



**MARIANA MONTEIRO DO VALE**

**CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA DOS EFLUENTES  
DOMÉSTICOS DA BACIA DO RIO DAS VELHAS**

**LAVRAS-MG  
2023**

**MARIANA MONTEIRO DO VALE**

**CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DA  
BACIA DO RIO DAS VELHAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título de  
Bacharel.

Prof Dr. Paulo dos Santos Pompeu

Orientador

Prof Dr. Débora Reis de Carvalho

Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2023**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho. Cada passo dessa jornada foi marcado pelo apoio, incentivo e inspiração proporcionados por pessoas incríveis.

Primeiramente, agradeço a meus pais, Marcone e Helen, pelo amor, sacrifício e incentivo. Suas palavras encorajadoras e a confiança em meu potencial, foram primordiais. Nada seria possível sem vocês.

À minha irmã, Isabela, minha maior companheira, agradeço por sua paciência, compreensão e por ser uma presença constante, tornando os desafios mais leves e as conquistas mais significativas.

À toda minha família, obrigada por sempre torcerem por mim e comemorarem minhas conquistas durante os anos. Amo vocês.

Aos amigos da faculdade, em especial Brenda Bueno, Isabella Subutzki, Júlia Cardoso, Rafaela Ribeiro, Sarah Pressato e Vera Carolina, que compartilharam não apenas a jornada acadêmica, mas também vitórias e me apoiaram durante todo o processo deste trabalho. Essa jornada acadêmica foi enriquecida pela amizade de cada um de vocês.

Ao Murilo, pelo apoio incondicional, por sempre torcer por mim, pelas palavras de incentivo e por tornar os momentos mais leves.

Ao meu orientador, Professor Paulo Pompeu e coorientadora Professora Débora Carvalho, expressei minha profunda gratidão pela orientação sábia, pela paciência e pela disponibilidade. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Química da Universidade Federal de Lavras e a Finep, Fapemig, CNPq e Capes pelo fornecimento de equipamentos e suporte técnico para experimentos envolvendo análises isotópicas.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto, meu mais sincero obrigado. Cada interação, conselho e palavra de incentivo, fizeram a diferença. Que esta conquista seja compartilhada por todos, que é também fruto do apoio e contribuição generosa de cada um de vocês.

## RESUMO

Os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio desempenham um papel fundamental na investigação das cadeias tróficas em ecossistemas aquáticos. Enquanto o isótopo de carbono mantém uma assinatura isotópica consistente ao longo das cadeias tróficas, o isótopo de nitrogênio apresenta um fracionamento (enriquecimento) de um nível trófico para o outro, permitindo inferências sobre as relações tróficas dos consumidores com suas fontes de alimento. Estudos prévios identificaram o esgoto como uma importante fonte alimentar para algumas espécies de peixes, o que só foi possível após a avaliação da assinatura do esgoto doméstico. Portanto, o presente estudo objetiva investigar a assinatura isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) em esgotos domésticos de diferentes Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) da Bacia do Rio das Velhas, considerando variações sazonais e o impacto do tratamento de esgoto sobre essas assinaturas. Dez estações de tratamento foram avaliadas em duas épocas (seca e chuvosa), coletando amostras de esgoto bruto e tratado. A análise isotópica revelou pequenas variações em  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  no esgoto bruto entre as ETES avaliadas, enquanto no esgoto tratado apresentou variações mais expressivas. Não foram observadas diferenças significativas nas assinaturas isotópicas do esgoto entre estações seca e chuvosa, nem entre o esgoto bruto e o tratado. Entretanto, tanto na chuva quanto na seca, o tratamento de esgoto atua enriquecendo significativamente as assinaturas de carbono e empobrecendo significativamente as de nitrogênio.

**Palavras-chave:** Carbono, Nitrogênio, Esgoto, Isótopos Estáveis

## ABSTRACT

*The stable isotopes of carbon and nitrogen play a fundamental role in investigating trophic pathways in aquatic ecosystems. While the carbon isotope maintains a consistent isotopic signature through trophic chains, the nitrogen isotope undergoes fractionation (enrichment) from one trophic level to another, allowing inferences regarding the trophic relationships between consumers with their food sources. Previous studies have identified sewage as a significant food source for some fish species, a discovery made possible only through the assessment of domestic sewage signatures. Therefore, this study aims to investigate the carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotopic signatures in domestic sewage from different Sewage Treatment Plants (STPs) in the Rio das Velhas basin, considering seasonal variations and the impact of sewage treatment on these signatures. Ten treatment plants were assessed in two seasons (dry and rainy), collecting samples of raw and treated sewage. The isotopic analysis revealed small variations in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in the raw sewage of the evaluated STPs, while the treated sewage showed more significant variations. No significant differences were observed in the isotopic signatures of sewage between dry and rainy seasons, nor between raw and treated sewage. However, both in rain and dry seasons, the sewage treatment significantly enriched carbon signatures and significantly depleted nitrogen signatures.*

**Keywords:** Carbon; Nitrogen; Sewage; Stable Isotopes.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Etapas do Tratamento de Esgoto.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Isótopos Estáveis.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Bacia do Rio das Velhas.....</b>	<b>11</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Desenho amostral.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Coleta das amostras.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Análise isotópica.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Análise de dados.....</b>	<b>21</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns elementos químicos possuem diferentes formas isotópicas, e alguns deles são amplamente empregados em estudos ecológicos (VANDER ZANDEN; CABANA; RASMUSSEN, 1997). Em particular, os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio são frequentemente utilizados para investigar as cadeias tróficas em ecossistemas aquáticos. O isótopo de carbono mantém uma assinatura isotópica consistente ao longo das cadeias tróficas, tornando-se uma ferramenta valiosa para mapear o fluxo de energia em sistemas que abrigam uma variedade de recursos alimentares com diferentes valores de carbono. O isótopo de nitrogênio exibe um fracionamento constante (enriquecimento) ao longo das cadeias tróficas, permitindo inferências sobre as relações tróficas dos consumidores com suas fontes de alimento. Assim, a análise dos valores de carbono e nitrogênio em organismos individuais possibilita a identificação dos recursos alimentares predominantes e a determinação do nível trófico que os consumidores ocupam na teia alimentar (WANG et al., 2016).

Além de sua utilização em estudos relacionados à estrutura trófica, os isótopos estáveis vêm sendo amplamente utilizados na avaliação dos impactos humanos nos ecossistemas aquáticos (CARVALHO et al., 2018). Fornecem informações sobre, por exemplo, a influência da poluição em cursos d'água e como afetam a alimentação dos peixes (CARVALHO et al., 2020a). Além de refletirem as elevadas concentrações de nitrogênio na água nos tecidos dos organismos aquáticos (CARVALHO et al., 2020b).

Estudos dessa natureza têm sido conduzidos na Bacia do Rio das Velhas nos últimos anos. Essa bacia abrange uma área de 27.850 km<sup>2</sup>, e é um dos mais importantes afluentes da Bacia do Rio São Francisco. Engloba 51 municípios no estado de Minas Gerais, Brasil, dos quais 44 têm suas sedes urbanas dentro dos limites da bacia, 21 desses com Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) em funcionamento (ALVES & POMPEU, 2005). A Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, é responsável pela gestão dos serviços de esgoto em 28 dos 51 municípios banhados pelo Rio das Velhas ou por seus afluentes (CBH, 2022).

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, o Rio das Velhas recebe uma grande quantidade de efluentes domésticos e industriais, além de resíduos sólidos, poluentes que são carregados pela água da chuva e escoam sobre a superfície. Uma ameaça ao desenvolvimento sustentável, à proteção do meio ambiente, à saúde, ao bem-estar humano, ao ecossistema e à garantia de alimentos. Essas pesquisas têm revelado que o esgoto desempenha um papel significativo no fornecimento de carbono e nitrogênio para as comunidades aquáticas, sendo incorporados pela fauna de peixes da bacia (CARVALHO, 2019). No entanto, para

aprofundar a compreensão sobre a contribuição do esgoto para as teias tróficas aquáticas, bem como contribuir para estudos futuros em outras bacias, é essencial conhecer a assinatura isotópica específica do esgoto e os efeitos das estações de tratamento sobre essa assinatura isotópica. Até o momento, não existem estudos que tenham investigado e documentado a assinatura isotópica do esgoto nas bacias brasileiras.

O objetivo geral do trabalho é verificar se a assinatura isotópica de carbono e nitrogênio de esgotos domésticos varia entre cidades da bacia do rio das Velhas, se sofre alterações sazonais durante os períodos de seca e chuva, e se o tratamento de esgoto tem algum impacto na assinatura isotópica.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Etapas do Tratamento de Esgoto**

Após a coleta e o transporte, o esgoto sanitário deve ser encaminhado para tratamento, a fim de possibilitar o seu lançamento em corpos hídricos, em conformidade com os padrões de despejo de efluentes estabelecidos pelas leis em vigor. As etapas de tratamento de esgoto podem ser divididas em: preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário. Etapas que tem como função a remoção de sólidos grosseiros, sólidos suspensos, matéria orgânica dissolvida, nutrientes e agentes patogênicos, por meio de processos físicos, físico-químicos e biológicos. As tecnologias abordadas pela Norma Brasileira - NBR 12.209/2011 estabelecem parâmetros e critérios para o projeto hidráulico de Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico.

O Tratamento Preliminar consiste em um processo físico de remoção dos sólidos grosseiros e da areia, através de grades de barras e/ou peneiras, desarenador e inclui-se normalmente, um medidor de vazão que tem o objetivo de quantificar a vazão afluyente à ETE. Com a remoção dos sólidos grosseiros e da areia no tratamento preliminar, se inicia o Tratamento Primário, por meio de mecanismos de ordem física, que tem por objetivo a remoção parcial dos sólidos em suspensão sedimentáveis e a remoção de sólidos flutuantes, como os óleos e graxas. Na unidade primária convencional, há uma redução de DBO, já que sólidos suspensos orgânicos são removidos por sedimentação. Assim, a eficiência de remoção de matéria orgânica fica entre 25 e 35% e de sólidos suspensos, entre 60 e 70% (VON SPERLING, 2005). As principais tecnologias usadas nesta etapa do tratamento são os decantadores primários convencionais, decantadores primários quimicamente assistidos e o reator UASB. A remoção de DBO no tratamento primário não atinge valores suficientes para estar em conformidade com a RESOLUÇÃO CONAMA 430 (2011) e/ou as legislações

estaduais para este fim, como a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, para o estado de Minas Gerais. Assim, o tratamento secundário é um o conjunto de operações e processos que visam principalmente à remoção da matéria orgânica, ocorrendo tipicamente após o tratamento primário, normalmente com uma eficiência de remoção de sólidos suspensos totais e DBO de cerca 80% e 90%, respectivamente (VON SPERLING, 2005). O tratamento utiliza princípios biológicos para degradação da matéria orgânica com vários tipos de microrganismos, como fungos, bactérias e protozoários que entram em contato com a matéria orgânica presente nos esgotos, utilizando esse material como alimento e convertendo-o em gás carbônico, água e material celular. A decomposição biológica do material orgânico requer a manutenção de condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato e outros e, em condições aeróbias, de oxigênio (VON SPERLING, 2005). Como forma de dar um fim ao acúmulo de esgoto em decomposição em função de altos índices de nutrientes como fósforo e nitrogênio, o processo pode ser feito por meio do tratamento terciário do esgoto que retira impurezas da água. No entanto, esse tipo de tratamento ainda não é feito nas ETEs da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), onde o Rio das Velhas recebe a sua maior carga poluidora (CBH VELHAS, 2020). O tratamento tem como objetivo remover organismos patogênicos, nutrientes e outros poluentes específicos.

Com o intuito de assegurar a segurança e preservar a saúde pública, a desinfecção de esgotos é uma prática rotineira e eficaz. Seu propósito é eliminar de forma seletiva os organismos que representam ameaça à saúde humana, conforme os padrões de qualidade estabelecidos. A desinfecção pode ser executada por meio de processos naturais ou artificiais, empregando agentes físicos e químicos direcionados aos organismos mencionados anteriormente. Os processos naturais englobam a infiltração no solo e o uso de lagoas de estabilização, como a lagoa de maturação e a lagoa de polimento. Já os métodos artificiais incluem a transferência de calor (aquecimento ou incineração), radiações ionizantes, radiação ultravioleta (UV) e filtração em membranas. As lagoas de estabilização são empregadas para a remoção de matéria orgânica, e ao realizar adaptações em seus fluxogramas, quantidade e geometria, podem alcançar eficiências notáveis na remoção de organismos patogênicos (PROSAB, 2003).

Os principais fatores naturais que atuam como agentes desinfetantes nas lagoas de estabilização são: temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, organismos predadores, compostos tóxicos e elevada concentração de oxigênio dissolvido. A remoção dos nutrientes, nitrogênio (N) e fósforo (P), nas estações de tratamento está diretamente relacionada aos

impactos causados nos corpos receptores, uma vez que a presença de um destes nutrientes pode culminar na eutrofização do corpo hídrico, principalmente em corpos lênticos. A eutrofização pode causar danos aos corpos receptores, citando-se como exemplo: problemas estéticos e recreacionais, condições anaeróbias no fundo do corpo d'água, eventuais mortandades de peixes, maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água, problemas com o abastecimento de águas industrial, toxicidade das algas, redução na navegação e capacidade de transporte. Além disso, a amônia pode causar problemas de toxicidade aos peixes e implicar em consumo de oxigênio dissolvido (CETESB).

Em termos de águas subterrâneas, a maior preocupação é com o nitrato, que pode contaminar águas utilizadas para abastecimento, podendo causar problemas de saúde pública (VON SPERLING, 2009a). Os sistemas convencionais de tratamento biológico de esgoto, que são projetados, visando, principalmente, à remoção de matéria orgânica, resultam em efluentes com concentrações de nitrogênio e fósforo próximas às do esgoto bruto (VON SPERLING, 2009b). Esse problema é agravado quando a diluição do esgoto no corpo receptor é baixa. Deve-se lembrar de que nem sempre é desejada a remoção destes constituintes (P e N). No caso da utilização do efluente tratado para irrigação, pode ser interessante a preservação de N e P, os quais, em dosagens adequadas, são nutrientes para a cultura irrigada (VON SPERLING, 2005).

## **2.2 Isótopos Estáveis**

Os elementos químicos são distinguíveis com base em seu número atômico, que corresponde ao número de prótons em seu núcleo. Assim, cada elemento químico é composto por átomos que compartilham o mesmo número atômico. No entanto, átomos pertencentes ao mesmo elemento químico podem apresentar variações em algumas de suas características e propriedades físicas. Em contrapartida, átomos de elementos químicos distintos podem manifestar semelhanças entre si. Essas semelhanças e discrepâncias nas propriedades dos átomos derivam principalmente da quantidade de partículas subatômicas envolvidas. Os isótopos, por sua vez, representam diferentes versões de átomos de um mesmo elemento químico, distinguindo-se pela variação de suas massas devido à presença de um número distinto de nêutrons em seus núcleos, apesar de compartilharem o mesmo número de prótons no núcleo atômico. Uma vez que a massa atômica é dada pela soma do número de prótons e do número de nêutrons, isótopos de um mesmo elemento terão diferentes valores de massa atômica (MAETINELLI *et al.*, 2009). Sendo assim chamados de isótopos estáveis por não alterarem a massa ao longo de sua existência, ao contrário dos chamados instáveis ou

radioativos, que, por sua vez, têm suas massas alteradas por emissão de energia ou partículas subatômicas.

O carbono é um dos elementos mais abundantes na Terra, com número atômico 6 e massa atômica 12. Ele apresenta seis isótopos, sendo dois estáveis ( $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ ) e quatro instáveis ( $^{10}\text{C}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  e  $^{15}\text{C}$ ). Os isótopos estáveis ocorrem nas seguintes proporções:  $^{12}\text{C}$  : 98,89% (6 prótons e 6 nêutrons) e  $^{13}\text{C}$  : 1,11% (6 prótons e 7 nêutrons) (RODRIGUES & FAUTH, 2013). O  $^{14}\text{C}$  é radioativo e é coloquialmente chamado de radiocarbono. Sua aplicação mais importante é a determinação da idade de formações geológicas e objetos arqueológicos. O carbono é essencial para a vida, pois é um componente fundamental das moléculas orgânicas, como proteínas, carboidratos e ácidos nucleicos. O ciclo biogeoquímico do carbono realiza a transferência de carbono entre a atmosfera, a biosfera terrestre, a hidrosfera e a litosfera, o que ocorre em diferentes velocidades de transformação (Rodrigues & Fauth, 2013).

O isótopo de nitrogênio é menos eficiente que os isótopos de carbono e enxofre para determinar a origem terrestre ou marinha de substâncias, mas pode ser usado para indicar a existência de poluição por nitrogênio no ecossistema (HEATON, 1986; CARVALHO et al., 2021), bem como para estimar a posição trófica dos organismos, já que o nitrogênio mais pesado se acumula ao longo das cadeias alimentares (ZANDEN & RASMUSSEN, 1997).

### **2.3 Bacia do Rio das Velhas**

O Rio das Velhas, cujas nascentes estão localizadas dentro do Parque Municipal Cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto/MG, é o maior afluente em extensão da bacia do Rio São Francisco. Tem como comprimento 806,84 km, altitude da nascente de 1.100 metros e área da bacia de 27.850 km<sup>2</sup>. A população da Bacia do Velhas é estimada em 4.406.190 milhões de habitantes (IBGE, 2000), está distribuída nos 51 municípios cortados pelo rio e seus afluentes.

A bacia hidrográfica do Rio das Velhas é dividida em quatro regiões fisiográficas. A primeira região é o Alto Rio das Velhas, que é composta por 10 municípios na área denominada Quadrilátero Ferrífero. A segunda região é o Médio Alto Rio das Velhas, que compreende 20 municípios. A terceira região é o Médio Baixo Rio das Velhas, que possui 23 municípios inseridos total ou parcialmente e a quarta região é o Baixo Rio das Velhas, composta por oito municípios e representa a segunda maior região (31%, 8.630,07 km<sup>2</sup>).

O território da bacia do Rio das Velhas é subdividido em 23 regiões de planejamento e gestão de recursos hídricos, denominadas de Unidades Territoriais Estratégicas (UTE), que são grupos de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas. A definição das UTEs levou em

conta prerrogativas geográficas da Lei das Águas, as características de cada área, bem como sua extensão, o número de afluentes diretos, a quantidade de municípios, a distribuição da população e a existência de mais de uma prefeitura em sua composição. Além disso, estabelecem os limites territoriais para a criação e atuação dos Subcomitês de Bacia Hidrográfica. Cada UTE prevê a implantação de um Subcomitê que são ferramentas importantes na gestão de recursos hídricos do CBH Rio das Velhas. São entidades consultivas e propositivas que funcionam obrigatoriamente com a participação dos três segmentos da sociedade (poder público, usuários da água e sociedade civil organizada), constituindo um avanço na descentralização da gestão das águas. Exercem a função de articuladores das entidades existentes na bacia e possuem funções públicas relacionadas às questões ambientais, sociais e educacionais. Atualmente, o CBH Rio das Velhas possui 23 Unidades Territoriais Estratégicas e 18 Subcomitês instituídos em sua bacia.

Atualmente, a região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é a principal responsável pela degradação do rio das Velhas, devido à sua elevada densidade demográfica (mais de 70,8% de toda a população da bacia), processo de urbanização e atividades industriais. O uso e a ocupação do solo na Bacia do Rio das Velhas têm interferência direta nos recursos hídricos. De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), algumas estações de amostragem na região do Quadrilátero Ferrífero demonstram uma elevada concentração de metais (cobre, manganês e níquel) e sólidos em suspensão nos cursos d'água. A mineração, como principal atividade econômica naquela região, influencia diretamente na qualidade das águas. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, o Rio das Velhas recebe uma grande quantidade de efluentes domésticos e industriais, além de resíduos sólidos. A urbanização exerce grande impacto sobre os recursos hídricos nessa região. No baixo Velhas, além do somatório de todos os efluentes adquiridos a montante, também são adicionados efluentes gerados pela atividade agropecuária, que é mais significativa nesta região (MENEZHINI,2015).

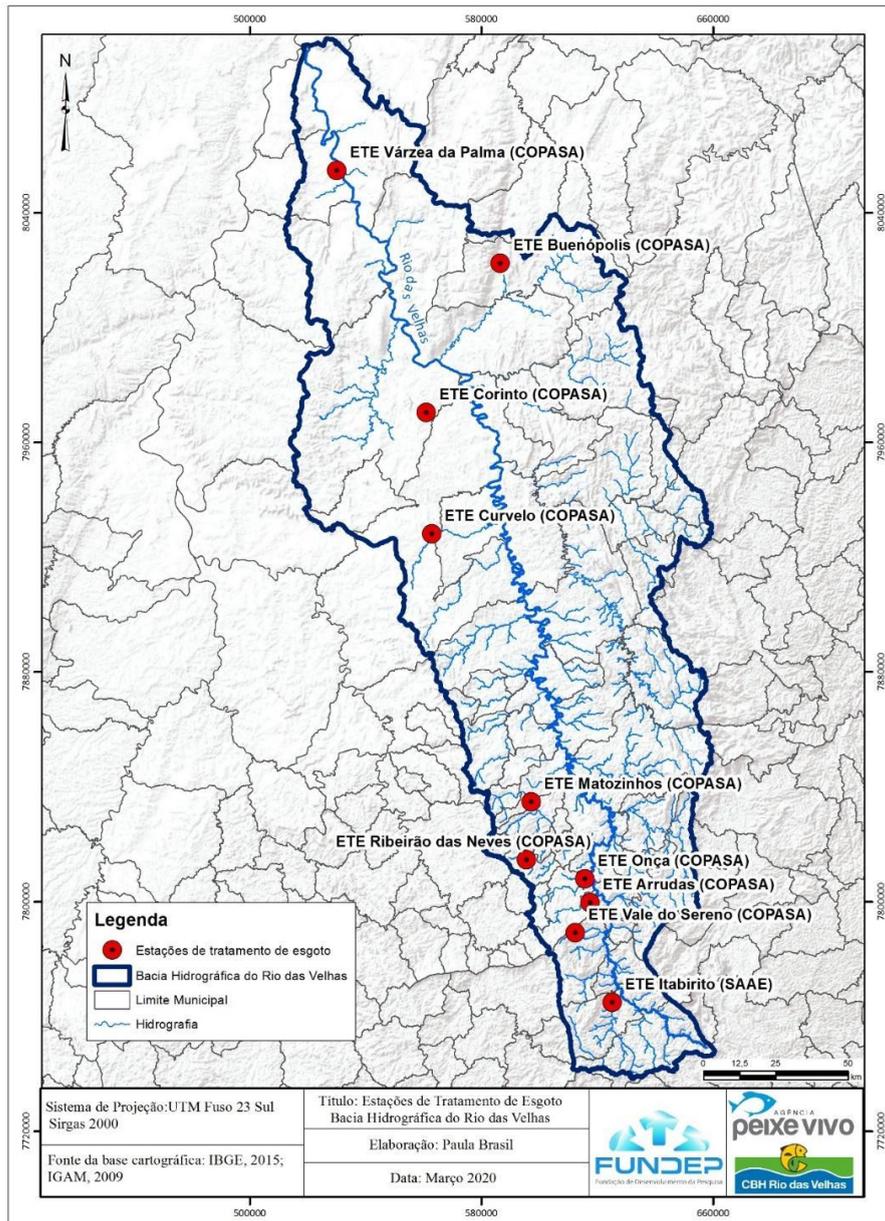
O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Rio das Velhas) foi criado em 1994 com o objetivo de promover a gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio das Velhas. Desde então, o comitê tem trabalhado em conjunto com diversos órgãos e instituições para recuperar e preservar a bacia do Rio das Velhas. Entre as ações realizadas estão a recuperação de nascentes, a construção de estações de tratamento de esgoto, a fiscalização de atividades poluidoras e a conscientização da população sobre a importância da preservação dos recursos hídricos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Desenho amostral

Foram avaliados os esgotos provenientes de dez estações de tratamento distribuídas ao longo da bacia do rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil (Figura 1, Tabela 1).

Figura 1- Locais de coleta de amostras de esgotos antes e depois do tratamento em Estações de Tratamento de Esgotos selecionadas na bacia do rio das Velhas.



Fonte: Paula Brasil Garcia (2020).

Cada estação de tratamento possui o tipo de tratamento de acordo com a necessidade e realidade da região. Em sua grande maioria contam com o tratamento padrão preliminar, o

tratamento primário e tratamento secundário, variando entre as divisões das etapas de tratamento.

A ETE Vale do Sereno (COPASA) conta com tratamento preliminar com gradeamento e desarenador, calha Parshall como medidor de vazão, tratamento primário com reator anaeróbico de manta de lodo UASB, filtro biológico percolador e decantador secundário. Já o tratamento secundário é feito com lodos ativados convencional e desidratação mecânica por meio de centrífuga (SEMAD,2022).

A ETE Itabirito (SAAE) também possui a mesma estrutura como tratamento preliminar com gradeamento, desarenação manual e aferição de vazão. O tratamento primário com peneira estática e reatores UASB e tratamento secundário com filtros biológicos percoladores e decantadores secundários, leitos de secagem, valas de aterro para a disposição final dos resíduos, elevatória de recirculação de lodo e do efluente final (PEIXE VIVO, 2017).

A ETE Arrudas (COPASA) conta com tratamento preliminar, sendo composto por: 1 grade grossa, 4 grades finas mecanizadas, 4 desarenadores e 5 peneiras step screen. Com tratamento primário composto por medidor de vazão tipo calha Parshall e 6 decantadores primários e tratamento secundário com 3 tanques de aeração (reatores) com sopradores de ar, 8 decantadores secundários e elevatória de recirculação de lodo (3 bombas parafuso), tratamento e disposição do lodo que possui 2 adensadores por gravidade, 5 digestores primários anaeróbios, 2 digestores secundários aeróbios, 2 flotadores e 3 centrífugas (SEMAD,2022).

A ETE Onça (COPASA) inicia com o tratamento preliminar que inclui o gradeamento de sólidos grosseiros de limpeza manual, gradeamento mecanizado, desarenadores mecanizados e peneiramento mecanizado seguido de compactador de resíduos. Já o tratamento biológico anaeróbico é composto por 24 Reatores UASB, queimador de biogás, tratamento biológico aeróbico com filtros biológicos percoladores (8 unidades), decantadores secundários (8 unidades). Finalmente, desidratação mecanizada com centrífugas de desidratação do lodo reduzem o volume de água contido no lodo digerido, proveniente dos reatores anaeróbios, através do processo de centrifugação em alta rotação. O líquido clarificado retorna ao processo de tratamento (SEMAD,2018).

Na ETE Ribeirão das Neves (COPASA) o tratamento preliminar é composto de medidor de vazão, desarenador e gradeamento e o secundário é composto de dois reatores UASB, dois filtros biológico percolador, dois decantadores secundário, 16 leitos de secagem e medidor de vazão do tipo Calha Parshall (SEMAD, 2020).

A ETE Matozinhos (COPASA) tem como tratamento preliminar gradeamento, desarrumado e medidor de vazão, como tratamento primário possui uma lagoa anaeróbia e como tratamento secundário conta com uma lagoa facultativa (FEAM,2010).

Na ETE Buenópolis (COPASA) o tratamento preliminar conta com gradeamento, desarenador e medidor de vazão, o tratamento primário conta com um Reator UASB e leito de secagem do lodo resultante e como tratamento secundário a lagoa facultativa (FEAM,2010).

A ETE Curvelo (COPASA) possui o tratamento preliminar padrão recomendável, seguida de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, filtros biológicos percoladores de alta taxa seguidos de decantadores secundários, além de uma lagoa de maturação (SEMAD, 2020).

A ETE Corinto (COPASA) o tratamento é a nível secundário, por meio do processo de reatores UASB. A estação de tratamento é composta por grades de limpeza manual, caixa de areia, medidor de vazão, como tratamento preliminar e como tratamento primário possui uma elevatória de esgoto bruto, reator biológico e lagoa facultativa e como tratamento secundário lagoas de maturação e valas de aterro (SEMAD, 2016).

Por fim, o tratamento da ETE Várzea da Palma (COPASA) é composto por tratamento preliminar, quatro unidades de reator UASB, queimador de gás e leito de secagem (FEAM,2010).

Na Tabela 1 é possível verificar a localização geográfica das Estações de Tratamento de Esgotos da bacia do rio das Velhas presentes no estudo e seu tipo de tratamento.

Tabela 1- Localização geográfica das Estações de Tratamento de Esgotos da bacia do rio das Velhas, em UTM.

<b>Estações de Tratamento de Esgoto</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Município</b>	<b>Tipo de Tratamento</b>
ETE Vale do Sereno (COPASA)	23K 612380 E 7789139 N	745	Nova Lima	Secundário
ETE Itabirito/Marzagão (SAAE)	23K 625138 E 7764874 N	838	Itabirito	Secundário
ETE Arrudas (COPASA)	23K 617448 E 7799601 N	771	Belo Horizonte	Secundário
ETE Onça (COPASA)	23K 615674 E 7807927 N	685	Belo Horizonte	Secundário
ETE Ribeirão das Neves/Justinópolis (COPASA)	23K 595557 E 7814550 N	804	Ribeirão das Neves	Secundário
ETE Matozinhos (COPASA)	23K 597225 E 7834835 N	745	Matozinhos	Secundário
ETE Buenópolis (COPASA)	23K 586471 E 8022474 N	986	Buenópolis	Secundário
ETE Curvelo (COPASA)	23K 562800 E 7928200 N	766	Curvelo	Secundário
ETE Corinto/Currálinho (COPASA)	23K 560944 E 7970498 N	620	Corinto	Secundário
ETE Várzea da Palma (COPASA)	23K 529917 E 8054871 N	510	Várzea da Palma	Secundário

Fonte: Do autor (2023) e Agência Peixe Vivo (2020).

### 3.2 Coleta das amostras

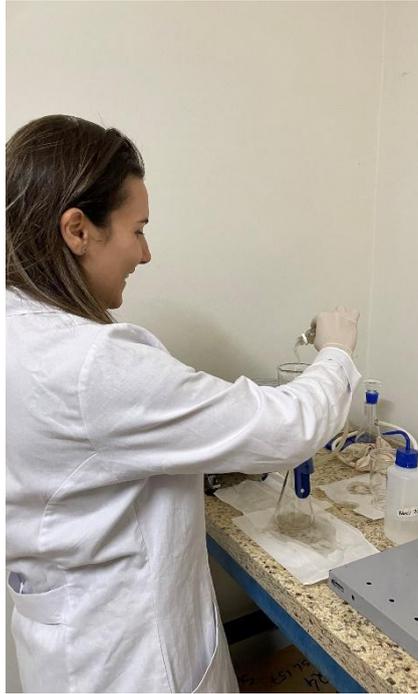
Cada ETE foi visitada duas vezes, uma na estação chuvosa (novembro e dezembro de 2021) e outra na estação seca (maio de 2022) para coleta de amostras de esgoto, sendo cinco amostras de esgoto bruto (não tratado ou afluente) e cinco de esgoto tratado (efluente) em cada estação, totalizando 20 amostras por ETE. Amostras de esgoto bruto foram coletadas na tomada d'água, enquanto as amostras de esgoto tratado foram coletadas na restituição do esgoto tratado próxima ao lançamento no corpo d'água receptor. Todas as amostras foram mantidas congeladas até posterior processamento no Laboratório de Ecologia de Peixes da UFLA. Em laboratório, as amostras foram filtradas utilizando um aparato de filtração acoplado a uma bomba a vácuo e filtros de quartzo Whatman (25mm) previamente calcinados a 500°C em mufla, e pesados com precisão de 5 casas decimais (0,00001g). Após a filtração, as amostras foram secas em estufa por 24h e posteriormente foram encaminhadas para análise isotópica no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (Figura 2, Figura 3 e Figura 4).

Figura 2- Esquema representando o passo a passo do processamento das amostras de esgoto.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 3- Processamento das amostras líquidas.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 4- Amostras de esgoto bruto (sigla EB) e esgoto tratado (sigla ET) já filtradas, embaladas e prontas para serem encaminhadas para análise isotópica.



Fonte: dos Autores, janeiro de 2023

### 3.3 Análise isotópica

As amostras encaminhadas para o laboratório de análise isotópica foram pesadas (1000 $\mu$ g) em cápsula de estanho (5mm x 8mm) (Figura 5). Após a pesagem, para determinação da composição isotópica de carbono e nitrogênio das amostras, as cápsulas foram introduzidas por meio de um amostrador automático no analisador elementar, Flash IRMS EA Isolink. Os gases resultantes ( $N_2$  e  $CO_2$ ) formados foram separados em coluna cromatográfica gasosa e analisados no espectrômetro de massa de razões isotópicas (Delta V Plus Isotope Ratio MS, Thermo Scientific, Alemanha) associado à interface de fluxo contínuo (Conflo IV, Thermo Fisher Scientific TM) na Central de Análises e Prospecção Química da Universidade Federal de Lavras. Os resultados foram obtidos através do Software Isodat 3.0 e expressos em notação  $\delta$ , calculado pela equação:

$$\delta (X) = [(R_{amostra}/R_{padr\tilde{a}o}) - 1] \times 10^3$$

$\delta$  = enriquecimento relativo da amostra em relação ao padrão. Adimensional.

R = razão isotópica da amostra e do padrão. Adimensional.

Os resultados foram expressos como diferença dos padrões internacionais de referência, pela notação delta ( $\delta$ ), em partes por mil (‰), e calculados por meio da equação acima, onde X é  $^{13}C$  ou  $^{15}N$  e R representa as razões isotópicas  $^{13}C/^{12}C$  ou  $^{15}N/^{14}N$  (BARRIE & PROSSER, 1996).

Figura 5- Pesagem das amostras (1000 $\mu$ g) em cápsula de estanho (5mm x 8mm).



Fonte: do autor (2023)

### 3.4 Análise de dados

Um total de 200 amostras de esgoto bruto e tratado foi coletado nas estações seca e chuvosa nas 10 Estações de Tratamento de Esgoto visitadas na bacia do Rio das Velhas. Entretanto, devido a um problema no espectrômetro de massa e ao prazo para defesa da monografia, foi possível apenas analisar 84 amostras.

Tabela 2 - Número de amostras coletadas e analisadas em cada Estação de tratamento de Esgoto amostrada ao longo da Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais.

Estação de Tratamento de Esgoto	Esgoto tratado		Esgoto bruto		Total coletado	Total analisado
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca		
ETE Arrudas	5	5	5	5	20	10
ETE Buenópolis	5	5	5	5	20	7
ETE Curralinho	5	5	5	5	20	10
ETE Curvelo	5	5	5	5	20	5
ETE Justinópolis	5	5	5	5	20	10
ETE Marzagão	5	5	5	5	20	8
ETE Matozinhos	5	5	5	5	20	3
ETE Onça	5	5	5	5	20	11
ETE Vale do Sereno	5	5	5	5	20	7
ETE Várzea da Palma	5	5	5	5	20	13
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>84</b>

Fonte: Do Autor (2023).

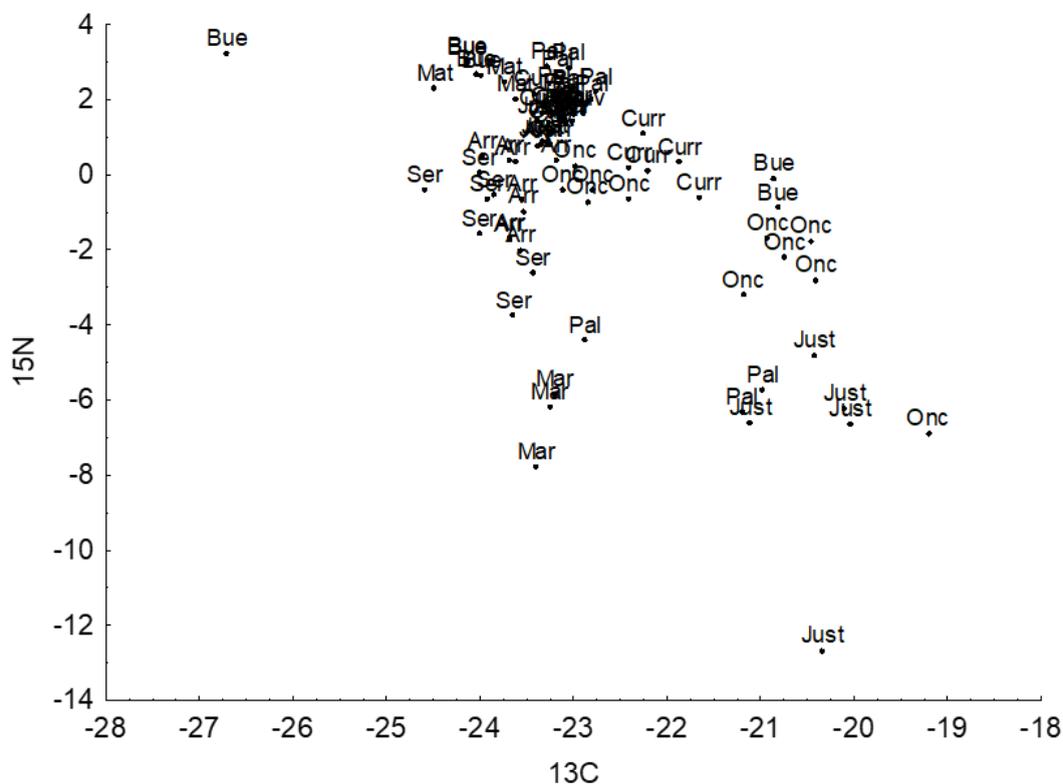
Para avaliar a similaridade nas composições isotópicas das amostras de esgoto de cada ETE amostrada, foi construído um bi-plot com as assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  (eixo x) e  $\delta^{15}\text{N}$  (eixo y) de cada amostra.

Para testar se há diferenças nas assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  das amostras de esgoto entre ETEs foram feitas análises de variância (ANOVA). A mesma análise foi utilizada para testar se há diferença nas composições isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre as amostras de esgoto bruto e tratado, e entre as amostras coletadas nas estações seca e chuvosa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existe grande sobreposição das estações de tratamento com relação à assinatura isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  para a maioria das amostras (Figura 5). As estações de tratamento que mais diferenciam as assinaturas isotópicas das amostras foram ETE Onça (Onç), ETE Buenópolis (Bue), ETE Vale do Sereno (Ser), ETE Itabirito/Marzagão (Mar) e ETE Ribeirão das Neves/Justinópolis (Just) (Figura 5).

Figura 5- Composições isotópicas de carbono (eixo x) e nitrogênio (eixo y) das amostras de esgoto coletadas em cada estação de tratamento de esgoto nas estações seca e chuvosa.



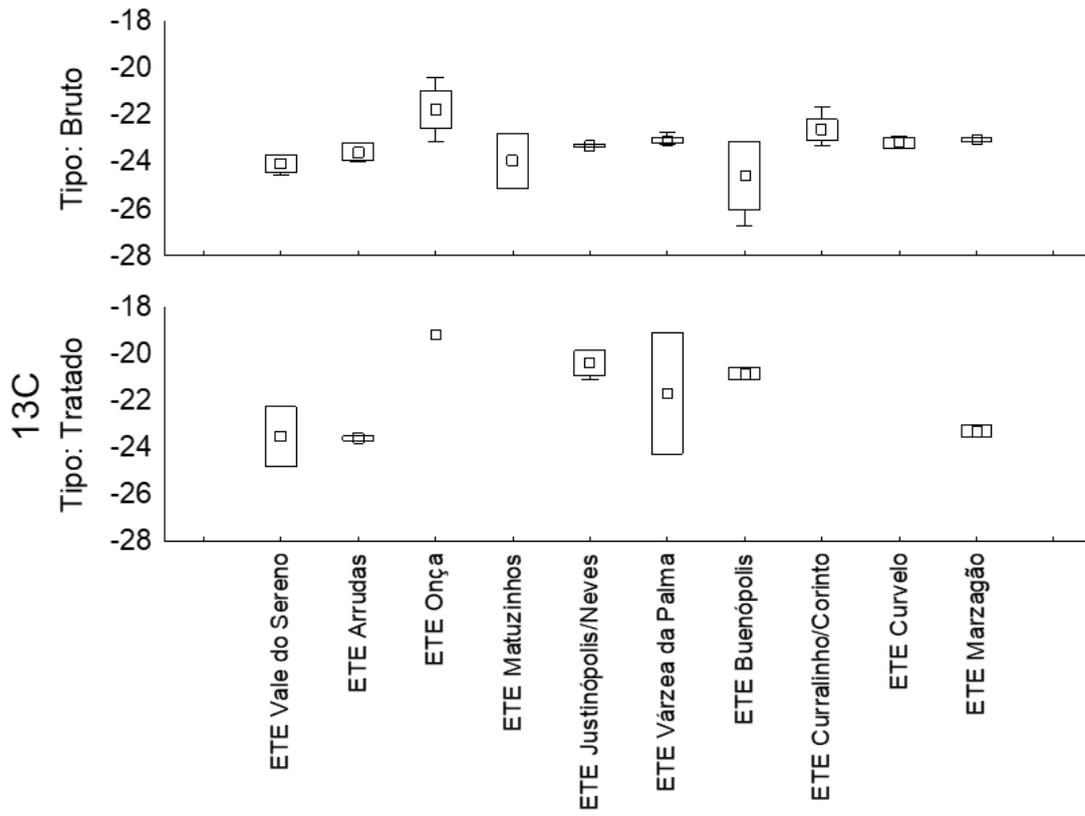
Legenda: Ser = ETE Vale do Sereno (COPASA); Arr = ETE Arrudas (COPASA); Jus = ETE Justinópolis (COPASA); Mat = ETE Matozinhos (COPASA); Mar = ETE Marzagão (SAAE); Onc = ETE Onça (COPASA); Bue = ETE Buenópolis (COPASA); Cuv = ETE Curvelo (COPASA); Curr = ETE Curralinho (COPASA); Pal = ETE Várzea da Palma (COPASA). Fonte: Do autor (2023).

Observou-se variação muito pequena na assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 6) e  $\delta^{15}\text{N}$  (Figura 7) do esgoto bruto entre as ETES avaliadas ( $P > 0.05$ ). Resultado que já era esperado, por representar uma homogeneidade na dieta e cultura dos habitantes da região. Na assinatura do ser humano, o nitrogênio pode variar de acordo com a origem dos recursos utilizados. Se a dieta for vegetariana, a assinatura refletirá um consumo maior de produtores primários (grãos, folhagens, frutos, etc.), os quais apresentam valores de nitrogênio mais empobrecidos. Por outro lado, se a dieta for onívora/carnívora, a assinatura refletirá o maior consumo de consumidores (peixes, gado, aves, etc), os quais apresentam nitrogênio mais enriquecido por ocuparem níveis tróficos mais altos. Por outro lado, o carbono reflete o tipo de planta consumida, as quais apresentam diferentes metabolismos fotossintéticos (e conseqüentemente diferentes assinaturas de  $^{13}\text{C}$ ), podendo ser, por exemplo, plantas  $C_3$  (soja, café, trigo, com assinaturas de  $^{13}\text{C}$  geralmente entre -31 a -28‰) ou  $C_4$  (ex: milho, cana-de-açúcar, sorgo, com

assinaturas de  $^{13}\text{C}$  geralmente entre -18 a -13‰) (ALBRECHT *et al.*, 2021). Na região sudeste do Brasil, a população apresenta assinatura isotópica de  $^{13}\text{C}$  mais enriquecida (NARDOTO, 2011). Resultado que pode ser atribuído ao maior consumo de plantas  $\text{C}_4$  que estão atrelados à presença de carne vermelha na dieta da população, uma vez que no Brasil a alimentação do gado é baseada em pastagens (gramíneas  $\text{C}_4$ ). Por outro lado, a pecuária em confinamento, disseminada nos Estados Unidos, produz carne com assinatura mais empobrecida de  $^{13}\text{C}$ . Essa diferença também pode ser observada na dieta europeia, onde a assinatura de  $^{13}\text{C}$  é ainda mais baixa do que nos norte-americanos, devido ao baixo consumo de milho, que não faz parte da cultura europeia (NARDOTO, 2011).

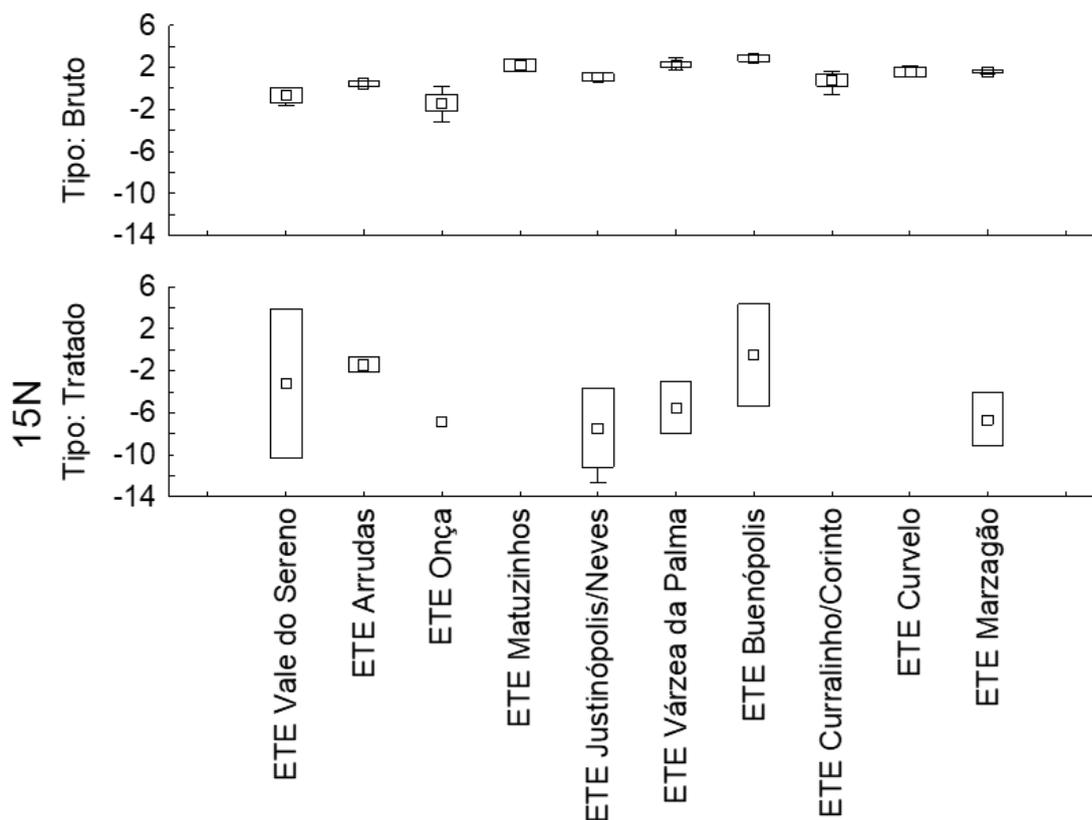
Por outro lado, variações bem maiores foram observadas na assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 6) e  $\delta^{15}\text{N}$  (Figura 7) do esgoto tratado ( $F = 3.26$ ;  $p < 0.001$ ). Tais variações podem estar atreladas ao tipo de tratamento empregado em cada ETE. Ou seja, o esgoto que chega em cada ETE da bacia do Rio das Velhas é similar devido a semelhança entre a dieta da população na bacia, entretanto o esgoto tratado tem composições isotópicas diferentes entre estações, pois há uma alteração no tipo de tratamento de esgoto. Pouco se sabe sobre o motivo disso ocorrer especificamente nas estações de tratamento de esgoto do Brasil. Porém, pode-se perceber que as estações de tratamento que possuem como fase de tratamento o tratamento biológico foram as estações que mais diferenciam as assinaturas isotópicas. Como o reator UASB, que é comumente usado em ETES e é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica.

Figura 6 - Composições isotópicas de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das amostras de esgoto bruto e tratado coletadas em cada Estação de Tratamento de Esgoto.



Fonte: Do autor (2023).

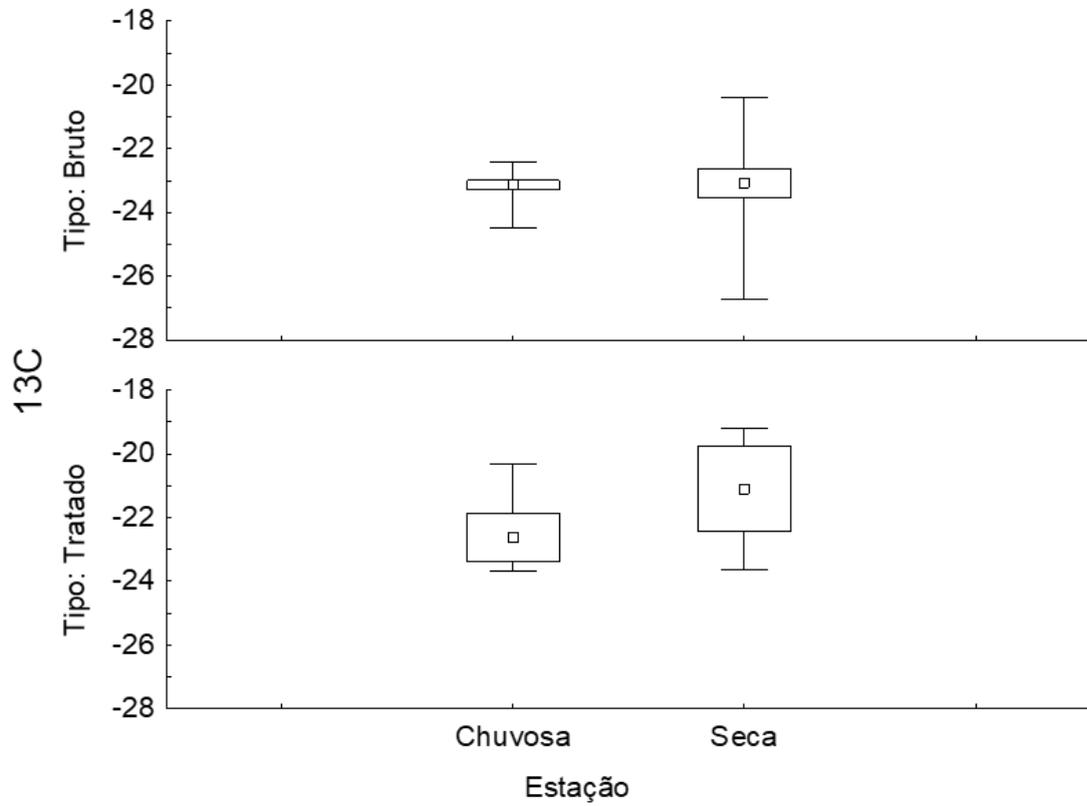
Figura 7 -Composições isotópicas de nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) das amostras de esgoto bruto e tratado coletadas em cada Estação de tratamento de esgoto.



Fonte: Do autor (2023).

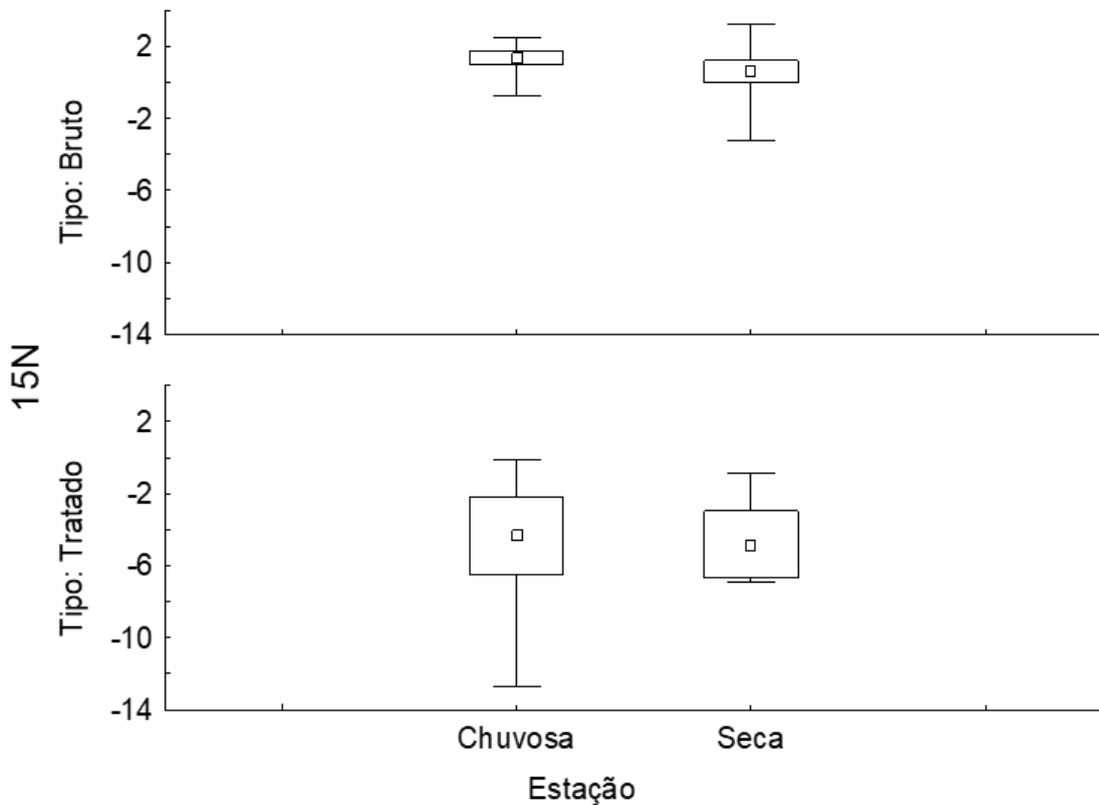
Não foram observadas diferenças na assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $F = 2.73$ ;  $p = 0.10$ ; Figura 8) e  $\delta^{15}\text{N}$  ( $F = 2.49$ ;  $p = 0.12$ ; Figura 9) dos esgotos bruto e tratado, entre as estações seca e chuvosa. Normalmente, as chuvas estão atreladas à alteração e aumento de substâncias nos corpos hídricos, sendo responsáveis pelo aumento do escoamento superficial e condução de substâncias oriundas de atividades agrícolas e resíduos provocados pela antropização, o que pode alterar a assinatura isotópica dos afluentes (MARTINELLI *et al*, 2010). Em estudos recentes desenvolvidos na bacia do Rio das Velhas, observou-se que a sazonalidade promove alterações tanto nos itens alimentares disponíveis para os peixes (Carvalho *et al.*, 2021) quanto nas concentrações de nitrato e amônia na água, que consequentemente são refletidas nas assinaturas isotópicas de produtores e consumidores (Carvalho *et al.*, 2020). Entretanto, os resultados não apontaram para a influência das chuvas nas assinaturas isotópicas do esgoto, o que pode ocorrer devido às estações de tratamento de esgoto estarem em ambientes predominantemente urbanos, com menor influência de chuva no conduzimento de substâncias para os cursos d'água.

Figura 8. Composições isotópicas de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das amostras de esgoto bruto e tratado coletadas em cada Estação de Tratamento de Esgoto nas estações seca e chuvosa.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 9 - Composições isotópicas de nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) das amostras de esgoto coletadas em cada Estação de Tratamento de Esgoto nas estações seca e chuvosa.



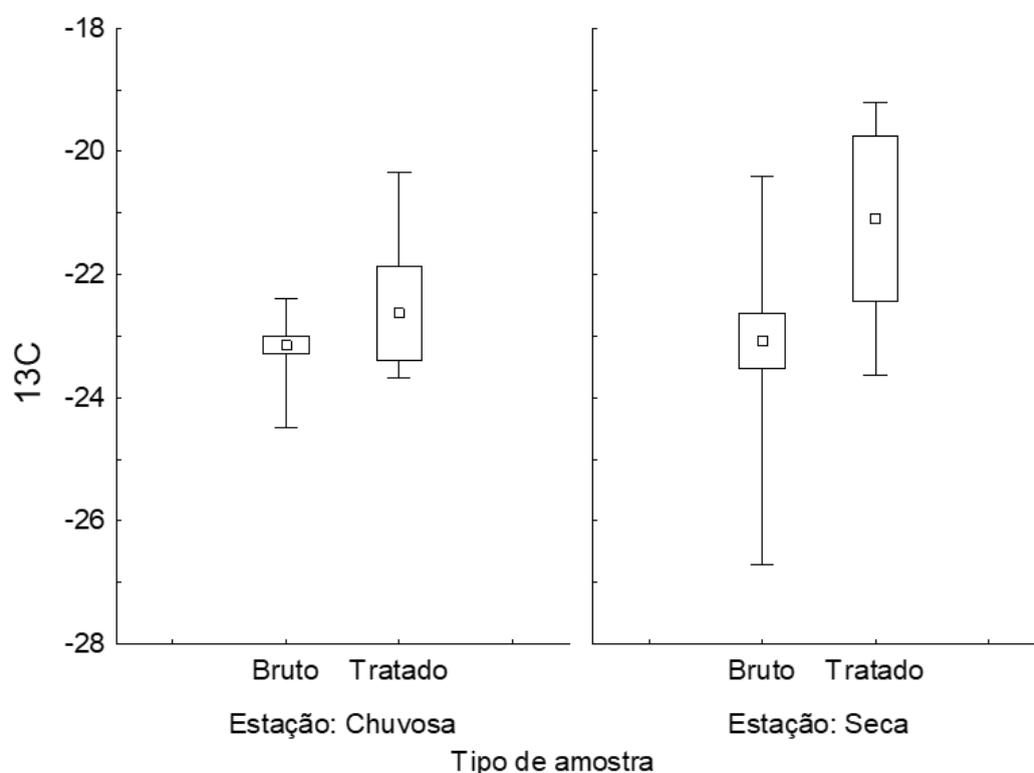
Fonte: Do autor (2023).

Entretanto, tanto na chuva quanto na seca, o tratamento de esgoto atua enriquecendo significativamente as assinaturas de carbono ( $F = 13.26$ ;  $p < 0.001$ ; Figura 10) e empobrecendo significativamente as de nitrogênio ( $F = 117.64$ ;  $p < 0.001$ ; Figura 11). Diante desse contexto, Henrique et al. (2010) e Hu et al. (2013) afirmam que a eliminação do nitrogênio presente nos efluentes líquidos é de fundamental importância para a redução do impacto eutrofizante nos corpos d'água receptores, além de contribuir para a mitigação dos danos causados à biota aquática, especialmente devido à toxicidade de algumas espécies nitrogenadas, como a amônia. Nos sistemas convencionais, a remoção biológica de nitrogênio de águas residuais ocorre por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação. Na nitrificação, que ocorre estritamente em condições aeróbias, o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrato. Por outro lado, a desnitrificação ocorre em condições de ausência de oxigênio, onde o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso (MOURA, 2014).

A decomposição da matéria orgânica realizada por microrganismos resulta na formação de outras substâncias, geralmente menos prejudiciais ao meio ambiente,

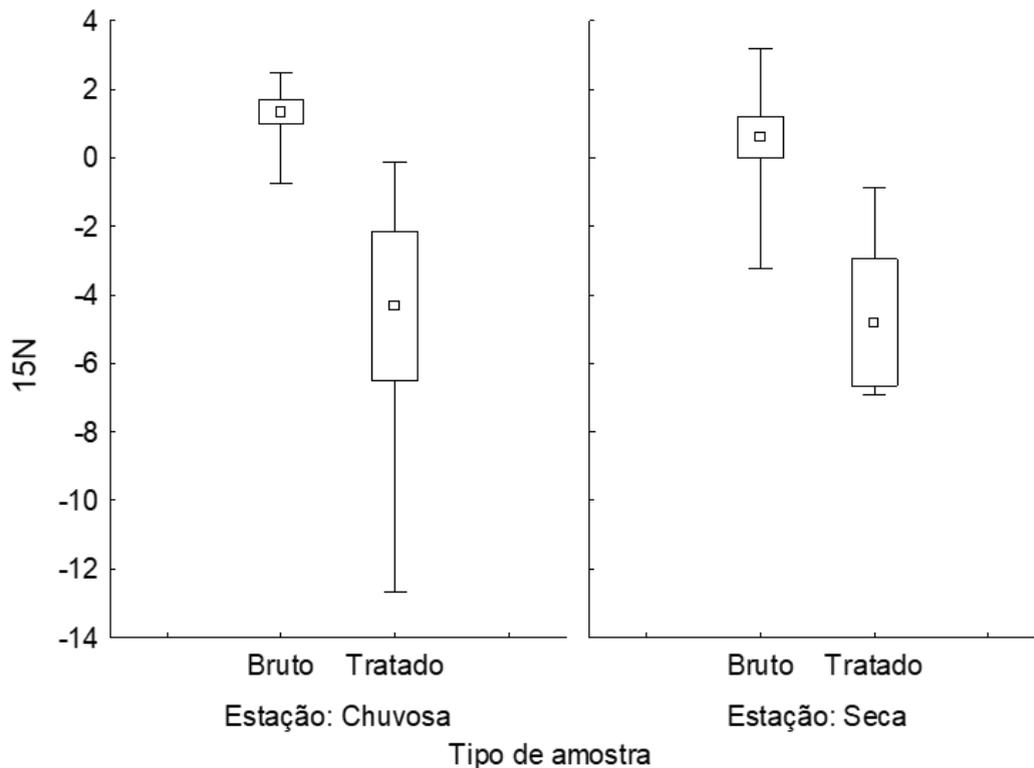
neutralizando o efeito poluente dos materiais que entram na estação como afluentes. Como subproduto desse processo microscópico de redução da carga poluente, ocorre a produção de CO<sub>2</sub> e outros gases, como amônia e sulfetos, contribuindo para os ciclos naturais do carbono, nitrogênio e enxofre. O potencial de emissão de carbono na atmosfera, proveniente do tratamento de efluentes, pode variar, pois o processo anaeróbico gera uma quantidade maior desse subproduto em comparação com o processo aeróbico (LIMA, 2014). E o aumento do carbono, pode estar relacionado com a maioria das estações de tratamento estudadas possuir, predominantemente, o tratamento anaeróbico.

Figura 10- Composições isotópicas de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das amostras de esgoto tratado e bruto coletadas em cada Estação de Tratamento de Esgoto nas estações seca e chuvosa.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 11-Composições isotópicas de nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) das amostras de esgoto tratado e bruto coletadas em cada Estação de Tratamento de Esgoto nas estações seca e chuvosa.



Fonte: Do autor (2023).

## 5. CONCLUSÃO

Tendo por base os resultados obtidos e considerando-se as condições em que o estudo foi realizado, conclui-se que:

O presente estudo, focado na variação isotópica de carbono e nitrogênio em esgotos domésticos ao longo da bacia, buscou compreender se a assinatura isotópica varia entre Estações de Tratamento de Esgoto localizado em diferentes cidades, sazonalmente e em resposta ao tratamento de esgoto. As análises realizadas em dez estações de tratamento revelaram pequena variação na assinatura de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do esgoto bruto entre ETEs, indicando homogeneidade na dieta e cultura dos habitantes da região. Por outro lado, observou-se uma maior variação na assinatura do esgoto tratado entre as ETEs, o que pode ser explicado pela diferença de tratamento empregado em cada localidade. A sazonalidade não alterou as assinaturas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  dos esgotos bruto e tratado. Em contrapartida, vimos que o tratamento de esgoto atua enriquecendo significativamente as assinaturas de carbono e empobrecendo significativamente as de nitrogênio do efluente. Este estudo fornece um ponto de partida para futuras pesquisas, instigando a compreensão mais aprofundada da contribuição

específica do esgoto e os efeitos das estações de tratamento nas assinaturas isotópicas. Essa compreensão é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão ambiental e proteção dos recursos aquáticos no contexto das crescentes pressões antropogênicas. Os resultados poderão também ser aplicados em estudos ecológicos, que visem avaliar como a descarga de afluentes e efluentes domésticos podem estar afetando as comunidades aquáticas. Uma vez que conhecer as assinaturas isotópicas dos potenciais recursos alimentares disponíveis para os consumidores no ambiente é um fator fundamental em estudos com isótopos estáveis e teias tróficas.

## REFERÊNCIAS

Certainly, here is the list of references sorted alphabetically:

ALVES, Carlos Bernardo M.; POMPEU, Paulo S. Historical changes in the Rio das Velhas fish fauna-Brazil. In: American Fisheries Society Symposium. 2005. p. 587-602.

Archana, A., Li, L., Shuh-Ji, K., Thibodeau, B., Baker, D. M. Variations in nitrate isotope composition of wastewater effluents by treatment type in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, v. 111, Issues 1–2, 2016.

BARRIE, ANDREW; PROSSER, S. J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. *Mass spectrometry of soils*. New York, Marcel Dekker, p. 1-46, 1996.

CAXITO, Fabrício A.; SILVA, Almir Vieira. Isótopos Estáveis: Fundamentos e Técnicas Aplicadas à Caracterização e Proveniência Geográfica de Produtos Alimentícios.

CAXITO, Fabrício A.; SILVA, Almir Vieira. ISÓTOPOS ESTÁVEIS: FUNDAMENTOS E TÉCNICAS APLICADAS À CARACTERIZAÇÃO E PROVENIÊNCIA GEOGRÁFICA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS. *Geonomos*, 2015.

Carvalho, D. R. de, Alves, C. B. M., Flecker, A. S., Sparks, J. P., Moreira, M. Z., Pompeu, P. S., et al. Using  $\delta^{15}\text{N}$  of periphyton and fish to evaluate spatial and seasonal variation of anthropogenic nitrogen inputs in a polluted Brazilian river basin. *Ecological Indicators*, v. 115, 2020.

DE CARVALHO, Débora Reis et al. Trophic diversity and carbon sources supporting fish communities along a pollution gradient in a tropical river. *Science of the Total Environment*, v. 738, p. 139878, 2020a.

DE CARVALHO, Débora Reis et al. Using  $\delta^{15}\text{N}$  of periphyton and fish to evaluate spatial and seasonal variation of anthropogenic nitrogen inputs in a polluted Brazilian river basin. *Ecological Indicators*, v. 115, p. 106372, 2020b.

DE OLIVEIRA, Renato Pires. Revitalização de bacias hidrográficas: a experiência de Belo Horizonte. 2011.

HEATON, Tim HE. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, v. 59, p. 87-102, 1986.

Lisboa, A. P., Empoderar as pessoas para transformar o mundo. Revista Manuelzão, Universidade Federal de Minas Gerais, vol 93,, 2023.

LIMA, Áurea Isis Cassimiro et al. Previsão das séries temporais do Índice Carbono Eficiente (ICO2) da BM&FBOVESPA: uma análise por meio de modelos de alisamento exponencial. *Exacta*, v. 12, n. 3, p. 337-351, 2014.

MATA, Francisco Seutônio Bastos et al. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. 2009.

Martinelli, L. A., et al. Worldwide stable carbon and nitrogen isotopes of Big Mac® patties: An example of a truly "global" food. *Food Chemistry*, v. 127, n. 4, 2011.

MENEGHINI, Marina Santos Mattioli. Avaliação da qualidade da água na bacia do alto rio das Velhas através do uso de curvas de permanência. Belo Horizonte, 2015.

NARDOTO, Gabriela B. et al. Frozen chicken for wild fish: nutritional transition in the Brazilian Amazon region determined by carbon and nitrogen stable isotope ratios in fingernails. *American Journal of human biology*, v. 23, n. 5, p. 642-650, 2011.

Nikolenko, O., Jurado, A., Borges, A. V., Knöller, K., Brouyère, S. Isotopic composition of nitrogen species in groundwater under agricultural areas: A review. *Science of The Total Environment*, v. 621, 2018, p. 1415-1432.

Onodera, T., Kanaya, G., Syutsubo, K., Miyaoka, Y., Hatamoto, M., Yamaguchi, T. Spatial changes in carbon and nitrogen stable isotope ratios of sludge and associated organisms in a biological sewage treatment system. *Water Research*, v. 68, 2015.

PROSAB. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosab>>.

RODRIGUES, Gislaíne Bertoglio; FAUTH, Gerson. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio em ostracodes do Cretáceo: metodologias, aplicações e desafios. *Terrae Didática*, v. 9, n. 1, p. 34-49, 2013.

Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenv. Sustentável - SEMAD. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/>>.

Trindade, A. L. C., Almeida, K. C. de B., Barbosa, P. E., & Oliveira, S. M. A. C.. (2017). Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 22(1), 13–24.

VANDER ZANDEN, M. Jake; CABANA, Gilbert; RASMUSSEN, Joseph B. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ( $\delta^{15}\text{N}$ ) and literature dietary data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 54, n. 5, p. 1142-1158, 1997.

Von Sperling, M.V. (2005) Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Vol. 1. DESA-UFMG, Belo Horizonte

VON SPERLING, M OLIVEIRA, S. C. Comparative performance evaluation of full-scale anaerobic and aerobic wastewater treatment processes in Brazil. *Water Science and Technology*, v. 59, n. 1, p. 15-22, 2009.

WANG, Yujue et al. Selection of effective macroalgal species and tracing nitrogen sources on the different part of Yantai coast, China indicated by macroalgal  $\delta^{15}\text{N}$  values. *Science of The Total Environment*, v. 542, p. 306-314, 2016.

