

COMPORTAMENTO PERIÓDICO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS IN SITU NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ÁREA LOCALIZADA NO PECÉM, REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA/CE

Pâmella Moura¹
Maria da Conceição R. Gomes²
Itabaraci N. Cavalcante³

10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v25n2p89-102

1- Programa de Pós-Graduação em Geologia. Departamento de Geologia/UFC, Fortaleza/Ceará.
pamella_mm@yahoo.com.br

2- Universidade Federal do Cariri. Departamento de Engenharia Civil/UFGA, Juazeiro do Norte/Ceará. conceicaoabelo@yahoo.com.br

3- Departamento de Geologia/UFC, Fortaleza/Ceará. itabaracicavalcante@gmail.com

RESUMO

Este trabalho foi realizado em área localizada no Pecém, Região Metropolitana de Fortaleza. Teve por objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas por meio de monitoramento periódico *in situ* dos parâmetros físico-químicos pH, Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica, além de verificar possível influência da dinâmica climática no comportamento de tais parâmetros. Foram realizadas quatro etapas de monitoramento em 24 poços ao longo de 2013, duas na estação chuvosa e duas na estação seca. Identificou-se a presença de três Sistemas Aquíferos principais: Dunas/Paleodunas, Barreiras e Fissural. Os resultados de pH permitiram classificar as águas subterrâneas como ácidas, fora dos padrões de potabilidade. As concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos apresentaram-se dentro dos padrões de potabilidade e permitiram classificar as águas subterrâneas como *águas doces*. O Sistema Aquífero Barreiras apresentou as águas mais ácidas da região e o Sistema Aquífero Fissural apresentou as maiores concentrações de STD. As águas subterrâneas apresentaram-se mais ácidas, condutivas e salinas no período de estiagem. A qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Dunas/Paleodunas variou principalmente em função do método construtivo do poço, se tubular ou escavado. No aquífero Barreiras as concentrações avaliadas dependeram, sobretudo, de sua proximidade com os aquíferos adjacentes. O comportamento periódico dos parâmetros apresentou distribuição espacial similares para fevereiro e dezembro, e para maio e setembro, embora o regime pluviométrico não tenha acarretado variações significativas na qualidade das águas subterrâneas do Pecém durante o período monitorado.

Palavras-chave: Aquíferos, Sólidos Totais Dissolvidos, pH, Condutividade Elétrica, CIPP

ABSTRACT

This work was conducted in the Pecém district, Metropolitan Region of Fortaleza, Ceará State, Brazil. It aims to evaluate the groundwater quality by means of *in situ* periodic monitoring of pH, electrical conductivity, and total dissolved solids, in order to check possible changes in the behavior of these parameters. Four stages were held in 24 monitoring wells throughout 2013 in the rainy and dry seasons. It was possible to identify three main aquifer systems: Dunes/Paleodunes, Barreiras, and Fissural. The pH results allowed classifying groundwater as acidic, outside the potability standards. Total dissolved solids concentrations are within the

potability standards and allowed to classify the groundwater as *fresh water*. The Barreiras Aquifer has more acidic groundwater of the region, and the Fissural Aquifer presents the highest concentrations of salts. The major acidity and salt concentrations were found along the dry season. It is possible to conclude that the quality of groundwater from Dunes/Paleodunes Aquifer changes according the type of wells, i.e. if dug or drilling ones. The pH and TDS concentrations evaluated in Barreiras Aquifer changes according to its proximity to other adjacent aquifers. The seasonal behavior of the parameters shows spatial distribution similarities in February and December, and also in May and September, although the rainfall regime does not entail significant variations in the groundwater quality of the Pecém district in 2013.

Keywords: Aquifers, Total Dissolved Solids, pH, Electrical Conductivity, CIPP

INTRODUÇÃO

A Região Nordeste apresenta problema histórico de escassez de água, que em parte é sanado pela captação de águas subterrâneas por meio de poços tubulares e escavados (cacimbas e amazonas). No ano de 2014, o estado do Ceará contava com aproximadamente 21 mil poços cadastrados no Banco de Dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), sendo em grande maioria destinado para o uso doméstico e abastecimento urbano (Brasil, 2014).

Na região de estudo, localizada a 60 km a oeste da capital cearense, somente 37,8% dos domicílios encontram-se ligados à rede de abastecimento de água (IPECE, 2012), o que reitera a importância das águas subterrâneas para abastecimento da população local. Contudo, muitas vezes essas águas são captadas de maneira inadequada, por meio de poços mal construídos, sem proteção superficial e sem estudos que indiquem o melhor local para a instalação dos poços, o que coloca em risco a qualidade das águas, sobretudo porque, somente 31% das residências locais se encontram ligadas à rede geral de esgoto (IPECE, 2012).

No local, também se encontra em desenvolvimento o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) que irá abrigar diversos seguimentos industriais, como siderúrgicas, refinarias, metalúrgicas e

termoelétricas, o que irá aumentar a demanda por água no local e o risco de contaminação oriunda de atividades industriais. A parte desta situação, a dinâmica climática regional marcada por duas estações distintas em termos de distribuição pluviométrica, pode acarretar alterações na qualidade das águas subterrâneas em termos de acidez e concentrações de sais, aumentando ainda mais o estresse hídrico da região.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo o monitoramento periódico do pH, da Condutividade Elétrica (CE) e dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) a fim de observar possíveis alterações na qualidade das águas subterrâneas em função da distribuição das chuvas, e ao mesmo tempo, realizar uma avaliação preliminar da qualidade destas águas em termos de potabilidade, tendo em vista que concentrações elevadas de sais e situações de intensa acidez ou alcalinidade podem ser tratadas como indícios de poluição das águas subterrâneas.

AREA DE ESTUDO

Localizada na Região Metropolitana de Fortaleza, nos municípios de São Gonçalo do Amarante e Caucaia, a área de estudo possui aproximadamente 53 km² e compreende a porção norte do Complexo

Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), a área do Jardim Botânico de São Gonçalo do Amarante e parte da Estação Ecológica do Pecém. Abrange também alguns loteamentos residenciais, principalmente nos setores nordeste, norte e noroeste, com áreas demarcadas para expansão desses bairros.

A área é formada por um embasamento cristalino pré-cambriano, principalmente gnaisses, migmatitos e lentes quartzíticas do Complexo Ceará. Sobre este embasamento, assentam-se os Tabuleiros Pré-litorâneos constituídos por rochas da Formação Barreiras (Brandão, 1995b). São

arenitos, argilitos, conglomerados e níveis lateríticos de idade miocênica (Arai, 2006), que ocorrem aflorantes nas porções oeste e nordeste da área.

Acima desta unidade, predominam terrenos sedimentares quaternários onde se encontram campos de dunas, paleodunas e outros sistemas deposicionais costeiros (Moura, 2014). Caracterizam-se como a principal área de recarga das águas subterrâneas locais, com formação de lagos interdunares durante a estação das chuvas (Fig. 1).

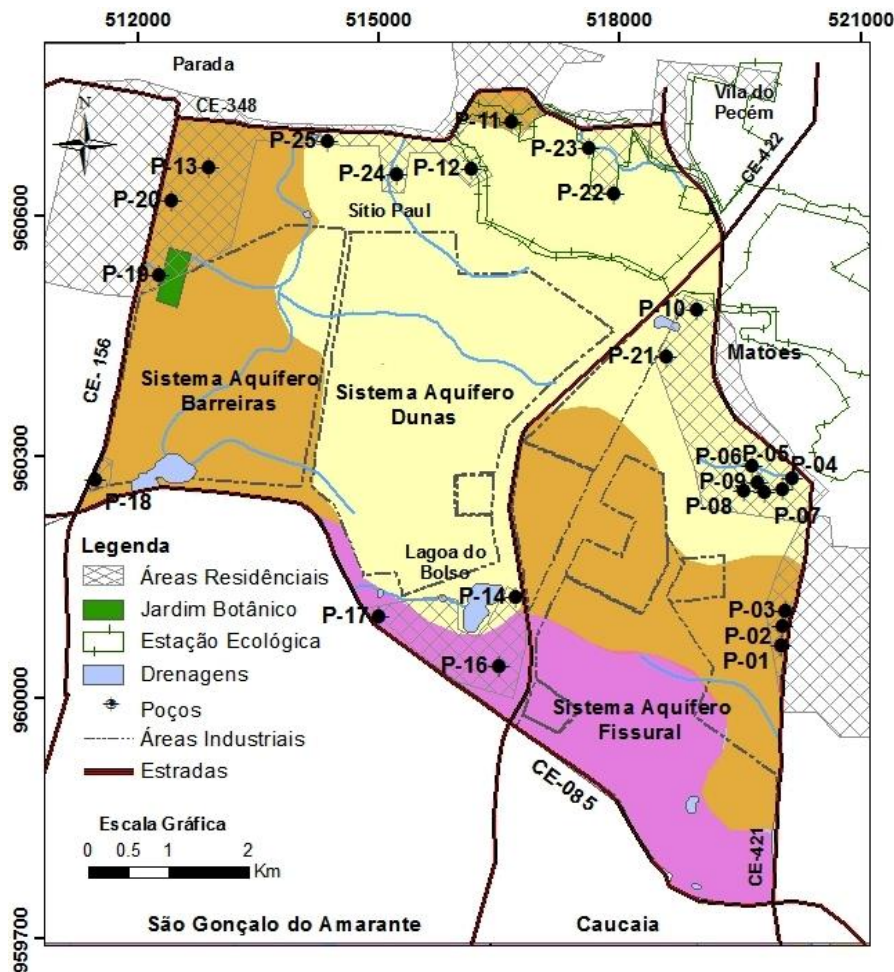


Figura 1. Área de estudo, localização dos poços monitorados e área de exposição dos principais aquíferos da região (Fonte: Cavalcante, 2003 e mapeamento de campo)

O clima é caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa, com média pluviométrica anual de 1020 mm/ano e temperatura média de 27°C (FUNCEME, 2014, série histórica: 1982 e 2013). A maior

média mensal de precipitação ocorre em março, com 250 mm, e a menor em novembro, com apenas 2,0 mm, sendo que 75% do volume das chuvas estão concentrados entre fevereiro e maio (Fig. 2).

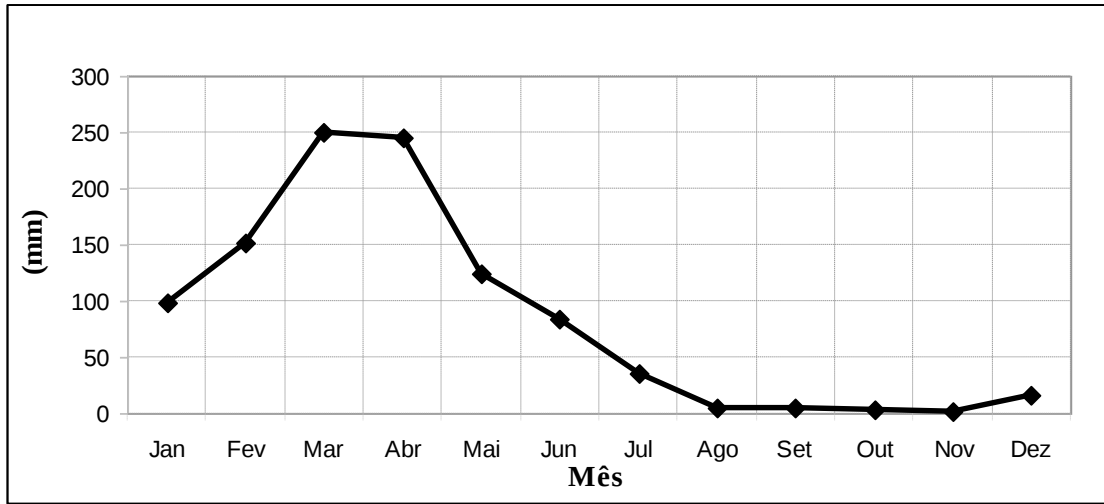


Figura 2. Média mensal de precipitação no período de 1982-2013 para a Estação Meteorológica de São Gonçalo do Amarante. (Fonte dos dados: FUNCEME, 2014)

Caracterização Hidrogeológica

Três sistemas aquíferos caracterizam a hidrogeologia da região: Sistema Aquífero Dunas/Paleodunas e Sistema Aquífero Barreiras, de domínio poroso clástico e porosidade intergranular primária; e Sistema Aquífero Fissural, de domínio fraturado e porosidade secundária, englobando os litotipos cristalinos e seus subprodutos (Figura 1).

O Sistema Aquífero Fissural abrange aproximadamente 14% da área de estudo e corresponde aos litotipos formados por rochas ígneas e metamórficas do embasamento Pré-Cambriano, além dos solos residuais e saprólitos oriundos de tais rochas cristalinas. Segundo Cavalcante (1998), o enquadramento dos terrenos cristalinos como aquíferos depende da

existência de estruturas rúpteis, abertas e interconectadas com a zona de recarga.

Os poços deste sistema que foram monitorados neste trabalho são rasos, com profundidade média de 7m e níveis estáticos em torno de 5,3m de profundidade. Os poços em questão estão instalados em porções do solo residual e manto de alteração, não atingindo a rocha sã (Moura, 2014). Cavalcante (1997) apresenta valores menores que 10^{-5} m/s para a condutividade hidráulica e porosidade menor que 1%.

O Sistema Aquífero Barreiras recobre aproximadamente 36% da área de estudo, sendo formado por rochas sedimentares pouco consolidadas, composto principalmente por intercalação de camadas arenosas a silto-argilosas, de forma a constituir um pacote heterogêneo tanto vertical, quanto horizontalmente, o que lhe confere comportamento hidrodinâmico

bastante variável (Cavalcante, 1998). Estimativas de condutividade hidráulica e porosidade efetiva apresentam valores da ordem de $1,8 \times 10^{-6}$ m/s e 10%, respectivamente (Bianchi *et al.*, 1984).

Em algumas porções do aquífero Barreiras têm-se a presença de nódulos e níveis lateríticos ferruginosos, perceptíveis no momento de captação das águas subterrâneas, quando ocorre a oxidação do ferro e formação de uma película de tonalidade rosa a amarelada na superfície da água, popularmente conhecida como “capa rosa”. A captação de água subterrânea neste sistema é realizada, principalmente, por meio de poços tubulares, com profundidade média de aproximadamente 17m e níveis estáticos em torno de 6m de profundidade (Moura, 2014).

O Sistema Aquífero Dunas/Paleodunas recobre cerca de 50% da área, sendo constituído por aquíferos livres formados por sedimentos não consolidados, principalmente areias quartzosas de granulação fina a média, bem selecionadas, com intercalações ocasionais de níveis silto-argilosos a argilosos. Apesar de geologicamente envolver as unidades dunas e paleodunas, este sistema pode ser considerado como um sistema único de aquíferos, uma vez que possuem características hidrodinâmicas similares (Morais, 2011).

Na região, este sistema pode assumir a função de reservatório, onde por meio de infiltração vertical descendente irá recarregar a unidade aquífera inferior, no caso, o aquífero Barreiras. Cavalcante (1998) aponta vazões de $2,4\text{m}^3/\text{h}$, e Nogueira *et al.* (2005) apontam valores de condutividade hidráulica da ordem de $1,4 \times 10^{-4}$ m/s e $1.600\text{mm}/\text{h}$ para capacidade de infiltração.

A captação de água subterrânea neste sistema é realizada, principalmente, por meio de poços tubulares, com profundidade média de 8m e níveis estáticos rasos, em

torno de 4,6m de profundidade (Moura, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização hidrogeológica da área foi realizada por meio de dados disponíveis na literatura e atividades de campo, com o cadastramento de 24 poços em fevereiro de 2013 (17 poços tubulares e sete poços escavados, tipo cacimba), contudo, em apenas 17 poços foi possível realizar o monitoramento dos parâmetros em todas as etapas de campo.

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos *in situ* foi realizado em quatro etapas: duas na estação chuvosa (fevereiro e maio) e duas na estação seca (setembro e dezembro). Em cada etapa foram realizadas medições dos parâmetros pH, STD e CE. Para as leituras de CE e STD utilizou-se um condutivímetro digital, e para as leituras de pH foi utilizado um aparelho multi parâmetros. Os equipamentos foram calibrados antes das etapas de campo com soluções-padrão específicas.

Os poços foram agrupados a partir da área de exposição dos aquíferos nos quais se encontram alocados e foram subdivididos de acordo com a técnica construtiva (tubular ou escavado). Essa medida foi necessária uma vez que os poços monitorados foram construídos com fins específicos de obtenção de água, e não apresentam descrição detalhada de sua litologia em subsuperfície.

Em função do caráter livre e dos níveis estáticos rasos encontrados nas porções dos aquíferos que foram monitoradas neste trabalho, e da homogeneidade das características ambientais da área, optou-se por avaliar o comportamento dos parâmetros a partir de valores médios, destacando apenas alguns poços com variações periódicas significativas.

A avaliação de parâmetros físico-químicos *in situ* apresenta-se como método simples e objetivo de qualificar as águas

subterrâneas, podendo ser utilizada como indicativo preliminar das condições de potabilidade e poluição, sendo comum, por exemplo, a associação de STD à presença de compostos nitrogenados, como nitratos e nitritos, e a associação de condutividade elétrica elevada à intrusão de cunha salina.

A CE representa a capacidade de uma solução conduzir corrente elétrica e depende diretamente da quantidade de íons dissolvidos nesta solução, assim como sua variação é diretamente proporcional à variação da temperatura. Desta forma, utiliza-se para a medição do CE a temperatura padrão de 25°C, corrigida automaticamente pelo equipamento de leitura. Segundo Oliveira (2013), este parâmetro não determina quais íons estão presentes em uma amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração e esgotos.

Os Sólidos Totais Dissolvidos compreendem todos os constituintes minerais dissolvidos na água por unidade de volume, sejam sais ou íons voláteis, e correlaciona-se diretamente com a condutividade elétrica, sendo que neste trabalho, relacionam-se por um fator numérico de 0,5, isto é, os valores de STD correspondem à metade dos valores da CE a 25°C.

O pH corresponde à concentração de íon hidrogênio, controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons H^+ e OH^- presentes na solução, sendo expresso em moles de íons de hidrogênio por litro de solução. No caso das águas subterrâneas o pH é controlado, principalmente, pela dissolução do gás carbônico durante as reações químicas e dos ácidos orgânicos presentes no solo.

A cartografia apresentada foi desenvolvida em ambiente SIG, sendo que para o zoneamento tendencial foram utilizadas técnicas de interpolação

conhecidas como *krigagem*. Este método está baseado no princípio de que pontos próximos no espaço tendem a apresentar valores semelhantes, se comparados com os pontos mais afastados. Landim (1998) define *krigagem* como um procedimento exato de interpolação que leva em consideração todos os valores observados, e que pode ser a base para cartografia automática por computador quando se dispões de valores de uma variável regionalizada dispostos por uma determinada área.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de pH permitiram caracterizar as águas subterrâneas como ácidas, dado que 90% das leituras (78) apresentaram pH entre 4,7 e 6,9. Somente 10% das leituras (9) apresentaram caráter alcalino, com pH máximo de 9,3. Em comparação com os padrões de potabilidade da Portaria nº. 2914 (Brasil, 2011), 41,7% dos poços apresentaram pH anual médio fora da faixa recomendada (entre 6 e 9,5).

As águas subterrâneas apresentaram-se levemente mais ácidas na estação seca, com pH mínimo de 4,7 no poço P-16 (setor sul, aquífero Fissural). Na estação chuvosa o pH mínimo foi de 5,1 no poço P-19 (setor oeste, aquífero Barreiras). Os resultados apontam aumento da acidez de fevereiro para maio, com variação do valor médio de 6,6 para 6,0. Entre setembro e dezembro o valor médio de pH apresentou-se quase estável, com pequeno aumento da acidez em dezembro (Tabela 1).

A acidez das águas subterrâneas locais pode estar relacionada à influência de águas pluviais na recarga dos aquíferos, que aumentam a concentração de matéria orgânica e dióxido de carbono (CO_2) dissolvido. Gomes (2013) corrobora neste aspecto ao atentar que águas subterrâneas com valores de pH na faixa de 5 e 6 são águas recentes, provavelmente, oriundas da infiltração das chuvas. A Figura 3 apresenta

a variação periódica do pH para a área de estudo a partir dos valores médios obtidos para cada aquífero.

No que diz respeito à concentração de sais, os resultados obtidos permitem classificar as águas subterrâneas da região como *águas doces*, conforme a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), com os seguintes valores médios para águas subterrâneas da região: 247 μ S/cm de CE e 138mg/L de STD (Tabela 1).

As maiores concentrações foram registradas em dezembro e as menores concentrações em maio. Embora a amplitude entre os valores seja pequena, verifica-se um aumento sutil da concentração de STD no período de estiagem (Tabela 1). A Figura 4 apresenta a variação periódica do STD para a área de estudo a partir dos valores médios obtidos para cada aquífero.

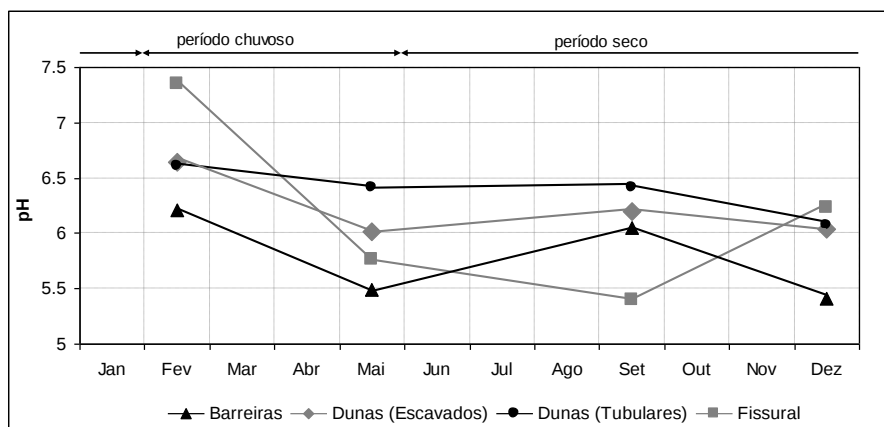


Figura 3. Variação periódica do pH medido nos poços tubulares e escavados a partir de valores médios. O gráfico considera apenas os poços que possuem medidas para as quatro etapas de monitoramento

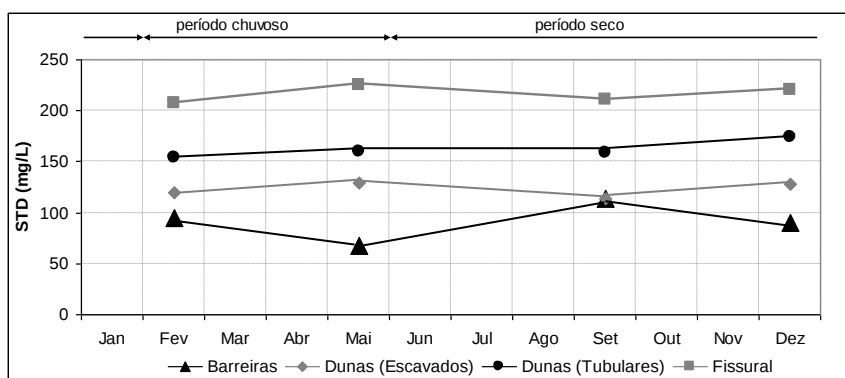


Figura 4. Variação periódica de STD (mg/L) medidos nos poços tubulares e escavados. O gráfico considera apenas os poços que possuem medidas para as quatro etapas de monitoramento

Acidez, STD e CE do Sistema Aquífero Dunas/Paleodunas

As águas subterrâneas dos poços alocados na área de exposição do aquífero Dunas/Paleodunas apresentaram-se ácidas, com pH médio de 6,3. Numa avaliação dos valores pontuais, os resultados demonstraram maior variação do pH entre os poços tubulares em comparação com os poços escavados (Tabela 1).

Entre os poços escavados, as médias periódicas variaram de 6,6 em fevereiro para 6,0 em dezembro. Os poços P-06 e P-21 apresentaram aumento da acidez de fevereiro para maio, que apesar de significativo, acompanha a tendência média da região (Figura 3).

Entre os poços tubulares, as médias periódicas variaram de 6,6 em fevereiro para 6,1 em dezembro (Figura 3). Os poços P-22 e P-25 chamam atenção pela grande variação do pH ao longo do ano. Para o primeiro poço não se encontrou em campo nenhum indício para tal variação, contudo, o poço P-25 apresentava condições sanitárias bastante precárias (o poço encontrava-se no nível do solo, sem nenhum material de proteção), o que poderia explicar uma possível alteração na qualidade de sua água subterrânea, o que deve ser detalhado por meio de análises químicas laboratoriais.

Com relação à concentração de sais, as águas subterrâneas do aquífero Dunas/Paleodunas apresentaram, em média, 146mg/L de STD e 292 μ S/cm de CE, sem variações médias significativas ao longo de 2013. Os poços tubulares apresentaram águas subterrâneas com concentração média de STD de 162mg/L, ou seja, aproximadamente 40% superior aos poços escavados, que apresentaram média de 122mg/L (Figura 4).

Entre os poços tubulares, se destacam as concentrações do poço P-10 (setor nordeste), que embora estejam dentro dos padrões de potabilidade (339mg/L como

STD médio), encontra-se acima das médias locais. Este poço está alocado em uma propriedade destinada à produção de ervas e hortaliças, onde o uso de fertilizantes pode acarretar o aumento destes teores nas águas subterrâneas.

Acidez, STD e CE do Sistema Aquífero Barreiras

Na área de exposição do aquífero Barreiras as águas subterrâneas apresentaram pH médio de 5,8, com valores entre 6,2 (fevereiro) e 5,4 (dezembro), similares ao comportamento sazonal das águas subterrâneas do aquífero Dunas/Paleodunas (Figura 3). Os dados indicam um padrão de comportamento para os poços P-01 e P-03 e outro para os poços P-13, P-19 e P-20 (Tabela 1).

Os dois primeiros poços encontram-se a sudeste da área de estudo, próximos a CE-421, local em que o aquífero Barreiras encontra-se mais próximo à interface com o aquífero Fissural. Os outros três poços encontram-se a noroeste da área, entre a CE-156 e CE-348, próximos de algumas drenagens superficiais e da interface com o aquífero Dunas/Paleodunas, o que explicaria sua maior acidez.

No que diz respeito à concentração de sais, as águas subterrâneas apresentaram médias de 92mg/L para STD e 183 μ S/cm para CE (Tabela 1). A amplitude dos valores de STD destes poços se concentra entre 43 e 155mg/L, à exceção do P-03 (setor sudeste) que apresentou valores fora do comportamento padrão. Este poço possui cerca de 60m de profundidade e poderia captar águas tanto do aquífero Barreiras, quanto do aquífero Fissural, o que explicaria a variação dos valores obtidos ao longo do ano. No entanto, essa hipótese só poderá ser confirmada com análises químicas laboratoriais e avaliação detalhada do perfil técnico-construtivo do poço, não disponível até o momento deste trabalho.

Acidez, STD e CE do Sistema Aquífero Fissural

As águas subterrâneas dos poços alocados em área de exposição do aquífero Fissural apresentaram pH médio de 6,2 (Tabela 1), com aumento significativo da acidez entre fevereiro e setembro, quando o pH médio variou 7,4 para 5,4, respectivamente (Figura 3).

Com relação ao STD e CE, estas águas apresentaram concentrações médias de 216mg/L e 432 μ S/cm, respectivamente. A menor concentração média foi verificada em fevereiro, e a maior em maio (Figura 4). Entretanto, para todos os parâmetros, as diferenças significativas nas concentrações apresentadas pelos poços não permitiram estabelecer padrões sobre os teores obtidos neste aquífero.

Os resultados sugerem que os poços P-17 e P-16, embora sobre a mesma área de exposição, captem águas de porções distintas do aquífero: o poço P-16 captaria águas em porções do residual (que por ser argiloso, explicaria a maior acidez e as menores concentrações salinas); e o poço P-17 realizaria a captação junto ao manto de alteração das rochas cristalinas, o que explicaria a maior concentração de sais e alcalinidade. Contudo, essa hipótese só pode ser verificada com a análise criteriosa dos

perfis técnico-construtivos dos poços, não disponíveis até o momento.

Zoneamento Periódico de pH e STD

No zoneamento espacial do pH pode-se observar uma tendência sazonal, com predomínio de áreas com intervalos entre 4 e 6 em maio e dezembro (50% e 49%, respectivamente), predomínio de áreas com intervalo entre 6 e 7 em setembro (44%), e predomínio de zonas de alcalinidade, com intervalo entre 7 e 8 em fevereiro (51%), (Figura 5).

Zonas de acidez (pH entre 4 e 6) ocorrem principalmente nos setores oeste e sul, associados ao aquífero Barreiras. Nos setores leste e norte, zonas de pH com intervalo entre 6 e 7 apresentam-se mais estáveis, e correspondem, em maior parte, as áreas de exposição do aquífero Dunas/Paleodunas. Essa variação reflete a amplitude das leituras de pH em cada um dos aquíferos, uma vez que as médias periódicas do aquífero Dunas/Paleodunas apresentaram-se mais estáveis ao longo do ano, em comparação com os demais aquíferos da área.

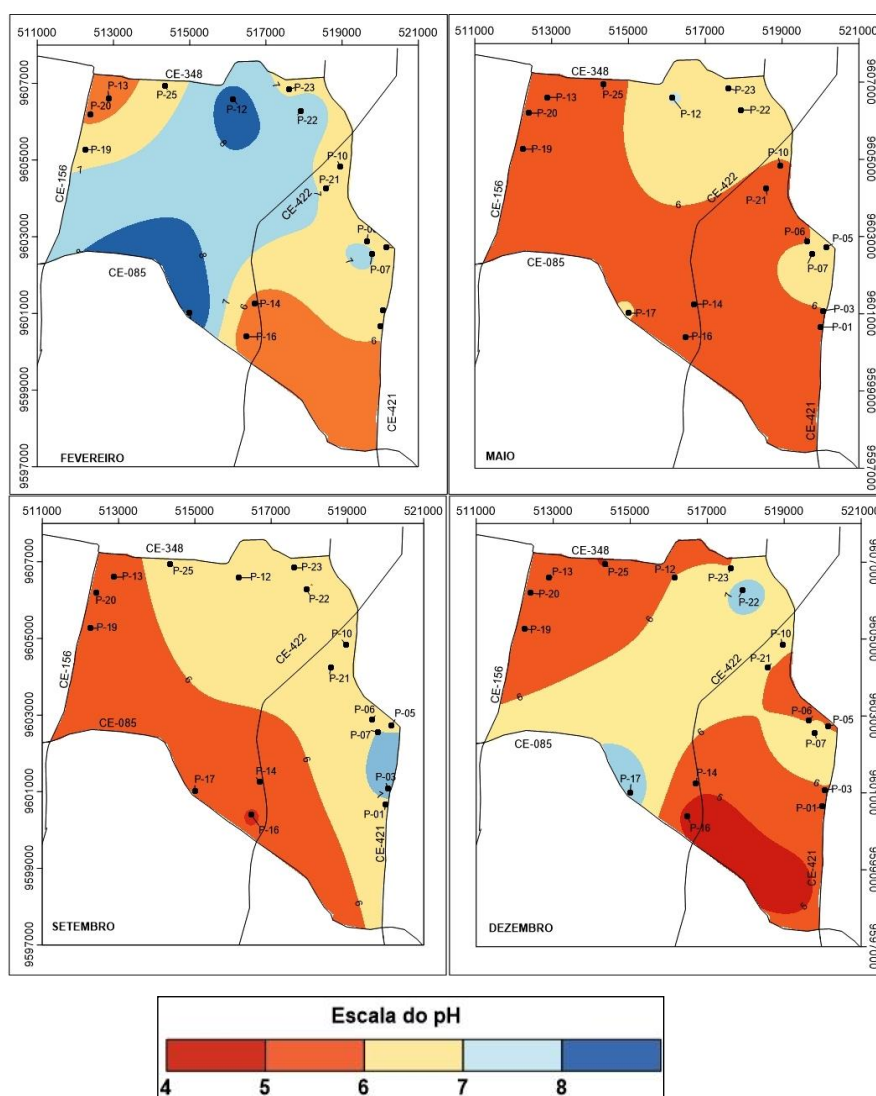


Figura 5. Variação espacial tendencial do pH nas águas subterrâneas da área de estudo no ano de 2013. O zoneamento considera apenas os poços que possuem medidas para as quatro etapas de monitoramento

No zoneamento espacial de STD observa-se o predomínio de áreas com intervalo de concentração entre 100 e 200mg/L, de acordo com as médias calculadas para a região. Verifica-se também o avanço do intervalo de 20 até 100mg/L no sentido noroeste-sudeste, nos meses de fevereiro e maio, e posterior recuo em dezembro (Figura 6). Este avanço ocorre, sobretudo, em área de exposição do aquífero Dunas/Paleodunas, e pode refletir a

influência das águas pluviais na recarga deste aquífero.

Duas pequenas áreas apresentam concentrações acima dos 300mg/L. A primeira, localizada a nordeste, próximo a CE-422, reflete as concentrações obtidas no poço P-10 e não se enquadra ao padrão de comportamento apresentado para o aquífero Dunas/Paleodunas, e como já comentado, este local pode estar sob influência de alterações antrópicas.

A segunda área, localizada a sudoeste, junto a CE-085, reflete diretamente as concentrações obtidas no poço P-17, que apresentou as maiores concentrações salinas entre os poços monitorados, provavelmente

por influência da litologia cristalina do aquífero Fissural.

A Tabela 1 apresenta as concentrações *in situ* de pH, STD e CE ao longo do monitoramento realizado em 2013.

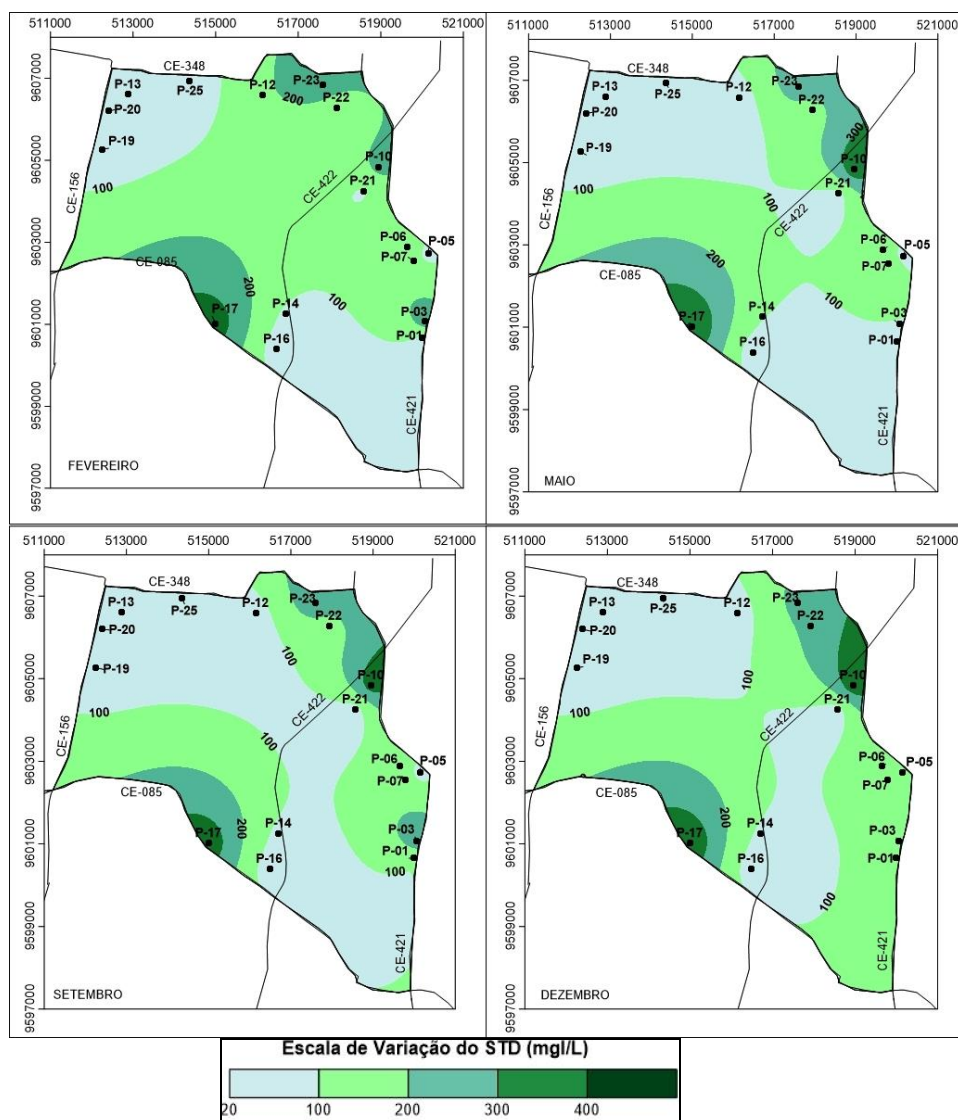


Figura 6. Variação espacial tendencial de STD (mg/L) nas águas subterrâneas da área de estudo no ano de 2013

Tabela 1 – Valores de pH, Condutividade Elétrica a 25°C (µs/cm) e Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) medidos *in situ* durante as quatro etapas de monitoramento.

Poço	Aquífero Principal	Estação Chuvosa						Estação Seca					
		Fevereiro			Maio			Setembro			Dezembro		
		pH	CE	STD	pH	CE	STD	pH	CE	STD	pH	CE	STD
P-01 (e)	Barreiras	6,1	158,2	79,4	5,7	166,8	83,4	6,7	212,0	105,9	5,2	310,0	154,8
P-02 (e)	Barreiras	5,8	282,0	140,8	5,5	220,0	109,9	-	-	-	5,8	198,40	99,30
P-03 (t)	Barreiras	6,8	522,0	261,0	5,9	192,1	96,0	7,5	559,0	279,0	6,0	243,0	121,4
P-04 (t)	Dunas	6,3	109,7	54,8	5,7	112,3	56,2	-	-	-	-	-	-
P-05 (t)	Dunas	6,0	135,4	67,7	6,9	122,5	60,7	6,8	119,2	59,6	5,9	214,0	107,1
P-06 (e)	Dunas	6,9	335,0	167,3	5,8	288,0	143,9	6,1	314,0	157,2	5,9	372,0	185,8
P-07 (e)	Dunas	7,2	278,0	139,0	6,9	392,0	196,1	7,1	316,0	158,1	7,1	365,0	182,6
P-08 (t)	Dunas	6,0	222,0	111,6	5,8	204,0	102,2	6,2	266,0	133,1	-	-	-
P-09 (t)	Dunas	6,4	166,6	83,3	6,0	177,7	88,9	6,3	224,0	111,9	-	-	-
P-10 (t)	Dunas	6,1	465,0	232,0	5,9	769,0	384,0	6,2	721,0	359,0	6,1	766,0	383,0
P-11 (t)	Barreiras	5,6	155,3	77,7	6,5	213,0	106,3	-	-	-	-	-	-
P-12 (t)	Dunas	6,8	374,0	186,8	7,1	102,9	51,5	6,9	102,7	51,4	6,0	110,2	55,1
P-13 (t)	Barreiras	5,7	72,6	36,3	5,2	131,7	65,9	5,3	125,5	67,2	5,3	174,6	87,3
P-14 (e)	Dunas	5,6	164,5	82,3	5,5	213,0	106,7	5,4	156,2	78,1	5,2	163,9	81,9
P-16 (t)	Fissural	5,4	90,5	45,2	5,5	76,0	38,0	4,9	86,5	43,2	4,7	86,4	43,2
P-17 (e)	Fissural	9,3	737,0	369,0	6,0	826,0	413,0	5,9	756,0	378,0	7,8	798,0	398,0
P-18 (t)	Barreiras	6,6	98,3	49,1	5,3	91,3	45,6	-	-	-	5,4	106,0	53,0
P-19 (t)	Barreiras	6,7	86,1	43,0	5,1	80,4	40,2	5,3	76,5	38,2	5,1	61,7	30,8
P-20 (t)	Barreiras	5,7	104,3	52,1	5,4	109,7	54,8	5,5	154,6	77,3	5,4	113,4	56,9
P-21 (e)	Dunas	6,9	183,5	91,8	5,8	139,2	69,6	6,3	119,3	59,7	6,0	119,0	59,5
P-22 (t)	Dunas	7,9	272,0	136,1	6,7	288,0	143,8	6,0	277,0	138,4	7,5	455,0	228
P-23 (t)	Dunas	6,6	538,0	269,0	6,4	567,0	283,0	6,1	594,0	297,0	6,0	480,0	240,0
P-24 (t)	Dunas	5,7	217,0	108,4	5,7	385,0	192,7	5,5	228,0	114	-	-	-
P-25 (t)	Dunas	6,3	58,8	29,4	5,4	71,4	35,7	6,6	94,5	47,3	5,0	64,2	32,1
Média*		6,6	269	135	6,0	267	133	6,1	281	141	5,9	288	144

* As médias foram calculadas apenas para poços que possuíam medidas nas quatro etapas de monitoramento (17 poços). Em negrito, o valor mínimo e máximo medido em cada mês. (e) = poço escavado. (t) = poço tubular.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação periódica do pH e da concentração de STD e CE *in situ* nas águas subterrâneas da área de estudo permitem concluir que o regime pluviométrico exerce pequena influência nos parâmetros monitorados. Apesar das variações nas concentrações de STD e na acidez ao longo do ano, com ligeiro aumento das médias no período de estiagem, tais variações não

foram suficientes para alterar a qualidade das águas subterrâneas locais.

Entretanto, cabe ressaltar que no zoneamento periódico dos parâmetros foi possível identificar uma tendência de comportamento similar para fevereiro e dezembro, e outra para maio e setembro. Observa-se também que as áreas de menor concentração de sais se assemelham às áreas de maior acidez, o que demonstra a correlação entre tais parâmetros.

O método construtivo dos poços alocados em área de exposição do aquífero Dunas/Paleodunas exerce influência na qualidade das águas subterrâneas, uma vez que os poços escavados são mais susceptíveis às águas pluviais e aos ácidos orgânicos do solo em comparação com os poços tubulares.

A acidez observada nos poços alocados no aquífero Barreiras sugere a influência dos aquíferos que estão próximos a sua interface na qualidade de suas águas subterrâneas: na região onde ocorre influência do aquífero Dunas/Paleodunas as águas apresentam-se mais ácidas, por sua vez, na região mais próxima do aquífero Fissural, as águas apresentam menor acidez.

Neste mesmo aquífero, a acidez também pode sofrer influência de lentes argilas presentes no pacote sedimentar. No aquífero Fissural, o aporte de íons salinos, comum neste meio, não se apresenta suficiente para tornar alcalino o pH das águas subterrâneas analisadas.

As maiores concentrações de sais ocorrem nas porções nordeste e sudoeste da área, onde predominam os aquíferos Dunas/Paleodunas e Fissural, respectivamente; e as menores concentrações foram medidas nos terrenos associados ao aquífero Barreiras, refletindo a influência da litologia do aquífero na qualidade das águas.

As crescentes taxas de urbanização e industrialização da área, somadas aos baixos índices de saneamento básico e abastecimento de água, podem contribuir para o aumento da acidez e da concentração de sais nos próximos anos, de forma a comprometer a qualidade dessas águas. Desta forma, análises químicas laboratoriais detalhadas e periódicas devem ser realizadas para o desenvolvimento de um *background* mais abrangente da qualidade das águas subterrâneas locais, bem como a ampliação constante do cadastro de poços.

Agradecimentos

Agradecemos aos Professores do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Prof. José A. Beltrão Sabadia, por ter gentilmente cedido parte dos equipamentos utilizados em campo, e Prof. Daniel Rodrigues, pelo auxílio durante os trabalhos de campo. A primeira autora agradece a CAPES pela concessão de bolsa auxílio.

REFERÊNCIAS

- Arai, M. 2006. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. Geologia USP (Série Científica). São Paulo, vol. 6, pp. 1-6.
- Bianchi, L.; Padilha M.W.M.; Teixeira, J.E.M. 1984. Recursos de Água Subterrânea na Região Metropolitana de Fortaleza. Fatores Condicionantes. In: Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF, Fase I Fortaleza. SEPLAN/AUMEF, vol. 1, 139 p.
- Brandão, L.R. 1995b. Diagnóstico Geoambiental e Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza. Projeto SINFOR. CPRM, Fortaleza, 88p.
- Brasil. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2014. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php> Acessado em Maio de 2012; Junho de 2013 e Janeiro de 2014.
- Brasil, Ministério da Saúde. Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicada o DOU de 14/12/2011.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Resolução 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. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº. 053, de 18/03/2005, p. 58-63.
- Cavalcante, J.C. *et al.* (2003) Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Mapa Geológico do Estado do Ceará. Brasil. 1 mapa colorido. Escala 1:500.000.
- Cavalcante, I.N. 1998. Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 164 p.
- Cavalcante, I.N. 1997. Hidrogeologia de meios fissurados. *In*: III Curso de Especialização em Hidrogeologia Aplicada. Instituto de Geociências, UFP, 25 p.
- Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos/ Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2011. Avaliação Hidrogeológica Quali-Quantitativa do Campo de Dunas Pecém/Paracuru, no Estado do Ceará. Relatório Final. Fortaleza, 84p.
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). 2014. Série Histórica do Posto São Gonçalo do Amarante. Disponível em <<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas>>. Acesso em 05 de janeiro de 2014.
- Gomes, M.C.R. Análise Situacional Qualitativa Sobre as Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará/Brasil como Subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos. 2013. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 213 p.
- Instituto de Pesquisas Econômicas do Ceará (IPECE). 2012. Ceará em Números, 2010. Disponível em <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2010/economico/04_1_de_produto_interno_bruto.pdf>. Acesso em 14 maio de 2012.
- Landim P.M.B. 1998. Análise Estatística de Dados Geológicos. 1ª ed. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, Rio Claro, 226p.
- Morais, J.B.A. Fundamentos Hidrogeológicos do Aquífero Dunas para a Gestão dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana de Fortaleza/Ceará. 2011. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação Geologia. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 96 p.
- Moura, P. Vulnerabilidade de Aquíferos: Uso dos Métodos DRASTIC e GOD na Porção Norte do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Estado do Ceará. 2014, 128 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- Nogueira, M.L.; Augusto, V.A.; Castelo Branco, R.M.G.; Castro, D.L. 2005. Caracterização Geoambiental e Hidrogeológica da Zona Portuária do Pecém. Revista de Geologia. Fortaleza, vol. 18, nº. 2, pp. 203-212.
- Oliveira, M.R.B. 2013. O crescimento urbano e o risco à poluição das águas subterrâneas freáticas no entorno da lagoa da Parangaba, Fortaleza/Ceará. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geologia. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. 132 p.
- Sabadia, J.A.B. 2001. Impacto del Vertedero de Jangurussu en los Recursos Hídricos de la Ciudad de Fortaleza (Estado do Ceará, Brasil).. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Ciências Geológicas. Facultad de Geología. Universitat de Barcelona, Barcelona, 292 p.