

## Avaliação da qualidade da água subterrânea em poços urbanos considerando os efeitos da sua evolução temporal em parte da cidade de Maceió-AL

José Silvio dos Santos<sup>[1]</sup>, Velber Xavier Nascimento<sup>[2]</sup>, João Gomes da Costa<sup>[3]</sup>, Pedro Henrique de Omena Toledo<sup>[4]</sup>, Thiago José Matos Rocha<sup>[5]</sup>, Paulo Rogério Barbosa de Miranda<sup>[6]</sup>

[1] jsilvios@gmail.com. Centro Universitário Cesmac / Pós-Graduação em Análise de Sistemas Ambientais. [2] velberxavier@gmail.com. Centro Universitário Cesmac / Pós-Graduação em Análise de Sistemas Ambientais. [3] joao-gomes.costa@embrapa.br. Centro Universitário Cesmac / Pós-Graduação em Análise de Sistemas Ambientais. [4] ph\_mcz@hotmail.com. Universidade Federal de Alagoas / Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. [5] thy\_rocha@hotmail.com. Centro Universitário Cesmac / Pós-Graduação em Análise de Sistemas Ambientais. [6] oluap81@gmail.com. Centro Universitário Cesmac / Pós-Graduação em Análise de Sistemas Ambientais.

### RESUMO

O consumo de água subterrânea cresce de forma intensa no Brasil. Porém, o crescimento urbano desordenado, típico das cidades brasileiras, vem produzindo impactos significativos nos mananciais que abastecem essas localidades. Portanto, analisar a qualidade da água utilizada para consumo humano proveniente de poços artesianos públicos, localizados em áreas urbanas densamente povoadas de Maceió-AL, é de grande importância. Para tanto, realizaram-se análises químicas em amostras de água coletadas entre março e julho de 2018. Foram analisados pH, nitrato e amônia, além de realizada uma análise temporal da qualidade desse recurso, por meio de dados de amostragens de anos anteriores. A pesquisa constatou águas em condições de alta acidez em todas as localidades pesquisadas. Em 33% das amostras, as concentrações de nitrato e amônia ficaram acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente. A análise temporal comprovou uma deterioração da qualidade da água nos locais estudados. Os resultados permitiram concluir que a qualidade da água vem diminuindo e que esse processo de degradação já vem se delineando há muito tempo

**Palavras-chave:** Qualidade da água. Águas subterrâneas. Parâmetros físico-químicos.

### ABSTRACT

*Groundwater consumption is increasing in Brazil. However, the disordered urban expansion of Brazilian cities has provoked significant impacts on the water sources that supply these localities. The analysis of the water quality used for human consumption from public artesian wells is very important. Chemical analyses of the underground water were performed from march to July 2018. Nitrate, ammonia and pH were analyzed and compared with data obtained from the last 15 years. It was possible to observe a high acidity in all studied locations. 33% of the water samples presented high levels of nitrate and ammonia. The temporal analysis showed a deterioration of water quality in the studied. These results indicated that the water quality is decreasing, and this degradation process has been going for a long time*

**Keywords:** Water quality. Groundwater. Physicochemical parameters.

## 1 Introdução

O acesso à água de boa qualidade e em quantidade satisfatória é condição essencial para uma vida saudável e digna. Esse recurso natural pode ser, ao mesmo tempo, um veículo de transmissão de doenças e outros agravos ao homem e requisito de boas condições de saúde, particularmente quando é ofertada em quantidade suficiente e com qualidade adequada (HELLER; PÁDUA, 2006).

Apesar da sua importância para a existência e o desenvolvimento de todos os seres vivos, esse recurso vem passando por um processo de degradação intenso. Atualmente, estima-se que 3,6 bilhões de pessoas, quase metade da população mundial, vivem em áreas que apresentam potencial escassez de água por pelo menos um mês por ano; essa população poderá aumentar para algo entre 4,8 bilhões e 5,7 bilhões até 2050 (ONU, 2018).

Nesse contexto, os recursos hídricos subterrâneos destacam-se como fonte de água doce para os diversos usos. O potencial das águas subterrâneas é enorme, sobretudo quando se analisa que, em escala global, 98% das reservas de água doce e líquida se encontram em aquíferos (HIRATA; ZOBY; OLIVEIRA, 2010).

No Brasil, esses recursos são amplamente utilizados. Estima-se que a disponibilidade de água subterrânea no país seja algo em torno de 14.650 m<sup>3</sup>/s. Sua distribuição pelo território nacional não é uniforme, e a produtividade dos aquíferos é variável, havendo regiões com escassez e outras com relativa abundância. Entre os municípios brasileiros, 58% utilizam mananciais de águas superficiais de forma preponderante para o seu abastecimento, enquanto 42% têm, nos mananciais subterrâneos, suas principais fontes (ANA, 2017).

No meio urbano das cidades brasileiras, onde a água subterrânea é fonte importante no abastecimento público, já ocorrem problemas relativos ao rebaixamento acentuado dos níveis e à qualidade das águas, devido às crescentes pressões populacionais e ao uso e ocupação desordenados do solo (BRASIL, 2011). Desse modo, torna-se evidente que o meio urbano, à medida que se desenvolve, acarreta dois movimentos conflitantes: aumento da demanda de água com qualidade e degradação dos mananciais urbanos por contaminação por resíduos urbanos e industriais (TUCCI, 1997).

Em Maceió, as águas subterrâneas contribuem de forma significativa para o abastecimento público. De acordo com a Companhia de Abastecimento de Alagoas (CASAL), 68% da demanda hídrica do

município é suprida por esse recurso (LIMA, 2017). Cabe destacar que a cidade vem passando por um intenso e desordenado processo de urbanização. Estudos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam que a densidade da área urbana da cidade é de cerca de 98% (IBGE, 2017). A tendência desse processo, caracterizado pelo uso e ocupação inadequados do solo urbano, é gerar impactos negativos sobre os mananciais de água superficiais e subterrâneos, especialmente em áreas carentes de infraestrutura em esgotamento sanitário. Dessa forma, faz-se necessário o constante monitoramento e controle da qualidade desse importante recurso.

O objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade da água utilizada para consumo humano proveniente de poços artesianos públicos, localizados em áreas urbanas densamente povoadas da cidade de Maceió-AL. Para tanto, realizaram-se análises químicas em amostras de água coletadas entre março e julho de 2018, para verificar se os teores de pH, nitrato e amônia presentes na água estavam de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação. A pesquisa se propôs, também, a realizar uma análise da evolução temporal da qualidade desse recurso, através de dados contidos em amostragens de anos anteriores, cedidos pela Companhia de Abastecimento de Alagoas (CASAL).

## 2 Referencial teórico

### 2.1 Disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil

A maior reserva de água doce do mundo encontra-se depositada no subsolo, constituindo os diversos aquíferos. As águas subterrâneas representam 29,9% de toda a água doce do planeta, correspondendo a um volume de 10.530.000 km<sup>3</sup>. No Brasil, as condições climáticas e hidrogeológicas são favoráveis à acumulação de águas subterrâneas. Estima-se que a disponibilidade desse recurso depositado em aquíferos brasileiros corresponde a 14.650 m<sup>3</sup>/s (BRASIL, 2011). O maior volume desse recurso destina-se ao abastecimento público de diversos núcleos urbanos.

Segundo Zoby (2008), as condições climáticas e geológicas do país permitiram a formação de sistemas aquíferos, alguns deles de extensão regional, com potencial para suprir água em quantidade e qualidade necessárias às mais diversas atividades.

A boa qualidade e a abundância das águas dos aquíferos brasileiros fazem com que esse recurso seja

bastante utilizado nas diversas regiões do Brasil. A sua contribuição para o abastecimento público é relevante, visto que os principais núcleos urbanos dependem parcialmente das reservas de águas subterrâneas. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), 42% das cidades brasileiras, onde habitam 39 milhões de pessoas, são abastecidas de forma preponderante por águas provenientes de aquíferos (ANA, 2007).

## 2.2 Riscos de contaminação dos aquíferos urbanos

Os aquíferos urbanos estão sujeitos aos mais diversos fatores de contaminação. Sá Filho (2010) salienta que o crescimento desordenado da urbanização e das atividades econômicas nos grandes centros urbanos está intrinsecamente ligado ao crescimento industrial e, portanto, ao crescimento da produção e da emissão de resíduos sólidos, de esgotos domésticos e de poluentes industriais diversos, que são fontes potenciais de poluição da água subterrânea.

De acordo com Toledo (2016), em muitas cidades, as águas subterrâneas são imprescindíveis para o abastecimento humano. Porém, os aquíferos urbanos convivem com o constante risco de contaminação, em virtude dos diversos tipos de poluentes originados da heterogeneidade das atividades que ocorrem na superfície do solo. Ao abordar essa problemática, o referido autor faz as seguintes observações: (a) Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Deve-se evitar que sejam construídos aterros sanitários em áreas de renovação das águas e deve-se procurar escolher, para esses equipamentos, áreas com baixa permeabilidade. Os potenciais efeitos de contaminação das águas subterrâneas devem ser examinados quando da escolha do local do aterro; (b) Grande parte das cidades brasileiras utilizam fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse conjunto tende a contaminar uma parte superior do aquífero. Essa contaminação, por sua vez, pode comprometer o abastecimento de água urbano quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos devido a percolação ou a perfuração inadequada dos poços artesianos; e (c) A rede de condutos de águas pluviais pode contaminar o solo, através de perdas de volume no transporte dessas águas e até por entupimento de trechos da rede, que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

A impermeabilização do solo, decorrente do aumento das áreas construídas nos grandes centros urbanos, é outro fator que impacta negativamente os recursos hídricos subterrâneos. Quando isso ocorre,

como a água não consegue infiltrar no solo, acaba escoando pela superfície, adquirindo velocidade nas áreas de declive acentuado, em direção às partes baixas do relevo. Os resultados desse processo são bastante conhecidos: redução do volume de água na recarga (renovação) dos aquíferos, erosão dos solos, enchentes e assoreamento dos cursos de água (BRASIL, 2007).

## 2.3 Participação das águas subterrâneas no abastecimento público de Maceió

Atualmente, o sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió é composto por captação de águas superficiais e subterrâneas. De acordo com dados da Companhia de Saneamento de Alagoas, as águas superficiais atendem 32% da demanda, tendo como fonte de captação os rios Catolé/Aviação e Pratagy. O restante da demanda – ou seja, 68% – é complementado pela exploração de águas subterrâneas, realizada por meio de 200 poços artesianos profundos, distribuídos pelos diversos bairros da capital (LIMA, 2017).

Ainda de acordo com a CASAL, o intenso aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos no município de Maceió justifica-se pela qualidade das águas subterrâneas e pelo custo relativamente baixo de exploração. Para a empresa, a exploração desse recurso se tornou a melhor solução técnico-econômica para atender não só ao abastecimento humano, mas também às indústrias que se utilizam da água como insumo ou até mesmo como produto principal (LIMA, 2017).

A exploração dos recursos hídricos subterrâneos deve ser feita de forma racional e obedecer aos princípios da sustentabilidade ambiental, uma vez que a recarga das águas retiradas dos aquíferos nem sempre ocorre na mesma velocidade da extração, o que pode provocar a superexploração ou sua exaustão. Nesse sentido, a exploração das águas subterrâneas exige um monitoramento constante dos volumes extraídos (BRASIL, 2007).

## 3 Método da pesquisa

### 3.1 Área de estudo

As amostras utilizadas na avaliação da qualidade da água foram coletadas de poços administrados pela Companhia de Abastecimento de Alagoas (CASAL). Para o desenvolvimento das pesquisas, foram escolhidos 12 pontos de coleta, situados em diferentes bairros, todos inseridos na área urbana da cidade de Maceió. A localização desses pontos de coleta

(apresentada na Tabela 1) em coordenadas geográficas foi realizada por meio de GPS.

Para obter melhores resultados, na escolha dos pontos de coleta foram consideradas as características dos poços e da área de estudo. Dessa forma, deu-se preferência a (a) localidades que estão inseridas na área urbana de Maceió, (b) localidades que são abastecidas, unicamente, por águas subterrâneas e (c) poços com histórico de análises abrangente.

**Tabela 1** – Localização dos pontos de coleta e suas respectivas localidades

Bacia	Poço	Local	Latitude	Longitude
Silva	P1	Bebedouro	9°37'31"S	35°44'43"W
	P2	Vila Saem	9°37'28"S	35°44'47"W
	P3	Chã da Jaqueira	9°36'49"S	35°44'45"W
	P4	Monte Alegre	9°37'34"S	35°44'49"W
Reginaldo	P5	Farol	9°38'59"S	35°44'05"W
	P6	Feitosa	9°37'39"S	35°43'24"W
	P7	São Jorge	9°37'18"S	35°43'00"W
	P8	Ouro Preto	9°36'39"S	35°43'48"W
Tabuleiro	P9	Santa Lúcia	9°34'15"S	35°45'09"W
	P10	Dubeaux Leão	9°34'02"S	35°45'03"W
	P11	Salvador Lira	9°33'47"S	35°44'50"W
	P12	Tabuleiro	9°34'16"S	35°46'22"W

Fonte: Dados da pesquisa.

### 3.2 Dados laboratoriais referentes aos parâmetros utilizados na pesquisa

As avaliações químicas para determinação dos valores de pH, nitrato e amônia foram realizadas no laboratório de análises físico-químicas e bacteriológicas da Companhia de Abastecimento de Alagoas (CASAL). O pH foi determinado a 25 °C em até uma hora após a coleta, em pHmetro de bancada. Os índices de nitrato e de amônia foram determinados por HPLC.

### 3.3 Análise estatística

As análises dos dados obtidos foram realizadas por meio de estatísticas multivariadas, utilizando-se os diferentes conjuntos de variáveis químicas da água. Foram realizadas análises de agrupamento. Para isso, foi determinada a distância euclidiana

média como uma medida de dissimilaridade (D2) e foram aplicados os métodos de otimização de Tocher. Com essas análises, objetivou-se agrupar poços com características semelhantes.

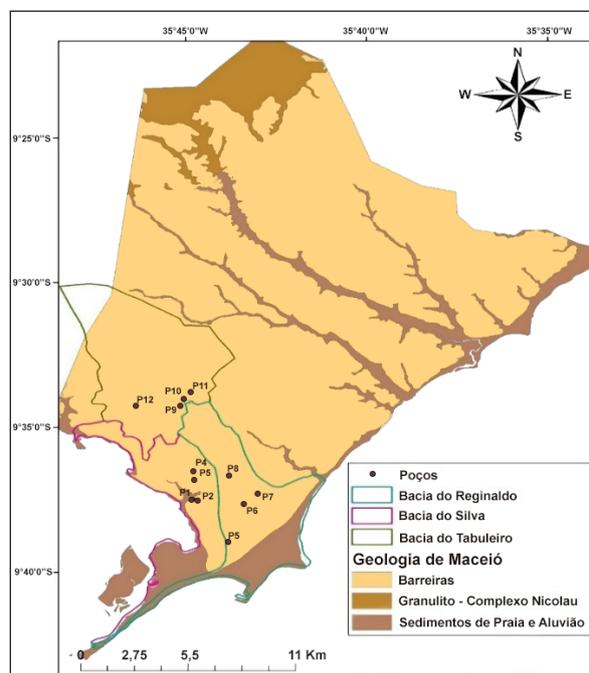
Na execução dos procedimentos estatísticos, foi utilizado o programa GENES (CRUZ, 2013; CRUZ, 2016).

## 4 Resultados da pesquisa

### 4.1 Área de estudo

A geologia da área de estudo é constituída por sedimentos da Formação Barreiras (Figura 1). Essa unidade litoestratigráfica encontra-se em toda a extensão da faixa costeira do território alagoano, capeando tanto as rochas do embasamento cristalino quanto as formações sedimentares da bacia Sergipe-Alagoas (MENDES *et al.*, 2017).

**Figura 1** – Aspectos geológicos da área de estudo



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os sistemas de aquíferos da Formação Barreiras podem ser considerados livres ou confinados. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), comumente, o Barreiras ocorre como aquífero livre; entretanto, devido à presença de níveis pelíticos ou argilosos, localmente há condições de confinamento (ANA, 2007).

Dados relativos ao mapeamento hidrogeológico do Brasil ao milionésimo, publicados em 2014 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), apontam que a composição

litológica das camadas dessa formação é constituída por arenitos, conglomerados e argilas. O referido estudo classifica o potencial de vazão dos aquíferos localizados nessa porção da Formação Barreiras como moderado, servindo amplamente para o fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades e irrigação em áreas restritas (CPRM, 2014).

A hidrografia da área de estudo é formada por um conjunto de rios e riachos que compõem as áreas drenadas pelas bacias hidrográficas do Riacho do Reginaldo e do Riacho do Silva e pela bacia endorreica do Tabuleiro. Essas importantes bacias hidrográficas encontram-se inseridas totalmente na área urbana e nos limites territoriais da cidade de Maceió.

#### 4.2 Caracterização hidroquímica referente aos valores de pH em amostras de água coletadas em 2018

O potencial hidrogeniônico (pH) é frequentemente analisado nos processos de avaliação da qualidade da água. A legislação vigente do Ministério da Saúde, expressa na Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Os resultados das análises realizadas no total de amostras coletadas nas distintas localidades revelaram águas em condições de acidez, com valores de pH variando de 3,92 a 5,09 (Tabela 2). Em um trabalho realizado na cidade do Rio de Janeiro, resultados diferentes foram encontrados, com valores de pH variando de 4,93 a 8,75 (MENEZES; SILVA JR.; PRADO, 2013). Já em análises realizadas em 15 poços na cidade de Osório-RS, Brasil, o pH variou de 4,8 a 7,6 (PAIM *et al.*, 2018). Quando se comparam os dados obtidos neste trabalho com análises de qualidade de água de aquíferos de outras partes do mundo, os valores são bem contrastantes, como ocorre na comparação com os resultados de Lapworth *et al.* (2017), segundo os quais houve variação do pH de 6,4 a 7,5 no noroeste da Índia, e com os resultados de Gbadebo, Adeyemi e Oladipupo (2018), que obtiveram valores de 6,0 a 8,2 na Nigéria. Apesar de esses serem países com baixos índices de saneamento básico, seus valores de pH das águas subterrâneas estão dentro das normas estabelecidas no Brasil.

Dados da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), relativos ao controle da qualidade da água, atestam que pH entre 4,5 e 8,2 indica água em condições de acidez carbônica; já pH menor que 4,5 indica condições de acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de despejos industriais. Águas com acidez mineral são

desagradáveis ao paladar, sendo desaconselhadas para o abastecimento doméstico (FUNASA, 2014).

**Tabela 2** – Valores de pH obtidos em amostras de água avaliadas em 2018

P1	P2	P3	P4	P5	P6
4,26	4,64	3,92	4,25	5,09	4,10
P7	P8	P9	P10	P11	P12
4,18	4,41	4,21	4,20	4,25	4,52

Fonte: Dados da pesquisa.

Dessa forma, tomando como referência os dados citados e levando-se em consideração os resultados do presente estudo, constata-se que, em 83,3% das amostras analisadas, os valores do pH ficaram abaixo de 4,5, indicando que a água consumida nas localidades pesquisadas se encontra em condições de acidez por ácidos minerais fortes. Em apenas 16,7% das amostras os valores ficaram acima desse limite, indicando, nesse caso, água em estado de acidez carbônica.

Observações realizadas na área de estudo levaram a constatar estado de corrosão em grande parte das tubulações de água. De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), em águas de abastecimento, baixos valores de pH podem contribuir para a corrosão e agressão dessas estruturas, enquanto valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações (FUNASA, 2014). Maia *et al.* (2015), ao realizarem um experimento sobre a influência do pH na corrosão do ferro, comprovaram que a taxa de corrosão em materiais ferrosos eleva-se em soluções mais ácidas, principalmente quando os valores de pH se tornam menores que 4.

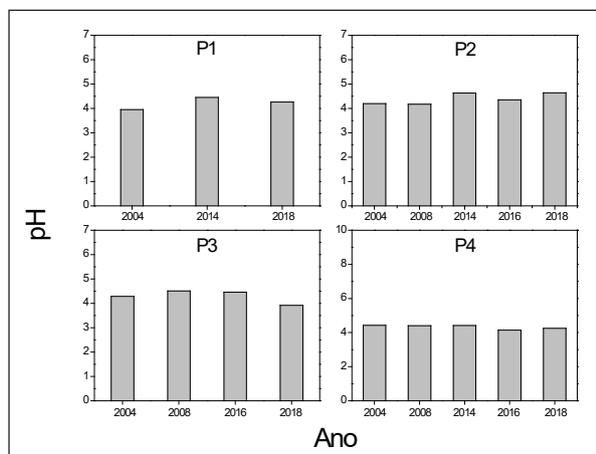
As condições de acidez encontradas nas águas da área de estudo demonstram a presença de fatores deteriorantes atuando de forma constante por um longo período. Segundo Von Sperling (2005), o pH pode ser resultante de fatores naturais ou antropogênicos, como dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, processo de fotossíntese e despejos domésticos e industriais.

#### 4.3 Análise da evolução temporal dos valores de pH nas localidades pesquisadas

As Figuras 2, 3 e 4 representam a evolução temporal dos valores de pH nos 12 pontos analisados. A partir da análise desses gráficos, constatou-se que as elevadas condições de acidez verificadas na água potável, em todas as localidades pesquisadas, não se

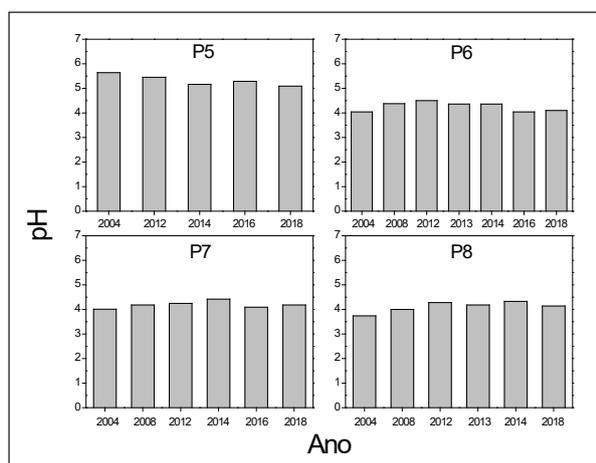
restringem apenas ao presente, mas são uma tendência que vem se delineando há muito tempo, revelando um quadro de degradação constante e duradouro.

**Figura 2** – Evolução temporal dos valores de pH nos poços localizados na região da bacia do Riacho do Silva



Fonte: Dados da pesquisa.

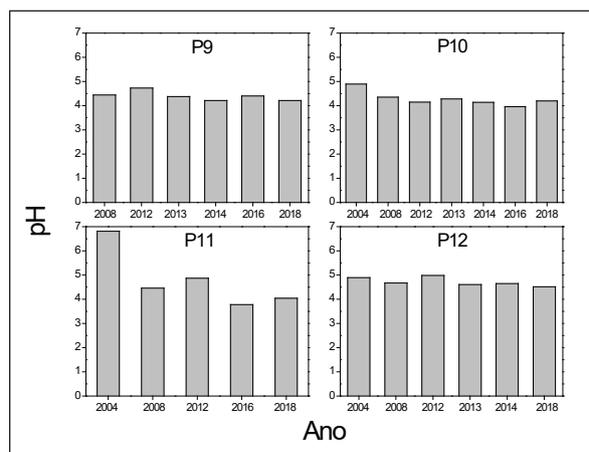
**Figura 3** – Evolução temporal dos valores de pH nos poços localizados na região da bacia do Riacho do Reginaldo



Fonte: Dados da pesquisa.

O nível de acidez encontrado em amostras coletadas de poços situados nas bacias dos Riachos do Silva e do Reginaldo (Figuras 2 e 3) pode estar relacionado ao descarte de resíduos domésticos e rejeitos oriundos dos diversos estabelecimentos comerciais da região. Como essas áreas são desprovidas de rede coletora de esgoto, grande parte desses poluentes são descartados de forma inadequada, favorecendo a contaminação dos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

**Figura 4** – Evolução temporal dos valores de pH nos poços localizados na região da bacia do Tabuleiro



Fonte: Dados da pesquisa.

O nível de acidez encontrado em amostras coletadas de poços situados nas bacias dos Riachos do Silva e do Reginaldo (Figuras 2 e 3) pode estar relacionado ao descarte de resíduos domésticos e rejeitos oriundos dos diversos estabelecimentos comerciais da região. Como essas áreas são desprovidas de rede coletora de esgoto, grande parte desses poluentes são descartados de forma inadequada, favorecendo a contaminação dos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

Já os dados contidos na Figura 4 revelam que a bacia do Tabuleiro detém um histórico mais preocupante em relação aos valores de pH. Nessa bacia, além de imperarem as mesmas fontes potenciais da contaminação sofrida pelas bacias dos Riachos do Silva e do Reginaldo, também existe o impacto dos poluentes industriais, pois essa região abriga diversas fábricas que compõem o Distrito Industrial Governador Luiz Cavalcante.

#### 4.4 Caracterização hidroquímica referente aos teores de nitrato em amostras de água coletadas em 2018

Em 33% das amostras de água analisadas, foi encontrado nitrato acima do valor máximo estabelecido na legislação vigente do Ministério da Saúde (10 mg/L). Porém, em duas amostras, correspondentes aos pontos P2 e P6, os valores ficaram muito próximos desse limite, o que indica que esses pontos podem sofrer, em curto espaço de tempo, elevação do índice de contaminação por essa substância (Tabela 3). Os valores são contrastantes quando comparados com outros locais, tanto no Brasil quanto em outros países (Tabela 4, na próxima página).

**Tabela 3** – Teores de nitrato obtidos em amostras de água avaliadas em 2018

P1	P2	P3	P4	P5	P6
5,11	9,47	4,52	7,29	2,50	9,49
P7	P8	P9	P10	P11	P12
11,90	7,05	16,50	12,10	11,50	6,97

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 4** – Teores máximos de nitrato, em mg/L, encontrados em diversos locais do mundo

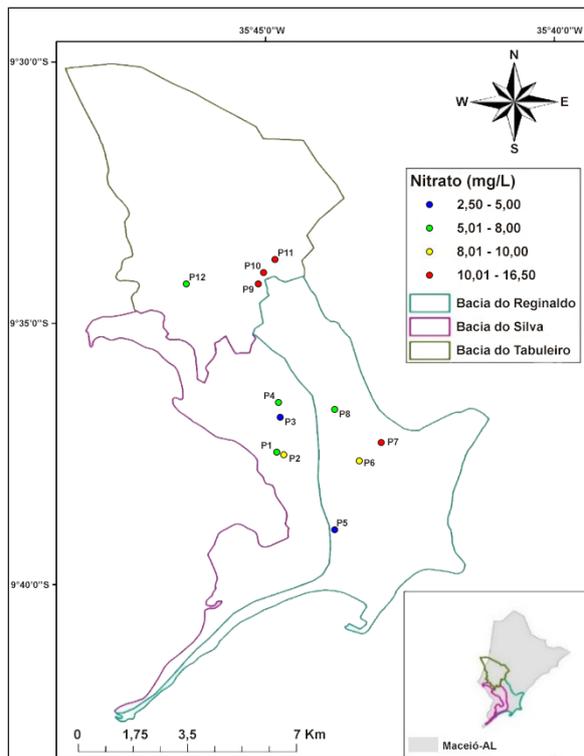
País	NO3-
Bahia, Brasil (MATTOS <i>et al.</i> , 2018)	4,3
R. G. do Sul, Brasil (ENGELMANN <i>et al.</i> , 2017)	7,0
R. G do Sul, Brasil (PAIM <i>et al.</i> , 2018)	6,19
Pernambuco, Brasil (MONTEIRO <i>et al.</i> , 2003)	> 10
Alagoas, Brasil (SILVA <i>et al.</i> , 2016)	0,04
Índia (NAVEEN <i>et al.</i> , 2016)	22,3
EUA (ZHAO <i>et al.</i> , 2013)	4,3
Nigéria (GODWIN; OGHENEKOHWIRORO, 2016)	27,1
Malásia (BUDI <i>et al.</i> , 2016)	53,7

Fonte: Dados da pesquisa.

O percentual de amostras com teores de nitrato em desacordo com o padrão de potabilidade definido na legislação revela-se preocupante, pois o excesso dessa substância na água potável pode ser muito prejudicial à saúde humana. De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), a ingestão de altas concentrações dessa substância está associada à doença da meta-hemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês. Em adultos, pode causar câncer gástrico, doenças da tireoide e diabetes (KRISHNA KUMAR *et al.*, 2014; FUNASA, 2014).

A Figura 5 mostra as variações dos teores de nitrato na área de estudo em 2018. Os dados revelam que, na região da bacia do Tabuleiro, o percentual de amostras com teores de nitrato acima do permitido alcançou 75%. Na região da bacia do Riacho do Reginaldo, esse índice foi de 25%, enquanto na área da bacia do Riacho do Silva, os teores dessa substância ficaram dentro dos padrões estabelecidos na legislação.

**Figura 5** – Variações dos teores de nitrato na área de estudo em 2018



Fonte: Elaborada pelos autores.

#### 4.5 Análise da evolução temporal dos teores de nitrato nas localidades pesquisadas

As Figuras 6, 7 e 8 mostram a evolução dos teores de nitrato ao longo dos anos nas localidades pesquisadas. Observa-se, no gráfico apresentado na Figura 6, que, na área da bacia do Riacho do Silva, os pontos P1, P3 e P4 vêm apresentando concentrações de nitrato dentro dos padrões aceitáveis para o consumo humano. Já no ponto P2, nota-se que, no período de 2014 a 2018, as concentrações dessa substância se mantiveram em patamares elevados, atingindo nível alarmante em 2018 – cerca de 94% do valor máximo permitido na legislação. No levantamento das potenciais fontes de contaminação, foi constatado que os elevados teores de nitrato nessa localidade podem estar relacionados à falta de esgotamento sanitário e à proximidade entre os poços e as águas poluídas do Riacho do Silva. Silva *et*

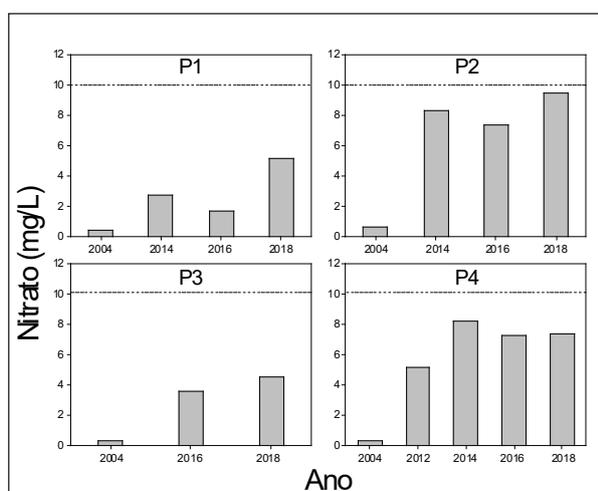
al. (2016), ao avaliarem amostras de água coletadas em pontos distintos dessa bacia, no período de outubro de 2010 a julho de 2011, verificaram variações significativas nas concentrações de nitrato. Além disso, destacam que o nitrato, por ser muito solúvel em água, pode, através do processo de lixiviação e infiltração no solo, estar contaminando os aquíferos dessa região.

A Figura 7 descreve a evolução temporal dos teores de nitrato em localidades situadas na área da bacia do Reginaldo. Os dados revelam que, nessa bacia, a evolução das concentrações dessa substância foi superior àquela registrada na região da bacia do Riacho do Silva. No ponto P5, observa-se que as concentrações de nitrato vêm evoluindo de forma satisfatória.

No ponto P6, observa-se que, em vários anos, as concentrações de nitrato ficaram próximas do limite estabelecido na legislação. Abordagens em campo mostraram que a região é completamente desprovida de rede coletora de esgoto. Devido a isso, existem diversas fossas sépticas construídas pelos moradores no entorno do poço, sendo que a mais próxima dista apenas 10 m. Vale salientar que, nessa localidade, os esgotos das residências são despejados em um córrego, que passa no vale da Grota do Estrondo, distante 300 m do poço.

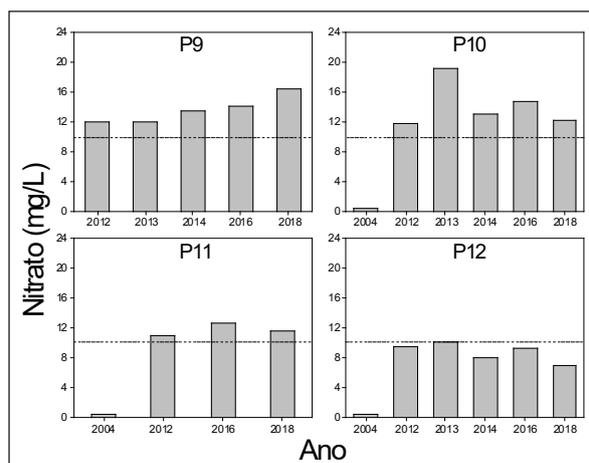
No ponto P7, em várias amostras de anos anteriores, os teores de nitrato ficaram acima do permitido. A deterioração da qualidade da água dessa localidade também tem como origem a falta de esgotamento sanitário na região. Nessa área, também existem diversas fossas sépticas no entorno do poço, sendo a mais próxima distante cerca de 10 m.

**Figura 6 –** Evolução temporal das concentrações de nitrato nos poços localizados na região da bacia do Riacho do Silva



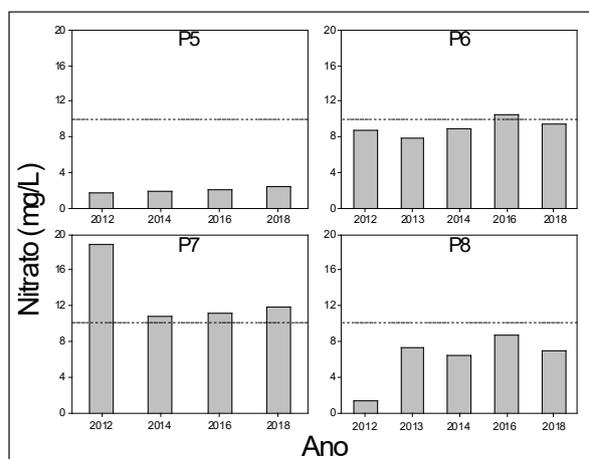
Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 7 –** Evolução temporal das concentrações de nitrato nos poços localizados na região da bacia do Riacho do Reginaldo



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 8 –** Evolução temporal das concentrações de nitrato nos poços localizados na região da bacia do Tabuleiro



Fonte: Dados da pesquisa.

Nos pontos P9, P10 e P11, a análise da evolução dos teores de nitrato comprovou que os habitantes dessas localidades há muito tempo vêm consumindo água com elevados teores dessa substância. Nesses locais, a falta de esgotamento sanitário faz com que os moradores se utilizem de fossas sépticas e despejem grande parte dos esgotos domésticos em valas e ruas dos bairros.

Os elevados teores de nitrato encontrados em amostras coletadas na área da bacia do Tabuleiro podem também estar relacionados com a proximidade entre os poços e as águas poluídas da bacia de retenção situada no bairro de Salvador Lira. As bacias de retenção do Tabuleiro foram construídas para acumular as águas resultantes das abundantes

chuvas que precipitam nessa região, especialmente na estação chuvosa, reduzindo os impactos provocados pelas constantes inundações. Porém, devido ao intenso crescimento populacional da região, que ocorreu sem o necessário investimento na rede de esgotamento sanitário, essas estruturas passaram a receber também grandes volumes de poluentes.

Nessas bacias de retenção, são lançadas as águas das chuvas, bem como as águas residuárias de indústrias e os esgotos de unidades habitacionais circunvizinhas, desprovidas de saneamento (SÁ FILHO, 2010). Ao pesquisar as características limnológicas do sistema que compõe a macrodrenagem da bacia do Tabuleiro do Martins e avaliar a qualidade da água da lagoa de retenção do bairro de Salvador Lira, Sá Filho (2010) constatou, entre outros resultados, elevadas concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo total.

A infiltração desses componentes no solo pode estar contaminando o aquífero da região, o que explicaria as elevadas concentrações de nitrato presentes na água potável. A análise da evolução temporal dos teores dessa substância demonstrou, de forma evidente, que essa contaminação vem ocorrendo de forma contínua e duradoura.

#### 4.6 Caracterização hidroquímica referente aos teores de amônia em amostras de água coletadas em 2018

Em 33% das amostras de água analisadas, as concentrações de amônia ultrapassaram o valor máximo estabelecido na legislação, que corresponde a 1,5 mg/L. Em duas amostras, relativas aos pontos P1 (1,20 mg/L) e P8 (1,45 mg/L), os valores desse parâmetro ficaram muito próximos do limite permitido (Tabela 5). Resultados diferentes foram obtidos por Paim *et al.* (2018) em uma pesquisa em aquíferos costeiros do Rio Grande do Sul, Brasil, com valores de 0,3 mg/L a 4 mg/L. Já Engelman *et al.* (2017), em análises feitas em aquíferos próximos a um aterro sanitário, detectaram valores de amônia de até 1208 mg/L.

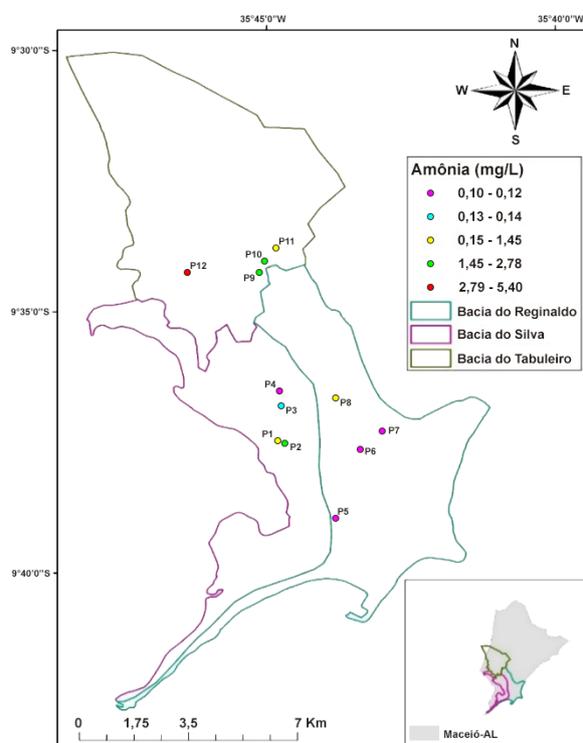
A Figura 9 mostra as variações dos teores de amônia na área de estudo em 2018. Os dados mostram que, na região da bacia do Tabuleiro, o percentual de amostras com teores de amônia acima do permitido alcançou 75%. Na região da bacia do Riacho do Silva, esse índice foi de 25%. Já na área da bacia do Riacho do Reginaldo, os teores desse indicador ficaram dentro dos padrões estabelecidos na legislação.

**Tabela 5** – Teores de amônia, em mg/L, obtidos em amostras de água avaliadas em 2018

P1	P2	P3	P4	P5	P6
1,20	1,94	0,14	0,10	0,12	0,11
P7	P8	P9	P10	P11	P12
0,12	1,45	2,68	2,78	0,72	5,40

Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 9** – Variações dos teores de amônia na área de estudo em 2018

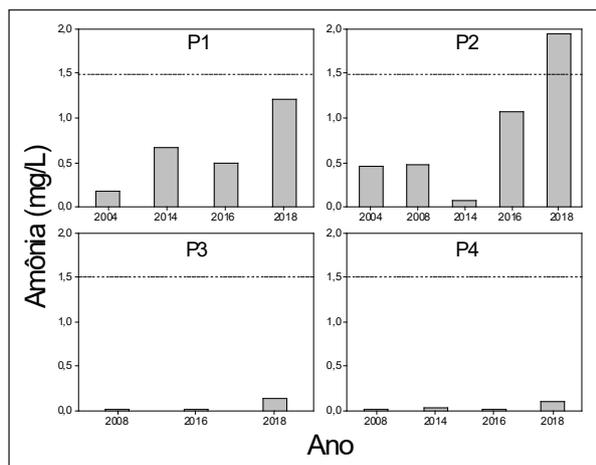


Fonte: Elaborada pelos autores.

#### 4.7 Análise da evolução temporal dos teores de amônia nas localidades pesquisadas

A evolução temporal dos teores de amônia na área da bacia do Riacho do Silva, verificada nos pontos de coleta indicados na Figura 10, apresenta enormes discrepâncias. Observa-se que, nos pontos P3 e P4, as concentrações de amônia ao longo dos anos encontram-se dentro do padrão de potabilidade estabelecido na legislação (1,5 mg/L de NH<sub>3</sub>).

**Figura 10** – Evolução temporal das concentrações de amônia nos poços localizados na região da bacia do Riacho do Silva



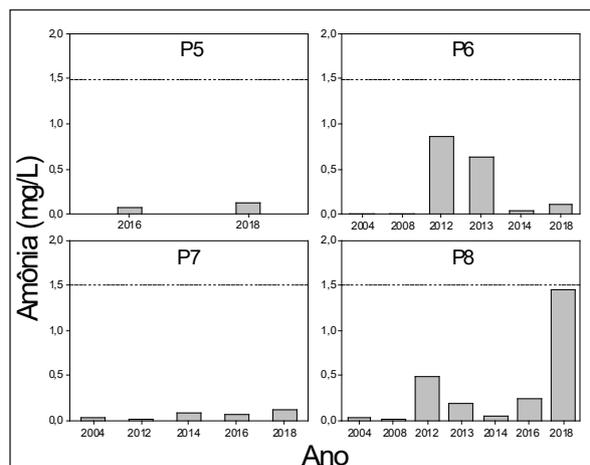
Fonte: Dados da pesquisa.

Na localidade do ponto P2, observa-se que houve um crescimento significativo das concentrações de amônia entre os anos de 2014 e 2018. Ao comparar o resultado da análise realizada em 2018 (1,94 mg/L de NH<sub>3</sub>) com o valor obtido em 2014 (0,07 mg/L de NH<sub>3</sub>) nesse ponto, percebe-se que, no período, a concentração dessa substância aumentou cerca de 28 vezes.

No ponto P1, também houve uma forte variação desse indicador entre os anos de 2016 e 2018. Nesse ponto, apesar de os teores de amônia estarem em conformidade com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação (1,5 mg/L de NH<sub>3</sub>), os valores ficaram muito próximos do limite máximo permitido em lei. As elevadas concentrações desse indicador nessas localidades (P1 e P2) podem estar relacionadas à proximidade entre os poços e as águas do Riacho do Silva, as quais encontram-se bastante poluídas.

Outro problema que pode estar provocando a deterioração da qualidade da água é a falta de esgotamento sanitário na região. Devido a essa carência, é comum o uso de fossas sépticas pelos moradores dessas localidades, sendo a outra parte dos esgotos domésticos despejados diretamente em córregos, valas e riachos da região. Foi constatada também a existência de criatórios de animais e de acúmulo de lixo próximos das fontes de captação de água subterrânea.

**Figura 11** – Evolução temporal das concentrações de amônia nos poços localizados na região da bacia do Riacho do Reginaldo



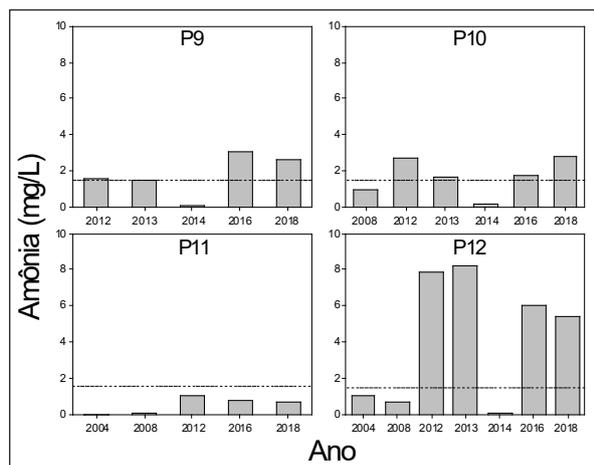
Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 11 mostra a evolução dos teores de amônia na área de abrangência da bacia do Reginaldo. Observa-se que, nas localidades onde estão situados os pontos P5, P6 e P7, a evolução das concentrações dessa substância, ao longo do período considerado, manteve-se dentro do padrão de potabilidade exigida na legislação.

No ponto P8, nota-se, através da análise temporal, que houve um aumento significativo nos teores de amônia, especialmente no período de 2014 a 2018. As observações realizadas nesse local revelaram que, na proximidade desse ponto de coleta, passam dois córregos perenizados que sofrem despejos de esgotos advindos dos diversos conjuntos habitacionais da região. O córrego mais próximo passa a 120 m do poço, enquanto o outro passa a 202 m. No local também foram observados grande acúmulo de lixo e a existência de diversos criatórios de animais.

A ocorrência de elevados teores de amônia durante os anos considerados na Figura 12, em poços situados na região da bacia do Tabuleiro, pode estar relacionada à falta de esgotamento sanitário e à presença de grandes depósitos de lixo nas imediações dos pontos de coleta. Observações *in loco* no entorno dos pontos de coleta P9, P10 e P12 revelaram enormes volumes de esgotos domésticos correndo a céu aberto nas proximidades dos poços.

**Figura 12** – Evolução temporal das concentrações de amônia nos poços localizados na região da bacia do Tabuleiro



Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.8 Análise de similaridade dos diferentes poços estudados

O resultado da análise de agrupamento pelo método de otimização de Tocher, utilizando como medida de dissimilaridade a distância euclidiana média padronizada, a partir de três variáveis químicas que medem a qualidade da água, encontra-se na Tabela 6. A análise permite estabelecer grupos de forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. Assim, constata-se que os 12 poços estudados foram classificados em quatro grupos distintos. O grupo 1 foi formado por sete poços, o grupo 2 por três, e os demais grupos foram formados por apenas um poço cada. Em geral, P12 foi o poço que apresentou a maior discrepância em relação aos demais, considerando-se as três variáveis estudadas. A análise mostra, também, que a qualidade da água dos poços não teve influência da localização destes, já que o grupo 1, por exemplo, foi formado por poços das três bacias estudadas.

Em relação à importância das variáveis na classificação dos poços em grupos distintos, verifica-se que o pH apresentou o maior percentual de contribuição, seguido do nitrato e, por último, da amônia. Assim, conclui-se que o pH foi o principal responsável pela variabilidade existente entre os poços estudados; junto com o nitrato respondem por 78,80% da variação existente entre os poços. Dessa forma, essas duas variáveis químicas devem ser levadas em consideração quando se pensa em qualidade da água na região de estudo (Tabela 7).

**Tabela 6** – Agrupamentos dos doze pontos de coleta, obtidos pelo método de Tocher, com base na distância euclidiana média padronizada, considerando as variáveis pH, nitrato e amônia

Grupos	Pontos de coleta
1	2 4 6 7 8 10 11
2	1 3 5
3	9
4	12

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 7** – Contribuição das variáveis na dissimilaridade dos pontos de coleta de água nos diferentes poços

Variável	Contribuição (%)
pH	48,50
Nitrato	30,30
Amônia	21,20

Fonte: Dados da pesquisa.

## 5 Conclusão/Considerações

A pesquisa revelou que a água consumida em grande parte das localidades pesquisadas encontra-se fora do padrão de potabilidade estabelecido na legislação brasileira vigente. As condições de acidez encontradas na área de estudo podem estar relacionadas à contaminação do aquífero por esgotos domésticos e efluentes industriais. O baixo pH das águas pode estar contribuindo para a corrosão das tubulações de água, porém, são necessários estudos mais aprofundados para confirmação de tal hipótese. Observou-se um percentual significativo de amostras com teores muito elevados de amônia e nitrato. Esse percentual poderá elevar-se, pois, em algumas amostras, os teores dessas substâncias ficaram muito próximos dos valores máximos permitidos na legislação. Cabe destacar que, devido ao processo químico de oxidação da amônia, poderá ocorrer um aumento significativo das concentrações de nitrato.

A presença de elevadas concentrações desses indicadores na área de estudo pode estar relacionada à falta de esgotamento sanitário na região, à proximidade entre as fontes de captação de águas e agentes contaminantes e à falta de proteção do aquífero, verificadas em algumas localidades. A análise da evolução temporal comprovou que a deterioração da qualidade da água nos locais onde houve maiores alterações desses indicadores faz parte de um

processo de degradação que já vem se delineando há muito tempo, o que demonstra a ineficiência de políticas públicas promovidas para a preservação e conservação desses recursos hídricos.

Diante do exposto, conclui-se que os recursos hídricos subterrâneos da cidade de Maceió encontram-se em um intenso processo de degradação. A expansão desordenada das áreas urbanas da cidade, sem os devidos investimentos em obras de esgotamento sanitário, aliada às ações antropogênicas são os principais fatores atuantes nesse processo. Desse modo, faz-se necessário reforçar os mecanismos de controle e monitoramento da qualidade desses recursos, procurando direcionar maiores investimentos públicos em obras de infraestrutura hídrica, que contemplem a ampliação e modernização dos sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário da cidade.

## REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.

**Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília, DF: ANA, 2017.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.

**Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2007. (Caderno de Recursos Hídricos, 2).

BRASIL. Ministério da Saúde. Anexo XX: do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *In*: BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html). Acesso em: 9 dez. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**: Prioridades 2012-2015. 2011. Disponível em: [http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Plano\\_Nacional-de-Recursos-Hidricos.pdf](http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Plano_Nacional-de-Recursos-Hidricos.pdf). Acesso em: 4 ago. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas – um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, DF: MMA, 2007.

BUDI, S.; SULIASIH, B. A.; OTHMAN, M. S.; HENG, L. Y.; SURIF, S. Toxicity identification evaluation of landfill leachate using fish, prawn and seed plant.

**Waste Management**, v. 55, p. 231-237, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.022>.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa hidrogeológico do Brasil**: escala 1:5.000.000. Programa Geologia do Brasil. Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo. Recife: CPRM, 2014.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>.

ENGELMANN, P. M.; SANTOS, V. H. J. M.; MOSER, L. I.; BRUZZA, E. C.; BARBIERI, C. B.; BARELA, P. S.; DE MORAES, D. P.; AUGUSTIN, A. H.; GOUDINHO, F. S.; MELO, C. L.; KETZER, J. M. M.; RODRIGUES, L. F. Environmental monitoring of water resources around a municipal landfill of the Rio Grande do Sul state, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 21398-21411, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9725-7>.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF: Funasa, 2014.

GBADEBO, A. M.; ADEYEMI, M. O.; OLADIPUPO, A. B. Groundwater quality assessment of wells in Ifewara, Osun state. **Global Journal of Geological Sciences**, v. 16, n. 1, p. 13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4314/gjgs.v16i1.2>.

GODWIN, A.; OGHENEKOHWIRORO, E. Leachate characterization and leachate pollution index from landfill dump sites in Warri Metropolis, Nigeria. **International Letters of Natural Science**, v. 57, p. 41-48, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.57.41>.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. Águas Subterrâneas: reserva estratégica ou emergencial. *In*: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (org.). **Águas do Brasil**: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. v. 1, p. 147-161.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas urbanizadas do Brasil:**

2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 28 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100639.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018.

KRISHNA KUMAR, S.; LOGESHKUMARAN, A.; MAGESH, N. S.; GODSON, P. S.; CHANDRASEKAR, N. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India.

**Applied Water Science**, v. 5, n. 4, p. 335-343, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0196-4>.

LAPWORTH, D. J.; KRISHAN G.; MACDONALD, A. M.; RAO, M. S. Groundwater quality in the alluvial aquifer system of northwest India: New evidence of the extent of anthropogenic and geogenic contamination. **Science of the Total Environment**, v. 599-600, p. 1433-1444, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.223>.

LIMA, J. C. M. S. **Análise do rebaixamento do lençol freático na parte alta da cidade de Maceió.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2017.

MAIA, D. J.; SEGRE, N.; SCATIGNO, A. C.; STELLA, M. B. Experimento sobre a influência do pH na corrosão do ferro. **Química Nova na Escola: Experimentação no Ensino de Química**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 71-75, fev. 2015.

MATTOS, J. B.; CRUZ, M. J. M.; DE PAULA, F. C. F.; SALES, E. F. Natural and anthropic processes controlling groundwater hydrogeochemistry in a tourist destination in northeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6765-5>.

MENDES, V. A. (org.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Alagoas:** escala 1:250.000. Recife: CPRM, 2017.

MENEZES, J. M.; SILVA JR., G. C.; PRADO, R. B. Índice de Qualidade de Água (IQACCME) aplicado à avaliação de aquíferos do estado do Rio de Janeiro. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 2, p. 79-92, 2013. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v27i2.27364>.

MONTEIRO, A. B.; CABRAL, J. J. S.; BARBOSA, D. L.; FREIRE, P. K. C. Vulnerabilidade e distribuição espacial dos nitratos no Aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 15., 2003, Curitiba. **Anais [...]**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

NAVEEN, B. P.; MAHAPATRA, D. M.; SITHARAM, T. G.; SIVAPULLAIAH, P. V.; RAMACHANDRA, T. V. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. **Environmental Pollution**, v. 220, part A, p. 1-12, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018:** Soluções baseadas na natureza para a gestão da água. Colômbia, Perú, Itália: ONU, 2018. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261594\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261594_por). Acesso em: 6 jun. 2018.

PAIM, R. A.; REGINATO, P. A. R.; MICHALSKI, E. Z.; LANZER, R. M.; DUTRA, T. O. Análise hidroquímica e da aplicação de diferentes métodos de avaliação da qualidade da água subterrânea em aquíferos costeiros em Osório - RS. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 3, p. 337-345, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i3.29155>.

SÁ FILHO, J. A. R. **Avaliação qualitativa das águas no sistema de macrodrenagem da bacia do Tabuleiro dos Martins – Maceió/AL.** 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

SILVA, G. S.; ALMEIDA, A. F. L.; RODRIGUES, G. A. S.; VITAL, M. V. S. Análise química da qualidade da água da praia de Jatiúca, localizada no município de Maceió-Alagoas. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 3, n. 3, p. 55-64, 2016.

TOLEDO, P. H. O. **Modelagem da pluma de contaminação do nitrato em aquífero urbano considerando os efeitos da sazonalidade do clima em parte da Região Metropolitana de Maceió-AL.** 2016. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**: capítulo 14 do livro *Água Doce*. 1997. Disponível em: [http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanameio%20urbano.pdf](http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanameio%20urbano.pdf). Acesso em: 31 mar. 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

ZHAO, R.; GUPTA, A.; NOVAK, J. T.; GOLDSMITH, C. D.; DRISKILL, N. Characterization and treatment of organic constituents in landfill leachates that influence the UV disinfection in the publicly owned treatment works (POTWs). **Journal of Hazardous Materials**, v. 258-259, p. 1-9, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.026>.

ZOBY J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, v. 22, supl.: Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23802>. Acesso em: 8 dez. 2020.