



**LISSA OLIVEIRA PEREIRA**

**CENÁRIOS DE RISCO DE EUTROFIZAÇÃO DA REPRESA DE FURNAS - MG**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**LISSA OLIVEIRA PEREIRA**

**CENÁRIOS DE RISCO DE EUTROFIZAÇÃO DA REPRESA DE FURNAS - MG**

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

Prof.(a) Dr.(a) Camila Silva Franco  
Orientadora

Msc. Vanessa Alves Mantovani  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

**LISSA OLIVEIRA PEREIRA**

**CENÁRIOS DE RISCO DE EUTROFIZAÇÃO DA REPRESA DE FURNAS - MG**

**EUTROPHICATION RISK SCENARIOS OF FURNAS RESERVOIR - MG**

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

APROVADA em 19 de novembro de 2021.

Prof. Dr. Gilberto Coelho UFLA

Msc. Beatriz Fonseca Dominik Campos UFLA

Prof.(a) Dr.(a) Camila Silva Franco  
Orientadora

Msc. Vanessa Alves Mantovani  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

*Dedico este trabalho à sociedade e ao meio ambiente, que ele tenha a função de auxiliar nos estudos para o desenvolvimento socioambiental.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Ferdinando e Monalisa, pela confiança e esforços que dedicaram a mim durante a graduação. Obrigada por acreditarem em mim.

Agradeço ao meu irmão Cristiano, que esteve presente nesse momento da minha vida, compartilhando a experiência universitária.

Aos meus outros irmãos, aos meus sobrinhos, meus tios, tias e amigos que sempre se dispuseram a ajudar e fornecer todo apoio necessário.

À minha avó Maria do Rosário, que sempre esteve presente, incondicionalmente, apoiando cada passo.

Aos meus amigos Luís Antônio, Ludmila, Thaís, Adriele, Larissa, Flávia, Yasmim, Renata, Raiane, Maelton, Rodolfo, Geovani e Isabela que estiveram presentes ao meu lado em todos momentos, felizes e desafiadores, tornando a vida acadêmica mais leve, a qual sempre guardarei com grande carinho.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras, que se tornou minha segunda casa, lugar onde pude conhecer pessoas incríveis, ter acesso a diversos conhecimentos, descobrir novas percepções, que contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e principalmente humana.

Agradeço a Beatriz e Vanessa pelo auxílio na elaboração do meu Trabalho de Conclusão de Curso. E a todos meus professores, que contribuíram para o meu conhecimento.

Agradeço a ONG Engenheiros Sem Fronteiras pela contribuição na minha formação social e as boas amizades. Agradeço a Preserva Jr. por todas experiências vivenciadas e pela contribuição na minha formação profissional e empreendedora.

Por fim, agradeço a Camila, por ter aceitado a me orientar na elaboração do TCC e pelo conhecimento passado durante esses anos. E principalmente, por ser minha inspiração dentro da UFLA, pela postura profissional, pessoal e social. Obrigada!

## **RESUMO**

Um grande desafio para nossa sociedade é a gestão do uso do solo e da água onde, o uso irracional pode causar grandes impactos negativos. O manejo indevido do solo e o lançamento de esgoto são responsáveis por um dos maiores problemas quanto a sua conservação: a eutrofização dos corpos hídricos. Assim, o processo de eutrofização é um dos principais problemas ambientais presentes na maioria dos reservatórios brasileiros. Deste modo, este estudo teve como objetivo analisar o grau de trofia da represa de Furnas em diferentes cenários e projeções. Foram realizadas as quantificações de fósforo aportada no reservatório por meio do levantamento do uso e ocupação do solo e levantamento populacional para os anos 2020 à 2040. Para o cálculo utilizou-se dois níveis de cota da represa: 755 metros e 762 metros. Após o cálculo do grau de trofia, estimou-se a situação do reservatório, em um cenário de remoção de 50% e 90% do fósforo nas estações de tratamento de esgoto. O resultado obtido foi que o reservatório se encontra eutrofizado; já para a cota 762, o valor está próximo ao limite de eutrofia. Na projeção de remoção de 50% de fósforo, por meio de tratamento do esgoto, o grau de trofia apresentou resultado similar. Para a projeção de 90% de redução de fósforo o resultado obtido ficou abaixo do grau de eutrofia.

Palavras-chaves: fósforo, grau de trofia, reservatório.

## SUMÁRIO

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>  | 17                            |
| <b>2 OBJETIVO GERAL</b>  | 18                            |
| 2.1 Objetivos Específicos  | 18                            |
| <b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b>   | 18                            |
| 3.1 Reservatório de Furnas   | 18                            |
| 3.2 A dinâmica dos reservatórios   | 19                            |
| 3.2.1 Impactos da construção de reservatórios  | 21                            |
| 3.3 Eutrofização dos cursos d'água   | 22                            |
| 3.3.1 Eutrofização: Conceito, origem e tipos   | 22                            |
| 3.4 Poluição Ambiental: Difusa e Pontual   | 23                            |
| 3.5 Nutriente Limitante: fósforo (P)   | 24                            |
| 3.6 Eutrofização dos cursos d'água   | 26                            |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>   | 26                            |
| 4.1 Área de estudo   | 26                            |
| 4.2 Levantamento do Uso e Ocupação do Solo   | 28                            |
| 4.2.1 Ponderação com relação à distância da represa  | 28                            |
| 4.3 Projeção Populacional  | 29                            |
| 4.4 Levantamento do Tratamento de Esgoto dos Municípios  | 30                            |
| 4.5 Definição dos níveis de água na represa (cotas)  | 30                            |
| 4.6 Cálculo da carga de Fósforo  | 31                            |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>  | 33                            |
| 5.1 Impactos do uso e ocupação do solo no risco de eutrofização da represa de Furnas   | 33                            |
| 5.2 Impacto do crescimento populacional da região no risco de eutrofização da represa de Furnas - MG   | Erro! Indicador não definido. |
| 5.3 Impacto da variação do nível d'água da represa de Furnas - MG no risco de eutrofização   | 38                            |
| 5.4 Estimativa da carga e da concentração de fósforo na represa de Furnas - MG   | 39                            |
| 5.5 Cenários de diferentes eficiências de remoção de fósforo pela instalação de tratamento terciário nas ETES dos municípios da área de drenagem da represa de Furnas – MG | 40                            |
| <b>6 CONCLUSÃO</b>   | 42                            |
| <b>7 REFERÊNCIAS</b>   | 43                            |
| <b>APÊNDICE</b>  | 45                            |

## 1 INTRODUÇÃO

Como parte dos planos de desenvolvimento industrial da região sudeste do Programa de Metas do presidente Juscelino Kubitscheck, o Plano de Aproveitamento do Rio Grande deu origem à hidrelétrica de Furnas em 1963, com potência prevista para 1200 MW. Anterior à outorga da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6938 de 1981, sua instalação não considerou impactos socioambientais na região, a população se adaptou às drásticas alterações e, hoje, parte da economia dos municípios do entorno é dependente da represa.

Os cursos d'águas dos cinquenta municípios que cercam o reservatório deságuam nele, ou seja, a qualidade da água do reservatório depende da forma com que cada município a conserva. A falta de tratamento de esgoto e o uso inadequado do solo causam impactos diretos na qualidade da água.

Um problema ambiental recorrente, que atinge muitos reservatórios do Brasil, é a eutrofização do corpo d'água, a qual se caracteriza pelo aumento da fertilidade dos ambientes aquáticos, causado pela entrada em excesso de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que leva ao desenvolvimento rápido de organismos aquáticos autotróficos, como as algas. De acordo com Von Sperling (2005) quando comparado com rios essa é mais comum em lagos e represas devido às condições mais favoráveis para o crescimento e desenvolvimento de plantas, como menor velocidade da água e maior temperatura.

Em estágio avançado, a morte e decomposição das algas gera consumo de oxigênio dissolvido e redução do pH, o que pode causar impactos econômicos, tais como: redução da navegabilidade, turismo e uso agrícola da água. Impactos ecológicos: mortandade da fauna e aumento da toxicidade da água. E impactos sociais: dificuldade no tratamento da água para consumo humano e redução da disponibilidade hídrica (VON SPERLING, 2005). Além disso, pode afetar também o processo de geração de energia elétrica e reduzir o tempo de vida útil dos reservatórios, que tem relação direta com seu nível.

A mudança de nível das cotas do reservatório possui influência em seu volume e nas áreas inundadas. Quando se iniciou o estudo a cota da represa de Furnas estava em 755 metros e havia demanda pela população e seus representantes, de cotas superiores, na qual a lâmina d'água abrangeria uma região maior.

O crescimento populacional e das práticas agrícolas sem conservação do solo na região podem acelerar o processo de eutrofização, prejudicando, em médio e longo prazo, cerca de 895 mil habitantes (IBGE, 2021). Portanto, a avaliação do grau de eutrofização do reservatório



de Furnas e de cenários futuros, considerando as variações de cotas da represa será útil para o estabelecimento de políticas ambientais em âmbito municipal e estadual.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Estimar o grau de eutrofização da represa de Furnas e o impacto do crescimento populacional, uso e ocupação do solo, diferentes níveis da água e em cenários de tratamento de esgoto com remoção de P.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Estimar o impacto do crescimento populacional no grau de eutrofização da represa de Furnas nos anos de 2020 a 2040;
- Estimar o impacto do uso e ocupação do solo no grau de eutrofização da represa de Furnas atenuando o aporte de P pela distância da área à represa através da aplicação da lógica Fuzzy;
- Estimar o impacto da variação do nível da água da represa nas cotas 755 e 762 no grau de eutrofização atual;
- Projetar cenários de grau de eutrofização na represa de Furnas pelo tratamento de esgoto a nível terciário com diferentes eficiências de remoção de P;

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Reservatório de Furnas**

A partir da década de cinquenta, o governo federal iniciou planos para impulsionar o desenvolvimento das atividades industriais na região do interior do sudeste brasileiro. Um dos primeiros passos para permitir o desenvolvimento regional foi o aumento da capacidade elétrica instalada (SANTOS, 1993). Por este motivo, o governo criou programas para o desenvolvimento elétrico, como o Plano de Aproveitamento do Rio Grande, a partir do Programa de Metas do presidente Juscelino Kubitschek (CORRÊA, 2012). O plano tinha como objetivo aproveitar o potencial hidrológico do Rio Grande em sua extensão, a fim de criar novos reservatórios de hidrelétricas.

Após os estudos e levantamentos realizados na época foi proposta a criação da usina hidrelétrica de Furnas, localizada entre os municípios de São José da Barra e São João Batista

do Glória, no estado de Minas Gerais. Sua construção iniciou-se no ano 1957 e seu funcionamento se deu em 1963 com potência prevista de 1200MW (FERRÃO, 2018).

Como o ano que iniciou o represamento foi anterior à Lei n 6938/81, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, a qual previa como um dos seus instrumentos a Avaliação de Impactos Ambientais (BRASIL, 1981), não foram levantados os reais impactos ambientais e sociais da criação da hidrelétrica, nem sua mitigação ou compensação. Dessa forma, com a ausência de um estudo de impactos ambientais (EIA) e nenhuma regulamentação, a principal função do reservatório é a geração de energia elétrica.

Na época, foram afetadas pela inundação cerca de 8100 propriedades rurais, os moradores da região delimitada foram desapropriados e indenizados. Muitas famílias tiveram que deixar suas propriedades e adaptar-se ao represamento (CORRÊA, 2012).

Com o passar do tempo, as comunidades e cidades do seu entorno, se adaptaram às mudanças. Em 1975, o governo estadual, por meio da iniciativa privada, criou o Plano de Desenvolvimento do Lago de Furnas (PDLF), estruturado com intuito de estabelecer uma linha de ação para o desenvolvimento da região, através do incentivo às práticas agrícolas e turísticas (FERRÃO, 2018). Assim, parte da economia dos muitos municípios do entorno da represa de Furnas passaram a ser dependentes dela.

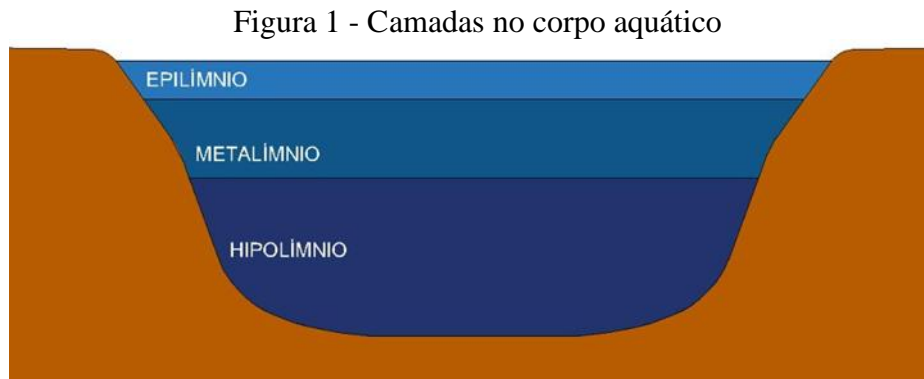
### **3.2 A dinâmica dos reservatórios**

A usina hidrelétrica é responsável por transformar a energia potencial hidráulica da água em energia elétrica (CERAN, 2020). Os reservatórios presentes nessas usinas são obras de engenharia que possuem, por finalidade, armazenar a água que escoam nos rios e córregos para que sejam encaminhadas às turbinas. Além disso, também são responsáveis por permitir a regularização das vazões dos rios, tanto em períodos chuvosos como de estiagem, em alguns casos (ANEEL, 2005).

Nesses reservatórios, o perfil vertical de temperatura da água varia de acordo com as estações do ano: durante o verão e os meses mais quentes do ano, a temperatura da camada superficial de água do reservatório é bem maior comparada com a temperatura do fundo devido a radiação solar. Como consequência disso, a densidade da água superficial se torna menor que a da camada inferior, causando o surgimento de três camadas distintas no corpo aquático, conforme representado na Figura 1 (VON SPERLING, 2005):

- Epilímnio: Camada superior que possui maior temperatura, menor densidade, e maior circulação;

- Metalímnio: camada de transição localizada entre o epilímnio e o hipolímnio. Nesta, situa-se uma região, denominada termoclina, a qual é caracterizada por descontinuidade térmica, sendo considerada uma barreira física entre os estratos sobrejacentes e adjacente;
- Hipolímnio: camada inferior, mais fria, mais densa, onde os raios solares não alcançam e com maior estagnação.



**Fonte: Da autora (2021)**

Ainda, segundo VON SPERLING (2005), a diferença de densidade entre as camadas pode ser tal que haja uma estratificação total do corpo d'água, onde as três camadas não se misturem entre si. Dependendo do grau de trofia, poderá haver ausência completa de oxigênio dissolvido (OD) no hipolímnio ocasionando a predominância de compostos reduzidos como manganês e fósforo nessa região e prejudicando a qualidade da água (VON SPERLING, 2005).

Durante o inverno e os meses mais frios do ano (ou noites mais frias), há um resfriamento da camada superior do reservatório causando homogeneização na temperatura e similaridade da densidade ao longo da profundidade do mesmo. Nesse contexto, acontece então, o processo de inversão térmica: a camada superior, com menor temperatura, tende a ir para o fundo do reservatório, deslocando a camada inferior e causando um revolvimento completo do reservatório. Esse revolvimento pode causar uma deterioração da qualidade da água, principalmente quando há grande quantidade de compostos reduzidos no hipolímnio, bem como a redução da concentração de oxigênio dissolvido no epilímnio, causando anoxia nos peixes (VON SPERLING, 2005).

### 3.2.1 Impactos da construção de reservatórios

A construção de reservatórios pode implicar em impactos econômicos, sociais, ambientais e culturais que podem ser positivos ou negativos. Dentre os impactos positivos pode-se citar a geração de empregos durante as obras de construção e na operação da usina hidrelétrica, movimentação da economia local, melhoria do suprimento de águas, dessedentação de animais e irrigação em regiões semiáridas. (FREITAS, 2011).

Por outro lado, destacam-se numerosos impactos negativos: após o processo de construção do reservatório há o aumento da concentração de nutrientes na água, resultante da decomposição da matéria orgânica inundada, afetando a sua qualidade (DE FILLIPPO et al., 2007).

Segundo Rangel-Peraza *et al.* (2009) essa quantidade de nutrientes tende a diminuir com o tempo, devido às descargas da barragem e aos processos de floculação, sedimentação e absorção.

Outro impacto negativo explícito é o aumento da mortalidade de peixes. Esse aumento pode se dar por supersaturação gasosa nas áreas adjacentes à barragem, que pode causar embolia gasosa; a presença de turbinas e vertedouros, os dificultam suas migrações reprodutivas; aumento dos níveis de predação próximo à barragem, devido à alta concentração de peixes nesses locais e falta de abrigo; estratificação térmica e condições anóxicas, impossibilitando sua respiração e eutrofização e deterioração do corpo d'água, os quais dificultam a sobrevivência desses organismos no ambiente aquático (AGOSTINHO et al., 2018).

Pode-se citar também impactos associados ao clima, como a alteração da umidade, temperatura, evaporação, ventos e precipitação da região. Um dos importantes impactos causados à flora é a redução da biodiversidade, que ocorre devido ao aumento da matéria orgânica no reservatório e a redução da concentração de oxigênio dissolvido (PANZERA, et al., 2012).

São causados também impactos sociais como a realocação de famílias devido a inundação da área, causando perda de suas culturas e origens, e aumento inesperado da população devido ao turismo e à migração de funcionários de outras cidades que são utilizados como mão de obra na construção da usina, o que aumenta a quantidade de resíduos e efluentes gerados nos municípios (KOIFMAN, 2001).

### 3.3 Eutrofização dos cursos d'água

#### 3.3.1 Eutrofização: Conceito, origem e tipos

O termo eutrofização das águas corresponde ao seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo de plantas aquáticas: planctônicas (aquelas que se movem livremente com a água) e aderidas ao fundo.

Esse fenômeno acontece principalmente em lagos e represas, uma vez que condições ambientais, como menor velocidade da água e maior temperatura são mais favoráveis nesses locais do que em rios e córregos, por exemplo (VON SPERLING, 2005).

A eutrofização pode ter origem natural ou artificial. Esse processo, quando natural, pode ser desencadeado por nutrientes carregados pela chuva, e águas superficiais, que erodem e lavam as superfícies terrestres depositando-os nos corpos d'água (BARRETO et al., 2013).

De acordo com Von Sperling (2001) e Corriveau *et al.* (2009) quando esta é artificial, ou antrópica, ela acontece mais rapidamente e pode ser desencadeada por vários processos como por exemplo:

- Assoreamento: processo causado pela sedimentação do solo o qual reduz o volume útil do corpo d'água devido a tendência das partículas do solo em seguir pelos fundos do vale até atingir os corpos d'água, servindo assim de meio suporte para o crescimento de vegetais próximo a margem;
- Drenagem Pluvial: transporta uma quantidade maior de nutrientes, quando comparado com as demais ocupações a bacia, carregando-os até os cursos de água, aumentando a quantidade desses nutrientes e acelerando o processo de eutrofização;
- Águas Residuárias: quando os efluentes domésticos e industriais são lançados diretamente no corpo receptor, sem o devido tratamento, é provocado um desequilíbrio nesse ecossistema, pois esses efluentes possuem nutrientes, como nitrogênio e fósforo, oriundos de materiais de limpeza, restos de alimentos, fezes, urina e demais componentes, que podem causar o crescimento de vegetais e causar o fenômeno de eutrofização das águas;
- Sistemas agrícolas: nesses sistemas a utilização inadequada de adubos orgânicos e minerais podem causar o excesso de nutrientes no solo, os quais, podem ser lixiviados e encaminhados para os cursos d'água causando um desequilíbrio de nutrientes, o qual provocará o processo artificial e acelerado de eutrofização.

Segundo Von Sperling (2005) um impacto ambiental importante decorrente da eutrofização é o desaparecimento gradual do lago ou represa. Devido ao processo antrópico ocorre o acúmulo excessivo de vegetação e matéria orgânica tornando-os cada vez mais rasos, até desaparecerem por completo. É importante destacar que se não houver um controle rigoroso da fonte dessas matérias o lago pode desaparecer em alta velocidade e sua recuperação pode ser muito lenta ou até mesmo irreversível. Ainda, segundo esse autor, a ocorrência de condições anaeróbias no corpo d'água pode, além de causar mortandade de peixes, gerar maus odores, pela liberação de compostos e elementos redutores no fundo do corpo d'água, como o gás sulfídrico.

O controle da eutrofização pode ser realizado por meio de medidas preventivas e corretivas. As medidas preventivas, devem ocorrer em toda área de drenagem e correspondem à redução da concentração de fósforo no meio, a partir da redução da contaminação por fontes externas. Essa redução se dá por meio de tratamento a nível terciário de efluentes para remoção de nutrientes, lançamento de efluentes a jusante das represas, controle do uso e ocupação do solo na bacia e construção de barragens de contenção (VON SPERLING, 2005).

Por outro lado, as medidas corretivas são onerosas e pouco eficientes, incluem atuação nos processos químicos, mecânicos e biológicos da represa, como aeração do hipolímnio, retirada das águas profundas, remoção de sedimentos, sombreamento, aplicação de cal, precipitação química do fósforo, utilização de peixes que se alimentam de plantas, aplicação de herbicidas e manipulação da cadeia alimentar (VON SPERLING, 2005).

### **3.4 Poluição Ambiental: Difusa e Pontual**

Na literatura o termo poluição ambiental possui muitos significados, sendo que todos estão interligados. Valle (2004), por exemplo, define poluição ambiental como “toda ação ou omissão do homem que, pela descarga de material ou energia atuando sobre as águas, o solo, o ar, causa um desequilíbrio nocivo”.

Scarlato e Pontin (2006) definem que o termo poluição ambiental pode ser usado quando o ritmo vital e natural em uma área ou da biosfera é quebrado, afetando a qualidade ambiental e oferecendo riscos ao homem e ao meio. Esses riscos dependem diretamente da concentração e das propriedades, como a toxicidade, das substâncias poluidoras; e das características do ambiente quanto à capacidade de dispersar os poluentes. Para mensurar esses riscos é

importante levar em consideração não só as consequências imediatas, mas também as de longo prazo, tanto no ambiente como no organismo humano.

Os mecanismos de poluição ambiental podem ser divididos em dois grupos: pontuais e difusas. A poluição pontual é aquela desencadeada pelo lançamento em um ponto específico. Essas fontes de poluição podem ser facilmente identificadas e diagnosticadas possibilitando ações corretivas e punitivas, quando necessário.

Em contrapartida, a poluição difusa não possui um ponto específico de lançamento, dificultando a determinação de sua origem. Esse tipo de poluição pode ser transportado de inúmeras formas até atingir o corpo d'água receptor. Em muitos casos, esta surge a partir de atividades consecutivas sob áreas extensas, o que a diferencia das fontes pontuais, as quais caracterizam-se por operações repetitivas concentradas sobre pequenas áreas (SONDRÉ, 2012).

De acordo com Gonçalves *et al.* (2000) em áreas rurais as cargas difusas podem surgir por meio da lixiviação do excesso de agrotóxicos e fertilizantes no solo. Já em áreas urbanas, estas podem surgir através de drenagem de águas pluviais e deposições atmosféricas secas e úmidas (MITCHELL, 2005).

### **3.5 Nutriente Limitante: fósforo (P)**

Segundo Von Sperling (2005) o termo nutriente limitante pode ser definido como aquele que limita o crescimento de uma determinada população, ou seja, em baixas concentrações o crescimento populacional é baixo, assim como, em altas concentrações o crescimento populacional é alto.

Essa situação se estende até que a concentração do nutriente seja tão elevada que um outro nutriente passa a ser o fator limitante, ou seja, não se encontra em quantidade suficiente para suprir a necessidade da grande população. Dessa forma, o novo nutriente passa a ser então o novo nutriente limitante. Esses nutrientes são utilizados até o crescimento completo da população aquática e, o esgotamento de pelo menos um dos nutrientes paralisa o seu crescimento.

Nos casos da eutrofização do corpo d'água é necessário identificar qual é o nutriente que está controlando o crescimento do fitoplâncton. A análise, na maioria das vezes, é realizada para o nitrogênio e para o fósforo (SMAHA; GOBBI, 2003).

Para saber qual é o nutriente limitante Thomann e Mueller (1987) utilizaram a seguinte relação entre as concentrações de nitrogênio e fósforo (N/P):

- Em grandes lagos, com predominância de fontes não pontuais:  $N/P > 10$ : limitação por fósforo;
- Em pequenos lagos com predominância de fontes pontuais:  $N/P < 10$ : limitação por nitrogênio.

No solo ou em ambientes aquáticos, geralmente, o nitrogênio está presente em maiores quantidade, em relação ao fósforo, ou seja, o monitoramento do fósforo, como nutriente limitante é essencial para avaliação do crescimento excessivo de algas em uma represa (PEREIRA et al., 2013).

O fósforo é um nutriente presente nos cursos d'água e essencial à esse meio, principalmente no que se refere à cadeia alimentar. Segundo Fernandes *et al.* (2010) ele é um componente da membrana celular (fosfolpídeos) dos organismos aquáticos além de ser também um importante nutriente em seus metabolismos. Entretanto, em concentrações elevadas, o fósforo pode ser considerado um importante poluidor ambiental.

No ecossistema aquático o fósforo é encontrado principalmente na forma inorgânica (osteofosfato), de polifosfato e fosfato orgânico. O fosfato orgânico é proveniente de origem fisiológica, enquanto o polifosfato e o osteofostato são provenientes essencialmente de produtos químicos e detergentes (ESTEVES, 1988).

Tal nutriente pode ser encontrado na natureza, em rochas, minerais, plantas e animais. Em reservatórios, o fósforo geralmente é acumulado através do processo de sedimentação, absorção por organismos, ou adsorção de material em suspensão (PEREIRA et al., 2013).

Von Sperling (2005) destacou que as mais importantes formas de contaminação de lagos e represas por fósforo são drenagem pluvial e esgotos domésticos. A drenagem pluvial pode ser de áreas com matas e florestas, áreas agrícolas e áreas urbanas.

Quando proveniente de áreas com matas e florestas a quantidade de fósforo é pequena comparada com áreas agrícolas e urbanas, pois nessas áreas o ecossistema está próximo ao equilíbrio e a quantidade excessiva desse nutriente é baixa. Já em áreas agrícolas, as concentrações de fósforo podem ser maiores, visto que depende de fatores como a capacidade de retenção do solo, tipo de cultura, irrigação, entre outros.

Ainda segundo Von Sperling (2005), tratando-se de efluentes domésticos, são considerados a maior causa de contaminação por fósforo de lagos e represas, pois o nutriente é encontrado nas fezes humanas assim como em detergentes e demais produtos de limpeza utilizados pelo homem.



### 3.6 Eutrofização dos cursos d'água

A fim de caracterizar o estágio de eutrofização de um corpo d'água é necessário a adoção de um sistema classificatório. Para isso, utiliza-se os seguintes níveis de trofia, de acordo com Porto (1991):

- oligotrófico: lagos com baixa concentração de matéria orgânica e nutrientes, baixo desenvolvimento planctônico, águas claras e elevado teor de oxigênio dissolvido;
- mesotrófico: lagos com moderado enriquecimento de nutrientes e crescimento planctônico, sendo considerado de produtividade intermediária;
- eutrófico: lagos com alta concentração de nutrientes, alto desenvolvimento planctônico, baixa concentração de oxigênio dissolvido, presença de minerais em suspensão.

De acordo com Von Sperling (2005) há outras classificações de trofia, quando se vê necessário caracterizar o corpo d'água com mais particularidade. Da maior para a menor produtividade, as classificações são: ultraoligotrófico, oligotrófico, oligomesotrófico, mesotrófico, mesoeutrófico, eutrófico, eupolitrófico e hipereutrófico.

A quantificação do nível trófico é mais difícil em lagos tropicais, pois estes apresentam uma maior assimilação de fósforo quando comparado com águas de climas temperados (ESTEVES, 1988).

Existem diferentes modelos para cálculo do nível trófico dos corpos hídricos. O mais utilizado, em estudos, é o Índice de Estado Trófico (IET) adaptado por Lamaparelli (2004), o qual utiliza em sua equação a quantificação de três variáveis: clorofila-a, transparência e fósforo total.

Outro método de quantificação adaptado é o de Salas e Martino (1991), consiste em um modelo empírico simplificado para análise de fósforo, proposto a partir do modelo de Vollenweider. É realizado através da projeção da carga de fósforo advinda de esgotos e drenagem pluvial.

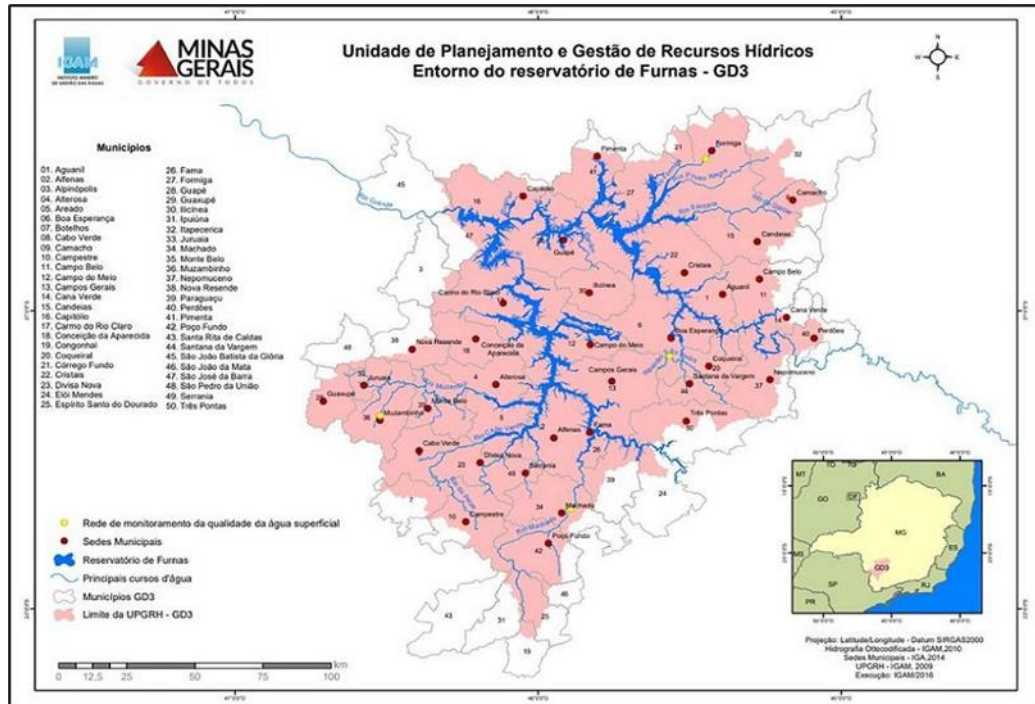
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O reservatório de Furnas está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Grande na região sul de Minas Gerais, possui em sua capacidade máxima uma área inundada de 1.440 km<sup>2</sup> e

volume total de 22,95 bilhões de m<sup>3</sup> de água. Sua área e entorno definem a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Entorno do Reservatório de Furnas - (GD3) (IGAM, 2021).

Figura 2 - Mapa da UPGRH Entorno do reservatório de Furnas – GD3



Fonte: IGAM (2021)

A Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Entorno do Reservatório de Furnas possui uma área de 16.643 km<sup>2</sup> e é constituída por 50 municípios: Aguanil; Alfenas; Alpinópolis; Alterosa; Areado; Boa Esperança; Botelhos; Cabo Verde; Camacho; Campestre; Campo Belo; Campo do Meio; Campos Gerais; Cana Verde; Candeias; Capitólio; Carmo do Rio Claro; Conceição da Aparecida; Congonhal; Coqueiral; Córrego Fundo; Cristais; Divisa Nova; Eloi Mendes; Espírito Santo do Dourado; Fama; Formiga; Guapé; Guaxupé; Ilhéus; Ipuiúna; Itapecerica; Juruaia; Machado; Monte Belo; Muzambinho; Nepomuceno; Nova Resende; Paraguaçu; Perdões; Pimenta; Poço Fundo; Santa Rita de Caldas; Santana da Vargem; São João Batista do Glória; São João da Mata; São José da Barra; São Pedro da União; Serrania; Três Pontas.

A região possui relevo montanhoso e vegetação típica do cerrado. Ademais, a economia é baseada na agricultura, em pólos industriais e no turismo, que se dá pelo aproveitamento do reservatório de Furnas (IGAM, 2021). Segundo a classificação de Köppen, na região há o clima do tipo Aw, ou seja, tropical de cerrado com estação seca no inverno e CWa, clima temperado

com inverno seco e verão quente. A precipitação média anual é de 1450 mm. Já a temperatura média anual da região é de 21°C (REBOITA et al, 2015).

## 4.2 Levantamento do Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), ano base de 2018, escala 1:250.000.

Para o estudo, considerou-se a área da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Entorno do Reservatório de Furnas (GD3). Desconsiderando a área total de drenagem da bacia hidrográfica, pois além de sua grande extensão territorial, há três reservatórios anteriores ao reservatório de Furnas, que retém grande parte dos nutrientes aportados.

A partir do mapa de uso e ocupação, delimitou-se a área do GD3, com a ferramenta “clip” no software de geoprocessamento ArcGis® 10.3. As classes de uso e ocupação foram agrupadas em 4 classes: Área de Mata, Área Agrícola, Área Urbana e outros (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de uso e ocupação

| Classes de uso IBGE (2018)   | Classes de uso Salas e Martino (1991) |
|--|---------------------------------------|
| Vegetação Florestal, Vegetação Campestre   | Área de Mata                          |
| Área Agrícola, Pastagem com Manejo<br>Mosaico de Ocupações em Área Florestal, Mosaico de<br>Ocupações em Área Campestre, Área Descoberta | Área Agrícola                         |
| Área Artificial  | Área Urbana                           |
| Corpo d'água Continental, Corpo d'água Costeiro<br>Área Úmida  | Outros                                |

Fonte: Da Autora (2021)

### 4.2.1 Ponderação com relação à distância da represa

Devido à extensa área de contribuição da bacia hidrográfica e, na hipótese de que quanto mais perto da represa, maior será o aporte de fósforo, foi realizada a modelagem através do software ArcGis® 10.3, aplicou-se a lógica Fuzzy, que retorna uma escala para pesos graduais para a participação do fósforo no cálculo. Para tal, considerou-se os valores típicos de

contribuição de fósforo de cada uso e ocupação do solo, dividindo os valores por cem, para obter uma escala de 0 a 1 e os pesos das distâncias dessas áreas até a represa, obtidos pela lógica Fuzzy (Tabela 2).

Tabela 2- Pesos de Uso e Ocupação e distância

| <b>Atribuição para uso e ocupação</b> |             |
|---------------------------------------|-------------|
| <i>Classe</i>                         | <i>Peso</i> |
| Área de mata e florestas              | 0,1         |
| Área agrícola                         | 0,5         |
| Área urbana                           | 1           |
| <b>Atribuição para distância</b>      |             |
| <i>Distância</i>                      | <i>Peso</i> |
| Mais próximo ao reservatório          | 1           |
| Mais distante ao reservatório         | 0           |

**Fonte: Da autora (2021)**

Utilizou-se a ferramenta *euclidean distance*, para gerar uma imagem raster onde cada pixel corresponde ao valor de distância do reservatório. E então aplicou o Fuzzy no raster de uso e ocupação e de distância.

### 4.3 Projeção Populacional

A projeção populacional dos municípios foi feita com base nos dados obtidos no último censo disponível Censo 2010 (IBGE, 2021). A projeção populacional para os anos de 2020 e 2040, foi realizada com base no modelo de projeção geométrica (equações 1 e 2), que consiste no cálculo do crescimento populacional em função da população existente em cada momento, usualmente utilizada para estimativas em um menor tempo (VON SPERLING, 2005).

$$P_t = P_0 \cdot e^{kg(t-t_0)} \quad (1)$$

$$kg = \frac{\ln P_n - \ln P_0}{t_n - t_0} \quad (2)$$

Onde,

Pt: População total referente ao ano que se deseja fazer a projeção

t: Ano que se deseja fazer a projeção

kg: Coeficiente geométrico de crescimento

Pn: População referente ao último dado censitário

tn: Ano referente ao último dado censitário

P0: População referente ao primeiro dado censitário

t0: Ano referente ao primeiro dado censitário

Foi realizada a projeção para os anos de 2020 até 2040, com intuito de estimar o grau de trefia da represa nas condições atuais e em cenários futuros.

#### **4.4 Levantamento do Tratamento de Esgoto dos Municípios**

O levantamento do tratamento de esgoto realizado por cada município foi feito pelo portal Atlas Esgoto, da Agência Nacional de Águas, em parceria com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, o portal apresenta um estudo com informações e diagnóstico do tratamento de esgoto para todas as cidades do Brasil (ANA, 2020). Além do tratamento feito em cada cidade, foi realizada uma consulta a respeito do tipo de tratamento de esgoto realizado e se há algum tipo de remoção de fósforo durante o processo.

#### **4.5 Definição dos níveis de água na represa (cotas)**

O cálculo foi realizado para as cotas 755 e 762 metros acima do nível do mar. A cota 755 foi selecionada por ser o nível que o reservatório estava quando se iniciou o presente estudo. Já a escolha da cota 762 foi devido a demanda da população e seus representantes governamentais, por ser um valor que mantém o espelho d'água em grande parte dos municípios do entorno do reservatório.

Os dados da série histórica da represa, contendo as cotas, volumes e vazões, para cada dia do ano foi disponibilizado pelo Departamento de Hidrometeorologia e Programação Energética de Furnas. Como os valores das cotas variam em décimos, para o cálculo do volume das cotas foi aplicado análise estatística. Por meio do teste de Shapiro-Wilk, realizado na

linguagem de programação R e interface RStudio, foi possível observar que a distribuição não apresentou normalidade, sendo assim optou-se pela utilização da mediana para definição do volume nas cotas 755 e 762.

#### 4.6 Cálculo da carga de Fósforo

O grau de eutrofização da represa foi determinado pelo aporte da carga de fósforo no reservatório, calculado com a equação de Salas e Martino (1991), apresentado nas equações 3 e 4. De acordo com o modelo, a entrada de fósforo pode ocorrer de duas formas: lançamento de esgoto no corpo d'água e lixiviação, a partir do escoamento superficial (VON SPERLING, 2005).

$$P = \frac{L \cdot 10^3}{V \cdot \left( \frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}} \right)} \quad (3)$$

Onde,

P: concentração de fósforo no corpo d'água (gP/m<sup>3</sup>)

L: carga afluyente de fósforo (KgP/ano)

V: volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

t: tempo de detenção hidráulica (ano)

$$t = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

Onde,

t: tempo de detenção hidráulica (ano)

V: volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

Q: vazão média de afluyente

A partir do levantamento populacional, do percentual de ocupação da área de drenagem, da existência de remoção de fósforo nas ETES dos municípios, nos diferentes níveis da represa foi calculada a carga de fósforo aportada para o reservatório (Figura 2) pelo modelo de Salas e Martino (1991).

Ademais, supondo um cenário de melhoria no tratamento de esgoto dos municípios, determinou-se a carga de fósforo considerando a remoção de 50% e 90%, para verificar a influência de melhorias nas ETES da região no grau de eutrofização da represa.

Para o cálculo da carga máxima de fósforo que o reservatório pode tolerar, sem sofrer processo de eutrofização, rearranjou-se a equação 5.

$$L = \frac{P \cdot V \cdot \left(\frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}}\right)}{10^3} \quad (5)$$

Onde,

P: concentração de fósforo no corpo d'água (gP/m<sup>3</sup>)

L: carga afluyente de fósforo (KgP/ano)

V: volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

t: tempo de detenção hidráulica (ano)

Tempo de detenção Hidráulica:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (6)$$

Onde,

t: tempo de detenção hidráulica (ano)

V: volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

Q: vazão média de afluyente

De acordo com Von Sperling (2005) os valores típicos de contribuição de fósforo são descritos na Tabela 3 e o critério adotado para classificação de trofia está descrito na Tabela 4.

Tabela 3 - Contribuição de fósforo por tipo de fonte

| Fonte    | Tipo                       | Valores típicos | Unidade                  |
|----------|----------------------------|-----------------|--------------------------|
| Drenagem | Áreas de matas e florestas | 10              | kgP/km <sup>2</sup> .ano |
|          | Áreas agrícolas            | 50              | kgP/km <sup>2</sup> .ano |
|          | Áreas urbanas              | 100             | kgP/km <sup>2</sup> .ano |
| Esgotos  | Domésticos                 | 1               | kgP/hab.ano              |

Fonte: VON SPERLING (1995).

Tabela 4 - Classes de trofia de acordo com a concentração de fósforo

| <b>Classe de trofia</b> | <b>Concentração de fósforo na represa (mg/m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------|--|
| Ultraoligotrófico       | < 5  |
| Oligotrófico            | < 10 - 20  |
| Mesotrófico             | 10 - 50  |
| Eutrófico               | 25 - 100   |
| Hipereutrófico          | > 100  |

Fonte: VON SPERLING (1995).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

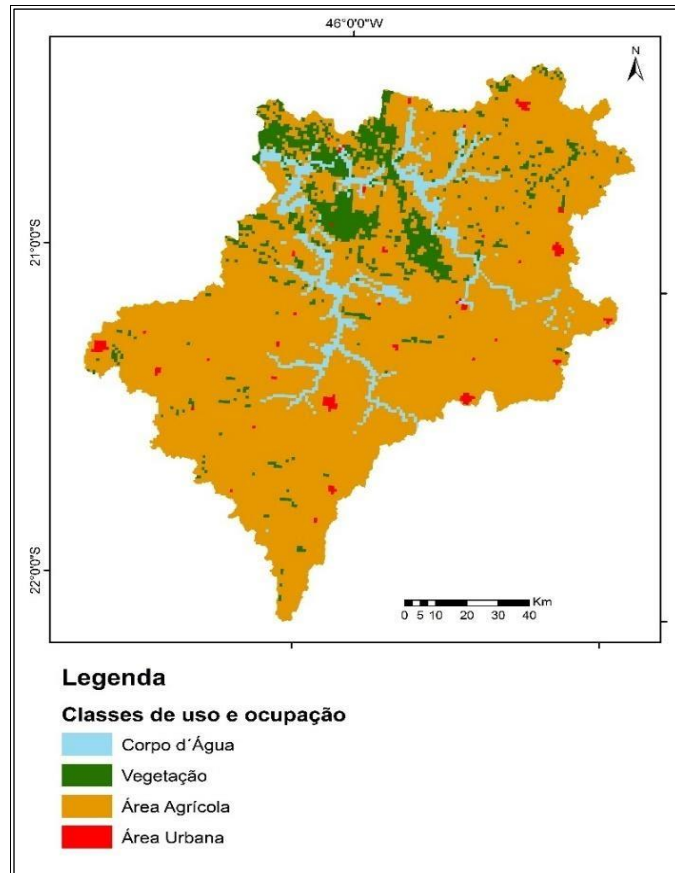
### 5.1 Impactos do uso e ocupação do solo no risco de eutrofização da represa de Furnas

A partir do mapa de uso e ocupação da área de drenagem da represa (Figura 3), foi possível obter as áreas (km<sup>2</sup>) que representam vegetação nativa, uso agrícola e uso urbano, (Tabela 5).

Observa-se que a área da UPGRH Entorno do Reservatório de Furnas tem como uso e ocupação principal a atividade agrícola, ocupando 84,18% da área total. A área com maior incidência de mata encontra-se na região noroeste da unidade, correspondendo a 8,59% de toda área. Já os núcleos populacionais se apresentam em toda a área, representando pequenos e médios municípios.



Figura 3 Mapa de Uso e Ocupação da UPGRH GD3



Fonte: Da Autora (2021)

Tabela 5 - Uso e ocupação do solo na área de drenagem da represa de Furnas

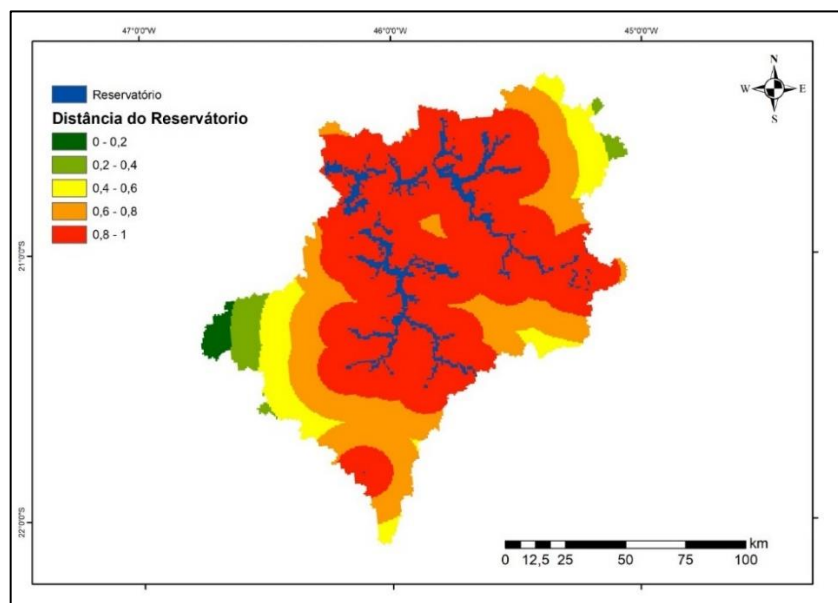
| Classe de Uso e Ocupação | Área (Km <sup>2</sup> ) | Área (%) |
|--------------------------|-------------------------|----------|
| Mata                     | 1417,219                | 8,59     |
| Agrícola                 | 13891,46                | 84,18    |
| Urbana                   | 136,3492                | 0,83     |
| Outros                   | 1057,022                | 6,40     |

Fonte: Da Autora (2021)

Na Figura 3 representa o mapa com a atribuição de peso para as distâncias das áreas até o reservatório, quanto mais próximo de 1, maior a contribuição de carga de fósforo. Nestes, as regiões na cor avermelhada contribuem mais para o aporte de fósforo, ou seja, as regiões mais próximas ao reservatório.

Pode-se observar que além da área no entorno da represa, há uma área na cor vermelha distante do reservatório, isso ocorreu devido à presença de um pequeno lago artificial, o que pode ter superestimado a contribuição de fósforo pelo produto uso e ocupação do solo e distância.

Figura 4 – Atribuição de pesos para atenuação da contribuição de fósforo pela distância do reservatório de Furnas, MG

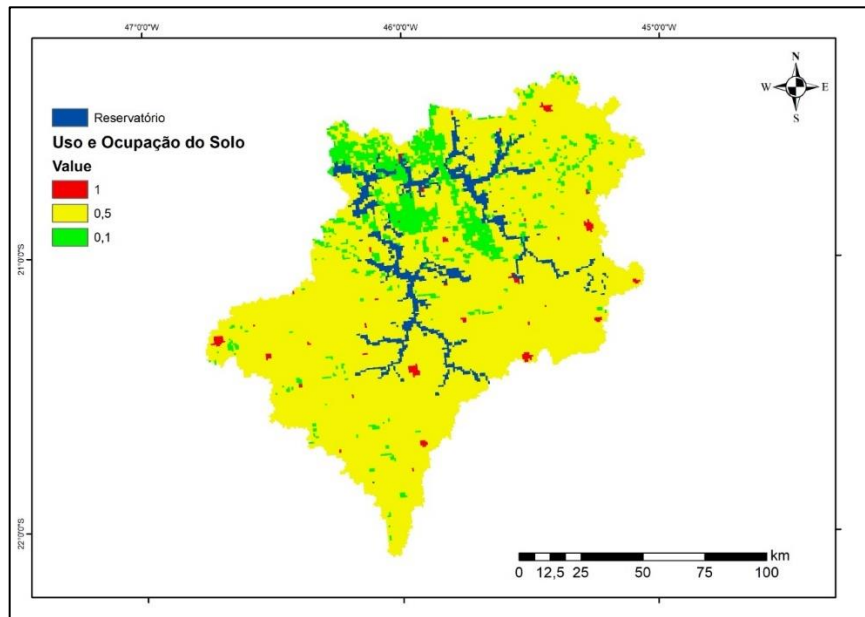


Fonte: Da Autora (2021)

No mapa de atribuição de peso de contribuição de fósforo pelo uso e ocupação do solo (Figura 4) o valor mais próximo de 1 representa uma maior contribuição na carga de fósforo para o reservatório. As áreas em vermelho representam as áreas urbanas, quanto maior a área vermelha maior o núcleo populacional, conseqüentemente, maior a carga de fósforo proveniente da drenagem urbana das áreas impermeabilizadas e mais vulneráveis à poluição das zonas urbanas.

As áreas em amarelo são as áreas agrícolas, responsáveis por uma contribuição de fósforo menor que as áreas urbanas, mas ainda assim de significativo efeito pelo uso de fertilizantes na maior parte da UPGRH. As áreas em verde são as áreas de vegetação remanescente, que estão concentradas em somente uma região unidade e possuem menor contribuição de fósforo para represa.

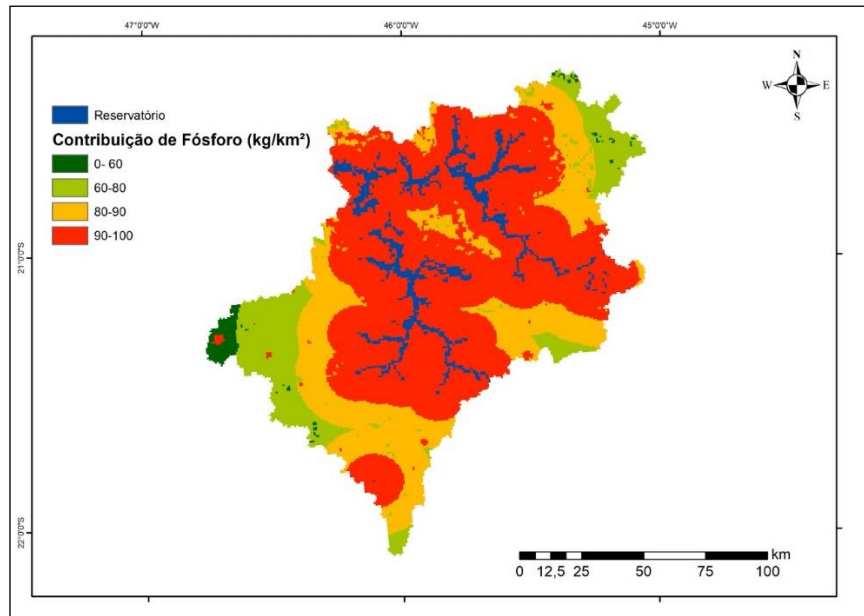
Figura 5 – Atribuição de peso de aporte de fósforo pelo uso e ocupação do solo da área de drenagem da represa de Furnas, MG



Fonte: Da Autora (2021)

O mapa apresentado na Figura 5 representa a álgebra dos mapas apresentados nas Figuras 3 e 4, relacionando a distância das contribuições de fósforo e o tipo de uso e ocupação. Como pode-se observar, as áreas em vermelho contribuem mais com o aporte de fósforo. O uso e ocupação do solo nessas áreas e têm maior influência no risco de eutrofização do reservatório e, portanto, merecem maior atenção e diretrizes mais restritivas no que diz respeito ao aporte de fósforo pelo escoamento superficial.

Figura 6 – Mapa de contribuição da carga de fósforo para represa de Furnas, MG



**Fonte: Da Autora (2021)**

O valor médio do pixel da imagem foi de  $89 \text{ kg/km}^2$ . ano de fósforo, indicando que a área da UPGRH GD3 tem um alto valor de contribuição de carga de fósforo por ano, o que representa risco de eutrofização da represa, a ser calculado adiante. Ao multiplicar o valor médio do pixel pela área total da UPGRH se obteve uma carga de fósforo de 1,3 bilhões kg/ano de P.

Em relação a representação do reservatório (figura 5 e 6) é possível visualizar uma descontinuidade na imagem, a qual levanta-se a possibilidade de ter ocorrido devido a resolução de representação.

Os resultados das projeções populacionais para cada município pertencente à área de drenagem da represa de Furnas estão dispostos na Tabela 6 e a projeção populacional para cada município, no Apêndice A. Cada habitante contribui com  $1 \text{ kg/ano}$  de fósforo por meio do lançamento de esgoto sem tratamento terciário (Tabela 3).

Tabela 6: Projeção populacional na área de drenagem da represa de Furnas, MG

| <b>Ano</b> | <b>Total de habitantes</b> |
|------------|----------------------------|
| 2020       | 947110                     |
| 2021       | 952552                     |
| 2022       | 958050                     |
| 2023       | 963605                     |
| 2024       | 969218                     |
| 2025       | 974890                     |
| 2026       | 980621                     |
| 2027       | 986412                     |
| 2028       | 992264                     |
| 2029       | 998178                     |
| 2030       | 1004154                    |
| 2031       | 1010193                    |
| 2032       | 1016296                    |
| 2033       | 1022465                    |
| 2034       | 1028699                    |
| 2035       | 1035000                    |
| 2036       | 1041368                    |
| 2037       | 1047804                    |
| 2038       | 1054310                    |
| 2039       | 1060886                    |
| 2040       | 1067533                    |

**Fonte: Da Autora (2021)**

Pelo levantamento do nível de tratamento de esgoto realizado para cada município, observou-se que, de todas as 50 cidades da bacia hidrográfica, apenas a cidade de Guaxupé possui uma planta para se implementar a remoção do nutriente. Para a atualização desta situação, visto que as informações do portal são de 2013, realizou-se uma consulta diretamente na prefeitura do município, a qual declarou que a estação ainda está em fase de construção, ou seja, nenhum município do entorno de Furnas remove fósforo em suas estações de tratamento de esgoto (ETEs). O impacto deste e de possíveis cenários de remoção de fósforo nas ETEs estão sendo apresentados adiante.

### **5.3 Impacto da variação do nível d'água da represa de Furnas - MG no risco de eutrofização**

Diante dos conflitos observados na região com relação à manutenção de dois níveis de água distintos, o risco de eutrofização da represa foi avaliado para estes dois volumes pelos

dados obtidos na hidrelétrica. O volume médio e a vazão média referente às cotas 755 e 762 calculados estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de volume, vazão e tempo de detenção hidráulica

| <b>Cota (m)</b> | <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Vazão média afluyente (m<sup>3</sup>/ano)</b> | <b>Tempo de detenção hidráulica (ano)</b> |
|-----------------|-------------------------------|--|---|
| 755             | 9,34 bilhões                  | 14,22 bilhões                                    | 0,657                                     |
| 762             | 15,95 bilhões                 | 16,65 bilhões                                    | 0,958                                     |

**Fonte: Da Autora (2021)**

A diferença entre o volume da cota 755 para a cota 762 foi de 6,6 bilhões de litros, que representa 28,75% do volume da represa. Correspondendo a uma maior diluição do fósforo, quando o reservatório está na cota 762.

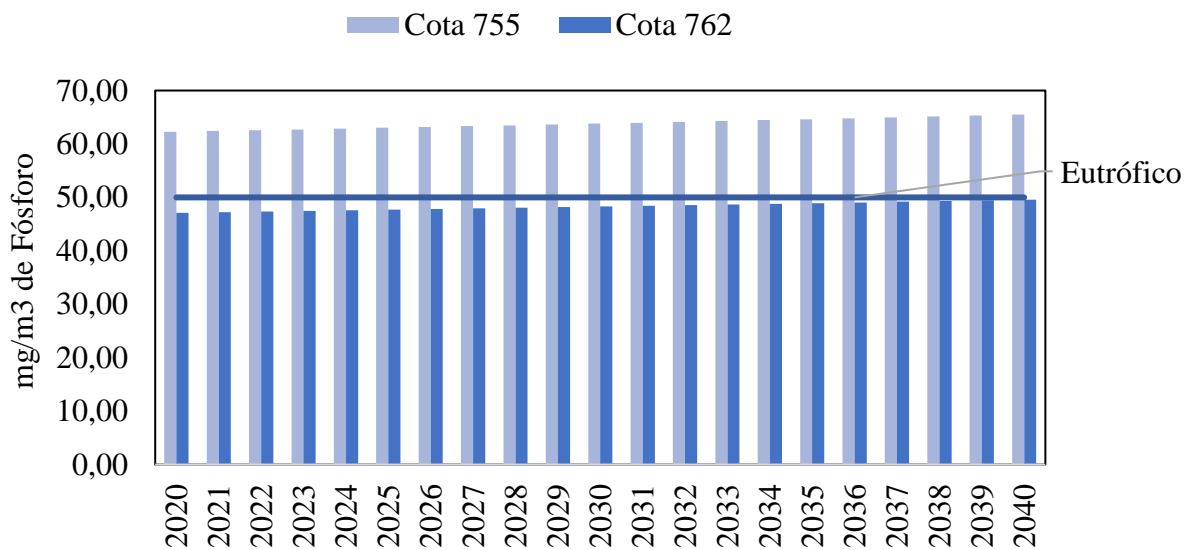
#### **5.4 Estimativa da carga e da concentração de fósforo na represa de Furnas - MG**

Na Tabela 8, observa-se que a carga de fósforo aumenta ao longo dos anos, devido ao aumento da população. A contribuição pelo escoamento superficial foi mantida constante, pois a projeção das alterações no uso e ocupação do solo é de difícil quantificação, no entanto, sugere-se que em estudos futuros, sejam criados cenários de recuperação da área vegetada para quantificação do impacto positivo que a preservação da bacia hidrográfica pode causar na qualidade da água da represa de Furnas.

A carga de fósforo, máxima admitida no limite de eutrofia (0,025 mg P/m<sup>3</sup>) segundo Von Sperling (1995) sem causar prejuízo ao reservatório foi de 931.975 kg/ano de P. Isto é, a carga média lançada por ano, entre os anos de 2020 e 2040 é 2.379.922 kg/ano de P, aproximadamente 255% a mais do que a carga que não causaria a eutrofização do corpo hídrico.

Todos os valores de concentração de fósforo obtidos, para as cotas 755 e 762, indicam que o reservatório está entre a classe de estado mesotrófico e eutrófico, pois a condição mesotrófica varia de 10 a 50 mgP/m<sup>3</sup> e a eutrófica de 25 a 100 mgP/ano (VON SPERLING, 2005), está superposição de valores se dá devido à dificuldade em estabelecer uma faixa rígida de classificação.

Gráfico 1 - Projeção da concentração de fósforo na represa de Furnas, MG nas duas cotas de nível d'água



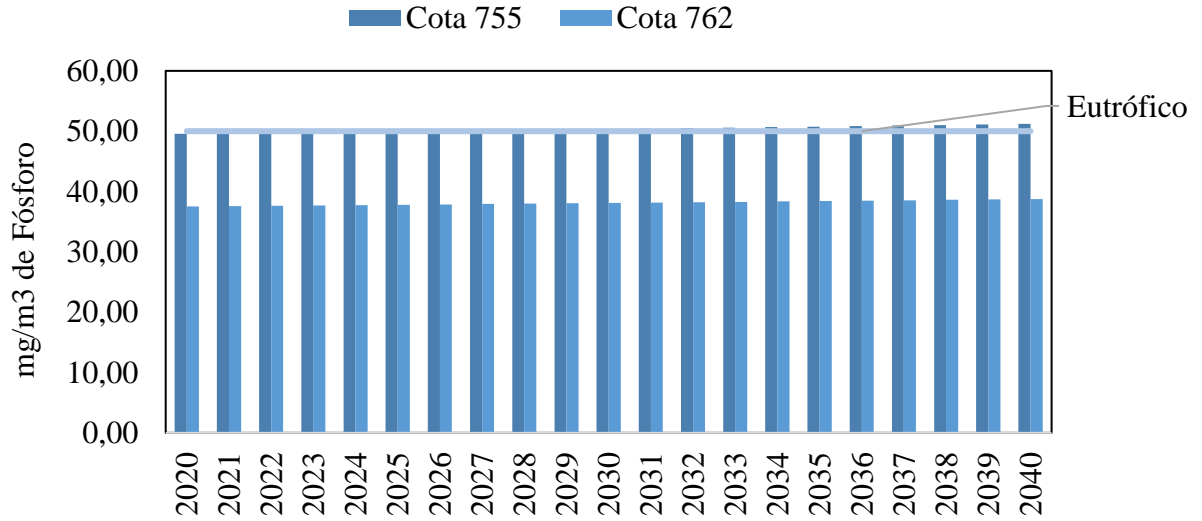
Fonte: Da Autora (2021)

Os resultados obtidos diferem do estudo de Araújo (2016), realizado para o reservatório de Rio Bonito e Suíça – ES, em uma área de 1800 km<sup>2</sup>. A autora encontrou a concentração média de fósforo de 23,06 mg/m<sup>3</sup>, caracterizando o reservatório como oligotrófico. Além das características dos reservatórios se diferirem, os modelos de análise também são diferentes. A metodologia utilizada por Araújo é o IET de Lampareli (2005), realizada por análise das amostras coletadas in loco, o que pode resultar em uma maior precisão na quantificação da carga de fósforo presente no reservatório.

### 5.5 Cenários de diferentes eficiências de remoção de fósforo pela instalação de tratamento terciário nas ETEs dos municípios da área de drenagem da represa de Furnas – MG

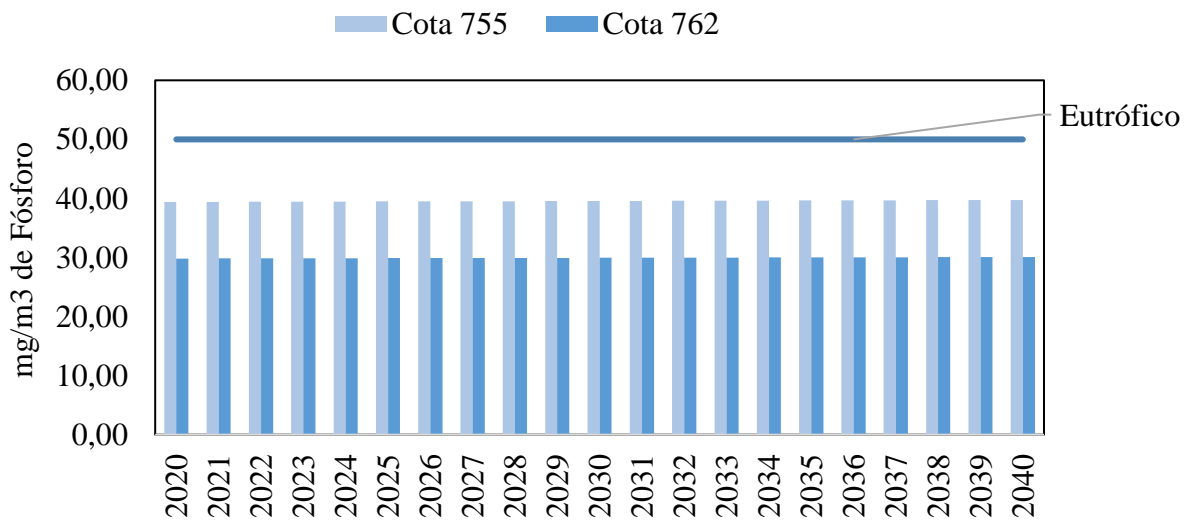
O resultado da suposição de cenários onde ocorra a remoção do fósforo em tratamento terciário está apresentado no Gráfico 2 e 3. No Gráfico 2 foi considerada uma remoção de 50% da carga de fósforo, resultando em uma melhoria ineficiente em relação à diminuição no grau de trofia, pois se manteve próximo ao nível de eutrofização. No Gráfico 3, a remoção de fósforo proposta foi de 90%, resultando em uma carga de contribuição menor, conseqüentemente em um menor grau de trofia.

Gráfico 2 – Cenário de 50% de remoção de fósforo



Fonte: Da Autora (2021)

Gráfico 3 - Cenário de 90% de remoção de fósforo



Fonte: Da Autora (2021)

A junção da remoção de 90% do fósforo no tratamento realizado pelos municípios com a escolha da cota 762, apresentou um cenário favorável à conservação da qualidade da água, no que se relaciona com o grau de trofia.



## 6 CONCLUSÃO

- O crescimento populacional impacta no aumento do grau de trofia do reservatório, entretanto, além da análise do crescimento da população, o maior impacto está na forma que o esgoto é lançado no corpo hídrico. A inexistência de tratamento, em nível terciário, para a remoção do fósforo, tem grande impacto na qualidade da água do reservatório de Furnas, levando a sua eutrofia.
- No que se refere ao uso da lógica Fuzzy para representar o peso as distâncias e o aporte de fósforo na área analisada, recomenda-se a realização de estudos com análises amostrais, para comparar a eficiência da aplicação da lógica Fuzzy.
- A respeito da variação do nível da água da represa nas cotas 755 e 762 observou-se que na cota maior, há a redução no grau de trofia, contudo, só a alteração da cota não é suficiente para evitar o ambiente propício a eutrofização do reservatório.
- Para manter a qualidade do reservatório de Furnas é necessária a união de medidas de controle de eutrofização, como melhorar o tratamento de esgoto dos municípios, manter o reservatório em uma cota que o volume consiga “absorver” a carga de fósforo lançada e realizar uma redistribuição no uso e ocupação do solo, aumentando as áreas de vegetação nativa.

## 7 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Portal da Qualidade das Águas**. 2020. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 13 nov. 2021
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Relatório ANEEL 2005**. 2005. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876457/2006\\_Relatorio2005/fee7cccf-dc50-0ee2-900e-a41e664afb56](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876457/2006_Relatorio2005/fee7cccf-dc50-0ee2-900e-a41e664afb56)> Acesso em: 10 nov. 2021
- AGOSTINHO, A. A. *et al.* Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. 2018..
- ALAGO. PDRH FURNAS - **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas: Relatório Parcial 1: Diagnóstico da Bacia Hidrográfica**. Alfenas: ALAGO. 2013a. Disponível em: <<http://www.alago.org.br/imagens/image/PDRH%20GD3%20-%20Diagn%C3%B3stico.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2021.
- BARRETO, L. *et al.* Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 16, 2013.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.. **Diário Oficial da União**. 02 nov. 1981.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361–369, 1977
- CERAN. Companhia Energética Rio das Antas. **Geração de Energia**. Disponível em: <[http://www.ceran.com.br/session/viewPage/pageId/64/language/pt\\_BR](http://www.ceran.com.br/session/viewPage/pageId/64/language/pt_BR)>. Acesso em 12 de set. 2021
- CHAPRA, S. C. **Surface Water-Quality Modeling**, McGraw-Hill, 1997
- CORDEIRO, S. F. O. *et al.* Avaliação do grau de trofia das águas do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros-GO. 2013.
- CORRÊA, R. L. Redes geográficas: reflexões sobre um tema persistente. **Revista Cidades**, v. 9, n. 16, 2012.
- CORRIVEAU, J. *et al.* Occurrence of high in-stream nitrite levels in a temperate region agricultural watershed. **Water Air Soil Pollution**, v. 206, p. 335-347. 2009.
- DE FILLIPPO, R. *et al.* As alterações na qualidade da água durante o enchimento do reservatório de UHE Serra da Mesa - GO. **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. São Paulo, FUNDIBIO, p. 321 – 346, 2007.
- ESTEVES, F. de A. Considerações sobre a aplicação da tipologia de lagos temperados a lagos tropicais. **Acta Limnológica Brasiliensia** 2: 3-28, 1988
- FERNANDES, L. F. *et al.* Comunidades fitoplanctônicas em ambientes lênticos. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba, Sanepar-Finep, p. 305-366, 2005.

FERRÃO, A.; POZZER, C. O ordenamento territorial no entorno do Lago de Furnas em Minas Gerais: a bacia hidrográfica como unidade de planejamento regional. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 0, n. 13, p. 147–176, 30 jun. 2018.

FREITAS, M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

GONÇALVES JUNIOR, A. C. *et al.* Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em Latossolo Vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, v. 23, p. 173-177, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Amazônia Legal. **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

IGAM. **Comitê de Bacia Hidrográfica de Furnas**. 2021 Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg/gd3-cbh-entorno-do-reservatorio-de-furnas>> Acesso em: 10 nov. 2021

KOIFMAN, S. Electric power generation and transmission: the impact on indigenous peoples in Brazil. **Cadernos de saude publica**, v. 17, p. 413-423, 2001.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2004.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2018.

MITCHELL, G. Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning. **Journal of Environmental Management**, v. 74, n. 1, p. 1-9, 2005.

PANZERA, A. C.; GOMES, A. E. Q.; MOURA, D. G. Impactos ambientais da produção de energia elétrica, Educação Ambiental. Centro de Referência Virtual do Professor - SEE-MG. 2010.

PEREIRA, P. S. *et al.* Avaliação da influência do fósforo e do nitrogênio no processo de eutrofização de grandes reservatórios. Estudo de caso: Usina Hidrelétrica Foz do Areia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, pág. 43-52, 2013.

PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M. (ed.). **Hidrologia ambiental**. São Paulo, SP, Brasil: ABRH: EDUSP, 1991.

RANGEL-PERAZA, J. G. *et al.* Statistical assessment of water quality seasonality in large tropical reservoirs. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 14, n. 4, p. 315-323, 2009.

REBOITA, M. S. *et al.* Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, v.25, n.3, p.341-350, 1991.

SANTOS, B. de S. Modernidade, identidade a cultura de fronteira. **Tempo social**, v. 5, p. 31-52, 1993.

SCARLATO, F. C.; PONTIN, J. A. **Do Nicho ao Lixo: ambiente, sociedade e educação**. São Paulo: Atual Editora, 2006.

SMAHA, N.; GOBBI, M. F. Implementação de um modelo para simular a eutrofização do Reservatório do Passaúna-Curitiba-PR. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p. 59-69, 2003.

SODRÉ, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. **Agricultura**, v. 1, n. 2o, p. 3o, 2012

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control**. Harper & Row Publishers, 1987.

TOLEDO, A. P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1983. P. 1-34.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: ISO 14000**. 5º ed. São Paulo: SENAC, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3º ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1, 2005.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – Tabela de projeção populacional por município

| <b>Cidades</b>     | <b>População 2010<br/>(habitantes)</b> | <b>População 2020<br/>(habitantes)</b> | <b>População 2040<br/>(habitantes)</b> |
|--------------------|--|--|--|
| Aguanil            | 4054                                   | 4614                                   | 5977                                   |
| Alfenas            | 73774                                  | 81285                                  | 98679                                  |
| Alpinópolis        | 18488                                  | 20070                                  | 23650                                  |
| Alterosa           | 13717                                  | 14500                                  | 16204                                  |
| Areado             | 13731                                  | 15419                                  | 19442                                  |
| Boa Esperança      | 38516                                  | 40014                                  | 43187                                  |
| Botelhos           | 14920                                  | 14741                                  | 14390                                  |
| Cabo Verde         | 13823                                  | 13920                                  | 14115                                  |
| Camacho            | 3154                                   | 2816                                   | 2244                                   |
| Campestre          | 20686                                  | 20820                                  | 21090                                  |
| Campo Belo         | 51544                                  | 54014                                  | 59315                                  |
| Campo do Meio      | 11476                                  | 11516                                  | 11597                                  |
| Campos Gerais      | 27600                                  | 28701                                  | 31037                                  |
| Cana Verde         | 5589                                   | 5515                                   | 5370                                   |
| Candeias           | 14595                                  | 14730                                  | 15004                                  |
| Capitólio          | 8183                                   | 8655                                   | 9681                                   |
| Carmo do Rio Claro | 20426                                  | 21144                                  | 22658                                  |

|                               |               |               |                |
|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Conceição da<br>Aparecida     | 9820          | 10289         | 11297          |
| Congonhal                     | 10468         | 12558         | 18072          |
| Coqueiral                     | 9289          | 8977          | 8384           |
| Córrego Fundo                 | 5790          | 6473          | 8091           |
| Cristais                      | 11286         | 13382         | 18816          |
| Divisa Nova                   | 5763          | 5996          | 6491           |
| Elói Mendes                   | 25220         | 28981         | 38270          |
| Espírito Santo do<br>Dourado  | 4429          | 4713          | 5337           |
| Fama                          | 2350          | 2347          | 2341           |
| Formiga                       | 65128         | 67427         | 72273          |
| Guapé                         | 13872         | 14129         | 14656          |
| Guaxupé                       | 49430         | 51946         | 57368          |
| Ilicínea                      | 11488         | 12531         | 14909          |
| Ipuiúna                       | 9521          | 10119         | 11431          |
| Itapecerica                   | 21377         | 21520         | 21809          |
| Juruáia                       | 9238          | 11112         | 16078          |
| Machado                       | 38688         | 42915         | 52807          |
| Monte Belo                    | 13061         | 12980         | 12821          |
| Muzambinho                    | 20430         | 20272         | 19960          |
| Nepomuceno                    | 25733         | 26677         | 28672          |
| Nova Resende                  | 15374         | 17020         | 20860          |
| Paraguaçu                     | 20245         | 21638         | 24717          |
| Perdões                       | 20087         | 21535         | 24753          |
| Pimenta                       | 8236          | 8670          | 9607           |
| Poço Fundo                    | 15959         | 16813         | 18662          |
| Santa Rita de Caldas          | 9027          | 8783          | 8314           |
| Santana da Vargem             | 7231          | 6952          | 6426           |
| São João Batista do<br>Glória | 6887          | 8887          | 14799          |
| São João da Mata              | 2731          | 2710          | 2669           |
| São José da Barra             | 6778          | 7326          | 8558           |
| São Pedro da União            | 5040          | 4521          | 3639           |
| Serrania                      | 7542          | 7580          | 7657           |
| Três Pontas                   | 53860         | 56854         | 63349          |
| <b>Total</b>                  | <b>895654</b> | <b>945699</b> | <b>1067533</b> |

**Fonte: Da Autora (2021)**

APÊNDICE B - Tabela da Projeção da concentração de fósforo na represa de Furnas, MG nas duas cotas de nível d'água

| Ano  | Cota 755                | Grau de trofia | Cota 762                | Grau de trofia        |
|------|-------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
|      | P (mgP/m <sup>3</sup> ) |                | P (mgP/m <sup>3</sup> ) |                       |
| 2020 | 62,28                   | Eutrófico      | 47,14                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2021 | 62,43                   | Eutrófico      | 47,25                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2022 | 62,57                   | Eutrófico      | 47,37                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2023 | 62,72                   | Eutrófico      | 47,48                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2024 | 62,87                   | Eutrófico      | 47,59                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2025 | 63,02                   | Eutrófico      | 47,71                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2026 | 63,18                   | Eutrófico      | 47,82                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2027 | 63,33                   | Eutrófico      | 47,94                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2028 | 63,49                   | Eutrófico      | 48,06                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2029 | 63,65                   | Eutrófico      | 48,18                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2030 | 63,81                   | Eutrófico      | 48,30                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2031 | 63,97                   | Eutrófico      | 48,42                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2032 | 64,14                   | Eutrófico      | 48,55                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2033 | 64,30                   | Eutrófico      | 48,67                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2034 | 64,47                   | Eutrófico      | 48,80                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2035 | 64,64                   | Eutrófico      | 48,93                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2036 | 64,81                   | Eutrófico      | 49,06                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2037 | 64,98                   | Eutrófico      | 49,19                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2038 | 65,16                   | Eutrófico      | 49,32                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2039 | 65,33                   | Eutrófico      | 49,45                   | Mesotrófico/Eutrófico |
| 2040 | 65,51                   | Eutrófico      | 49,59                   | Mesotrófico/Eutrófico |

Fonte: Da Autora (2021)

APÊNDICE C – Tabela do cenário de remoção de fósforo

| Ano  | Cota 755                                 |  | Cota 762                                 |  |
|------|--|--|--|--|
|      | 50% de remoção de P (mg/m <sup>3</sup> ) | 90% de remoção de P (mg/m <sup>3</sup> ) | 50% de remoção de P (mg/m <sup>3</sup> ) | 90% de remoção de P (mg/m <sup>3</sup> ) |
| 2020 | 49,58                                    | 39,41                                    | 37,53                                    | 29,84                                    |
| 2021 | 49,65                                    | 39,43                                    | 37,58                                    | 29,85                                    |
| 2022 | 49,72                                    | 39,44                                    | 37,64                                    | 29,86                                    |
| 2023 | 49,80                                    | 39,46                                    | 37,70                                    | 29,87                                    |
| 2024 | 49,87                                    | 39,47                                    | 37,75                                    | 29,88                                    |
| 2025 | 49,95                                    | 39,49                                    | 37,81                                    | 29,89                                    |
| 2026 | 50,03                                    | 39,50                                    | 37,87                                    | 29,90                                    |
| 2027 | 50,10                                    | 39,52                                    | 37,93                                    | 29,92                                    |
| 2028 | 50,18                                    | 39,54                                    | 37,99                                    | 29,93                                    |
| 2029 | 50,26                                    | 39,55                                    | 38,05                                    | 29,94                                    |

|      |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 2030 | 50,34 | 39,57 | 38,11 | 29,95 |
| 2031 | 50,42 | 39,58 | 38,17 | 29,96 |
| 2032 | 50,50 | 39,60 | 38,23 | 29,98 |
| 2033 | 50,59 | 39,62 | 38,29 | 29,99 |
| 2034 | 50,67 | 39,63 | 38,36 | 30,00 |
| 2035 | 50,76 | 39,65 | 38,42 | 30,01 |
| 2036 | 50,84 | 39,67 | 38,48 | 30,03 |
| 2037 | 50,93 | 39,68 | 38,55 | 30,04 |
| 2038 | 51,01 | 39,70 | 38,62 | 30,05 |
| 2039 | 51,10 | 39,72 | 38,68 | 30,07 |
| 2040 | 51,19 | 39,74 | 38,75 | 30,08 |

---

**Fonte: Da Autora (2021)**

