

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**MODELAGEM DO NÍVEL DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA  
BARRAGEM DE JURAMENTO, MG**

**SÉRGIO LUIZ SARAIVA DOS REIS**



**Sérgio Luiz Saraiva dos Reis**

**MODELAGEM DO NÍVEL DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DE  
JURAMENTO, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Dsc. Prof. Edson de Oliveira Vieira

Montes Claros, MG

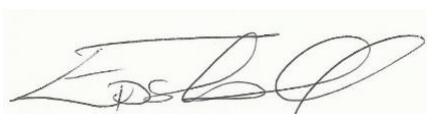
2021

Sérgio Luiz Saraiva dos Reis, MODELAGEM NO NÍVEL DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM DE JURAMENTO, MG.

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Professora Júlia Ferreira da Silva - ICA/UFMG

Professor Sidney Pereira- ICA/UFMG

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edson', is centered on a light yellow rectangular background. The signature is written in a cursive style with a large initial 'E'.

\_\_\_\_\_  
Professor Edson de Oliveira Vieira - Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 10 de março 2021

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria Nelha Saraiva dos Reis (Ninha) e Sérgio Saraiva dos Reis, à minha irmã Maria Luiza (Malu), à toda minha família e amigos que contribuíram e me incentivaram para que a entrega do mesmo fosse possível. Muito obrigado.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, agradeço por todo conhecimento, por todas as pessoas e amigos que tiveram início em seus domínios.

Ao Grupo de Estudos em Recursos Hídricos no Semiárido –GERHISA, eu agradeço pela oportunidade de fazer parte da equipe, podendo realizar pesquisas, trabalhos científicos, pelos cafés da manhã coletivos em comemoração da nova cafeteria etc.

Ao professor Edson de Oliveira Vieira, obrigado pela orientação, paciência e cobranças que garantiram que fosse possível entregar esse trabalho.

À Karla Danielle e Maria Isabel, amigas e companheiras de GERHISA, sou grato pela colaboração e ajuda com as pesquisas, organização de dados e interpretação dos resultados. Obrigado pela paciência e inúmeras horas destinadas a pesquisa do trabalho.

À Copasa, muito obrigado pelos dados dispostos que foram essenciais para a realização do trabalho.

À Consultoria e Projetos Agrícolas e Ambientais Júnior – CPAA Jr, meus sinceros agradecimentos pela oportunidade de fazer parte dessa grande família onde todos se entendem e buscam como objetivo comum elevar o nível da empresa. A experiência que vivi durante os anos de serviço prestado são impossíveis de descrever. Obrigado!

Aos professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, aos profissionais que tive contato durante minha graduação, muito obrigado pela colaboração em minha aprendizagem.

Ao professor Theles e ao Rogério, obrigado pela oportunidade e ajuda quanto às monitorias de Física. Ser monitor foi um grande marco na minha vida, com toda certeza eu consegui aprender bastante. Aprendi a me dedicar, aprendi a perseverar, aprendi a não desistir, aprendi a ter paciência, e de certa forma aprendi a ensinar.

## RESUMO

A água é um bem universal, essencial para a vida, deve ser disponibilizada aos seres humanos em sua forma potável para consumo, além de ser fundamental para as indústrias. Os modelos estatísticos de previsão são muito utilizados para a gestão nos setores de comércio, pois a partir deles é possível prever a demanda por um produto em uma determinada época do ano. Para a utilização de tais modelos, algumas questões devem ser atendidas, entre elas uma base de dados temporais representativa, cuja sazonalidade seja observada. Alinhado ao crescimento populacional dos grandes centros, as alterações climáticas, sobretudo as baixas precipitações estão contribuindo de forma significativa para a redução do volume disponível da barragem de Juramento, MG, que é destinada a suprir a necessidade hídrica da cidade de Montes Claros. Com a finalidade de auxiliar no processo de tomada de decisão do órgão gestor, este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de predição dos níveis de água no reservatório da barragem do Juramento, MG utilizando os modelos de previsão estatísticos Winter, Holt-Winters aditivo e multiplicativo. Para a previsão da cota da barragem, foi utilizado o MS Excel, onde os dados foram organizados em tabelas e montadas as equações referentes a cada modelo. A partir dos resultados, foram analisadas a Média do Quadrado dos Erros (MSE), Média Absoluta dos Erros (MAD) e a Média Percentual Absoluta dos Erros (MAPE), sendo o modelo selecionado aquele que apresentou o menor valor para as abordagens dos parâmetros analisados, obtendo melhor previsão. Dessa forma, o modelo de Holt- Winters aditivo obteve maior qualidade de previsão, sendo validado pela comparação entre os valores de erro.

**Palavras-chave:** Cota do Reservatório, Gestão da água, Racionamento de água, Modelos-previsão estatística, Análise de erros.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Cota do Reservatório da Barragem de Juramento entre os anos de 1992 a 2020.....	12
Figura 2- Organização da série temporal de dados.....	14
Figura 3- Localização da Barragem de Juramento .....	19
Figura 4- Previsão da Cota do Reservatório pelo modelo Winter.....	22
Figura 5- Previsão da Cota do Reservatório pelo modelo de Holt- Winters aditivo.....	23
Figura 6- Previsão da Cota do Reservatório pelo modelo de Holt- Winters multiplicativo.....	24

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

COPASA - Companhia de Abastecimento e Saneamento de Minas Gerais

HWa -Holt-Winters aditivo

HWm -Holt-Winters multiplicativo

W -Winter



## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1 Cidade de Montes Claros .....	11
2.2 Reservatório da Barragem de Juramento, MG .....	11
2.3 Medidas Mitigadoras para Gestão das Águas em Montes Claros .....	12
2.4 Série de Dados Temporais.....	13
2.5 Previsão de Valores: Atributos e Precisão .....	14
2.6 Modelos Estatísticos de Previsão .....	15
2.6.1 Modelo Winter .....	15
2.6.2 Modelo Holt- Winters .....	16
2.7 Validação dos Modelos de Previsão.....	18
<b>3.MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é considerada um bem universal, devendo ser acessada por todos os seres vivos. Essencial para a vida, a água deve ser disponibilizada aos seres humanos em sua forma potável para consumo, e atividades como agricultura e dessedentação animal necessitam de água tratada.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a faixa de consumo desse recurso por pessoa, em um dia, está entre 50 a 100 litros, valores que podem aumentar em países com mais investimento para tratamento de água e desenvolvidos, e diminuir em países com recursos limitados (MACHADO *et al.*, 2016).

No ano de 2014, a OMS chegou a resultados onde cerca de 750 milhões de pessoas ao redor do mundo não possuíam acesso à água potável. Além disso, a recomendação é que a fonte hídrica para abastecimento não deve ficar a mais de 1000 metros da residência (JACOBI *et al.*, 2016; MACHADO *et al.*, 2016).

O uso de recursos hídricos, nos centros urbanos, em sua maioria, tem por finalidade suprir as necessidades do consumo humano e o uso industrial. Quando se fala do uso de tal recurso, deve-se pensar desde a sua captação até sua distribuição, e nesse percurso, a água pode sofrer alterações (contaminações) que restrinjam ou impeçam o seu uso (SOUZA *et al.*, 2014).

Quando um corpo hídrico é responsável pelo abastecimento de uma cidade, o mesmo deve atender as demandas da população e da indústria, e para isso, uma série de permissões devem ser realizadas junto aos órgãos ambientais. A finalidade dessas permissões é a garantia do pleno uso do recurso de forma consciente e não prejudicial ao ambiente. Com o objetivo de assegurar as qualidades físico-químicas da água, no ano de 1997 foi instituída a lei federal 9.433- Política Nacional de Recursos Hídricos.

Ao longo da história, o Brasil passou de um país rural para um país urbano, onde a grande massa da população ocupa os grandes centros. A busca pelos grandes centros pode ser atribuída a diversos fatores, entre eles: acesso à educação, facilidade com saúde, procura por empregos etc. Esse grande adensamento populacional fez com que fossem necessários planos para distribuição e abastecimento dos recursos hídricos.

O abastecimento das cidades normalmente é feito através de algum corpo hídrico em suas proximidades, mas quando isso não ocorre, ou o volume do corpo hídrico é insuficiente para atender a demanda da população, são construídos barragens ou represas.

É de conhecimento geral que os índices pluviométricos interferem no volume total do barramento, já que a água das precipitações que caem na bacia da barragem ou dos rios que a abastecem são as responsáveis por elevar o volume de água.

O objetivo das companhias gestoras de água das cidades é, além de garantir a plena distribuição de água potável e saneamento básico para a população, garantir que o volume de água que chega nas residências seja o suficiente para dessedentação, alimentação e higiene pessoal. Entretanto, quando o crescimento populacional é elevado, a água disponível pode ser insuficiente para a população.

Em grandes cidades como São Paulo, por exemplo, medidas de preservação e distribuição de água já vem sendo discutidas há anos. Entre essas medidas de garantia de distribuição de água, discutia-se o racionamento e até obras com o objetivo de captar água à grandes distâncias e leva-la ao centro urbano (BERTOLO *et al.*, 2015).

Problemas relacionados à crise hídrica podem ser explicados por dois fatores principais: fatores climáticos, os quais o ser humano não possui controle; e fatores antrópicos, relacionados às grandes construções, alterações no ambiente, e sobretudo em tomada de decisão.

Quando se fala em tomada de decisão devemos pensar em um contexto geral. O órgão gestor utiliza como embasamento para tais decisões “*n*” dados e informações que são julgados importantes e relevantes, que de alguma forma possam contribuir para uma decisão mais assertiva. Pensando nisso, pode-se afirmar que quanto mais informações se possuem sobre uma região e/ou empreendimento, melhor e mais fácil será chegar em uma decisão que atenda a demanda do mesmo.

O fornecimento de água deve ser constante, e nenhuma porção da população pode ficar sem receber tal recurso. Dessa forma, o órgão responsável pela distribuição de água da cidade de Montes Claros, MG implementou o sistema de rodízio para os meses em que a barragem atingisse volume crítico. Sabendo da sazonalidade dos dados relacionados ao volume da barragem, em qual mês deve se iniciar o rodízio? É possível avisar a população com antecedência? A partir desses questionamentos, faz-se possível o desenvolvimento de atividades que possam melhor contribuir com a gestão da água.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de predição dos níveis de água no reservatório da barragem do Juramento, utilizando os modelos de previsão estatísticos Winter, Holt-Winters aditivo e multiplicativo.

Com a definição do modelo que melhor se adequa à situação, e já pensando na cota prevista, a abordagem dos dados será capaz de:

- Auxiliar na tomada de decisões do órgão competente;
- Avisar a população de forma prévia sobre o início do racionamento de água;
- Servir como referência de futuros trabalhos com a mesma abordagem.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Cidade de Montes Claros**

A cidade de Montes Claros encontra-se na região Norte do estado de Minas Gerais. Montes Claros é, segundo o último censo demográfico do IBGE no ano de 2011, a 6º cidade mais populosa do estado de Minas Gerais, sendo a mais populosa da região Norte. Segundo o próprio IBGE, a população montesclarensense possui uma previsão de aumento de 13,1% até o ano de 2019, podendo chegar à 409.341 habitantes fixos (IBGE, 2020).

Com o crescimento populacional diversos centros urbanos viram-se com a obrigação de planejar o abastecimento da sua população. Não diferente, a cidade de Montes Claros teve que planejar uma forma de atender a demanda de sua população. A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) é a responsável pelo abastecimento hídrico e o esgoto da cidade.

### **2.2 Reservatório da Barragem de Juramento, MG**

A barragem de Juramento foi inaugurada no ano de 1981, na cidade Norte Mineira de Juramento. O objetivo da barragem é o abastecimento hídrico da maior parte da população da cidade de Montes Claros.

A distância entre a barragem e o perímetro urbano da cidade abastecida por ela é de 27 km, possuindo área inundada 7,63 km<sup>2</sup> e volume aproximado de 20.901.801 m<sup>3</sup> (DABES *et al*, 2008).

Quando relacionada com a atual crise hídrica que a região norte mineira enfrenta, em que as chuvas não estão chegando a média histórica da cidade (900 mm), a barragem de Juramento vem apresentando volume disponível cada vez mais reduzido, visto que a recarga de sua bacia vem sendo comprometida.

A precipitação observada em Montes Claros para o ano de 2019 foi de 660 mm, que corresponde a 69,34% da média de precipitação entre janeiro de 1992 até dezembro de 2014 (INMET,2020).

Uma análise de dados histórica permite observar que a cota do reservatório da barragem de Juramento vem reduzindo ao longo dos anos. A cota é uma informação muito importante,

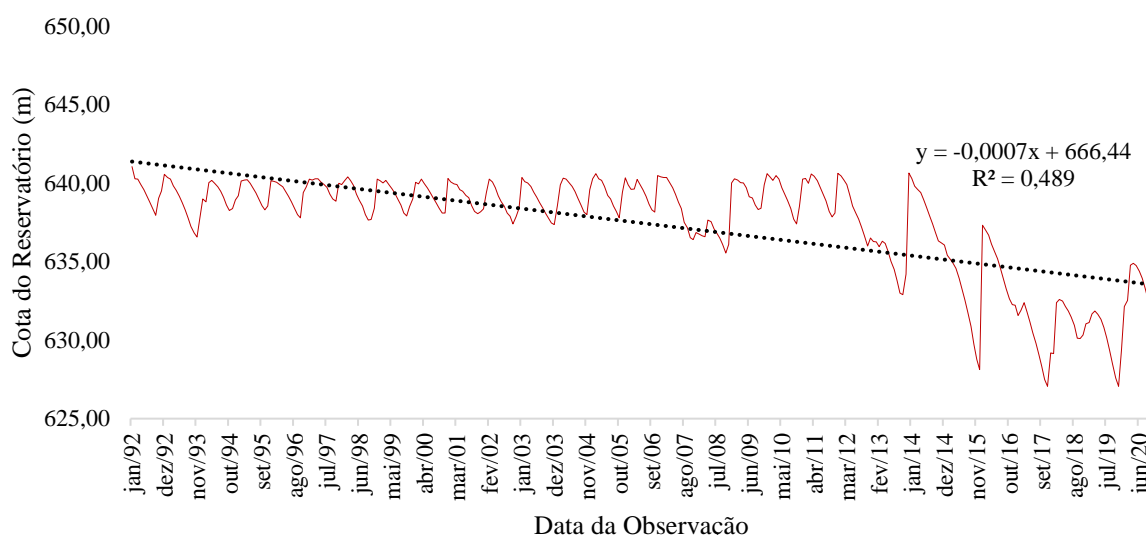
pois a partir dela e com o auxílio da equação Cota x Volume da barragem (1), é possível obter o volume disponível.

Para a barragem de Juramento, tal curva foi disponibilizado pelo órgão gestor. A partir da curva, e com os valores previstos de cota, será possível obter resultados de previsão do volume da barragem substituindo a variável na seguinte equação:

$$\text{Volume do Reservatório} = 17011,38346 \times (\text{cota} - 616,50)^{2,488872} \quad (1)$$

A Figura 1, nos mostra a cota mensal no reservatório da barragem do ano de janeiro de 1992 a junho de 2020. Nela, pode-se perceber que a redução da cota teve sua maior queda a partir do ano de 2013.

Figura 1- Cota do Reservatório da Barragem de Juramento entre os anos de 1992 a 2020



Fonte: Copasa.

### 2.3 Medidas Mitigadoras para Gestão das Águas em Montes Claros

Devido ao crescimento populacional da cidade de Montes Claros, bem como à estiagem, algumas táticas de preservação da água vêm sendo utilizadas (medidas mitigadoras), entre elas, o racionamento de água.

O racionamento de água nada mais é que um rodízio de abastecimento hídrico entre os bairros da cidade de Montes Claros, em que a água fica disponível por um tempo pré-estabelecido garantindo a manutenção de atividades relacionadas ao consumo de água como alimentação, dessedentação, etc. (BERTOLO *et al.*, 2015).

Tal medida serve para salientar cada vez mais a importância de pesquisas que visam contornar a atual situação hidrológica, pois além do conhecimento gerado por elas, uma das consequências será o aumento da qualidade de vida da população local.

## **2.4 Série de Dados Temporais**

Para a determinação de modelos de previsão de dados futuros, torna-se necessário a obtenção de uma série de dados no passado, série temporal de dados. Uma série de dados temporais é definida como determinados parâmetros observados e anotados em um espaço de tempo pré-definidos, ou seja, dados que foram coletados e armazenados. Esses dados serão utilizados para a modelagem e obtenção de parâmetros para os modelos de previsão. Pode-se afirmar que uma quantidade maior de dados auxilia mais no processo de previsão (CARVALHO, 2019; SILVA, 2008).

Os modelos de previsão estatísticos são amplamente utilizados em diversos setores, sobretudo no setor financeiro e administrativo, em que podem prever desde controle de estoque de produtos até planejamento de recursos monetários de empresas. O funcionamento de tal modelo é dependente da sua série temporal, em que o mesmo é indicado para dados que possuem sazonalidade (PELLEGRINI & FOGLIATTO, 2000; FRANCO *et al.*, 2019).

Os dados temporais não representam apenas aspectos estáticos de uma determinada observação, além disso, pode-se observar a dinâmica das informações, fazendo com que assim seja possível uma tomada de decisão mais coerente com o desejado pelo executor (EDELWEISS, 1998).

Uma boa previsão, seja de demanda, volume, quantidade de equipamentos entre outros, deve levar em consideração alguns atributos, entre eles a natureza do problema, a representatividade dos dados e a sazonalidade em relação aos dados e escolha dos modelos a serem utilizados (DE AZEREDO BARROS *et al.*, 2012b).

De modo geral, quando se trata de série temporal de dados, deve-se garantir que os mesmos atendam às necessidades de quem irá utilizá-los, e que, além disso, o volume de dados disponível seja o suficiente para uma tomada de decisões que seja coerente e assertiva.

A Figura 2, apresentada a seguir, mostra como os dados fornecidos pela Copasa foram organizados, formando assim uma série temporal de dados sólida contribuindo para que os métodos de predição sejam mais precisos. Na figura em questão, é mostrado os dados iniciais, começando pelo ano de 1991. Vale ressaltar que a tomada de dados continuou até o ano de 2020.

Figura 2- Organização da série temporal de dados.

	A	B	C	D
1	Análise de Dados Para Previsão do Nível do Volume do Reservatório da Barragem de Juramento, MG			
2	Dados do Reservatório			
3	Z	Date	Level(m)	
4	1	jul/91	638,78	
5	2	ago/91	638,28	
6	3	set/91	637,87	

Fonte: Copasa.

### 2.5 Previsão de Valores: Atributos e Precisão

A possibilidade de utilizar os modelos estatísticos de previsão em outros setores é muito real, pois, desde que atendam alguns princípios, como sazonalidade, tendências específicas, a previsão pode ser validada através de valores dos erros.

Previsões que alcancem valores 100% precisos são praticamente impossíveis, visto a grande quantidade de variáveis atribuídas aos demais processos. Porém, ferramentas que auxiliem na gestão e tomada de decisões são indispensáveis para o planejamento de ações (DINIZ *et al.*, 2019).

Braga (2019), afirma que os erros de previsão são uma certeza de todo processo de previsão. Tal erro pode ser encontrado através da diferença entre o módulo entre a subtração do valor previsto com o valor real (erro absoluto). O autor ainda ressalta que se o modelo gerar resultados com erros elevados, o modelo não é indicado para a previsão da situação estudada.

Quanto maior for o período de previsão, maior poderá ser os valores encontrados para os erros. Tal fato pode ser comprovado pela variabilidade de informações que podem acontecer durante o período, dependendo do tipo de dado a ser trabalhado (BRAGA, 2019).

Com isso, quando se pensa em previsões, nem sempre um volume grande de variáveis irá condizer com resultados mais próximos da realidade, fato que pode ser explicado pelo erro gerado através de cada parâmetro. Uma forma de lidar com esses erros é a redução da quantidade de variáveis, o que poderá culminar em valores mais assertivos.

## 2.6 Modelos Estatísticos de Previsão

Os modelos estatísticos de previsão, que são amplamente utilizados em setores da economia para predição de estoque e gastos, podem ser utilizados por outros ramos desde que apresentem sazonalidade e tendência.

Existem diversos modelos de previsão estatísticos, e entre eles não se pode apontar um que seja o mais preciso, e sim um que mais se adeque a determinadas situações. De Azeredo Barros *et al.*, (2012b), utilizou dos modelos de Holt- Winters aditivo e multiplicativo para previsão da produção de água na grande Goiânia, pois os dados obtidos atendiam aos fatores de tendência e sazonalidade, que são determinantes para predição.

A escolha dos modelos para predição da cota da barragem foi baseada no trabalho publicado por De Azeredo Barros *et al.*, (2012b), Holt- Winters aditivo e multiplicativo, que são complexos comparados aos demais. Para confrontar os modelos escolhidos anteriormente, o modelo de Winter também foi escolhido por ser um modelo mais simples e também eficaz.

### 2.6.1 Modelo Winter

O modelo de previsão Winter é recomendado quando os índices variam ao longo do tempo, sendo considerado como um modelo dinâmico de previsão. Tal modelo é considerado prático e de larga utilização em casos em que os índices são variáveis (PEINADO & GRAEML, 2007).

O modelo de Winter depende da Tendência (2), e da Ciclicidade (3) da série de dados utilizados. Para cálculo, são utilizadas as equações 2 e 3:

$$Tendência = -0,0007 \times cota + 666,44 \quad (2)$$

$$Ciclicidade = \frac{Valor Real}{Tendência} \quad (3)$$

A equação da Tendência é a equação da linha de tendência dos valores observados da cota do reservatório entre os anos de 1992 a 2020.

A equação de previsão, é usada a equação 4:

$$Valor Previsto = Tendência \times Ciclicidade \quad (4)$$



Porém, o fato de a previsão ser dependente da Tendência e Ciclicidade, faz com que a ciclicidade para os valores de previsão seja encontrada de forma diferente, conforme a equação 5:

$$Ciclicidade = \frac{\sum X_{nn}}{n} \quad (5)$$

Em que:  $X_{nn}$  são os valores que atendam a mesma faixa de representatividade (valores médios para o mês de janeiro do ano de 1992, somados ao valor médio do mês de janeiro de 1993, etc); e  $n$  é a quantidade de valores somados.

### 2.6.2 Modelo Holt- Winters

O modelo de Holt-Winters pode ser visto como um suavizador de dados, pois conta com parâmetros específicos para tal finalidade. Os parâmetros para suavização são: nível, tendência e sazonalidade (SILVA *et al.*, 2016).

Azeredo Barros *et al* (2012b), utilizaram do método de Holt-Winters para prever a produção de água das proximidades da cidade de Goiânia- GO, para isso, foram observadas os dados, e os mesmos atendiam a sazonalidade e a tendência linear. Azeredo Barros e De Menezes (2012a), concluíram que a utilização do modelo de previsão estatística pode auxiliar no planejamento e gestão do recurso hídrico da grande Goiânia, podendo prever até qual data a barragem terá condições de manter a população. Outro parâmetro analisado foi o aumento populacional, em que, segundo o autor, com a capacidade máxima, a barragem manterá a região até o ano de 2024.

#### 2.6.2.1 Holt- Winters aditivo

O método Holt-Winters aditivo (HWA) leva em consideração mais parâmetros que Winter. Ele considera o nível da série, a tendência, a sazonalidade e além disso três fatores de suavização: alfa, beta e gama (GEMAEL, 1994).

Para o cálculo dos parâmetros HWA são utilizadas as equações 6, 7, 8 e 9:

$$L_t = \alpha(x_t - S_t - s) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (6)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (7)$$

$$S_t = \gamma(x_t - L_t) + (1 - \gamma)S_t - s \quad (8)$$

$$X_{t+k} = L_t + kT_t + S_t - s + k \quad (9)$$

Em que:

$L_t$  é a componente de nível;

$T_t$  é a componente de tendência;

$S_t$  é a componente de sazonalidade;

$S$  é o período sazonal;

$H$  é o horizonte de previsão;

$X_{t+k}$  é a previsão.

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  variam entre 0 e 1, e têm por finalidade suavizar e reduzir os erros de previsão. Os parâmetros alfa, beta e gama são relacionados ao nível, à tendência e à sazonalidade do conjunto de dados, respectivamente. A sua definição é feita através da soma dos quadrados dos erros dos resultados de previsão.

### 2.6.2.2 Holt- Winters multiplicativo

O modelo Holt-Winters multiplicativo (HWm), assim como o aditivo leva em consideração mais parâmetros que o método Winter, além de relacionar alfa, beta e gama para suavizar e reduzir os erros da previsão.

As equações 10, 11, 12 e 13 são utilizadas por Holt-Winters multiplicativo:

$$L_t = \alpha(x_t/S_t - s) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (10)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (11)$$

$$S_t = \gamma(x_t/L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (12)$$

$$Y_{t+k} = (L_t + nT_t)S_{t-s + \text{mod}(n-1, s)} + 1 \quad (13)$$

Em que:

$L_t$  é a componente de nível;

$T_t$  é a componente de tendência;

$S_t$  é a componente de sazonalidade;

$S$  é o período sazonal;

$H$  é o horizonte de previsão;

$Y_{t+k}$  é a previsão.

Os parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  variam entre 0 e 1, e têm por finalidade suavizar e reduzir os erros de previsão do modelo estatístico. A definição é feita utilizando o mesmo método do modelo aditivo de Holt-Winters.

Para a previsão, Braga (2019), sugere alguns passos importantes: i- objetivo do desenvolvimento do trabalho, definir a variável resposta do projeto; ii- alinhar dados, nesse

tópico deve-se buscar os dados junto aos órgãos competentes que serão utilizados na modelagem; iii- organização de dados, a partir da organização serão feitas as primeiras análises dos dados e averiguados se seguem os parâmetros necessários; iv- definição de modelos de previsão, onde posterior a análise dos dados serão definidos os possíveis modelos de previsão; v- previsão futura, onde depois de organizar os dados e aplicar as formulações estatísticas e matemáticas serão obtidas as variáveis resposta; e vi- análise dos resultados, onde serão realizados a abordagem dos erros de previsão e definidos o melhor modelo.

De forma geral, não existe um modelo estatístico de previsão considerado mais eficiente que os outros, existem modelos de previsão que podem atender melhor às necessidades demandadas em cada situação. E para a definição de qual modelo utilizar, devem ser realizadas as previsões e, a partir da comparação entre os valores Reais x Valores previstos, definir o mais preciso.

## 2.7 Validação dos Modelos de Previsão

Diversos modelos de previsão podem chegar a resultados diferentes para uma mesma situação, mas o que faz com que um dos modelos seja melhor recomendado para a situação em específico será a análise dos seus erros (LIMA, 2015).

De forma usual, o erro é representado pela diferença entre o valor real com o valor previsto. O grande impasse para tal erro é que os valores podem ser tanto positivos quanto negativos, o que ao final pode resultar em uma anulação dos erros podendo mascarar uma conclusão mais coerente para as previsões (LIMA, 2015).

Com isso, para melhor definir os erros dos modelos de previsão, utiliza-se as equações 14, 15 e 16:

Média dos Quadrados dos Erros (MSE):

$$MSE = \sum_n^1 (Vr - P)^2 \quad (14)$$

Onde: Vr é o valor real e P é o valor previsto.

Média Absoluta dos Erros (MAD):

$$MAD = \sum_n^1 |Vr - P| \quad (15)$$

Média Percentual Absoluta dos Erros (MAPE):

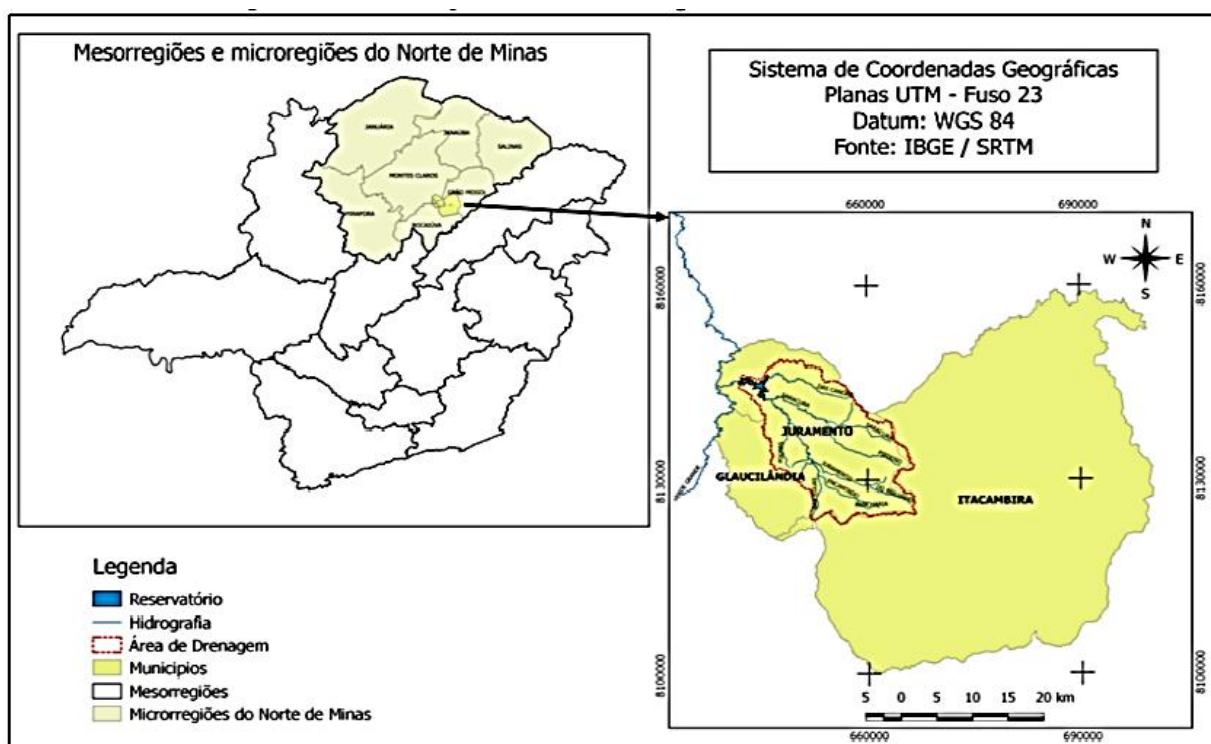
$$MAPE = \sum_n^1 \left( \frac{(Vr - P)}{Vr} \right) \times 100 \quad (16)$$

### 3.MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na barragem de Juramento, no município de Juramento, na região Norte do estado de Minas Gerais e tem como finalidade o abastecimento hídrico da cidade de Montes Claros.

A localização geográfica da barragem está em um retângulo envolvente de coordenadas UTM, fuso 23 e Datum WGS84, onde a mesma encontra-se inserida por completo no município de Juramento (FIGURA 3).

Figura 3- Localização da Barragem de Juramento (Fonte: IBGE/SRTM)



Fonte: De Oliveira et al., 2016.

Para o caso em questão, a sazonalidade pode ser observada em relação ao ano hidrológico da cidade, em que nos meses de chuva (outubro a março), existe um aumento considerável da cota, e nos meses de seca a cota cai significativamente.

Baseado no supracitado, optou-se por testar métodos que relacionassem séries temporais de dados, modelo Winter (W), Holt-Winters aditivo (HWa) e Holt-Winters multiplicativo (HWm) para previsão da cota da barragem de Juramento, e, de forma indireta o volume da mesma.

O primeiro passo para a realização do trabalho foi a busca dos dados relacionados à barragem de Juramento junto ao órgão responsável, a Companhia de Abastecimento e

Saneamento de Minas Gerais - COPASA. Já com os dados da cota de janeiro de 1992 a outubro de 2020, fez-se necessário a organização dos mesmos.

Como o volume de dados era elevado, naturalmente existiam algumas lacunas a serem preenchidas (dados que faltaram). Com o objetivo de preencher tais lacunas, foi realizada uma média entre o dado anterior e o dado posterior ao dado que faltava.

Para a modelagem de previsão, Pereira (2017), Diniz *et al.*, (2019); e Provenza (2018), utilizaram o software MS Excel, organizando os dados de forma estrutural, contribuindo para que o programa entregasse as previsões de forma correta.

No MS Excel, foi utilizada a ferramenta Solver, de modo que a mesma atribuísse os melhores valores dos parâmetros de suavização citados por Silva, *et al.* (2016). Tal ferramenta avalia o erro médio entre a previsão e o valor real e busca minimizar o erro, garantindo assim a entrega de resultados mais satisfatórios.

Os parâmetros de suavização utilizados pelos modelos de Holt- Winter aditivo e multiplicativo, encontrados a partir da ferramenta solver, além de reduzir os erros devem atender a outro requisito: estar entre 0 e 1. Tal requisito pode ser configurado pela ferramenta solver.

A utilização da Planilha Eletrônica garante maior facilidade de utilização dos modelos já confeccionados, garantindo o uso, os resultados e as decisões a partir dos resultados

O método de Winter (W) relaciona a tendência com a ciclicidade dos dados para a previsão futura. A obtenção é feita a partir da equação da linha de tendência dos dados obtidos.

A tendência em si é o resultado da equação da linha tendo como variável o número correspondente ao período, como por exemplo o número 1 referente a janeiro de 1992, 2 referente a fevereiro de 1992 e assim sucessivamente. A ciclicidade de Winter é a divisão entre o valor real (cota da barragem) por sua tendência.

Para a obtenção da previsão da cota da barragem pelo método de W, o primeiro passo foi a montagem de uma tabela no MS Excel, contendo os dados obtidos organizados em ordem cronológica (Cota), a tendência (aplicação da equação da linha de tendência da altura da cota onde a variável seria o período), e a ciclicidade (divisão entre a tendência e o valor real da cota).

Em seguida, a equação de tendência foi relacionada até a data que desejava-se prever. Por mais que a estrutura organizacional da tabela mostrasse que os dados de cota acabaram, a tendência não seria interferida pelos mesmos, visto que o período não depende da cota.

Para a ciclicidade foi adotada uma técnica diferente da tendência. Como a distribuição foi feita a partir de um dado temporal, a ciclicidade da previsão foi obtida através da média da soma dos dados de cada valor obtido no mês de janeiro, fevereiro e assim sucessivamente.

E para finalizar a previsão pelo método W, foi feita a multiplicação entre a tendência e a ciclicidade.

Um detalhe importante é que a previsão foi feita utilizando dados até outubro de 2019, pois, dessa forma, foi possível prever a altura da cota entre novembro de 2019 a outubro de 2020 e assim obter os valores de mensais de Média dos Quadrados dos Erros- MSE, Média Absoluta dos Erros- MAD e Média Percentual Absoluta dos Erros- MAPE.

Com a utilização da ferramenta Solver do MS Excel, e com os valores de MAD das previsões, foi possível definir os parâmetros alfa, beta e gama dos modelos de Holt- Winters aditivo e multiplicativo.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O modelo W, utiliza da linha de tendência dos dados para cálculo da previsão, para isso, utilizou-se os dados disponibilizados pela Copasa, organizando-os em forma de gráfico, e a partir dele, foi possível a obter a linha de tendência.

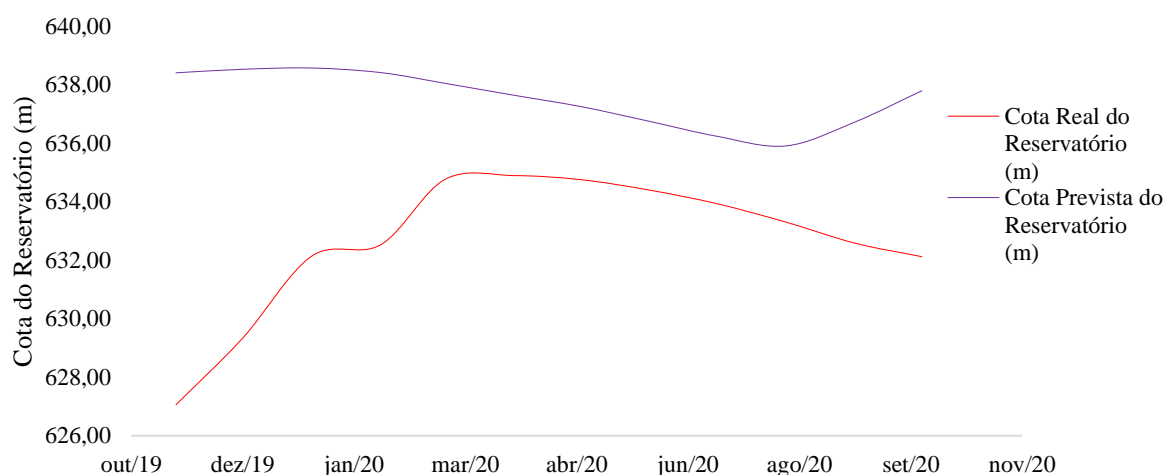
Os resultados obtidos pela previsão da cota da barragem de Juramento através do modelo de Winter em confronto com os dados reais de cota colhidos da barragem de Juramento para o ano de 2020 estão apresentados na Figura 4, em que os valores de MSE, MAD e MAPE foram respectivamente: 31.69, 4.87 e 0.77%.

Para chegar aos resultados encontrados de MSE, MAD e MAPE, fez-se o seguinte: de início foi realizada a previsão da média de cota mensal em cada modelo estatístico em um período pré-estabelecido; em seguida, foram realizados os cálculos dos erros de cada mês e por fim encontrado o valor médio dos erros. Tal procedimento foi utilizado nos três modelos de previsão.

É possível notar que a previsão da cota do reservatório da barragem foi acima do valor real, com grande discrepância na previsão dos meses de outubro e novembro.

Tal discrepância pode ser explicada pelo fato de que o modelo utiliza as médias históricas dos anos anteriores sem o uso de uma suavização.

Figura 4- Previsão da cota do reservatório pelo modelo Winter.



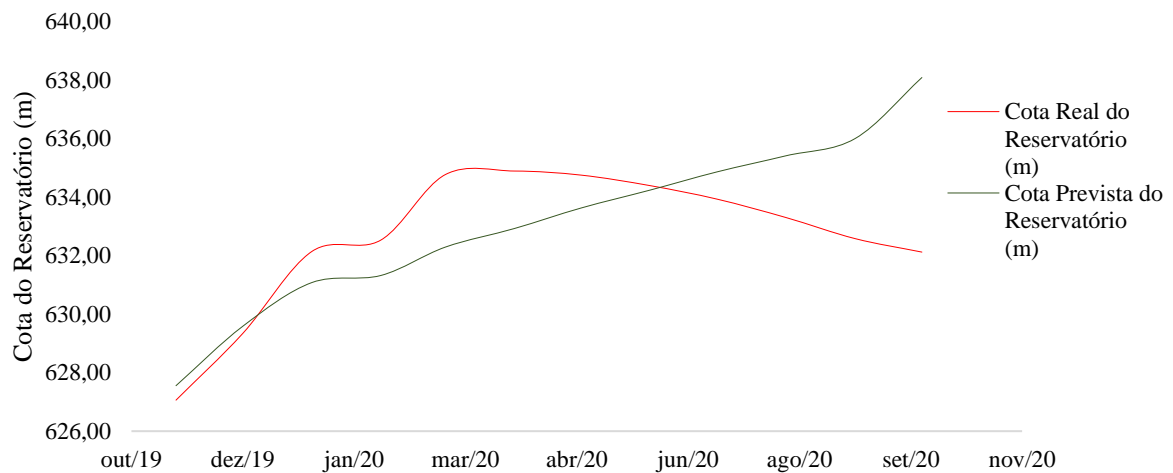
Os modelos de Holt- Winters, seja o multiplicativo ou o aditivo, por mais que possuam maior número de parâmetros, não necessariamente condizem com dados de previsão mais precisos. Para isso, os dados gerados devem ser observados e confrontados. Plotar esses dados em gráficos é uma forma de facilitar a observação dos resultados e definir o modelo que melhor se aplica à finalidade da análise da série temporal.

Para a previsão das cotas por HWA, utilizou-se as equações referentes ao método, e a suavização por meio de alfa, beta e gama, conforme o trabalho de Ferroni e Andreão (2017), foi feita através da ferramenta solver. A ferramenta solver relaciona variáveis pré-definidas e calcula os valores dos parâmetros para que ele seja a maior, menor ou próxima ao valor esperado.

Para isso, calculou-se o valor do erro percentual absoluto médio. O erro foi obtido através do valor absoluto entre a cota real e a prevista. Fixando a ferramenta solver para o menor resultado do erro, obteve-se os valores de: 1, 0.000059 e 0.50041 para alfa, beta e gama respectivamente. Os valores encontrados para MSE, MAD e MAPE foram: 5.57, 1.76 e 0.28% respectivamente.

A figura 5, externa o resultado da previsão de cota através do modelo HWA comparando com o volume real da barragem para o ano de 2020. É possível observar que o cota prevista e cota a real possuem grande diferença na previsão no mês de outubro de 2020, em que o método HWA superestima os valores previstos. Entre os meses de janeiro a abril de 2020, a previsão do modelo foi abaixo do valor real da cota do reservatório. É possível observar a sazonalidade de aumento na altura da cota, nos meses chuvosos, e queda nos meses mais quentes e com pouca ou zero precipitação.

Figura 5- Previsão da cota do reservatório pelo modelo Holt- Winters Aditivo.



Assim como o modelo HWa, o HWm utiliza mais parâmetros quando comparados à Winter. As equações relacionadas ao método multiplicativo são bem similares ao aditivo, por isso os resultados obtidos pela previsão serão semelhantes.

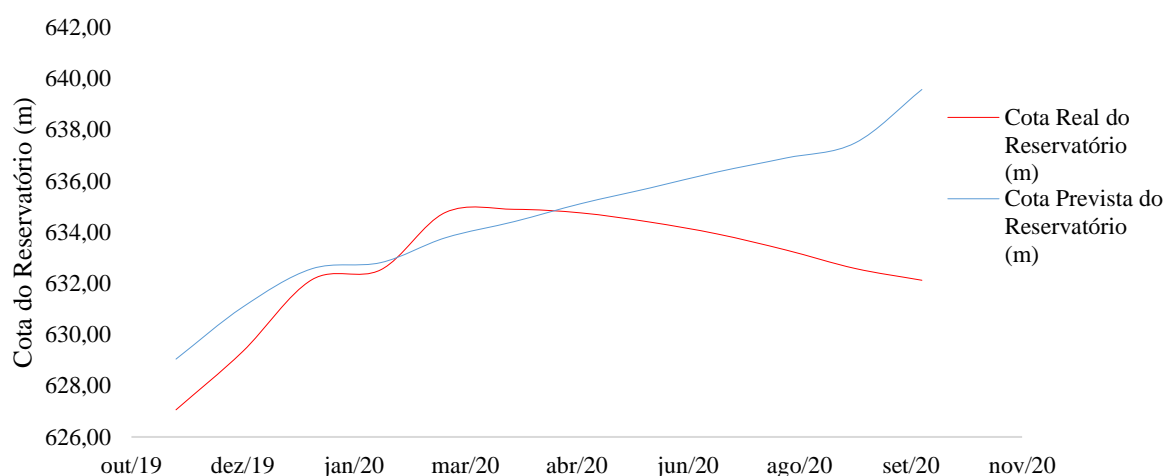
A ferramenta solver também foi utilizada para definição de alfa, beta e gama. Utilizou-se a mesma técnica que HWa, o objetivo do uso da ferramenta foi a redução do MAD das previsões em relação à cota real. Os valores obtidos para alfa, beta e gama foram 1, 0.5 e 0.5 respectivamente. Os valores encontrados para MSE, MAD e MAPE foram: 9.06, 2.16 e 0.34%.

Os modelos de HWa e HWm conseguem prever a cota da Barragem de Juramento com um ano de antecedência, e seguem a sazonalidade apresentada na série de dados temporais do volume da Barragem.

A Figura 6 mostra a previsão da cota obtida para o ano de 2020 através do modelo de HWm e a cota real da barragem. É possível notar que os valores previstos para os meses mais críticos do reservatório foram os que melhor representaram a cota da barragem, porém, a partir do mês de abril, o modelo superestimou a previsão de cota.



Figura 6- Previsão da cota do reservatório pelo modelo Holt- Winters multiplicativo.



Os dados gerados pelos modelos estatísticos de previsão, assim como esperado, obtiveram erros, sobretudo a partir do mês de abril. Uma explicação para tal diferença entre o real e o previsto é que nos últimos anos, a região Norte Mineira vem enfrentando problemas relacionados a pluviosidade, onde o volume precipitado se encontra abaixo da média geral. Tal situação, atípica, acaba por influenciar diretamente na previsão, já que a mesma é realizada sobre uma série de dados temporais em períodos de tempo elevados, entre 1992 a 2020.

A validação de um modelo que seja mais adequado para a previsão da cota do reservatório da barragem de Juramento foi realizada pela comparação entre os valores encontrados para os erros.

A Tabela 1 mostra uma tabela de comparação entre os valores dos erros encontrados pelas previsões da cota entre os diferentes modelos.

O modelo mais adequado para a previsão da cota da barragem deverá ser aquele em que se encontram os menores valores encontrados para Média dos Quadrados dos Erros (MSE), Média Absoluta dos Erros (MAD) e Média Percentual Absoluta dos Erros (MAPE).

Tabela 1- Erros de previsão atribuídos aos modelos.

Modelos	Erros		
	MSE	MAD	MAPE
Winter	31,69	4,87	0,77
H- W a	5,57	1,76	0,28
H- W m	9,06	2,16	0,34

A partir da Tabela 1, pode-se observar que os modelos de previsão que mais utilizaram parâmetros e considerados mais complexos, foram os que obtiveram as menores médias de erro.

O modelo que obteve os menores erros foi o Holt- Winters aditivo, modelo que também foi o que melhor se adequou à previsão de demanda em indústria realizado por Lima (2015), o que segundo ele pode ser explicado pelo fato de que a amplitude de variação dos dados previstos foi menor, quase constante, quando comparado a Holt- Winters multiplicativo.

Diante da análise dos erros, foi possível observar que o modelo Holt- Winter aditivo, para uma previsão com até 12 meses de antecedência, é o mais adequado, visto seus valores para MSE, MAD e MAPE serem os menores quando comparados aos demais modelos.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o modelo mais indicado para a previsão da cota do reservatório da barragem de Juramento, MG, é o modelo Holt- Winters aditivo.

Além da escolha do modelo mais indicado, foi possível concluir que:

- Os resultados obtidos poderão ser capazes de auxiliar na tomada de decisões relacionadas à gestão da barragem de Juramento, MG;
- A possibilidade de previsão da cota com 12 meses de antecedência permitirá que a população seja previamente avisada em relação ao início do racionamento de água; e
- A abordagem utilizada neste trabalho poderá servir de referência para futuros trabalhos com o mesmo segmento.

A previsão é gerada através de dados gerais, os quais podem ser alterados devido a condições climáticas inesperadas, como aumento nas chuvas, fato que pode afetar de maneira significativa os resultados obtidos pelo método estatístico.

O desenvolvimento do projeto demonstrou que os métodos de previsão estatísticos, sobretudo HWa, podem ser utilizados para a previsão de volume de água. Os resultados obtidos só reforçam a importância do desenvolvimento de novos trabalhos nessa linha de ação, buscando resultados com previsões cada vez mais precisas.

## REFERÊNCIAS

- BERTOLO, R. et al. Água subterrânea para abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala. **Revista DAE**, v. 63, n. 1, p. 6-18, 2015.
- BRAGA, R. M. PREVISÃO DA DEMANDA: MODELO WINTER APLICADO À UMA INDÚSTRIA DE EMULSÃO ASFÁLTICA. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 7, n. 11, p. 178-193, 2019.
- CARVALHO, D. J. **Métodos de previsão de consumo de energia elétrica residencial em grande volume de dados**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.
- COSTA, D. F. et al. Proposta de um modelo de orçamento de resultado utilizando métodos estatísticos de previsão. **Revista de Administração da Unimep**, v. 14, n. 3, p. 1-27, 2016.
- DABÉS, M. B. G. S. et al. Estudo da ictiofauna na barragem do rio Juramento, Juramento/MG-Brasil. **Unimontes Científica**, v. 1, n. 1, p. 105-116, 2008.
- DE AZEREDO BARROS, V. F.; DE MENEZES, J. E. Análise da relação entre a produção e o consumo de água na grande Goiânia utilizando o método estatístico de previsão de Holt-Winters. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1272-1282, 2012a.
- DE AZEREDO BARROS, V. F.; DE MENEZES, J. E.; MACHADO, S. S. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE HOLT-WINTERS PARA PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE ÁGUA NA GRANDE GOIÂNIA. In: **Proceedings of World Congress on Communication and Arts**. 2012b. p. 126-130.
- DE OLIVEIRA, W. F.; SÁ, R. A.; LEITE, M. E. DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DE DRENAGEM DO RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DO SISTEMA JURAMENTO/MG. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 92-106, 2016.
- DINIZ, I. M. N. et al. APLICAÇÃO DE UM MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA EM UMA EMPRESA DO SETOR CERVEJEIRO. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, p. 120-138, 2019.
- EDELWEISS, N. Bancos de dados temporais: teoria e prática. In: **XVII Jornada de Atualização em Informática, do XVIII Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação**. 1998. p. 225-282.
- FERONI, R. C.; ANDREÃO, W. L. Análise do modelo de Holt-Winters aplicado a uma série histórica de dados com tendência e sazonalidade. **Blucher Physics Proceedings**, v. 4, n. 1, p. 228-231, 2017.
- FRANCO, A. H. P. Aplicação do método de sazonalidade multiplicativa de holt-winter para previsões de séries financeiras no mercado de ações durante o período de 2016 a 2019. 2019.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Editora UFPr, 1994.

IBGE. *IBGE CIDADES- Montes Claros, População no último censo*. Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/montes-claros/panorama>>. Acesso em março de 2020.

INMET. **Estações automáticas- Dados**. Disponível em:<[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf)>. Acesso em março de 2020.

ISSN 2358-2359, DOI 10.5151/phypro-viii-efa-48

JACOBI, P. R.; CIBIM, J. C.; SOUZA, A. N.. Crise da água na região metropolitana de São Paulo–2013/2015. **GEOUSP Espaço E Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 422-444, 2015.

JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L.. Water Scarcity and Human Rights. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 0-0, 2016.

LIMA, L. B. S. P. et al. Aplicação do modelo de previsão de demanda Holt-Winters em uma Regional de corte e dobra de aço. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia da Produção. Fortaleza-CE**, 2015.

LONDE, L. R. et al. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 4, p. 133-152, 2014.

MACHADO, A. V. M. et al. Acesso ao abastecimento de água em comunidades rurais: o desafio de garantir os direitos humanos à água. In: **XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2016.

MARTINS, J. Perspectiva Etnoarqueológica do Egito: A Utilização do Sistema Shaduf. Disponível em:< [https://www.academia.edu/download/37929162/Sistema\\_Shaduf.pdf](https://www.academia.edu/download/37929162/Sistema_Shaduf.pdf)>. Acesso em: 02 dez 2020.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da produção. **Operações industriais e de serviços**. Unicenp, pg. 328-330. 2007.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. Estudo comparativo entre modelos de Winters e de Box-Jenkins para a previsão de demanda sazonal. **Revista Produto & Produção**, v. 4, p. 72-85, 2000.

PEREIRA, A. M. et al. Cidade média e região: o significado de Montes Claros no norte de Minas Gerais. 2007. Disponível em:< <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15921>>. Acesso em: 03 dez 2020.

PEREIRA, T. F. B. **Modelação e previsão das vendas de medicamentos não sujeitos a receita médica e produtos de saúde e bem-estar**. 2017. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Economia e Gestão.

PROVENZA, M. M.; DA SERRA COSTA, J. F.; DE CARVALHO SILVA, L. Análise de dados e previsão de séries temporais do homicídio doloso no Estado do Rio de Janeiro entre 2001 e 2016. **Produção em Foco**, v. 8, n. 2, 2018.

RASELLA, D. Impacto do Programa Água para Todos (PAT) sobre a morbi-mortalidade por diarreia em crianças do Estado da Bahia, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 29, n. 1, p. 40-50, 2013.

SILVA, A. F. **Definição de um modelo de previsão das vendas da rede varejista Alfabeto**. 2008. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA.

SILVA, D. A. da; SANTOS, M. E. dos; COSTA, D. F.. A utilização do modelo Holt-Winters na elaboração de um orçamento de resultado de uma cooperativa de crédito rural. **Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ**, v. 21, n. 1, 2016.

SORIANO, É. et al. Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 21-42, 2016.

SOUZA, J. R. et al. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. ISSN 1982-5528. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>>. Acesso em: 02 dez. 2020.

TORRENTE, M. **Influência da temperatura no consumo de água na região metropolitana de São Paulo**. 2014. 176 f. 2014. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Administração)–Programa de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental e Sustentabilidade, Universidade Nove de Julho–UNINOVE, São Paulo.