



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

Gabriel Alencar Julião Cabral

**COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS NITROGENADOS, AMÔNIA, NITRITO E
NITRATOS, EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

FORTALEZA

2020

GABRIEL ALENCAR JULIÃO CABRAL

**COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS NITROGENADOS, AMÔNIA, NITRITO E
NITRATOS, EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química com Habilitação Industrial.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Maria das Graças Gomes

Orientadora profissional: Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C118c Cabral, Gabriel Alencar Julião.
Comportamento dos compostos nitrogenados, amônia, nitrito e nitratos, em águas subterrâneas / Gabriel Alencar Julião Cabral. – 2020.
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Maria das Graças Gomes.

Coorientação: Profa. Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

1. Química analítica. 2. Análise de água. I. Título.

CDD 540

GABRIEL ALENCAR JULIÃO CABRAL

**COMPORTAMENTO DOS COMPOSTOS NITROGENADOS, AMÔNIA, NITRITO E
NITRATOS, EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Química do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química com Habilitação Industrial.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Maria das Graças Gomes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa (Orientadora Profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

Dr. Vitor Paulo Andrade da Silva
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

A Deus.

Aos meus pais, Adeildo e Najila.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e paciência e capacidade para realização de minhas atividades e obrigações.

A Universidade Federal do Ceará e a todos os professores, por toda a estrutura, oportunidades, conhecimentos e ensinamentos fornecidos.

À minha mãe Najila e ao meu pai Adeildo, por serem o meu porto seguro e meu apoio, por todo esforço e dedicação, por serem minha maior inspiração e por serem os grandes responsáveis por eu ser quem sou.

À minha namorada Lívia, pelo companheirismo, incentivo, amor, carinho e colaboração fundamental na estruturação desse trabalho, por ser uma namorada incrível, compreensiva, que sempre busca me ajudar e por saber proporcionar tantos momentos de alegria e descontração.

À Prof^a. Dr^a. Maria das Graças Gomes, por ser minha professora, tutora, orientadora e amiga, por todos esses anos de muitos ensinamentos, diversão e cervejas, por sempre me aconselhar e me ajudar tanto na vida pessoal como acadêmica.

À Dr^a. Erika, pela oportunidade de estagiar no Laboratório de Química Ambiental, à Dr^a Paula Luciana por dar continuidade à orientação e por todos os ensinamentos dados.

Ao meu amigo e parceiro de laboratório, Brenner Arruda, por estar sempre comigo durante todos esses anos da faculdade, apoiando nas horas difíceis e se divertindo nos momentos alegres, por ser sempre um grande companheiro em todas as aventuras que tentamos na universidade e por proporcionar tantas risadas e alegrias nessa jornada.

A todos os meus amigos do curso, Adisom, Andreza, Joana, Lucas, Nicaely, Tulio, Ivaniely, Ludmila, Francisco Vinicius, Marcus Vinicius, por tornarem as aulas e a universidade muito mais divertida e por serem a melhor turma que a química já teve.

Aos meus amigos do PET, Herllan, Ana Gabrielle, Ana Clara, Thiago, Pablo, Railson, Gean, Débora, Elisson, Guilherme, Larissa, Iago, Tairone, Pedro, Guthery, Dalton, Mathues, por terem sido fundamentais na minha evolução pessoal e profissional e por serem exemplo a ser seguido.

Aos meus amigos do 7 de Setembro, Adah, Diego, Luiza, Vinicius, Pedro, Hortência, Natanael, Leticia, Bia, Joana, Wancard, por continuarem comigo nessa jornada sempre apoiando e dando força, além dos incríveis momentos proporcionados.

“O que eu faço é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano será menor.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

O uso de águas subterrâneas é uma alternativa à obtenção de água doce, em especial em regiões que possuem regime pluviométrico irregular, exemplificado pelo Estado do Ceará, conjecturado por longos períodos de estiagem. Porém, essas águas podem ser poluídas por ações antrópicas, como despejo de esgoto de forma incorreta. Tal conduta contamina o corpo hídrico com compostos nitrogenados, a exemplo da amônia, do nitrito e nitrato, que, quando consumidos em altas concentrações, podem gerar danos à saúde humana. Desta forma, é importante avaliar a qualidade das águas subterrâneas. Nesse sentido, realizou-se análise de compostos nitrogenados em águas de 15 poços de três municípios, com amostras coletadas em diferentes meses do ano de 2020. A concentração de compostos foi analisada com a finalidade de comparar esses parâmetros com os limites estabelecidos pelas PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08, verificando os possíveis danos causados caso haja o consumo dessas águas. Com base nas análises realizadas, verificou-se que todas as amostras apresentaram concentração de amônia abaixo do limite, uma amostra com concentração de nitrito acima e cinco amostras apresentaram elevadas concentrações de nitrato e estão, portanto, impróprias ao consumo humano, podendo haver emprego desta para outros fins. Desse modo, é necessário realizar tratamentos, como tratamento por troca iônica ou tecnologia de membranas com o objetivo de diminuir essas concentrações e realizar contínuas avaliações nesses poços para acompanhar essas diretrizes.

Palavras-chave: Água subterrânea. Compostos nitrogenados. Qualidade de água.

ABSTRACT

The use of groundwater is an alternative to obtaining freshwater, in special regions that have irregular rainfall patterns, exemplified by the State of Ceará, conjectured by long periods of drought. However, these waters can be polluted by human actions, such as sewage dumping incorrectly. Such conduct contaminates the water body with nitrogen compounds, for example, ammonia, nitrite and nitrate, which, when consumed at high temperatures, can cause damage to human health. Thus, it is important to assess the quality of groundwater. In this sense, the analysis of nitrogen compounds in waters of 15 wells in three municipalities was carried out, with those collected in different months of the year 2020. The concentration of compounds was analyzed with the main comparators of these parameters with the limits defined by the PRC N ° 5/17 and CONAMA N ° 396/08, verifying the possible damages caused if these waters are consumed. Based on the analyzes carried out, it was found that all of them as consolidated ammonia below the limit, a sample with a concentration of nitrite above and five nitrate graduates and are therefore subject to human consumption, which may be used for other fins. Thus, it is necessary to carry out treatments, such as ion exchange treatment or membrane technology to reduce these practices and carry out continuous evaluations in these wells for these guidelines.

Keywords: Groundwater. Nitrogen compounds. Water quality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Água	15
3.1.1	<i>Água Subterrânea</i>	16
3.2	Características das Regiões Geográficas do Ceará	18
3.3	Qualidade da água para consumo	19
3.4	Química da Água	19
3.5	Estudo de Compostos Nitrogenados	20
3.5.1	<i>Ciclo de Nitrogênio</i>	21
3.5.2	<i>Amônia Total</i>	21
3.5.3	<i>Nitrito</i>	25
3.5.4	<i>Nitrato</i>	28
3.5.5	<i>Eutrofização</i>	31
3.6	Sistemas de tratamento de água	32
4	METODOLOGIA	34
4.1	Amônia Total	34
4.1.1	<i>Curva de calibração</i>	34
4.1.2	<i>Procedimento</i>	34
4.2	Nitrito	35
4.2.1	<i>Curva de calibração</i>	35
4.2.2	<i>Procedimento</i>	35
4.3	Nitrato	35
4.3.1	<i>Curva de calibração</i>	35
4.3.2	<i>Procedimento</i>	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Município A	37
5.2	Município B	38
5.3	Município C	39
5.4	Tratamentos sugeridos	40

6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para o ser humano e para o ecossistema. Apesar de ser recurso abundante, apenas 3% de sua totalidade é caracterizada como água doce, isto é, adequada para consumo e uso em atividades antrópicas (BAIRD, 2002).

O Ceará, como muitos outros estados do nordeste brasileiro, possui um regime pluviométrico irregular, marcado por longos períodos de estiagem, fator que dificulta o abastecimento de mananciais e açudes. Desta forma, é importante o estudo da qualidade dessa água (ZANELLA, 2014).

Uma das principais formas de obtenção dessa água é por meio da construção de poços tubulares. Contudo, a construção de forma inadequada, em conjunto com a falta de saneamento básico nos locais de coleta, favorece a contaminação dos lençóis freáticos. Os poluentes originários da decomposição de matéria orgânica presente no esgoto, são, majoritariamente, compostos nitrogenados que infiltram no solo e passam pelos espaços vazios, contaminando as águas subterrâneas. (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

A poluição de águas subterrâneas por compostos nitrogenados, dentre eles amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), representa uma das maiores preocupações para o abastecimento de águas das cidades, pois elevadas concentrações dessas substâncias podem provocar danos à saúde humana (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

A presença de amônia em elevadas concentrações pode estar diretamente relacionada a poluições recentes. A existência dessa substância dificulta o processo de desinfecção da água pelo cloro, por meio da formação de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Elevadas concentrações de nitrito podem estar diretamente relacionadas a poluições antigas. O consumo de água contaminada por elevada concentração desse composto pode induzir problemas como a metemoglobinemia (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Elevadas concentrações de nitrato podem, também, estar diretamente relacionadas a poluições antigas. O consumo de águas contaminadas também pode provocar a metemoglobinemia, quando esse composto é reduzido a nitrito por bactérias. Entretanto, ele também está relacionado a à formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Desta forma, a fim de diminuir altas concentrações destes compostos podem ser realizados diferentes processos físico-químicos e biológicos. Dentre os variados métodos, os

mais usados são: troca iônica, tecnologia de membranas e tratamentos biológicos (COSTA, 2017).

Portanto, esse estudo teve como objetivo analisar a concentração de NH_3 , NO_2^- e NO_3^- em 15 poços de três municípios a fim de verificar a qualidade dessas águas para consumo humano e analisar as prováveis consequências à saúde humana. Além disso, propor um tratamento adequado para águas com concentrações acima dos indicados pela PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a qualidade de águas subterrâneas em três municípios do Ceará com enfoque em compostos nitrogenados com base na PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08.

2.2 Objetivos Específicos

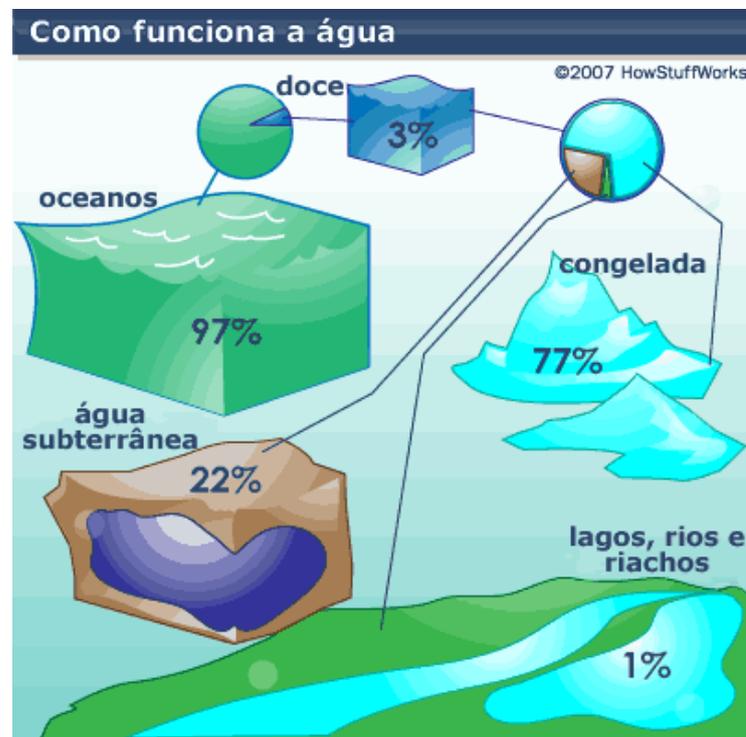
- Verificar os níveis dos compostos Amônia, Nitrito e Nitrato em amostras de águas de poços.
- Analisar as prováveis consequências à saúde humana após o consumo de elevadas concentrações dessas espécies.
- Propor um tratamento adequado em água com concentração acima do recomendado a fim de possibilitar o acesso à água de qualidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água

O Planeta terra tem 75% de sua superfície coberto por água, esta é essencial para que se tenha vida. 97% dessa água correspondem aos oceanos, enquanto os 3% representam a água doce. Essa água doce encontra-se majoritariamente na forma de geleiras, cerca de 77%, também é encontrada em aquíferos, com aproximadamente 22%, e o 1% restante em rios, córregos e lagos, como ilustrado na Figura 1, a seguir (BAIRD, 2002).

FIGURA 1: Distribuição da água no planeta.

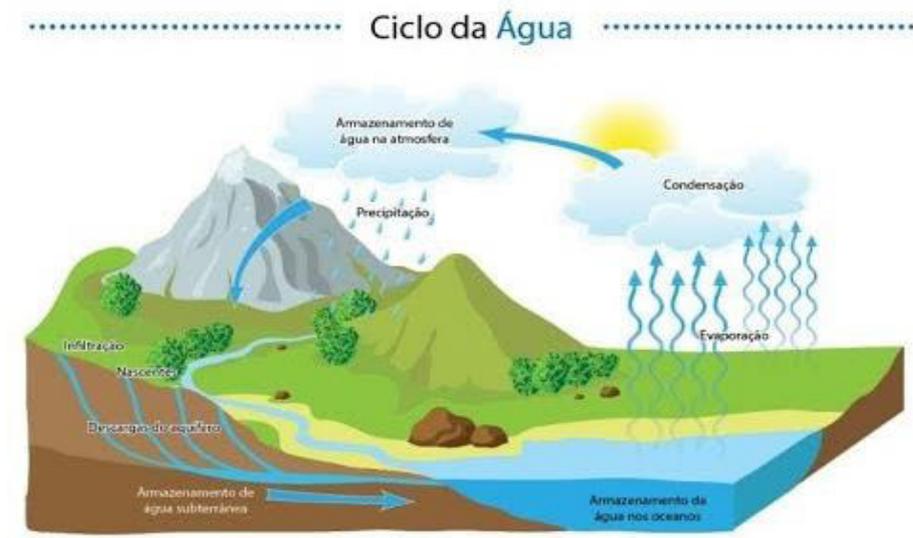


Fonte: Portal vestibulando (2013).

A água doce é imprescindível tanto para o consumo humano como para o consumo de outros seres vivos como animais e plantas. Além disso, também é fundamental para realização de atividades industriais e agrícolas (BECKER, 2008).

Devido as peculiares condições climáticas do planeta, a água existe em três diferentes estados físicos, que estão em constante alternância. Essa contínua mudança aliada à movimentação da água entre os seres vivos e o meio ambiente é denominada ciclo hidrológico, como ilustrado na Figura 2, em que a grande responsável pelo funcionamento deste ciclo é a energia solar (BECKER, 2008).

FIGURA 2 - Ciclo da água na biosfera.



Fonte: InfoEnem (2016).

O Brasil se destaca mundialmente na quantidade de água doce em seu território nacional. O país possui 12% de toda água doce disponível no mundo, possuindo maior quantidade do que o que há disponível em continentes como o Europeu e o Africano, que detêm, respectivamente, 7% e 10%. Desta forma, nota-se que o Brasil possui grande quantidade de recursos hídricos, uma vez que possui uma das maiores redes de rios perenes do mundo. No que se refere aos rios temporários, que se formam apenas no período chuvoso, a maioria estão localizados na região do Nordeste (MADEIRO, 2015)

3.1.1 Água Subterrânea

A água subterrânea é responsável por 96% de toda a água doce disponível para o consumo humano no mundo. Países como Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda e Rússia tem suas demandas supridas por mananciais hídricos. No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais de 50% dos distritos são abastecidos por águas subterrâneas, que são usadas tanto para consumo quanto para o uso em indústrias e em campos agrícolas (IBGE, 2000).

A água subterrânea é encontrada abaixo da superfície da Terra, ocupando os espaços vazios entre os grãos do solo, rochas e fissuras. É possível dividir o caminho de infiltração da água em duas zonas como ilustrado na Figura 3: a primeira intitulada zona não saturada, na qual possui seus espaços ocupados tanto por ar como por água; A segunda, denominada zona saturada possui os espaços ocupados, em sua maioria, exclusivamente por

água. No limite entre essas duas zonas é denominada popularmente de lençóis freáticos (FERREIRA, 2007).

FIGURA 3 - Águas subterrâneas em relação às regiões do solo.



Fonte: Borghetti *et al.*, (2005).

O fato de existir água subterrânea está diretamente ligado à formação geológica. As rochas que permitem a circulação e armazenamento de água são chamadas de aquíferos. Essa água pode ser extraída por meio de perfuração de poços. (FERREIRA, 2007).

Nessa situação é válido ressaltar que as rochas podem ser classificadas em sedimentares, ígneas e metamórficas. As sedimentares são formadas pelo acúmulo de resíduos de rochas pré-existentes que sofreram degradação. Além disso, esse é o tipo de rocha que compõem as bacias sedimentares, que possuem uma grande reserva de água doce, uma vez que elas possuem alta capacidade de infiltração e boa drenagem natural. Já as rochas ígneas, também conhecidas como rochas cristalinas, são formadas pelo esfriamento e solidificação do magma, possuem baixa capacidade de infiltração, além de dispor de um alto escoamento superficial de forma que a água subterrânea é depositada entre as fratura e fissuras. Enquanto as metamórficas são formadas pela transformação de outras rochas, sob a ação da pressão ou temperatura, de forma a não possuírem grandes reservas de água, similar ao que ocorre com as rochas cristalinas (BORGHETTI *et al.*, 2005)

No Brasil, a estrutura geológica constitui-se de escudos cristalinos, dobramentos modernos e bacias sedimentares. No Nordeste, a estrutura geológica é predominantemente formada por rochas cristalinas, representando cerca de 70% da região semiárida. Contudo, esse tipo de material apresenta baixo potencial de armazenamento de água. Já a outra província geológica da região são as bacias sedimentares situadas na faixa litorânea. Nessas

rochas, ocorre um maior acúmulo de água, sendo responsável por 95% das águas subterrâneas da região (FREITAS, s.d.).

Um estudo feito pela Agência Nacional de Água, em 2019, mostrou que 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas. Considerada mundialmente como uma fonte indispensável de abastecimento de consumo humano, para habitantes que não tem acesso à rede pública de abastecimento ou para aqueles que têm um fornecimento irregular (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

No Brasil, de acordo com dados do IBGE (2003), as reservas de água subterrânea, estocada nas bacias sedimentares, são estimadas em 112.000 Km³. A principal forma de obtenção desta água é por meio de perfuração de poços. De acordo com o serviço geológico do Brasil, até julho de 2020 foi cadastrada 328.242 poços, todavia esse dado não representa a realidade, uma vez que mais de 88% dos poços tubulares não são cadastrados nos órgãos gestores. (BORGHETTI *et al.*, 2004)

Estima-se que a maior parte dos recursos hídricos subterrâneos da região nordeste está armazenada nas bacias sedimentares, cerca de 18.820 Km³. Além disso, há uma menor parcela dessa água armazenada no embasamento cristalino da região, com cerca de 80 Km³. (BORGHETTI *et al.*, 2004)

3.2 Características climática do Ceará

O clima predominante na região nordeste é o semiárido, o qual apresenta elevadas taxas de insolação e temperaturas, além de chuvas irregulares. Os valores pluviométricos e a distribuição espacial da precipitação da região apresentam diferenças consideráveis, com totais que decrescem da periferia em direção ao interior (ZANELLA, 2014).

No Ceará o clima predominante é o semiárido e a precipitação é uma variável determinante das condições do clima, bem como da sua variabilidade e mudança em longo prazo. O estado apresenta o índice de precipitação média anual com valores variando de 1400 mm no litoral a valores inferiores a 600 mm no sertão (SANTOS, 2009).

O ritmo sazonal do clima semiárido é constituído por duas estações: seca e chuvosa. Quando há ocorrência de chuvas de verão, popularmente conhecido no Ceará como “inverno”, é referente aos movimentos das massas de ar, principalmente da Massa Equatorial Norte. Os períodos prolongados de seca, popularmente conhecidos como “verão”, estão relacionados à penetração da Convergência Intertropical. O regime de chuvas no estado tem início em fevereiro e se estendem até junho, sendo responsável por 90% dos totais pluviométricos (SANTOS, 2009).

3.3 Qualidade da água para consumo

Além da quantidade limitada de água doce disponível para consumo, é importante ressaltar a necessidade de a água apresentar um padrão mínimo de qualidade. Esse padrão é determinado a partir de diversos parâmetros os quais representam as características físicas, químicas e biológicas da água (FREITAS, 2005).

Ao se tratar da temática da qualidade da água, é essencial saber que o meio líquido apresenta capacidade de dissolução e de transporte de substâncias, desta forma a água pode dissolver uma grande quantidade de compostos, os quais concedem a água diferentes características. Além disso, as partículas dissolvidas no líquido são conduzidas pelos cursos da água, mudando frequentemente o local no qual os sólidos dissolvidos se encontram. Outro aspecto importante refere-se aos organismos que habitam o ambiente aquático. Em suas atividades metabólicas, alguns organismos causam modificações físicas e químicas na água, enquanto outros organismos sofrem dessas mudanças (SVS, 2006).

A água é fundamental em todas as atividades metabólicas do organismo humano, sendo um componente essencial a todos os tecidos corpóreos, além de estar presente nas reações químicas, circulação, sistema de defesa, entre outros. Não há um estudo que defina a quantidade de água que deve ser consumida diariamente por um indivíduo, porém, é recomendado o consumo em média de 2 a 3 litros de água por dia a fim de atender as necessidades vitais (SERAFIM, 2004).

A organização Mundial da Saúde (OMS) disponibilizou em 2011 a 4ª Edição das diretrizes acerca da qualidade da água fundamentada em estudos científicos, cabendo aos governos dos países adotarem as diretrizes recomendadas conforme o seu fator econômico, climático, social e tecnológico de cada país (OPAS, 2011).

No Brasil, o Ministério da Saúde é o órgão responsável por garantir o padrão da qualidade da água potável. Para essa finalidade há a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 que dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relacionadas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo e sua potabilidade para outras finalidades (BRASIL, 2004).

3.4 Química da Água

A água, considerada solvente universal, permite o transporte de nutrientes e rejeitos, auxilia em processos biológicos e químicos no meio aquoso, possui alta constante dielétrica, o que possibilita elevada solubilidade de compostos iônicos. Também possui alta

capacidade calorífica, o que permite a estabilização da temperatura de organismos e regiões geográficas. Além disso, é transparente a radiação do visível e do ultravioleta, permitindo a passagem de luz (VASCONCELOS, s.d.).

A água é uma substância composta, formada por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio (H_2O), os quais se ligam por ligações covalentes. Essas ligações formam um ângulo de $104,5^\circ$, configurando uma geometria angular e promovendo a polarização da molécula. Esse fato ocorre porque o oxigênio possui quatro pares de elétrons ao seu redor, dois pares envolvidos diretamente nas ligações com os hidrogênios e outros dois pares livres (NATHAN, 2009).

A presença de pares de elétrons livres no oxigênio gera uma carga parcial negativa no átomo ao mesmo tempo em que é formada uma carga parcial positiva nos hidrogênios. Esse fato possibilita que haja atração eletrostática intermolecular entre as diferentes moléculas de água, a qual é denominada ligação de hidrogênio, onde o hidrogênio com carga parcialmente positiva interage com o oxigênio com carga parcialmente negativa. Esse tipo de ligação também pode existir com átomos de nitrogênio (N) e flúor (F) devido a alta eletronegatividade desses elementos (FOGAÇA, s.d.).

Essas interações são o tipo de força intermolecular mais intensa, caracterizando as moléculas que as possuem com elevados pontos de ebulição e fusão. Essas interações são responsáveis por algumas propriedades da água, como a formação da tensão superficial, ou seja, uma película que se forma na superfície do líquido. Outra propriedade interessante é a densidade, onde a água na forma sólida é menos densa que na sua forma líquida. As moléculas de H_2O no estado sólido são mais próximas e tem a capacidade de realizar ligações de hidrogênio no formato de estruturas hexagonais. Dessa maneira os espaços vazios que ficam nessas estruturas da molécula diminuem a densidade do gelo (FOGAÇA, s.d.).

3.5 Estudo de Compostos Nitrogenados

A presença de compostos de nitrogênio é um indicativo de contaminação do aquífero e de proáveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias, uma vez que as principais fontes de nitrogênio provêm das proteínas e da ureia lançadas pelos esgotos sanitários (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

O nitrogênio pode ser encontrado de diversas formas nos corpos hídricos, dentre elas: nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Por meio dessas diferentes formas é possível estabelecer se a contaminação da água é recente ou antiga. Caso haja uma maior

concentração na forma reduzida, nitrogênio orgânico e amoniacal, é possível afirmar que a contaminação é recente. Caso contrário, se houver uma maior concentração na forma oxidada, nitrato e nitrito, a poluição identificada é antiga (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Os constituintes químicos das águas subterrâneas podem ser influenciados por diferentes fatores, como deposição atmosférica e processos químicos de dissolução e/ou hidrólise, aspectos que modificam as características quantitativas e qualitativas das fontes subterrâneas (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

3.5.1 *Ciclo de Nitrogênio*

O ciclo do nitrogênio tem como principal função assegurar a circulação do nitrogênio na natureza, sendo também denominado ciclo biogeoquímico. Ocorre através da biofixação do nitrogênio da atmosfera por meio de cianobactérias que fornecem esse elemento para os vegetais. Estes, posteriormente, são consumidos pelos animais e pelo homem, cujas excreções liberam, novamente, o composto ao meio, fechando o ciclo que se repete indefinidamente (SANTOS, s.d.).

No processo, as cianobactérias transformam o N_2 atmosférico em íons amônio (NH_4^+). Estes íons são oxidados em íons nitritos, pela ação de bactérias nitrificantes do gênero *Nitrosomonas*. Em seguida, ocorre a oxidação do íon nitrito a nitrato, por intermédio de bactérias nitrificantes do gênero *Nitobacter*, segundo as reações:



Essa etapa de oxidação biológica intitulada nitrificação acontece apenas em meio aeróbico. Enquanto o processo de redução do nitrato à nitrito e posteriormente a nitrogênio gasoso é denominada desnitrificação (KATO e PIVIELE, 2005).

3.5.2 *Amônia Total*

A amônia está, naturalmente, presente nos corpos de água como produto de degradação de compostos inorgânicos e orgânicos, redução do N_2 por meio de bactérias e trocas gasosas com a atmosfera. Quando a amônia se dissolve em água reage com a mesma formando hidróxido de amônio (NH_4OH) (POHLING, 2009).

Essa substância pode ser encontrada em águas superficiais ou subterrâneas, porém em baixas concentrações em razão à adsorção por partículas do solo ou devido à oxidação a nitrito e nitrato. Desta forma, altas concentrações podem ser indicativas de fontes de poluição próximas, construções precárias de poços, redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes nos solos como mostrado na reação 4 (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).



O equilíbrio, em solução aquosa, entre NH_3 e NH_4^+ depende da temperatura e do pH da água ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$). Em pH's mais altos ocorre em maior quantidade na forma de NH_3 , em pH's mais baixos é encontrado em maior quantidade na forma ionizada NH_4^+ . Por exemplo, em pH próximo de 8, somente 4% se apresenta na forma de NH_3 e 96% na forma de NH_4^+ como pode ser verificado na Tabela 1 (POHLING, 2009).

QUADRO 1 - Dependência do teor de NH_3 em função do pH.

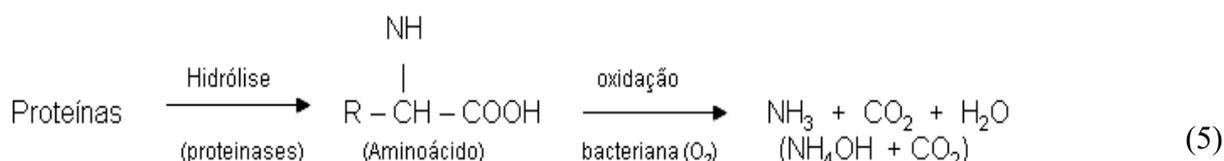
pH	Teor de NH_3 [%]
6	0
7	1
8	4
9	25
10	78
11	96
12	100

Fonte: Pohling (2009).

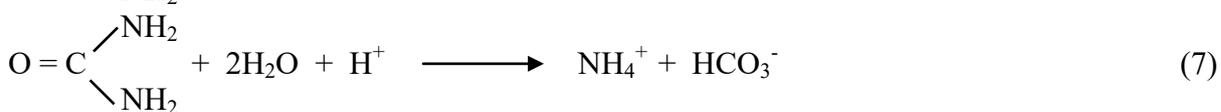
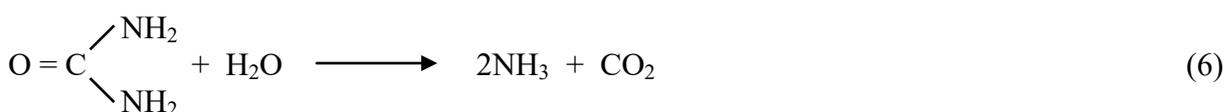
A amônia pode ser liberada em água a partir do processo de decomposição da matéria orgânica, como proteínas, pela ação de bactérias e outros micro-organismo. Outra forma da amônia ser liberada é como produto de resto ou excrementos de animais (BECKER, 2008).

A decomposição bacteriana ocorre em etapas. Na água, as proteínas são facilmente hidrolisadas com auxílio da enzima protease formando aminoácidos.

Posteriormente, esses aminoácidos são decompostos, por bactérias para amônia, nitrito e nitrato. Segue a reação 5 que demonstram a hidrólise de proteínas e a oxidação de um aminoácido simples (POHLING, 2009).



Outra fonte de contaminação por amônia se dá pela decomposição da ureia, de acordo com as reações 6, 7 e 8. Esses compostos nitrogenados são oriundos de esgotos domésticos, efluentes industriais e escoamento de fertilizantes que contem sais de amônia (POHLING, 2009).



A maioria dos processos biológicos usam nitrogênios no estado de oxidação (-3), presente nos grupos amínico de proteínas. Algas que tem preferência por esse composto durante a decomposição deslocam o equilíbrio do NH₃ em água. O íon amônio em água pode ser adsorvido em camadas orgânicas de partículas de solo carregado negativamente (VASCONCELOS, s.d.).

Em águas contaminadas, a concentração de amônia pode alcançar até 10 mg NH₄⁺/L, porém, normalmente se encontra na faixa de 1-3 mg/L. Por essa razão, a presença de altas concentrações de íons NH₄⁺ ou de NH₃ na água ultrapassando 10 mg pode ser indicativo da falta de condições sanitárias (Pohling, 2009). O conhecimento teor de NH₄⁺ é fundamental, sendo utilizado como parâmetro para classificar a qualidade da água de um corpo hídrico, como pode ser visto na Tabela 2.

QUADRO 2 - Classificação da água pelo teor de NH_4^+ .

Concentração (mg NH_4^+ /L)	Qualidade da água
< 0,01	Pura sem problemas
0,1 – 0,3	Pouco a levemente poluída
0,3 – 3	Fortemente poluída
> 5	Muito forte

Fonte: Pohling, 2009.

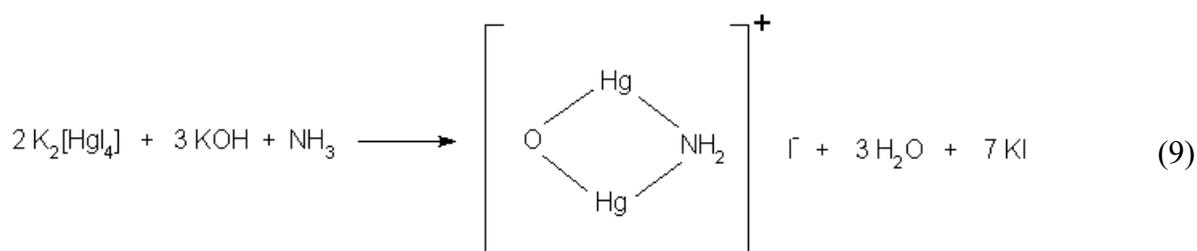
A ocorrência de NH_3 em águas de rios e açudes é um toxico a vida dos peixes, no qual muitas espécies não toleram concentrações acima de 5 mg/L, enquanto o íon NH_4^+ não representa toxicidade. O grau de toxicidade depende da sensibilidade e do tempo de exposição (POHLING, 2009).

A presença de NH_4^+ na água não possui efeitos tóxicos para a saúde humana, embora seja um indicativo de possível contaminação por efluentes (Pohling, 2009). A amônia não ionizada na forma de NH_3 é definida como mais tóxica por adentrar os tecidos corporais (Becker, 2008). As PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08, MS estabelece que o padrão limite de quantidade de amônia em água para o consumo humano é de 1,5 mg/L (BRASIL, 2017).

Além disso, a amônia promove o consumo de oxigênio dissolvido (DO) das águas naturais ao sofrer oxidação (KATO e PIVELI, 2005).

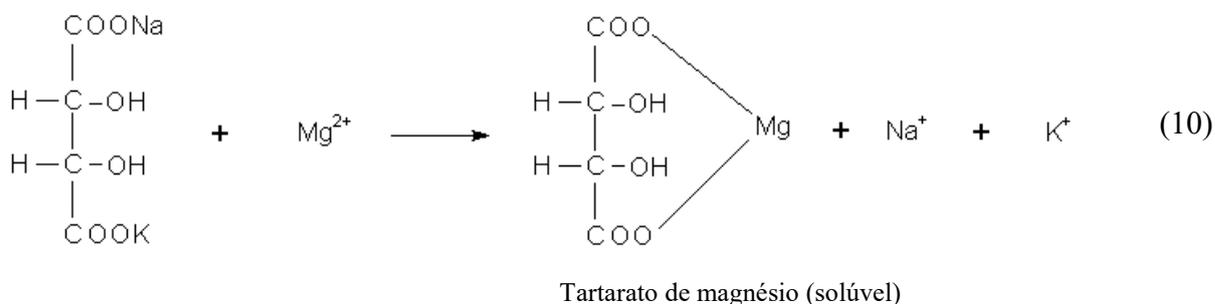
Desta forma, existem diferentes técnicas para a quantificação de amônia, a mais utilizada é a técnica espectroscópica que se baseia na determinação colorimétrica através do Método de Nessler, por meio da reação 9, que possui sensibilidade para uma faixa de 20 $\mu\text{g/L}$ N- NH_3 até 5 mg/L N- NH_3 . Antes da análise é realizado um tratamento da amostra, com objetivo de eliminar possíveis interferentes, como o Mg^{2+} , por meio da reação 10 (APHA, 2015).

Reação do reagente Nessler com a amônia em meio fortemente alcalino:



Fonte: Pohling, 2009.

Eliminação da interferência do Mg^{2+} (adição de tartarato de sódio e potássio):



Fonte: Pohling, 2009.

Em meio alcalino, o Mg^{2+} provoca turbidez por precipitação como $Mg(OH)_2$ e precisa ser complexado, através do tartarato de sódio e potássio.

3.5.3 Nitrito

O íon nitrito é normalmente encontrado como um estado intermediário do nitrogênio, tanto pela redução do nitrato como pela oxidação da amônia a nitrato. Diante disso, esse íon geralmente é encontrado em pequenas quantidades nas águas superficiais (GADELHA, 2005).

Sua presença na água está relacionada à decomposição biológica realizada pela ação de bactérias ou outros micro-organismos sobre o nitrogênio amoniacal, ou aos inibidores de corrosão em instalação industriais (Gadelha, 2005). Normalmente ocorre em ambientes anaeróbicos, como solos alagados que não possuem redutores suficientes para transformar todo o nitrogênio em amônio (BAIRD, 2002).

O nitrito é um excelente inibidor de corrosão em aço carbono, sendo constantemente utilizado em processos industriais, como inibidor em torres de refrigeração (Trovati, 2004). O íon nitrato pode ser convertido em nitrito, sob condições anaeróbicas, por meio de uma das etapas da reação 4. Esses processos de redução e oxidação podem ocorrer em águas naturais, sistemas de distribuição e tratamento de efluentes (ZOPPAS, 2016).

Em águas não contaminadas, o íon nitrito está presente apenas em quantidades traços de no máximo 0,001 mg NO_2^-/L . A ausência de nitrito não indica que o recurso hídrico não está contaminado por amônia ou nitrato. Concentrações de 0,2 – 2 mg/L de NO_3^- é sempre um indicador de poluição. Em pequenas quantidades na água não ocasiona problemas à saúde humana, no entanto possui um alto nível de toxicidade aos peixes (POHLING, 2009).

parcialmente solúvel em água (4 g/L) e em solventes orgânicos. É considerado um potente carcinógeno, estando relacionado ao aparecimento de tumores em animais de laboratórios. Ela tem a capacidade de modificar o código de instruções para síntese proteica, doando um grupo metila para um oxigênio ou nitrogênio de uma base de DNA. (RATH, 2009).

As PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08, MS determina que o nível máximo permitido de nitrito em águas para consumo humano é de 1,0 mg/L (BRASIL, 2017).

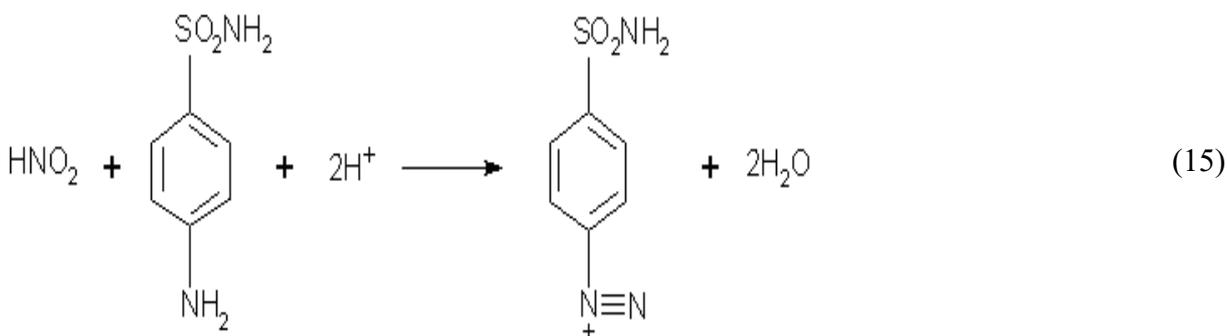
Desta forma, existem diferentes técnicas para a quantificação de amônia, a mais utilizada é a técnica colorimétrica que consiste na formação de uma substância de cor purpura obtida pela diazotação da sulfanilamida com a naftilamina (reagente de cor), em pH ácido, por meio das reações 14,15 e 16. O método é empregado em uma faixa de concentração de 0,005 mg a 1,0 mg/L de NO_2^- (APHA, 2015).

Reações:



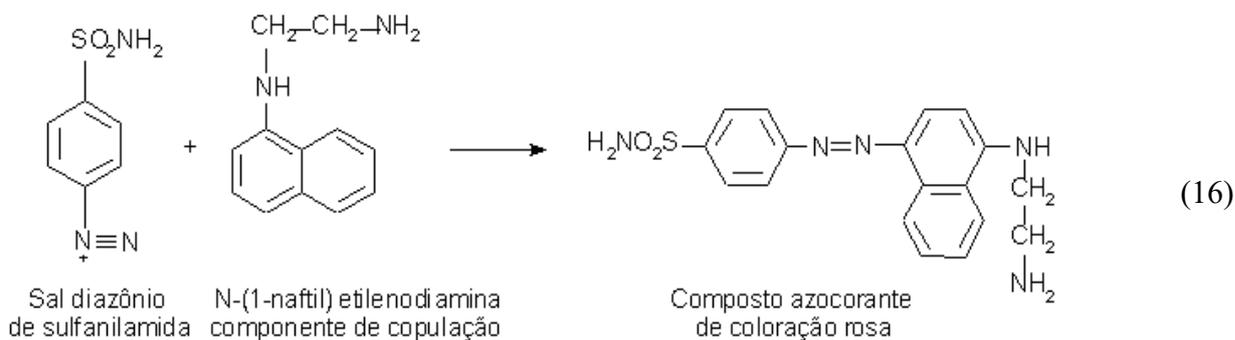
Fonte: Pohling, 2009.

Reação para formar o sal diazônio:



Fonte: Pohling, 2009.

Reação de copulação:



Fonte: Pohling, 2009.

3.5.4 Nitrato

É o composto de nitrogênio com oxigênio no estado de oxidação mais alto do nitrogênio. É um íon aniônico, solúvel e não é retido por solos, sendo originário tanto da oxidação da matéria orgânica nos solos e resíduos de animais como da água de chuvas (SANTOS, s.d.).

O nitrato, geralmente, é encontrado em baixas concentrações nas águas superficiais, porém pode ocorrer em altas concentrações em poços subterrâneos (Alaburda e Nishihara, 1998). Esses altos teores podem ser justificados por esse íon por apresentar alta solubilidade em água e não ser adsorvido por partículas do solo (POHLING, 2009).

A concentração de nitratos em teores superiores a 3 mg/L pode ser indicativos de contaminação por esgotos, fossas, lixo e cemitérios em águas subterrâneas (Alaburda e Nishihara, 1998). Também há a preocupação em áreas rurais com o uso de fertilizantes nitrogenados e ao cultivo intensivo da terra que proporciona a oxidação do nitrogênio presente na matéria orgânica decomposta para nitrato (Becker, 2008). A prática desse cultivo, ainda que sem o uso de fertilizante, já pode ser responsável pelo aumento da concentração de nitrato na água, devido à aeração e umidade BAIRD (2002).

Outra fonte de contaminação é a decomposição de compostos orgânicos nitrogenados, oriundos de esgotos domésticos. A decomposição realizada por bactérias gera diversos resíduos para o meio ambiente, como a amônia. Em água a amônia forma os íons amônia que, posteriormente, sofrem oxidação microbiana para nitrito e em seguida para nitrato (COSTA, 2017).

Além disso, estes contaminantes também podem ser encontrados em efluentes de indústrias metalúrgicas, uma vez que o ácido nítrico (HNO_3) é um dos reagentes utilizados na decapagem de peças metálicas. Em efluentes de estações de tratamento biológico nitrificante

as concentrações podem alcançar 30 mg/L. (NETO, 2008)

As águas superficiais naturais geralmente possuem concentrações traços de nitrato, contudo pode alcançar maiores concentrações em águas subterrâneas, apresentando teores entre 0,1 e 10 mg/L quando não poluídas (Silva, 2014). Essa diferença pode está relacionada a lixiviação de adubos inorgânicos e decomposição da matéria orgânica encontrada nas camadas do solo, assim como oxidação de esgotos e canalizações defeituosas (PARRON, MUNIZ, PEREIRA, 2011).

Em razão da alta solubilidade e estabilidade, o nitrato tem pouca propensão para a precipitação e adsorção, e, desse modo, torna-se difícil à remoção deste íon utilizando tecnologias convencionais de tratamentos de água. Um destes processos que vem sendo desenvolvido e aplicado é a desnitrificação biológica que consiste na redução biológica do nitrato ou nitrito a nitrogênio molecular em ambiente sem oxigênio, como segue na reação 17 (COSTA, 2016):



O problema, à saúde, relacionados ao consumo de água contaminada por nitrato é a indução à doença metahemoglobina, que causa a ausência de oxigênio na corrente sanguínea podendo tornar o sangue azul, por esse motivo essa doença é conhecida popularmente como “síndrome do bebê azul”, tanto em crianças como adultos que possuem deficiência na produção de enzimas (Alaburda e Nishihara, 1998). Esse problema pode se dar pela presença de bactérias em mamadeiras ou no estomago dos bebês, no qual reduzem parte do nitrato a nitrito, em seguida, a reação 18 (BAIRD, 2002).

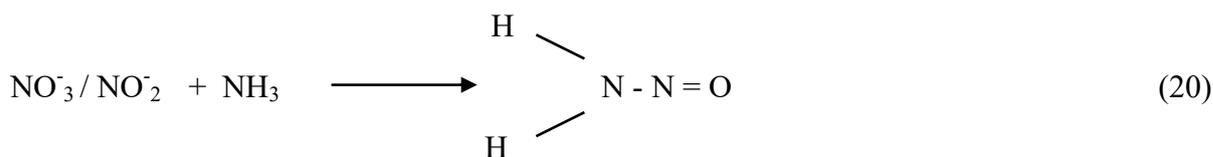
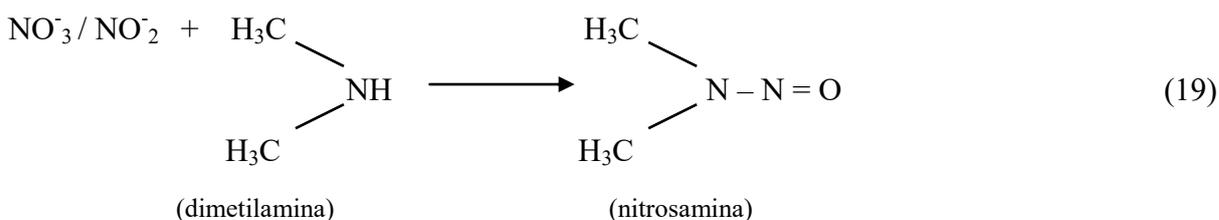


O nitrato tem a capacidade de se ligar, no sangue, com a hemoglobina, formando a metahemoglobina, que impede a absorção e o transporte de oxigênio necessário no decorrer dos processos metabólicos. (COSTA, 2016).

Na maioria dos adultos, a hemoglobina oxidada é naturalmente convertida novamente na sua forma transportadora de oxigênio, enquanto o nitrito é oxidado para nitrato. Além disso, a maioria dos íons NO_3^- é absorvida pelo trato digestivo dos adultos, antes que ocorra a redução a nitrito (BAIRD, 2002). Desta forma, a possibilidade de se desenvolver essa doença em pessoas adultas está limitada aquelas que já possuem outros problemas de saúde, como gastroenterite, anemia ou em mulheres grávidas (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001 *apud* BOUCHARD *et al.* (1992)). Há outros problemas que podem ser identificados após

a ingestão de nitratos e nitritos em altas concentrações por um longo período, como diurese e hemorragia no braço (POHILG, 2009).

Além disso, o consumo de grandes quantidades de nitrato em água pode estar relacionado ao desenvolvimento de câncer gástricos provocado pela produção de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (COSTA, 2016). Esses compostos podem aparecer provenientes da reação entre o nitrito ingerido ou pela redução bacteriana do nitrato, com aminas secundárias ou terciárias e amidas encontradas nos alimentos. O pH ideal para que ocorra a reação de nitrosaminação é entre 2,5 a 3,5, faixa similar à encontrada no estômago após a ingestão de alimentos. Além disso, essas duas substâncias estão relacionadas com o aparecimento de tumores em animais de laboratório estes são demonstrados nas reações 19 e 20 (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).



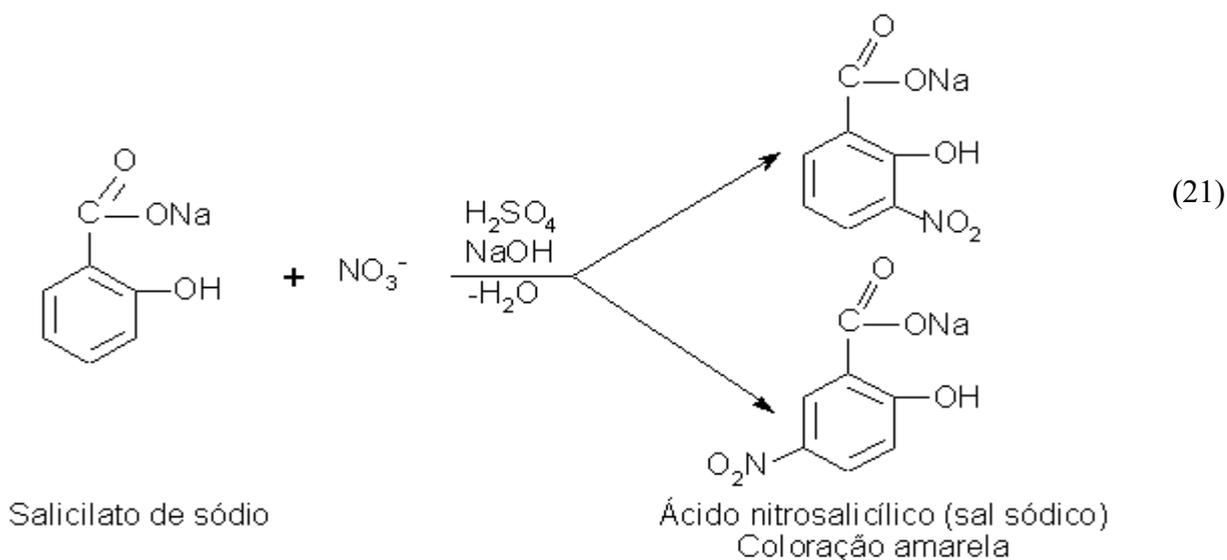
Existem estudos que relacionam o aumento de tipos específicos de câncer com o consumo de altos teores de nitrato, contudo mais pesquisas estão sendo desenvolvidas para verificar os efeitos carcinogênicos dos derivados de nitrogênio, bem como para definir os limites permitidos na legislação para as águas e suas finalidades (BAIRD, 2002).

As PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08, MS define que o padrão de potabilidade de nitrato em águas para consumo humano é de 10,0mg/L (BRASIL, 2017).

Desta forma, existem diferentes técnicas para a quantificação de nitrato, a mais utilizada um método colorimétrico que se baseia na produção do paranitrosalicato de sódio, de coloração amarela, formado pela reação entre o nitrato e o salicato de sódio, por meio da

reação 21. A faixa de concentrações é de 0,2 a 20mg de NO_3^-/L , podendo ser aplicado à diluição de amostras. (RODIER, 1981)

Reação:



Fonte: Pohling, 2009.

3.5.5 Eutrofização

Os compostos nitrogenados são tidos como macronutrientes, uma vez que o nitrogênio é o segundo elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas, sendo um dos principais nutrientes para processos biológicos (KATO e PIVELI, 2005).

A eutrofização é um fenômeno que pode acontecer em águas paradas, rios e mares, como consequência do aumento de nutrientes, principalmente de fósforo e nitrogênio, que associados às condições de luminosidade provocam o crescimento das cianobactérias, algas e outras plantas (Barreto, 2013). Além disso, esse tipo de contaminação mineral é causado por pequenas quantidades desses sais minerais, quase imperceptíveis, os quais não afetam diretamente na salinidade, característica que pode prejudicar na qualidade das águas. Contudo, podem ocasionar efeitos indiretos, causados por quantidades diminutas desses nutrientes, os quais promovem a proliferação de seres produtores de gostos, odores, toxinas e outros fatores, que devem ser removidos antes de utilizar a água. (BRANCO, 1986).

Esse processo, normalmente, é causado por atividades antropogênicas, como drenagem de fertilizante agrícola, despejo de detergente, drenagem de dejetos humanos, entre

outros. Esse efeito pode ter como consequência o comprometimento da qualidade da água, causando algumas alterações que afetam diretamente o equilíbrio do ecossistema, entre essas mudanças há a diminuição da penetração da energia solar a qual é provocada pelo revestimento da superfície aquática por uma camada de espécies vegetais. Além disso, esse evento ocasiona tanto alterações na turbidez e coloração da água como redução da quantidade de oxigênio dissolvido, o que implica em um aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Quando ocorre a morte e a decomposição dos vegetais há um grande consumo de oxigênio dissolvido, ocasionado à morte de várias espécies aquática (KATO e PIVELI, 2005).

O crescimento descontrolado da população de algas pode acarretar complicações aos que possam fazer uso dessa água, promovendo graves problemas ao abastecimento público. A grande quantidade de fontes de poluição de nitrogênio dificulta o controle da eutrofização, por meio da redução desse elemento, visto que algumas fontes não podem ser controladas, como a fixação do nitrogênio atmosférico realizado por alguns gêneros de algas (POHILG, 2009).

Desta forma, visando o controle desse fenômeno é mais vantajoso investir na redução de fonte de fósforo. Além disso, também é válido ressaltar que os processos de tratamento de esgotos no Brasil, atualmente, não são desenvolvidos com intuito de remover nutrientes.

3.6 Sistemas de tratamento de água

Visando diminuir altas concentrações de compostos nitrogenados podem ser aplicados processos físico-químicos e biológicos. Dentre os variados métodos, os mais usados são: troca iônica, tecnologia de membranas e tratamentos biológicos (COSTA, 2016).

A troca iônica fundamenta-se no transporte da água poluída por uma coluna preenchida com resina com grupos funcionais neutralizados por ânions de base forte, que são substituídos pelo poluente até a exaustão inteira da resina. Essa técnica é muito utilizada, devido o fácil controle, automação simples e não sofrer influência da temperatura (BARBOSA, 2005).

A tecnologia de membranas consiste na remoção de íons, por meio da passagem forçada, pela execução de uma pressão superior à pressão osmótica, da água poluída por uma membrana permeável que filtra o íon NO_3^- . Porém, não é uma técnica seletiva, visto que ocorre a separação de muitos outros íons com o nitrato. Além disso, esse processo possui sensibilidade à existência de compostos orgânicos, partículas coloidais, variações de pH,

exposição ao cloro e grande quantidade de sólidos totais dissolvidos, de tal forma que se faz necessário um pré-tratamento da água (BARBOSA, 2005). A aplicação de processos físico-químicos na remoção de nitrato em água é tida como limitada, em razão do alto custo de instalação e de energia (TORRES, 2011).

A desnitrificação biológica trata-se da transformação do nitrato, por meio de uma série de compostos intermediários, em gás nitrogênio (N_2). Uma das vantagens dessa técnica é que grande parte dos micro-organismos não utilizam o N_2 , logo diminui a formação de subprodutos. Além disso, esse processo melhora a qualidade da água, uma vez que há poucas chances dos produtos dessas reações retornarem à forma de nitrato (BARBOSA, 2005).

4 METODOLOGIA

O presente foi realizado no Laboratório de Química Ambiental (LQA) do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). As amostras foram coletadas no ano de 2020, em três municípios localizados em diferentes regiões do estado do Ceará e em cada município foram coletadas cinco amostras. Dessa maneira, as amostras serão apresentadas como: Município A (A1, A2, A3, A4 e A5), Município B (B1, B2, B3, B4 e B5) e Município C (C1, C2, C3, C4 e C5).

As coletas seguiram os procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Os ensaios de amônia e nitrito foram realizados seguindo as metodologias descritas no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” da American Public Health Association (APHA, 2015). Para determinação de nitrato usou-se a metodologia fornecida por (Rodier, 1981). Todos os procedimentos foram realizados em duplicata e calculado suas médias.

4.1 Amônia Total

4.1.1 Curva de calibração

A curva de calibração foi construída no espectrofotômetro, modelo Aquamate 8000, UV-Vis, marca Thermo Scientific no comprimento de onda de 420 nm e cubeta de 1 cm. Para elaboração da curva foram feitas diluições sequenciais da solução padrão de amônia nas concentrações: 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 e 2,0 mg/L de N-NH₃. Por fim, os valores das absorbâncias e suas respectivas concentrações foram plotadas em um gráfico para obtenção da equação da curva e o coeficiente de correlação.

4.1.2 Procedimento

Foi transferido uma alíquota de 100 mL da amostra, utilizando uma pipeta volumétrica, para um Erlenmeyer de 250 mL. Acrescentou-se 1 mL de ZnSO₄, com auxílio de uma pipeta volumétrica e 5 gotas de NaOH 6 mol/L. Misturou-se e esperou 10 minutos a fim de decantar o precipitado formado. Após o tratamento retirou-se 10 mL do sobrenadante, utilizando uma pipeta volumétrica, para um tubo de Nessler. Adicionou-se 2 gotas de sal de rochele, que consiste em uma solução alcoólica de tartarato de sódio e potássio, e agitou-se. Adicionou-se 0,4 mL do reagente Nessler, uma solução alcalina de tetraiodomercurato (II) de

potássio, e a homogeneizou. A leitura da coloração púrpura desenvolvida foi realizada em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 420 nm e cubeta de 1 cm. Os resultados encontrados foram apresentados em mg/L de N-NH₃.

4.2 Nitrito

4.2.1 Curva de calibração

A curva de calibração foi construída no espectrofotômetro, modelo Aquamate 8000, UV-Vis, marca Thermo Scientific no comprimento de onda de 520 nm e cubeta de 1 cm. Para elaboração da curva foram feitas de diluições sequenciais da solução padrão de amônia nas concentrações: 0,05; 0,1; 0,3; 0,6 e 0,9 mg/L de N- NO₂⁻. Por fim, os valores das absorvâncias e suas respectivas concentrações foram plotadas em um gráfico para obtenção da equação da curva e o coeficiente de correlação.

4.2.2 Preparo do reagente colorimétrico

O preparo do reagente colorimétrico é realizado com a mistura dos seguintes reagentes em um balão volumétrico de 1 L e completado com água destilada.

- 1 g de N-(1-naftil) etilenodiamina dihidroclorato;
- 10 g de Sulfanilamida dissolvida em 100 mL de ácido fosfórico (H₃PO₄).

4.2.3 Procedimento

O procedimento consiste em transferir uma alíquota de 10 mL da amostra, utilizando uma pipeta volumétrica, para um tubo de ensaio. Acrescentou-se 0,4 mL do reagente colorimétrico. Agitou-se e deixou em descanso por 10 minutos. A leitura da absorvância da amostra foi obtida em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 520 nm e cubeta de 1 cm. Os resultados encontrados foram expressos em mg/L de NO₂⁻.

4.3 Nitrato

4.3.1 Curva de calibração

A curva de calibração foi construída no espectrofotômetro, modelo Aquamate 8000, UV-Vis, marca Thermo Scientific no comprimento de onda de 420 nm e cubeta de 1 cm. Para elaboração da curva foram feitas de diluições sequenciais da solução padrão de amônia nas concentrações: 0,05; 1,0; 5,0; 10,0 e 15,0 mg/L de N- NO₃⁻. Por fim, os valores das absorvâncias e suas respectivas concentrações foram plotadas em um gráfico para

obtenção da equação da curva e o coeficiente de correlação.

4.3.2 Procedimento

Para este procedimento transferiu-se uma alíquota de 10 mL da amostra, utilizando uma pipeta volumétrica, para um béquer de 250 mL. Adicionou-se 1 mL de solução de Salicilato de sódio 0,5% (m/v), com auxílio de uma pipeta graduada, e aqueceu-se à 200 °C até a evaporação completa do líquido. Digeriu-se o resíduo seco com 2 mL de ácido sulfúrico concentrado, com auxílio de uma pipeta graduada, e depois de esfriar, adicionou-se 15 mL de água destilada e 15 mL de solução de hidróxido de sódio 10 mol/L com tártaro de sódio/potássio 0,2 mol/L, com auxílio de pipetas volumétricas. Agitou-se e, depois de esfriar, realizou-se a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 420 nm em cubetas de 1 cm. Os resultados encontrados foram apresentados em mg/L de NO_3^- .

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Município A

A Tabela 1 apresenta os resultados do município A, a qual contém os valores de amônia total (N-NH₃), nitrito (N-NO₂⁻) e nitrato (N-NO₃⁻), para as cinco amostras de águas de poços analisadas.

TABELA 1: Resultados do Município A para Amônia, Nitrato e Nitrito, expressos em mg/L.

Parâmetro	Amostra					PRC N° 5/17	CONAMA N° 396/08
	A1	A2	A3	A4	A5		
Amônia	< LQ	≤ 1,5	***				
Nitrito	0,160 ±	0,986 ±	0,037 ±	0,031 ±	0,061 ±	≤ 1,0	≤ 1,0
	0,001	0,009	0,002	0,001	0,003		
Nitrato	4,225 ±	10,325	6,000 ±	4,025 ±	13,650	≤ 10,0	≤ 10,0
	0,096	± 0,096	0,082	0,096	± 0,058		

Fonte: elaborada pelo autor.

De acordo com os dados descritos na Tabela 1, verificou-se que todas as amostras apresentaram níveis de concentração de amônia abaixo do limite de quantificação, o que é um indicativo de que não há poluição recente nos poços.

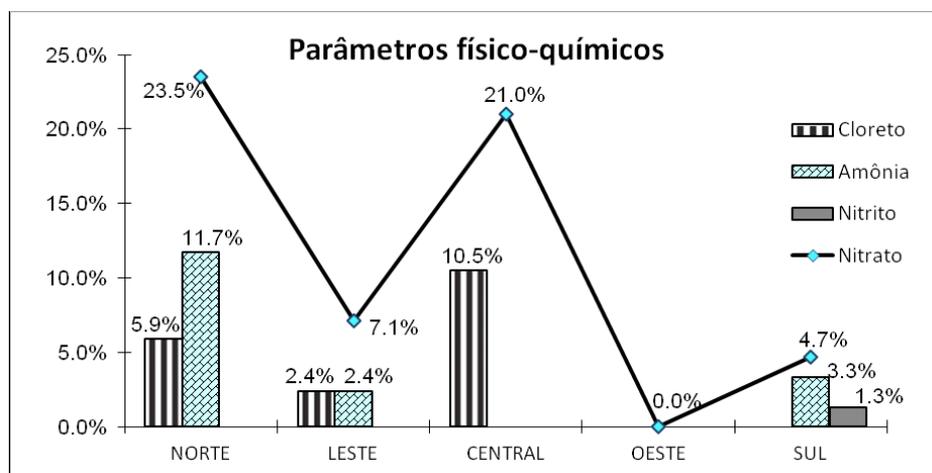
Quanto ao nitrito, todas as amostras atenderam aos valores de referência estabelecidos pelas PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08. Contudo, a amostra A2 apresentou concentração de 0,986 mg/L, a qual encontra-se próxima do limite máximo estabelecido, lançando um alerta para possíveis contaminações antigas nesse poço. Além disso, é importante salientar o consumo dessa água pode acarretar problemas à saúde como causar a metahemoglobina, independente da idade.

No que se refere ao teor de nitrato, das cinco amostras analisadas duas apresentaram concentrações superiores ao recomendado pelas PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08. São elas as amostras A2 e A5, com concentrações de 10,325 e 13,650 mg/L,

respectivamente. Estas altas concentrações de nitrato indicam que há uma poluição antiga nas águas dessas regiões. Além disso, o consumo dessa água antes do tratamento pode proporcionar o desenvolvimento da síndrome do bebê azul, principalmente em recém-nascido e grávidas.

Essa alta concentração de compostos nitrogenados pode estar diretamente relacionado à falta de saneamento básico nos locais analisados, visto que a região do município possui o pior índice de esgotamento sanitário do estado do Ceará com cerca de 7% (CAGECE, 2011). Resultados semelhantes foram obtidos no estudo de Costa (2012), no qual 21% dos 19 poços analisados da mesma região apresentaram concentração superior ao permitido na legislação como mostrado no gráfico 1.

GRÁFICO 1: Percentual de amostras que apresentaram os níveis dos parâmetros físico-químicos acima do limite permissível nas legislações vigentes nas regiões do Estado do Ceará, Brasil.



Fonte: Costa (2012)

5.2 Município B

A Tabela 2 apresenta os resultados do município B, a qual contém os valores de amônia total ($N-NH_3$), nitrito ($N-NO_2^-$) e nitrato ($N-NO_3^-$), para as cinco amostras de águas de poços analisadas.

TABELA 2: Resultados do Município B para Amônia, Nitrato e Nitrito, expressos em mg/L.

Parâmetro	Amostra					PRC Nº 5/17	CONAMA Nº 396/08
	B1	B2	B3	B4	B5		
Amônia	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	≤ 1,5	***
Nitrito	0,420 ± 0,002	0,511 ± 0,007	0,050 ± 0,002	< LQ	1,071 ± 0,001	≤ 1,0	≤ 1,0
Nitrato	8,142 ± 0,094	< LQ	14,616 ± 0,081	< LQ	6,688 ± 0,059	≤ 10,0	≤ 10,0

Fonte: elaborada pelo autor.

Assim como no município A, todas as amostras do município B apresentaram níveis de concentração de amônia abaixo do LQ, o que é um indicativo de que não há poluição recente nos poços.

Quanto ao nitrito, quatro amostras atenderam os valores de referência estabelecidos pelas PRC Nº 5/17 e CONAMA Nº 396/08. Contudo, a amostra B5 apresentou concentração de 1,071 mg/L, a qual encontra-se acima do limite máximo permitido o que indica uma contaminação antiga desse poço. Desta forma, é importante salientar que o consumo dessa água pode causar o desenvolvimento da síndrome do bebê azul independente da idade.

Quanto ao nitrato, foi observada a presença em três amostras (B1, B3 e B5). Porém, somente a amostra B3 teve valor acima do recomendado pelas PRC Nº 5/17 e CONAMA Nº 396/08, atingindo a concentração de 14,616 mg/L. Estas altas concentrações de nitrato indicam que há uma poluição antiga nas águas desse poço, além de proporcionar o desenvolvimento da síndrome do bebê azul caso haja consumo dessa água.

Essa alta concentração de compostos nitrogenados pode estar diretamente relacionado à falta de saneamento básico nos locais analisados, visto que essa região possui o segundo pior índice de esgotamento do estado do Ceará com cerca de 26% (CAGECE, 2011). Resultados obtidos no estudo de Costa (2012) foram diferentes, como observado no gráfico 1, nos quais os três poços analisados não apresentaram compostos nitrogenados, contudo além

do baixo número de locais estudados também é importante salientar que contaminações por compostos nitrogenados são feitas em sua maioria por ações antrópicas, dessa forma há possibilidade de grandes variações dessas concentrações em pequena diferença de tempo.

5.3 Município C

A Tabela 3 apresenta os resultados do município C, a qual contém os valores de amônia total (N-NH₃), nitrito (N-NO₂⁻) e nitrato (N-NO₃⁻), para as cinco amostras de águas de poços analisadas. Verificou-se que todas as amostras apresentaram níveis de concentração de amônia abaixo do LQ, o que é um indicativo de que não há poluição recente nos locais de coleta.

TABELA 3: Resultados do Município C para Amônia, Nitrato e Nitrito, expressos em mg/L.

Parâmetro	Amostra					PRC N° 5/17	CONAMA N° 396/08
	C1	C2	C3	C4	C5		
Amônia	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	≤ 1,5	***
Nitrito	0,050 ± 0,001	0,091 ± 0,003	0,198 ± 0,002	< LQ	0,051 ± 0,005	≤ 1,0	≤ 1,0
Nitrato	1,292 ± 0,093	14,510 ± 0,081	14,316 ± 0,080	< LQ	0,488 ± 0,058	≤ 10,0	≤ 10,0

Fonte: elaborada pelo autor.

No que se refere aos teores de nitrito, foi verificado sua presença em todas as amostras, no entanto, todas ficaram abaixo do valor de referência indicado na PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08.

Quanto ao nitrato, foi observada a presença em quatro amostras (C1, C2, C3 e C5), porém, somente as amostras C2 e C3 apresentaram valores acima do recomendado pela PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08. As concentrações obtidas foram de 14,510 e 14,316 mg/L para as amostras C2 e C3, respectivamente. A presença de nitrato nessas concentrações podem ser um indicativo que há uma poluição antiga nas águas desse poço. Além disso, o

consumo dessas águas pode provocar o desenvolvimento da síndrome do bebê azul, principalmente em recém-nascido e grávidas.

Essa alta concentração de compostos nitrogenados pode estar diretamente relacionado à falta de saneamento básico nos locais analisados, visto que o município C se encontra na mesma região que o município A.

5.4 Tratamentos sugeridos

Desta forma, visando recuperar essas fontes de águas contaminadas é possível realizar diferentes tratamentos que diminuam as concentrações desses compostos nitrogenados. Como as amostras analisadas apresentaram contaminação por íons é indicado realizar ou um tratamento por troca iônica ou por tecnologia de membranas, sendo necessário um estudo de caso individual para escolha qual das técnicas é mais apropriada para cada caso. Além disso, é necessário que haja contínuo monitoramento desses poços para que não haja novas contaminações por compostos nitrogenados.

6 CONCLUSÃO

Tendo como referência os valores de amônia, nitrito e nitrato, conclui-se que as águas próprias para consumo humano são: município A (A1, A3 e A4), município B (B1, B2, B4 e B5) e município C (C1, C4 e C5).

Somente a amostra B5 apresentou nitrito na concentração de 1,071 mg/L, o qual está acima do estabelecido pela PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08.

Quanto às amostras A2, A5, B3, C2 e C3, todas apresentaram teores de nitrato acima do recomendado pela PRC N° 5/17 e CONAMA N° 396/08, o que as tornam impróprias para consumo humano.

Visto que as maiores contaminações encontradas foram de nitrato, pode-se realizar tanto o tratamento por troca iônica como por tecnologia de membranas, dependendo da disponibilidade de tempo e recurso.

Portanto, é importante que haja frequente monitoramento e tratamento desses poços com intuito de que os padrões determinados pela legislação sejam seguidos, visando à conservação da qualidade da água e, conseqüentemente, da saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, p. 160-165, 1998.
- Andrietta, M. Ciências da Natureza: Resumo Completo do Ciclo da Água. **Ifoenem**, 2016 Disponível em: <https://infoenem.com.br/ciencias-da-natureza-resumo-completo-do-ciclo-da-agua/>. Acessado em: 10 de junho de 2020.
- APHA – American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2015.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.
- BARBOSA, C. F.; **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema**, 2005. 93 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Geociências) - Instituto de Geociências, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Campinas, 2005.
- BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia**, v. 9, n. 16, p. 2167, 2013.
- BECKER, H. Controle analítico de águas. **Fortaleza–CE, Versão**, v. 4, p. 46, 2008.
- BORGUETTI, N. R. B.; BORGUETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **O Aquífero Guarani: A verdadeira Integração dos Países do Mercosul. Paraná: Itaipu e Fundação Roberto Marinho**, 2005.
- BRANCO, S. M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. In: **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 1971. p. 1214-1214.
- BRASIL, Agência Nacional de Águas (ANA). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 out. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 5, de setembro de 2017. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 set. 2017.
- COSTA, C. L. L.; COSTA, R. F.; PANTOJA, G. C.; MAIA, L. D. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. 2012.
- COSTA, D. D.; KEMPKA, A. P.; SKORONSKI, E. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017.
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ - CAGECE. Índice de abastecimento público. Fortaleza. 2011. (Mimiografados).

DA SILVA, J. J. F.; MIGLIORINI, R. B. Caracterização das águas subterrâneas do aquífero furnas na região sul do estado de mato grosso. **Geociências (São Paulo)**, v. 33, n. 2, p. 261-277, 2014.

FERREIRA, A. N. P.; LIMA, C. F.; CARDOSO, F. B. F.; KETTELHUT, J. T. Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido. **Secretária de Recursos Hídricos e Ambiente**, 2007.

FREITAS, E. "Estrutura Geológica do Brasil"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilestela.uol.com.br/brasil/estrutura-geologia-brasil.htm>. Acesso em 19 de agosto de 2020.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. 651-660, 2001.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 993-1004, 2005.

FOGAÇA, J. R. V. "Ligações de Hidrogênio"; **Brasil Escola**, s.d. Disponível em: <https://brasilestela.uol.com.br/quimica/ligacoes-hidrogenio.htm>. Acesso em 19 de setembro de 2020.

GADELHA, Francisca Jucileuza Sousa et al. Verificação da Presença de Nitrito em Águas de Consumo Humano da Comunidade de Várzea do Cobra em Limoeiro do Norte–Ce. **REUNIÃO ANUAL DA SBPC**, v. 57, 2005.

KATO, M. T.; PIVELI, R. P. Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos. **ABES: São Paulo**, p. 285, 2005.

Madeiro, C. Com 12% da água doce mundial, o Brasil cuida bem dela? Entenda por que não. 2015. **UOL**, 2015. Disponível em: < <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/03/21/com-12-da-agua-doce-mundial-o-brasil-cuida-bem-dela-veja-respostas.htm> Acesso em: 17, julho de 2020.

NATHAN, Sundar. **AP Biology Study Guide AP Biology Study Guide**. FastPencil Inc, 2009.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. 4ª edição das Guias da OMS sobre Qualidade da Água para Consumo Humano. 2011.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. **Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.

PEREIRA NETO, A. P.; BRETZ, J. S.; MAGALHÃES, F. S.; MANSUR, M. B.; ROCHA, S. D. F. Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 263-270, 2008.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009. 334p.

RATH, S.; CANAES, L. S. Contaminação de produtos de higiene e cosméticos por N-nitrosaminas. **Química Nova**, 2009.

RODIER, J. **Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar, química, fisicoquímica, bacteriología, biología**. 1981.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, V. S. "Ciclo do Nitrogênio"; **Brasil Escola**, s.d. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-nitrogenio.htm>. Acesso em 19 de setembro de 2020.

SVS - Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. 2006.

SERAFIM, A. L.; VIEIRA, E. L.; LINDEMANN, I. L. Importância da água no organismo humano. **VIDYA**, v. 24, n. 41, p. 11, 2004.

TORRES, R. M. **Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

TROVATI, J. Tratamento de água de resfriamento. **Indústrias Corona. Araraquara**, p. 89, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

VASCONCELOS, N. M. S de. **Água**. Apostila. Fortaleza, s.v, s.d.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 29-42, 2016.