

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

**DAVID HENRIQUE LARA HERMENEGILDO
ELVYS DIAS REIS
MAICON DE ÁVILA FERNANDES**

INFLUÊNCIA DOS DADOS FALTANTES NA DETERMINAÇÃO DA $Q_{7,10}$

**OURO BRANCO – MINAS GERAIS
2015**

**DAVID HENRIQUE LARA HERMENEGILDO
ELVYS DIAS REIS
MAICON DE ÁVILA FERNANDES**

INFLUÊNCIA DOS DADOS FALTANTES NA DETERMINAÇÃO DA $Q_{7,10}$

Relatório final apresentado à Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto Paraopeba, como parte das exigências do Trabalho de Contextualização e Integração Curricular, para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Emmanuel K. da Costa Teixeira

OURO BRANCO- MINAS GERAIS

2015

**DAVID HENRIQUE LARA HERMENEGILDO
ELVYS DIAS REIS
MAICON DE ÁVILA FERNANDES**

INFLUÊNCIA DOS DADOS FALTANTES NA DETERMINAÇÃO DA $Q_{7,10}$

**Relatório final apresentado à Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto Paraopeba, como parte das exigências do Trabalho de Contextualização e Integração Curricular, para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.
Orientador: Emmanuel K. da Costa Teixeira**

APROVADA: 03 de dezembro de 2015.

Prof. Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira
(Orientador)
(UFSJ)

Prof. Eliane Prado Cunha Costa dos Santos
(UFSJ)

RESUMO

Avalia-se, neste estudo, a influência dos dados faltantes na determinação de vazões mínimas de estiagem, $Q_{7,10}$, por análise de frequência, utilizando-se o método de Kimball, e por análise probabilística, ambas por meio de comparação entre a série histórica de um curso d'água descartando ou não os anos hidrológicos com falhas de dados nos meses de estiagem. Investiga-se a relevância da variação dos valores de $Q_{7,10}$ encontrados nos dois casos através do teste-t de Student para duas amostras, presumindo variâncias diferentes com nível de significância de 5%. Os resultados obtidos permitem concluir que nas estações estudadas, os valores de $Q_{7,10}$ encontrados descartando anos hidrológicos com falhas em períodos secos e não descartando os mesmos anos não diferiram estatisticamente.

Palavras-chave: outorga, vazões mínimas, séries históricas.

ABSTRACT

Is evaluated in this study the influence of missing data in determining minimum flows of drought, $Q_{7,10}$, by frequency analysis , using the Kimball method, and probabilistic analysis , both by comparing the series a historic waterway discarding or not the hydrological years with data gaps in the months of drought. Is investigated the relevance of changes in $Q_{7,10}$ values found in both cases by Student's t-test for two samples assuming equal variances with 5% significance level. The results showed that for the studied seasons the values of $Q_{7,10}$ found discarding years hydrological failed in dry periods and not discarding the same years didn't differ statistically .

Keywords: grant, minimum flows, historical series.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	OBJETIVOS	8
2.1.	Objetivo Geral	8
2.2.	Objetivos Específicos	8
3.	REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1.	Vazões em cursos d'água	10
3.2.	Metodologia de determinação da $Q_{7,10}$	14
3.3.	Séries históricas de vazões	15
3.4.	Outorga do uso da água	15
4.	METODOLOGIA	17
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
6.	CONCLUSÃO	24
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que apresenta os mais variados usos e é indispensável ao desenvolvimento humano. A manutenção deste recurso finito em padrões de quantidade e qualidade com o objetivo de atendimento aos seus múltiplos usos representa um desafio para a sociedade (Santos *et al.*, 2010).

A importância na gestão da água está diretamente ligada com a questão da sustentabilidade ambiental, sendo uma função do desenvolvimento dos diversos componentes políticos, econômicos e sociais atuantes dentro da bacia hidrográfica (Sánchez-Román *et al.*, 2009).

A gestão dos recursos hídricos no Brasil está principalmente ordenada pela Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos para o país.

Dentro do contexto da gestão dos recursos hídricos, surge a outorga, que é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante faculta ao requerente o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

Os critérios para concessão de outorga de uso de águas superficiais adotados nos estados brasileiros baseiam-se na disponibilização de um fator percentual da vazão de referência para ser repartido entre os usuários. No Brasil, cada estado tem adotado critérios particulares para o estabelecimento de vazões de referência. Por exemplo, os estados da Bahia, Tocantins e Rio Grande do Norte utilizam a $Q_{90\%}$, já Goiás, Paraná e Piauí utilizam a $Q_{95\%}$, enquanto Minas Gerais e São Paulo adotam a $Q_{7,10}$ (ANA, 2007).

É importante lembrar que o desenvolvimento da gestão da oferta da água está condicionado ao conhecimento de duas grandezas: disponibilidades hídricas e demandas hídricas.

De acordo com Cruz (2001) a demanda pode ser estimada a partir do cadastramento de usuários, enquanto a disponibilidade hídrica é variável no tempo e no espaço, sendo estimada a partir da avaliação do regime hidrológico da bacia. Silva *et al.* (2006) afirma que a outorga obedece a critérios que estão vinculados a disponibilidade hídrica, estimada através do cálculo de vazões de referência que representam o limite máximo de utilização da água em um curso d'água.

A $Q_{95\%}$ e a $Q_{90\%}$ são as chamadas vazões de permanência, cujos valores referem-se a uma vazão que foi superada ou igualada respectivamente em 95% e 90% do tempo correspondente a série de vazões observadas. A $Q_{7,10}$ é a vazão mínima de sete dias consecutivos em um período de retorno de 10 anos. Seu valor é obtido através da extrapolação das vazões mínimas de sete dias consecutivos de cada ano para o período de retorno desejado (Benetti *et al.*, 2003).

Para se obter as $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{90\%}$, recorre-se às séries históricas, que contêm os dados de vazão diárias ao longo do tempo.

Todavia, muitas séries históricas de vazões possuem dados faltantes, algumas vezes em períodos de estiagem. Sendo assim, ao se analisar essa série, alguns hidrólogos tomam a decisão de descartar todo o ano hidrológico com falhas ou utilizar alguma metodologia para preenchê-las, pois elas podem influenciar no valor de vazão mínima encontrada. Entretanto, essas falhas podem influenciar, ou seja, não quer dizer que obrigatoriamente vão influenciar. Como a decisão de descartar ou não o ano hidrológico ou preencher as falhas é, algumas vezes, um processo moroso, pois tem que se analisar toda a série histórica e se determinar a melhor metodologia de preenchimento, neste trabalho se analisa se o descarte ou não de anos hidrológicos com falhas em período de estiagem tem alguma influência na determinação da $Q_{7,10}$.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Determinar o nível de relevância dos dados faltantes em meses de estiagem nas séries históricas de cursos d'água para se obter maior precisão e segurança na determinação da vazão mínima de estiagem, $Q_{7,10}$.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar as séries históricas de vários cursos d'água e identificar os anos hidrológicos que possuem falhas de dados nos meses de estiagem;
- Determinar a vazão mínima de estiagem, $Q_{7,10}$, para esses cursos d'água descartando e não descartando os anos hidrológicos com falhas nos meses de estiagem;
- Comparar os dados obtidos através de um teste estatístico e determinar a relevância da exclusão dos anos hidrológicos com falhas nos meses de estiagem.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Gestão de recursos hídricos

A gestão de recursos hídricos pode ser definida como o conjunto de ações destinadas a regular o uso, o controle e a proteção dos recursos hídricos, em conformidade com a legislação e normas pertinentes. Integra projetos e atividades com o objetivo de promover a recuperação e a preservação da qualidade e quantidade dos recursos das bacias hidrográficas brasileiras e atua na recuperação e preservação de nascentes, mananciais e cursos d'água em áreas urbanas.

O marco legal que instituiu o gerenciamento integrado dos recursos hídricos foi claramente fixado no inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal de 1988. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei no 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que regulamenta o artigo citado, está baseada nos seguintes fundamentos:

- a água é um bem de domínio público;
- a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o de atender ao consumo humano e dessedentar os animais;
- a gestão dos recursos hídricos deve sempre garantir o uso múltiplo das águas;
- a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e a atuação do SNGRH;
- a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da comunidade (art. 1o).

Para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar a gestão integrada desses recursos é que foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) faz parte da estrutura do Ministério do Meio Ambiente (MMA) sendo, no tocante aos recursos hídricos, suas principais atribuições:

- planejar e coordenar o uso de recursos hídricos, considerando os planos estaduais;
- arbitrar conflitos como última instância administrativa;

- deliberar sobre projetos que geram impacto em mais de um estado;
- aprovar a implantação de comitês de bacias em regiões de domínio federal;
- estabelecer diretrizes para outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Na atualidade brasileira é evidente o crescimento dos conflitos entre os diversos usuários dos recursos hídricos. Exemplos em grande escala podem ser observados na bacia do rio São Francisco, onde as projeções de demanda de água para a irrigação, para a navegação, para o projeto de transposição, para o abastecimento humano e de animais e para a manutenção dos atuais aproveitamentos hidrelétricos mostram-se preocupantes quanto à disponibilidade de água do rio. No Sudeste, evidenciam-se os conflitos pela utilização das águas dos rios Paraíba do Sul, Piracicaba e Capivari, para citar apenas alguns casos. No Sul do país, a enorme demanda de água para a irrigação de arrozais e a degradação da qualidade da água, principalmente em regiões de uso agropecuário intenso, são os casos mais visíveis (Setti *et al.*, 2001)

3.2. Vazões em cursos d'água

A vazão em um curso d'água é definida como o volume que escoar em uma seção transversal deste por unidade de tempo, sendo expressa em metros cúbicos por segundo ou em litros por segundo (PRUSKI; SILVA; KOETZ, 2006).

A quantificação das vazões de cursos d'água é importante, pois ela influencia a qualidade da água, o poder de autodepuração dos rios e, conseqüentemente, os organismos que nela vivem e sua disponibilidade para consumo (TUCCI, 2001).

Como principais formas utilizadas para a caracterização das condições de escoamento em um curso d'água, são utilizadas as vazões máxima, mínima e média de longa duração (PRUSKI; SILVA; KOETZ, 2006).

A vazão máxima é entendida como a maior vazão que ocorre numa seção de um rio num período definido. Esta vazão representa as condições de inundação do local (TUCCI, 2002), podendo ser estimada em curto ou em longo prazo.

Tucci (2001) define que a vazão média anual de um rio é a média diária de todos os valores do ano. A vazão média permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético, entre outros usos.

Ainda de acordo com Tucci (2002), dentro da série histórica de vazões, os menores valores da série, ou as vazões que não atendem às necessidades das demandas, são ditas mínimas ou de estiagem, sendo caracterizada por dois fatores: a quantidade de água e a duração, sendo fundamental para o cálculo da disponibilidade de água e concessão de outorga.

A estiagem é definida por Mattos (1983) como seca hidrológica: “período em que ocorrem vazões anormalmente baixas em um rio perene (apresentam escoamento durante todo o ano), tendo como características sua duração e a magnitude. A magnitude é o valor esperado”. Segundo o glossário de termos técnicos (BRASIL, 2003), a vazão de estiagem é a vazão de um curso d'água num período de seca prolongada. Essa, por sua vez, é um evento natural resultante das precipitações abaixo do normal em um longo intervalo de tempo (WMO, 2003).

Lanna e Benetti (2000) relatam que o balanço adequado entre a utilização da água e a manutenção de suas estruturas naturais permite o uso continuado da água no presente e no futuro e que para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água, é necessária a manutenção de uma vazão mínima que suporte o ecossistema aquático.

Em se tratando da avaliação de disponibilidade hídrica, a $Q_{7,10}$ e a $Q_{95\%}$ compreendem os principais parâmetros utilizados para a concessão de outorgas de captação, caracterizando condições críticas para o atendimento das demandas hídricas.

Para Mendes (2007), a vazão de referência $Q_{7,10}$ se caracteriza pela média histórica das vazões mínimas de 7 dias de duração com período de retorno de 10 anos.

Ono (2006) justifica a duração de 7 dias para análise, para poder considerar as variações de consumo dos dias úteis e finais de semana, possibilitando assim, a operação dos reservatórios absorver o impacto das variações ao longo da semana. O período de retorno de 10 anos foi escolhido por julgar aceitável que em um ano há 10% de chance de a vazão ficar abaixo do valor mínimo para suprimento urbano.

3.2.1. Medição de vazão

A fim de se medir a vazão dos cursos d'água, é preciso se remeter à Fluviometria, a qual trata das técnicas de medição de níveis d'água, velocidades e vazões nos rios. Ela permite quantificar o regime dos rios caracterizando suas grandezas básicas e os diversos parâmetros e curvas representativas.

De acordo com Carvalho (2001), os métodos fluviométricos sempre se referem a uma seção do rio e, conseqüentemente, a uma bacia hidrográfica de contribuição. Nessa seção, materializa-se o posto ou estação fluviométrica, na qual são medidos os níveis d'água, as velocidades e vazões que por ela transitam.

Segundo as condições locais e o método adotado, a medição das vazões poderá ser feita sobre a seção transversal do posto, em seção próxima, a montante ou jusante, ou em estirões adjacentes do rio.

Segundo Garcez (1996), o posto fluviométrico pode ser registrador ou não registrador. O não registrador é o que caracteriza o regime do rio por meio de leituras de níveis d'água feitas por um observador, leitura que ocorre geralmente duas vezes ao dia (7 e 17 horas), principalmente no âmbito nacional, mas pode ocorrer leituras uma ou mais vezes por dia, dependendo do gestor da rede de monitoramento.

A leitura é feita em uma régua ou escala linimétrica construída em madeira, ferro esmaltado, alumínio ou plástico. Essas escalas linimétricas, fixadas nas margens dos rios, devem cobrir toda a gama de variações de níveis d'água na seção, sendo os limites extremos definidos pela experiência anterior ou informações locais, geralmente obtidas com os moradores da região. Serão instalados tantos lances de régua quantos sejam necessários para cobrir esse estirão vertical, estabelecendo-se que a cota da leitura extrema superior de cada lance seja a mesma da extrema inferior do lance seguinte.

Ainda de acordo com Garcez (1996), o posto fluviométrico registrador contém todas as instalações fixas do posto não registrador, acrescidas de um dispositivo automático que promove o registro contínuo dos níveis d'água na seção do posto - o linígrafo. Há diversas marcas e tipos de linígrafos que, basicamente, obedecem, ou ao princípio de bóia ou flutuador, ou ao da transmissão a um manômetro com

registrador da pressão hidrostática - variável com a altura d'água - sobre o ponto de tomada fixado em uma profundidade conhecida do rio.

O linígrafo de bóia é o de uso mais difundido e funciona em um poço, o "poço piezométrico" ligado à calha fluvial por um "tubo de admissão", constituindo assim um sistema de vasos comunicantes com o rio.

Os equipamentos mais modernos já são digitais, contando com sensores que registram o nível do rio por meio da pressão exercida pela água sobre o sensor - aqui chamado de sensor de pressão, que converte o "peso" da coluna d'água em profundidade.

Segundo Rios (1996), vários são os métodos para medição de velocidades e vazões em rios:

- Métodos diretos: são aqueles que determinam as grandezas fundamentais - volume, massa e tempos - dos escoamentos. Em função das grandezas empregadas, são chamados volumétricos e gravimétricos. Os métodos gravimétricos são os mais precisos.
- Métodos Área x Velocidade: são métodos indiretos e se baseiam na equação de continuidade dos escoamentos líquidos, onde é medida a velocidade, profundidade e largura da seção transversal do rio.

A técnica de medição das áreas molhadas é, em geral, comum a todos eles, que se distinguem na forma de determinação das velocidades. Os métodos mais usuais de determinação das velocidades das correntes líquidas são os seguintes: molinetes, tubo Pitot, flutuadores e fórmulas empíricas.

- Método dos traçadores: são os que se baseiam na diluição de uma substância marcadora na massa líquida em escoamento. Os traçadores são de dois tipos: químicos e radioativos.
- Métodos das singularidades ou dos medidores de regime crítico: são aqueles que utilizam singularidades das calhas fluviais, existentes ou instaladas especificamente, com o objetivo de medir vazões em seções de regime crítico de escoamento. No caso de calhas fluviais usam-se, principalmente, vertedores e calhas medidoras.

3.3. Metodologia de determinação da $Q_{7,10}$

Para determinar a $Q_{7,10}$, pode-se utilizar a análise de frequência empregando o método de Kimball. O método consiste em, dispendo de todas as vazões médias mínimas em sete dias consecutivos, ordenar as vazões em ordem crescente e atribuir-lhes um número (m) de ordem.

O valor da vazão mínima de estiagem de sete dias consecutivos e tempo de retorno de 10 anos, $Q_{7,10}$, referente à série histórica inteira, será aquela que possuir o valor de ordem “ m ”, obtida a partir da frequência do evento e do período de retorno, calculado pela Equação 1.

$$F = \frac{m}{(n + 1)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

F = frequência do evento;

m = ordem do evento;

n = número de anos de observação da série histórica.

O período de retorno (T) é calculado pela Equação 2.

$$T = \frac{1}{F} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

T = período de retorno em anos.

Logo, a ordem do evento “ m ” pode ser calculada pela Equação 3.

$$m = \frac{(n + 1)}{T} \quad \text{Equação 3}$$

É importante ressaltar que quando a ordem “ m ” do evento não tem um valor inteiro, é preciso fazer uma interpolação linear com os dados imediatamente abaixo e acima do seu valor para encontrar o valor exato da $Q_{7,10}$.

3.4. Séries históricas de vazões

Uma estação fluviométrica consiste em qualquer seção de um rio, convenientemente instalada e operada para a obtenção sistemática das vazões ao longo do tempo, obtendo a vazão a partir do nível das águas, observado com a ajuda da régua linimétrica ou registrado pelo linígrafo, aplicado em uma curva-chave.

De posse das medições, cria-se uma série histórica, que é um conjunto de eventos e dados agrupados ao longo do tempo. Esses dados, obviamente, são os valores das vazões.

Os dados provenientes de estações fluviométricas muitas vezes apresentam falhas de informações devido a problemas com os aparelhos de registro ou com o operador do posto, tornando as séries impróprias para uso imediato pelos técnicos do setor. Esse fato gera a necessidade de realizar o preenchimento destas falhas (TUCCI, 1997).

O preenchimento de falhas e a extensão das séries são realizados por meio da análise de correlação dos dados observados no período comum entre a estação com dados a serem preenchidos e a estação de apoio (PRUSKI; SILVA; KOETZ, 2006).

Uma alternativa para impedir que as essas falhas interfiram no cálculo da $Q_{7,10}$ é descartar os anos hidrológicos em que elas ocorrem. Porém, tal descarte só deve ser feito quando a falha acontecer na época de estiagem, pois é justamente quando ocorrem as vazões mínimas. Assim, dados faltantes em períodos chuvosos não influenciam na determinação da $Q_{7,10}$.

3.5. Outorga do uso da água

Para garantir as funções oferecidas pela água, é necessária a manutenção de vazões em níveis mínimos capazes de oferecer estabilidade e suportar o ecossistema aquático. Assim, conhecida a vazão mínima de um curso d'água, utiliza-se um instrumento para usufruir legalmente do recurso hídrico: a outorga.

Esse instrumento é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado (usuário requerente) o direito de uso de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, por prazo determinado, nos termos e nas

condições expressas no respectivo ato administrativo. É o documento que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos (ANA, 1997).

A outorga depende da análise no tempo e no espaço, da disponibilidade e da necessidade hídrica para conservação do meio biótico (CRUZ; TUCCI, 2005). Cada estado tem adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga.

No processo de outorga, o regime hidrológico dos rios deve ser considerado. Para rios perenes a outorga normalmente é feita com base na vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) ou nas vazões mínimas associadas às permanências de 90% ($Q_{90\%}$) ou 95% ($Q_{95\%}$). Dessas vazões, somente certo percentual pode ser utilizado, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico. Em rios de regime intermitente, o processo de outorga torna-se mais complexo, pois na época seca o rio deixa de apresentar vazão (SILVA; RAMOS, 2001).

A Agência Nacional das Águas (ANA) adota como vazão máxima outorgável o valor de 70% da $Q_{95\%}$, podendo variar em função das peculiaridades de cada região.

Por outro lado, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão gestor de recursos hídricos no estado de Minas Gerais, segundo a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012, institui como limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do estado, por cada seção considerada em condições naturais, será de 50% da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% da $Q_{7,10}$.

4. METODOLOGIA

Foram escolhidas aleatoriamente 22 estações fluviométricas situadas em diferentes bacias, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas (ANA). Suas respectivas séries históricas foram obtidas consultando-se as estações fornecidas pela ANA, disponibilizadas em seu portal, HidroWeb.

As estações estão localizadas nos cursos d'água apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estações fluviométricas selecionadas

Código da estação	Estação	Curso d'água
40040000	Fazenda Ajudas	Ajudas
40570000	Conselheiro Lafaiete	Bananeiras
61110000	Carandaí	Carandaí
56940002	Barra do Cuieté Jusante	Cuieté
56850000	Governador Valadares	Doce
56948000	Resplendor	Doce
56994500	Colatina	Doce
56998000	Linhares	Doce
56992000	Baixo Guandu	Guandu
12360000	Foz do Breu	Juruá
56960000	Manhuaçu	Manhuaçu
56995500	Ponte do Pancas	Pancas
40130000	Ponte do Vilela	Pará
40500000	Martinho Campos	Picão
56005000	Fazenda do Retiro	Piranga
58770000	Cataguases	Pomba
41220000	Siderúrgica	Ribeirão Sabará
40032000	Fazenda Samburá	Samburá
56993600	Santa Joana	Santa Joana
40025000	Vargem Bonita	São Francisco
40300000	Jaguaruna	São João
56085000	Seriquite	Turvo Sujo

Primeiramente, para cada série histórica, definiu-se o ano hidrológico através da observação dos dados. De acordo com o DNAEE (1976), o ano hidrológico é o período contínuo de doze meses durante o qual ocorre um ciclo anual climático completo escolhido por permitir uma comparação mais significativa dos dados meteorológicos.

É importante salientar que o ano hidrológico não necessariamente coincide com o calendário normal, isto é, o início do primeiro não acontece sempre no primeiro dia de janeiro de cada. Assim, ele começa no fim do período de seca e, por

consequente, no início do período chuvoso, podendo isso ocorrer em qualquer mês do ano normal.

Para o ano hidrológico definido, foram considerados os quatro últimos meses como sendo os meses de estiagem. Então, analisou-se cada série a fim de se determinar quais delas possuíam falhas no período seco. Essa análise foi necessária para se definir quais anos hidrológicos deveriam ser excluídos da série histórica. O objetivo de excluir é verificar se houve alteração na média de uma população – valores de $Q_{7,10}$ – quando a mesma é avaliada sob duas condições diferentes: excluindo anos hidrológicos com falhas e não os excluindo.

De acordo com Júnior *al.* (2008), em termos de desvios, se a alteração das condições não resultasse em nenhum efeito significativo, seria possível dizer que a diferença entre os valores observados na primeira condição e na segunda condição seria em média igual a zero. Portanto, para verificar se houve alteração na média de uma população avaliada – no caso, a $Q_{7,10}$ – em duas condições diferentes, pode-se testar a hipótese das médias das duas amostras serem iguais.

Com base nas vazões diárias observadas nas 22 estações fluviométricas, foram obtidas pelo programa SisCAH – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (UFV, 2008), por meio de análise probabilística, as vazões mínimas de estiagem ($Q_{7,10}$) de cada ano de todas as séries históricas.

Em uma planilha no Excel, utilizou-se o método de Kimball para calcular a $Q_{7,10}$ por análise de frequência.

A partir dos resultados de vazões mínimas obtidos, aplicou-se o teste-t de Student para duas amostras, presumindo variâncias diferentes com nível de significância (α) de 5%, valor este usualmente aplicado na Hidrologia.

Por último, consulta-se o valor de vazões outorgáveis para as bacias do estado de Minas Gerais por meio do Atlas Digital das Águas de Minas, disponível no site <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>, e compara-se esse valor com o calculado por análise de frequência e análise probabilística.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Alguns anos hidrológicos possuíam praticamente 100% de falhas e, por isso, obrigatoriamente tiveram que ser descartados. Em outros anos, as falhas ocorriam em períodos chuvosos, e como se analisou vazões mínimas, essas falhas não influenciariam no resultado e, por isso, não se descartou esses anos.

Assim, montou-se a Tabela 2, a qual contém os anos hidrológicos com falhas nos período seco, e a Tabela 3, com os anos com falhas em período chuvoso, ambas referentes a todos os cursos d'água contidos na Tabela 1.

Tabela 2 - Anos hidrológicos com falhas no período seco

Código da estação	Estação	Anos com falha no período seco
40040000	Fazenda Ajudas	
40570000	Conselheiro Lafaiete	1939, 1940, 1941, 1944, 1949, 1955, 1956
61110000	Carandaí	
56940002	Barra do Cuieté Jusante	1986, 1987, 1988, 1994
56850000	Governador Valadares	2008, 2011, 2012
56948000	Resplendor	1981
56994500	Colatina	
56998000	Linhares	
56992000	Baixo Guandu	1971
12360000	Foz do Breu	
56960000	Manhuaçu	1959, 1969, 1972, 1982
56995500	Ponte do Pancas	1980, 1991, 2008
40130000	Ponte do Vilela	1939
40500000	Martinho Campos	
56005000	Fazenda do Retiro	1951
58770000	Cataguases	
41220000	Siderúrgica	
40032000	Fazenda Samburá	
56993600	Santa Joana	1950
40025000	Vargem Bonita	
40300000	Jaguaruna	1946, 1975
56085000	Seriquite	1988, 1992

Tabela 3 - Anos hidrológicos com falhas no período chuvoso

Código da estação	Estação	Anos com falha no período chuvoso
40040000	Fazenda Ajudas	
40570000	Conselheiro Lafaiete	1947
61110000	Carandaí	

Tabela 4 (Continuação) - Anos hidrológicos com falhas no período chuvoso

Estação	Código da estação	Anos com falha no período chuvoso
Barra do Cuieté Jusante	56940002	1992, 1993
Governador Valadares	56850000	1968, 1978, 1988, 1993, 2003/2005
Resplendor	56948000	1978
Colatina	56994500	
Linhares	56998000	
Baixo Guandu	56992000	1957/1964, 1987/1990
Foz do Breu	12360000	
Manhuaçu	56960000	1936, 1960, 1970, 1978
Ponte do Pancas	56995500	1983/1985, 1988/1990, 2004, 2006, 2009
Ponte do Vilela	40130000	-
Martinho Campos	40500000	
Fazenda do Retiro	56005000	1937
Cataguases	58770000	
Siderúrgica	41220000	
Fazenda Samburá	40032000	
Santa Joana	56993600	1949
Vargem Bonita	40025000	
Jaguaruna	40300000	1942/1945, 1956
Seriquite	56085000	1993

Na Tabela 4, estão apresentados os números de anos utilizados na determinação das vazões mínimas de referências quando não se descarta nenhum ano hidrológico e quando há o descarte do ano com falhas em períodos de estiagem. Na mesma tabela, os valores de $Q_{7,10}$, por análise de frequência e probabilística, são apresentados quando há ou não o descarte.

Tabela 4 - Valores de $Q_{7,10}$ quando se descarta e não se descarta anos hidrológicos com falhas em período de estiagem

Rio	Estação	Descarte	Anos	$Q_{7,10}$ (m³/s)	
				Análise de frequência	Análise probabilística
Ajudas	40040000	Não	44	0,865	0,920
		Sim	41	0,888	0,940
Bananeiras	40570000	Não	20	0,213	0,224
		Sim	13	0,270	0,226
Carandaí	6111000	Não	24	0,385	0,359
		Sim	21	0,392	0,398
Cuieté	56940002	Não	30	5,419	5,827
		Sim	26	5,303	6,039
Doce	56850000	Não	44	170,640	174,220
		Sim	41	170,886	171,600

Tabela 4 (Continuação) - Valores de $Q_{7,10}$ quando se descarta e não se descarta anos hidrológicos com falhas em período de estiagem

Doce	56948000	Não	44	203,763	224,354
		Sim	43	203,388	223,310
Doce	56998000	Não	26	277,111	282,120
		Sim	24	276,082	288,210
Doce	56994500	Não	60	221,013	228,444
		Sim	58	219,705	231,061
Guandu	56992000	Não	57	4,845	7,788
		Sim	56	4,844	4,756
Juruá	1236000	Não	27	0,416	1,042
		Sim	25	0,680	1,686
Manhuaçu	56960000	Não	45	0,238	1,050
		Sim	41	0,327	1,150
Pancas	56995500	Não	46	0,627	0,630
		Sim	43	0,714	0,610
Pará	40130000	Não	41	7,236	7,307
		Sim	40	7,596	7,280
Picão	40500000	Não	42	0,990	1,270
		Sim	36	1,208	1,380
Piranga	56005000	Não	17	0,744	0,783
		Sim	16	0,741	0,778
Pomba	58770000	Não	66	26,157	27,340
		Sim	64	27,085	27,600
Ribeirão Sabará	41220000	Não	22	0,749	0,850
		Sim	16	0,725	0,840
Samburá	40032000	Não	39	5,670	5,650
		Sim	36	5,505	5,660
Santa Joana	56993600	Não	26	0,970	1,170
		Sim	25	0,960	1,147
São Francisco	40025000	Não	63	1,670	1,890
		Sim	60	1,701	1,930
São João	40300000	Não	38	2,875	3,230
		Sim	36	2,813	3,180
Turvo Sujo	56085000	Não	18	1,251	1,298
		Sim	16	1,330	1,280

Apresentados os valores de $Q_{7,10}$ quando se descarta e não se descarta anos hidrológicos com falhas em período de estiagem aferidos por análise de frequência e por análise probabilística, conforme apresentado na Tabela 4, aplicou-se o teste-t de Student para saber se as médias diferiram estatisticamente. Os resultados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparação entre os valores do “t” calculado com o “t” crítico para se testar a hipótese de médias estatisticamente iguais

Curso d'água	Código da estação	t calculado	t crítico	Hipótese
Ajudas	40040000	0,2110	1,9889	Aceita
Bananeiras	40570000	0,8974	2,0395	Aceita
Carandaí	61110000	0,4381	2,0181	Aceita
Cuieté	56940002	0,4034	2,0066	Aceita
Doce	56850000	0,0707	1,9890	Aceita
Doce	56948000	0,1928	1,9883	Aceita
Doce	56994500	0,2382	1,9810	Aceita
Doce	56998000	0,2840	2,0106	Aceita
Guandu	56992000	0,0326	1,9816	Aceita
Juruá	12360000	0,3730	2,0086	Aceita
Manhuaçu	56960000	0,0033	1,9886	Aceita
Pancas	56995500	0,3886	1,9876	Aceita
Pará	40130000	0,1803	1,9905	Aceita
Picão	40500000	0,0898	1,9916	Aceita
Piranga	56005000	0,0985	2,0395	Aceita
Pomba	58770000	0,0611	1,9787	Aceita
Ribeirão Sabará	41220000	0,0552	2,0369	Aceita
Samburá	40032000	0,6985	1,9939	Aceita
Santa Joana	56993600	0,1664	2,0096	Aceita
São Francisco	40025000	0,0717	1,9797	Aceita
São João	40300000	0,0313	1,9935	Aceita
Turvo Sujo	56085000	0,3606	2,0369	Aceita

Os resultados mostram que a hipótese testada foi aceita para todos os cursos d'água, ou seja, não houve uma diferença estatística nos valores médios de $Q_{7,10}$.

Por exemplo, no processo de obtenção de outorga do uso da água no rio Doce, é plausível utilizar tanto o valor de 221,013 m³/s quanto o 219,705 m³/s para regiões próximas à estação Colatina, bem como usar o valor de 277,111 m³/s ou 276,082 m³/s para áreas nas proximidades da estação Resplendor, uma vez que essa diferença é irrelevante.

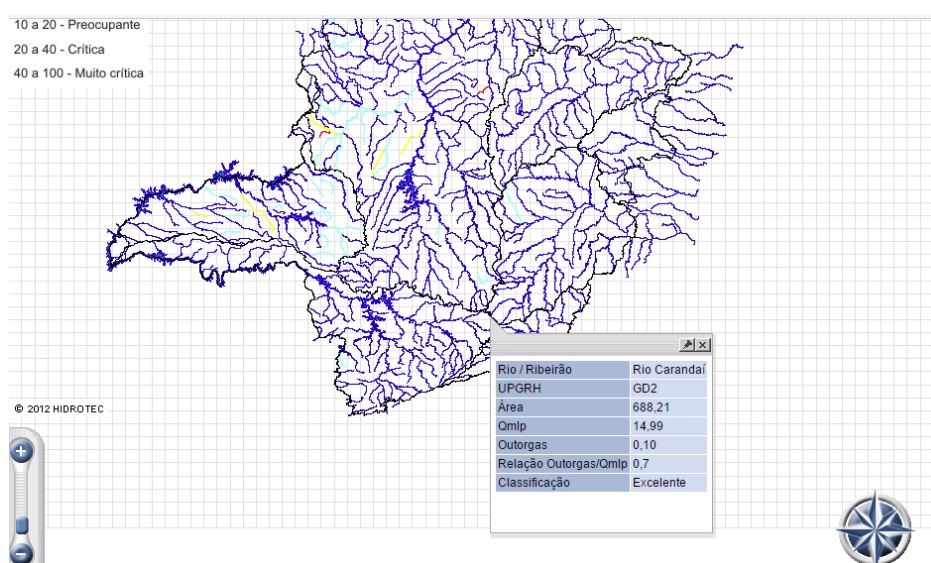
Uma possível causa para tal irrelevância pode ter sido a análise de estações cujas séries históricas apresentam poucas falhas, ou seja, face ao total de anos hidrológicos da série completa, poucos anos hidrológicos foram descartados.

Ainda, pode ser que exista uma relação entre a magnitude dos valores de vazão e a quantidade de anos hidrológicos da série histórica. Nesse caso, não foi possível perceber uma tendência, tendo em vista que foram estudadas apenas 22 estações.

É sabido que o valor outorgável de vazões, para cursos d'água cujo órgão gestor é o IGAM, é de 50% da $Q_{7,10}$. Assim, com o valor de $0,392 \text{ m}^3/\text{s}$, vazão do rio Carandaí calculada por análise de frequência descartando-se anos hidrológicos com falhas, consultado pela Tabela 4, tem-se que a sua respectiva vazão de outorga é $0,196 \text{ m}^3/\text{s}$.

Comparando-se esse valor com o observado na Figura 1, mostrada a seguir, nota-se que ele é quase duas vezes maior. Assim, cabe ao IGAM determinar qual o valor será mais confiável para consulta.

Figura 1 - Dados de outorga segundo o Atlas Digital das Águas de Minas



6. CONCLUSÃO

Nas 22 estações estudadas, os valores de $Q_{7,10}$ encontrados descartando anos hidrológicos com falhas em períodos secos e não descartando os mesmos anos não diferiram estatisticamente.

Como a amostra utilizada nesse estudo foi de um número relativamente pequeno de estações, é cabível concluir, de maneira geral, que os anos hidrológicos com falhas em período de estiagem não acarretarão em variações relevantes no resultado final da $Q_{7,10}$ e, conseqüentemente, no processo de outorga do uso da água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Diagnóstico da outorga de direitos de usos de recursos hídricos – Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2007. 167 p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/sprtew/4/4-ANA.swf>>. Acesso em: Outubro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Coordenação de outorga. Brasília: ANA, 1997. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>>. Acesso em: Outubro de 2015.

BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.; COBALCHINI, M.S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 149-169, abr.-jun. 2003.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema de Informações Hidrológicas. 2003. Disponível em: <<http://www.hidroweb.gov.br>>. Acesso em: Outubro de 2015.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia Prática, CPRM. Rio de Janeiro, 2001, p. 372.

CRUZ, J.C. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais, 2001, 189f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 75-91, 2005.

DNAEE. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Glossário de termos hidrológicos. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 1976. n.p. CLEIDE, B.; TEIXEIRA, N. J. (1999). Análise da estrutura e variabilidade interanual da precipitação pluviométrica na região sul do Brasil: Revisão Bibliográfica. Boletim de Geografia 17:115-124.

GARCEZ, L. N. Hidrologia. Blucher, São Paulo, 1996

JÚNIOR, J. I. R.; SANTOS, N. T.; FILHO, S. M. Estatística experimental. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 12-14, 2008.

LANNA, A. E. L.; BENETTI, A. D. Estabelecimento de critérios para definição da vazão ecológica no Rio Grande do Sul. Relatório Final. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria do Meio Ambiente, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2000.

MATTOS, A. Método de previsão de estiagens em rios perenes. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Blumenau - SC. Anais... Blumenau – SC: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – Escola de Engenharia de São Carlos – SP - USP, 1983.

MENDES, L.A. Análise dos critérios de outorga de direito de usos consultivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência. 2007. 187 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ONO, S. Análise dos critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos considerando a disponibilidade de água superficial. 2006. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; KOETZ, M. Estudo da vazão em cursos d'água. Viçosa: Ufv, 2006. (Caderno didático).

RIOS, J. L. P. Curso de Hidrologia. CEFET, Rio de Janeiro, 1996.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Engenharia Agrícola, v.29, n.4, p.578-590, 2009.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.8, p.826–834, 2010.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília, 2ª ed., 2001.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos. Brasília, DF: MMA/SRH/ABEAS/UFV, 2001. 89 p.

SILVA, A.M.; OLIVEIRA, P.M.; MELLO, C.R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.374-380, 2006.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 2ª ed. Porto Alegre, 1997, 2001.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de Vazões. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2002.

UFV. Universidade Federal de Viçosa. Programas desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos da UFV. Viçosa: UFV, DEA 2008. Disponível em: <www.ufv.br/dea/gprh>. Acesso em: Outubro de 2015.

WMO. World Meteorological Organization. International Glossary of Hydrology. 2003. Disponível em: <<http://www.wmo.ch>>. Acesso em: Outubro de 2015.