Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.04,2024
ISSN 2178-6925

DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS NITROGENADOS EM ÁGUAS DE CONSUMO HUMANO NO MUNICÍPIO DE ITACOATIARA-AM UTILIZANDO METODOLOGIAS BASEADAS EM IMAGENS DIGITAIS.

DETERMINATION OF NITROGEN COMPOUNDS IN WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN THE MUNICIPALITY OF ITACOATIARA-AM USING METHODOLOGIES BASED ON DIGITAL IMAGES.

Mily Tayara Sampaio de Negreiros[1]
Graduanda em Química Industrial
Universidade Federal do Amazonas-UFAM
E-mail: milysampaio7@gmail.com

Mateus Feitosa Santos[2]
Graduando em Farmácia
Universidade Federal do Amazonas-UFAM
Grupo de Pesquisa em Produtos Naturais-GPPN
Grupo de Pesquisa em Eletrocatálise e Química Bioinorgânica-UFRJ
E-mail: mateusfeitosa035@gmail.com

Eldon Carlos dos Santos Colares[3]
Farmacêutico
Instituto Esperança de Ensino Superior
Responsável Técnico Pharbox
E-mail: eldon.colares@hotmail.com

Valdomiro Lacerda Martins[4]
Químico-Universidade Federal da Paraíba
Mestrado em Química-Paraíba
Doutorado em Química- Universidade Federal de Pernambuco
E-mail: valdomiro@gmail.com

Resumo: Os compostos nitrogenados: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e amônia (NH_3), quando em excesso na água, a tornam imprópria para o consumo, a ingestão de água contaminada por estes compostos causa doenças como: metemoglobina, câncer de estômago, câncer de mama e câncer de bexiga. A amônia possui facilidade na adsorção em partículas do solo, geralmente é encontrada em águas subterrâneas ou rasas. A presença de amônia é importante no método de desinfecção da água pelo cloro, por meio da formação de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida. O excesso de nitrito em águas apresenta um perigo para a saúde, pois pode causar a meta-hemoglobinemia em recém-nascidos e mesmo em adultos com deficiência enzimática. O nitrato é capaz de ser convertido a nitrito pela ação de algumas enzimas da saliva e bactérias específicas de acordo com a reação. Nitrito, nitrato e amônia podem ser determinados por espectrofotometria UV-Vis. Neste projeto foi proposto um estudo do teor de nitrito, nitrato e amônia em águas de consumo humano utilizando metodologias baseadas em imagens digitais. Os parâmetros de qualidade de águas analisados foram: nitrito, nitrato e amônia, tanto como o fotômetro desenvolvido quanto com o método de referência, espectrofotometria UV-VIS. Os resultados obtidos pelas duas metodologias apresentam uma pequena discrepância com erro relativo absoluto inferir a 6,0 %. Todas as amostras apresentaram teores de nitrito, nitrato amônia abaixo do valor máximo permitido pela Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde para água potável.

Palavras chave: Colorimetria por imagens digitais, Espectrofotometria UV-Vis, Análise de águas.

Abstract: Nitrogen compounds: nitrate (NO3-), nitrite (NO2-) and ammonia (NH3), when in excess in water, make it unfit for consumption. Ingestion of water contaminated by these compounds causes diseases such as: methemoglobin, breast cancer, stomach, breast cancer and bladder cancer. Ammonia is easily adsorbed on soil particles and is generally found in groundwater or shallow water. The presence of ammonia is important in the method of disinfecting water using chlorine, through the formation of chloramines, which have low bactericidal power. Excess nitrite in water presents a health hazard, as it can cause methemoglobinemia in newborns and even adults with enzyme deficiency. Nitrate is capable of being converted to nitrite by the action of some enzymes in saliva and specific bacteria according to the reaction. Nitrite, nitrate and ammonia can be determined by UV-Vis spectrophotometry. In this project, a study of the nitrite, nitrate and ammonia content in water for human consumption was proposed using methodologies based on digital images. The water quality parameters analyzed were: nitrite, nitrate and ammonia, both with the developed photometer and with the reference method, UV-VIS spectrophotometry. The results obtained by the two methodologies present a small discrepancy with an absolute relative error of 6.0%. All samples presented nitrite, nitrate and ammonium levels below the maximum value allowed by Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health for drinking water.

Keywords: Digital image colorimetry, UV-Vis spectrophotometry, Water analysis.

1. INTRODUÇÃO

Os compostos nitrogenados: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e amônia (NH_3), quando em excesso na água, a tornam imprópria para o consumo humano, a ingestão de água contaminada por estas espécies reativas podem causar doenças como: metemoglobina, câncer de estômago, câncer de mama e câncer de bexiga.

Os nitritos são capazes de formar sais ou ésteres de ácido nitroso (HNO_2) dependendo do meio reacional em que estes estejam. Existem diversas bactérias que atuam convertendo nitrato em nitrito na urina, assim pode-se afirmar que o nitrito urinário pode estar associado a uma infecção urinária.

A amônia apresenta um pequeno teor de concentração, por causa de sua facilidade na adsorção em partículas do solo ou a oxidação em nitrito e nitrato, geralmente é encontrada em águas subterrâneas ou rasas. A existência de amônia gera efeito importante no método de desinfecção da água por meio cloro, por conta da síntese de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida (Sielo, 1998). A presença de concentrações consideráveis pode ser resultante de fontes de poluição próximas, assim como da redução de nitrato por bactérias ou pelos íons ferrosos presentes no solo (Batalha,1993). Segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde o limite máximo de amônia em águas de abastecimento não deve ultrapassar 1,2 mg/L.

O nitrito é uma substância de ácido nitroso de base conjugada com o pH=3,19 sendo um ácido pouco forte. A determinação de nitrito é constantemente utilizada para manter os produtos, como, carnes e cura de embutidos. Essa vermelhidão que tem na carne é causada pelo nitrito para conservá-la. Esse elemento é um causador contaminador de águas, pode estar atuando em solo devido as bactérias e fungos, proporcionando a decomposição das matérias orgânicas.

O excesso de nitrito em águas apresenta um perigo para a saúde, pois o excesso deste composto pode causar a meta-hemoglobinemia ("síndrome do bebê-azul") em recém-nascidos e mesmo em adultos com deficiência enzimática (Scielo, 2005). Segundo a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, a quantidade máxima permitida de nitrito na água de consumo humano é de 1 mg/L.

O nitrato é capaz de ser convertido a nitrito por meio da ação de algumas enzimas da saliva e bactérias específicas (Baird, 2011). O cúmulo de íon nitrato na água para o consumo pode acarretar um crescimento na incidência de câncer de estômago em seres humanos, uma vez que parte desses íons pode ser convertido em nitrito no estômago. Segundo a resolução no 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2021), o limite máximo de nitrato é 10 mg/L, tanto para águas doces, de consumo humano, quanto para águas salinas e salobras e para efluentes em geral.

A análise de água é uma das principais áreas de atuação do profissional em Química Industrial e áreas afins pois uma das formas de avaliar a presença de espécies químicas como os compostos nitrogenados é por meio da Espectrofotometria no UV-Vis. Na determinação direta pelo ultravioleta, interferentes comuns são os íons nitrito, cloreto, oxocloretos e a matéria orgânica solúvel. Íons nitrito também possuem banda centrada em 200 nm, com absortividade molar aproximadamente de 5,8 x 10^3 L mol^{-1}. cm^{-1} em 210 nm, absorvendo menos que o nitrato em 220 nm (Babko; Pilipenko, 1976). A variação de cor de um grupo, com a alteração da concentração de certo componente, identifica-se análise colorimétrica.

Na espectrofotometria a fonte de radiação transmite até a região do ultravioleta do espectro. Quando uma luz (monocromática ou heterogênea) reflete-se sobre um meio homogêneo, uma parcela da luz incidente é refletida, uma outra parcela é absorvida no meio e o restante é transmitido (Fonseca, 2017). A detecção colorimétrica pode ser realizada por análise de imagens obtidas de câmeras de telefones celulares, o que favorece ainda mais a característica de portabilidade dos dispositivos (Aydindogan, et al, 2020). Neste sentido, este projeto propõe realizar um estudo do teor de nitrito, nitrato e amônia em águas por meio de imagens digitais.

2. METODOLOGIA

2.1 Equipamentos

a) Espectrofotômetro UV-Vis da marca Bel, modelo UV-M51;
b) Fotômetro baseado em cor RGB (Fotômetro RGB).

2.2 Reagentes

a) Solução padrão estoque de nitrito 1000 mg L^{-1};
b) Solução diluída de nitrito 10 mg L^{-1};
c) Solução de sulfanilamida e diclorato de N-(1-naftil) -etilenodiamina, reagente colorimétrico;
d) Solução de salicilato de sódio;
e) Solução de hidróxido de sódio e tartarato de potássio e sódio;
f) Solução padrão estoque de nitrato 1000 mg/L;
g) Solução diluída de nitrato 10 mg/L;
h) Solução padrão estoque de amônia 1000 mg/L;
i) Solução diluída de amônia 10 mg/L;
j) Solução de ácido salicílico com hidróxido de sódio e citrato trissódico;
k) Solução de hipoclorito de sódio 3 %;
l) Solução de nitroprussiato de sódio 0,1 %;
m) Solução padrão de cloreto de amônio 0,5 mol/L;

n) Solução diluída de cloreto de amônio 0,1 mol/L.

2.2.1 Criação do fotômetro RGB

Para realização das análises das águas foi desenvolvido neste trabalho um fotômetro, cujo circuito é apresentado na **Figura 1**.

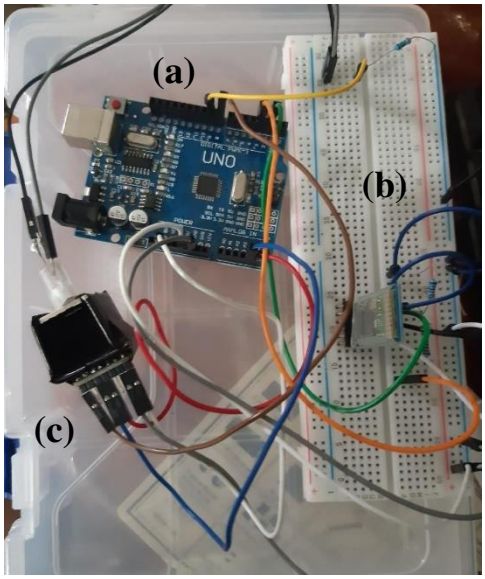


Figura 1. (a) Arduino UNO R3, (b) Protoboard com resistências e módulo Bluetooth HC-05 e (c) Suporte para cubeta com o módulo Sensor RGB TCS34725 e LED para iluminação.

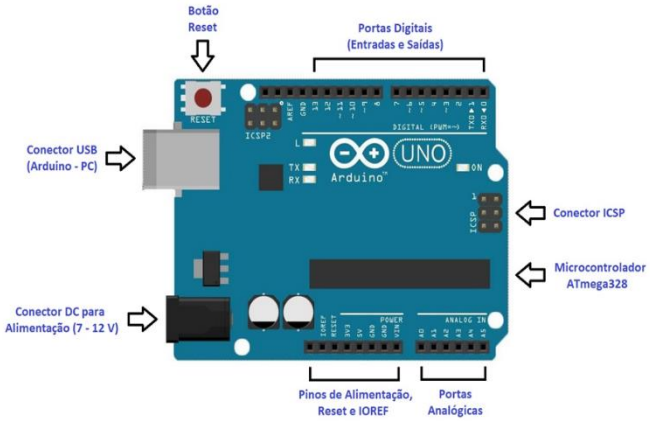
O protótipo do fotômetro é constituído de um Arduino UNO R3, um protoboard com resistências de 330Ω e módulo bluetooth HC05 e um suporte para cubeta com módulo sensor RGB TCS34725 e LED melhorar a iluminação da cubeta. O Arduino e o circuito do protoboard eram alimentados com bateria de 9V.

O Arduino é uma plataforma de prototipagem que possibilita o desenvolvimento dos mais diversos projetos robóticos, atuando como um tipo de cérebro eletrônico programável de simplificada utilização, com diversas portas para conexões com módulos e sensores (OLIVEIRA & ZANETTI, 2015; NUSSEY, 2018).

O Arduino Uno R3, **Figura 2**, possui 14 pinos digitais que podem ser utilizados como entradas ou saídas (pinos 0 a 13), dentre os quais os pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11 também atuam como PWM (do inglês: Pulse Width Modulation) para gerar um conjunto de valores inteiros entre 0 e 255. Ele também possui 6 pinos analógicos (pinos A0 a A5) que permitem receber uma tensão entre 0 e 5 V em uma escala de 0 a 1023 (AD de 10 bits).

Para alimentação de componentes de circuitos conectados ao Arduino, ele possui os pinos de tensão de 3,3 V e 5 V, além do GND (terra). O Arduino é equipado com um microprocessador ATmega328, com uma memória RAM de 2 Kb, uma memória Flash de 32 Kb e um Clock de 16 MHz (OLIVEIRA et al., 2018; EVANS et al., 2013).

Figura 2. Arduino Uno R3.

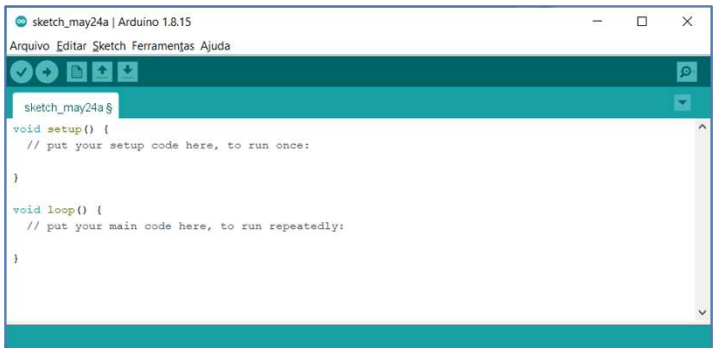


Fonte: Adaptado de FILIPEFLOP, 2021.

O Arduino funciona através de códigos de programação, destinados a diversos tipos de funções, podendo comandar desde sensores eletrônicos até módulos de alta complexidade.

A programação é feita por meio do programa IDE Arduino, conforme apresentado a seguir na **Figura 3**, o qual pode ser baixado diretamente no site oficial arduino.cc, a conexão com o computador é feita via cabo usb, permitindo que os comandos definidos no programa sejam devidamente transferidos até a placa (FRIZZARIN, 2015).

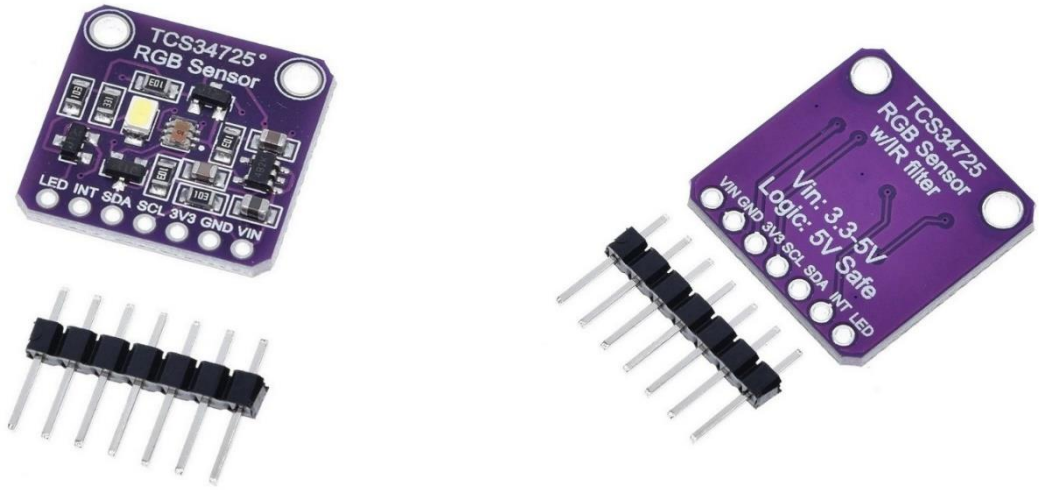
Figura 3. Arduino Uno R3.



2.2.2 Módulo Sensor RGB

O módulo Sensor RGB TCS34725 é capaz de identificar cores com precisão maior do que a de outros sensores de mesma função, seu circuito é composto por fotodiodos responsáveis por absorver a luminosidade, classificar a cor pelo parâmetro RGB e emitir uma onda de saída de frequência análoga a da cor, produzindo então um espectro de luz de cor correspondente. O sensor trabalha no modo RGB, ou seja, com as seguintes cores (R = Red = Vermelho, G = Green = Verde, B = Blue = Azul), a junção dessas cores permite a criação de diversas outras cores do círculo cromático.

Figura 4. Imagem do módulo Sensor RGB TCS34725 visto de frente (a) e por trás (b).



(a) **(b)**

Fonte: CURTOCIRCUITO, 2021a.

Ao aproximar do sensor um objeto de determinada cor, o mesmo será capaz de identificar a intensidade e fazer a amostragem através de um display ou LED RGB ou manipular seus valores de cores em um celular/tablet/computador/notebook para obtenção de uma informação analítica que pode ser relacionada a concentração do analito.

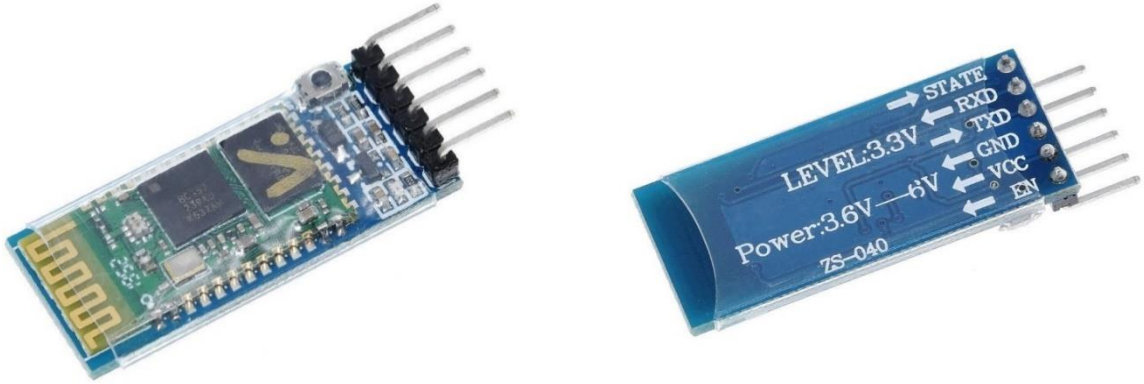
Esse sensor também conta com a vantagem de um filtro IR (infravermelho), responsável por minimizar os efeitos gerados pelo espectro de luz artificial, por exemplo, permitindo que a leitura seja ainda mais precisa. Além disso, o sensor de cor TCS34725 conta com um LED responsável por fazer a iluminação do item alvo do sensor, de forma a facilitar a leitura, sendo que esse mesmo LED pode ser desativado pelos sinais de nível lógico.

2.2.2.1 Método Bluetooth

O módulo Bluetooth HC-05, **Figura 5**, é um módulo que tem a função de fazer a comunicação sem fio entre dispositivos. O módulo Bluetooth HC-05 consegue trabalhar como Master (mestre), que envia e recebe informações, Slave (Escravo), que apenas recebe informações e loopbak, que é modo de reenvio dos dados recebidos do Master, funcionando mais como forma de teste. O módulo HC-05 difere do módulo Bluetooth HC-06 que trabalha apenas como Slave.

O Bluetooth HC-05 trabalha com o Protocolo Bluetooth v2.0+EDR na frequência de 2,4 GHz e modulação GFSK. Ele é capaz de alcançar velocidade assíncrona de 2,1Mbps/160Kbps e velocidade síncrona de 1Mbps. Sua comunicação é feita via Serial, com alimentação de 3,3V.

Figura 5. Imagem do módulo Bluetooth HC05 visto de frente (a) e por trás (b).



(a) **(b)**

Fonte: CURTOCIRCUITO, 2021b.

2.2.2.2 Aplicativo Arduino

O fotômetro desenvolvido neste artigo possui uma interface de comunicação bluetooth que permite a obtenção dos valores da componente RGB pelo aplicativo Android instalado o celular. A janela principal do aplicativo desenvolvido para o fotômetro é apresentada na **Figura 6**. O aplicativo Android foi desenvolvido utilizando o MIT App Inventor.

Figura 6. Janela principal do aplicativo Android para o fotômetro





.

2.3 Procedimento Experimental

2.3.1Coleta das amostras de água.

As amostras das comunidades Jamanã e São Sebastião (A e B), assim como a amostra do conjunto Novo Horizonte (C) foram coletadas em recipientes apropriados e armazenadas em freezer para análise dos parâmetros de qualidade da água (nitrito, nitrato e amônia).

2.3.2 Procedimentos para determinação de nitrito

Inicialmente foram medidas as absorbâncias de 5 soluções padrão de nitrito (0,00; 1,00; 2,00; 3,00 e 4,00 mg/L) para construir a curva analítica e, consequentemente, obter a equação da reta pelo método dos mínimos quadrados. De posse dessa equação, mediu-se também as absorbâncias das 3 amostras (A, B e C). Os valores das componentes RGB foram convertidos para absorbâncias tanto para as soluções padrão quanto para as soluções das amostras.

As soluções padrão utilizadas para construir a curva analítica e também as amostras foram preparadas utilizando-se diferentes alíquotas dessas soluções e volumes fixos do reagente de cor, segundo metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (GREENBERG, 1999).

2.3.3 Procedimentos para determinação de nitrato

Inicialmente, foram medidas as absorbâncias de 5 soluções padrão de nitrato (0,000; 0,026; 0,100; 0,200 e 0,400 mg/L) para construir a curva analítica e, consequentemente, obter a equação da reta pelo método dos mínimos quadrados. De posse dessa equação, mediu-se também as absorbâncias das 3 amostras (A, B e C). Os valores das componentes RGB foram convertidos para absorbâncias tanto para as soluções padrão quanto para as soluções amostras.

As soluções padrão utilizadas para construir a curva analítica e também as amostras foram preparadas utilizando-se diferentes alíquotas dessas soluções e volumes fixos do reagente de cor, segundo metodologia adaptada do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (GREENBERG, 1999).

2.3.4 Procedimentos para determinação de amônia

Inicialmente, foram medidas as absorbâncias de 5 soluções padrão de amônia (0,00; 4,00; 8,00; 12,00 e 16,00 mg/L) para construir a curva analítica e, consequentemente, obter a equação linear da reta pelo método dos mínimos quadrados. De posse dessa equação, mediu-se também as absorbâncias das 3 amostras (A, B e C). Os valores das componentes RGB foram convertidos para absorbâncias tanto para as soluções padrão quanto para as soluções amostras.

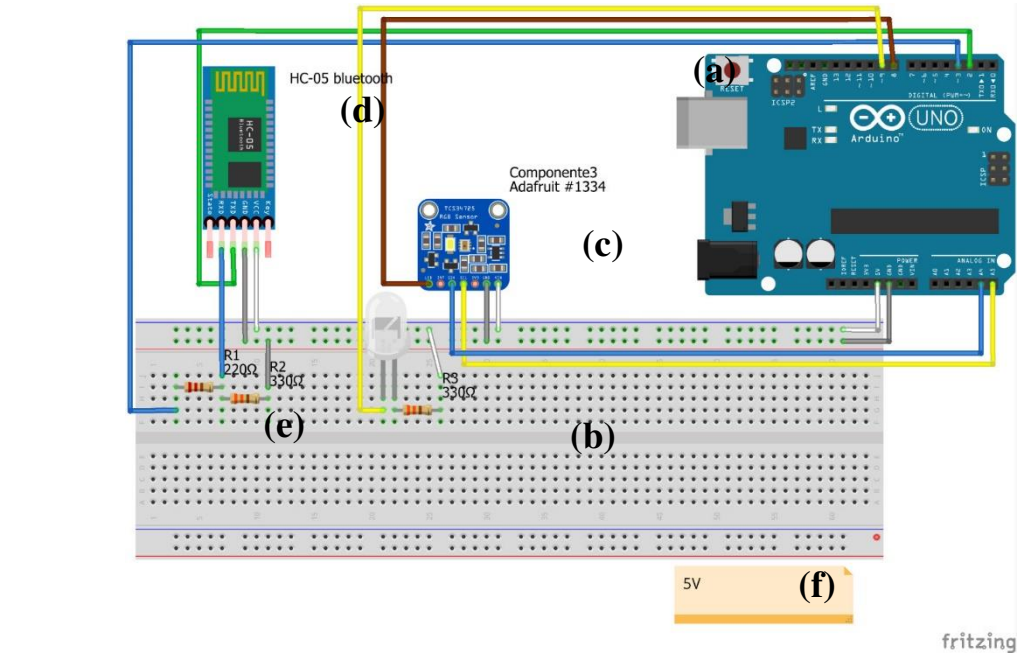
As soluções padrão utilizadas para construir a curva analítica e também as amostras foram preparadas utilizando-se diferentes alíquotas da solução padrão diluída de amônia e volumes fixos do reagente de cor, segundo metodologia adaptada do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (GREENBERG, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fotômetro desenvolvido

Neste artigo foi desenvolvido um fotômetro portátil conforme visto na figura 7 a seguir.

Figura 7. Componentes do fotômetro baseado no módulo Sensor TCS34725.



(a) Arduino UNO R3; (b) Protoboard; (c) Módulo Sensor RGB TCS34735; (d) Módulo Bluetooth HC-05; (e) Resistências; (f) Fonte de alimentação.

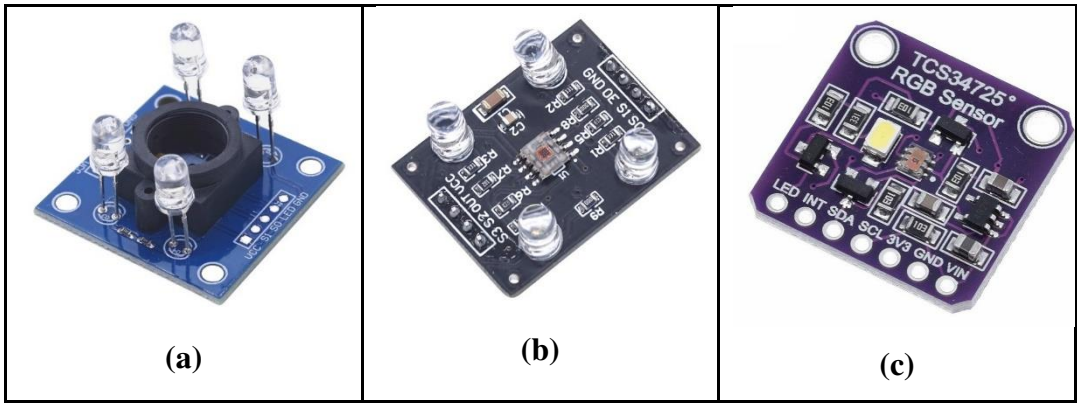
Como pode ser visto na **Figura 7**, o fotômetro é constituído de um Arduino UNO R3; um protoboard onde estar conectado o módulo Sensor RGB TCS34735, o módulo Bluetooth e alguns resistências. O protoboard e o Arduino são alimentados com uma fonte de 5V, podendo ser substituída por uma bateria de 9V.

3.2 Módulo Sensor RGB

O módulo Sensor RGB TCS34725 do fotômetro é responsável pela obtenção da informação analítica a qual está relacionada aos valores RGB. Neste trabalho foram testados 3 tipos de sensores RGB, tais sejam: (a) TCS230, (b) TCS3200 e (c) TCS34725 conforme analisado na figura 8.

Os 3 sensores RGB foram testados neste projeto empregando corantes alimentícios nas cores vermelha, verde e azul. Dos 3 sensores RGB testados o que forneceu cores mais nítidas foi o Sensor RGB TCS34725, sendo este empregado nas medidas dos analitos.

Figura 8. Módulos Sensores RGB. (a) TCS230, (b) TCS3200 e (c) TCS34725.



(a) (b) (c)

3.3 Módulo Bluetooth

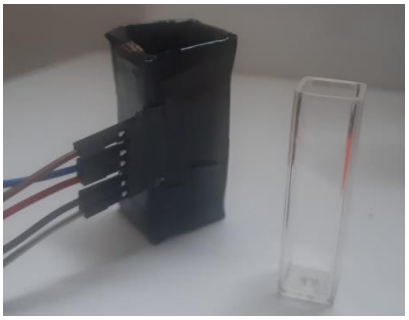
O módulo Bluetooth HC-05, **Figura 5**, foi empregado neste trabalho para estabelecer a comunicação sem fio entre o celular e o Sensor RGB TCS34725, através do Arduino UNO R3. No celular as informações das componentes RGB eram manipuladas e processadas para obtenção da informação analítica.

3.4 Suporte para a cubeta

Para que fosse possível isolar a iluminação externa durante a obtenção dos valores das componentes RGB foi confeccionada um suporte para cubeta, **Figura 9**. Embora o Sensor RGB TCS34725 possua um LED para auxiliar na iluminação do objeto, foi adicionado um LED branco extra a 180º com o sensor, para permitir a obtenção de cores ainda mais nítidas.

Figura 9. Suporte para cubeta com o Sensor RGB TCS34725 e um LED acoplado.

.



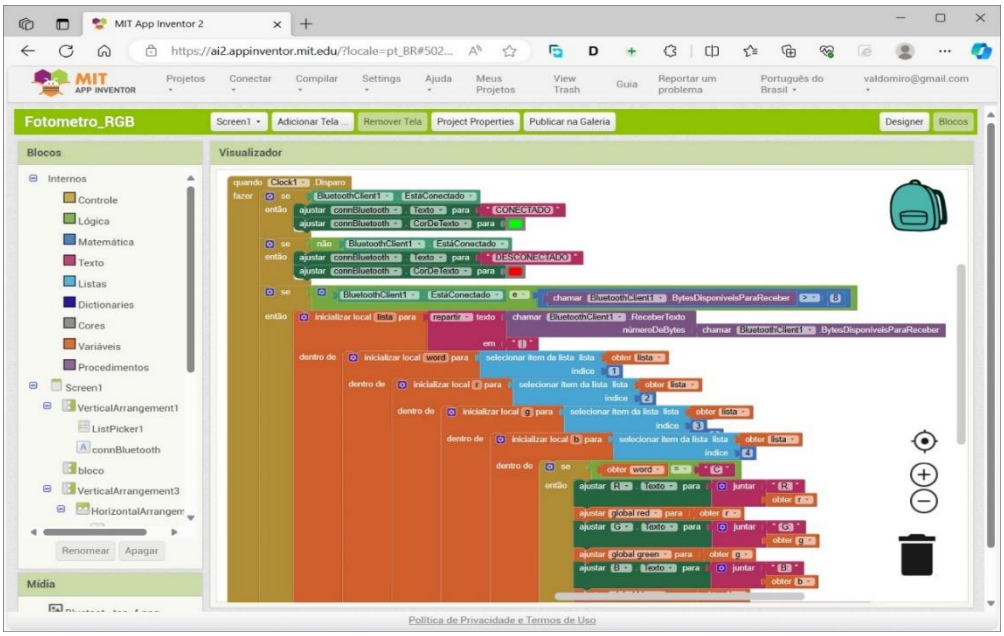
3.5 Código Arduino do Fotômetro RGB

Para comunicação entre o Arduino Uno R3 e módulo RGB, bluetooth e display foi desenvolvido um código Arduino conforme mostra o Apêndice.

3.6 Código Android do Fotômetro RGB

Para realização das medidas feitas pelo Fotômetro RGB através do smartphone (celular) ou tablet foi desenvolvido um código Arduino utilizando o MIT App Inventor, conforme mostra o diagrama da **Figura 10**.

Figura 10. Diagrama do código Arduino do Fotômetro RGB

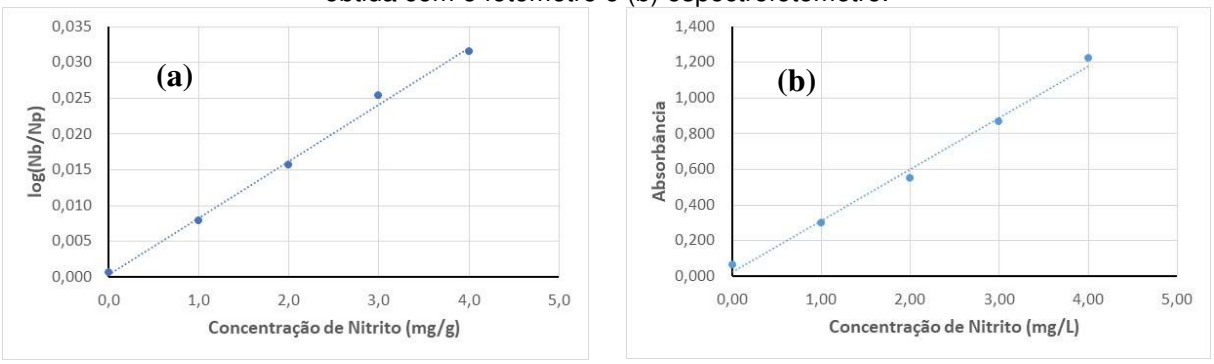


3.7 Análise de nitrito nas amostras de água

Inicialmente o fotômetro foi empregado para a determinação de nitrito em águas coletadas em duas comunidades ribeirinha e uma na zona urbana de Itacoatiara. A curva analítica foi obtida utilizando diferentes concentrações de soluções padrão de nitrito. A **Figura 11** mostra o resultado da curva obtida tanto com o Fotômetro desenvolvido (**Figura 11a**), quanto com o método de referência (**Figura 11b**).

Como pode ser visto na **Figura 11a**, o método apresentou uma boa linearidade (y = 0,0079x + 0,0004 e R^2 = 0,9964) para a faixa de concentração estudada (0,00; 1,00; 2,00; 3,00 e 4,00 mg/L) que pode ser determinada como eficiente através do valor de R^2 = 0,9964, quanto mais linear é a amostra analisada em concentrações diferenciadas, com nível de confiança melhor é o teste que está sendo realizado.

Figura 11. Curva analítica obtida para diferentes concentrações de padrões de nitrito. (a) curva obtida com o fotômetro e (b) espectrofotômetro.



Fonte: Os autores., (2024)

Para a curva obtida por espectrofotometria UV-Vis, **Figura 11b**, os parâmetros da reta foram: y = 0,0079x + 0,0004 e R^2 = 0,9964 para a faixa de concentração estudada.

Construída a curva analítica, foram analisadas 3 amostras, sendo 2 coletas em comunidades ribeirinha e uma na zona urbana de Itacoatiara. Os resultados dessas análises são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Concentrações de nitrito nas amostradas coletadas.

Amostras	Concentração (mg/L)	
	Fotômetro	Espectrofotômetro
A	0,066 ± (0,007)	0,062 ± (0,009)
B	0,061 ± (0,006)	0,064 ± (0,009)
C	0,047 ± (0,009)	0,044 ± (0,011)

Fonte: Os autores., (2024)

O limite de detecção (LD) para determinação de nitrito utilizando o fotômetro portátil foi de 0,015 mg/L, enquanto o do espectrofotômetro foi de 0,011 mg/L.

Segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde o limite máximo de nitrito em águas de abastecimento não deve ultrapassar 1,0 mg/L, portanto, as águas analisadas são próprias para o consumo humano.

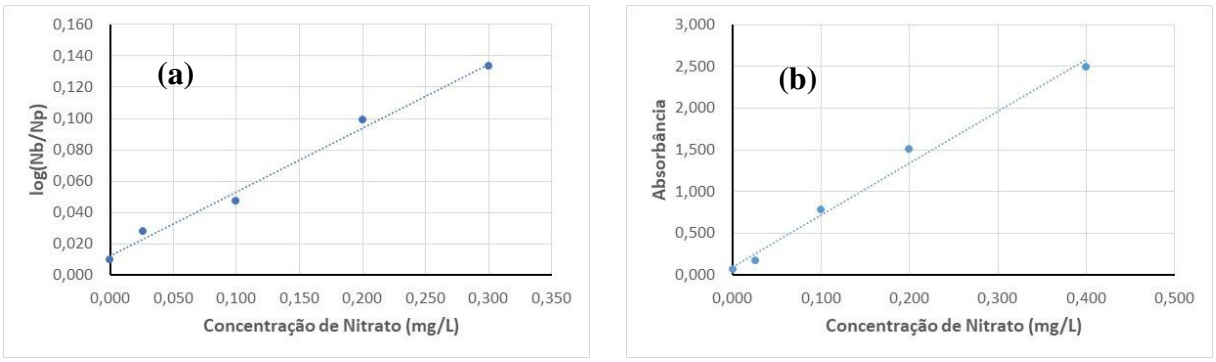
3.8 Análise de nitrito nas amostras de água

O fotômetro foi empregado para a determinação de nitrato em águas coletadas em duas comunidades ribeirinha e uma na zona urbana de Itacoatiara. A curva analítica foi obtida utilizando diferentes concentrações de soluções padrão de nitrato. A **Figura 12** mostra o resultado da curva obtida tanto com o Fotômetro desenvolvido (**Figura 12a**), quanto com o método de referência (**Figura 12b**).

Na **Figura 12a**, o método apresentou excelente linearidade (y = 0,4092x + 0,0122 e R^2 = 0,9909) para a faixa de concentração estudada (0,00; 1,00; 2,00; 3,00 e 4,00 mg/L).

Para a curva obtida por espectrofotometria UV-Vis, **Figura 12b**, os parâmetros da reta foram: y = 6,2058x + 0,1025 e R^2 = 0,9877 para a faixa de concentração estudada.

Figura 12. Curva analítica obtida para diferentes concentrações de padrões de nitrato. (a) curva obtida com o fotômetro e (b) espectrofotômetro.



Fonte: Os autores., (2024)

Construída a curva analítica, foram analisadas 3 amostras, sendo 2 coletas em comunidades ribeirinha e uma na zona urbana de Itacoatiara. Os resultados dessas análises são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Concentrações de nitrito nas amostradas coletadas.

Amostras	Concentração (mg/L)	
	Fotômetro	Espectrofotômetro
A	0,030 ± (0,002)	0,032 ± (0,000)
B	0,115 ± (0,002)	0,110 ± (0,001)
C	0,819 ± (0,009)	0,830 ± (0,007)

Fonte: Os autores., (2024)

O limite de detecção (LD) para determinação de nitrato utilizando o fotômetro portátil foi de 0,009 mg/L, enquanto o do espectrofotômetro foi de 0,007 mg/L.

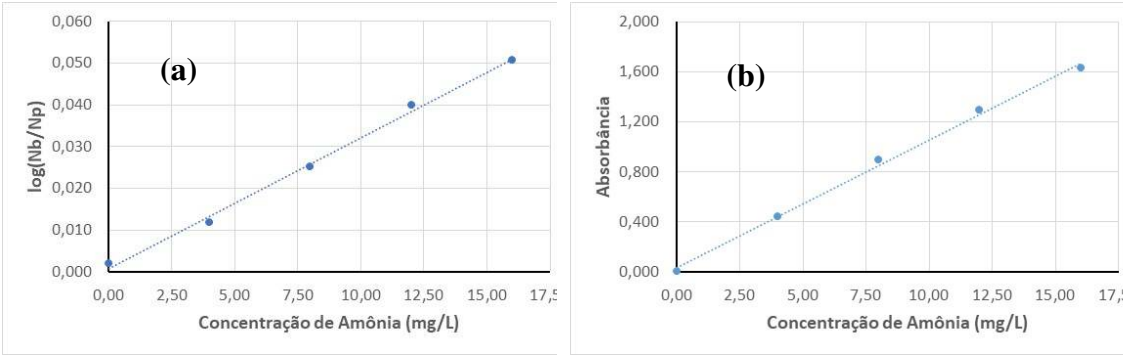
Segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde o limite máximo de nitrato em águas de abastecimento não deve ultrapassar 10,0 mg/L, portanto, as águas analisadas apresentaram-se como próprias para o consumo humano.

3.9 Análise de amônia nas amostras de águas

O fotômetro foi empregado para a determinação de amônia em águas coletadas em duas comunidades ribeirinha e uma na zona urbana de Itacoatiara. A curva analítica foi obtida utilizando diferentes concentrações de soluções padrão de amônia. A **Figura 13** mostra o resultado da curva obtida tanto com o Fotômetro desenvolvido (**Figura 13a**), quanto com o método de referência (**Figura 13b**).

Como pode ser visto na **Figura 13a**, o método apresentou uma boa linearidade (y = 0,0031x - 0,0061 e R^2 = 0,9962) para a faixa de concentração estudada (0,00; 4,00; 8,00; 12,00 e 16,00 mg/L).

Figura 13. Curva analítica obtida para diferentes concentrações de padrões de amônia. (a) curva obtida com o fotômetro e (b) espectrofotômetro.



Fonte: Os autores., (2024)

Para a curva obtida por espectrofotometria UV-Vis, **Figura 13b**, os parâmetros da reta foram: y = 0,1022x + 0,0362 e R^2 = 0,9971 para a faixa de concentração estudada

Construída a curva analítica, foram analisadas 3 amostras, sendo 2 coletas em comunidades ribeirinha e uma na zona urbana de Itacoatiara. Os resultados dessas análises são apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 3. Concentrações de amônia nas amostradas coletadas.

Amostras	Concentração (mg/L)	
	Fotômetro	Espectrofotômetro
A	0,569 ± (0,034)	0,560 ± (0,030)
B	0,673 ± (0,046)	0,682 ± (0,042)
C	1,210 ± (0,052)	1,170 ± (0,048)

Fonte: Os autores., (2024)

O limite de detecção (LD) para determinação de amônia utilizando o fotômetro portátil foi de 0,110 mg/L, enquanto o do espectrofotômetro foi de 0,102 mg/L. O erro relativo ficou abaixo de 4 %.

Segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde o limite máximo de nitrato em águas de abastecimento não deve ultrapassar 1,2 mg/L, portanto, as águas analisadas são próprias para o consumo humano.

4. CONCLUSÃO

Neste artigo o fotômetro RGB desenvolvido foi montado em um proboard interfaceado a um Arduino UNO R3. Foram realizados alguns testes utilizando corante verde e amarelo para verificar a resposta do Fotômetro RGB e em seguida foram feitas análises de alguns parâmetros da água, como nitrito, nitrato e amônia. As águas analisas foram coletadas de duas comunidades rurais (Jamanã e São Sebastião) e uma urbana (Conjunto Novo Horizonte). As amostras também foram analisadas por Espectrofotometria UV-Vis para efeito de comparação com os resultados obtidos com o Fotômetro RGB.

Os erros relativos para as amostras analisadas ficaram abaixo de 6,0 %. Os resultados obtidos pelos dois métodos foram comparados com os valores máximos permitidos (VMP) para os parâmetros analisados, segundo a Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, sugerindo uma boa potabilidade das águas, sendo as mesmas próprias para o consumo humano.

Diante dos resultados obtidos é fundamental que novos testes utilizando amostras de outros pontos da cidade de Itacoatiara sejam realizados e que esta proposta possa alcançar outras pessoas que atuam na área e desenvolvem pesquisas de inovação para o tratamento e análise de amostras de água através de imagens digitais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 17a ed. Washington, 1992. p.4-75/ 4-93.

ANTUNES, V. L. M. **Análise de Amoníaco em Águas Utilizando um Sensor Acústico**, 2010.

ARMSTRONG, F.A.J. Determination of nitrate in water by ultraviolet spectrophotometry. **Anal. Chem.** 35: p 1292 -1294. 1963.

AYDINDOGAN, CEYLAN, TIMUR. Based colorimetric spot test utilizing smartphone sensing for detection of biomarkers. **Talanta**, v. 208, 2020.

BABKO, A. K.; PILIPENKO Photometric Analysis: Methods of Determining Non-Metals. **Moscou: Mir Publishers** 1976. 374p. (1974).

BAIRD, C. **Química Ambiental.** 4ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2011.

BATALHA, B.H.L. et al. **Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais.** São Paulo, CETESB, 1993.

BRASIL, Ministério da Saúde (MS), **Portaria nº 888**, **de 04 de maio de 2021**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 518 de 25 de março de 2004.** 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. 26 de março de 2004, p. 266-270.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA), **CONAMA, Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005.** Brasília, 2005.

CESTEB, **Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental: Nitrito e Nitrato**, de 22 de dezembro de 2022.

C. SHEN, S. LIOU, **Surface acoustic wave gas monitor for ppm ammonia detection**, Sens. Actuators B 131(2008) 673-679

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea.** Ediciones Omega (I e II): Barcelona, 1983, 2359p.

CHAGAS, A. P.; As ferramentas do químico. **Quím. Nova na Escola**. n. 5, p. 18-20, 1997.

ECYCLE. Alimentação: Nitrito e Nitrato. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/nitrito-e-nitrato/.

ESTEVES, F. D. (1998). Fundamentos de limnologia. Interciência(2ª), 602.

FONSECA, A. **Determinação do Índice de Nitrato, Nitrito e Nitrogênio Amoniacal na Água da Lagoa de Extremos/RN.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

GALAL-GORCHEV, H. et al. Revision of the WHO guidelines for drinking water quality. **Ann Ist Super Sanita**, v.29, n.2, 1993. p.335-345.

J. A. TETLOW AND A. L. WILSON, **An Absorption Method for Determining Ammonia in Boiler Feed-water**, Analyst 89(1964) 453-465.

MATO, A. P. **Determinação de nitratos, nitritos e prováveis fontes de contaminação em águas de poços e sua influência na metemoglobinemia infantil.** São Paulo, 1996.

[Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Saneamento Ambiental, Universidade Mackenzie].

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer**, 2020.

PLÁCIDO, Katharina. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA: **Avaliação Do Uso De Imagens Digitais Obtidas Por Smartphones Para Determinação De Amônia Total Em Águas**, 2017.

POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS, **Lei n.º 9433**, 08 de janeiro de 1997.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e Qualidade da água: Contaminação da água por nitrato.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Dez, 2002.

REIS, J. A., & MENDONÇA, A. S. (s.d.). **Teores limites para compostos amoniacais em efluentes e corpos receptores - conflitos e interrelações.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 6, 1965-1974.

RIGUETO, YOHANA. **Determinação De Ferro Em Água Fluvial Na Bacia Do Córrego Sujo – Teresópolis Por Espectrofotometria De Absorção Molecular No UV-Vi**s, 2014.

SEBRANEK, J.G. & CASSENS, R.G. **Nitrosamines: a review.** J. Milk Fd Technool., 36: 76-91, 1973.

TELLES, D. A, COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

VIEGA, SARA. **Qual a melhor forma de tomar um suplemento de ferro**. 2016.