

ANÁLISE SOBRE OS PROCESSOS DE SALINIZAÇÃO DOS AQUÍFEROS COSTEIROS DA PLANÍCIE DO RECIFE

Filipe Saboya Bernardino¹
José Geilson Alves Demétrio²

Doi: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v25n2p131-146

1 Pós-Graduação em Geociências-UFPE. E-mail: filipe_saboya@hotmail.com

2 Departamento de Geologia da UFPE. E-mail: geilson@ufpe.br

RESUMO

Os aquíferos costeiros, por estarem em contato direto com o mar, apresentam um risco de contaminação maior do que outros situados distantes da linha de costa, principalmente quando se trata de aquíferos em áreas urbanizadas, onde a superexploração através de poços pode gerar diversos danos a esta fonte de abastecimento, como é o caso da região de estudo objeto deste trabalho, que está situada na porção sul da Planície Costeira do Recife. Localizada entre os bairros do Pina (Recife) e Candeias (Jaboatão dos Guararapes), é delimitada pelas coordenadas UTM 9090000,0 a 9106000,0 mN e 280000,0 a 294000,0 mE, zona 25L, Datum SAD 69, totalizando uma área de 224 Km². Esta área foi escolhida porque nela estão localizados grande parte dos poços que exploram água dos aquíferos costeiros da Região Metropolitana no Recife. O objetivo principal foi a investigação sobre as origens de salinização, o acompanhamento da salinidade em zonas críticas e os processos de recarga dos aquíferos situados na área de estudo. O trabalho foi desenvolvido a partir de um levantamento detalhado da bibliografia e dos bancos de dados disponibilizados pela APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) e CPRM (Serviço Geológico do Brasil) através do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Os resultados obtidos sugerem problemas pontuais na área estudada, indicando falhas construtivas nos poços perfurados, descontinuidades nos aquíferos entre outras possibilidades, fazendo com que a água contaminada das porções superiores e de paleomangues penetre nas porções inferiores, excluindo, momentaneamente, a possibilidade de salinização devido ao avanço da cunha salina.

Palavras chave: Hidrogeologia, Geologia, Poços, Aquíferos Costeiros, Aquífero Cabo.

ABSTRACT

Coastal aquifers, being in direct contact with sea water present more than others located far away from the coast line, especially when it comes to aquifer vulnerability in urban areas, where overexploitation through wells can cause extensive damage to this source of supply, such as the area of study object of this work, which is situated in the southern portion of the Coastal Plain of Recife. Precisely located between the neighborhoods of Pina (Recife) and Candeias (Jaboatão Guararapes) it is limited by UTM coordinates 9090000.00 and 9106000.00 mN and 280000.00 and 294000.00 mE, zone 25L, Datum SAD 69, totaling an area of 224 km². This area was chosen because there is a largely of wells that exploit water from coastal aquifers in Recife Metropolitan Region. The main objective of this study is to research on the origins of salinization, monitoring of salinity in critical areas and processes of recharge of aquifers in the

study area. A detailed literature survey and in databases provided by APAC (Pernambuco State Agency for Water and Climate), CPRM (Geological Survey of Brazil) and SIAGAS program (Information System Groundwater - CPRM) was made. The results suggest specific problems in the study area, indicating constructive failures drilled wells, aquifers discontinuities among other possibilities, causing contaminated water from the upper portions and lower portions penetrate the paleomangroves momentarily excluding the possibility of salinization due to advancement the salt wedge.

Keywords: *Hydrogeology, Geology, Wells, Coastal Aquifers, Cabo aquifer.*

INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana do Recife - RMR, por ser uma planície situada próxima ao mar, sofre influência direta da cunha salina, fazendo com que os seus aquíferos costeiros se tornem bastante sensíveis às mudanças de carga hidráulica. Diversos fatores podem causar sérios danos aos aquíferos, entre eles o avanço da cunha salina devido à superexploração ou a salinização ocasionada por poços eventualmente mal construídos.

Grande parte das cidades litorâneas do mundo que têm como fonte de abastecimento a água subterrânea é afetada por problemas de intrusão salina. Desde os anos setenta o assunto já vem sendo motivo de preocupação, sendo realizados novos estudos à medida que avança o conhecimento geológico e hidrogeológico da RMR (CABRAL E MONTENEGRO, 2004).

Além das reservas, o conhecimento da recarga de um aquífero é fundamental para o seu adequado gerenciamento, visando o aproveitamento sustentável das águas subterrâneas e evitando a superexploração

e/ou o avanço da cunha salina no caso dos aquíferos costeiros.

A identificação de poços salinizados ou sob potencial risco de salinização poderá fazer com que sejam evitadas novas perfurações de poços sem que seja implantada alguma medida para reduzir os riscos de contaminação, já que é prática comum na RMR a desativação ou simples abandono de poços salinizados, para em seguida serem perfurados outros praticamente nos mesmos locais na tentativa de substituição dos primeiros.

LOCALIZAÇÃO

A área de estudo objeto deste trabalho está situada na porção sul da Planície Costeira do Recife, mais precisamente, entre os bairros do Pina (Recife) e Candeias (Jaboatão dos Guararapes), sendo delimitada pelas coordenadas UTM 9090000,00 a 9106000,00 mN e 280000,00 a 294000,00 mE, Zona 25L, Datum SAD 69, possuindo uma área total de 224 Km² (Fig. 1).

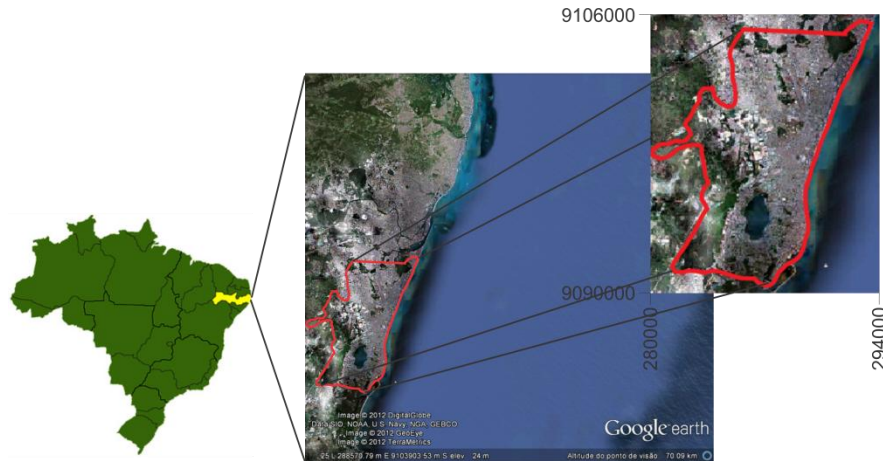


Figura 1: Localização da Bacia da Paraíba, com destaque para a região de estudo.

A área trabalhada foi delimitada a partir da porção norte da Bacia de Pernambuco contemplada no Projeto HIDROREC II - Costa *et al.* (2002), onde está localizada grande parte dos poços da Região Metropolitana no Recife. A Bacia de Pernambuco é composta por uma faixa de rochas sedimentares e magmáticas situada entre as Bacias da Paraíba e Alagoas.

DESCRIÇÃO DA ÁREA

A Bacia de Pernambuco está situada na borda leste da margem continental atlântica brasileira e compreende toda a zona costeira sul do Estado de Pernambuco, com aproximadamente 100 km de comprimento, 12 km de largura em sua parte emersa. A bacia é limitada a sul pelo alto de Maragogi – Barreiras (AL) e a norte pela Zona de Cisalhamento Pernambuco, a oeste por um sistema de falhas normais, colocando-a em contato com migmatitos, gnaisses e granitos do Terreno Pernambuco–Alagoas. Geotectonicamente, a Bacia de Pernambuco está inserida na Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977), sendo limitada a oeste e sul pelo Terreno Pernambuco–Alagoas e a norte pela Bacia da Paraíba. A parte *offshore* da bacia prossegue até a

porção do platô de Pernambuco (ALVES & COSTA, 1986).

A porção *onshore* da Bacia de Pernambuco compreende uma sequência rifte de idade Aptiana (Formações Cabo) e de uma sequência pós-rifte de idade Albiana (Formação Suape), composta por rochas sedimentares que foram intrudidas e/ou intercaladas pelas rochas ígneas da Província Mágmatíca do Cabo (Almeida *et al.*, 2003; Cruz *et al.*, 2003; Jardim de Sá *et al.*, 2003a). Estas unidades estão estratigraficamente sotopostas à sequência carbonática (Formação Estiva) e siliciclásticas (Formações Algoduais e Barreiras), representando a fase drifte da referida bacia.

A Bacia de Pernambuco se diferencia tanto estruturalmente quanto estratigraficamente das demais bacias costeiras vizinhas, devido ao seu aspecto não homoclinal, que é comum à Bacia da Paraíba, além de possuir as unidades litoestratigráficas fanerozóicas mais antigas de toda a faixa costeira Pernambuco-Paraíba (LIMA FILHO, 1998).

É possível dividir a Bacia de Pernambuco em duas sub-bacias: Sub-bacia Piedade e Sub-bacia Cupe, sendo separadas pelo Alto Estrutural Cabo de Santo Agostinho.

HIDROGEOLOGIA LOCAL

O sistema aquífero da planície do Recife compreende três aquíferos semi confinados: o Beberibe ao norte do Lineamento Pernambuco, o Cabo ao sul e o Barreiras abrangendo boa parte da porção oeste da RMR; além de um aquífero freático, o Boa Viagem, que recobre os dois primeiros. O aquífero Boa Viagem é facilmente explotável e desempenha papel fundamental na recarga dos aquíferos semi confinados (Silva *et al.*, 2006), possuindo uma espessura média de 40 m, estando separado dos aquíferos inferiores por uma camada semiconfinante formada pela sua porção basal constituída de argila arenosa, areia argilosa e uma espessura média de 20 m (MONTEIRO, 2000).

Costa *et al.* (1998) determinaram parâmetros hidrodinâmicos para os aquíferos da planície do Recife. Os estudos indicaram que o aquífero Cabo possui uma transmissividade menor que o aquífero Beberibe, apesar de possuírem espessuras médias semelhantes. Esta característica é causada pelo fato de o aquífero Cabo possuir menor condutividade hidráulica devido à presença de uma matriz argilosa.

Os poços que captam água do aquífero Barreiras apresentam vazões médias de 13m³/h nas regiões do Ibura e Jordão, localizadas na Bacia de Pernambuco. Já em Aldeia, área situada na Bacia da Paraíba, as vazões médias caem para 3 m³/h.

PERFIS LITOLÓGICOS

Para a caracterização da geometria dos aquíferos e formações geológicas da região estudada, foram confeccionados 08 (oito) perfis litológicos; sete deles no sentido NW-SE, ou seja, perpendiculares à linha de costa e 01 (um) no sentido NE-SW, paralelo à linha de costa (Fig. 2).

Os perfis tiveram como base as descrições de poços fornecidas pela APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) e CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Nos locais onde não foi possível obter dados de profundidade do embasamento, uma interrogação (?) foi utilizada.

Por serem perfurados em obras de construção civil, as camadas superiores foram descritas como areia/aterro, já que em várias ocasiões o solo natural é aterrado para terraplenagem do terreno.

Convém lembrar diversos fatores podem influenciar na caracterização da litologia a partir da descrição de amostras de calha, entre eles: tempo de retorno (a amostra perfurada demora um tempo até chegar à superfície, o que raramente é calculado), contaminação por amostras de outras profundidades, problemas durante a lavagem da amostra, método de perfuração (a recuperação da amostra é diferente entre os diferentes métodos), entre outros.

Em alguns poços foi verificada a ocorrência de rochas vulcânicas, que, segundo Lima Filho (1998) são compostas, na região, principalmente por basaltos e traqui-andesitos.

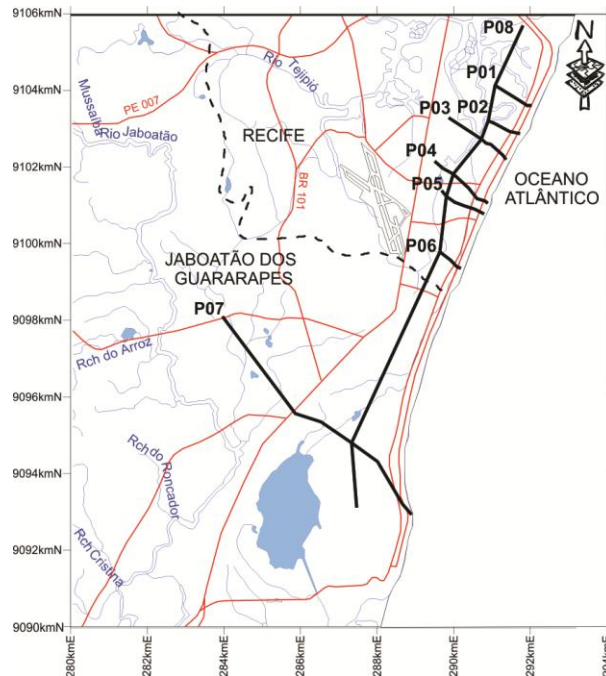


Figura 2: Traçados dos perfis litológicos confeccionados.

Perfil P01

O Perfil P01 (Figura 3) está localizado no extremo norte do mapa, entre as proximidades do Aeroclube e a Praça La Curuña (Segundo Jardim da Av. Boa Viagem), com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa. Foi confeccionado a partir da descrição de 04 (quatro) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de 5m. Mais abaixo ocorre a presença de camadas contínuas de areia argilosa e argila ao longo de todo o perfil, com profundidades de até 40m, gerando confinamento e/ou semi-confinamento às espessas camadas de arenito com espessuras de até 120m que ocorrem abaixo e formam o aquífero Cabo. Na porção mais inferior ocorre a presença de uma camada de argila, que pode estar relacionada ao intemperismo das rochas vulcânicas, já que as mesmas foram atingidas em um dos poços a uma

profundidade de cerca de 170m. Também são verificadas na região a ocorrência de lentes de arenito calcífero e argila.

Perfil P02

O Perfil P02 (Fig. 3) está localizado logo abaixo do Perfil P01, entre as proximidades do início da Rua Padre Bernardino Pessoa e o final da Rua Dona Benvinda de Farias, com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa. Foi confeccionado a partir da descrição de 04 (quatro) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de 8m. Mais abaixo ocorre a presença de camadas contínuas ao longo de todo o perfil de argila com profundidades de até 60m, gerando confinamento e/ou semi confinamento às espessas camadas de arenito com espessuras de até 110m que ocorrem abaixo e formam o aquífero Cabo. Ao longo de todo o perfil ocorrem diversas lentes de argila.

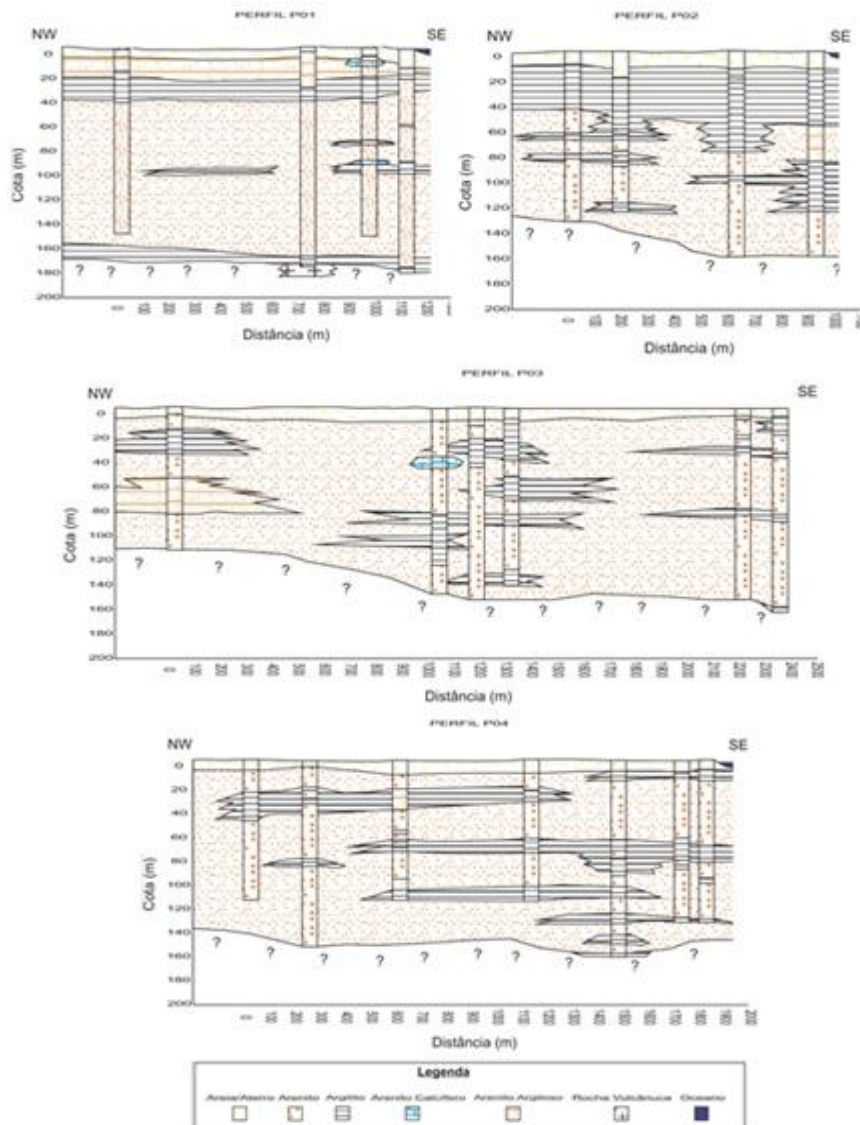


Figura 3: Perfis litológicos P01 a P04, com identificação da direção dos cortes.

Perfil P03

O Perfil P03 (Fig. 3) está localizado logo abaixo do Perfil P02, entre as proximidades da Avenida Sul (Hotel Sunshine) e o final da Av. Antônio Falcão, com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa.

Foi confeccionado a partir da descrição de 06 (seis) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de 8m. Mais abaixo ocorre a presença de uma camada de arenito com até 140m de espessura, sendo intercalado por diversas camadas descontínuas de argila e areia argilosa. Provavelmente, o aquífero Boa Viagem está presente até aproximadamente aos 30m de profundidade, sendo sotoposto pelo aquífero Cabo. Também pode ser verificada a presença de uma lente de arenito calcífero.

Perfil P04

O Perfil P04 (Fig. 3) está localizado logo abaixo do Perfil P03, entre as proximidades da Av. Sul (Ginásio Geraldão) e o final da Rua Des. João Paes, com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa. Foi confeccionado a partir da descrição de 07 (sete) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de 7m. Mais abaixo ocorre a presença de uma camada de arenito com até 150m de espessura, sendo intercalado por diversas camadas descontínuas de argila e areia argilosa. Provavelmente, o aquífero Boa Viagem está presente até, aproximadamente, 30m de profundidade, sendo sotoposto pelo aquífero Cabo.

Perfil P05

O Perfil P05 (Figura 4) está localizado logo ao sul do Perfil P04, Entre as proximidades do Carrefour de Boa Viagem (Rua Amália Bernardino de Souza) e o final da Rua Barão de Souza Leão, com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa. Foi confeccionado a partir da descrição de 06 (seis) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com profundidade média de 10m. Mais abaixo ocorre a presença de uma camada de arenito com até 100m de espessura, sendo intercalado por diversas camadas descontínuas de argila e areia argilosa. Provavelmente, o aquífero Boa Viagem está presente até aproximadamente 30m de profundidade, sendo sotoposto pelo aquífero Cabo. Em toda a porção basal do perfil pode ser verificada uma lente contínua de argila, podendo estar relacionada à sua proximidade com o embasamento, ou seja, o cristalino alterado.

Perfil P06

O Perfil P06 (Fig. 4) está localizado logo abaixo do Perfil P05, entre as proximidades do Aeroporto e o Parque Dona

Lindu, com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa. Foi confeccionado a partir da descrição de 05 (cinco) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de 12m. Mais abaixo ocorre a presença de uma camada de arenito com até 140m de espessura, sendo intercalado por diversas camadas descontínuas de argila e areia argilosa. Provavelmente, o aquífero Boa Viagem está presente até aproximadamente os 30m de profundidade, sendo sotoposto pelo aquífero Cabo. Também pode ser verificada a presença de lentes de arenito calcífero.

Perfil P07

O Perfil P07 (Fig. 4) está situado a aproximadamente 5Km a sul do Perfil P06, entre a Muribeca e Candeias, com direção NW-SE, sendo perpendicular à linha de costa. Foi confeccionado a partir da descrição de 07 (sete) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de 8m. Mais abaixo ocorre a presença de uma camada de arenito com até 150m de espessura, sendo intercalado por diversas camadas descontínuas de argila e areia argilosa. Provavelmente, o aquífero Boa Viagem está presente até aproximadamente os 30m de profundidade, sendo sotoposto pelo aquífero Cabo. Também pode ser verificada a presença de uma lente de arenito calcífero. No Extremo Noroeste do perfil, foi verificada a ocorrência de rocha vulcânica, descrita como Basalto.

Perfil P08

O Perfil P08 (Fig. 4) está situado paralelamente ao longo de toda a linha de costa, ou seja, no sentido NE-SW, entre o Pina e Piedade, cortando perpendicularmente todos os outros perfis. Foi confeccionado a partir da descrição de 09 (nove) poços. Na parte superior, é encontrada uma porção de areia/aterro com uma profundidade média de

8m. Mais abaixo ocorre a presença de uma camada de arenito com até 155m de espessura, sendo intercalado por diversas camadas descontínuas de argila e areia argilosa. Provavelmente, o aquífero Boa

Viagem está presente até aproximadamente os 30m de profundidade, sendo sotoposto pelo aquífero Cabo. Também pode ser verificada a presença de lentes de arenitos calcíferos.

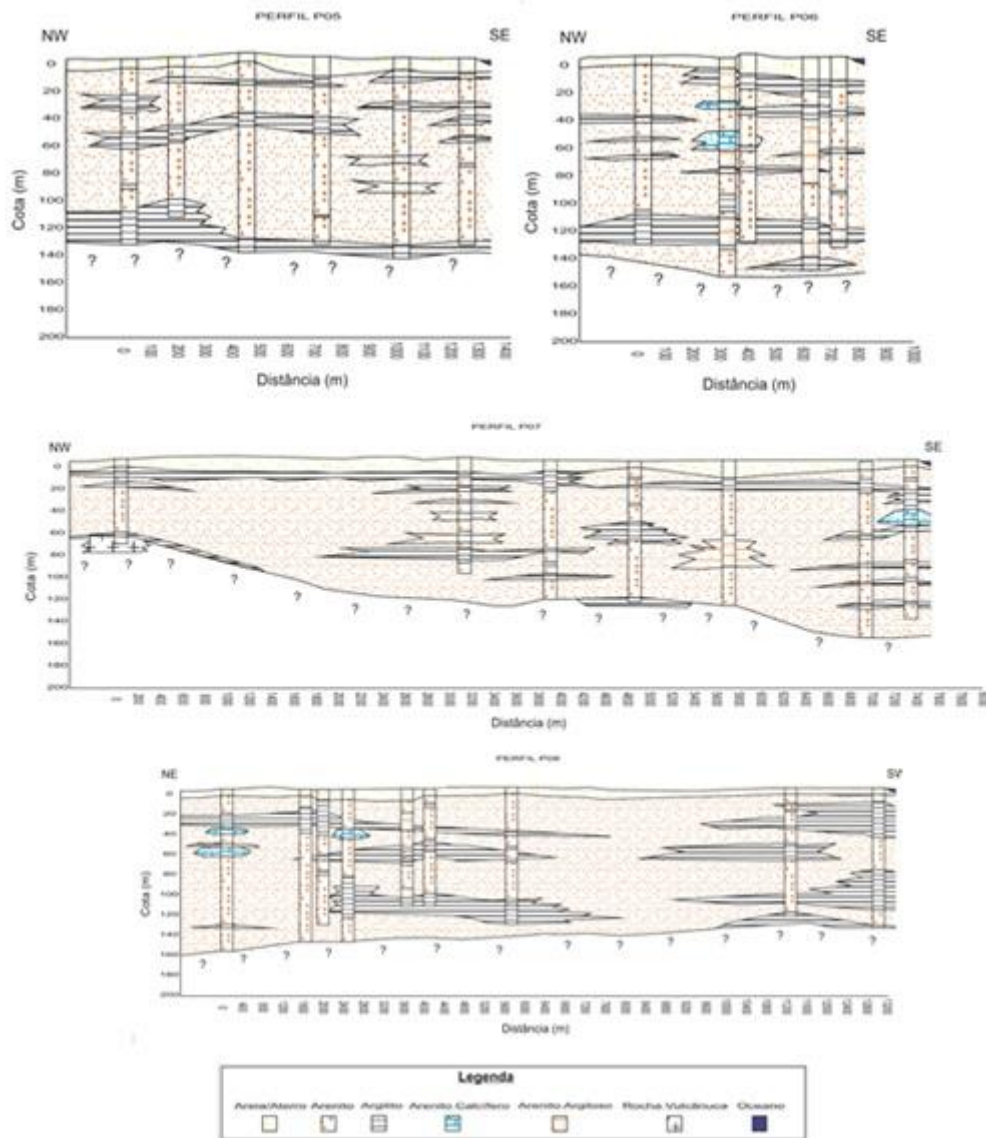


Figura 4: Perfis litológicos P05 a P08, com identificação da direção dos cortes.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOMETRIA

Pode ser observado que, de uma maneira em geral, ocorrem diversos tipos de litologia na região mapeada, principalmente arenito, argilito, arenito calcífero e arenito argiloso, bem como algumas regiões com presença de aterro. Os arenitos presentes nas porções superiores podem ser classificados com o aquífero Boa Viagem, situado acima do aquífero Cabo. Toda essa variação litológica garante bastante heterogeneidade, gerando influência direta aos aquíferos, com alterações significativas na transmissividade, condutividade hidráulica e no coeficiente de armazenamento. As descontinuidades observadas dão origem a diversas falhas no confinamento, facilitando assim a penetração de água contaminada das porções superiores.

RECARGA DO AQUÍFERO BOA VIAGEM

O balanço hídrico é uma ferramenta que permite avaliar as relações entre as entradas e as saídas de água em uma região ou bacia hidrográfica dentro de um determinado intervalo de tempo. Seus resultados servem como base para a elaboração de programas de sustentabilidade dos recursos hídricos, ao confrontar as necessidades da população com os volumes disponíveis e as demandas de água.

O cálculo da recarga na região foi realizado a partir da taxa de infiltração de 10,8% da precipitação, obtida por Oliveira (2003) para a região costeira norte de Pernambuco. Foi utilizada essa taxa de infiltração por limitações no cálculo do balanço hídrico na região de estudo, e por ser a área mais próxima, com características

semelhantes, principalmente quando se trata de valores de precipitação. Essa taxa de infiltração foi calculada a partir do excedente hídrico obtido no balanço hídrico, onde foram utilizados os valores de precipitação para um período de 30 anos. Já a chuva média mensal foi calculada utilizando-se o método de Thiessen.

Para a região de estudo foram utilizados os valores médios de precipitação pluviométrica no período entre 1961 e 1990 (30 anos) obtidos a partir do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que são coletados na Estação Meteorológica do Recife, de número 82900, no bairro do Curado, de Coordenadas UTM 25L 280597,72 mE; 9105662,30 mS e altitude 10,00m, DATUM SAD 69 (Tabela 1).

Considerando-se que o volume de infiltração significa 10,8% da precipitação anual, ou seja, 265,356mm e que a região de estudo tem uma área de 224Km², pode ser estimado que o volume de recarga é de aproximadamente 59,5 Hm³/ano na região de estudo. Para se ter uma ideia do montante, a empresa de abastecimento de Pernambuco (COMPESA) fornece cerca de 15m³/s, ou seja, 475 Hm³/ano de água para toda a região metropolitana do Recife.

Este valor de recarga é uma estimativa aproximada, já que diversas variáveis podem influenciar na recarga real, como por exemplo as áreas cobertas por asfalto ou construções civis (urbanização), o que reduz a infiltração. Por outro lado, as perdas provenientes de vazamento na rede de abastecimento de água da cidade contribuem para a infiltração e a consequente recarga dos aquíferos. A COMPESA estima que cerca de 57% de toda a água fornecida é perdida em vazamentos, furtos e subtarifação.

Tabela 1: Valores médios de precipitação pluviométrica entre os anos de 1961 e 1990.

<u>Meses</u>	<u>Nº de Dias</u>	<u>Precipitação(mm) (mm)</u>
Janeiro	31	103,0
Fevereiro	28	144,0
Março	31	265,0
Abril	30	326,0
Maio	31	329,0
Junho	30	390,0
Julho	31	386,0
Agosto	31	213,0
Setembro	30	122,0
Outubro	31	66,0
Novembro	30	48,0
Dezembro	31	65,0
Total	365	2457,0
Média		204,750

POTENCIOMETRIA DO AQUÍFERO CABO

O rebaixamento dos níveis potenciométricos na porção sul da Planície do Recife vem causando preocupação aos órgãos de gestão dos recursos hídricos, sendo a principal causa apontada para este fenômeno a exploração excessiva dos aquíferos locais. Diversos problemas secundários podem ser gerados a partir dos rebaixamentos da potencimetria, como é o caso da subsidência (Costa *et. al.*, 2002). Porém, um fator bastante preocupante, que alguns especialistas no tema afirmam já estar acontecendo, principalmente por se tratar de um aquífero costeiro, é o da intrusão marinha devido à inversão da direção de fluxo que, ao invés de ser do continente para o oceano, passa a fazer o caminho inverso.

A potencimetria da região mapeada foi obtida através do levantamento do banco de dados da outorga de águas subterrâneas da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) em parceria com a CPRM (Serviço Geológico do Brasil) (Fig.5), onde foram verificados os Níveis Estáticos dos poços com mais de 50 metros de profundidade

(aquífero Cabo) entre o período 1999 e 2005 (período utilizado por ser o que possui um maior volume e uma maior consistência de dados), sendo reduzidos das cotas do terreno, obtidas a partir das ortofotocartas da FIDEM (Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife) de escala 1:10.000, para obtenção da carga hidráulica.

Devido a diversos fatores, a potencimetria real pode variar da potencimetria que foi medida em campo, já que pode haver influência de agentes externos, entre eles a interferência de poços bombeados simultaneamente nas proximidades, poços em que não houve a recuperação total do nível estático, entre outros.

O primeiro fato a ser verificado é que a Lagoa Olho D'água, com uma abrangência de aproximadamente 375 hectares e profundidade máxima de 115 cm, sofre influência apenas dos aquíferos freáticos, já que a potencimetria verificada nos poços profundos próximos não sofre variações locais, ou seja, a potencimetria regional não apresenta alterações significativas.

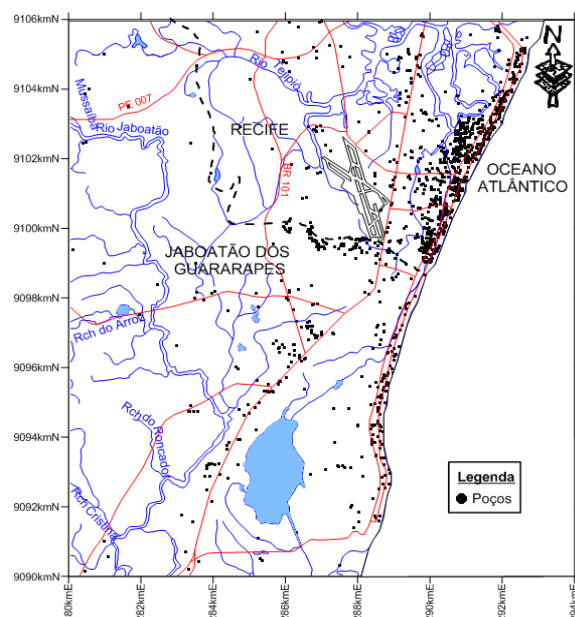


Figura 5: Distribuição dos poços cadastrados na região de estudo.

De acordo com o mapa potenciométrico confeccionado (Fig. 6), podem ser observadas grandes variações potenciométricas, com até cerca de 80m/km, como constatado nas proximidades do Segundo Jardim. Na linha de costa são verificados níveis potenciométricos com cargas de até -100m, demonstrando uma clara inversão de fluxo.

A região mais crítica é a área localizada em Boa Viagem, entre a Avenida Armino Moura e o Segundo Jardim (Praça La Curuna) e a Av. Boa Viagem e a Av. Mal. Mascarenhas de Moraes, onde praticamente em todos os poços as cargas hidráulicas estão entre -50m e -100m. A principal causa desses baixos níveis potenciométricos é a superexploração dos aquíferos, com os efeitos ampliados devido à interferência entre vários poços próximos sendo bombeados simultaneamente.

Na região central do mapa também podem ser observados valores muito baixos de cargas hidráulicas. Esta é a área localizada no encontro entre a Estrada da Batalha e a BR-101 (Jaboatão dos Guararapes). A causa principal é a presença

de diversas indústrias de grande porte, entre elas a Coca Cola, as Tintas Iquine e a Vitarella, que exploram grandes volumes de água.

Na porção centro-norte do mapa, onde se está localizado o bairro do Ibura (Jaboatão dos Guararapes), as variações na potencimetria se devem à presença de uma grande quantidade de empresas que exploram água para a venda em carros-pipa.

A partir das cargas hidráulicas utilizadas na confecção do mapa potenciométrico (Figura 6), foi elaborado um Mapa de Linhas de fluxo (Fig.7), onde são observadas importantes informações. Fica claro que o fluxo da água subterrânea é em direção às regiões com menores cargas hidráulicas, coincidindo com as áreas críticas apresentadas no mapa potenciométrico. Nas regiões próximas à linha de costa, principalmente nas áreas mais críticas, fica evidente que a diferença de cargas hidráulicas faz com que a água do oceano passe a fluir em direção ao continente, podendo causar a salinização dos aquíferos costeiros.

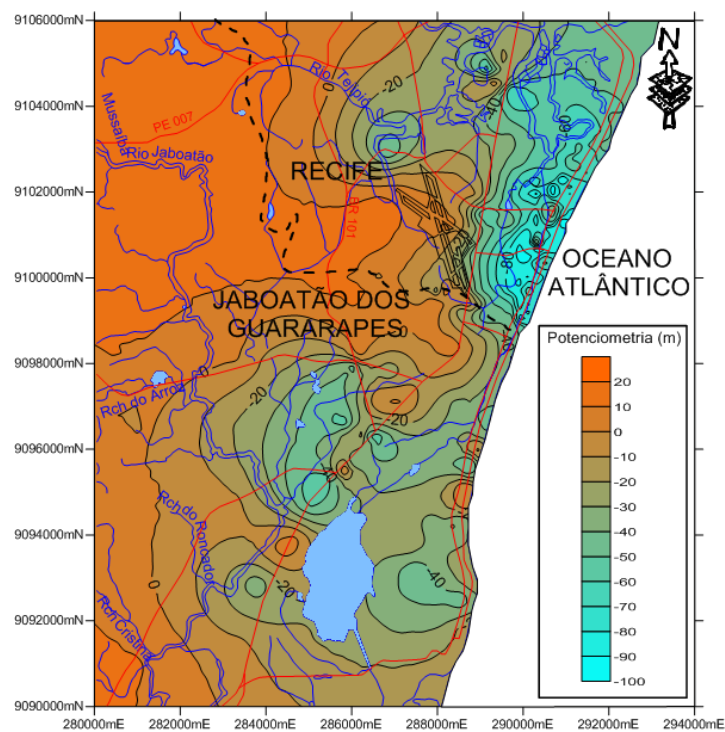


Figura 6: Mapa potenciométrico do Aquífero Cabo.

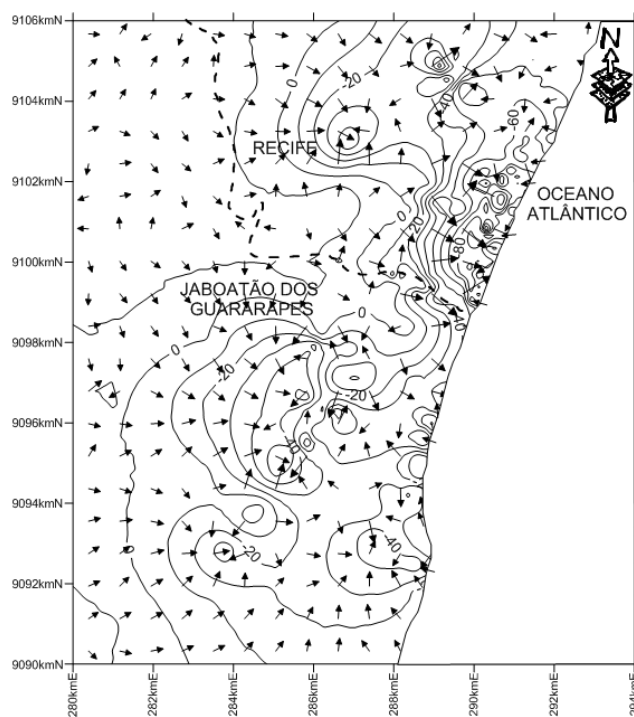


Figura 7: Mapa potenciométrico combinado com as linhas de fluxo do Aquífero Cabo.

SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS DA ÁGUA

A partir da análise da condutividade elétrica da água e dos sólidos totais dissolvidos em cerca de 280 poços da área, foi verificado um teor elevado de salinidade em apenas cerca de 4% desses (Fig. 8). Esses altos teores ocorreram em pontos isolados e boa parte deles está afastada da linha de costa (Fig. 9). Pode ser observado que a grande maioria dos poços que apresentam altos teores de salinidade está muito próxima de outros com teores toleráveis, dando origem a diversos questionamentos, pelo fato de que a inversão no fluxo do aquífero já deveria ter ocasionado um amplo processo de salinização dos aquíferos. Poços antigos que foram cimentados ou abandonados por diversos motivos, entre eles a salinização, não foram contabilizados no estudo devido à falta de dados.

Caso a salinização dos aquíferos causada pela inversão do fluxo devido ao rebaixamento dos níveis fosse um fato

consumado, grande parte dos poços localizados em toda a linha de costa já estariam salinizados, o que não ocorre. Uma hipótese cabível para a elevação na salinidade em pontos isolados na região estudada é a presença de diversos poços mal construídos, isto é, a cimentação (isolamento sanitário) inadequada por vários fatores, entre eles a redução nos custos da obra e a ausência de centralizadores, fazendo com que a água de superfície e de paleomangues penetre no poço, migrando através de espaços entre o isolamento e o revestimento.

Os centralizadores têm um custo relativamente baixo e um importante papel na construção de um poço, já que eles fazem com que o revestimento fique perfeitamente paralelo ao furo, dando origem a uma perfeita cimentação e consequentemente um bom isolamento sanitário, impedindo que sejam formadas regiões sem a presença de cimento (bolhas), o que poderia ser originado a partir de algum grau de inclinação do revestimento.

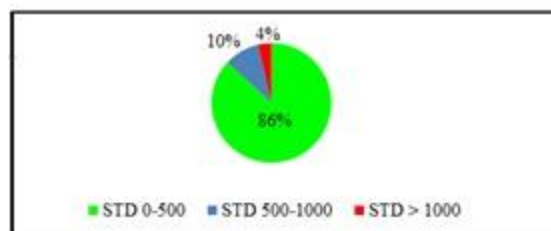


Figura 8: Gráfico com os valores de sólidos totais dissolvidos dos poços analisados.

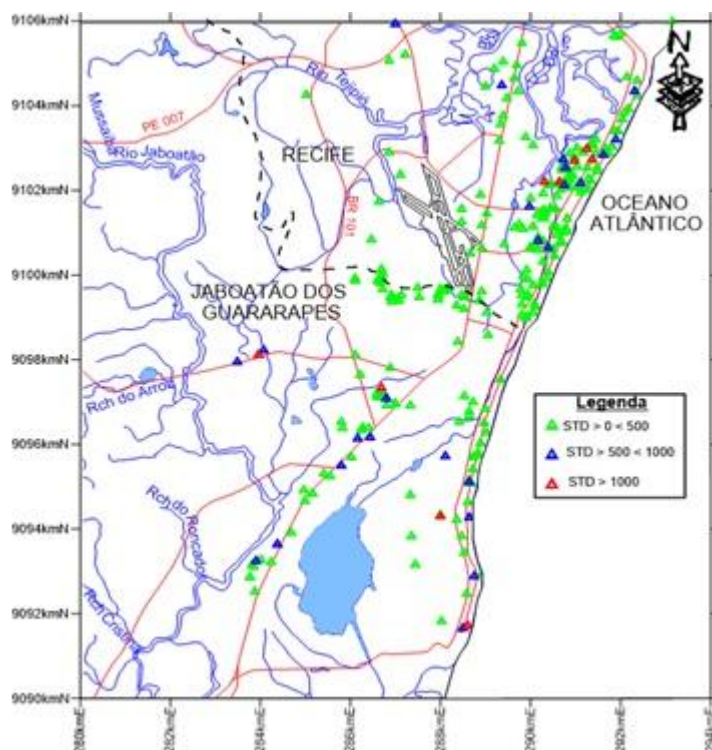


Figura 9: Localização dos poços analisados e seus respectivos valores de sólidos totais dissolvidos.

VARIAÇÃO NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para uma melhor caracterização da evolução de diversos parâmetros físico-químicos ao longo do tempo, foram analisadas as variações da Condutividade Elétrica, Cloreto, Ferro e Sódio ao longo de três ou mais anos seguidos, no período entre 1998 e 2010. Na maior parte dos poços observados foi constatada uma tendência de aumento nos valores, com exceção do Ferro que se manteve estabilizado. Porém, a grande maioria dos parâmetros ainda se encontra dentro do aceitável pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. Esse aumento pode ser caracterizado devido à contaminação que os poços salinizados injetam nos aquíferos, já que fica evidente que as maiores variações ocorreram nas

proximidades dos poços com elevadas cargas hidráulicas.

A hipótese de problemas pontuais em poços caracterizada pela injeção de água contaminada a partir de aquíferos superiores fica mais evidente quando são analisadas as variações de teores globais ao longo dos anos, podendo ser observada uma tendência de aumento (o aumento não é constante), indicando mais uma vez que a salinização dos aquíferos a partir da intrusão marinha não é um fato consumado.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo detalhado dos bancos de dados disponíveis, somado às análises minuciosas de todos os mapas, gráficos, tabelas e perfis confeccionados deram

origem a diversos questionamentos, proposições e afirmações.

Fica evidenciado que as elevadas taxas de bombeamento nas regiões críticas causam impactos negativos nos níveis dos aquíferos e, conseqüentemente, uma redução na carga hidráulica, gerando um risco de inversão no fluxo e a contaminação do aquífero pela água do mar. Ficou provado, porém, que a elevada salinidade em alguns poços da região não é causada pela intrusão marinha ou avanço da cunha salina, mas sim por problemas construtivos nos poços (ausência de centralizadores, material inadequado ou uma cimentação deficiente), descontinuidades nos aquíferos entre outras possibilidades, fazendo com que a água contaminada das porções superiores e de paleomangues penetre nas porções inferiores.

Caso a intrusão marinha devido à inversão do fluxo fosse um fato consumado, a grande maioria dos poços situados próximos à linha da costa já estariam contaminados ou impróprios para uso, o que não acontece, pelo fato de que grande parte dos poços salinizados não estão situados próximos à linha de costa e que diversos poços no entorno, de características semelhantes, estão em perfeitas condições de uso, ou seja, são problemas pontuais.

É importante que, mesmo que não seja a causa atual de salinização dos poços da região, o avanço da cunha salina e a inversão do gradiente hidráulico sejam constantemente estudados e monitorados, já que existe um sério risco de intrusão marinha num futuro próximo.

REFERÊNCIAS

Almeida, C. B.; Jardim De Sá, E. M.; Rabêlo Cruz, L.; Nascimento, M. A. L.; Alves Da Silva, F. C.; Antunes, A. F.; Frutuoso, Jr., L. J.; Lima Filho, M. F.; Souza, Z. S.; Guedes, I. M. G. 2003. A

Suíte Magmática Ipojuca: relações e implicações tectonoestratigráficas na Sub-Bacia de Pernambuco. In: SBQ/Regional Rio de Janeiro, Cong. Bras. de P&D em Petrol. e Gás, 2, Rio de Janeiro/RJ.

Almeida, F.F.M.; Hasui Y; Brito Neves B.B.; Fuck R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG/ Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 8, Campina Grande, Atas 363-391.

Alves, E. C. & Costa, M. P. A. 1986. Interpretação sismoestratigráfica da porção norte do Platô de Pernambuco e suas possíveis correlações com a Bacia de Pernambuco Paraíba. Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia. Anais, 1: 286-297.

Cabral, J. J. S. P. E Montenegro, S. M. G. L. (2004). Considerações sobre a Salinização dos Aquíferos Costeiros na Planície de Recife, in Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento, Edufepe, Recife.

Costa, W.; Manoel Filho, J.; Santos A. C.; Brito, A. M.; Souza, F. J.; Lopes, A. V.; Santos A. J., 1998. Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife. UFPE/FADE, IRDC.

Costa, W.D *et al.* 2002. Estudo Hidrogeológico (HIDROREC II). Relatório Final Secretária de Recursos Hídricos (PE). Recife. 611p.

Cruz, L. R. ; Lima Filho, M. F. ; Neumann, V. H. M. L. ; Jardim De Sá, E. F. ; Alves Da Silva, F. C. ; Frutuoso Jr., L. J. ; Nascimento, M. A. L. Guedes, I. M. G. ; Antunes, A. F. ; Almeida, C. B. . As unidades siliciclásticas da Sub-Bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica. In: II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2003, Rio de Janeiro/RJ. Resumos, 2003. v. 1. p. 50-50.

- Jardim De Sá, E. J.; Alves Da Silva, F. C.; Lima Filho, M. F.; Antunes, A. F.; Rabêlo Cruz, L.; Almeida, C. B.; Nascimento, M. A. L.; Guedes, I. M. G.; Frutuoso Jr., L. J.; Souza, Z. S.; Neumann, V. H. M. L. 2003. As relações de borda da sequência rifte na Sub-Bacia de Pernambuco, NE do Brasil. In: SBQ/Regional Rio de Janeiro, Cong. Bras. de P&D em Petrol. e Gás, 2, Rio de Janeiro/RJ.
- Lima Filho, M. F. 1998. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia de Pernambuco. Tese de Doutorado, Inst. Geociências, USP, São Paulo: 139p.
- Monteiro, A. B. Modelagem de Fluxo subterrâneo nos aquíferos da planície do Recife e seus encaixes. Recife, PE. 2000. 104f. Dissertação de Mestrado - UFPE.
- Oliveira, L. T. 2003. Aspectos Hidrogeológicos da Região Costeira Norte de Pernambuco –Paulista a Goiana. Dissertação de mestrado, Geociências-UFPE, 128p.
- Silva, G.E.S.; Montenegro, Suzana ; Montenegro, A. A. A. ; Costa, L.M. ; Cavalcanti, G. . Aplicação e modelagem da recarga artificial com águas pluviais para recuperação potenciométrica de aquífero costeiro na planície do Recife-PE. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, p. 1-10, 2006.