

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – CCET  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

**GABRIELA DIAS GAMBERINI**

**NITROSAMINAS: PRESENÇA, EFEITOS E MÉTODOS DE TRATAMENTO  
NO AMBIENTE AQUÁTICO**

São Carlos - SP

2024

Gabriela Dias Gamberini

**NITROSAMINAS: PRESENÇA, EFEITOS E MÉTODOS DE TRATAMENTO  
NO AMBIENTE AQUÁTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Departamento de Química da Universidade  
Federal de São Carlos para obtenção do grau  
de Bacharel em Química.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta Cerasi  
Urban.

São Carlos, 5 de janeiro de 2024.

São Carlos - SP

2024

**DEDICATÓRIA**

*Dedico esse trabalho à toda a minha família.*

## AGRADECIMENTOS

À minha avó Dirce que nunca mediu esforços para cuidar de mim desde os meus primeiros dias até hoje, me ajudando a crescer em todos os aspectos.

Ao meu pai Renato, que sempre buscou me dar uma educação de qualidade tornando real a possibilidade de estudar em uma universidade pública.

À minha mãe Ana Paula e minha irmã Pietra, que sempre estiveram junto a mim, dispostas a me ouvir e dar força em tempos difíceis.

Aos meus tios, Ana Paula, Rui e João Paulo, pelo apoio e ajuda em tantos momentos dessa trajetória.

À minha tia Ana Lúcia e minha tia Nilva, que hoje estão junto a Deus, mas que me viram crescer, comemoraram cada conquista minha, e sonharam em me ver concluindo os meus estudos em uma universidade como esta.

Ao meu amigo Jameson e Christian, que nunca me permitiram parar de acreditar no meu potencial e na minha força para alcançar meus objetivos, me ouviram e me ajudaram incansavelmente em todos esses anos.

Ao meu namorado Gabriel, que me acompanhou em todos esses dias difíceis de término de curso, me apoiando a todo momento.

À minha orientadora Roberta Cerasi Urban, pela ajuda e disponibilidade durante os meses de trabalho.

## RESUMO

As Nitrosaminas são uma classe de compostos químicos que apresentam um grupo nitroso ligado a um grupo amina, podendo ser formadas tanto naturalmente quanto por atividades humanas, podem ser encontradas em diversos produtos de consumo, como alimentos processados, água potável clorada e cosméticos. Suas propriedades físico-químicas variam de acordo com os seus substituintes. As nitrosaminas apresentam um risco significativo para a saúde humana devido ao seu potencial carcinogênico, podendo causar danos genéticos e aumentar o risco de desenvolvimento de câncer em humanos. Além disso, os desequilíbrios ambientais causados pela presença de nitrosaminas incluem a contaminação da água potável e de corpos d'água, a redução da qualidade da água e a interrupção dos ciclos biogeoquímicos. Portanto, é essencial avaliar e monitorar a presença e as concentrações de nitrosaminas no meio ambiente, bem como implementar medidas eficazes para minimizar os desequilíbrios ambientais causados por esses compostos. A determinação das nitrosaminas pode ser feita utilizando técnicas como espectrofotometria, cromatografia, quimiluminescência e potenciometria. A pesquisa abrange os impactos na saúde humana e ambiental, ressaltando a necessidade de compreensão dos mecanismos para estabelecer estratégias eficazes, fortalecimento da legislação e práticas mais sustentáveis para garantir um futuro com equilíbrio ambiental; ou seja, onde atividades humanas não causem danos significativos ao meio ambiente, minimizando os impactos negativos sobre os ecossistemas, a vida selvagem, a qualidade do ar e da água, e protegendo os recursos naturais para as gerações futuras.

**Palavras-chave:** Nitrosaminas, NA, Água Potável, Água Residual.

## ABSTRACT

Nitrosamines are a class of chemical compounds that have a nitroso group attached to an amine group. They can be formed both naturally and by human activities, and can be found in various consumer products, such as processed foods, chlorinated drinking water and cosmetics. Their physicochemical properties vary according to their substituents. Nitrosamines pose a significant risk to human health due to their carcinogenic potential, which can cause genetic damage and increase the risk of developing cancer in humans. In addition, environmental imbalances caused by the presence of nitrosamines include contamination of drinking water and water bodies, reduced water quality and disruption of biogeochemical cycles. It is therefore essential to assess and monitor the presence and concentrations of nitrosamines in the environment, as well as to implement effective measures to minimise the environmental imbalances caused by these compounds. Nitrosamines can be determined using techniques such as spectrophotometry, chromatography, chemiluminescence and potentiometry. The research covers the impacts on human and environmental health, highlighting the need to understand the mechanisms for establishing effective strategies, strengthening legislation and more sustainable practices to guarantee a future with environmental balance; in other words, where human activities do not cause significant damage to the environment, minimising negative impacts on ecosystems, wildlife, air and water quality, and protecting natural resources for future generations.

**Keywords:** Nitrosamines, NA, Drinking Water, Waste Water.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUTURA GERAL DE N-NITROSAMINA <sup>1</sup> .....	11
FIGURA 2. FORMAÇÃO DE NITROSAMINAS POR NITROSAÇÃO COM ÁCIDO NITROSO OBTIDO A PARTIR DE NITRITO DE SÓDIO EM MEIO ÁCIDO <sup>1</sup> .....	12
FIGURA 3. HIDROXILAÇÃO DE NITROSAMINAS MEDIADA PELO SISTEMA P-450 E POSTERIOR GERAÇÃO DE ÍONS DIAZÔNIO <sup>1,3</sup> .....	15
FIGURA 4. ESTRUTURA DO NAFION .....	16

## SUMÁRIO

1. OBJETIVOS.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. DEFINIÇÕES E OCORRÊNCIA .....	11
3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE NITROSAMINAS .....	16
4. TRATAMENTO.....	19
5. CONCLUSÃO.....	21
6. BIBLIOGRAFIA .....	22

## **1. OBJETIVOS**

Esse estudo tem como objetivo revisar a presença de nitrosaminas, explorar suas fontes naturais e antrópicas e destacar sua presença em produtos de consumo humano e processos de desinfecção da água. Além disso, revisar as metodologias analíticas empregadas para suas identificações e quantificações. Por fim, também destacar possíveis metodologias de tratamento.

## **1. INTRODUÇÃO**

As nitrosaminas são encontradas em uma variedade de produtos de consumo, como carnes processadas, bebidas alcoólicas, cosméticos e até mesmo na água potável, principalmente como resultado da desinfecção com cloro ou cloramina. Além disso, a interação entre nitritos e aminas secundárias ou terciárias em alimentos de origem animal é uma das principais fontes desses compostos.

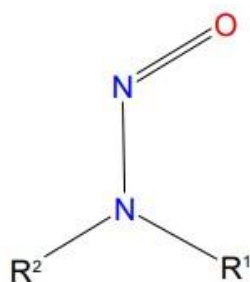
A presença de nitrosaminas na água, seja como subprodutos da desinfecção ou como resultado da contaminação industrial e agrícola, representa uma ameaça significativa à saúde humana e ao meio ambiente. Estudos têm demonstrado que essas substâncias podem ativar o sistema microssomal P-450, resultando na formação de compostos altamente reativos que podem se ligar ao DNA e desencadear processos carcinogênicos.

Diante desse cenário, é crucial compreender os mecanismos de formação, disseminação e os potenciais efeitos das nitrosaminas na água. Essa compreensão é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e prevenção, visando proteger a saúde humana e preservar o equilíbrio ambiental.

Este trabalho busca explorar a presença de nitrosaminas na água, abordando sua origem, métodos de análise, impactos na saúde humana e no meio ambiente, bem como estratégias de tratamento e prevenção. Por meio dessa análise, contribuir para uma melhor compreensão dessa problemática contemporânea e para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e seguras relacionadas ao uso e tratamento da água.

## 2. DEFINIÇÕES E OCORRÊNCIA

Nitrosaminas (NA) são uma classe de compostos químicos caracterizados pela ligação entre um grupo nitroso e um grupo amina (Figura 1), conforme o Guia sobre o Controle de Nitrosaminas em Insumos Farmacêuticos Ativos e Medicamentos - Guia nº 50/2021 - Versão 1. A fórmula estrutural genérica da classe é  $R^1-N(-R^2)-N=O$ , onde o substituinte 1 ( $R^1$ ) e o substituinte 2 ( $R^2$ ) podem ser grupos alquilas ou arilas. As propriedades físico-químicas destes compostos dependem dos radicais ligados ao átomo de nitrogênio, sendo que podem se encontrar nas formas sólida, líquida ou gasosa. [5]



**FIGURA 1. ESTRUTURA GERAL DE N-NITROSAMINA <sup>1</sup>**

A formação das nitrosaminas ocorre por meio da reação entre aminas e agentes nitrosantes, tal como o ácido nitroso e o íon nitrosônio, tanto em processos naturais quanto antrópicos (Figura 2). Em (A), o sal de nitrito ao se dissolver em meio aquoso produz o anion nitrito, que atua como uma base de Lewis e reage com um próton do meio que, na sequência, é novamente protonado e forma água e o íon nitrônio. Já em (B) os pares de elétrons presentes no nitrogênio da amina secundária atuam como uma base de Lewis, reagem em uma adição ao nitrogênio do íon nitrônio mediante a quebra da ligação tripla com o oxigênio. Em seguida, da formação do intermediário ácido, o próton do nitrogênio quaternário é abstraído pelo ácido nitroso. Como resultado, formam-se água e nitrosamina.



desinfecção com dicloramina pode resultar na formação do composto. No entanto, o contato humano com a NDMA não se limita à água potável, uma vez que nitrosaminas também foram determinadas em águas de piscinas cloradas, pois podem ser formadas em águas cloraminadas ou cloradas. Além disso, evidências indicam que a cloração de águas subterrâneas contaminadas com amoníaco pode igualmente resultar na geração desse composto. <sup>[9]</sup>

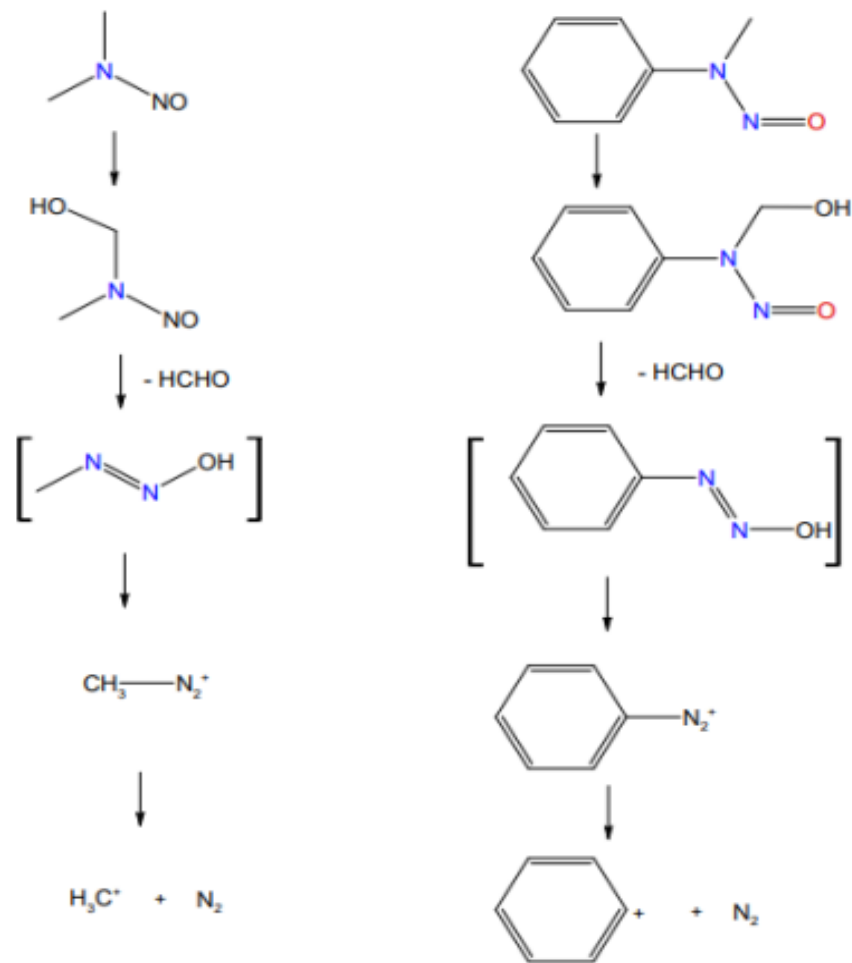
A NDMA geralmente está presente em concentrações de alguns nanogramas por litro em água potável cloraminada/clorada, porém pode se formar ou ser determinada em concentrações maiores em águas residuais. <sup>[9]</sup> Estas concentrações de alguns nanogramas por litro de NDMA (N-nitrosodimetilamina) em água potável cloraminada/clorada podem representar um risco à saúde humana, uma vez que a NDMA é classificada como uma substância carcinogênica provável para os seres humanos pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), embora essas concentrações sejam geralmente consideradas baixas, ainda existe um potencial de risco à saúde, especialmente quando a exposição é crônica. Os valores de concentrações estão associados não somente a excreção humana, que resulta em níveis relativamente baixos e estáveis de nitrosaminas, mas também às fontes industriais.

Um estudo realizado na Suíça por exemplo, também identificou outras substâncias relacionadas, como nitrosaminas secundárias e terciárias, em concentrações que variaram de 5 a 25 ng L<sup>-1</sup> nos efluentes primários das estações de tratamento de águas residuais. Estas incluíram nitrosaminas como N-nitrosodi-n-propylamine (NDPA), N-nitrosomorpholine (NMOR), N-nitrosopiperidine (NPIP), e N-nitrosopyrrolidine (NPYR). A presença dessas nitrosaminas sugere a ocorrência de várias reações de nitrosação envolvendo precursores orgânicos e nitritos durante o tratamento de águas residuais <sup>[9]</sup>. Outros estudos realizados em diferentes países também identificaram a presença de nitrosaminas em efluentes de estações de tratamento de águas residuais. Por exemplo, um estudo conduzido nos Estados Unidos encontrou concentrações de NDMA variando de 2 a 46 ng L<sup>-1</sup> em efluentes de estações de tratamento de águas residuais urbanas. <sup>[14]</sup> Além disso, foram detectadas outras nitrosaminas, como NDEA, NDBA e NMOR, em concentrações que variaram de 0,1 a 10 ng L<sup>-1</sup>. Outro estudo realizado na Alemanha investigou a presença de nitrosaminas em efluentes de estações de tratamento de águas residuais e detectou várias nitrosaminas, incluindo NDMA, NDEA, NDBA e NPIP, em concentrações que variaram de 1 a 20 ng L<sup>-1</sup>. <sup>[15]</sup> Além disso, foram identificadas outras nitrosaminas menos comuns, como N-nitrosodiphenylamine

(NDPhA) e N-nitrosodi-n-butylamine (NDBzA), em concentrações mais baixas. <sup>[15]</sup> Esses estudos destacam a presença generalizada de nitrosaminas em efluentes de estações de tratamento de águas residuais em todo o mundo, com concentrações variando dependendo das condições específicas de cada estação e das fontes de poluição. Essas descobertas ressaltam a importância da monitorização contínua das águas residuais e da implementação de medidas de controle para reduzir a presença desses compostos carcinogênicos no meio ambiente aquático.

Outro processo que conduz à formação de NAs em água está associado ao ciclo de vida de fitoplânctons. <sup>[10]</sup> Quando o fitoplâncton morre, ocorre a liberação de compostos orgânicos nitrogenados, como proteínas e aminoácidos, que são convertidos em amônia por processos de decomposição bacteriana. A amônia, por sua vez, pode reagir com os nitritos presentes na água, formando nitrosaminas por meio da nitrosação. Essa reação ocorre em condições específicas de pH e temperatura; primeiramente, os nitritos oxidam a amônia a nitrito de amônio. Em seguida, o nitrito de amônio reage com nitritos livres na água para formar nitrosamina. Essa nitrosamina intermediária pode se decompor ainda mais para formar nitrosaminas específicas, como a N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitrosodiethylamine (NDEA) e outras.

As nitrosaminas podem causar diversos impactos negativos aos seres humanos e ao ambiente aquático. <sup>[9]</sup> Nos seres humanos, estes compostos podem ativar o sistema microsomal P-450 (CYP 450), que se trata de uma super família ampla e diversificada de proteínas que são responsáveis por oxidar um grande número de substâncias afim de torna-las mais polares e hidrossolúveis. Na reação (figura 3) a nitrosamina é hidroxilada pela P-450 oxidase formando um composto diazoto. Esse se decompõe muito facilmente em espécies bastante reativas, os carbocátions. Eles podem facilmente se ligar a estrutura do DNA humano, o que pode gerar complicações muito serias, como o câncer. <sup>[2,3]</sup>



**FIGURA 3. HIDROXILAÇÃO DE NITROSAMINAS MEDIADA PELO SISTEMA P-450 E POSTERIOR GERAÇÃO DE ÍONS DIAZÔNIO <sup>1,3</sup>**

Portanto, é essencial uma abordagem abrangente que inclua medidas preventivas e de controle para minimizar a exposição humana e os impactos ambientais das nitrosaminas. A compreensão dos mecanismos de formação e dos efeitos desses compostos é fundamental para o desenvolvimento de políticas e práticas de gestão ambiental e de saúde pública voltadas para a proteção da saúde humana e da biodiversidade aquática.

### 3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE NITROSAMINAS

Diversos métodos de extração, separação e subsequente análise têm sido utilizados para determinar nitrosaminas.

Dentre os métodos de extração e separação da matriz podem ser citados a sublimação a vácuo ou destilação a vapor, as extrações com óleos minerais, em colunas com zeólita ou em fase sólida. A sublimação a vácuo e a destilação a vapor são métodos que visam separar e concentrar os compostos de interesse, aproveitando suas diferentes temperaturas de ebulição e volatilidade. As extrações com óleos minerais, por sua vez, são baseadas na capacidade desses solventes orgânicos de extrair nitrosaminas da matriz aquosa. Já as colunas com zeólita ou em fase sólida exploram a capacidade desses materiais de adsorver as nitrosaminas presentes na amostra, permitindo sua posterior eluição e análise. Essas técnicas de extração e separação desempenham um papel importante na preparação das amostras para análise, contribuindo para a precisão e sensibilidade dos métodos de detecção de nitrosaminas. <sup>[9]</sup>

Um método promissor para o isolamento de N-nitrosaminas baseia-se na interação não específica destes compostos com nafion, e a remoção através do mecanismo de extração em fase sólida. O nafion (figura 4) trata-se de polímeros perfluorossulfônicos com afinidade por ions e moléculas polares, ou seja, as nitrosaminas tem dificuldade de passar por essa membrana de nafion, e no caso de nitrosaminas solúveis, o polímero também é capaz de reter água, então essas NA também podem ser retidas. <sup>[9]</sup>

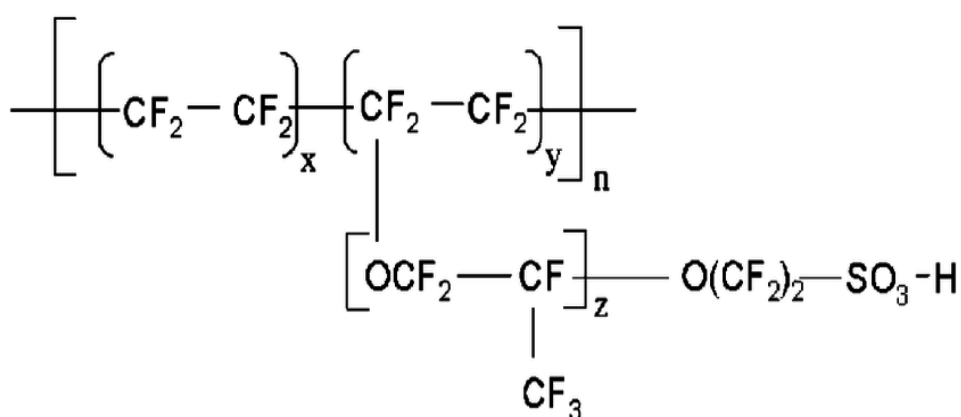


FIGURA 4. ESTRUTURA DO NAFION <sup>16</sup>

As nitrosaminas também estão presentes na atmosfera, e diversas técnicas físico-químicas foram utilizadas para coleta e posterior determinação. <sup>[9]</sup>

Dentre as técnicas analíticas utilizadas para determinação de NAs, estão as espectrofotometrias: UV-Visível, Fluorescência, Infravermelha (IR). A primeira envolve a medição da absorção de luz por parte das nitrosaminas em comprimentos de onda específicos na faixa UV-Visível do espectro e a correlação dessa absorção com a concentração das NAs na amostra. Já na fluorescência, as nitrosaminas podem ser excitadas por uma fonte de luz de alta energia, como um laser, e emitem luz fluorescente em comprimentos de onda específicos. A intensidade da fluorescência é então medida e correlacionada com a concentração das NAs. A espectrofotometria infravermelha (IR) utiliza a absorção de luz na região do infravermelho para identificar grupos funcionais específicos (nitratos) presentes nas nitrosaminas, fornecendo informações sobre sua estrutura molecular. <sup>[11]</sup>

A cromatografia gasosa são técnicas analíticas amplamente utilizadas na determinação de nitrosaminas, especialmente aquelas que são voláteis ou volatilizáveis. Na cromatografia gasosa (GC), os compostos são separados com base em suas interações com uma fase estacionária sólida e uma fase móvel gasosa. Esta técnica oferece alta sensibilidade se comparada com métodos espectrofotométricos ou outros métodos cromatográficos menos sensíveis, como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC); a GC possui a capacidade de separar e detectar até mesmo pequenas quantidades de compostos presentes em uma amostra. Por outro lado, a presença de halogenetos, como cloro ou bromo, pode acarretar resultados subestimados na cromatografia gasosa. Isso ocorre devido à formação de halogenetos de nitrosaminas durante o preparo da amostra, ou a desinfecção da água, o que pode interferir na separação e na detecção dos compostos de interesse. Essa interferência resulta em uma subestimação dos teores de nitrosaminas na amostra analisada. Portanto, é importante considerar e corrigir esse efeito ao utilizar a cromatografia gasosa para a determinação de nitrosaminas. <sup>[6]</sup>

A quimioluminescência também tem sido utilizada nas determinações de NAs por cromatografia. Neste caso, ocorre o isolamento das NAs voláteis por destilação a vapor, posteriormente, estas são extraídas com cloreto de metileno a partir do destilado aquoso, concentradas e é realizada a separação por cromatografia gás-líquido. Por fim, os compostos são determinados por meio de um detector de quimioluminescência altamente seletivo e sensível. <sup>[10]</sup> Um tipo de detector é o analisador de energia térmica, no procedimento, as NA efluentes da coluna cromatográfica são decompostas cataliticamente em um leito catalítico no detector, formando NO, o qual entra em uma

câmara com ozônio. Assim, formam-se moléculas de  $\text{NO}_2$  excitadas que ao perderem sua energia são isoladas com um filtro de luz vermelha e captados por um fotomultiplicador de alta sensibilidade que converte a luz recebida em um sinal elétrico proporcional e permite determinar o teor de nitrosaminas em picogramas por quilograma de amostra <sup>[10]</sup>.

Os métodos potenciométricos estão entre os mais comumente empregados para as determinações de NAs em amostras de água e em amostras aquosas de produtos alimentares. Este baseia-se na determinação do potencial utilizando um eletrodo íon seletivo quando este é imerso em uma solução contendo íons nitrato. Ocorrerá uma troca iônica entre a solução e a membrana do eletrodo, gerando um potencial elétrico proporcional à concentração de íons nitrato na solução. O método é simples, amplamente estudado, e permite obter rapidamente um resultado, incluindo em amostras turvas e coloridas. A sensibilidade e a seletividade do método dependem das propriedades do eletrodo e são determinadas pelas propriedades da sua membrana. <sup>[10]</sup> um exemplo é a membrana de poli(acrilato de etileno-co-vinil acetato) – EVA composta por um plastificante, específico para íons nitrato (como tridodecilamina ou valinomicina), e um sal condutor (como cloreto de potássio) sobre um suporte poroso. A mistura evaporada forma uma membrana fina. Suas vantagens são o simples uso e a resposta rápida. <sup>[10]</sup>

#### 4. TRATAMENTO

A análise dos métodos de degradação das nitrosaminas e das estratégias para reduzir sua formação é de suma importância para a gestão da qualidade da água. Existem diferentes abordagens, desde processos fotolíticos até medidas preventivas, como o controle de nutrientes nas bacias hidrográficas e o uso de microrganismos para mitigar os precursores das nitrosaminas. Essas medidas desempenham um papel crucial na preservação do meio ambiente e na garantia de uma água segura para consumo humano.

Vários métodos de degradação de nitrosaminas têm sido utilizados, sendo que os fotolíticos estão dentre os de maior potencial de aplicação. <sup>[9]</sup> Os métodos fotolíticos se baseiam na degradação das nitrosaminas pela exposição à luz solar ou à luz artificial de alta intensidade, que promove reações fotoquímicas capazes de quebrar as moléculas das nitrosaminas em produtos menos tóxicos, como compostos orgânicos mais simples, como aldeídos, cetonas, álcoois e ácidos carboxílicos. Essa abordagem é particularmente eficaz para a remoção de compostos como a NDMA, que pode ser degradada pela ação direta da luz. A biodegradação também pode ser utilizada para degradação de NDMA e envolve o uso de microrganismos presentes em ambientes naturais ou em sistemas de tratamento biológico para metabolizar as nitrosaminas, transformando-as em produtos mais simples e menos nocivos. Um exemplo são as bactérias desnitrificantes, como as *Pseudomonas* que podem reduzir nitrato a nitrogênio gasoso, completando o ciclo do nitrogênio. A utilização de microrganismos é um método eficaz, relativamente barato e não tóxico no ambiente aquático. A remoção de quantidades excessivas de nutrientes é efetuada em instalações especiais, onde estes são depositados. <sup>[10]</sup>

No entanto, é importante ressaltar que os precursores das nitrosaminas, que podem persistir no meio ambiente por mais tempo, representam um desafio adicional para a remediação desses compostos. Em relação às características das nitrosaminas, sua alta hidrofobicidade dificulta sua remoção por processos de adsorção e aumenta o risco de contaminação das águas subterrâneas, uma vez que elas têm maior probabilidade de migrar através do solo. Essas propriedades recalcitrantes das nitrosaminas destacam a importância de desenvolver e aprimorar técnicas de tratamento eficazes para proteger tanto os recursos hídricos superficiais quanto os subterrâneos. <sup>[9]</sup>

Uma parte significativa das NAs são formadas nos corpos d'água em condições de eutrofização. <sup>[10]</sup> Portanto, métodos para reduzir a formação de nitrocompostos são extremamente importantes, e estes dividem-se em dois grupos: processos realizados

dentro da bacia hidrográfica e destinados a reduzir o escoamento de nutrientes do solo para as massas de água; e ações realizadas diretamente nos corpos d'água.

O primeiro grupo inclui medidas de otimização da atividade agrícola, controle da aplicação de fertilizantes e herbicidas, a construção de instalações de tratamento de efluentes e dejetos para complexos pecuários e outros. As atividades do segundo grupo, realizadas diretamente nos corpos hídricos, incluem o bombeamento de água e a circulação artificial para promover a oxigenação; a precipitação química e a inativação de nutrientes que ajudam a remover nutrientes como N e P precursores de NA; a calagem (adicionar cálcio e magnésio ao solo) aumentando o pH do solo; a cobertura dos sedimentos de fundo com diversos materiais que impedem o desenvolvimento de macrófitas, o que reduzirá a atividade microbiana; a dragagem (escavação para retirar os sedimentos do fundo do corpo d'água) que pode ajudar a remover os materiais orgânicos acumulados; e outros.

Atualmente, há muitos estudos para melhoria dos corpos d'água. No entanto, a procura e o desenvolvimento de novos métodos eficazes para reduzir a concentração de compostos contendo nitrogênio nas águas naturais e residuais continua desafiador.

## 5. CONCLUSÃO

Ao longo dessa jornada de pesquisa sobre nitrosaminas em água, entrando em contato com um campo de estudo que vai além do aspecto científico, torna-se notável que as nitrosaminas são uma problemática contemporânea, levantando sérias preocupações devido aos potenciais impactos negativos aos seres humanos e ao ecossistema. As nitrosaminas (NAs) são compostos químicos conhecidos por seu potencial carcinogênico e estão associados a uma série de impactos negativos à saúde humana. Entre os principais riscos causados pelas NAs, destacam-se sua capacidade de ativar o sistema microsomal P-450 (CYP 450), resultando na formação de compostos altamente reativos que podem se ligar ao DNA humano, potencialmente levando ao desenvolvimento de câncer.

Algumas das principais nitrosaminas determinadas em água incluem a N-nitrosodimetilamina (NDMA), N-nitrosomorfolina (NMOR), N-nitrosodibutilamina (NDBA), N-nitroso-2,6-dimetilmorfolina (NPIP) e N-nitrosodietilamina (NDEA). Esses compostos apresentam características variadas, mas compartilham a presença do grupo nitroso (-N=O) ligado a um grupo amina (-N-), conferindo-lhes sua estrutura química distintiva. As NAs também representam uma ameaça ao ecossistema aquático, perturbando os ciclos biogeoquímicos e afetando a saúde dos organismos aquáticos.

Diante desse cenário preocupante, torna-se crucial compreender os mecanismos de formação, disseminação e os efeitos das nitrosaminas, a fim de desenvolver estratégias eficazes de mitigação e prevenção. Essas estratégias podem incluir medidas de tratamento da água, controle de fontes de contaminação e adoção de práticas sustentáveis em diversos setores que utilizam compostos nitrogenados, como agricultura, indústria e produtos de consumo humano.

Em suma, a preservação da qualidade da água é essencial para proteger a saúde humana e manter o equilíbrio no meio ambiente. A abordagem ética e técnica é fundamental para enfrentar os desafios impostos pela presença das nitrosaminas em recursos hídricos

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] **Guia sobre o Controle de Nitrosaminas em Insumos Farmacêuticos Ativos e Medicamentos.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6279847/\(1\)Guia\\_50\\_Nitrosaminas\\_rev\\_final\\_para+publica%C3%A7%C3%A3o.pdf/12af2904-e5a7-4774-9528-f4f633cac2bf](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6279847/(1)Guia_50_Nitrosaminas_rev_final_para+publica%C3%A7%C3%A3o.pdf/12af2904-e5a7-4774-9528-f4f633cac2bf)>. Acesso em: 30 jan. 2024.
- [2] CARLSON, E. S.; UPADHYAYA, P.; HECHT, S. S. A General Method for Detecting Nitrosamide Formation in the In Vitro Metabolism of Nitrosamines by Cytochrome P450s. **Journal of Visualized Experiments**, n. 127, 25 set. 2017.
- [3] RATH, S.; CANAES, L. S. Contaminação de produtos de higiene e cosméticos por n-nitrosaminas. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2159–2168, 2009.
- [4] CHAVES, G. et al. TRATAMENTOS DE ÁGUAS POR OZONIZAÇÃO: REVISÃO. [s.d.].
- [5] DE CASTRO AGLIO, T. et al. N-NITROSAMINAS EM MEDICAMENTOS: UM PROBLEMA ATUAL, UMA REALIDADE ANTIGA. *Quim. Nova*, v. 45, n. 8, p. 959–976, 2022.
- [6] KRASNER, S. W. et al. Formation, precursors, control, and occurrence of nitrosamines in drinking water: A review. *Water Research*, v. 47, n. 13, p. 4433–4450, 1 set. 2013.
- [7] LEVALLOIS, P. et al. Excretion of volatile nitrosamines in a rural population in relation to food and drinking water consumption. *Food and Chemical Toxicology*, v. 38, n. 11, p. 1013–1019, 1 nov. 2000.
- [8] MULDER, A. The quest for sustainable nitrogen removal technologies. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 1, p. 67–75, 2003.
- [9] NAWROCKI, J.; ANDRZEJEWSKI, P. Nitrosamines and water. *Journal of Hazardous Materials*, v. 189, n. 1–2, p. 1–18, 15 maio 2011.
- [10] RUDNEVA, I. I.; OMEL'CHENKO, S. O. Nitrosamines in Aquatic Ecosystems: Sources, Formation, Toxicity, Environmental Risk (Review) 1. Structure, Properties, Ways of Entering and Formation in Waterbodies. *Water Resources*, v. 48, n. 1, p. 92–101, 1 jan. 2021.

- [11] SINGH, P. et al. A review on spectroscopic methods for determination of nitrite and nitrate in environmental samples. *Talanta*, v. 191, p. 364–381, 1 jan. 2019.
- [12] VERSTRAETE, W.; VAN DE CAVEYE, P.; DIAMANTIS, V. Maximum use of resources present in domestic "used water". *Bioresource Technology*, v. 100, p. 5537–5545, 2009.
- [13] YURCHENKO, S.; MÖ, U. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Volatile N-Nitrosamines in various fish products. [s.d.].
- [14] BARRETT, Sylvia et al. Occurrence of NDMA in drinking water: a North American Survey, 2001-2002. In: 2003 AWWA Annual Conference. 2003. p. 2003.
- [15] ZENG, T.; MITCH, W. A. Contribution of *N*-Nitrosamines and Their Precursors to Domestic Sewage by Greywaters and Blackwaters. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 22, p. 13158–13167, 5 nov. 2015.
- [16] MAURITZ, K. A.; MOORE, R. B. State of Understanding of Nafion. **Chemical Reviews**, v. 104, n. 10, p. 4535–4586, 21 set. 2004.