


## Contaminação por compostos nitrogenados e coliformes em águas subterrâneas da região metropolitana de Belo Horizonte, Brasil

Gabriel Souza-Silva<sup>1</sup><sup>\*</sup>; Clessius Ribeiro de Souza<sup>1</sup>; Vinicius Viana Pereira<sup>1</sup>; Fernanda Cristina Rezende Azevedo<sup>1</sup>; Isabela Vianna Soares<sup>1</sup>; Mariângela Domingues Alcantara<sup>1</sup>; Geraldo Jacinto Luz<sup>1</sup>; Micheline Rosa Silveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. (\*Autor correspondente: silva\_gs@yahoo.com)

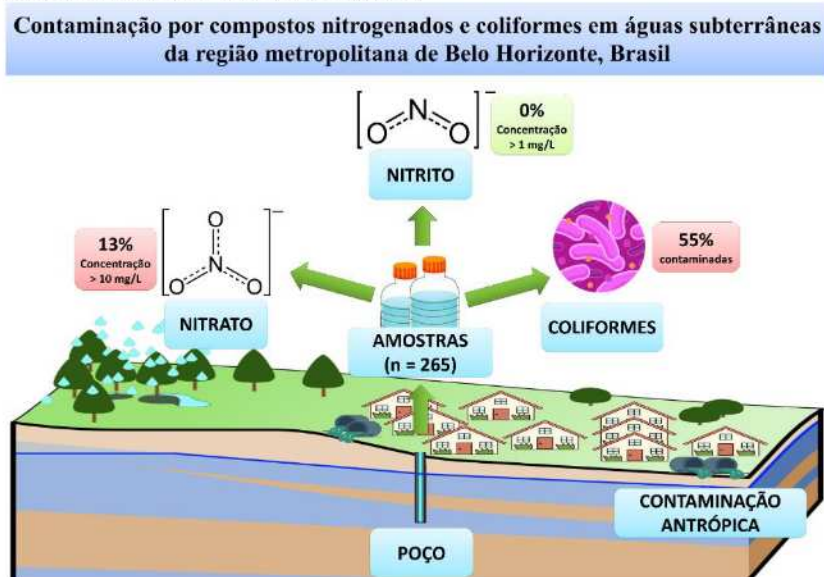
Histórico do Artigo: Submetido em: 14/05/2023 – Revisado em: 11/10/2023 – Aceito em: 27/11/2023

### RESUMO

O consumo de água de poços sem a segurança de potabilidade é um motivo de preocupação constante, pois os requisitos de qualidade são numerosos e dependentes de diversos fatores. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água subterrânea de poços da região metropolitana de Belo Horizonte (BH) por meio de análises físico-químicas (nitrato e nitrito) e microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes). Das 265 amostras de água analisadas, observou-se que 167 amostras (63%) estavam em desacordo com legislação vigente no país. Os maiores índices de não conformidade foram relacionados à contaminação da água por coliformes totais. Além disso, foram observadas 13% de amostras com concentrações de nitrato superiores a  $10 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$  e 7% com valores próximos a esse limite. Esses resultados reforçam a importância da avaliação da qualidade da água dos poços para consumo humano na proteção da saúde pública, na formulação de políticas e na gestão sustentável dos recursos hídricos. Ao analisar os parâmetros microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*) e físico-químicos (nitrato e nitrito), o estudo fornece insights cruciais sobre o potencial impacto na saúde humana, permitindo a identificação de riscos à segurança da água de poços. Essa informação é essencial para a implementação de medidas preventivas e para a mitigação de surtos de doenças relacionadas à água. Além disso, contribui para o desenvolvimento de políticas públicas, pois oferece uma base científica sólida para a tomada de decisões governamentais e a elaboração de regulamentações voltadas para a preservação da qualidade da água.

**Palavras-Chaves:** Água potável, Poço, Nitrato, Coliformes, Saúde Pública, Qualidade.

### RESUMO GRÁFICO // GRAPHICAL ABSTRACT



Souza-Silva, G., Souza, C.R., Pereira, V.V., Azevedo, F.C.R., Soares, I.V., Alcantara, M.D., Luz, G.J., Silveira, M.R (2023). Contaminação por compostos nitrogenados e coliformes em águas subterrâneas da região metropolitana de Belo Horizonte, Brasil. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.11, n.3, p.106-124.



# Contamination by nitrogen compounds and coliforms in groundwater in the metropolitan region of Belo Horizonte (Brazil)

## ABSTRACT

The consumption of water from wells without the security of potability is a constant concern, since the quality requirements are numerous and dependent on several factors. The work objective was to evaluate the groundwater quality from wells in the metropolitan region of Belo Horizonte through physical-chemical (nitrate and nitrite) and microbiological (coliforms) analyses. Of the 265 water samples analyzed, it was observed that 167 samples (63%) were in disagreement with current Brazilian legislation. The highest rates of non-compliance were related to water contamination by total coliforms. In addition, 13% of samples with nitrate concentrations greater than  $10 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$  and 7% with values close to this limit were observed. These results reinforce the importance of assessing the quality of water from wells for human consumption in protecting public health, formulating policies and sustainable management of water resources. By analyzing microbiological (total coliforms and *E. coli*) and physicochemical (nitrate and nitrite) parameters, the study provides crucial insights into the potential impact on human health, allowing the identification of risks to well water safety. This information is essential for implementing preventive measures and mitigating outbreaks of water-related diseases. Furthermore, it contributes to the development of public policies, as it offers a solid scientific basis for government decision-making and the development of regulations aimed at preserving water quality.

**Keywords:** Drinking water, Well, Nitrate, Coliforms, Public Health, Quality.

## 1. Introdução

No Brasil, a distribuição hídrica em seu território não é uniforme, sendo possível encontrar cenários extremos, variando de escassez, como a região nordeste, até condições de grande disponibilidade natural de água, como a região amazônica do Brasil (Nicollier et al., 2022; Alves et al., 2021; Ristow et al., 2021; Empinotti et al., 2019). Em locais caracterizados pela seca, como o cerrado brasileiro, uma das principais formas de obtenção de água é por meio da perfuração de poços rasos, profundos e cisternas. Dentre todos os municípios brasileiros, cerca de 39% consomem água de origem subterrânea (Souza et al., 2020). Em Minas Gerais, os principais usos das águas subterrâneas são destinados ao consumo humano, irrigação, consumo industrial e dessedentação de animais, sendo que mais da metade das outorgas vigentes do Estado são destinadas ao abastecimento público (Moreira et al., 2020).

Contudo, fatores como a falta de saneamento básico e a construção de forma inadequada dos poços, influenciam diretamente na qualidade da água. Além dos poluentes originários da decomposição de matéria orgânica, muitos ânions inorgânicos têm sido encontrados em concentrações potencialmente nocivas à saúde humana em fontes de água consideradas potáveis (Rupias et al., 2021; Hirata et al., 2020; Palmeira et al., 2019; Portal et al., 2019). Dentre eles, os ânions nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) destacam-se como uma preocupação ambiental em escala global (Qasemi et al., 2020; Bijay-Singh, 2021; Lazaratou et al., 2020; Yu et al., 2020; Temkin et al., 2019).

Os ânions  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$  são compostos naturais altamente solúveis em água, o que os tornam um dos principais contaminantes difundidos em mananciais subterrâneos e, também, uma séria ameaça à saúde pública. Na presença de determinadas bactérias, os nitratos são reduzidos em nitritos e podem formar as nitrosaminas, que são substâncias carcinogênicas (Eno et al., 2022; Richards et al., 2022; Hosseini et al., 2021; Taneja et al., 2017). Além disso, o consumo humano de nitrato por meio das águas de abastecimento está relacionado a enfermidades, como por exemplo, a meta-hemoglobinemia (Iolascon et al., 2021; Brender, 2020; Rehman et al., 2020; Badar et al., 2019; Johnson, 2019).

Além das substâncias inorgânicas, como nitrato e nitrito, parâmetros microbiológicos, tais como a presença de bactérias do grupo dos coliformes, são importantes para avaliar a qualidade da água. A presença desse grupo em águas subterrâneas, como poços, é um possível indicador de contaminação antropogênica, que em geral, são diretamente associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de resíduos não controlados e não licenciados. Assim, a má qualidade microbiológica das águas está diretamente relacionada às doenças diarreicas de veiculação hídrica, como a febre tifoide, cólera, hepatite A e giardíase.

Conseqüentemente, o consumo dessa água imprópria tem sido relacionado a vários surtos epidêmicos e às elevadas taxas de mortalidade infantil (Ribeiro et al., 2021; Carnaúba et al., 2021; Rocha et al., 2020).

A cidade de Belo Horizonte (BH) é a capital do estado de Minas Gerais com uma população superior a 2,3 milhões de habitantes, em 2022 (IBGE, 2022). Sabe-se que a qualidade da água consumida por humanos está diretamente relacionada à saúde pública, uma vez que a presença de águas contaminadas podem causar ou provocar doenças na população. Entretanto, mesmo sendo um município de referência em Minas Gerais, BH não possui estudos suficientes avaliando a qualidade da água de poços para parâmetros como nitrato, nitrito e coliformes para determinar a qualidade de água consumida por essa população.

Desde 1990, o valor máximo permitido de nitrato em água não sofreu alteração (Brasil, 1990). Atualmente, a legislação vigente do Ministério da Saúde (MS) referente à qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021), estabelece como valor máximo permitido (VMP) para nitrato e nitrito (como N): 10 mg.L<sup>-1</sup> e 1 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação ao padrão microbiológico, a legislação prevê ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* (Brasil, 2021).

Embora diversos estudos (Eno et al., 2022; Richards et al., 2022; Hosseini et al., 2021; Taneja et al., 2017; Iolascon et al., 2021; Brender, 2020; Rehman et al., 2020; Badar et al., 2019; Johnson, 2019) apresentem evidências de que nitrato em concentrações entre 5 e 10 mg.L<sup>-1</sup> apresentem riscos à saúde humana, nenhuma alteração foi realizada nesse parâmetro desde a mais de 30 anos. Por este motivo, visando avaliar a qualidade da água para esses parâmetros, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade da água subterrânea de poços da região metropolitana de Belo Horizonte, analisando a concentração de nitrato e nitrito e investigando a presença ou ausência de coliformes totais e *E. coli*.

## 2. Material e Métodos

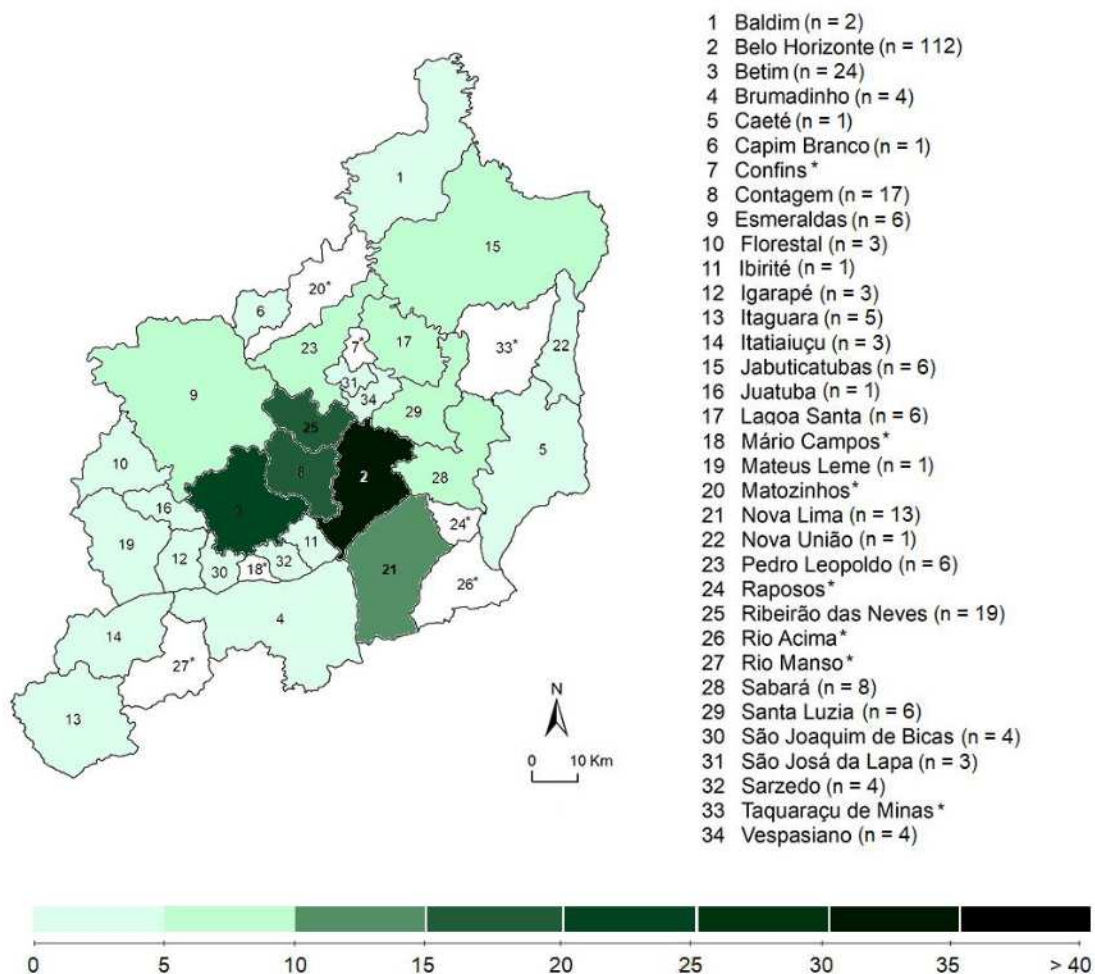
### 2.1 Reagentes

Os reagentes utilizados no teste de nitrato (ácido sulfúrico, salicilato de sódio e tartarato de sódio e potássio) e nitrito (sulfanilamida, dicloridrato de n-(1-naftil)-etilenodiamina e ácido fosfórico) foram obtidos pela Sigma-Aldrich (San Luis, MO, EUA) ou Merck Millipore (Burlington, MA, EUA). Para as curvas de calibração, foram utilizados os reagentes nitrato de potássio (curva do nitrato) e nitrito de sódio (curva do nitrito), adquiridos da Sigma-Aldrich (San Luis, MO, EUA). O kit ReadyCult Coliforms 100, utilizado para realização dos ensaios microbiológicos, foi obtido pela Merck Millipore (Burlington, MA, EUA).

### 2.2 Origem das amostras

Neste trabalho, estudaram-se amostras de água subterrânea dos municípios que compõem a região metropolitana de Belo Horizonte do Estado de Minas Gerais (MG), que possui área territorial de 9.468 km<sup>2</sup> e é composta por 34 municípios. As amostras de água de 27 municípios foram encaminhadas para o Laboratório de Saúde Pública/Análise de Água da Faculdade de Farmácia (FAFAR), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sendo analisadas entre os anos de 2018 e 2022. A Figura 1 apresenta o número de amostras coletadas em cada município da região metropolitana de BH incluído neste estudo.

**Figura 1** – Número de amostras de água de poço coletadas em cada município (n = 27), no período de 2018 a 2022, incluídos neste estudo.



Fonte: Souza-Silva, G. (2023).

No laboratório foram realizadas análises físico-químicas (nitrato e nitrito) e microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes), a fim de verificar sua potabilidade para consumo humano. Todas as amostras de água avaliadas neste trabalho foram originadas de poços (profundos e não profundos) que eram destinados ao consumo humano, sendo coletada uma única amostra por ponto de amostragem (poço).

### 2.3 Análises físico-químicas e microbiológicas da água

Após coleta das amostras, dentro do intervalo de 24 horas, as mesmas foram encaminhadas para o Laboratório de Saúde Pública/Análise de Água para análise dos parâmetros físico-químicos (nitrato e nitrito) e microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*), conforme a tabela 1.

**Tabela 1** – Descrição dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados nas amostras de água de poço da região metropolitana de Belo Horizonte de acordo com o parâmetro, equipamento e referência utilizada.

Parâmetros	Equipamento	Referência
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	Espectrofotômetro Chapa de aquecimento Capela de exaustão química	Yang et al., 1998
Nitrito (NO <sub>2</sub> -N)	Espectrofotômetro Capela de exaustão química	Green et al., 1982
Coliformes totais	Capela de fluxo laminar Estufa bacteriológica	APHA, 2017 (SMEWW 9223-B)
<i>Escherichia coli</i>	Capela de fluxo laminar Estufa bacteriológica Câmara UV	APHA, 2017 (SMEWW 9223-B)

Fonte: Souza-Silva, G. (2023).

### 2.3.1 Determinação da concentração de nitrato (NO<sub>3</sub>-N)

Para determinação da concentração de nitrato na amostra, foi utilizado o método de salicilato (Yang et al., 1998), com adaptações. Esse método baseia-se na formação de íons nitrônio, na presença de um meio ácido (ácido sulfúrico) e com aquecimento. Esses íons interagem com salicilato, em meio alcalino (tartarato de sódio e potássio), formando um composto de cor amarela.

A intensidade da coloração formada é proporcional a concentração de nitrato presente na amostra, a qual pode ser mensurada por espectrofotometria (Spectroquant® Prove 100) em 415 nm. Amostras com valores de nitrato superiores à faixa de linearidade do método (0,1 – 5,0 mg.L<sup>-1</sup>) foram diluídas e quantificadas na sequência. O branco da amostra foi composto por todos os reagentes e utilizando amostra de água purificada (Milli-Q).

### 2.3.2 Determinação da concentração de nitrito (NO<sub>2</sub>-N)

A concentração de nitrito foi quantificada pela reação de Greiss (Green et al., 1982), com adaptações. Para isso, uma quantidade de 50 mL da amostra foi transferida para um balão volumétrico e, em seguida, foi adicionado 1 mL do reagente de Greiss (1% de Sulfanilamida, 0,1% de Dicloridrato de N-(1-naftil)-etilenodiamina e 5% de Ácido Fosfórico). Após 10 minutos, a absorbância foi mensurada a 543 nm em espectrofotômetro (Spectroquant® Prove 100). O branco da amostra foi composto por todos os reagentes e utilizando amostra de água purificada (Milli-Q).

### 2.3.3 Determinação da presença ou ausência de coliformes

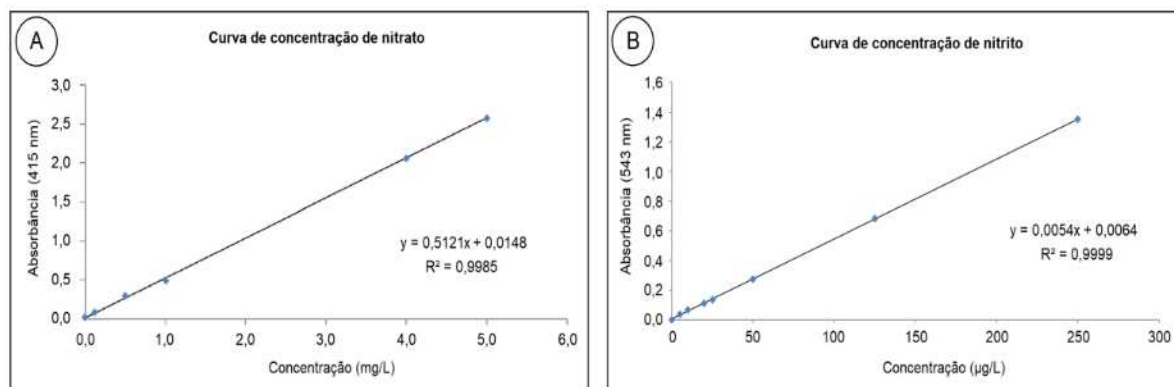
A presença de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*) foi determinada pelo teste de substrato enzimático cromogênico padronizado pela Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW) (9223-B), utilizando o kit ReadyCult Coliforms 100. Para realização do teste, uma unidade do kit foi adicionada em 100 mL da amostra de água, previamente coletadas em frascos estéreis de vidro transparente com capacidade de 250 mL. Após homogeneizada a amostra, foi transferida para uma estufa microbiológica (Fanem – SP, Brasil) e incubada a 36,0 ± 0,5 °C por período de até 24 horas.

As amostras que apresentaram mudança da coloração de amarelo para azul ou verde indicaram a presença de coliformes totais. Em seguida, essas amostras positivas (de cor verde ou azul) foram submetidas à luz ultravioleta (365–366 nm) em câmara escura e, aquelas que apresentaram fluorescência azul clara, confirmaram a presença de *E. coli* (APHA, 2017).

## 2.4 Curvas de calibração para nitrato e nitrito

A quantidade de nitrato em cada amostra foi estimada a partir de uma curva padrão de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) com nível de detecção de 0,1 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 2 – A). A quantidade de nitrito em cada amostra foi estimada contra uma curva padrão de nitrito de sódio (NaNO<sub>2</sub>) com nível de detecção de 0,01 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 2 – B).

**Figura 2** – Curvas padrão para análise da concentração de nitrato (A) e de nitrito (B) nas amostras de água



Fonte: Souza-Silva, G. (2023).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Características da amostra

Foi analisado um total de 265 amostras de água subterrânea de 27 municípios pertencentes à região metropolitana de BH. A Tabela 2 mostra o número de cidades com amostras insatisfatórias para os parâmetros físico-químicos (nitrato e nitrito) e microbiológicos avaliados (coliformes totais e *E. coli*).

**Tabela 2** – Número de municípios (n = 27) com amostras insatisfatórias de água de poço, segundo parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados no período de 2018 a 2022.

Parâmetros	Número de cidades com resultados insatisfatórios <sup>1</sup>
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	8/27 (29%)
Nitrito (NO <sub>2</sub> -N)	0/27 (0,0%)
Coliformes totais	26/27 (96%)
<i>Escherichia coli</i>	16/27 (59%)

**Legenda:** 1 - Conforme valores de referência estabelecidos pela Portaria nº 888/2021, do Ministério da Saúde (Brasil, 2021). **Fonte:** Souza-Silva, G. (2023).

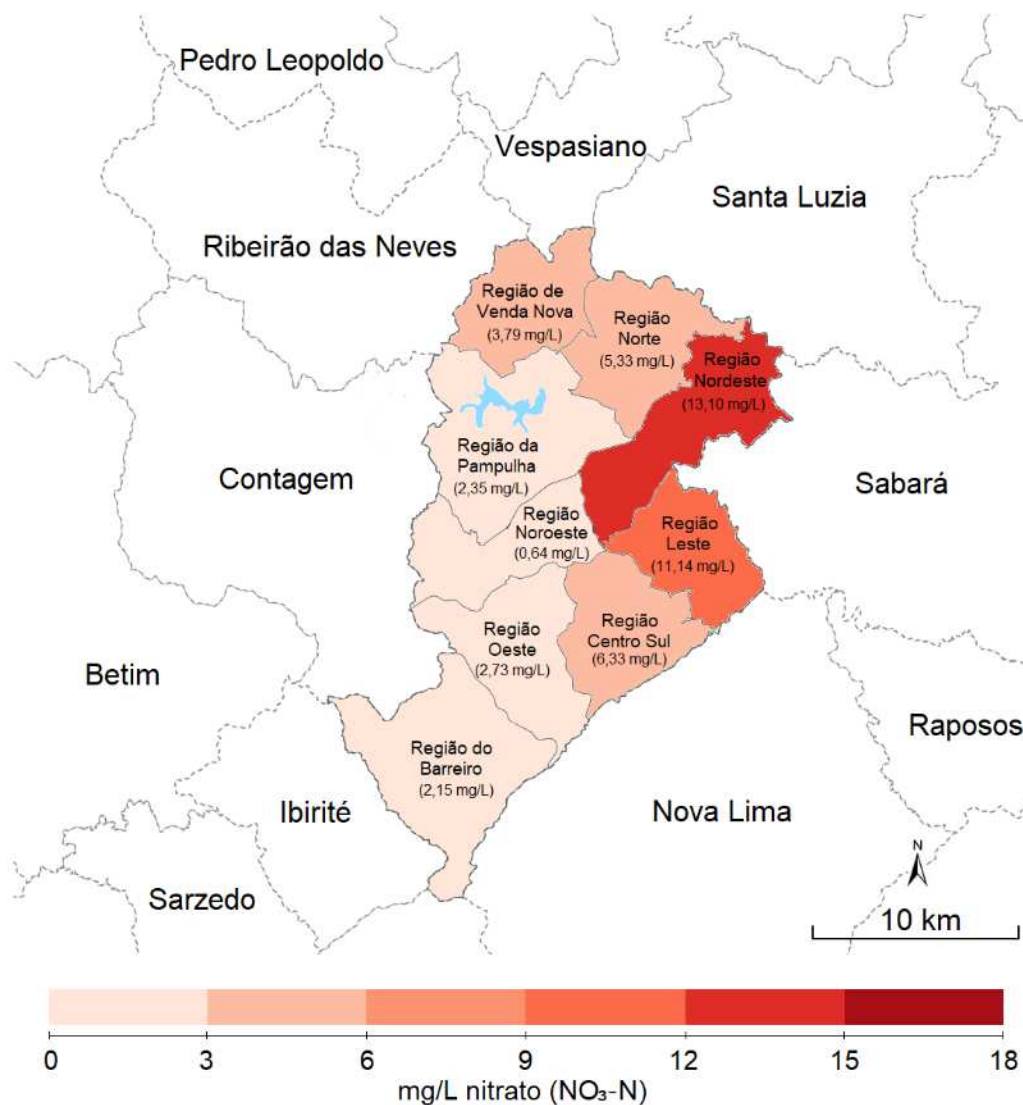
### 3.2 Concentração de nitrato e nitrito

Dentre todas as amostras de água analisadas, 36 (13%) apresentaram concentrações de nitrato (como N) acima do limite de potabilidade (VMP é de 10,0 mg.L<sup>-1</sup>), estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021

(Brasil, 2021), sendo que 26 (10%) amostras pertenciam a cidade de BH. Um total de 79 amostras (30%) apresentaram valores de nitrato inferiores ao limite de detecção do método. Nesses casos, quando o valor encontrado foi inferior a  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ , o resultado foi expresso como sendo  $\leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ .

A cidade de Belo Horizonte é dividida em nove regiões, sendo elas: Barreiro, Oeste, Centro Sul, Noroeste, Leste, Pampulha, Nordeste, Norte e Venda Nova. Dentre essas, as regiões Centro Sul, Leste e Nordeste foram as que apresentaram as maiores quantidades de nitrato em água de poços. A Figura 3 apresenta a média das concentrações de nitrato em amostras de poço, por região de Belo Horizonte.

**Figura 3** – Média da concentração de nitrato (como N) por região da cidade de Belo Horizonte



Fonte: Souza-Silva, G. (2023).

Embora a legislação vigente estabeleça o limite máximo de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  de nitrato em água destinada ao consumo humano, 106 amostras analisadas (40%) apresentaram concentrações de nitrato superior a  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ .

<sup>1</sup>, quantidade conhecidamente suficiente para indicar contaminação da água por atividades antropogênicas (Hoppe et al., 2014). A presença de nitrato na água pode ser atribuída à contaminação proveniente de atividades agrícolas (fertilizantes nitrogenados), industriais (esgotos industriais) e/ou urbanas (esgotos domésticos), principalmente relacionadas aos resíduos orgânicos produzidos (Palmeira et al., 2019; Taneja et al., 2017).

Com a crescente preocupação dos impactos à saúde humana provocados pelo consumo de água com qualidade insatisfatória, diversos estudos vêm apresentando altas concentrações de nitrato em amostras de poço. Concentrações de nitrato acima do limite de potabilidade foram relatadas em Roraima (Lima, 2008; Lauthartte et al., 2016), Ceará (Costa et al., 2013; Bezerra et al., 2017), Bahia (Silva & Araújo, 2003), São Paulo (Scorsafava, et al., 2010; Varnier et al., 2010; Silva et al., 2019 A; Godoy et al., 2004), Paraná (Biguelini and Gummy, 2012), Rio Grande do Norte (Cunha, 2013), Rio Grande do Sul (Zerwes et al., 2015) e também em outros estados brasileiros.

Assim como os resultados encontrados neste estudo, existem relatos internacionais de altas concentrações de nitrato ( $> 10 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em amostras de água em poços da Polônia (Czekaj et al., 2016; Raczuk et al., 2013), Burkina Faso (Rosillon, 2012), Índia (Narsimha & Peiyue, 2019), México (Fabro et al., 2015), França (El Khattabi et al., 2018), Turquia (Nalbantcilar & Pinarkara, 2016); Portugal (Mendes & Ribeiro, 2010), Irã (Qasemi et al., 2018), China (Chen et al., 2016) e Indonésia (Sadler et al., 2016). A partir dos dados desses estudos e os resultados do presente trabalho, é possível identificar uma tendência e padrões de contaminação da água subterrânea por nitrato em cidades, seja por meio da gestão inadequado de águas residuais domésticas ou industriais

Dentre as diferentes formas de contaminação por nitrato da água por atividades antropogênicas, atividades agrícolas e pecuárias são as principais. Nos Estados Unidos, um relatório do US Geological Survey (USGS) mostrou que 64% dos aquíferos estudados apresentaram concentração de nitrato que excediam os limites da legislação (VMP =  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ ), sendo que em aquíferos sob áreas agrícolas, essa concentração era cerca de 4 vezes maior (Dubrovsky et al., 2010). Na Turquia, concentrações acima desse limite de potabilidade foram relatadas em amostras de águas subterrâneas coletadas em áreas onde havia atividades agrícolas e pecuárias (Nalbantcilar & Pinarkara, 2016). Neste estudo, embora não haja intensa atividade agropecuária na cidade de BH, sua região metropolitana é extensa, abrangendo cidades com alta atividade agropecuária, como Baldim, Jaboticatubas e Itaguara, as quais merecem atenção quanto a presença de nitrato na água destinada ao consumo humano.

Devido a sua toxicidade, tanto para a saúde humana quanto animal (Nakazawa et al., 2016), no estado de São Paulo, foi estabelecido que a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desse atenção especial e realizasse ações preventivas quando fossem encontradas concentrações superiores a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  de nitrato na água destinada ao consumo humano (CETESB, 2016). Essa medida é recomendada pois, em concentrações elevadas, o nitrato e seus compostos podem causar doenças, como também podem desencadear respostas cancerígenas.

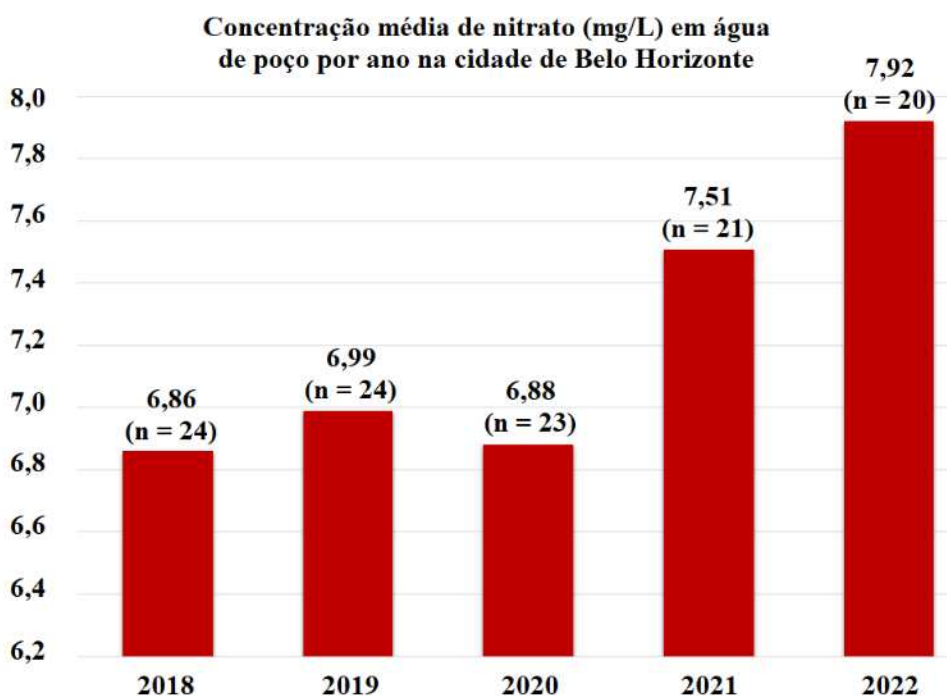
Em um estudo de realizado nos Estados Unidos, relacionou-se concentrações de nitrato acima de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  com risco de câncer de cólon e reto (De Roos et al., 2003), ainda que esse valor esteja abaixo do limite de potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 ( $< 10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Brasil, 2021). Além disso, as altas concentrações de nitrato na água estão associadas há um maior risco de desenvolvimento de câncer gástrico (Zaki et al., 2004) e linfoma não-Hodgkin (Gulis et al., 2002).

Os dados apresentados neste trabalho representam um alerta para algumas cidades da região metropolitana de BH, relacionado aos níveis de nitrato em águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, visto que 29% e 39% dos municípios avaliados, apresentaram pelo menos um ponto de coleta com valores de nitrato (como N) acima de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Com relação à concentração de nitrito nas amostras de água, nenhuma apresentou valores acima do limite de potabilidade (VMP =  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ) estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 (Brasil, 2021).

Esse resultado de baixa concentração de nitrito nas amostras de água analisadas era esperado, uma vez que o nitrito pode oxidar rapidamente a nitrato ou ser adsorvido pelas partículas do solo (Costa et al., 2017), reduzindo naturalmente a sua concentração nas amostras. Em um estudo realizado em São Paulo, apenas 4 (0,3%) de 1356 poços analisados apresentaram valores de nitrito acima do valor máximo permitido (VMP) para água destinada ao consumo humano (Scorsafava, et al., 2010). No Ceará, um estudo envolvendo 230 amostras de água de poço, apenas 2 (1%) apresentaram valores de nitrito acima do limite.

Na cidade de BH, foi possível observar um aumento da concentração de nitrato na água de poços entre os anos de 2018 e 2022. Em 2018, a concentração média de nitrato em BH foi de 6,86 mg.L<sup>-1</sup> (n = 24), enquanto em 2022 a concentração média foi de 7,92 mg.L<sup>-1</sup> (n = 20). Além disso, tanto em 2018 como em 2022, o número de amostras com resultados insatisfatórios manteve-se constante (n = 7). A Figura 4 mostra a progressão do aumento médio de nitrato por região de BH.

**Figura 4** – Concentração média de nitrato (mg/L) nas amostras de água de poços da cidade de Belo Horizonte coletadas entre os anos de 2018 e 2022.

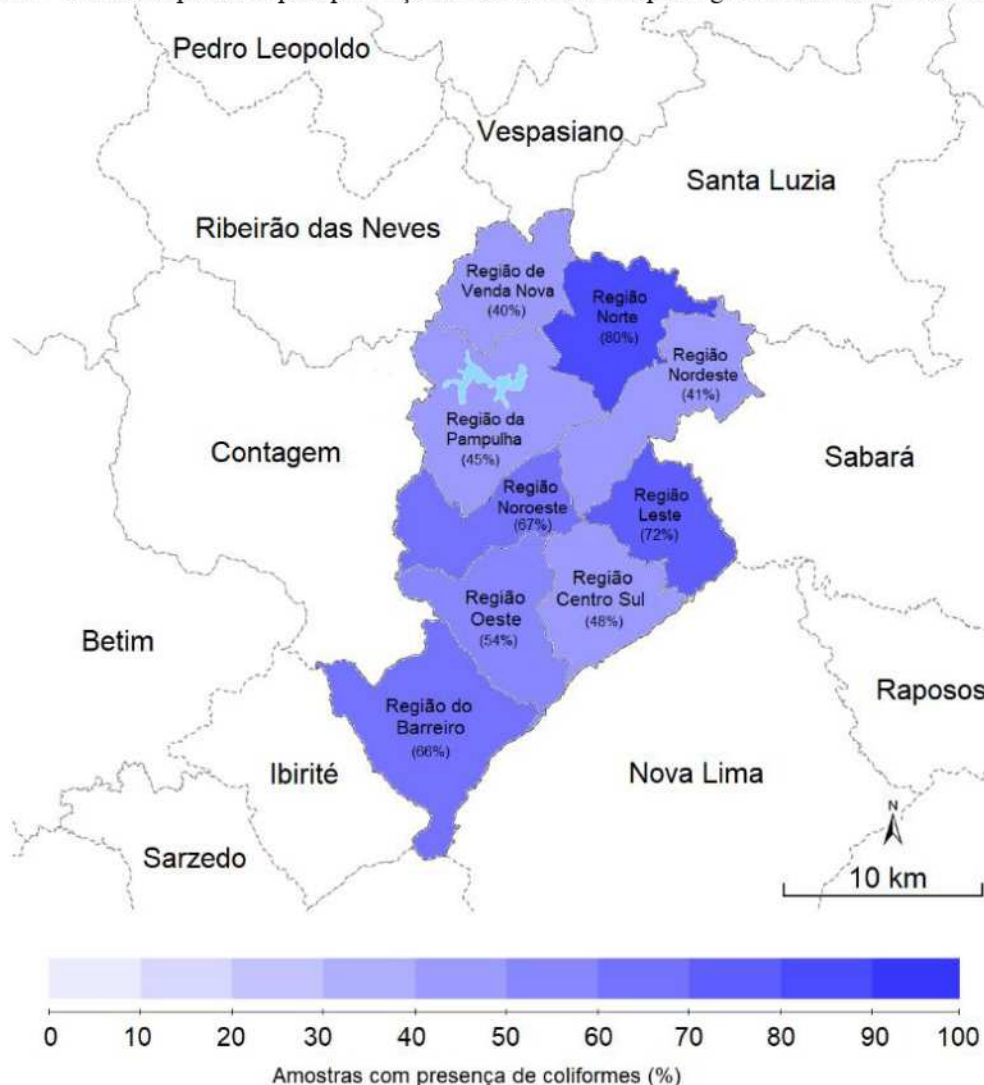


Fonte: Souza-Silva, G. (2023).

### 3.3 Coliformes totais e *E. coli*

Das 265 amostras de água de poços analisadas neste estudo, 145 (55%) e 43 (16%) apresentaram resultados insatisfatórios para a presença de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente, de acordo com o estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 (Brasil, 2021). Na cidade de BH, das 112 amostras analisadas, 56 (50%) e 10 (9%) testaram positivo para presença de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente. A Figura 5 apresenta a porcentagem das amostras de água de poço com presença de coliformes totais, por região de BH.

**Figura 5** – Amostras positivas para presença de coliformes totais por região da cidade de Belo Horizonte



Fonte: Souza-Silva, G. (2023).

Os coliformes são um grupo de bactérias gram-negativas presentes no intestino humano e animal que são constantemente eliminados pelas fezes, podendo chegar a diversos corpos d'água. Já a espécie *E. coli*, é uma bactéria bacilar pertencente ao grupo dos coliformes, que se encontra normalmente no trato gastrointestinal inferior dos organismos de sangue quente, como os humanos. Por este motivo, a detecção de *E. coli* em água subterrânea pode estar relacionada à indicação de contaminação fecal humana, enquanto os coliformes totais são indicadores integrantes desse sistema de detecção (Santos et al., 2020).

Além disso, a presença de coliformes nas águas subterrâneas está associada a diversos fatores como: local de perfuração dos poços, presença de proteção e tubo de boca, forma de construção e perfuração do poço (Araujo et al., 2020). Embora existam diferentes tipos de poços, a qualidade microbiológica da água apresenta vulnerabilidade de contaminação por coliformes totais e *E. coli* (Kilungo et al., 2018), reforçando a importância de se avaliar a presença de coliformes, independentemente do tipo de poço.

A presença de coliformes totais e *E. coli* é um importante indicador da qualidade da água. Por isso, não é tolerada sua presença nas amostras de água destinadas ao consumo humano, independentemente de sua concentração (Brasil, 2021). A presença de coliformes totais nas amostras não indica, por si só, a presença de patógenos. Porém, isso pode afetar diretamente a saúde das pessoas e, por isso, as águas de poços consumidas sem nenhum tratamento podem acarretar o desenvolvimento de diarreias e infecções urinárias (Baima et al., 2023). Dependendo da concentração, a presença de *E. coli* na água pode indicar um sério risco de contaminação fecal recente e uma possível presença de microrganismos patogênicos, como rotavírus e *Salmonella spp.* (Silva et al., 2019 C).

Dada a importância da análise de coliformes em águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, diversos autores vêm relatando presença de coliformes totais e/ou termotolerantes em diferentes estados brasileiros como, Piauí (Honorato et al., 2020), Bahia (Santos et al., 2022), Pará (Coutinho et al., 2021; Baima et al., 2023), São Paulo (Silva et al., 2019 B), Santa Catarina (Sant'helena, 2019; Silva et al., 2020) e entre outros.

Além do presente estudo realizado na região Metropolitana de BH, estudos recentes realizados em cidades mineiras, como Uberlândia por Rezende et al. (2023), em Januária por Ferreira & Silva (2018), em Uberaba por Costa et al. (2021) e em Poços de Caldas por Ribeiro et al. (2021), apresentaram resultados de amostras de água subterrâneas contaminadas com coliformes totais e/ou termotolerantes (*E. coli*) em pelo menos 80% das amostras avaliadas, estando em desacordo com a Portaria GM/SM nº 888/2021 (Brasil, 2021). Esses resultados demonstram que a contaminação da água originada de poços não está localizada apenas em grandes regiões urbanizadas.

No presente estudo, água de poços afetados por *E. coli* foram detectados nos municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Contagem, Funilândia, Itaguara, Itatiaiuçu, Jaboticatubas, Lagoa Santa, Mateus Leme, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano. No entanto, devido ao baixo número de amostras positivas para presença de *E. coli* (43/273), uma avaliação detalhada na variação ao longo do tempo não foi possível, uma vez que em alguns municípios, como Brumadinho, Funilândia, Jaboticatuba, Mateus Leme, Santa Luzia e Vespasiano foi detectada apenas uma amostra afetada por *E. coli* em todo período de estudo.

Assim, a presença de coliformes na água dos poços avaliados pode indicar contaminação e representar um risco para a saúde humana, visto que a água dos poços avaliados é destinada ao consumo humano. Embora nem todas as bactérias coliformes sejam patogênicas, a presença de *E. coli* em 16% das amostras sugere que pode haver contaminação fecal na água, o que aumenta a probabilidade de contaminação por patógenos prejudiciais à saúde (Santos et al., 2020; Kilungo et al., 2018; Honorato et al., 2020; Rezende et al., 2023). Desta forma, a detecção de coliformes na água pode ser usada como indicador de possível poluição fecal e, portanto, é um parâmetro importante para avaliar a qualidade da água, como demonstrado neste estudo.

Por este motivo, a água destinada ao consumo humano deve atender a padrões específicos de qualidade para garantir a segurança e a saúde pública. Se a presença de coliformes é detectada, medidas corretivas, como o tratamento da água (cloração/filtração) devem ser tomadas para evitar a propagação de doenças transmitidas pela água. É importante realizar testes regulares de qualidade da água, especialmente em fontes de água destinadas ao consumo humano, como poços de abastecimento, para garantir que a água seja segura para consumo humano. A análise da presença de coliformes é uma parte essencial desses testes.

#### 4. Conclusão

Por meio deste estudo, os parâmetros físico-químicos (nitrato e nitrito como N) e microbiológicos (coliformes totais e *E. coli*), ambos de grande relevância para saúde pública, foram avaliadas em amostras de água de poços. Um considerável percentual (13%) de amostras de águas de poços da região metropolitana de BH mostrou-se insatisfatórios em relação um ou mais requisitos de potabilidade. Mesmo amostras contendo

concentrações de nitrato em conformidade com a legislação, parte delas apresentou concentrações preocupantes que merecem uma atenção por parte das autoridades sanitárias e de saúde. A presença de coliformes totais em águas subterrâneas sugere a falta de critérios e fiscalização para perfuração de poços colocando em risco potenciais consumidores.

O aumento da concentração de nitrato em água bruta de BH é preocupante, contudo, devido à escassez de dados, não foi possível afirmar que esse aumento foi provocado por atividade antropogênica, mas que há uma tendência de aumento e uma possível contaminação ambiental por compostos nitrogenados, como nitrato e nitrito. Por este motivo, levando em consideração o consumo de água subterrânea pela população brasileira, o monitoramento contínuo das águas de poços é extremamente recomendado, visto que é possível observar um aumento nos teores de nitrato em água ao longo dos anos.

Embora seja complexa e cara a remoção de nitrato da água, medidas sustentáveis podem ser tomadas para redução da contaminação da água por nitrato, como práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, manejo adequado de fertilizantes e uso de cobertura vegetal, podem ajudar a reduzir o escoamento de nitrato proveniente de atividades agrícolas.

## 5. Referências

Alves, S. A. F., Coelho, V. H. R., Tsuyuguchi, B. B., de O. Galvão, C., Rêgo, J. C., Almeida, C. das N., Abels, A., Pinnekamp, J., & Rufino, I. A. A. (2021). Spatial multicriteria approach to support water resources management with multiple sources in semi-arid areas in Brazil. **Journal of Environmental Management**, 297, 113399. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113399

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). **American Public Health Association**. Disponível em: <https://www.standardmethods.org/action/showTopic?taxonomyUri=part&topicCode=part9000>

Araujo, T. M., Nascimento, V. O. do, Printes, V. H., Silva, M. T. da, & Lima, R. Q. de. (2020). Fatores associados à contaminação do solo: Decomposição, tratamento de cadáveres e materiais funerários. **Brazilian Journal of Health Review**, 3(6), 18145–18157. DOI: 10.34119/bjhrv3n6-213

Badar, A., Bamosa, A. O., Salahuddin, M., & Al Meheithif, A. (2019). Effect of Zamzam water on blood methemoglobin level in young rats. **Journal of Family & Community Medicine**, 26(1), 30–35. DOI: 10.4103/jfcm.JFCM\_21\_18

Baima, S. F. S., Aboim, E. da C., Almeida, A. D. S. de, Nascimento, W. da S. do, Soares, H. M. de S., & Lira, J. R. de S. (2023). Análise da qualidade da água de poços tubulares na zona urbana de Itaituba, Pará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, 37(1). DOI: 10.14295/ras.v37i1.30213

Bezerra, A. D. A., Rocha, J. C. da, Nogueira, E. R., Araújo, F. G. D. M., Farias, M. K., Brandão, M. G. A., & Pantoja, L. D. M. (2017). Teor de nitrato em águas subterrâneas da região metropolitana de Fortaleza, Ceará: um Alerta. **Semina: Ciências Biológicas E Da Saúde**, 38(2), 129. DOI: 10.5433/1679-0367.2017v38n2p129

Biguelini, C. P., & Gumy, M. P. (2012). Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. **Revista Faz Ciência**, 14(20), 153. DOI: 10.48075/rfc.v14i20.8724

Bijay-Singh, & Craswell, E. (2021). Fertilizers and Nitrate Pollution of Surface and Ground water: an Increasingly Pervasive Global Problem. **SN Applied Sciences**, 3(4). DOI: 10.1007/s42452-021-04521-8

Brasil (1990). Portaria do Ministério da Saúde GM/MS nº 36 de 19 de janeiro de 1990, **Ministério da Saúde**. Brasil. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1990/prt0036\\_19\\_01\\_1990.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1990/prt0036_19_01_1990.html).

Brasil (2021). Portaria Consolidada do Ministério da Saúde GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021, **Ministério da Saúde**. Brasil. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html).

Brender, J. D. (2020). Human Health Effects of Exposure to Nitrate, Nitrite, and Nitrogen Dioxide. **Just Enough Nitrogen**, 283–294. DOI: 10.1007/978-3-030-58065-0\_18

Carnaúba, R. F., Neto, J. V. F., Fernandez, L. C. S., Carnaúba, R. K. L. V., Rocha, T. J. M., & Xavier, V. N. (2021). Análise dos parâmetros de coliformes totais e fecais em areia de praias urbanas de Maceió, Alagoas, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, 7(12), 115825–115848. DOI: 10.34117/bjdv7n12-375

CETESB (2016). Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo - Apêndice E: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade (Quality of Fresh Water in the State of São Paulo - Appendix E: **Environmental and Health Significance of Quality Variables**). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-eSanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>

Chen, J., Wu, H., Qian, H., & Gao, Y. (2016). Assessing Nitrate and Fluoride Contaminants in Drinking Water and Their Health Risk of Rural Residents Living in a Semiarid Region of Northwest China. **Exposure and Health**, 9(3), 183–195. DOI: 10.1007/s12403-016-0231-9

Costa, C. L., Lima, R. F. de, Paixão, G. C., & Pantoja, L. D. M. (2013). Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Semina: Ciências Biológicas E Da Saúde**, 33(2). DOI:10.5433/1679-0367.2012v33n2p171

Costa, D. D., Kempka, A. P., & Skoronski, E. (2017). A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. **Revista Eletrônica Do Prodepa**, 10(2).

Coutinho, F. A., Batista, G. C. M., Costa, L. F., Aviz, M. E. H. N., Guerra, S. F. S., Castro, R. B. H., & Feio, D. C. A. (2021). Avaliação microbiológica da água para consumo humano em uma comunidade do arquipélago do Marajó, Pará, Brasil. **Interfaces Científicas - Saúde E Ambiente**, 8(3), 409 – 421. DOI: 10.17564/2316-3798.2021v8n3p409–421

Cunha, M. C. (2013). A avaliação da concentração de íons nitrato nos poços tubulares que abastecem Nova Parnamirim. **Revista Científica Da Escola de Gestão E Negócios**, 11–18. DOI: 10.15628/holos.2012.837

Czekaj, J., Jakóbczyk-Karpierz, S., Rubin, H., Sitek, S., & Witkowski, A. J. (2016). Identification of nitrate sources in groundwater and potential impact on drinking water reservoir. **Physics and Chemistry of the Earth**, 94, 35–46. DOI: 10.1016/j.pce.2015.11.005

- De Roos, A. J., Ward, M. H., Lynch, C. F., & Cantor, K. P. (2003). Nitrate in Public Water Supplies and the Risk of Colon and Rectum Cancers. **Epidemiology**, 14(6), 640–649. DOI: 10.1097/01.ede.0000091605.01334.d3
- Dubrovsky, N. M., & Hamilton, P. A. (2010). Nutrients in the nation's streams and groundwater: National findings and implications. **Fact Sheet**. 174. DOI: 10.3133/fs20103078
- El Khattabi, J., Louche, B., Darwishe, H., Chaaban, F., & Carlier, E. (2018). Impact of Fertilizer Application and Agricultural Crops on the Quality of Groundwater in the Alluvial Aquifer, Northern France. **Water, Air, & Soil Pollution**, 229(4). hDOI: 10.1007/s11270-018-3767-4
- Empinotti, V. L., Budds, J., & Aversa, M. (2019). Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. **Geoforum**, 98, 46–54. DOI: 10.1016/j.geoforum.2018.09.022
- Eno E. Essien, Kassim Said Abasse, André Côté, Kassim Said Mohamed, Mirza Muhammad Faran Ashraf Baig, Murad Habib, Muhammad Naveed, Xiaojin Yu, Weihua Xie, Sun Jinfang & Muhammad Abbas (2022) Drinking-water nitrate and cancer risk: A systematic review and meta-analysis, **Archives of Environmental & Occupational Health**, 77:1, 51-67, DOI: 10.1080/19338244.2020.1842313
- Fabro, R. A. Y., Pacheco Ávila, J. G., Esteller Alberich, M. V., Cabrera Sansores, S. A., & Camargo-Valero, M. A. (2015). Spatial distribution of nitrate health risk associated with groundwater use as drinking water in Merida, Mexico. **Applied Geography**, 65, 49–57. DOI: 10.1016/j.apgeog.2015.10.004
- Ferreira, L. C., & Silva, J. R. (2018). Análise microbiológica da água proveniente das fontes de abastecimento utilizadas em uma instituição de ensino pública da cidade de Januária/MG, Brasil. **Boletim Do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, 12(1), 31–42. DOI: 10.19180/2177-4560.v12n12018p31-42
- Godoy, F. M. C. T., Norberto Boin, M., Cristina Sanaiotti, D., & Batista da Silva, J. (2004). Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP. **Águas Subterrâneas**, (1).
- Green, L. C., Wagner, D. A., Glogowski, J., Skipper, P. L., Wishnok, J. S., & Tannenbaum, S. R. (1982). Analysis of nitrate, nitrite, and [15N]nitrate in biological fluids. **Analytical Biochemistry**, 126(1), 131–138. DOI: 10.1016/0003-2697(82)90118-x
- Gulis, G., Czompolyova, M., & Cerhan, J. R. (2002). An Ecologic Study of Nitrate in Municipal Drinking Water and Cancer Incidence in Trnava District, Slovakia. **Environmental Research**, 88(3), 182–187. DOI: 10.1006/enrs.2002.4331
- Hirata, R., Cagnon, F., Bernice, A., Maldaner, C. H., Galvão, P., Marques, C., Terada, R., Varnier, C., Ryan, M. C., & Bertolo, R. (2020). Nitrate Contamination in Brazilian Urban Aquifers: A Tenacious Problem. **Water**, 12(10), 2709. DOI: 10.3390/w12102709
- Honorato, A. L. L.; Gomes, J. G. F.; Silva, M. do A.; oliveira, G. A. L. de. (2020). Microbiological analysis of water distributed in the Municipality of Piri-piri - PI, from the Caldeirão weir and artesian wells. **Research, Society and Development**, 9(8); e895986318. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.6318.

Hoppe, B., White, D., Harding, A., Mueller-Warrant, G., Hope, B., & Main, E. (2014). High resolution modeling of agricultural nitrogen to identify private wells susceptible to nitrate contamination. **Journal of Water and Health**, 12(4), 702–714. DOI: 10.2166/wh.2014.047

Hosseini, F., Majdi, M., Naghshi, S., Sheikhsossein, F., Djafarian, K., & Shab-Bidar, S. (2021). Nitrate-nitrite exposure through drinking water and diet and risk of colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis of observational studies. **Clinical Nutrition**, 40(5), 3073–3081. DOI: 10.1016/j.clnu.2020.11.010

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2022. Cidades@IBGE. **Panorama de Belo Horizonte, MG**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>.

Iolascon, A., Bianchi, P., Andolfo, I., et al. (2021). Recommendations for diagnosis and treatment of methemoglobinemia. **American Journal of Hematology**, 96(12), 1666–1678. DOI: 10.1002/ajh.26340

Johnson, F. S. (2019). Methemoglobinemia: Infants at risk. **Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care**, 49(3), 57–67. DOI: 10.1016/j.cppeds.2019.03.002

Kilungo, A., Powers, L., Arnold, N., Whelan, K., Paterson, K., & Young, D. (2018). Evaluation of Well Designs to Improve Access to Safe and Clean Water in Rural Tanzania. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 15(1). DOI: 10.3390/ijerph15010064

Lauthartte, L. C., De Holanda, Í. B. B., Luz, C. C., Mussy, M. H., Pansini, S., Manzatto, Â. G., Yamashita, M., & Bastos, W. R. (2016). Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano: estudo de caso no Distrito de Jaci-Paraná, Porto Velho – RO. **Águas Subterrâneas**, 30(2), 246. DOI: 10.14295/ras.v30i2.28547

Lazaratou, C. V., Vayenas, D. V., & Papoulis, D. (2020). The role of clays, clay minerals and clay-based materials for nitrate removal from water systems: A review. **Applied Clay Science**, 185, 105377. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105377

Lima, M. L. A. de, & Chaves, C. A. P. (2008). Águas subterrâneas potencialmente impactadas por Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) na área urbana da cidade de Porto Velho: Um estudo da Geografia da Saúde. **Dissertação (Mestrado em Geografia)**. Programa de Pós- Graduação- Mestrado em Geografia da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) 90p. Porto Velho, 2008.

Mendes, M. P., & Ribeiro, L. (2010). Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using Disjunctive Kriging. **Science of the Total Environment**, 408(5), 1021–1034. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.069

Moreira, H. S., Moreira, K. S., Sousa, P. E. de O., & Oliveira, L. F. C. de. (2020). Cenários de disponibilidade hídrica para concessão de outorga: estudo de caso da Bacia Vertentes do Rio Grande, Estados de Minas Gerais e São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental E Sustentabilidade**, 7(15), 341–340. DOI: 10.21438/rbgas(2020)071524

- Nakazawa, K., Nagafuchi, O., Okano, K., Osaka, K., Hamabata, E., Tsogtbaatar, J., & Choihil, J. (2016). Non-carcinogenic risk assessment of groundwater in South Gobi, Mongolia. **Journal of Water and Health**, 14(6), 1009–1018. DOI: 10.2166/wh.2016.035
- Nalbantcilar, M. T., & Pinarkara, S. Y. (2016). Public health risk assessment of groundwater contamination in Batman, Turkey. **Journal of Water and Health**, 14(4), 650–661. DOI: 10.2166/wh.2016.290
- Narsimha A, Peiyue L. (2019). Occurrence, health risks, and geochemical mechanisms of fluoride and nitrate in groundwater of the rock-dominant semi-arid region, Telangana State. **India Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**; 25:81-103. DOI: 10.1080/10807039.2018.1480353
- Nicollier, V., Cordeiro Bernardes, M. E., & Kiperstok, A. (2022). What Governance Failures Reveal about Water Resources Management in a Municipality of Brazil. **Sustainability**, 14(4), 2144. DOI: 10.3390/su14042144
- Palmeira, Á. R. de O. A., da Silva, V. A. T. H., Dias Júnior, F. L., Stancari, R. C. A., Nascentes, G. A. N., & Anversa, L. (2019). Physicochemical and microbiological quality of the public water supply in 38 cities from the midwest region of the State of São Paulo, Brazil. **Water Environment Research**, 91(8), 805–812. DOI: 10.1002/wer.1124
- Portal, T. P., Pedlowski, M. A., de Almeida, C. M. S., & Canela, M. C. (2019). An integrated assessment of water quality in a land reform settlement in northern Rio de Janeiro state, Brazil. **Heliyon**, 5(3), e01295. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01295
- Qasemi I, M., Afsharnia, M., Farhang, M., Bakhshizadeh, A., Allahdadi, M., & Zare, A. (2018). Health risk assessment of nitrate exposure in groundwater of rural areas of Gonabad and Bajestan, Iran. **Environmental Earth Sciences**, 77, 551. DOI: 10.1007/s12665-018-7732-8
- Qasemi, M., Farhang, M., Morovati, M., Mahmoudi, M., Ebrahimi, S., Abedi, A., Bagheri, J., Zarei, A., Bazeli, J., Afsharnia, M., Ghalehaskar, S., & Ghaderpoury, A. (2020). Investigation of potential human health risks from fluoride and nitrate via water consumption in Sabzevar, Iran. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 102(2), 307–318. DOI: 10.1080/03067319.2020.1720668
- Raczuk, J., Dziuban, E., & Biardzka, E. (2013). Nitrates in drinking water as a factor of a health risk to the Platerow commune inhabitants (Mazovian province). **Environmental Protection and Natural Resources**, 24(1). DOI: 10.2478/oszn-2013-0005
- Rehman, J. U., Ahmad, N., Ullah, N., Alam, I., & Ullah, H. (2020). Health Risks in Different Age Group of Nitrate in Spring Water Used for Drinking in Harnai, Balochistan, Pakistan. **Ecology of Food and Nutrition**, 59(5), 462–471. DOI: 10.1080/03670244.2020.1737044
- Rezende, R.C., Viégas Campos, J. C., Souza Reis Melo, V., Sampaio Machado, C., Milla dos Santos Senhuk, A. P., & Carneiro Ferreira, D. (2023). Qualidade da água subterrânea na área urbana de Uberaba-MG: avaliação de risco à saúde. **Scientia Plena**, 19(2). DOI: 10.14808/sci.plena.2023.024301

- Ribeiro, C. J., Coelho, L. M. F., & Merola, Y. de L. (2021). Avaliação da qualidade das águas de diferentes fontanários públicos de Poços de Caldas, estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Extensão & Cidadania**, 9(16), 21–32. DOI: 10.22481/recuesb.v9i16.9828
- Richards, J., Chambers, T., Hales, S., Joy, M., Radu, T., Woodward, A., Humphrey, A., Randal, E., & Baker, M. G. (2022). Nitrate contamination in drinking water and colorectal cancer: Exposure assessment and estimated health burden in New Zealand. **Environmental Research**, 204, 112322. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112322
- Ristow, D. C. M., Henning, E., Kalbusch, A., & Petersen, C. E. (2021). Models for forecasting water demand using time series analysis: a case study in Southern Brazil. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, 11(2), 231–240. DOI: 10.2166/washdev.2021.208
- Rocha, A. C. B. Q. da, Araújo, A. L. C., & Angelini, R. (2020). Frequência de coliformes termotolerantes em praias do litoral Potiguar (Tio Grande do Norte, Brasil). **Brazilian Journal of Development**, 6(11), 88498–88515. DOI: 10.34117/bjdv6n11-320
- Rosillon, F., Savadogo, B., Kabore, A., Bado-Sama, H., & Dianou, D. (2012). Attempts to Answer on the Origin of the High Nitrates Concentrations in Groundwaters of the Sourou Valley in Burkina Faso. **Journal of Water Resource and Protection**, 04(08), 663–673. DOI: 10.4236/jwarp.2012.48077
- Rupias, O. J. B., Pereira, S. Y., & de Abreu, A. E. S. (2021). Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment using the water quality index and heavy-metal pollution index in the alluvial plain of Atibaia river-Campinas/SP, Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, 15, 100661. DOI: 10.1016/j.gsd.2021.100661
- Sadler, R., Maetam, B., Edokpolo, B., Connell, D., Yu, J., Stewart, D., Park, M.-J., Gray, D., & Laksono, B. (2016). Health risk assessment for exposure to nitrate in drinking water from village wells in Semarang, Indonesia. **Environmental Pollution**, 216, 738–745. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.04
- Sant' Helena, A. (2019). Análise microbiológica da água em Curitibaanos – SC e sua ligação com fatores sócio-ambientais. **Revista Interdisciplinar De Estudos Em Saúde**, 8(2), 15 – 20. DOI: 10.33362/ries.v8i2.2131.
- Santos, C. E., Medeiros, R. C., & Mancuso, M. A. (2020). Água Subterrânea dos Poços da Área Rural de Frederico Westphalen-RS: Qualidade, Aspectos Ambientais e Conformidade Legal. **Anuário Do Instituto de Geociências**, 43(4). DOI: 10.11137/2020\_4\_330\_340
- Santos, G.S., Paes, T. A. S. V., Pessoa, T. B. A. (2022). Qualidade da água de consumo de comunidades rurais do Vale do Jiquiriçá (Bahia): análise microbiológica e percepção dos indivíduos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.11, n.2. 002-016.
- Scorsafava, M. A., Souza, A. de, Stofer, M., Nunes, C. A., & Milanez, T. V. (2010). Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. **Revista Do Instituto Adolfo Lutz**, 69(2), 229–232. DOI: 10.53393/rial.2010.v69.32661

- Silva, R.A. Santos, R.C., Ferreira L.O. (2019 A). Avaliação da concentração de nitrato em águas subterrâneas de poços das regiões de Assis e Marília, São Paulo. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia* 2019; 7(2):102-6. DOI: 10.22239/2317-269x.01290
- Silva, D. R. R., Maciel, M. O. S., Marta, B. B. F., Bronharo, T. M., Michelin, A. F. (2019 B). Qualidade da água em escolas públicas municipais: análise microbiológica e teor de nitrato em Araçatuba, estado de São Paulo – Brasil. *Revista Do Instituto Adolfo Lutz*; (77): 1-8, 2018
- Silva, C. R., Sanches, M. S., Milhim, B. H. G. de A., da Rocha, S. P. D., & Pelayo, J. S. (2019 C). Avaliação da presença e quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água destinada ao consumo humano proveniente de poços artesianos. *Ciências Biológicas E Da Saúde*, 40(2), 129–140. DOI: 10.5433/1679-0367.2019v40n2p129
- Silva, M. L. N., Martiori, K., Menegazzo, B. J., Trindade, L. L., & Nogueira, D. J. (2020). Análise da qualidade de água de poços rasos no interior do município de Caxambu do Sul - SCs um estudo de caso. *Revista de Ciências Ambientais*, 4(3). DOI: 10.18316/rca.v14i3.6125
- Silva, R. de C. A. da, & Araújo, T. M. de. (2003). Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva*, 8(4), 1019–1028. DOI: 10.1590/s1413-81232003000400023
- Souza, W. B., Melo, L. P., Lima, L. C. S., Souza, D. C., & Texeira, T. T. (2018). Mapeamento e avaliação da potabilidade de água proveniente de fontes alternativas de captação na cidade de Astolfo Dutra. *Águas Subterrâneas*, 32(3). DOI: 10.14295/ras.v32i3.29179
- Taneja, P., Labhasetwar, P., Nagarnaik, P., & Ensink, J. H. J. (2017). The risk of cancer as a result of elevated levels of nitrate in drinking water and vegetables in Central India. *Journal of Water and Health*, 15(4), 602–614. DOI: 10.2166/wh.2017.283
- Temkin, A., Evans, S., Manidis, T., Campbell, C., & Naidenko, O. V. (2019). Exposure-based assessment and economic valuation of adverse birth outcomes and cancer risk due to nitrate in United States drinking water. *Environmental Research*, 176, 108442. DOI: 10.1016/j.envres.2019.04.009
- Varnier, C., Iritani, M. A., Viotti, M., Oda, G. H., & Ferreira, L. M. R. (2010). Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista Do Instituto Geológico*, 31(1-2), 1–21. DOI: 10.5935/0100-929x.20100001
- Yang, J. E., Kim, J. J., Skogley, E. O., & Schaff, B. E. (1998). A Simple Spectrophotometric Determination of Nitrate in Water, Resin, and Soil Extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 62(4), 1108–1115. DOI: 10.2136/sssaj1998.03615995006200040036x
- Yu, G., Wang, J., Liu, L., Li, Y., Zhang, Y., & Wang, S. (2020). The analysis of groundwater nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. *BMC Public Health*, 20(1). DOI: 10.1186/s12889-020-08583-y

Zaki, A., Ait Chaoui, A., Talibi, A., Derouiche, A. F., Aboussaouira, T., Zarrouck, K., Chait, A., & Himmi, T. (2004). Impact of nitrate intake in drinking water on the thyroid gland activity in male rat. **Toxicology Letters**, 147(1), 27–33. DOI: 10.1016/j.toxlet.2003.10.010

Zerwes, C. M., Secchi, M. I., Calderan, T. B., Bortoli, J. de, Tonetto, J. F., Toldi, M., Oliveira, E. C., & Santana, E. R. R. de. (2015). Análise da Qualidade da Água de Poços Artesianos do Município de Imigrante, Vale do Taquari/RS. **Ciência E Natura**, 37(3), 651–663. DOI: 10.5902/2179460X17385