero Açú, para os períodos: original (à época do início da atividade petrolífera), 2003, 2014 e 2016. No Aquífero Barreiras-Jandaíra, para os períodos: original, 2004, 2008 e 2016. Visualizações em três dimensões das superfícies potenciométricas definidas nos diferentes períodos considerados, para cada sistema aquífero, foram elaboradas, visando auxiliar na análise da evolução temporal dessas superfícies e suas implicações.

Os mapas de superfície potenciométrica foram gerados a partir do *software* de interface gráfica da Petrobras – SIGEO (Sistema Integrado de Geologia e Geofísica). Foi utilizado o método de interpolação dos mínimos quadrados, com extrapolação controlada.

3.3 Dados Hidroquímicos – Íons principais

As análises químicas com os íons principais (Na^+ ; K^+ ; Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; Cl^- ; HCO^{-3} ; SO^{-4}) dos Aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra

na área de interesse e adjacências foram obtidas de trabalhos realizados pela Petrobras ou a seu interesse, em diferentes períodos, desde dados ainda do início da atividade petrolífera, contemplando ainda os períodos de 2004, 2008, 2013, 2014, 2015 e 2016 (Aquífero Açú) e 2004, 2010, 2012, 2014 e 2015 (Aquífero Barreiras-Jandaíra).

Os dados hidroquímicos foram processados utilizando-se o *software* AQUACHEM® da Schlumberger. Foi realizada a classificação das águas subterrâneas e gerados diagramas hidroquímicos de Piper, para os aquíferos em seu estado original e para os diversos períodos pesquisados, propiciando uma análise temporal da evolução hidroquímica (íons principais) das águas subterrâneas dos aquíferos estudados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos valores de CP levantados (Tabelas 1 e 2) foram construídos os mapas de superfície potenciométrica dos aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra para a área de estudo, representativos do período anterior à influência da atividade de exploração de petróleo e de captação de água no Aquífero Açú. Observa-se na visualização em três dimensões com as superfícies potenciométricas dos dois Aquíferos superpostas (Figura 4), que as cargas potenciométricas originais do Aquífero Açú eram sistematicamente maiores que as do sistema Aquífero Barreiras-Jandaíra na área de estudo.

Tabela 1 – Carga potenciométrica do Aquífero Açú antes da influência da atividade petrolífera

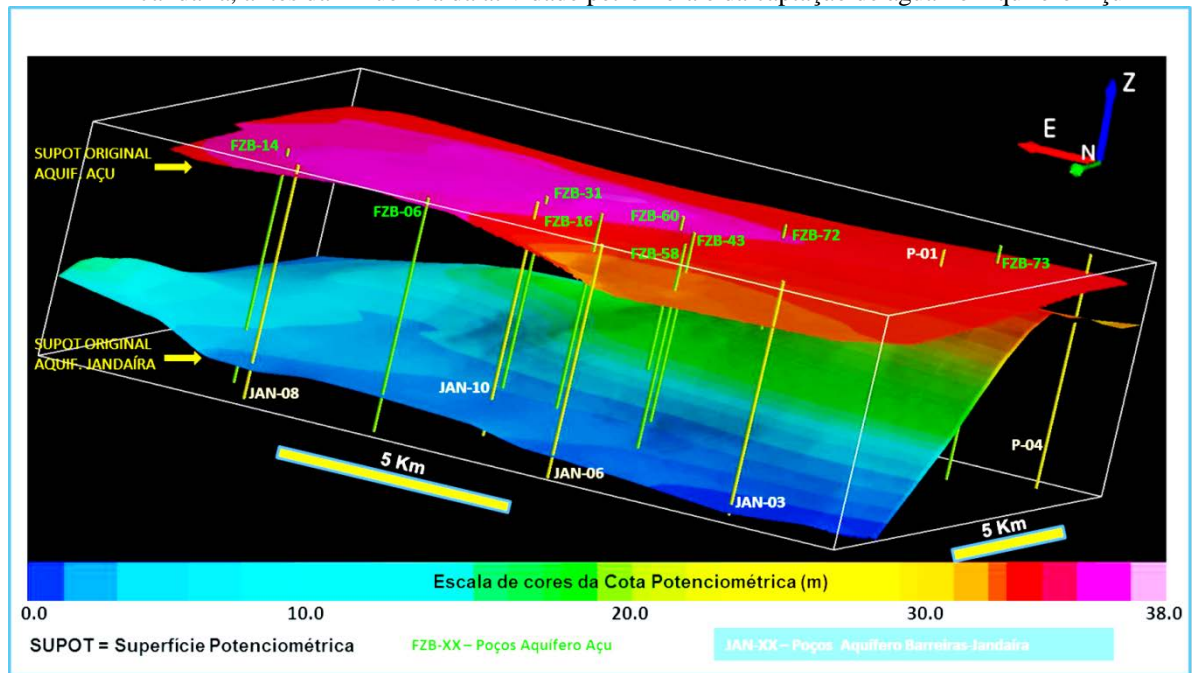
Poço	UTM N (m)	UTM E (m)	Data/Período	Nível Estático (m)	Cota Potenciométrica (m)	Fonte do dado
	Datum - SIRGAS 2000					
3-FZB-73-CE	9470468	657042	1981/1982	3,6	34,4	Teste de Bombeamento - Petrobras
7-FZB-72-CE	9474162	659764	1981/1982	11	35	Teste de Bombeamento - Petrobras
7-FZB-58-CE	9479359	659787	1981/1982	20	30	Teste de Bombeamento - Petrobras
7-FZB-60-CE	9476158	660974	1981/1982	27	35	Teste de Bombeamento - Petrobras
7-FZB-16-CE	9478149	661791	1981/1982	25,8	31,2	Teste de Bombeamento - Petrobras
7-FZB-31-CE	9477736	662976	1981/1982	25	39	Teste de Bombeamento - Petrobras
3-FZB-06-CE	9481370	663906	1981/1982	29,6	38,4	Teste de Bombeamento - Petrobras
3-FZB-14-CE	9479570	667194	1981/1982	61	36	Teste de Bombeamento - Petrobras
7-FZB-43-CE	9477762	660188	1981/1982	21	31	Teste de Bombeamento - Petrobras

Comportamento hidrodinâmico e hidroquímico do sistema aquífero Barreiras-Jandaíra-açu na área da Fazenda Belém, oeste da Bacia Potiguar, CE

Tabela 2 – Carga potenciométrica do Aquífero Barreiras-Jandaíra antes da influência da atividade petrolífera

Poço	Localização	UTM N (m)	UTM E (m)	Data/Período	Altimetria (m)	NE (m)	CP (m)	Fonte do dado
		Datum - SIRGAS 2000						
P-01	Povoado das Baixas	9472582	657350	NE medido em 1998	35,92	4,18	33,00	Petrobras
P-04	Fazenda do Sandoval	9468932	655903	NE medido em 1998	27,21	3,21	26,50	Petrobras
9-JAN-03-CE	Casa 13	9480946	657366	NE medido em 1998	25,20	23,00	2,21	Petrobras
9-JAN-06-CE	Cisterna São Chico	9481801	660476	NE medido em 1998	45,19	41,00	4,19	Petrobras
9-JAN-08-CE	Quatro Mangas	9481218	666412	NE medido em 1998	82,26	76,00	6,26	Petrobras
9-JAN-10-CE	Vila Operária	9478667	662819	NE medido em 1998	49,27	43,00	6,27	Petrobras

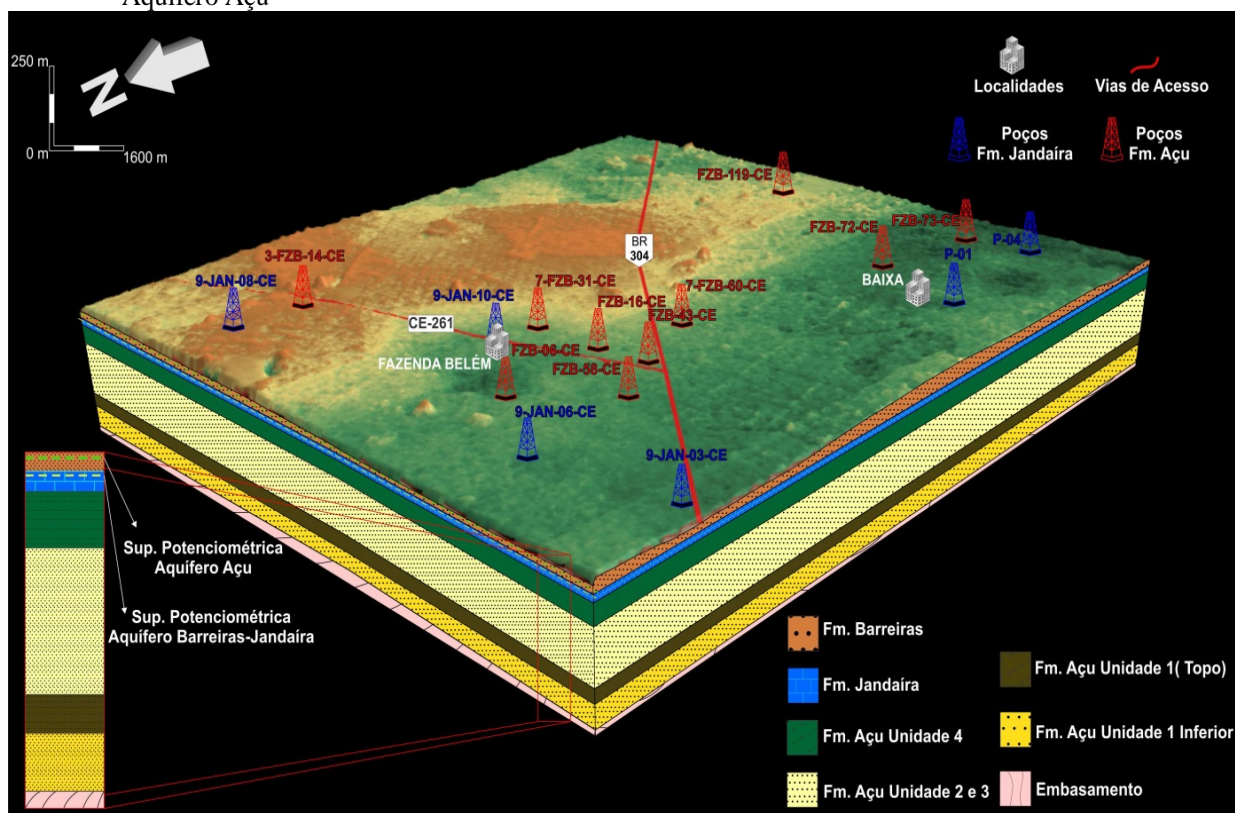
Figura 4 – Visualização em três dimensões das superfícies potenciométricas dos Aquíferos Açu e Barreiras-Jandaíra, antes da influência da atividade petrolífera e da captação de água no Aquífero Açu



Percebe-se, dessa forma, que a superfície potenciométrica do Aquífero Açu posiciona-se em cotas superiores às cotas da superfície freática do Aquífero Barreiras-Jandaíra, e que originalmente esses dois sistemas aquíferos correspondiam a unidades

hidroestratigráficas distintas, hidraulicamente isoladas e submetidas a diferentes regimes de pressão. A Figura 5 ilustra através de um bloco diagrama o contexto geológico e hidrodinâmico descrito.

Figura 5 – Bloco diagrama destacando o contexto geológico e hidrodinâmico do sistema Aquífero Açú-Barreiras-Jandaíra, em seu estado original, antes da influência da atividade petrolífera e da captação de água no Aquífero Açú



Este contexto é condizente com estudos da Agência Nacional de Águas (ANA) do ano de 2010, na região da Chapada do Apodi, entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, que afirmam que os aquíferos Barreiras-Jandaíra e Açú possuem fluxos interestaduais e são suficientemente independentes do ponto de vista hidráulico para serem abordados de forma individual. O Aquífero Açú, mais profundo, possui característica semi-confinada a confinada, sendo constituído de vários níveis aquíferos separados por camadas argilosas com função de aquitardos internos. O aquífero Barreiras-Jandaíra, sotoposto, possui caráter livre, cárstico e é muito heterogêneo. Com base nos dados hidroquímicos listados na Tabela 3 foi

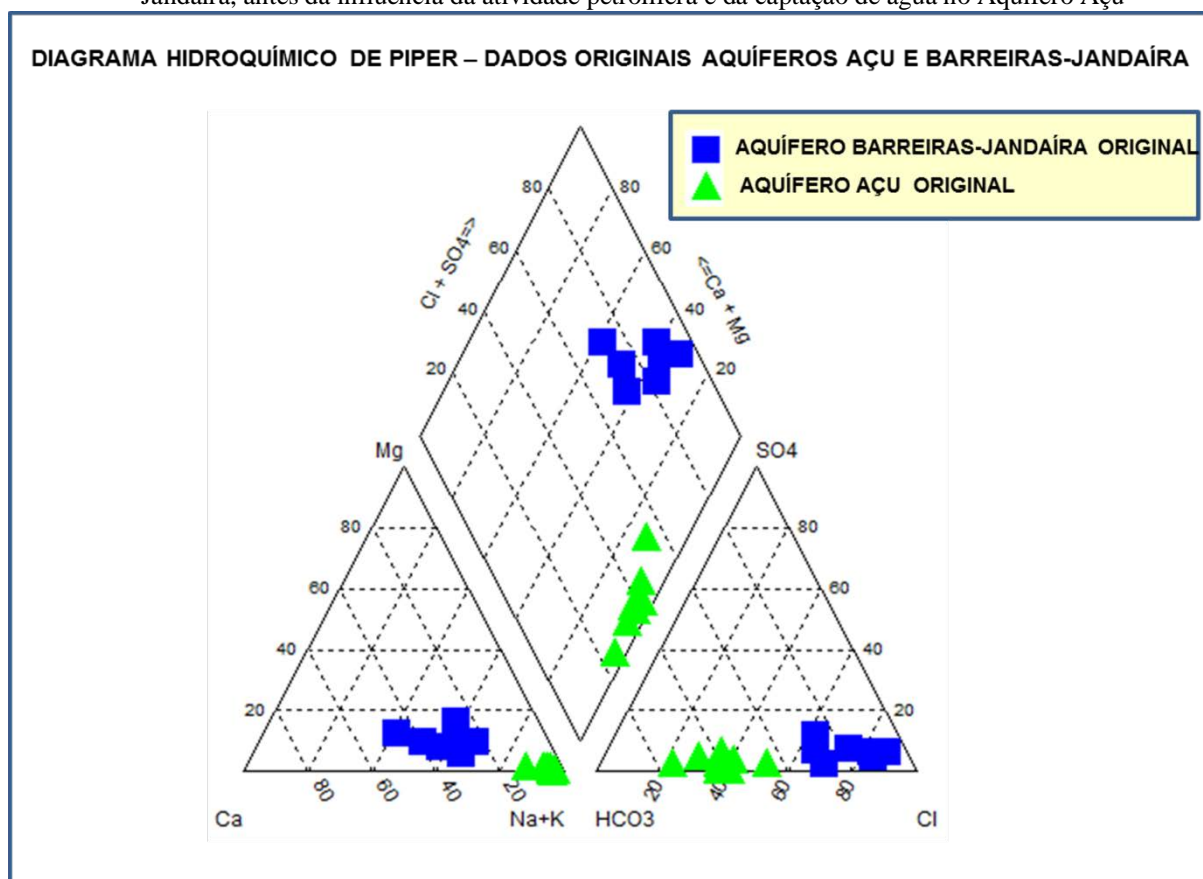
efetuada a classificação hidroquímica das águas subterrâneas acumuladas no domínio da região de Fazenda Belém antes da influência da atividade petrolífera ou ainda nos seus primórdios. Essa classificação foi realizada através da utilização de resultados analíticos dos íons principais de águas subterrâneas coletadas em poços que captam água nos Aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra, ou que tiveram suas águas amostradas em operações de teste de bombeamento, na área de estudo e adjacências.

Utilizando-se o diagrama hidroquímico de Piper, foi possível distinguir claramente os dois grupos de águas subterrâneas que ocorrem na região de Fazenda Belém, conforme pode ser visualizado na Figura 6.

Tabela 3 – Parâmetros hidroquímicos dos Aquíferos Açu e Barreiras-Jandaíra antes da influência da atividade petrolífera (* Erro do Balanço Iônico)

POÇO	PERÍODO	AQUÍFERO	UTM N (m)	UTM E (m)	Na+	K+	Ca+ ²	Mg+ ²	Cl-	HCO ₃ -	SO ₄ - ²	EBI*
9-JAN-03-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9480950	657361	1465,00	33,50	437,00	114,30	2783,00	311,00	281,00	3,40
9-JAN-04-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9484300	659391	400,00	23,40	174,00	29,10	957,40	219,50	72,50	-5,06
9-JAN-05-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9486560	655836	131,50	17,90	53,50	21,20	344,50	78,20	37,00	-5,23
9-JAN-06-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9481789	660465	265,50	7,40	140,50	19,70	480,40	354,90	70,00	-1,30
9-JAN-08-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9481213	666401	178,80	12,80	179,90	29,10	414,10	282,70	19,00	7,38
9-JAN-09-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9478856	663475	151,40	6,60	102,80	15,60	265,00	183,40	68,00	4,50
9-JAN-10-CE	Original	Barreiras-Jandaíra	9478657	662824	434,50	7,20	171,30	20,80	742,10	291,70	97,50	2,62
3-FZB-09-CE	Original	Açu	9476391	664662	131,80	3,50	5,00	0,50	65,70	249,30	15,40	-1,47
3-FZB-14-CE	Original	Açu	9479570	667194	131,80	2,80	3,10	0,70	45,00	254,10	7,40	3,70
7-FZB-31-CE	Original	Açu	9477736	662976	163,60	3,30	3,80	0,00	103,80	245,90	2,90	2,58
7-FZB-43-CE	Original	Açu	9477762	660188	187,50	2,40	7,50	1,90	101,80	288,60	3,70	7,01
7-FZB-60-CE	Original	Açu	9476158	660974	136,40	3,50	4,60	0,20	79,60	228,20	8,10	2,31
7-FZB-68-CE	Original	Açu	9475373	657777	165,00	0,00	18,00	2,00	151,00	229,00	11,00	1,40
9-FZB-330-CE	Original	Açu	9477971	661189	152,20	4,00	5,30	1,40	86,50	238,40	21,60	1,76
9-FZB-345-CE	Original	Açu	9478364	662369	163,60	3,80	5,70	0,20	103,80	252,70	6,60	2,09
7-FZB-415-CE	Original	Açu	9475562	659772	205,00	15,00	11,00	2,00	154,00	352,00	21,00	-2,61

Figura 6 – Diagrama hidroquímico de Piper com os dados dos íons principais dos Aquíferos Açu e Barreiras-Jandaíra, antes da influência da atividade petrolífera e da captação de água no Aquífero Açu



As águas armazenadas no Aquífero Barreiras-Jandaíra, são classificadas como do tipo cloretada-bicarbonatada - sódica-cálcica (Na-Ca - Cl-HCO₃).

As águas armazenadas no Aquífero Açu são classificadas como do tipo bicarbonatada-cloretada - sódica (Na - HCO₃-Cl).

Após a análise das relações hidráulicas e hidroquímicas originais do sistema Aquífero Açú-Barreiras-Jandaíra na área de Fazenda Belém, partiu-se para a investigação de como reagiu este sistema, com o advindo da atividade de exploração de petróleo e o incremento na captação de água subterrânea na área de interesse.

Em relação às cargas potenciométricas dos Aquíferos Açú e Barreiras-Jandaíra, nota-se um comportamento bastante distinto. Enquanto o Aquífero Açú, ao longo do período de medições (dados originais, 2003, 2014 e 2016), apresentou um rebaixamento da ordem de até 110m, especificamente na região onde estão localizados os poços de captação neste aquífero na área de Fazenda Belém, o Aquífero Barreiras-Jandaíra apresentou somente pequenas variações (da ordem 2m a

4m) provavelmente refletindo a alternância de períodos de seca prolongada, em contrapartida aos anos com chuvas mais regulares.

A Tabela 4 apresenta os dados dos poços de captação de água no Aquífero Açú, em que se obteve medidas de nível estático e a estimativa da carga potenciométrica em pelo menos dois períodos distintos. Percebe-se que existe um rebaixamento das cargas potenciométricas, mais notadamente na região dos poços de captação de água que se mantiverem em produção nos períodos analisados. Na Figura 7, através de uma visualização em três dimensões das superfícies potenciométricas construídas para os períodos original, 2003, 2014 e 2016, pode-se observar a evolução do rebaixamento das cargas potenciométricas do Aquífero Açú na área estudada.

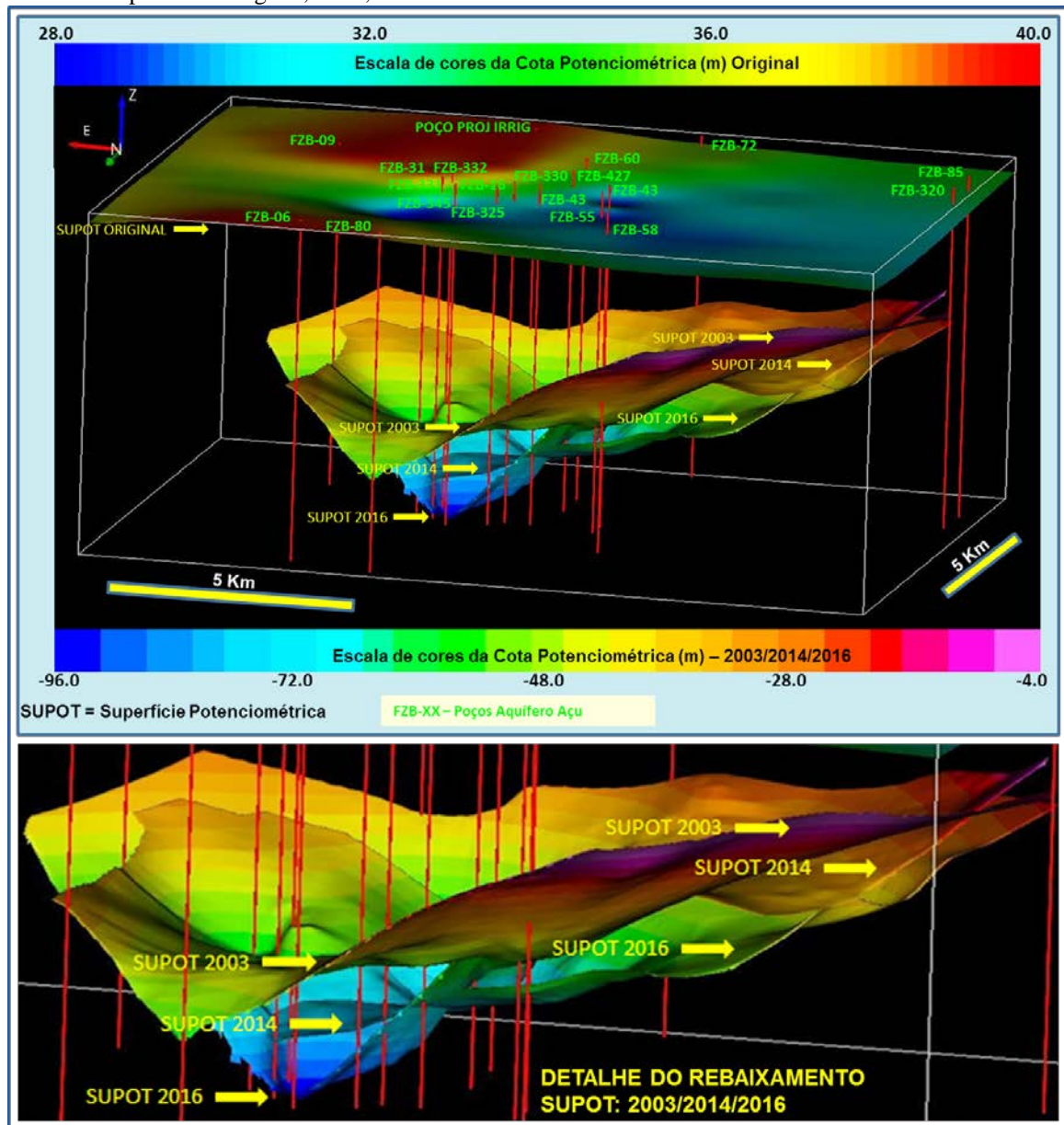
Tabela 4 – Poços no Aquífero Açú com pelo menos duas medições de carga potenciométrica

POÇO #	UTM N (m)	UTM E (m)	CP(m)ORIGINAL	CP(m)2003	CP(m)2014	CP(m)2016	OBSERVAÇÕES
	Datum - SIRGAS 2000						
3-FZB-09-CE	9476391,3	664662,1		-32,7	-67,5		
3-FZB-14-CE	9479692,6	667001,8	36,0	-19,8	-27,2		
7-FZB-31-CE	9477827,0	662807,0	39,0	-61,0	-80,7	-74,0	POÇO PARADO A 3 MESES
7-FZB-55-CE	9478161,9	660188,9		-53,7	-59,8	-39,7	POÇO PARADO A 6 MESES
7-FZB-60-CE	9476227,0	660807,0	35,0		-77,8	-77,3	POÇO PRODUZINDO
7-FZB-85-CE	9475376,3	655377,4		-12,3	-17,1	-1,8	POÇO PARADO A 2 ANOS
9-FZB-332-CE	9477754,1	662582,1		-51,6	-78,2	-92,6	POÇO PRODUZINDO
# POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO AQUÍFERO AÇÚ NA ÁREA DE FAZENDA BELÉM							

Foi possível constatar, que a superfície potenciométrica rebaixada do Aquífero Açú no ano de 2016, estava apenas 12m em média acima do topo do aquífero, caracterizando uma reserva hídrica explotável, localmente, restrita. Estes dados são corroborados por Guimarães Junior *et al.*, (2015), que relatou

que o a superfície potenciométrica rebaixada do Aquífero Açú na área de Fazenda Belém, na região específica onde estão localizados os poços de captação da Petrobras, estava em média apenas 10m acima do topo do aquífero (dados do ano de 2014).

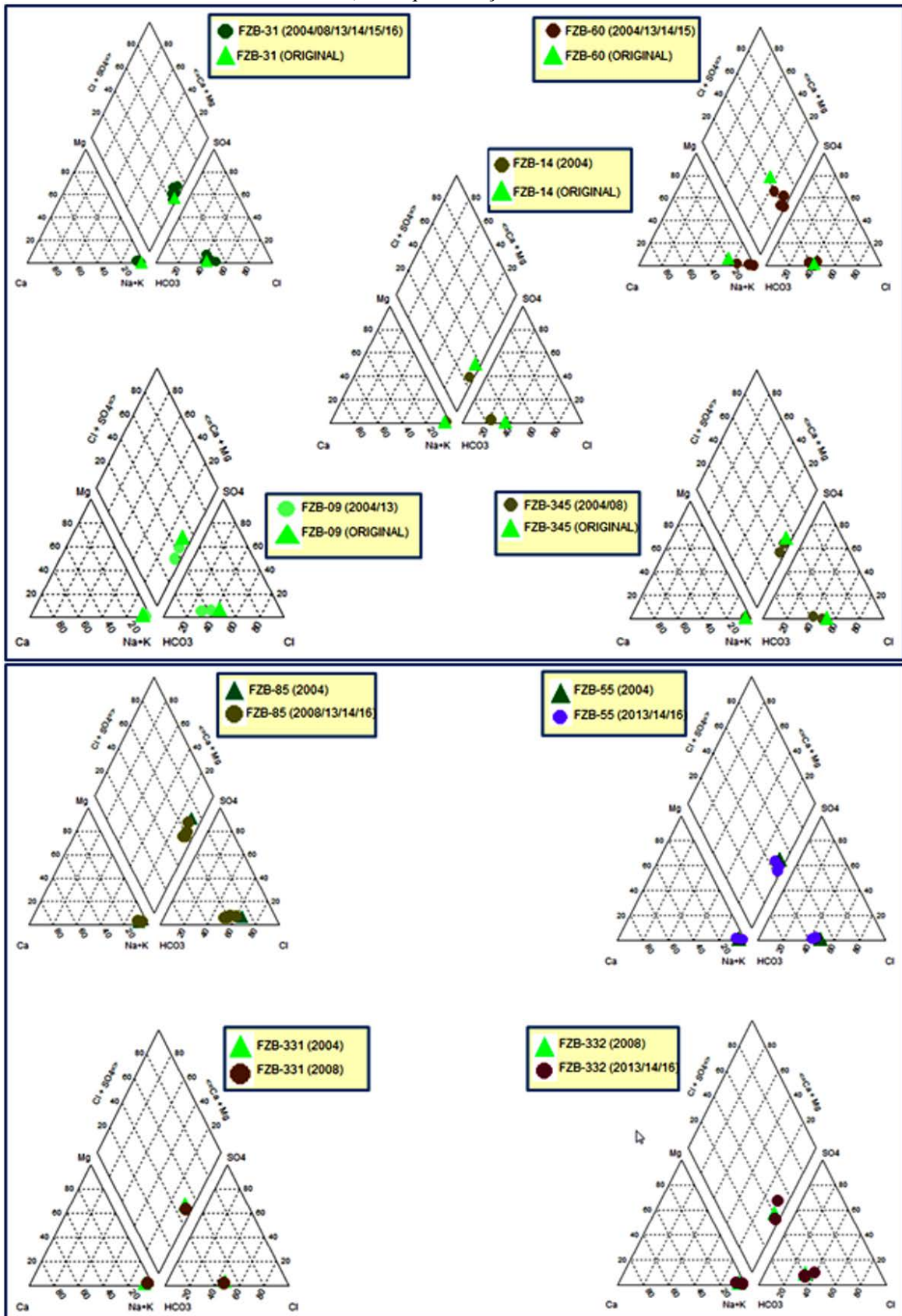
Figura 7 – Visualização em três dimensões das superfícies potenciométricas do Aquífero Açu dos seguintes períodos: original, 2003, 2014 e 2016



Quanto às características hidroquímicas dos íons principais das águas do Aquífero Açu, obtidas em diferentes períodos, considerando-se a exploração da água subterrânea deste aquífero e o início da atividade petrolífera na área, não se observam mudanças significativas. As águas coletadas nos poços de captação neste aquífero na área

de Fazenda Belém apresentam praticamente a mesma assinatura hidroquímica em comparação com os dados originalmente adquiridos e ao longo dos períodos pesquisados (Figura 8), não se identificando uma influência na qualidade das águas decorrentes da exploração do aquífero ou das atividades de exploração de petróleo.

Figura 8 – Diagramas hidroquímicos de Piper com os dados comparativos dos íons principais entre os períodos pesquisados, dos poços de captação de água (FZB-09; FZB-14; FZB-31; FZB-60, FZB-345, FZB-55; FZB-85; FZB-331 e FZB-332) no Aquífero Açu



Estudos da Agência Nacional de Águas (ANA) de 2010 aponta que o Aquífero Açú contém paleoáguas e na sua condição natural não apresenta evidência de recarga produzida pelo ciclo hidrológico atual. Já segundo Gushiken *et al.*, (2005), as pequenas variações composicionais dos íons principais das águas subterrâneas do Aquífero Açú, podem estar relacionadas a pequenas diferenças composicionais das rochas pertencentes às unidades estratigráficas Açú 2 e Açú 3, definidas dessa forma devido às suas origens deposicionais. As variações na composição mineralógica dessas subunidades, e a forma de interação dessas águas com a formação, considerando-se o fluxo subterrâneo e o tempo de residência, poderiam explicar a variação hidroquímica das amostras estudadas.

Na Tabela 5 são apresentados os dados dos poços de captação de água no Aquífero Barreiras-Jandaíra, em que se obteve medidas de nível estático e conseqüentemente, a estimativa da carga potenciométrica em pelo menos dois períodos.

A Figura 09 apresenta um gráfico *Box-Plot* que mostra a pequena amplitude da variação dos valores de CP e a mediana para cada poço com pelo menos três medidas de CP.

Na Figura 10, através de uma visualização em três dimensões das superfícies potenciométricas construídas para os períodos original, 2004, 2008 e 2016, é

possível observar o comportamento das cargas potenciométricas do Aquífero Barreiras-Jandaíra na área estudada, desde os primórdios da atividade petrolífera na área e durante os períodos subsequentes, considerando-se também a exploração em pequena escala das águas subterrâneas deste aquífero.

Fica evidenciado através da visualização em 3D, do gráfico *Box-Plot* e dos dados apresentados na Tabela 5, que não se pode constatar uma variação mais significativa nos valores das cargas potenciométricas do Aquífero Barreiras-Jandaíra. As pequenas variações identificadas podem estar relacionadas à alternância de períodos de maior escassez hídrica, como o que estamos observando nos últimos anos (2012 a 2016), com períodos de maior precipitação.

A configuração das superfícies potenciométricas do Aquífero Barreiras-Jandaíra aponta para um fluxo subterrâneo irregular e difuso, com regiões de cargas potenciométricas mais elevadas de fluxo divergente e regiões de cargas potenciométricas mais baixas de fluxo convergente, condizente com a natureza cárstica desta unidade aquífera. Melo Junior *et al.*, (2015), relata que na região de um projeto de irrigação com água produzida com o petróleo na área de Fazenda Belém, ocorre essa mesma configuração de altos e baixos potenciométricos ao longo dos anos investigados (2010 a 2014), independentemente do período climático

Tabela 5 – Poços no Aquífero Barreiras-Jandaíra com pelo menos duas medições de carga potenciométrica

POÇO	UTM N (m)	UTM E (m)	CP(m)ORIGINAL	CP(m)2004	CP(m)2008	CP(m)2016	OBSERVAÇÕES
	Datum - SIRGAS 2000						
9-JAN-03-CE	9480950,3	657360,6	2,2	3,7	3,8	2,3	POÇO PARADO
9-JAN-06-CE	9481789,2	660464,8	4,2	2,9	3,2	1,6	POÇO PRODUZINDO
9-JAN-08-CE	9481213,3	666400,9	6,3	5,4	4,5	2,9	POÇO PRODUZINDO
9-JAN-10-CE	9478657,2	662824,3	6,3	3,2			
P-01	9472582,1	657349,5	33,0	31,7	33,9	30,3	POÇO PRODUZINDO
P-04	9468931,6	655903,1	26,5	24,0	29,3		
9-CRHJ-6	9477233,9	660291,2		8,5		8,4	POÇO MONITORAMENTO
CRI-05-CE	9477713,1	663106,3			3,5	1,8	POÇO MONITORAMENTO
CRJ-04-CE	9476062,1	661178,3		5,0	7,6	6,9	POÇO MONITORAMENTO
CRM-05-CE	9479289,1	656953,2			8,9	9,1	POÇO MONITORAMENTO
CVA-06-CE	9477254,1	658803,2			5,7	3,6	POÇO MONITORAMENTO
# POÇOS DE CAPTAÇÃO E MONITORAMENTO NO AQUÍFERO BARREIRAS-JANDAÍRA NA ÁREA DE ESTUDO							

Figura 9 – Gráfico *Box-Plot* mostrando a amplitude de variação e a mediana da CP em poços de captação de água e de monitoramento no Aquífero Barreiras-Jandaíra ao longo dos períodos analisados

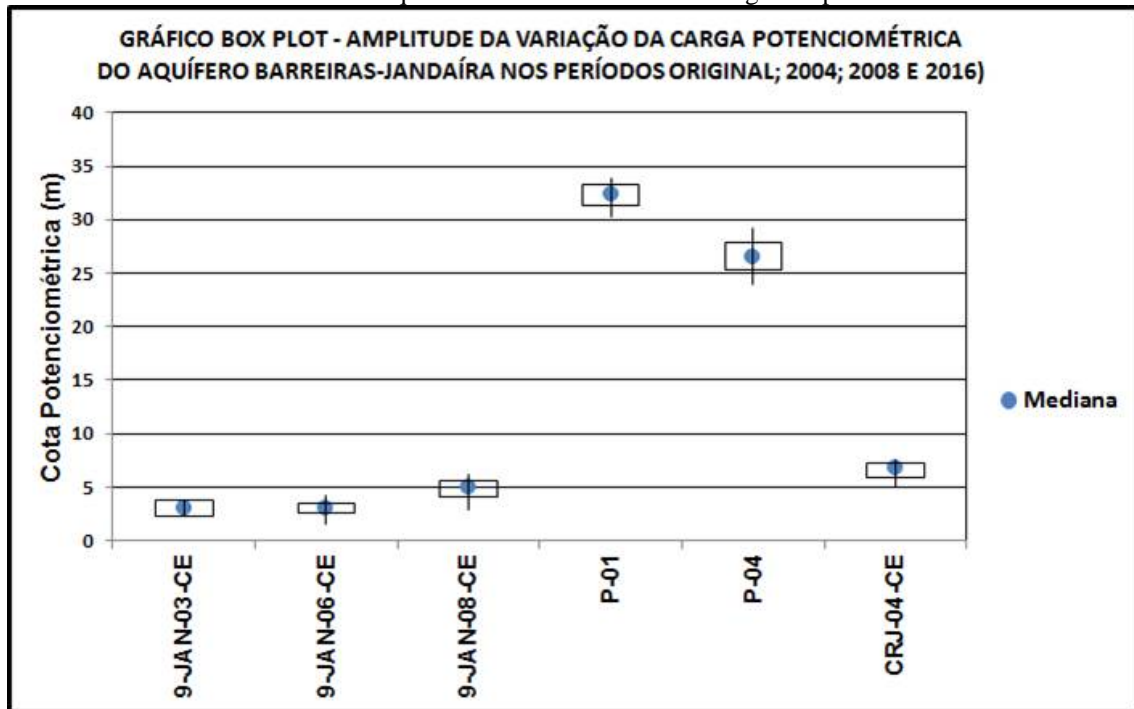
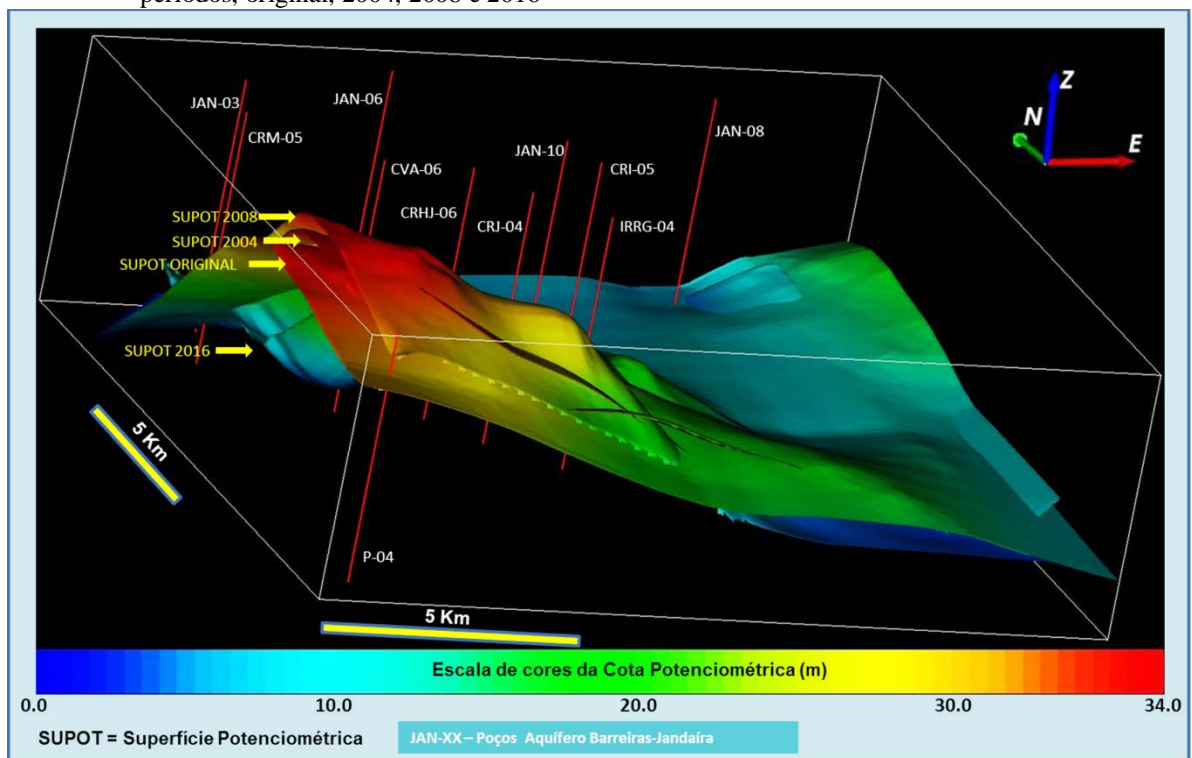


Figura 10 - Visualização em três dimensões das superfícies potenciométricas do Aquífero Barreiras-Jandaíra dos períodos, original, 2004, 2008 e 2016



Da mesma forma, as características hidroquímicas dos íons principais das águas deste aquífero coletadas em poços de captação de água (Figura 11) e em poços de monitoramento de centrais de resíduos e de um projeto experimental de irrigação com água produzida com petróleo (Figura 12), também não sofreram alterações importantes nos períodos analisados. O tipo hidroquímico continua sendo de águas cloretadas-bicarbonatadas – sódicas- cálcicas, e as

pequenas diferenças que podem ser identificadas poderiam ser justificadas pelas variações sazonais dos períodos de estiagem e precipitação pluviométrica, que influenciam na recarga, no fluxo subterrâneo, no tempo de residência e na interação água-rocha desse sistema, não caracterizando uma influência da atividade petrolífera, ou mesmo da exploração dessas águas subterrâneas, na qualidade das mesmas.

Figura 11 - Diagramas hidroquímicos de Piper com os dados comparativos dos íons principais entre os períodos pesquisados, dos poços de captação de água (JAN-03; JAN-06; JAN-08 e JAN-10) no Aquífero Barreiras-Jandaíra, na área de Fazenda Belém

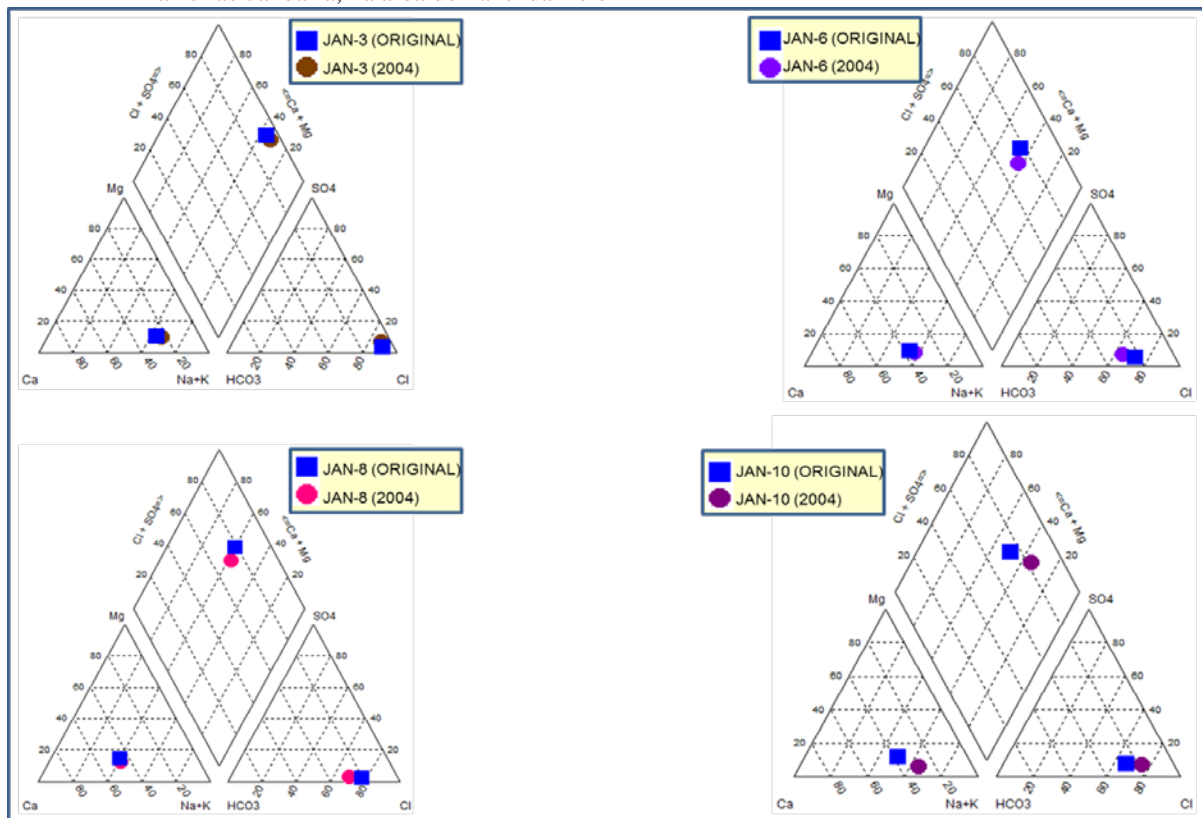
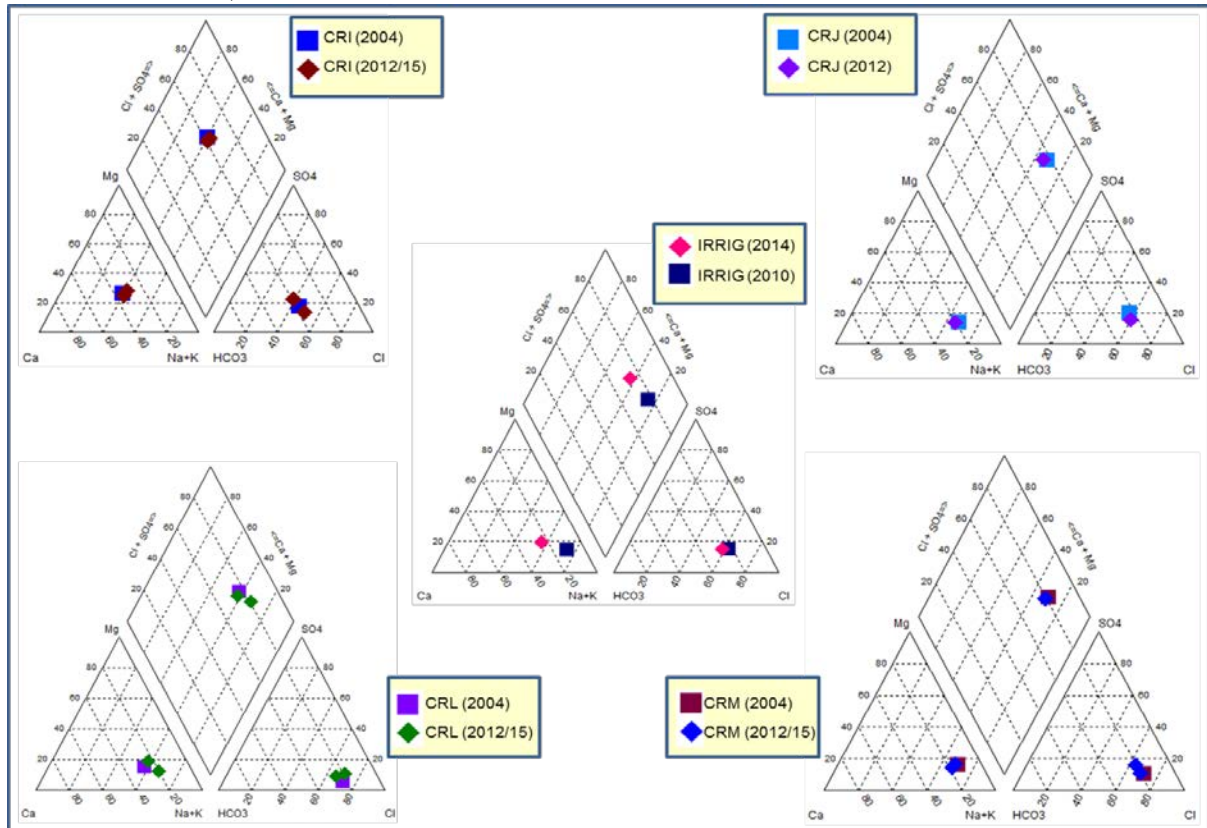


Figura 12 - Diagramas hidroquímicos de Piper com os dados comparativos dos íons principais entre os períodos pesquisados, de poços de monitoramento de centrais de armazenamento de resíduos (CRI; CRJ; CRL; CRM) e de projeto de irrigação com água produzida com petróleo (IRRIG), no Aquífero Barreiras-Jandaíra, na área de Fazenda Belém



Melo Junior *et al.*, (2015), já ressaltava que essas pequenas variações ocorrem, em função das alterações climáticas naturais, uma vez que as amostragens de águas ocorram em períodos climáticos distintos.

O estudo da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010) afirma que o Aquífero Barreiras-Jandaíra, na área da Chapada do Apodi, apresenta uma recarga canalizada (correspondente à drenagem das águas pluviais diretamente da superfície do terreno para o aquífero através dos grandes vazios criados pelo carst) e uma recarga difusa (extensiva a toda a região e produzida por infiltração do excesso de água do balanço hídrico).

Assim, segundo Gushiken *et al.*, (2005), a abundância dos íons Na^+ e Cl^- nas águas do Aquífero Barreiras-Jandaíra poderia ser explicada pela abundância desses íons nas águas de chuva, já que esta última ao se precipitar na superfície do terreno é

rapidamente infiltrada nos sedimentos arenosos Quaternários e da Formação Barreiras, com armazenamento das mesmas nas fraturas existentes nos calcários da Formação Jandaíra. O contato de tais águas com os carbonatos que compõem a Formação Jandaíra pode promover a dissolução dos íons Ca^{+2} e HCO_3^- , os quais, ao longo do tempo, são incorporados aos constituintes dissolvidos dessas águas subterrâneas.

5 CONCLUSÕES

Os Aquíferos Barreiras-Jandaíra (sistema livre) e Açú (confinado), na área de Fazenda Belém, correspondem a sistemas aquíferos individualizados sem comunicação hidráulica entre si e com diferentes tipos de água. As águas armazenadas no Aquífero Barreiras-Jandaíra são classificadas como do tipo cloretada-bicarbonatada – sódica-cálcica ($\text{Na-Ca} - \text{Cl-HCO}_3$) e as águas armazenadas no Aquífero Açú são classificadas como do

tipo bicarbonatada-cloretada – sódica (Na - HCO₃-Cl).

O rebaixamento do nível estático verificado no Aquífero Açu, especificamente na área de Fazenda Belém, não afetou as cargas potenciométricas do Aquífero Barreiras-Jandaíra, nem tampouco a qualidade de suas águas.

O confinamento do Aquífero Açu se dá pela presença de um espesso pacote argiloso posicionado no topo da Formação Açu (Unidade Açu 4), que funcionaria como um aquíclode entre o Aquífero Açu e o Aquífero Barreiras-Jandaíra.

O presente estudo não constatou mudanças significativas nos parâmetros hidroquímicos analisados (íons principais) nas águas subterrâneas dos dois sistemas aquíferos com o advento da exploração de petróleo e da captação de água subterrânea, apesar da queda localizada das cargas potenciométricas observadas no Aquífero Açu, que poderia sugerir uma possível drenança vertical descendente entre os dois sistemas aquíferos, capaz de modificar o quimismo das águas e seus tipos hidroquímicos.

Tendo em vista o rebaixamento pontual identificado no Aquífero Açu, sugere-se a manutenção do acompanhamento das cargas potenciométricas e da qualidade das águas subterrâneas deste Aquífero.

REFERÊNCIAS

AB SÁBER, A.N. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do Nordeste Brasileiro. IGEOG - USP, **Bol. Geomorfologia**, São Paulo, n. 19, 38p, 1969.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará**, v. I, Brasília, 2010.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 470, 09 de janeiro de 1997.

CSD-GEOKLOCK. Geologia e Engenharia Ambiental Ltda. **Relatório de Auditoria Ambiental Campo de Fazenda Belém – Icapuí, CE** Volume I – Auditoria Fase I. Novembro de 2004. PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S/A.

DIAS, C.L.; CASARINI, D.C.P.; BARBOUR, E.D.A., MODESTO, P.C. A importância do monitoramento das águas subterrâneas na gestão dos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal-RN. Anais.... Natal, RN: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008. 1 CD-ROM.

GEORADAR LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS S.A. **Relatório de Diagnóstico Geoambiental – Campo Petrolífero Fazenda Belém, CE**, Volume 1. Setembro de 2004. PETROBRAS/UN-RNCE.

GUIMARÃES JUNIOR, J.A.; RIGHETTO, A.M.; SANTOS, H.R.; DINIZ FILHO, J.B.; STEIN, P.; LIMA, R.R.M. **Disponibilidade hídrica nas áreas de atuação da Petrobras nos estados do Rio Grande do Norte (RN) e Ceará (CE)**. PROJETO FUNPEC/UFRN/PETROBRAS Nº 502014. RELATÓRIO FINAL. Outubro de 2015.

GUSHIKEN, M.T.; CARVALHO JUNIOR, E.R.; AUTOR.; TEIXEIRA, I.E.M. **Avaliação das características geológicas, hidrogeoquímicas e hidrodinâmicas dos Aquíferos Açu e Jandaíra na região do campo de Fazenda Belém**. PETROBRAS/UN-RNCE. Relatório interno, fevereiro de 2005.

MELO JÚNIOR, G.; SOUZA, L.C.; STEIN, P.; SILVA, F.O.; AUTOR.; SOBRINHO, J.E.; OLIVEIRA, F.H.T.; SILVA, F.N.;

- LIMA, L.F.; SILVA, C.P.; SANTOS JUNIOR, G.R.; MARTINS, J.F.O. **Projeto.** Caracterização e Monitoramento de Solo, Subsolo e Água Subterrânea em Experimentos de Reuso Agrícola de Água Produzida Tratada. Termo de Cooperação Nº 00500041456084 - PETROBRAS SAP 4600263784 - Projeto FUNPEC 69/2008. RELATÓRIO FINAL, dez. 2015.
- MELO, J.G.; DEMETRIO, J.G.A.; DINIZ FILHO, J.B.; MIRANDA, T.S.; CORREIA FILHO, O.J.; FEITOSA, E.C.; CÂMARA, C.; DANTAS, T.B.; ANDRADE, R.D.M.; BATISTA, A.G.S.; FREITAS, I.R.R. **Projeto:** Análise dos impactos do rebaixamento do nível das águas subterrâneas do aquífero jandaíra na área da mina da “fábrica de cimento “Mizu”, situada no setor oeste da Bacia Potiguar/RN. (Projeto FUNPEC/UFRN/CIMENTO MIZU – 46/2013), Relatório Final, Março de 2015.
- MIRANDA, T.S.; MANOEL FILHO, J.; BRITO NEVES, B.B.; BARBOSA, J.A. Estudo do Comportamento Geológico-Estrutural dos Depósitos Cretácicos do Sistema Aquífero Apodi, Bacia Potiguar, NE do Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 22, n. 1, p. 3-19, 2012.
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil:** aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Editora de Humanismo, Ciência e Tecnologia, HUCITEC, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.
- SOARES, U.M. **As relações entre tectonismo e sequências deposicionais no Rifte Potiguar** - porção SW do Graben de Umbuzeiro, Bacia Potiguar Emersa. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 2000. 128p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SOUTO FILHO, J.D.; CARVALHO JUNIOR, E.R. Gestão de recursos hídricos subterrâneos em áreas de atuação da Petrobras na bacia Potiguar, estados do Rio Grande do Norte e Ceará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal-RN. **Anais....** Natal, RN: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008. 1 CD-ROM.
- SOUZA, C.D. **Litoestratigrafia e deformação cenozoica na região de Icapuí, Ceará e implicações para a estruturação de campos de petróleo na borda ocidental da bacia Potiguar (NE do Brasil).** Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, 2002. 189 p. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- VASCONCELOS, E.P.; LIMA NETO, F.F.; ROOS, S. Unidades de correlação da Formação Açú, Bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal, RN. **Anais...** Natal, 1990. v. 1, p.227-240.