

ULISSES BIFANO COMINI

**MODELAGEM HIDROLÓGICA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
COM AUSÊNCIA DE SÉRIES HISTÓRICAS DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C733m
2017 Comini, Ulisses Bifano, 1986-
Modelagem hidrológica em pequenas bacias hidrográficas
com ausência de séries históricas de dados fluviométricos /
Ulisses Bifano Comini. – Viçosa, MG, 2017.
xiii, 57f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Demetrius David da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.35-40.

1. Bacias hidrográficas - Brasil. 2. Modelagem. 3. Recursos
hídricos. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 333.91

ULISSES BIFANO COMINI

**MODELAGEM HIDROLÓGICA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
COM AUSÊNCIA DE SÉRIES HISTÓRICAS DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de outubro de 2017.



Frederico Carlos Martins de Menezes
Filho



Michel Castro Moreira
(Coorientador)



Demetrius David da Silva
(Orientador)

À abandonada ciência brasileira.

“Para todos os males, só existe um medicamento de eficiência comprovada: continuar na paz, compreendendo, ajudando, aguardando o concurso sábio do tempo, na certeza de que o que não for bom para os outros não será bom para nós.”

Francisco Cândido Xavier

AGRADECIMENTOS

Agradecer nos engrandece, purifica e nos torna leve. Por isso, agradeço a Deus por ter permitido que esta jornada fosse realizada ao lado de tantas pessoas iluminadas, nobres, caridosas e companheiras.

Aos meus pais, Ana e Jose Mario, agradeço não somente por terem se doado totalmente até o momento em que eu pude andar sozinho, mas principalmente por representarem de forma tão significativa em minha vida o amor, a doação, a simplicidade, o caráter, a paciência e a honestidade.

À minha irmã Indira, agradeço não somente por contar sempre com seu perdão, seus ensinamentos e seu exemplo de espiritualidade, mas também por termos tido a possibilidade de curtir um pouco mais desta jornada juntos. É gratificante tê-la como irmã e foi também gratificante tê-la como colega de turma!

À minha esposa e melhor amiga Gabrielle, agradeço imensamente por compartilhar de corpo e alma esta jornada comigo, sempre como um porto seguro para aliviar minhas inseguranças, medos e frustrações. Seu amor incondicional e sua leveza tiveram papel fundamental ao longo destes últimos 12 anos em que estamos juntos! É mais um objetivo que alcançamos juntos, outros virão, mas serão sempre mais fáceis com você ao meu lado.

A toda minha família, dos Comini aos Bifano Bastos, passando também pelos Ferreira Pires, que torcem e oram por mim, obrigado! Em especial aos avós Vera, Dina e Antônio, por representarem exemplos de luta, fé e família.

Ao meu orientador Demetrius, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por representar, ao longo de minha vida acadêmica e profissional, um exemplo de profissionalismo, paciência, gentileza, compreensão e presteza.

Aos amigos PAD, agradeço por todo apoio, paciência e compreensão ao longo destes dois anos. Espero não os ter sobrecarregado em demasia. Em especial aos amigos Leiza, Jefferson, João Francisco e Renan, agradeço pela confiança depositada, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho, por segurarem as pontas quando estive ausente e, mesmo assim, continuarem me incentivando durante o desenvolvimento deste trabalho.

João Francisco, a você um agradecimento especial pelo companheirismo e por continuar sempre acreditando e lutando para conseguirmos mudar o cenário da bacia do São Bartolomeu.

Aos colegas do CRRH, por alegrarem tanto esta jornada. Foi formidável conhecê-los e compartilhar alguns cafés da tarde com vocês. Sentirei saudades e voltarei sempre!

Agradecimentos especiais aos professores Fernando Falco Pruski e Michel Castro Moreira, pela disponibilidade e presteza em contribuir para este trabalho.

Agradeço também ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas, em nome do Engenheiro Ambiental Heitor Moreira, pelas contribuições prestadas não somente a este trabalho, mas por auxiliar em ações de gerenciamento na bacia do São Bartolomeu.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola por todas as oportunidades oferecidas ao longo destes 12 anos de Viçosa, obrigado!

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho

BIOGRAFIA

ULISSES BIFANO COMINI, filho de Ana Bifano Bastos Comini e José Mario Comini, nasceu em 24 de agosto de 1986, na cidade de Raul Soares, Minas Gerais.

Iniciou a graduação em Engenharia Ambiental em março de 2005, obtendo título de Engenheiro Ambiental em julho de 2010 pela Universidade Federal de Viçosa.

Assumi como servidor técnico-administrativo, o cargo de Engenheiro Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, em dezembro de 2010.

Em agosto de 2015 iniciou o curso de pós-graduação em nível de mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, tendo encerrado o mesmo em outubro de 2017.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ajuste do modelo realizado através do parâmetro Coeficiente de infiltração (C_{inf}).....	8
Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, com a identificação do ponto de monitoramento.....	10
Figura 3 – Campanhas de medição de vazão: (a) molinete fluviométrico; e (b) vertedor retangular.....	11
Figura 4 – Fluxograma com resumo da metodologia adotada no trabalho.	12
Figura 5 – Representação gráfica dos valores de K_{sub} e K_b	13
Figura 6 – Comportamento das curvas de permanência de dados observados e simulados para os diferentes cenários avaliados, considerando apenas a faixa de 50 a 100% de permanência no tempo.	25
Figura 7 – Dados observados para o período de monitoramento e limites de 50% da $Q_{7,10}$ obtidos por GPRH e IGAM (2012) e pela metodologia de Souza (1993).	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Períodos de estiagem observados para os Cenários 1 e 2	20
Tabela 2 – K_{sub} , K_b e C_{inf} obtidos para cada período de estiagem selecionado	21
Tabela 3 – Médias e desvio padrão dos parâmetros (K_b e C_{inf}) obtidos para os Cenários 1.2 e 2.0: (a) atendendo aos critérios de exclusão de períodos indicados por Horn (2016); e (b) incluindo todos os períodos pré-selecionados	23
Tabela 4 – Vazões observadas e simuladas (em L/s), para os diferentes cenários, associadas a diferentes permanências no tempo	24
Tabela 5 – Erros Percentuais Médios para a faixa de 50 a 95% da curva de permanência e para 50% (Q_{50}) e 95% (Q_{95})	26
Tabela 6 – Erros absolutos, L/s km ² , para a faixa de 50 a 95% da curva de permanência e para 50% (Q_{50}) e 95% (Q_{95})	27
Tabela 7 – Erro quadrático médio (EQM), L/s.km ² , e Coeficiente de Willmott relativo (d) para os diferentes cenários avaliados	28
Tabela 8 – Comparação dos valores de Q_{mld} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, em L/s, observados e obtidos pela aplicação de diferentes metodologias	29

RESUMO

COMINI, Ulisses Bifano, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2017. **Modelagem hidrológica em pequenas bacias hidrográficas com ausência de séries históricas de dados fluviométricos.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Fernando Falco Pruski e Michel Castro Moreira.

A ausência de dados históricos em pequenas bacias hidrográficas tem levado ao desenvolvimento de métodos de estimativa de vazões que permitam o planejamento dos usos múltiplos dos recursos hídricos nestas áreas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi aplicar e avaliar o modelo hidrológico chuva-vazão desenvolvido por Silveira *et al.* (1998) para a bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, a montante dos reservatórios de captação de água da Universidade Federal de Viçosa (UFV), visando ao auxílio na tomada de decisão e no planejamento de recursos hídricos na ausência de séries históricas de dados fluviométricos. O Método Silveira (MS) se apresenta como modelo capaz de estimar as vazões medianas e mínimas para pequenas bacias hidrográficas onde inexistam séries históricas, a partir de três medições de vazões que caracterizem o deplecionamento em um período de estiagem. A medição de vazões foi necessária para a obtenção do Coeficiente de Decaimento das Vazões (K_b), que caracteriza o decaimento das vazões no tempo, e do Coeficiente de Infiltração (C_{inf}), parâmetro de ajuste que representa o percentual da precipitação que abastece o reservatório subterrâneo. Para aplicação do MS utilizou-se de 351 dados diários de vazão, observados entre 2014 e 2016, que permitiram a seleção de períodos de estiagem e cálculo dos parâmetros K_b e C_{inf} . Cada par de parâmetros (K_b e C_{inf}) foi considerado um cenário para simulação das vazões diárias para o período de 2014 a 2016. Para cada critério de seleção dos períodos de estiagem, dois cenários formados pelo par de parâmetros médios obtido dos demais cenários foi simulado adicionalmente. Com os dados diários simulados para cada cenário selecionado foram elaboradas as curvas de permanência, com ênfase nas permanências de 50 a 95%, e obtidos os valores das vazões de referência Q_{50} e Q_{95} . O melhor cenário simulado foi escolhido para uma nova rodada de simulação para os períodos de 1975 a 2005 e 1975 a 2016, visando a comparação com os valores adotados atualmente para planejamento dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais. Por fim, avaliou-se também a possibilidade de utilização do MS em situações de escassez hídrica na área de estudo, em comparação com as metodologias adotadas atualmente para alocação dos usos em momentos de crise hídrica. Os critérios adotados para seleção do período de estiagem permitiram a utilização

de sete cenários para simulação do comportamento das vazões no período de 2014-2016. A avaliação das curvas de permanência mostrou tendência de subestimativa das vazões associadas às maiores permanências, fato atribuído aos longos períodos de estiagem observados durante a estação seca. Os erros percentuais para os cenários variaram de -69% a 13%, para a faixa de 50 a 95% da curva de permanência, não havendo melhoria significativa no desempenho para os cenários médios simulados. Os erros percentuais para Q_{50} e Q_{95} variaram de -7 a 91% e -31% a -100%, respectivamente. O melhor cenário considerado, dentre os sete utilizados, apresentou erro percentual médio de 12% para a faixa de 50 a 95% e o menor erro para a Q_{95} (-31%). Os erros absolutos foram de 1,08 e 0,36 L/s.km² para Q_{50} e Q_{95} , respectivamente. O Erro Quadrático Médio e o Coeficiente de Willmott relativo foram de 0,50 e 0,77, respectivamente. De forma geral, as simulações permitiram a obtenção de resultados satisfatórios, entretanto mostraram que é necessário ter cautela na seleção do período de estiagem para fins de obtenção dos parâmetros do modelo. A utilização do Método Silveira como alternativa para planejamento em situações de escassez apresentou potencialidade para auxiliar na alocação de vazões, permitindo a adoção de valores mais reais em comparação com as vazões mínimas de referências atualmente adotadas na área de estudo.

ABSTRACT

COMINI, Ulisses Bifano, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2017. **Hydrological modelling in small ungauged catchments.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-advisers: Fernando Falco Pruski and Michel Castro Moreira.

The lack of historical data in small catchments have been leading to the development of tools to estimate discharge, which may allow the multiple uses of water resources in these areas. In this context, the aim of this work is to apply and assess the Silveira *et al.* (1998) rainfall-runoff hydrological model in the São Bartolomeu river catchment, upstream the Federal University of Viçosa's reservoir, to support decision making and water resources management in the absence of fluvimetric historical data. The Silveira Method (SM) is a model capable to estimate median and low flows in ungauged small catchments, from three discharge measurements that characterize river depletion in recession period. The sampling of low flows is necessary to obtain the River Depletion Coefficient (K_b), that represents the depletion of the discharge in time, and the Infiltration Coefficient (C_{inf}), a parameter that represents the fraction of precipitation that supplies underground reservoir. We used 351 discharge data from 2014 to 2016 to select the recession period, K_b and C_{inf} parameters. Each pair of parameters was defined as a scenario to the daily discharge simulation from 2014 to 2016. For each criteria of the selection of recession periods, two scenarios were formed by the average pair of parameters. The duration curves were developed with daily simulated data, with emphasis in the lower range (50 to 95%), from which we obtain the values of reference discharge Q_{50} and Q_{95} . The best simulated scenario was chosen to a new round of simulation to the periods of 1975-2005 and 1975-2016, to allow the comparison with the values adopted in the management of water resources in Minas Gerais State. Finally, we also assessed the possibility of the use of SM in drought situations in the study area, as compared to the currently adopted tools to allocate water uses in water crisis. The adopted criteria to the selection of the recession period allowed the use of seven scenarios to the simulation of the discharge behavior from 2014 to 2016. The duration curves visual analysis showed tendency to underestimate higher duration discharges, which we attributed to the long recession periods during the dry season. The scenarios percentage errors varied from -69% to 13% in the 50 to 95% range of the duration curve and there was no significative improvement for the average scenarios. The Q_{50} and Q_{95} percentage errors varied from -7% to 91% and -31% to -100%, respectively. The Scenario 2.2, build from discharge measurements in August, showed

the higher K_b (68.20) and lower C_{inf} (0.13) values. This scenario, considered the best of all seven, showed average percentage error of 12% for the 50 to 95% range and the lower error to Q_{95} (-31%). The absolute errors were 1.08 and 0.36 L/s.km² to Q_{50} and Q_{95} , respectively. The mean square error and index of agreement of Willmott in relative form were 0.50 and 0.77, respectively. In general, the simulations presented satisfactory results, however they showed that is necessary caution to select the recession period. The method has potential to be used as an alternative to plan the allocation of discharge in drought periods, allowing the adoption of more realistic values as compared to the low flows currently adopted in the study area.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Geral	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1. Caracterização da área.....	9
4.2. Dados utilizados para aplicação do método Silveira <i>et al.</i> (1998)	10
4.3. Aplicação do Método Silveira	12
4.4. Avaliação do desempenho do modelo.....	16
4.5. Comparação das vazões mínimas de referência simuladas com os valores adotados para fins de outorga na bacia do São Bartolomeu	17
4.6. Avaliação do uso do Método Silveira para planejamento dos usos múltiplos da água em situações de escassez hídrica.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. Aplicação do Método Silveira	19
5.2. Comparação entre os valores de Q_{95} e $Q_{7,10}$ simulados e os valores adotados pelo órgão gestor de recursos hídricos	28
5.3. Utilização do Método Silveira como base de informações para planejamento dos usos múltiplos da água em situações de escassez hídrica.....	30
6. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	35
ANEXOS	41

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica natural em uma bacia hidrográfica é representada pelas vazões médias e mínimas (NOVAES *et al.*, 2009), sendo o seu conhecimento, em períodos de estiagem, necessário a fim de permitir ações que visem à mitigação de impactos sociais, econômicos e ecológicos (GRANDRY *et al.*, 2013; NICOLLE *et al.*, 2014; NOVAES *et al.*, 2009), uma vez que o comportamento hidrológico pode limitar o desenvolvimento socioeconômico de uma região.

O conhecimento do comportamento hidrológico de uma região requer o monitoramento de variáveis que apresentam comportamento aleatório, tanto espacialmente como temporalmente. A estimativa destas variáveis depende de um conjunto de dados observados que sejam confiáveis e que representem as diferentes condições da região (TUCCI *et al.*, 2012; REIS *et al.*, 2008)

No país, o monitoramento dos dados de precipitação e vazão é realizado no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional (Rede), coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA), que é composta por 4.633 estações pluviométricas e fluviométricas, onde se monitoram o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas. A Rede monitora 2.176 dos 12.978 rios cadastrados no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (ANA, 2017).

A Rede, no entanto, atende principalmente as bacias hidrográficas de maior porte, com áreas superiores a 300 km² (SOARES; PINHEIRO; HEIL, 2010). Há no país, portanto, deficiência de dados históricos para pequenas bacias hidrográficas e, por consequência, um grande entrave ao planejamento adequado dos recursos hídricos e obras de engenharia.

Na ausência de estações de monitoramento, bem como a ausência de séries históricas de dados, mecanismos de estimativa têm sido largamente utilizados para transferir dados de uma região para outra (GRANDRY *et al.*, 2013; WMO, 2008). Dentre os mecanismos, os métodos de regionalização de informações hidrológicas e métodos baseados em modelos chuva-vazão têm sido utilizados com maior frequência (HORN, 2016; PRUSKI *et al.*, 2015; GPRH; IGAM, 2012)

Os métodos de regionalização consideram a influência das características climáticas e físicas da bacia hidrográfica na distribuição espacial da vazão e utilizam modelos de regressão que permitem a estimativa de vazões para locais onde não existem

séries históricas de dados (OLIVEIRA, 2013). Contudo, a abrangência da Rede Hidrometeorológica Nacional exige cautela quanto à utilização de métodos de regionalização hidrológica, ainda pouco recomendados para pequenas bacias, em áreas menores que 100 km² (SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998), limitando a utilização desta técnica a uma parcela reduzida da hidrografia nacional (PRUSKI *et al.*, 2012).

Por outro lado, os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão podem ser aplicados para simular uma série temporal de dados de vazão a partir da interação das características fisiográficas da bacia, da precipitação incidente, da evapotranspiração e da própria vazão (WMO, 2008).

A ausência de séries históricas de dados de precipitação e vazão, para utilização nos métodos de regionalização e nos modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão, é um ponto crítico a ser analisado para pequenas bacias hidrográficas, principalmente para avaliação dos resultados simulados (BLÖSCHL, 2005).

Neste contexto, Silveira *et al.* (1998) propuseram metodologia de modelagem chuva-vazão para pequenas bacias sem dados históricos, capaz de estimar vazões medianas e mínimas a partir de três dados observados de vazão em um período de estiagem representativo.

Segundo Horn (2016), o modelo apresenta uma abordagem não convencional de avaliação, fugindo daquela comumente utilizada de ajuste-verificação-validação, possibilitando sua aplicação mesmo na ausência de séries históricas, desde que haja, por parte do hidrólogo, conhecimento empírico da realidade e das escalas de vazões observadas na região de estudo.

Em bacias de menor porte e com ausência de séries históricas de dados fluviométricos, considerando ainda o período crítico que muitas regiões do país vêm passando devido à escassez hídrica, a aplicação de métodos para a estimativa das vazões torna-se de fundamental importância para subsidiar ações de gestão e planejamento de recursos hídricos.

Sob este enfoque, a bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, manancial de abastecimento do Município de Viçosa, Estado de Minas Gerais (MG), vem sofrendo com grave escassez hídrica desde o ano de 2014. Nesta bacia, inexistem dados de monitoramento quantitativo anteriores ao ano de 2014, de modo que este cenário tem dificultado a avaliação do comportamento hidrológico da região.

Assim, a fim de se adotar ações para a mitigação dos efeitos da crise hídrica, em curto, médio e longo prazo, torna-se necessária a utilização da modelagem hidrológica para fins de auxílio no processo de gestão dos usos múltiplos das águas na bacia do ribeirão São Bartolomeu.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Aplicar e avaliar o modelo hidrológico chuva-vazão desenvolvido por Silveira *et al.* (1998) para a bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, a montante do reservatório de captação da Universidade Federal de Viçosa (UFV), visando ao auxílio na tomada de decisão e no planejamento de recursos hídricos na ausência de séries históricas de dados fluviométricos.

2.2. Específicos

- a. Aplicar o Método Silveira considerando procedimentos diferentes para a seleção dos períodos de estiagem para fins de obtenção do coeficiente de decaimento de vazões (K_b) e do coeficiente de infiltração (C_{inf});
- b. Estabelecer as curvas de permanência de vazões simuladas e observadas para avaliar o desempenho do modelo;
- c. Realizar avaliação comparativa entre os valores das vazões mínimas de referência obtidas a partir de dados simuladas pelo Método Silveira e os valores obtidos pelas metodologias adotadas pelo órgão gestor dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais; e
- d. Avaliar a utilização do método como informação complementar para planejamento dos usos múltiplos da água em situações de escassez hídrica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em decorrência da variabilidade interanual, a avaliação da disponibilidade hídrica é dependente do período de dados disponível, podendo não representar o mesmo comportamento para a bacia hidrográfica em situações em que são utilizados períodos de dados distintos de uma mesma série histórica (TUCCI *et al.*, 2012).

As vazões médias e mínimas são de interesse para esta avaliação, por permitir o adequado planejamento e a redução de conflitos devido aos usos múltiplos (NOVAES *et al.*, 2009; PRUSKI *et al.*, 2015) e devem ser compreendidas em magnitude e frequência pelos gestores de recursos hídricos (GRANDRY *et al.*, 2013).

Mesmo com as melhorias apresentadas nos últimos anos, a Rede Hidrometeorológica Nacional ainda se restringe às grandes áreas de drenagem em detrimento das pequenas bacias hidrográficas (LEMOS; PEREIRA; JUNIOR, 2015) que ainda constituem um problema a ser vencido a fim de garantir uma adequada gestão de recursos hídricos (LI *et al.*, 2010), principalmente em pequenas bacias

Métodos de transposição, como a regionalização de vazões, têm sido importante para gestão de recursos hídricos na tentativa de previsão dos comportamentos hidrológicos, servindo de referencial para tomada de decisão (LEMOS; PEREIRA; JUNIOR, 2015), embora ainda haja dificuldades expressivas para modelagem hidrológica das vazões mínimas (NICOLLE *et al.*, 2014), principalmente em pequenas bacias (PRUSKI *et al.*, 2012).

Os métodos de regionalização hidrológica pressupõem que bacias hidrográficas com características climáticas, físicas e ambientais semelhantes podem apresentar respostas similares de vazões (SMAKHTIN, 2001), gerando modelos de regressão que permitem a estimativa de vazões para locais onde não existem séries históricas de dados (OLIVEIRA, 2013).

A dificuldade natural dos modelos de regionalização, relacionada à restrição de extrapolação das vazões condicionada aos limites das áreas de drenagem monitoradas, tem potencializado a busca de soluções que melhorem os resultados da regionalização na extrapolação dos dados para bacias de pequeno porte, principalmente no que se refere às vazões mínimas (PRUSKI *et al.*, 2012, 2015; WOLFF; DUARTE; MINGOTI, 2014; GPRH; IGAM, 2012).

Pruski *et al.* (2013) propuseram nova variável explicativa para a regionalização denominada de vazão equivalente ao volume precipitado subtraída da precipitação

correspondente a 750 mm (P_{eq750}), a fim de retirar das análises a parcela referente à evapotranspiração, apresentando melhoras significativas nos resultados.

Pruski *et al.* (2015) apresentaram também uma proposição para atenuar riscos de extrapolação das vazões mínimas para pequenas áreas de drenagem através da adoção de um valor limite de vazão mínima específica, sendo este o maior valor de vazão específica observado para as estações fluviométricas utilizadas em uma mesma região homogênea.

Uma opção aos modelos de regionalização são modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão, utilizados para simulação temporal de dados de vazão a partir da interação entre características fisiográficas e climáticas de uma bacia hidrográfica (WMO, 2008). Este tipo de modelo permite representar o processo hidrológico ao longo da bacia como resposta a eventos de precipitação ou sua ausência prolongada.

A estrutura básica dos modelos chuva-vazão deve considerar, minimamente, três elementos: (i) a discretização da bacia hidrográfica, (ii) os parâmetros hidrológicos de entrada, e (iii) sua estrutura básica de integração (TUCCI, 1998). A bacia pode ser representada de forma concentrada, sem considerar a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros de entrada do modelo. Do contrário, o modelo será distribuído e a área de estudo pode ser discretizada por sub-bacias ou por módulos geométricos, menores que as sub-bacias.

Os parâmetros hidrológicos de entrada comumente utilizados são precipitação e evapotranspiração, os quais variam no espaço e tempo e podem transmitir ao modelo uma série de incertezas relativas às medições e consistência das séries históricas. A estrutura de integração, em geral, divide-se em bacia e canal. Na bacia é analisado o balanço vertical de fluxos, considerando a precipitação e evapotranspiração, com base em suas características físicas. Já o canal representa o escoamento observado a partir das contribuições da bacia ou de outros canais (LOU, 2010; SANTOS, 2009; TUCCI, 1998).

Um dos modelos chuva-vazão mais utilizados na engenharia é o método Racional, desenvolvido no século XIX, que correlaciona a intensidade de precipitação, área de drenagem e coeficiente de escoamento superficial ao deflúvio provocado em pequenas bacias de contribuição, auxiliando na resolução de problemas recorrentes à época, como drenagem urbana e estimativa de escoamento superficial (TODINI, 1988). Embora utilizado em larga escala, o método apresenta algumas limitações, não permitindo representar o hidrograma de escoamento e, dessa forma, não fornecendo informações sobre os volumes escoados e a distribuição das vazões ao longo do evento de precipitação,

representado apenas a vazão máxima observada para o tempo de concentração da bacia (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2011).

Desde o desenvolvimento do Método Racional (MULVANEY, 1851), diversos modelos hidrológicos foram desenvolvidos, sempre buscando maior aproximação à realidade através da utilização de maior número de parâmetros, o que os tornou mais vulneráveis à incorporação de erros dos dados (TODINI, 1988, 2007; TUCCI, 1998).

O SWAT (ARNOLD *et al.*, 1998), por exemplo, tem sido utilizado largamente em todo o mundo e com bons resultados em sua aplicação (GASSMAN; SADEGHI; SRINIVASAN, 2014). A partir de 1999 sua utilização no Brasil tem sido gradativamente ampliada, embora a carência de dados de entrada para muitas bacias hidrográficas ainda seja um entrave na aplicação do modelo (BRESSIANI *et al.*, 2015).

Entretanto, mesmo com a grande diversidade de modelos desenvolvidos, constata-se que há grande limitação em relação à estimativa das vazões mínimas, bem como sua avaliação comparativa de performance (NICOLLE *et al.*, 2014). Além disso, muitos destes modelos introduzem parâmetros que inviabilizam a sua aplicação nas condições edafoclimáticas brasileiras, em decorrência da inexistência de dados históricos confiáveis (NOVAES *et al.*, 2009).

Neste contexto, Silveira *et al.* (1998) propuseram metodologia que atendeu aos requisitos necessários para desenvolvimento de modelo chuva-vazão em pequenas bacias sem dados fluviométricos, quais sejam, possuir menor número possível de parâmetros e permitir fácil ajuste e extensão das séries simuladas. O modelo, doravante denominado de Método Silveira (MS) foi indicado para estudos de potencial hídrico em bacias sem dados nas Diretrizes para Estudo e projetos de pequenas centrais hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000).

O MS considera que o deplecionamento fluvial pode representar o comportamento de uma bacia hidrográfica após as precipitações, principalmente em bacias pequenas com reduzido tempo de concentração. Parte-se do princípio que as vazões, em períodos de estiagem em um curso d'água, são advindas da descarga subterrânea (SMAKHTIN, 2001) e o deplecionamento fluvial é alimentando e responde a esta descarga (HORN, 2016).

A estrutura do MS é baseada no balanço hídrico na bacia hidrográfica, com ênfase ao período de estiagem e considerando duas simplificações: a desconsideração do armazenamento na camada superior do solo e a adoção da precipitação resultante (P_r) para cada intervalo diário de tempo, como o resultado da subtração da evapotranspiração

potencial do volume precipitado total (SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998). Assim, quando o volume precipitado total diário é menor que a evapotranspiração potencial não há entrada da parcela de infiltração. A adoção da P_r é justificada, pois esta parcela do balanço hídrico não é convertida em vazão, principalmente considerando as vazões médias de longa duração (Q_{mld}), conforme estudos de Pereira *et al* (2007) e Novaes (2005).

Com estas considerações, todas as características relacionadas ao movimento da água no reservatório subterrâneo da bacia são representadas de maneira concentrada a partir da curva de deplecionamento de vazões, eliminando a necessidade de parâmetros relacionados à condutividade, gradiente, tipo de solos, etc. (SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998).

Assim, o MS adota dois parâmetros para aplicação: (i) o coeficiente de infiltração (C_{inf}), que representa a quantidade de água infiltrada em relação ao total precipitado, excluídas as perdas por evapotranspiração, e (ii) o coeficiente de decaimento de vazões (K_b), que relaciona o decaimento das vazões ao longo do tempo, sem a presença de escoamento superficial.

A exclusão do escoamento superficial faz com que o MS seja utilizado apenas para estimar as vazões médias e mínimas. Como componente local, o modelo necessita, minimamente, de três dados de vazão medidas em dias consecutivos em período representativo de estiagem, que excluam os efeitos do escoamento superficial (HORN, 2016). O coeficiente de infiltração é tido como o parâmetro de ajuste que, a partir da definição do percentual infiltrado em eventos de precipitação (HORN, 2016), consegue ajustar verticalmente a curva de recessão simulada aos dados medidos previamente para definição do coeficiente de decaimento (TAMIOSSO, 2012), conforme apresenta a (Figura 1).

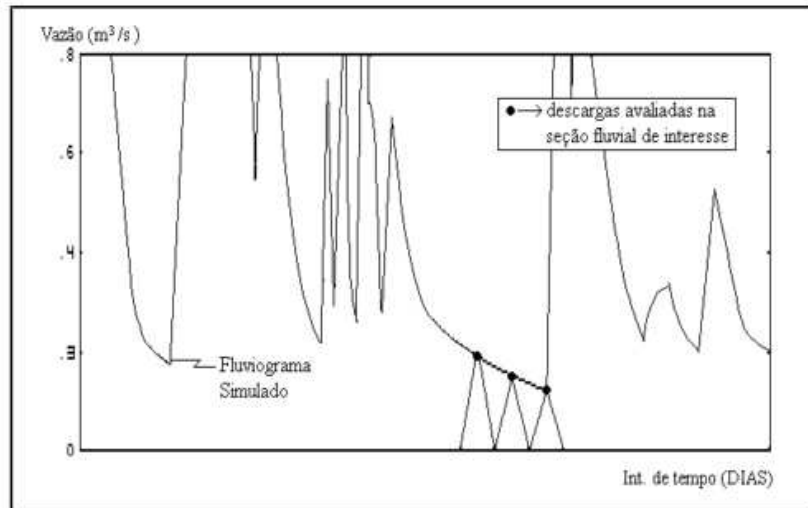


Figura 1 – Ajuste do modelo realizado através do parâmetro Coeficiente de infiltração (C_{inf}).

Fonte: Silveira *et al.* (1998).

A abordagem não convencional de avaliação (HORN, 2016; SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998; TAMIOSSO, 2012) é necessária pelo fato do método utilizar reduzida quantidade de dados locais, dependendo do conhecimento empírico do usuário a respeito da área de aplicação para avaliação da qualidade dos resultados (SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998). Este fato pode limitar o uso do método e sua comparação com resultados obtidos a partir de modelos, embora a literatura acerca da performance comparativa entre modelos para vazões mínimas seja muito reduzida (NICOLLE *et al.*, 2014).

Na aplicação realizada por Silveira *et al.* (1998), o método apresentou erro padrão nas estimativas que variaram de 15% a 30% em termos absolutos para utilização de apenas um período de estiagem, tendo apresentado resultado mais satisfatórios para a utilização de mais de um evento em conjunto. Por outro lado, Horn (2016) apresentou os resultados relacionando-os às diferenças de vazões específicas entre valores simulados e observados, com obtenção de resultados que mostraram tendência de menores erros para a Q_{95} em detrimento da Q_{50} .

Além disso, Horn (2016), também mostrou que houve independência dos valores de C_{inf} em relação aos erros das estimativas para Q_{95} , o que não foi observado para Q_{50} , que apresentou erros maiores para maiores valores de C_{inf} .

Modelos como o proposto por Silveira *et al.* (1998) podem se tornar ainda mais importantes em momentos de escassez hídrica, como o que está ocorrendo no Brasil desde 2012, com reduções expressivas de precipitação em várias regiões do país (ANA, 2015),

proporcionado a ocorrência dos menores valores de vazões em séries históricas de diversas bacias hidrográficas da região sudeste (CPRM, 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área

A bacia do ribeirão São Bartolomeu encontra-se inteiramente nos limites do município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais. É uma bacia afluenta ao rio Turvo Sujo, que compõe a bacia hidrográfica do rio Piranga, inserida na bacia hidrográfica do rio Doce, com área de abrangência de, aproximadamente, 50 km² (BEZERRA, 2011), representando 18% do município de Viçosa (SILVA, 2010).

O clima da região é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, tipo C_{Wa}, de acordo com classificação de Köppen (VIANELLO; ALVES; 2000), apresentando média de precipitação anual de 1.165 mm e evapotranspiração de 922 mm (INMET, 2016).

A topografia é fortemente acidentada, composta por relevos que vão de ondulados a fortemente ondulados, com encostas de perfil côncavo-convexo embutidos em vales de fundo chato, formados por terraços e leito maior (CORRÊA, 1984). O bioma é de Mata Atlântica, com áreas florestais fragmentadas e com histórico de intenso processo de substituição da vegetação natural por pastagens e lavouras (SILVA *et al.*, 2009).

O ribeirão São Bartolomeu é manancial de captação de duas estações de tratamento de água, ETA-I e ETA-UFV, que abastecem parte do município de Viçosa e a UFV, respectivamente. As vazões outorgadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) são de 85 L/s, com redução para 60 L/s em períodos de estiagem, para a ETA-I, e de 30 L/s para a ETA-UFV, sendo a captação de ambas localizadas em reservatório existente no campus da UFV.

Imediatamente a montante do reservatório localiza-se o ponto onde atualmente é realizado o monitoramento de vazões. A área de drenagem a montante do ponto de monitoramento, afluenta ao reservatório de captação da ETA-I e ETA-UFV, apresenta área aproximada de 25 km² (Figura 2).

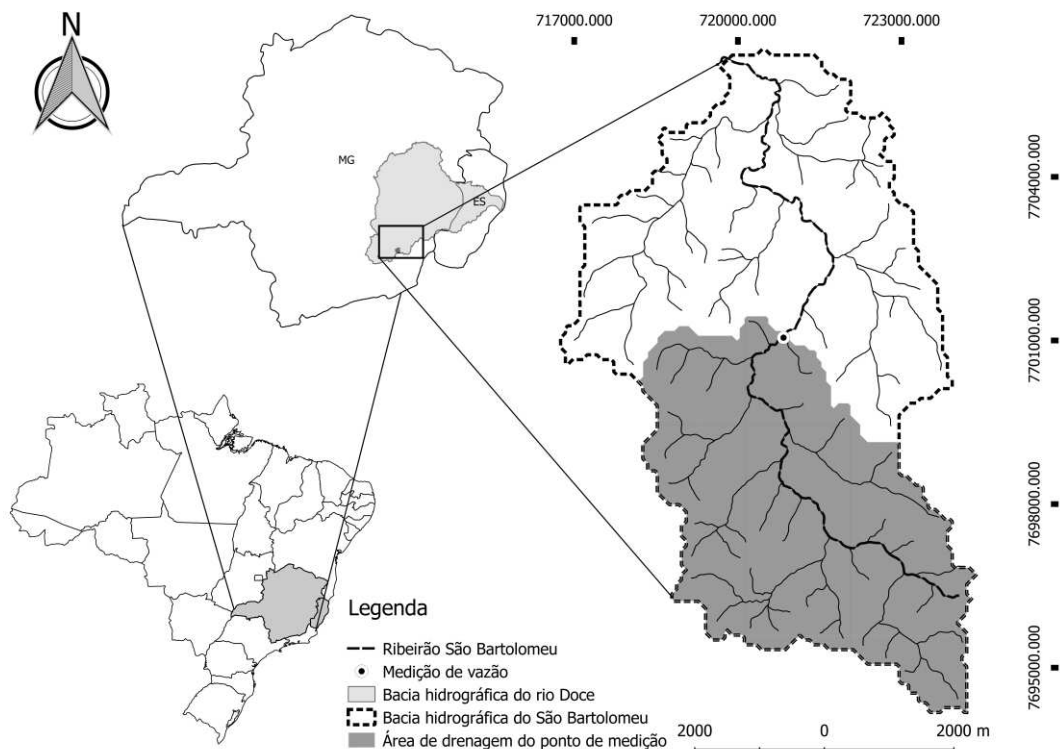


Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, com a identificação do ponto de monitoramento

A bacia hidrográfica de contribuição ao reservatório de captação e ao ponto de monitoramento tem uso e ocupação distribuídos, principalmente, entre formações florestais (28,8%), pastagens (41,3%) e agricultura (13,9%). As áreas urbanas, solos expostos e demais usos representam o restante da área (BEZERRA, 2011). A ocupação urbana teve expansão expressiva nos últimos anos, embora inexistam dados quantitativos.

Não existem dados históricos de monitoramento de vazões, apenas relatos e medições esporádicas na bacia. Daker (1983) registrou vazões em épocas de estiagem da ordem de 200 L/s nas décadas de 1960 e 1970 em ponto de captação localizado na UFV. Valente (2008) apresentou dados de redução de 50% da produtividade de água da bacia hidrográfica nos anos 2000. Já Bezerra (2011) alertou para a disponibilidade hídrica insatisfatória da região, considerando vazões reduzidas da ordem de 100 L/s nos períodos de estiagem, corroborando as informações apresentadas por Valente (2008).

4.2. Dados utilizados para aplicação do método Silveira *et al.* (1998)

A base de dados utilizada constituiu da série de medições de vazões do período de outubro de 2014 a dezembro de 2016, obtida pela Divisão de Águas e Esgotos da UFV, que teve como objetivo determinar a vazão afluente e a avaliação dos volumes disponíveis no reservatório de captação de água.

As medições foram realizadas com uso de molinete hidráulico SEBA Hydrometrie modelo M1 nº 1632, para vazões maiores ou iguais a 35 L/s, e com vertedor retangular de duas contrações laterais para as vazões inferiores a esse valor (Figura 3).



Figura 3 – Campanhas de medição de vazão: (a) molinete fluviométrico; e (b) vertedor retangular.

Fonte: Divisão de Água e Esgoto – UFV.

A série de dados de vazão contou com 351 observações, utilizadas, posteriormente, para avaliação dos resultados do modelo, a partir da construção da curva de permanência. Apesar de não se configurar como uma série histórica robusta e suficiente para métodos hidrológicos convencionais, foi utilizada para obtenção dos parâmetros do método apresentado por Silveira *et al.* (1998). No Anexo I apresenta-se a série de dados de monitoramento utilizada.

Os dados climáticos utilizados neste estudo foram oriundos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), código OMM: 83642,

localizada na UFV. A estação possui série histórica a partir do ano de 1968, seguindo em funcionamento até os dias atuais.

A evapotranspiração potencial diária foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN *et al.*, 1998) e foi utilizada para obtenção da precipitação resultante (P_r), que será utilizada como dado de entrada para a aplicação do MS.

4.3. Aplicação do Método Silveira

A aplicação do Método Silveira consistiu em quatro etapas: (i) avaliação dos dados de precipitação e vazões para identificação de períodos de estiagem, (ii) obtenção do par de valores de Coeficiente de Decaimento (K_b); Coeficiente de Infiltração (C_{inf}) e (iii) simulação da série de vazões médias diárias para o triênio 2014-2016 e (iv) elaboração das curvas de permanência. A Figura 4 apresentada, de forma resumida, a metodologia para aplicação do método.

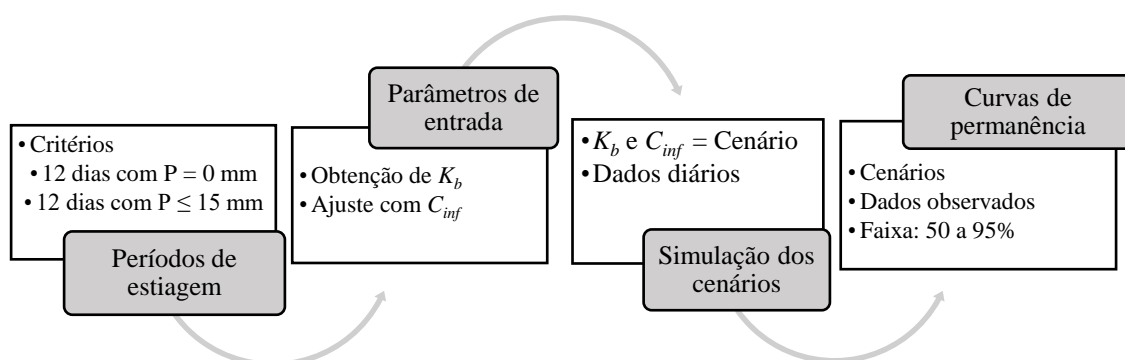


Figura 4 – Fluxograma com resumo da metodologia adotada no trabalho.

Em relação à identificação dos períodos de estiagem, conforme sugerido por Silveira *et al.* (1998), inicialmente adotou-se utilização de período mínimo de 12 dias consecutivos sem precipitação, com dados de vazão disponíveis para o 8º, 10º e 12º dias da série.

A existência na série histórica analisada de apenas um período de estiagem atendendo ao critério anterior levou à adoção de um segundo critério para seleção dos períodos de estiagem, considerando a existência de 12 dias consecutivos com

precipitações acumuladas de até 15 mm, conforme sugerido por Silveira *et al.* (1998), também com dados de vazão disponíveis para o 8º, 10º e 12º dias da série. Para este segundo critério avaliou-se, para cada período de estiagem observado, o comportamento da vazão em relação à precipitação, sendo desconsiderados os períodos que apresentaram tendência a elevação das vazões com as precipitações acumuladas.

Identificados os períodos de estiagem para cada critério, realizou-se a obtenção dos parâmetros K_b e C_{inf} para as simulações posteriores. A obtenção do valor de K_b foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, definiram-se dois valores intermediários de decaimento (K_{sub}). O K_{sub} representa o decaimento observado entre duas medições de vazão sequenciais, do total de três medições utilizadas para caracterização do decaimento, portanto, não representa a curva de depleção. A partir da Equação 1, utilizando os três dados de medição de vazão para o período de estiagem avaliado, empregando-os dois a dois, obtiveram-se os dois valores de K_{sub} (Figura 5).

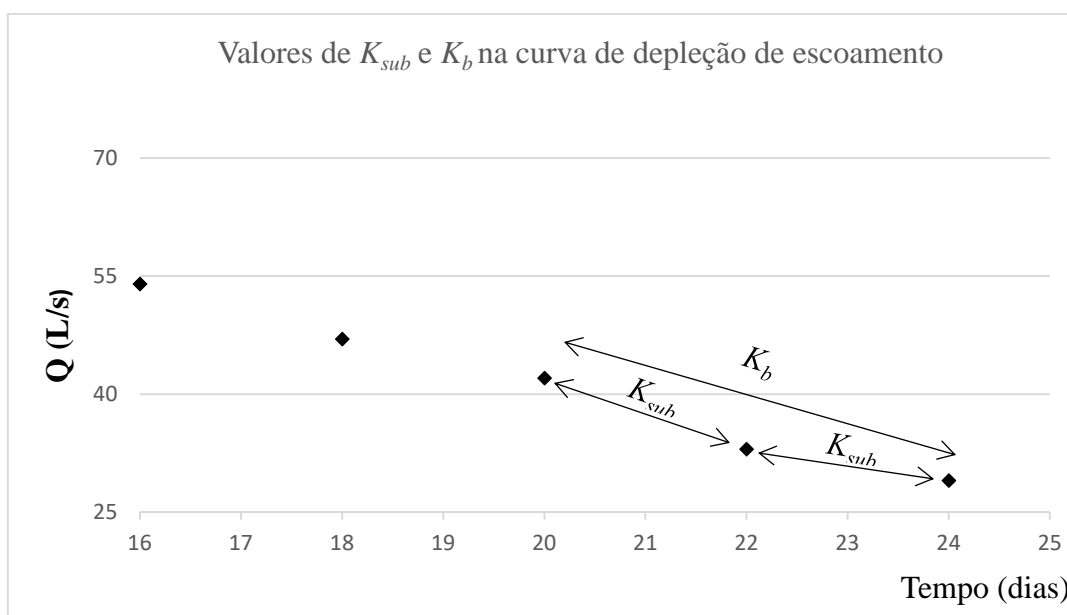


Figura 5 – Representação gráfica dos valores de K_{sub} e K_b .

Posteriormente, o valor de K_b foi determinado a partir da Equação 2, somando-se os valores de K_{sub} e dividindo-os pela diferença de tempo observada entre as medições subsequentes. Quando a diferença de tempo entre as medições foi diferente, adotou-se a média de dias entre medições sequenciais como valor de Δt . O K_b representa, então, o coeficiente de decaimento observado para o período de estiagem em avaliação, sendo um valor mais representativo da curva de deplecionamento das vazões.

$$K_{sub} = \Delta t \times \ln(Q_n/Q_{n+1}) \quad (1)$$

$$K_b = \frac{K_{sub(n)} + K_{sub(n+1)}}{\Delta t} \quad (2)$$

em que, Δt representa o intervalo entre as medições das vazões Q_n e Q_{n+1} no ponto de interesse, em dias; Q_n e Q_{n+1} as vazões medidas em dias subsequentes, em L/s; K_{sub} o coeficiente de decaimento das vazões, em dias e; K_b o coeficiente de decaimento médio da vazão, em dias.

Conforme indicado por Horn (2016), foram excluídos das análises os períodos de estiagem em que a diferença relativa entre os valores de K_{sub} observados em uma mesma campanha de três medições foi superior a 100%, uma vez que variações desta magnitude ou superiores apresentaram considerável elevação nos erros das simulações, não representando o deplecionamento natural dos cursos d'água (HORN, 2016).

A variação na frequência de medições de vazões, oriundas da série histórica utilizada no presente trabalho, impediu a adoção do critério inicialmente proposto por Silveira *et al.* (1998) para cálculo de K_b , utilizando valores de vazão observados no intervalo do 8º, 10º e 12º dias do período de estiagem (intervalo padrão), em todos os períodos de estiagem existentes na série de dados.

Como opção, utilizou-se intervalo alternativo para cada um dos critérios adotados para seleção dos períodos de estiagem (12 dias sem precipitação e 12 dias com até 15 mm de precipitação acumulada). Este intervalo alternativo considerou a utilização do dado observado mais próximo ao 8º dia do período de estiagem, um valor intermediário mais próximo ao dia correspondente à metade do período e o último valor disponível de vazão do período avaliado. Dessa forma, não se limitou a utilização das vazões aos 12 dias sugeridos inicialmente, mas sim, a toda a duração de cada período de estiagem.

A adoção desta alternativa também permitiu solucionar o entrave decorrente do fato de, por vezes, as vazões consecutivas não apresentarem valores decrescentes, mesmo na ausência total de precipitação. Este fato pode ser atribuído à variação horária da vazão observada ao longo de um dia, passível de verificação após a instalação de equipamento de medição continuada de nível na bacia, visto que se trata de um curso de água com pequenos valores de vazão e com retiradas expressivas de água por diversos usuários a montante do local de monitoramento. Destaca-se, ainda, que segundo Silveira *et al.*

(1998), a utilização de intervalos maiores possibilita a melhor caracterização do processo de deplecionamento fluvial local.

Para cada valor de K_b encontrado, ajustou-se a curva de deplecionamento das vazões através do valor de C_{inf} . O ajuste foi realizado a partir da consideração de um valor entre 0 e 1, que foi alterado manualmente até que o modelo apresentasse o menor erro percentual médio (EPM) entre os três dados observados utilizados para cálculo de K_b e os valores gerados pela simulação neste mesmo período.

Horn (2016) recomenda descartar o uso do MS para valores de C_{inf} fora da faixa de 0,1 a 0,6, uma vez que estes valores ampliam a faixa de aplicação proposta por Silveira *et al.* (1998) de 0,2 a 0,5. Assim, definiu-se o par de valores de K_b e C_{inf} para cada período de estiagem, que representou uma rodada de simulação do modelo. Foram descartados os períodos nos quais os valores de C_{inf} , após ajuste, estiveram fora da faixa de aplicação do método, conforme sugestão de Horn (2016).

Verifica-se, portanto, que foram adotados dois cenários para obtenção do par de valores K_b e C_{inf} para as rodadas de simulação. O Cenário 1, com critério de escolha do período de estiagem de 12 dias sem precipitação e duas opções para escolha dos valores observados de vazão para obtenção de K_b e ajuste de C_{inf} (Cenário 1.1: intervalo padrão e Cenário 1.2: intervalo alternativo). O Cenário 2, com critério de escolha de estiagem de 12 dias com até 15 mm de precipitação acumulada, permitiu apenas a utilização do intervalo alternativo entre medições de vazão para obtenção do parâmetro K_b e ajuste de C_{inf} .

Silveira *et al.* (1998) observaram melhoria significativa em seus resultados ao utilizar a média dos valores obtidos para os parâmetros (K_b e C_{inf}) de cada período de estiagem como um par de parâmetros de entrada para a simulação. Dessa forma, para os Cenários 1.2 e 2, que possuíam mais de um período de estiagem passível de utilização, realizou-se uma rodada de simulação adicional com os valores médios dos parâmetros obtidos individualmente em cada período de estiagem. Para estes pares de parâmetros adotou-se o sufixo “M” para nomeação do período.

Para a obtenção dos pares de parâmetros médios dos Cenários 1.2 e 2 utilizaram-se apenas os períodos que atenderam aos critérios apresentados por Horn (2016) relacionados às faixas aceitáveis de variação de K_{sub} e C_{inf} .

Definido o par de parâmetros (K_b e C_{inf}) para cada um dos cenários propostos, a estimativa dos valores médios diários de vazão do Método Silveira foi realizado a partir

da Equação 3, estando cada rodada de simulação relacionada a um par de valores (K_b e C_{inf}).

$$Q_b(t) = \left[Q_b(t-1) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{K_b}} \right] + \left[V_i(t) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{K_b}} \right) \right] \quad (3)$$

em que, $Q_b(t)$ expressa a vazão total de escoamento subterrâneo diária, em mm, $Q_b(t-1)$ a vazão total de escoamento subterrâneo diária no dia anterior, em mm e $V_i(t)$ o volume infiltrado total, em mm, representado por $V_i = C_{inf} \times P_r(t)$, sendo $P_r(t)$ a precipitação resultante em mm. A conversão dos valores de vazão para L/s foi realizada multiplicando-se o resultado da Equação 3 pela área de drenagem da bacia hidrográfica (25 km²) e dividindo-se pelo fator 0,0864.

Uma vez simulados os dados de vazão para cada cenário, elaboraram-se as curvas de permanência, as quais foram obtidas por meio da frequência acumulada contínua dos valores simulados para cada par de valores de K_b e C_{inf} , conforme metodologia apresentada por Pruski *et al.* (2006) e Silva *et al.* (2015).

Além disso, também foi gerada a curva de permanência dos dados observados de vazão para o triênio 2014-2016. Os valores de interesse foram os associados à faixa inferior da curva, com frequência acumulada entre 50% e 100%, conforme apresentado por Silveira *et al.* (1998) e Horn (2016).

4.4. Avaliação do desempenho do modelo

O desempenho do método foi avaliado através das curvas de permanência simuladas a partir dos Cenários 1 e 2, e dos dados observados. Além da análise visual do comportamento das curvas, foram aplicados os seguintes índices: erro percentual médio (EPM), erro absoluto médio (EAM), erro quadrático médio (EQM), e índice de concordância de Willmott, em sua forma relativa (d_{rel}).

A adoção do erro percentual decorreu do fato de Silveira *et al.* (1998) e Horn (2016) terem utilizado este critério para analisar a adequação do Método Silveira. Já o erro absoluto médio permite avaliar a ordem de grandeza dos erros obtidos em termos de vazão, possibilitando que a avaliação dos resultados seja fundamentada, também, pelo conhecimento da dinâmica real da bacia hidrográfica em estudo.

O erro quadrático médio (Equação 4) é uma métrica comumente utilizada para avaliação de modelos dada sua sensibilidade a elevados desvios entre valores simulados

e observados. Valores mais próximos a zero representam maior semelhança entre séries avaliadas (LIMA; ALVES, 2009).

$$EQM = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

em que, O_i é o valor observado, P_i o valor simulado.

O índice de concordância de Willmott (WILLMOTT, 1981) tem sido largamente utilizado para avaliação de resultados entre variáveis simuladas e observadas. Entretanto, estudos mostram que este índice apresenta reduzida sensibilidade na avaliação de vazões mínimas, obtendo resultados significativos para desempenho dos modelos devido à sensibilidade a variações elevadas dos dados comparados (ASCE, 1993; KRAUSE; BOYLE, 2005; ZHANG *et al.*, 2015).

Dessa forma, a utilização de sua forma relativa apresenta-se mais adequada para a avaliação dos resultados de modelo de vazões mínimas (KRAUSE; BOYLE, 2005), motivo pelo qual foi adotado no presente trabalho. O índice de concordância relativo de Willmott foi obtido a partir da Equação 5.

$$d_{rel} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{O_i - P_i}{O_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|}{\bar{O}} \right)^2} \right) \quad (5)$$

em que, O_i é o valor observado, P_i o valor simulado e \bar{O} a média dos valores observados.

4.5. Comparação das vazões mínimas de referência simuladas com os valores adotados para fins de outorga na bacia do São Bartolomeu

Os resultados obtidos a partir do melhor cenário simulado foram comparados em relação às vazões de referência Q_{95} , $Q_{7,10}$ e Q_{mld} . Embora a vazão mínima de referência utilizada para concessão de outorga no Estado de Minas Gerais seja a $Q_{7,10}$, boa parte dos estudos de regionalização apresentam equações para obtenção da Q_{95} e Q_{mld} . Além disso, em vários estados brasileiros, a Q_{95} é adotada como critério para outorga.

Utilizou-se, nesta análise, o cenário que apresentou menor erro percentual entre o valor simulado e o observado de Q_{95} . O par de parâmetros (K_b e C_{inf}) associado ao melhor cenário simulado pelo MS foi adotado para uma nova rodada de simulação para os períodos de 1975-2005 e 1975-2016.

O período de simulação de 1975-2005 foi o mesmo utilizado por GPRH e IGAM (2012) em estudo de regionalização para aprimoramento do processo de outorga de recursos hídricos para o Estado de Minas Gerais. As equações utilizadas foram as apresentadas para a região homogênea 3 da bacia hidrográfica do Rio Doce, considerando os fatores de imposição de restrição adotados para minimização dos riscos de extrapolação para áreas de drenagem fora da faixa utilizada para regionalização.

O cenário simulado para o período 1975-2016 foi utilizado para avaliação do comportamento das vazões de referência em relação ao período de escassez observado nos últimos anos pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) em todo Estado de Minas Gerais. Para esta avaliação, adotou-se a estação fluviométrica de Porto Firme (código 56075000), sendo esta, a estação mais próxima da área de estudo que possui dados para o período 1975-2016. A estação apresenta dados consistidos até o ano de 2005.

Utilizou-se também os valores de Q_{mld} e $Q_{7,10}$ obtidos a partir da metodologia constante no estudo Deflúvio Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA, 1993), indicado pelo IGAM para solicitação e avaliação de outorgas. Foram comparados os valores de Q_{95} e Q_{mld} para os dados observados. A metodologia utilizada por Souza (1993) encontra-se no Anexo II.

Para obtenção das vazões Q_{95} , $Q_{7,10}$ e Q_{mld} , para os resultados do MS para o cenário 2.2 e para a estação fluviométrica de Porto Firme, foi utilizado o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas – SisCAH 1.0 (SOUSA; BOF; PRUSKI, 2009). A comparação entre os dados simulados, observados e os demais estudos foi realizada a partir de diferença relativa entre os mesmos.

4.6. Avaliação do uso do Método Silveira para planejamento dos usos múltiplos da água em situações de escassez hídrica

No intuito de avaliar a possibilidade de utilização dos resultados apresentados pelo Método Silveira para planejamento do uso dos recursos hídricos em momentos de escassez, foi proposta uma discussão a partir das orientações relacionadas às restrições de uso dos recursos hídricos em momentos de escassez definidas pela Deliberação Normativa CERH/MG nº 49 de 2015 (MINAS GERAIS, 2015).

A DN CERH/MG nº 49 de 2015 estabelece que, a depender da condição das vazões, serão declarados três possíveis estados para caracterizar as situações de escassez nos cursos d'água: estado de atenção, estado de alerta e estado de restrição de uso. O estado de atenção acontece quando a média das vazões diárias de sete dias consecutivos (Q_7) forem inferiores a 200% da $Q_{7,10}$. O estado de alerta é atingido quando a Q_7 é igual ou inferior a 100% da $Q_{7,10}$ e o estado de restrição quando a Q_7 for inferior a 50% da $Q_{7,10}$.

Para esta discussão, foram utilizados os valores de $Q_{7,10}$ produzidos pelo cenário simulado para 1975-2016, conforme apresentado no item 4.5. A discussão se deu no sentido de avaliar a possibilidade de utilização do Método Silveira como ferramenta alternativa que permita melhorar a alocação das vazões disponíveis em situações de escassez para uma bacia hidrográfica sem dados, ao invés da adoção de percentual de redução fixo para todos os eventos de escassez.

Foram utilizados os dados de outorgas disponibilizados por IGAM (2017) por meio de planilha eletrônica, entre os anos de 2008 e 2015, para avaliação do impacto destas captações e das reduções propostas pela DN CERH/MG nº 49 de 2015 nas vazões simuladas pelo MS. Foram observados na bacia sete usos cadastrados e um outorgado. Considerou-se nesta análise todos os usos existentes, mesmo aqueles com prazo de validade de cadastro e outorga expirado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Aplicação do Método Silveira

Na aplicação do método para o Cenário 1 considerou-se a utilização de períodos de estiagem de 12 dias, com possibilidade de obtenção dos valores de K_b para o intervalo padrão (Cenário 1.1) e para o intervalo alternativo (Cenário 1.2). Para o Cenário 1.1 foram

encontrados sete períodos de estiagem, entretanto, apenas um deles foi passível de utilização em razão do critério de obtenção do valor de K_b . Este período foi observado no mês de janeiro de 2015, já indicando a possibilidade de uma resposta não representativa do deplecionamento fluvial para períodos críticos de vazões mínimas ao longo do ano. No Cenário 1.2 foram observados 15 períodos de estiagem, dos quais seis puderam ser utilizados.

Para o Cenário 2.0, considerando minimamente 12 dias com precipitações acumuladas de até 15 mm que não interferissem no estado de deplecionamento das vazões, foram observados sete períodos de estiagem, dos quais quatro puderam ser utilizados.

A Tabela 1 apresenta os períodos de estiagem de cada um dos cenários, considerando o mês inicial de ocorrência, a vazão do primeiro dia de estiagem (Q_i), última vazão observada no período de estiagem (Q_f) e a duração em dias de estiagem dos mesmos. Os períodos de estiagem são apresentados integralmente no Anexo III, considerando os dois critérios de seleção.

Tabela 1 – Períodos de estiagem observados para os Cenários 1 e 2

Cenário	Período de estiagem	Mês	Q_i (L/s)	Q_f (L/s)	Duração (dias)	
1	1.1	1.1.1	Jan.15	168	28	21
	1.2	1.2.1	Jan.15	168	28	21
		1.2.2	Abr.15	66	55	13
		1.2.3	Mai.15	192	61	15
		1.2.4	Jun.15	52	35	31
		1.2.5	Jul.15	81	33	25
		1.2.6	Jun.16	49	35	59
2	2.0	2.1	Mai.15	61	35	67
		2.2	Ago.15	38	33	23
		2.3	Set.15	156	28	30
		2.4	Jun.16	39	35	94

Q_i – vazão observada no primeiro dia do período de estiagem em L/s.

Q_f – vazão observada no último dia do período de estiagem em L/s.

É possível observar a existência predominante de períodos entre os meses abril e julho, fato que se deve à falta de dados observados que possibilitassem a utilização de outros períodos de estiagem observados ao longo do período. Além disso, a média de dias nos períodos de estiagem apresentados na Tabela 1 é de 36 dias de períodos de estiagem, com predominância para períodos de até 30 dias de estiagem, embora existam cenários com 13 e 94 dias de duração.

A variação de vazões e durações dos períodos observados, bem como a adoção de critérios distintos para seleção dos períodos de estiagem, fez necessária uma avaliação mais detalhada dos parâmetros obtidos para cada cenário. A Tabela 2 apresenta, os valores de cada par de K_{sub} , a variação percentual entre os dois valores de K_{sub} (ΔK_{sub}), o coeficiente de decaimento médio (K_b) e C_{inf} obtidos para cada período de estiagem.

Tabela 2 – K_{sub} , K_b e C_{inf} obtidos para cada período de estiagem selecionado

Cenário	Períodos de estiagem	K_{sub1}	K_{sub2}	ΔK_{sub} (%)	K_b	C_{inf}
1.1	1.1.1 ¹	8,63	17,38	101%	13,00	0,08
	1.2.1	11,53	18,35	59%	5,43	0,23
	1.2.2 ¹	5,15	166,50	3133%	85,82	0,06
	1.2.3	25,95	25,39	2%	17,11	0,14
1.2	1.2.4 ¹	35,57	301,48	748%	30,64	0,31
	1.2.5	97,38	152,95	57%	29,44	0,20
	1.2.6 ¹	181,46	413,89	128%	17,26	0,15
	1.2.M	-	-	-	17,33	0,19
2.0	2.1 ¹	129,81	78,50	65%	7,18	1
	2.2	310,48	201,00	54%	68,20	0,13
	2.3	84,90	89,87	6%	15,89	0,21
	2.4 ¹	215,81	106,02	104%	8,97	0,85
	2.M	-	-	-	42,05	0,17

¹ Períodos de estiagem desconsiderados, conforme orientado por Horn (2016).

K_{sub1} – decaimento observado a primeira e a segunda medições de vazão, do total de três medições utilizadas para caracterização do decaimento do período de estiagem.

K_{sub2} – decaimento observado a primeira e a segunda medições de vazão, do total de três medições utilizadas para caracterização do decaimento do período de estiagem.

ΔK_{sub} (%) variação percentual entre valores de K_{sub1} e K_{sub2}

K_b – coeficiente médio de decaimento observado para o período de estiagem.

C_{inf} - coeficiente de infiltração.

A adoção dos critérios distintos para cálculo dos parâmetros produziu dois cenários (1.1.1 e 1.2.1) para o mesmo evento de estiagem, ocorrido em janeiro de 2015, com duração de 21 dias. A adoção de todo o período de estiagem para obtenção do valor de K_b (Cenário 1.2.1) acarretou em uma variação menor de valores intermediários de decaimento (K_{sub}), possibilitando também a obtenção de valor de C_{inf} mais condizente com o entendimento físico do processo de infiltração em uma bacia hidrográfica.

Os valores de K_{sub} apresentados nestes dois cenários foram os menores valores observados para todas as simulações, exceto pelo valor de K_{sub1} observado no Cenário 1.2.2. Atribui-se este comportamento ao fato destes cenários terem sido observados no período chuvoso, o que, vai em desconformidade às premissas do MS de representação do comportamento da bacia no período de estiagem do ano hidrológico, quando não há recargas do reservatório subterrâneo pelas precipitações frequentes que normalmente ocorrem no período chuvoso.

A variação de valores de K_{sub} para os Cenários 1.2.2 e 1.2.4 foi de 3.133% e 748%, respectivamente, chamando a atenção para a discrepância entre as medições. No caso específico do Cenário 1.2.2, a variação ocorreu devido ao valor extremamente reduzido de K_{sub1} , que pode ser atribuído à variabilidade horária da vazão existente na bacia, responsável por gerar variação muito brusca entre as vazões observadas para este cenário. Para o Cenário 1.2.4 observa-se, também, que há decaimento mais acentuado para K_{sub1} pelas mesmas razões. Para os demais cenários, onde a variação dos valores de K_{sub} superou os 100% (1.1.1, 1.2.6 e 2.4), não se observou tamanha discrepância entre valores de K_{sub} obtidos.

Em geral, observou-se que o primeiro valor de decaimento (K_{sub1}) representou a parte mais acentuada da curva de decaimento, como esperado. Entretanto, a rápida estabilização da curva de decaimento ao final dos períodos de estiagem gerou variações acima do recomendado por Horn (2016) para os valores de K_{sub} . Fisicamente, este fato pode resultar da capacidade reduzida de abastecimento do reservatório subterrâneo da bacia hidrográfica.

Em relação aos valores observados de C_{inf} , os Cenários 1.1.1, 1.2.2, 2.1 e 2.4 se apresentam fora das faixas recomendadas por Horn (2016). Os dois primeiros cenários apresentaram valores inferiores à 0,1, enquanto os últimos valores maiores que 0,6. Nestes casos, embora o C_{inf} seja um parâmetro de ajuste do método, entende-se que não há justificativa física para os valores fora da faixa de aplicação.

Uma justificativa para a variação de valores dos parâmetros fora das faixas observados nos estudos de Silveira *et al.* (1998) e Horn (2016) é a variabilidade temporal das precipitações observadas na região deste estudo, que diferentemente do observado nas regiões dos autores, é formada por verões chuvosos e invernos secos, que, de forma mais intensa nestes últimos anos, têm apresentado volumes precipitados reduzidos nos períodos chuvosos e longos períodos de estiagem.

Pode-se ainda questionar também o fato do critério alternativo de seleção dos períodos de estiagem permitir a utilização de períodos ao longo de todo ano, mas observou-se que todos períodos que atenderam aos critérios relacionados à variação do K_{sub} e faixa de aplicação do C_{inf} estiveram entre os meses de abril e setembro, portanto, em período não chuvoso e onde se pode observar o decaimento natural das vazões.

O desvio padrão dos parâmetros K_b e C_{inf} diferiu expressivamente daqueles observados por Silveira *et al.* (1998), cujos valores para as seis bacias hidrográficas analisadas esteve na faixa de 0,77 – 1,86 para K_b e 0,04 – 0,08 para C_{inf} . Já para os períodos de estiagem observados neste estudo, os valores de desvio para os parâmetros K_b e C_{inf} para o Cenário 1.2 foram de 12,01 e 0,05, enquanto para o Cenário 2.0, foram de 36,99 e 0,06, respectivamente Tabela 3.

Tabela 3 – Médias e desvio padrão dos parâmetros (K_b e C_{inf}) obtidos para os Cenários 1.2 e 2.0: (a) atendendo aos critérios de exclusão de períodos indicados por Horn (2016); e (b) incluindo todos os períodos pré-selecionados

Condição	Cenário	Media K_b	Desvio K_b	Media C_{inf}	Desvio C_{inf}
a	1.2	17.33	12.01	0.19	0.05
	2.0	42.05	36.99	0.17	0.06
b	1.2	30.95	28.44	0.18	0.09
	2.0	25.06	29.00	0.55	0.44

Nem mesmo a retirada dos cenários que não atenderam aos critérios propostos por Horn (2016) para variação percentual entre valores de K_{sub} , foram suficientes para que o desvio padrão dos valores do parâmetro K_b obtidos para os cenários se aproximassem da faixa obtida por Silveira *et al.* (1998). Em relação aos valores do parâmetro de ajuste (C_{inf}), a retirada dos valores fora da faixa de aplicação proposta por Horn (2016) permitiu a redução do desvio padrão observado para ambos os cenários, dentro da faixa apresentada por Silveira *et al.* (1998).

Esta variação demasiada do valor de K_b requer atenção especial para escolha do período de estiagem a ser adotado para a aplicação do método, uma vez que sua utilização em bacia hidrográfica sem qualquer informação preliminar de vazão exigirá ainda mais conhecimento da escala de grandeza das vazões da região por parte da equipe técnica.

Além disso, pode-se atribuir a variação a outros fatores: (i) o regime de precipitação das áreas estudadas por Silveira *et al.* (1998) e Horn (2016) serem diferentes do observado na área de estudo, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos,

acentuados desde 2014 pelo continuado estresse hídrico observado na região (CPRM, 2014, 2016, 2017a) e; (ii) a acentuada variação horária da vazão observada após a instalação de equipamento de medição continuada de nível na bacia hidrográfica de estudo, provocadas pelos usos na área de drenagem a montante do ponto de monitoramento, destacadamente para irrigação e abastecimento humano.

Considerando as possibilidades de simulação a partir dos períodos de estiagem utilizados para obtenção do par de parâmetros K_b e C_{inf} , foram geradas sete séries simuladas de vazões, para o triênio 2014-2016, associadas a diferentes permanências no tempo. Além disso, gerou-se também a curva de permanência para os dados observados.

A Tabela 4 apresenta os valores de vazão associados a diferentes permanências no tempo, para a faixa de 50 a 100%, para os diferentes cenários adotados, os quais foram utilizados para o traçado das curvas de permanência.

Tabela 4 – Vazões observadas e simuladas (em L/s), para os diferentes cenários, associadas a diferentes permanências no tempo

%	Obs.	Cenário 1				Cenário 2		
		1.2.1	1.2.3	1.2.5	1.2.M	2.2	2.3	2.M
50	46	43	47	75	76	73	69	88
55	43	31	37	63	59	63	53	70
60	40	21	27	54	46	54	39	59
65	38	14	21	47	34	47	30	50
70	36	9	17	38	26	42	24	45
75	35	6	14	27	21	37	20	38
80	35	3	10	21	16	34	14	30
85	33	1	7	18	11	31	10	23
90	31	0	5	14	7	24	7	18
95	29	0	3	10	5	20	4	14
100	24	0	1	7	1	13	1	8

A Figura 6 apresenta o comportamento das curvas de permanência de dados observados e simulados para os sete cenários avaliados, na faixa entre 50 – 95%. Em destaque na figura a faixa de permanência associada à 80 – 95%.

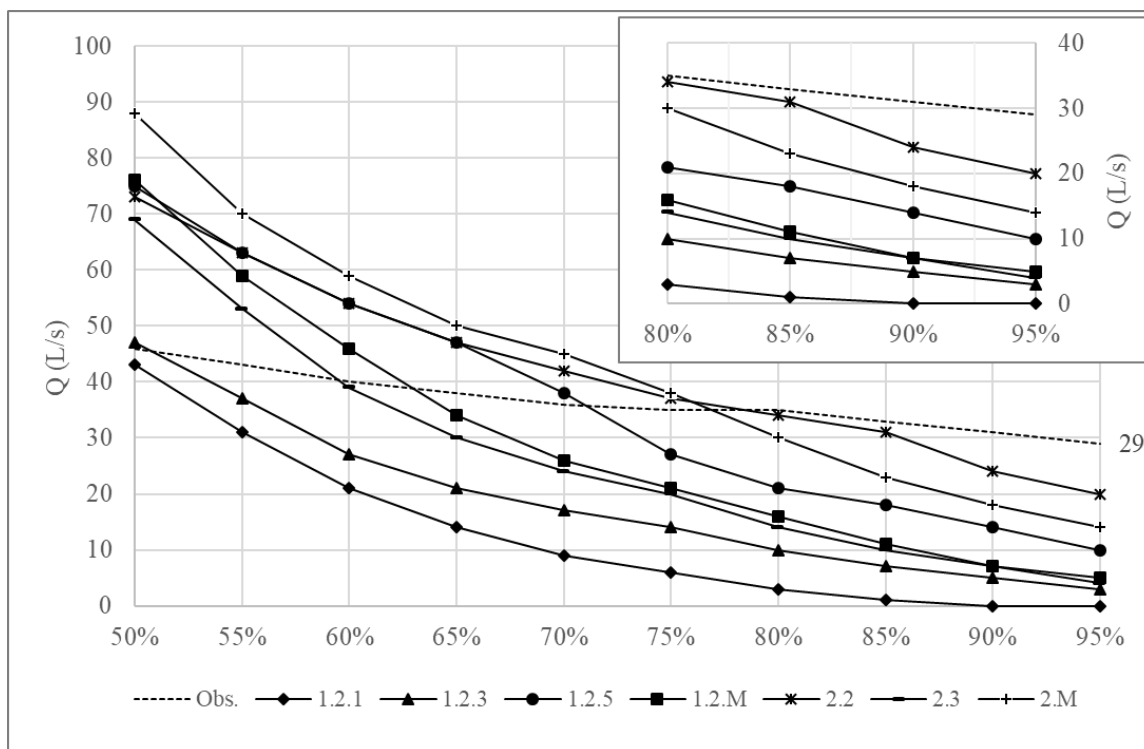


Figura 6 – Comportamento das curvas de permanência de dados observados e simulados para os diferentes cenários avaliados, considerando apenas a faixa de 50 a 100% de permanência no tempo.

Na avaliação visual do comportamento dos dados, recomendada como avaliação inicial por ASCE (1993), fica claro que a declividade de todas as curvas simuladas é superior à curva obtida com as vazões observadas para o período. Entretanto, é importante relativizar esta avaliação, já que a curva de permanência observada foi construída com dados obtidos em apenas 44% dos dias do período de monitoramento, tendendo a um formato mais achatado na transição entre a faixa superior (0 – 50%) e a faixa inferior (50 – 100%), já que as vazões de pico não foram representadas.

Na Figura 5 é possível notar a subestimativa das vazões associadas às maiores permanências para todos os cenários simulados. Entretanto, o momento em que se inicia a subestimativa para a faixa inferior é diferente para os cenários simulados, embora, a partir das permanências superiores à 80%, todas as vazões simuladas tenham sido subestimadas.

A queda brusca das vazões referentes à faixa inferior da curva de permanência para o Cenário 1.2.1 pode ser explicada pelo fato deste cenário apresentar o menor valor de K_b (5,43) dentre os demais. Este comportamento também é observado para o Cenário 1.2.3, embora menos acentuado, devido ao valor mais elevado de K_b (17,11), mas com

vazões reduzidas devido à pequena parcela da precipitação resultante infiltrada, relacionado ao baixo valor de C_{inf} (0,14).

Os Cenários 1.2.5, 1.2.M e 2.3 apresentaram comportamento de decaimento relevante, embora menos acentuados que os Cenários 1.2.1 e 1.2.3. Observou-se que os valores obtidos de K_b para estes cenários foram de 29,44, 17,33 e 15,89, respectivamente. Para os cenários restantes (2.2. e 2.M) as curvas simuladas subestimaram por menor tempo os valores de vazões, embora, para a análise da faixa entre 50 a 95%, superestimaram as vazões para permanências de até 75% do tempo.

Os resultados observados de EPM para a faixa de 50 a 95% da curva de permanência variaram entre -69% e -5% para os períodos de estiagem do Cenário 1, sendo que o desempenho para o Cenário 1.2.M, utilizando a média para o par de parâmetros K_b e C_{inf} , foi apenas inferior ao Cenário 1.2.5. Para o Cenário 2 foram observados erros variando entre -32% e 12%, verificando-se que o Cenário 2.M, que utilizou o par de parâmetros médios, apresentou desempenho similar ao Cenário 2.2 (Tabela 5).

Tabela 5 – Erros Percentuais Médios para a faixa de 50 a 95% da curva de permanência e para 50% (Q_{50}) e 95% (Q_{95})

Permanência (%)	Cenário 1				Cenário 2		
	1.2.1	1.2.3	1.2.5	1.2.M	2.2	2.3	2.M
50 – 95	-69%	-53%	-5%	-24%	12%	-32%	13%
50	-7%	2%	63%	65%	59%	50%	91%
95	-100%	-90%	-66%	-83%	-31%	-86%	-52%

Considerando os valores de vazões associados às permanências de 50 e 95% no tempo, verifica-se que para a Q_{50} o EPM variou entre -7 e 2% no Cenário 1 e entre 50 e 65% no Cenário 2. Já para a Q_{95} os resultados variaram entre -100 e -90% para o Cenário 1 e entre -86% e -31% para o Cenário 2.

Comparativamente aos valores apresentados por Horn (2016), em que os resultados dos erros percentuais médios para a Q_{50} variaram de 22% a 65% e para Q_{95} entre -28% e 121%, a maioria dos valores obtidos para Q_{50} estiveram próximos a esta faixa, com destaque aos resultados dos Cenários 1.2.1 e 1.2.3, que apresentam valores de EPM de -7% e 2%, respectivamente.

Para a Q_{95} todos os valores estiveram fora da faixa apresentada por Horn (2016), com clara tendência à subestimativa nos dois cenários. Os valores subestimados de vazão associadas às maiores permanências no tempo podem ser explicados pela distribuição das

chuvas ao longo do ano hidrológico na região de estudo, que é caracterizada por grandes períodos sem precipitação e o comportamento das vazões no método é representado por equações de decaimento exponencial, enquanto a vazão observada apresenta, na parte final da curva de recessão de escoamento, tendência à estabilização.

Os Cenários 1.2.M e 2.M, diferentemente do observado por Silveira *et al.* (1998), não apresentaram melhores resultados. Nota-se que, em ambos os casos, os resultados para o erro percentual foram melhores que os períodos que apresentaram valores de K_b menores que 18 (1.2.1, 1.2.3 e 2.3). Este fato, reforça a necessidade de avaliação criteriosa dos períodos de estiagem, não tendo sido suficiente a utilização de mais de um período de estiagem para melhoria dos resultados.

Com base nos resultados da Tabela 5 verifica-se que o Cenário 2.2 apresentou o segundo menor EPM para a faixa de 50 – 95% da curva de permanência (12%) e o menor erro para a Q_{95} (-31%). Dessa forma, pode ser considerado o melhor cenário dentre os sete simulados.

Os erros absolutos, apresentados na Tabela 6, variaram de 0,39 – 0,95 L/s.km² para a média da faixa de 50 – 95%, de 0,04 – 1,68 L/s.km² para Q_{50} e de 0,36 a 1,16 L/s.km² para Q_{95} , sendo que para o Cenário 2.2 os valores foram de 1,08 e 0,36 L/s.km² para Q_{50} e Q_{95} , respectivamente. Horn (2016) obteve resultados para erros médios nas pequenas bacias avaliadas em seu estudo da ordem de 4,78 e 0,63 L/s.km² para Q_{50} e Q_{95} , respectivamente. Verifica-se, portanto, que, considerando o Cenário 2.2 os erros para Q_{50} e Q_{95} foram inferiores aos obtidos por Horn (2016).

Tabela 6 – Erros absolutos, L/s km², para a faixa de 50 a 95% da curva de permanência e para 50% (Q_{50}) e 95% (Q_{95})

	Cenário 1				Cenário 2		
	1.2.1	1.2.3	1.2.5	1.2.M	2.2	2.3	2.M
50 – 95	0,95	0,72	0,59	0,68	0,39	0,65	0,62
Q_{50}	0,12	0,04	1,16	1,2	1,08	0,92	1,68
Q_{95}	1,16	1,04	0,76	0,96	0,36	1,00	0,60

Os resultados dos índices estatísticos de avaliação EQM e coeficiente de Willmott relativo, apresentados na Tabela 7, não foram utilizados por Silveira *et al.* (1998) e Horn (2016) para avaliação dos resultados da aplicação do Método Silveira, entretanto, foram utilizados no presente trabalho por se tratarem de índices comumente utilizados na literatura para avaliação da qualidade de resultados obtidos a partir de simulações. Os

valores de EQM variaram na faixa de 0,50 e 1,02 L/s.km², tendo o melhor valor sido apresentado pelo Cenário 2.2, seguindo tendência do erro percentual médio. Já para o coeficiente de concordância de Willmott, em sua forma relativa, os valores estiveram na faixa de 0,23 – 0,77, sendo este último o melhor valor, obtido para o Cenário 2.2, considerado como satisfatório.

Tabela 7 – Erro quadrático médio (EQM), L/s.km², e Coeficiente de Willmott relativo (*d*) para os diferentes cenários avaliados

	Cenário 1				Cenário 2		
	1.2.1	1.2.3	1.2.5	1.2.M	2.2	2.3	2.M
EQM	1,02	0,81	0,65	0,77	0,50	0,74	0,75
<i>d</i>_{rel}	0,23	0,32	0,64	0,52	0,77	0,48	0,67

De forma geral, a utilização do MS conseguiu produzir ao menos um cenário com resultados positivos, que representaram de forma aceitável o estado atual das vazões na bacia, considerando o déficit de informações existente. Entretanto, é preciso ressaltar que, em parte das simulações, os resultados não se apresentaram satisfatórios, simulando valores muito inferiores aos observados ou, no caso dos cenários desconsiderados, apresentado parâmetros de entrada não condizentes com as características físicas da bacia. Este é um ponto relevante, que não descarta as potencialidades do MS, mas exige avaliação criteriosa quando da seleção de um período de estiagem único para aplicação do método, principalmente quando aplicado em regiões com estação seca longa e bem definida.

5.2. Comparação entre os valores de Q₉₅ e Q_{7,10} simulados e os valores adotados pelo órgão gestor de recursos hídricos

O Cenário 2.2, considerado como o mais representativo das características atuais da bacia dentre os cenários simulados, foi utilizado para fins avaliação das vazões mínimas de referência adotadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para fins de outorga de uso da água na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu. Além disso, utilizou-se a Q₉₅ na análise, por se tratar de índice utilizado para fins de outorga em vários estados e presente em estudos de regionalização utilizados como referência para comparação.

A Tabela 8 apresenta as vazões de referência simuladas para intervalo de tempo semelhante ao adotado por GPRH e IGAM (2012), entre os anos de 1975 e 2005,

considerando os parâmetros K_b e C_{inf} referentes ao Cenário 2.2. Além disso, apresenta-se também os valores obtidos de Q_{mld} e $Q_{7,10}$ a partir da metodologia proposta por Souza (1993), atualmente adotada pelo IGAM, e os valores de Q_{mld} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ para o período de 1975-2016 referentes à aplicação do MS com o Cenário 2.2.

Observa-se na Tabela 8 que as vazões apresentadas por ambas as aplicações do MS (1975-2005 e 1975-2016) proporcionaram valores reduzidos de Q_{mld} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ em relação ao estudo de regionalização realizado por GPRH e IGAM (2012), com reduções para o MS (1975-2005) da ordem de 74%, 87% e 91%, respectivamente. Em relação aos valores obtidos a partir da metodologia proposta por Souza (1993), as reduções para Q_{mld} e $Q_{7,10}$ foram da ordem de 70% e 84%, respectivamente. Os resultados para o MS com período de 1975-2016 apresentaram resultados semelhantes ao período 1975-2005.

Ressalta-se que a Q_{mld} e a Q_{95} obtidas com a utilização dos dados observados são, respectivamente, 68 L/s e 29 L/s, portanto, menores que os valores apresentados por todos os demais métodos adotados. Dentre todos os resultados, apenas os obtidos pelo Método Silveira se mostraram próximos à realidade observada na bacia hidrográfica do São Bartolomeu. Essa afirmação é corroborada pelas vazões atualmente observadas, que, no dia 25/09/2017, chegaram aos 16 L/s, menor valor observado até então.

Tabela 8 – Comparação dos valores de Q_{mld} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, em L/s, observados e obtidos pela aplicação de diferentes metodologias

Vazões	Obs.	Souza ² (1993)	GPRH e IGAM (2012)	MS (1975:2005)	MS (1975:2016)
Q_{mld}	69 ¹	452	507	134	128
Q_{95}	29	-	225	29	27
$Q_{7,10}$	-	113	185	17	16

¹ Embora tratado como Q_{mld} deve-se considerar que este valor representa a média dos valores observados ao longo do período disponível de dados.

² Metodologia apresentada por Souza (1993) não permite a estimativa da Q_{95}

Obs.: Vazão observada

MS (1975-2005): Aplicação do Método Silveira para o período de 1975-2005, considerando o par de parâmetros utilizados para o Cenário 2.2.

MS (1975-2016): Aplicação do Método Silveira para o período de 1975-2016, considerando o par de parâmetros utilizados para o Cenário 2.2.

Apesar de apresentarem resultados semelhantes, a simulação do MS para os períodos de 1975-2005 e 1975-2016 apresentam redução nos valores de Q_{mld} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, sendo as reduções da ordem de 4%, 7% e 6% respectivamente. Este comportamento é também observado nos últimos anos em diversos municípios da região Sudeste (CPRM, 2017a, 2017b).

Visando avaliar o comportamento hidrológico na região, utilizou-se dados da estação fluviométrica de Porto Firme (código 56075000). A partir das análises hidrológicas, foram observadas reduções nos valores de Q_{mld} , Q_{95} e $Q_{7,10}$ da ordem de 6%, 23% e 18%, na comparação entre os períodos 1975-2005 e 1975-2016. O comportamento observado para a estação analisada apresenta redução para as três vazões de referência avaliadas, tendência também observada para as simulações realizadas para os mesmos períodos pelo MS, considerando o par de parâmetros do Cenário 2.2, embora em proporções menores de redução para os valores de Q_{95} e $Q_{7,10}$.

Ainda sobre a Tabela 8, para as simulações pelo MS para 1975-2005 e 1975-2016 os valores de Q_{95} (29 L/s e 27 L/s, respectivamente) apresentaram semelhança com a Q_{95} oriunda da curva de permanência com os dados observados, demonstrando que a adoção de um período de simulação maior pode ser utilizada para aplicação do Método Silveira em relação aos valores de Q_{95} .

De forma geral, o MS apresentou resultados mais condizentes com os valores observados atualmente para a bacia hidrográfica, principalmente em comparação aos valores observados de Q_{95} . Já os métodos de Sousa (1993) e GPRH e IGAM (2012) superestimaram expressivamente os valores observados, com a ressalva que a curva observada subestima os valores médios de permanência para o período, conforme já discutido.

Da mesma forma, não é possível avaliar de forma definitiva a capacidade do MS para os períodos estendidos de simulação em relação à vazão mediana da curva de permanência e à Q_{mld} para o período observado, embora os resultados observados tenham sido mais próximos da realidade atual.

5.3. Utilização do Método Silveira como base de informações para planejamento dos usos múltiplos da água em situações de escassez hídrica

Neste item, avaliou-se a utilização do MS em bacias hidrográficas ou porções das mesmas que atravessem períodos de escassez hídrica que comprometam os usos múltiplos outorgados. No caso particular da bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, a utilização do método, na ausência dos dados, mostrou-se capaz de representar mais fidedignamente a situação atual, em que os valores outorgados não condizem com a disponibilidade hídrica da bacia.

Atualmente, a identificação dos estados críticos de escassez é realizada pelo IGAM, observando o comportamento da Q_7 em relação aos valores definidos de $Q_{7,10}$ para um trecho ou bacia de interesse. O estado mais crítico corresponde a observação de valores de Q_7 inferiores à 50% da $Q_{7,10}$. Uma vez observadas vazões dessa magnitude, deve-se reduzir as vazões captadas, conforme critérios pré-estabelecidos pela DN CERH/MG nº 49/2015.

Ao longo do período de monitoramento no Ribeirão São Bartolomeu, observou-se que em boa parte do tempo, as vazões observadas foram inferiores a 50% do valor de $Q_{7,10}$ apresentado por GPRH e IGAM (2012) e por Souza (1993), conforme apresenta-se na Figura 7. Analisando a base de dados ao longo dos dias de monitoramento, conseguiu-se definir que, ao menos em 60% do tempo os valores de Q_7 se apresentaram menores que 50% da $Q_{7,10}$ apresentada por GPRH e IGAM (2012). Para a $Q_{7,10}$ obtida pelo método de Souza (1993), a permanência de valores de Q_7 desta magnitude foi observada, pelo menos, em 50% do tempo.

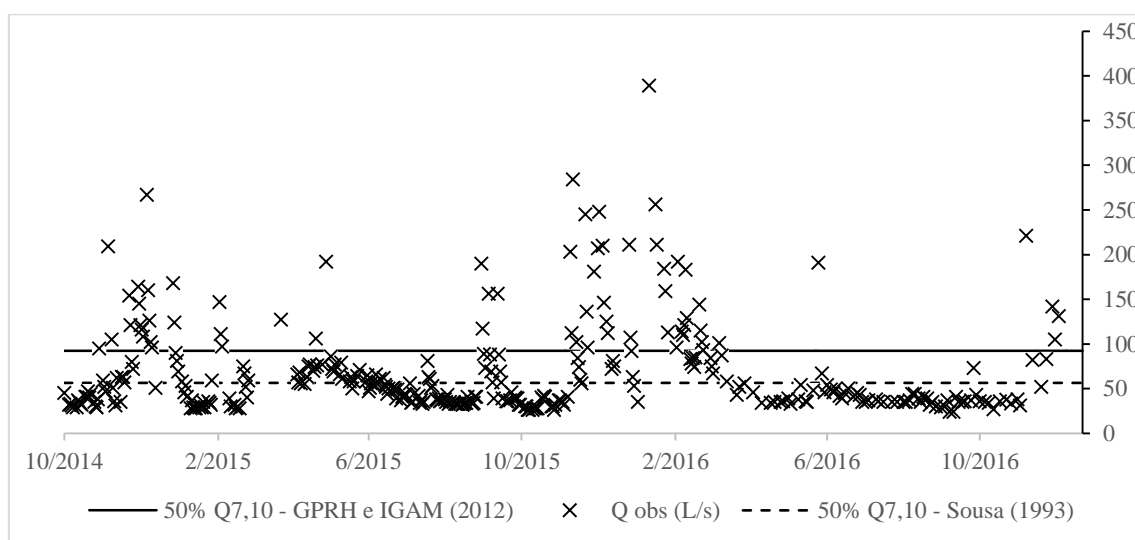


Figura 7 – Dados observados para o período de monitoramento e limites de 50% da $Q_{7,10}$ obtidos por GPRH e IGAM (2012) e pela metodologia de Souza (1993).

Esta avaliação permite estabelecer, segundo consta na DN CERH/MG nº 49/2015, que, ao menos em 50% do tempo, as vazões outorgadas devem ser reduzidas. A partir de dados de cadastrados fornecidos pelo IGAM, sabe-se que o somatório dos valores outorgados e dos usos insignificantes cadastrados a montante do ponto de medições de vazões (afluente ao reservatório de captação para a ETA-UFV e ETA-I) é de aproximadamente 4 L/s de captações superficiais.

Considerando que são usos para irrigação e dessedentação de animais, a redução máxima indicada pela legislação é de 25%. No caso de abastecimento público, as outorgas concedidas para captação da ETA-UFV e ETA-I são de 30 L/s e 85 L/s (em períodos de críticos a captação deve ser de 60 L/s). Com as reduções propostas pela DN CERH/MG nº 49/2015 para o estado de restrição, ter-se-ia usos da ordem de 24 L/s e 48 L/s.

A soma das captações, considerando os usos citados anteriormente, atendendo aos critérios propostos de redução, seria de aproximadamente 75 L/s, uma vez observado estado de restrição hídrica. Considerando que os valores de $Q_{7,10}$ adotados estão no trecho a montante do reservatório de captação e desconsiderando a sua capacidade de regularização, que atualmente é muito pequena em função do seu assoreamento e das baixas vazões, pode-se concluir que a simples redução dos valores outorgados conforme critérios para períodos de restrição implicaria em usos de 81% $Q_{7,10}$ para valores apresentados por GPRH e IGAM (2012). Para os valores de $Q_{7,10}$ obtidos pela metodologia de Souza (1993), o valor de captação considerando as restrições ainda seria 33% superior a própria $Q_{7,10}$.

Considerando a existência de reservatórios a jusante, as informações relacionadas a Q_{mld} são importantes para a operação sustentável dos mesmos. Da mesma forma, os valores observados a partir das simulações e dos dados observados apontam para valores menores que os obtidos por GPRH e IGAM (2012) e Souza (1993). Em relação aos valores apresentados por GPRH e IGAM (2012), os valores simulados (1975-2005 e 1975-2016) foram menores, da ordem de 70%, enquanto, os valores observados apresentaram redução da ordem de 86%. Em relação os dados obtidos por Souza (1993), os valores simulados apresentaram-se aproximadamente 70% menores, enquanto o valor de Q_{mld} observado, uma redução de 85%.

É importante ressaltar que, no que diz respeito à Q_{mld} , entende-se que os dados observados não constituam uma representação fidedigna da realidade da bacia hidrográfica, visto que não foram realizadas medições em todos os dias do período de monitoramento e que, por vezes, não foram obtidos os valores de vazão máxima de escoamento. Além disso, o monitoramento foi realizado em um curto intervalo de tempo para fins de caracterização da Q_{mld} e foram contemplados anos com redução significativa das precipitações totais anuais.

A adoção do Método Silveira, como base complementar de informação ao planejamento dos usos múltiplos, permitiria a reavaliação do cenário atual em momentos

de escassez e conflito, a fim de verificar a efetividade do atendimento a DN CERH/MG nº 49/2015 como solução para o déficit hídrico em períodos críticos.

Para a área de estudo, observou-se que o menor valor de $Q_{7,10}$ gerado pelas simulações foi de 16 L/s (para período de simulação de 1975-2016), bem distante dos valores utilizados para fins de planejamento de outorgas, mesmo com metodologias que adotaram a imposição das restrições para minimização dos efeitos de extrapolação.

Além disso, os valores de Q_{mld} também se apresentaram menores que os utilizados como referência. Nesses casos, a obtenção de valores mais realistas permitiria avaliar os percentuais de redução necessários a demanda dos usos múltiplos a montante e a jusante do trecho em questão, a garantia de fluxo residual, a operação sustentável dos reservatórios e a necessidade de alternativas para manutenção das atividades possuidoras de outorgas.

O grande desafio, entretanto, volta a ser a escolha do período de estiagem, já que, mesmo durante os períodos de escassez observados na área de estudo, algumas medições não permitiram representar bem o comportamento das vazões mínimas. Neste sentido, caso haja dúvidas sobre os resultados observados ao longo do período de estiagem sejam realizadas campanhas de medições adicionais para nova rodada de simulações.

Todavia, destaca-se que, considerando a grande carência de informações hidrológicas em pequenas bacias hidrográficas brasileiras é preciso ampliar as possibilidades de utilização de ferramentas que permitam a disponibilidade hídrica com baixo custo econômico e operacional e, neste contexto, o MS apresenta grande potencial.

Dessa forma, recomenda-se sua utilização para pequenas bacias, tanto pelos gestores locais, quanto pelos órgãos gestores de recursos hídricos estaduais, para intermediar situações de conflito, escassez ou mesmo para iniciar planejamento de médio e longo prazo para gestão das águas em bacias carentes de informações históricas.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A utilização de diferentes critérios para seleção dos períodos de estiagem para fins de obtenção do coeficiente de decaimento de vazões (K_b) e do coeficiente de infiltração (C_{inf}) permitiu analisar maior número de cenários para avaliação do Método Silveira;

- As curvas de permanência simuladas apresentaram tendência de subestimativa em comparação aos valores observados, destacadamente para as vazões associadas às maiores permanências no tempo;
- A adoção de três dados de vazão em cada período de estiagem, conforme recomendado pelo Método Silveira, não garantiu estimativas adequadas para todos os cenários simulados, havendo necessidade de conhecimento local da bacia hidrográfica para avaliação dos resultados;
- Valores elevados do coeficiente de decaimento de vazões (K_b) para bacias hidrográficas inseridas em regiões que apresentem longos períodos de estiagem tendem a apresentar resultados mais significativos para vazões associadas às maiores permanências, devido a representação exponencial dada ao decaimento das vazões pelo Método Silveira;
- A comparação entre os resultados oriundos do Método de Silveira aplicado para os períodos de 1975-2005 e 1975-2016 e os valores obtidos por Sousa (1993) e GRPH e IGAM (2012) mostraram que o método apresentou resultados mais próximos aos observados no período de monitoramento, mesmo utilizando uma quantidade ínfima de dados locais observados.
- A adoção do Método Silveira como ferramenta complementar para planejamento de recursos hídricos é recomendada em situações de escassez hídrica, fornecendo informações que permitem a adoção de práticas de gestão e planejamento de recursos hídricos mais adequadas às condições da bacia.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Crop Evapotranspiration. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, v. 56, p. 333, 1998.

ANA. **Agência Nacional das Águas**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/hidroweb.aspx>>. Acesso em: 1 out. 2017.

ARNOLD, J. G. et al. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73–89, 1 fev. 1998.

ASCE. Criteria for evaluation of watershed models, ASCE task committee on definition of criteria for evaluation of watershed models of the watershed management, irrigation, and drainage division. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 3, p. 429, 1993.

BEZERRA, N. R. **Aplicação de redes Bayesianas na identificação de perigos em sistemas de abastecimento de água para consumo humano: estudo de caso no município de Viçosa - Minas Gerais**. [s.l.] Federal de Viçosa, 2011.

BLÖSCHL, G. Rainfall-runoff modeling of ungauged catchments. In: **Encyclopedia of Hydrological Sciences**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005. p. 19.

BRESSIANI, D. DE A. et al. A review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 1–27, 2015.

CPRM. **Acompanhamento da estiagem na região Sudeste do Brasil: área de atuação da Superintendencia Regional da CPRM de Belo Horizonte**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/secas_estiagens/Boletins/Belo_Horizonte/2016_001-20160323 - 100604.pdf>.

CPRM, C. DE P. EM R. M. **Acompanhamento da estiagem na região sudeste**

do Brasil - Informativo sobre a precipitação 01 -. Belo Horizonte: [s.n.]. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/secas_estiagens/Precipitacao/Belo_Horizonte/2016_001-20160617 - 145359.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2016.

CPRM, C. DE P. EM R. M. **Estiagem- SUREG BH, Bacia do São Francisco e Aquifero Urucuia – Relatório 01/2017**. Belo Horizonte: [s.n.]. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/secas_estiagens/Relatorios/Belo_Horizonte/2017_001-20170614 - 165706.pdf>.

CPRM, C. DE P. EM R. M. **Estiagem- SUREG BH, Bacia do São Francisco e Aquifero Urucuia – Relatório 02/2017**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/secas_estiagens/Relatorios/Belo_Horizonte/2017_003-20170725 - 160040.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2017b.

DAKER, A. **Captação, elevação e melhoramento da água**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos S.A., 1983.

ELETROBRÁS. Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. 2000.

GASSMAN, P. W.; SADEGHI, A. M.; SRINIVASAN, R. Applications of the SWAT Model Special Section: Overview and Insights. **Journal of Environment Quality**, v. 43, n. 1, p. 1, 2014.

GPRH, G. DE P. EM R. H.; IGAM, I. M. DE G. DAS Á. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2012.

GRANDRY, M. et al. A method for low-flow estimation at ungauged sites: a case study in Wallonia (Belgium). **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 4, p. 1319–1330, 8 abr. 2013.

HORN, J. F. C. **Estimativa de vazão com dados escassos: novas hipóteses para o Método Silveira**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

IGAM. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**. Disponível em:

<<http://www.meioambiente.mg.gov.br/outorga/relacao-deferidos-indeferidos-cancelados-e-outros>>. Acesso em: 3 out. 2017.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Climatologia, , 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> Acesso em: set. 2016>

KRAUSE, P.; BOYLE, D. P. Advances in Geosciences Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances In Geosciences**, v. 5, n. 89, p. 89–97, 2005.

LEMO, R. S.; PEREIRA, A.; JUNIOR, M. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço**, v. 4, n. 2, p. 4–12, 2015.

LI, M. et al. A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. **Journal of Hydrology**, v. 389, n. 1–2, p. 137–145, 28 jul. 2010.

LIMA, J. P. R.; ALVES, J. M. B. Um estudo de downscaling dinâmico de precipitação intrasazonal acoplado a modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica alto-médio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 323–338, set. 2009.

LOU, R. F. **Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ**. [s.l.] UFRJ, 2010.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa CERH-MG N. °49, de 25 de março de 2015. **Estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais.**, 2015.

MOREIRA, M. C. **Gestão e planejamento dos recursos hídricos: regionalização hidrológica de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2010.

MULVANEY, T. J. On the use of self-registering rain and flood gauges in making

observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers of Ireland**, v. 4, n. 2, p. 18–33, 1851.

NICOLLE, P. et al. Benchmarking hydrological models for low-flow simulation and forecasting on French catchments. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 8, p. 2829–2857, 2014.

NOVAES, L. F. DE et al. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica: Parte 1 — obtenção da equação de recessão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 1, p. 15–26, 2009.

OLIVEIRA, V. A. D. E. **Regionalização de vazões nas regiões das unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais**. Brasil: Universidade Federal de Lavras, 2013.

PEREIRA, S. B. et al. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 615–622, 2007.

PRUSKI, F. F. et al. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management**2, v. 1, n. 1, p. 51–59, 2012.

PRUSKI, F. F. et al. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 52–71, 2013.

PRUSKI, F. F. et al. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 808–816, 2015.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. DOS S.; SILVA, D. D. DA. **Escoamento Superficial**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. DA; KOETZ, M. **Estudo de vazão em cursos d'água**. Viçosa: AEAGRI, 2006.

REIS, J. A. T. et al. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de

vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio itabapoana. **Geociências**, v. 27, n. 4, p. 509–516, 2008.

SANTOS, L. L. DOS. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, p. 1–19, 2009.

SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D. DA; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 623–634, 3 jul. 2015.

SILVA, C. H. C. DA et al. Determinação de áreas de risco e simulação de intervenções através do uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu Departamento de Engenharia Civil. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5443–5449, 2009.

SILVA, C. H. C. DA. **Identificação de fragilidades ambientais na bacia do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG, utilizando Análise Multicritério**. [s.l: s.n.].

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. DA. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 111–131, 1998.

SMAKHTIN, V. U. Low flow hydrology: A review. **Journal of Hydrology**, v. 240, n. 3–4, p. 147–186, 2001.

SOARES, P. A.; PINHEIRO, A.; HEIL, K. Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 12, p. 29–38, 2010.

SOUSA, H. T. DE; BOF, L. H. N.; PRUSKI, F. F. Sistema computacional para análise hidrológica (SisCAH 1.0). **Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH)**, 2009.

SOUZA, S. M. . **Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais**Belo HorizonteHidrossistemas, , 1993.

TAMIOSSO, M. F. **Avaliação do método Silveira com uso de dois modelos chuva- vazão para estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias com**

pequenas amostragens de vazão. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

TODINI, E. Rainfall-runoff modeling — Past, present and future. **Journal of Hydrology**, v. 100, n. 1, p. 341–352, 1988.

TODINI, E. Hydrological catchment modelling: past, present and future. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 11, n. 1, p. 468–482, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** 1º ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4ª ed. Porto Alegre: [s.n.].

VALENTE, O. F. O caso da bacia do ribeirão São Bartolomeu , Viçosa-MG. v. Boletim Ág, n. Programa de Gestão de Bacias Hidrográficas, p. 1–18, 2008.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184–194, 1981.

WMO. **Manual on Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report.** World Meteorological Organization. Koblenz: [s.n.]. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/low-flow_estimation_prediction/WMO_1029_en.pdf.

WOLFF, W.; DUARTE, S.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 21–33, 2014.

ZHANG, D. et al. Improved calibration scheme of SWAT by separating wet and dry seasons. **Ecological Modelling**, v. 301, p. 54–61, 2015.

ANEXO I – MONITORAMENTO DA VAZÃO E PRECIPITAÇÃO

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
10/10/2014	45	0	18/11/2014	51	0
11/10/2014		0	19/11/2014	36	0
12/10/2014		0	20/11/2014	31	0
13/10/2014		0	21/11/2014	62	0
14/10/2014	32	0	22/11/2014		0
15/10/2014	33	0	23/11/2014		4,4
16/10/2014	31	0	24/11/2014	35	8,5
17/10/2014	29	0	25/11/2014	63	1,8
18/10/2014		0	26/11/2014	63	1,3
19/10/2014		0,6	27/11/2014	57	44,8
20/10/2014	29	8,2	28/11/2014		5,8
21/10/2014	37	0,5	29/11/2014		2,6
22/10/2014	35	0	30/11/2014		10,6
23/10/2014	33	0	1/12/2014	154	1,6
24/10/2014	32	0	2/12/2014	121	0
25/10/2014		4,3	3/12/2014	80	0
26/10/2014		8	4/12/2014	72	55,8
27/10/2014	41	0	5/12/2014		26,6
28/10/2014	41	2	6/12/2014		3,2
29/10/2014	47	0	7/12/2014		12,3
30/10/2014	40	0	8/12/2014	164	0
31/10/2014	44	0	9/12/2014	145	0
1/11/2014		0	10/12/2014	121	0
2/11/2014		0	11/12/2014	116	0
3/11/2014	35	0	12/12/2014	108	0
4/11/2014	30	0	13/12/2014		16,4
5/11/2014	29	5,6	14/12/2014		9,9
6/11/2014	38	33,7	15/12/2014	267	0
7/11/2014	95	0,3	16/12/2014	160	0
8/11/2014		0	17/12/2014	126	0
9/11/2014		11,6	18/12/2014	102	0
10/11/2014	59	0	19/12/2014	96	0
11/11/2014	52	0	20/12/2014		3,2
12/11/2014	47	43	21/12/2014		0,1
13/11/2014		28,3	22/12/2014	51	18,5
14/11/2014	209	0	23/12/2014		0
15/11/2014		0,7	24/12/2014		0
16/11/2014		0	25/12/2014		0
17/11/2014	105	0	26/12/2014		0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
27/12/2014		0	8/2/2015		38,8
28/12/2014		0	9/2/2015		13
29/12/2014		0	10/2/2015		0
30/12/2014		0	11/2/2015	147	0
31/12/2014		9,6	12/2/2015	111	0
1/1/2015		0	13/2/2015	97	0
2/1/2015		35,6	14/2/2015		0
3/1/2015		10,2	15/2/2015		0
4/1/2015		11	16/2/2015		0
5/1/2015	168	0	17/2/2015		0
6/1/2015	124	0	18/2/2015		0
7/1/2015	90	0	19/2/2015	39	2,8
8/1/2015	81	0	20/2/2015	30	0
9/1/2015	69	0	21/2/2015		0
10/1/2015		0	22/2/2015		0
11/1/2015		0	23/2/2015	32	0,4
12/1/2015	58	0	24/2/2015	28	0
13/1/2015		0	25/2/2015	29	0
14/1/2015	46	0	26/2/2015		0,3
15/1/2015	53	0	27/2/2015	28	21,8
16/1/2015	41	0	28/2/2015		2,7
17/1/2015		0	1/3/2015		0
18/1/2015		0	2/3/2015	75	0
19/1/2015	28	0	3/3/2015	67	0
20/1/2015	37	0	4/3/2015	52	0,5
21/1/2015	29	0	5/3/2015	40	2,9
22/1/2015	28	0	6/3/2015	59	0
23/1/2015	28	0	7/3/2015		18,2
24/1/2015		0	8/3/2015		0
25/1/2015		0	9/3/2015		9,5
26/1/2015	29	8,3	10/3/2015		4
27/1/2015	31	14,6	11/3/2015		0,2
28/1/2015	29	0,1	12/3/2015		0
29/1/2015	35	0	13/3/2015		0
30/1/2015	29	0	14/3/2015		0
31/1/2015		0,4	15/3/2015		0
1/2/2015		0	16/3/2015		0
2/2/2015	36	0	17/3/2015		0
3/2/2015	34	0,3	18/3/2015		0
4/2/2015	32	10	19/3/2015		0
5/2/2015	59	62,2	20/3/2015		11,2
6/2/2015		9,1	21/3/2015		2,6
7/2/2015		4,5	22/3/2015		110,4

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
23/3/2015		45,6	5/5/2015		28,8
24/3/2015		1,4	6/5/2015		12,9
25/3/2015		0,2	7/5/2015	192	0
26/3/2015		0	8/5/2015		0
27/3/2015		0	9/5/2015		0
28/3/2015		0	10/5/2015		0
29/3/2015		0,5	11/5/2015	86	0
30/3/2015		10	12/5/2015	72	0
31/3/2015		3	13/5/2015	69	0
1/4/2015	127	12,6	14/5/2015	77	0
2/4/2015		0	15/5/2015		0
3/4/2015		0	16/5/2015		0
4/4/2015		0	17/5/2015		0
5/4/2015		2,2	18/5/2015	66	0
6/4/2015		5,6	19/5/2015	79	0
7/4/2015		0,4	20/5/2015	61	0
8/4/2015		0,9	21/5/2015		0
9/4/2015		0	22/5/2015		0,2
10/4/2015		0	23/5/2015		0
11/4/2015		0	24/5/2015		0
12/4/2015		0	25/5/2015		0
13/4/2015		0	26/5/2015	58	0
14/4/2015	66	0	27/5/2015	63	0
15/4/2015	57	0	28/5/2015	50	2,4
16/4/2015	68	0	29/5/2015	58	4,4
17/4/2015	56	0	30/5/2015		0
18/4/2015		0	31/5/2015		0
19/4/2015		0	1/6/2015	64	0
20/4/2015	55	0	2/6/2015		3,2
21/4/2015		0	3/6/2015	71	1
22/4/2015	63	0,8	4/6/2015		0
23/4/2015	75	0	5/6/2015		0
24/4/2015	77	0,3	6/6/2015		0
25/4/2015		1,7	7/6/2015		0
26/4/2015		0	8/6/2015	58	0
27/4/2015	70	3,6	9/6/2015	65	0
28/4/2015	74	0	10/6/2015	47	0
29/4/2015	106	1,6	11/6/2015	51	0
30/4/2015	76	0	12/6/2015	56	0
1/5/2015		5,4	13/6/2015		0
2/5/2015		0	14/6/2015		0
3/5/2015		0	15/6/2015	54	4
4/5/2015	77	0	16/6/2015	66	0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
17/6/2015	55	0	30/7/2015	51	0
18/6/2015	57	0	31/7/2015	53	0
19/6/2015	61	0,3	1/8/2015		0
20/6/2015		0,1	2/8/2015		0
21/6/2015		0,6	3/8/2015	38	0
22/6/2015	62	0,4	4/8/2015	37	0
23/6/2015	54	0,3	5/8/2015	39	0
24/6/2015	52	0	6/8/2015	36	0
25/6/2015	44	0	7/8/2015	37	0
26/6/2015	50	0	8/8/2015		0
27/6/2015		0	9/8/2015		0
28/6/2015		0	10/8/2015	38	0
29/6/2015	50	0	11/8/2015	35	0
30/6/2015	51	0	12/8/2015	43	0
1/7/2015	49	0	13/8/2015	33	0
2/7/2015	39	0	14/8/2015	35	0
3/7/2015	49	0	15/8/2015		0
4/7/2015		0	16/8/2015		0
5/7/2015		0	17/8/2015	35	0
6/7/2015	37	0	18/8/2015	33	0
7/7/2015	41	0	19/8/2015	33	0
8/7/2015	42	0	20/8/2015	33	0
9/7/2015	44	0	21/8/2015	33	0,1
10/7/2015	43	0	22/8/2015		0
11/7/2015		0	23/8/2015		0
12/7/2015		0	24/8/2015	32	0
13/7/2015	56	0	25/8/2015	33	0,2
14/7/2015	34	0	26/8/2015	34	0
15/7/2015	35	0	27/8/2015	34	4,6
16/7/2015	44	0	28/8/2015	41	0
17/7/2015		0	29/8/2015		0
18/7/2015		0	30/8/2015		0
19/7/2015		0	31/8/2015	35	0
20/7/2015	42	0	1/9/2015	33	0
21/7/2015	34	0	2/9/2015	34	0
22/7/2015	37	0	3/9/2015	41	0
23/7/2015	33	0	4/9/2015	41	0
24/7/2015	35	0	5/9/2015		0
25/7/2015		0,4	6/9/2015		24
26/7/2015		26,4	7/9/2015		16,6
27/7/2015	81	0	8/9/2015	190	0,5
28/7/2015	63	0	9/9/2015	117	2,2
29/7/2015	61	0	10/9/2015	89	0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
11/9/2015	73	9,8
12/9/2015		11,2
13/9/2015		0
14/9/2015	156	0
15/9/2015	88	0
16/9/2015	69	0
17/9/2015	57	0
18/9/2015	39	0
19/9/2015		0
20/9/2015		0
21/9/2015		0
22/9/2015		0
23/9/2015		0
24/9/2015		0
25/9/2015		0
26/9/2015		0
27/9/2015		0
28/9/2015	36	0
29/9/2015	36	0,6
30/9/2015		0
1/10/2015	37	2,4
2/10/2015	46	0
3/10/2015		0
4/10/2015		0,1
5/10/2015	40	0
6/10/2015	39	0
7/10/2015	39	0
8/10/2015	32	0
9/10/2015	32	0
10/10/2015		0
11/10/2015		0
12/10/2015		0
13/10/2015	30	0
14/10/2015	30	0
15/10/2015	26	0
16/10/2015	26	0
17/10/2015		0
18/10/2015		0
19/10/2015	26	0
20/10/2015	28	0
21/10/2015	28	0
22/10/2015	28	33,2
23/10/2015	28	0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
24/10/2015		0
25/10/2015		0
26/10/2015	40	0,1
27/10/2015	38	6,4
28/10/2015	42	3,3
29/10/2015	41	0
30/10/2015		0
31/10/2015		0
1/11/2015		0
2/11/2015		0
3/11/2015	30	0
4/11/2015	30	0
5/11/2015	26	5,9
6/11/2015	32	0
7/11/2015		6,6
8/11/2015		0
9/11/2015	37	3,8
10/11/2015	37	0
11/11/2015	35	0
12/11/2015	35	0
13/11/2015	32	4,8
14/11/2015		0
15/11/2015		4,4
16/11/2015	41	63,8
17/11/2015		13,2
18/11/2015	203	0,8
19/11/2015	112	44,9
20/11/2015	284	6
21/11/2015		0
22/11/2015		0
23/11/2015	102	7,4
24/11/2015	84	0
25/11/2015	74	0
26/11/2015	60	0
27/11/2015	56	0
28/11/2015		0
29/11/2015		34
30/11/2015	245	11,8
1/12/2015	136	0
2/12/2015	96	30,4
3/12/2015		38,2
4/12/2015		38,2
5/12/2015		1,4

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
6/12/2015		2	18/1/2016		17
7/12/2015	181	69,8	19/1/2016		10,4
8/12/2015		0	20/1/2016	389	5,9
9/12/2015		0,1	21/1/2016		60,8
10/12/2015	207	29,5	22/1/2016		0
11/12/2015	248	29,5	23/1/2016		0
12/12/2015		0	24/1/2016		1
13/12/2015		0	25/1/2016	256	0
14/12/2015	210	0	26/1/2016	211	8,6
15/12/2015	146	0	27/1/2016		4
16/12/2015		6,2	28/1/2016		2,6
17/12/2015	125	0	29/1/2016		2,6
18/12/2015	112	0	30/1/2016		0
19/12/2015		0	31/1/2016		0
20/12/2015		0	1/2/2016	184	0
21/12/2015	72	0	2/2/2016	159	0
22/12/2015	81	0	3/2/2016		15,4
23/12/2015	75	0	4/2/2016	113	0
24/12/2015		0	5/2/2016		0
25/12/2015		0	6/2/2016		0
26/12/2015		0	7/2/2016		0,4
27/12/2015		0	8/2/2016		0
28/12/2015		9,8	9/2/2016		0
29/12/2015		0	10/2/2016		0
30/12/2015		5	11/2/2016	96	20
31/12/2015		0	12/2/2016	192	1,8
1/1/2016		5,8	13/2/2016		0
2/1/2016		5,6	14/2/2016		0
3/1/2016		46	15/2/2016	114	0,4
4/1/2016	211	0	16/2/2016	110	12,8
5/1/2016	107	0	17/2/2016	121	14,4
6/1/2016	92	0	18/2/2016	183	0
7/1/2016	63	0	19/2/2016	129	0
8/1/2016	53	0	20/2/2016		0
9/1/2016		0	21/2/2016		0
10/1/2016		0	22/2/2016	83	0
11/1/2016	35	17,8	23/2/2016	78	0
12/1/2016		80,6	24/2/2016	84	0
13/1/2016		0	25/2/2016	74	0
14/1/2016		6,2	26/2/2016	85	1,6
15/1/2016		27,2	27/2/2016		0
16/1/2016		33	28/2/2016		8,1
17/1/2016		20,6	29/2/2016	144	0,4

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
1/3/2016	115	0	13/4/2016		0
2/3/2016	102	0	14/4/2016		0
3/3/2016	93	0	15/4/2016		0
4/3/2016		10,4	16/4/2016		0
5/3/2016		0	17/4/2016		0,1
6/3/2016		0	18/4/2016		0,2
7/3/2016		0	19/4/2016	34	0
8/3/2016		0	20/4/2016		0
9/3/2016	84	0	21/4/2016		0
10/3/2016	75	0	22/4/2016		0
11/3/2016	67	8,2	23/4/2016		0
12/3/2016		0	24/4/2016		0
13/3/2016		10	25/4/2016		0
14/3/2016		20,6	26/4/2016	34	0
15/3/2016		0	27/4/2016		0
16/3/2016	101	0,2	28/4/2016		15
17/3/2016		0	29/4/2016	35	0
18/3/2016	87	0,3	30/4/2016		3,2
19/3/2016		0	1/5/2016		0
20/3/2016		0	2/5/2016		0
21/3/2016		0	3/5/2016		0
22/3/2016	58	0	4/5/2016	35	0
23/3/2016		5,4	5/5/2016		0
24/3/2016		0	6/5/2016	36	0
25/3/2016		0	7/5/2016		0
26/3/2016		7,6	8/5/2016		0
27/3/2016		0	9/5/2016		0
28/3/2016		0	10/5/2016	39	0
29/3/2016		0	11/5/2016		0
30/3/2016	43	0	12/5/2016	33	0
31/3/2016		10	13/5/2016		0
1/4/2016	52	0	14/5/2016		0,3
2/4/2016		0	15/5/2016		0
3/4/2016		0	16/5/2016		0
4/4/2016		0	17/5/2016		0
5/4/2016	56	0	18/5/2016	38	8,4
6/4/2016		0	19/5/2016		0
7/4/2016		0	20/5/2016	54	0
8/4/2016		0	21/5/2016		0
9/4/2016		0	22/5/2016		0
10/4/2016		0	23/5/2016		0
11/4/2016		0	24/5/2016	36	0
12/4/2016	46	0	25/5/2016	35	0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
26/5/2016		0	8/7/2016	35	0
27/5/2016		0	9/7/2016		0
28/5/2016		0	10/7/2016		0
29/5/2016		0	11/7/2016	35	0
30/5/2016	48	0	12/7/2016		0
31/5/2016		0	13/7/2016	37	0
1/6/2016		33	14/7/2016		0
2/6/2016		13,2	15/7/2016		0
3/6/2016	191	5,9	16/7/2016		0
4/6/2016		0	17/7/2016		0
5/6/2016		0	18/7/2016		0
6/6/2016	67	0	19/7/2016	38	0
7/6/2016		2,5	20/7/2016		0
8/6/2016	46	1,2	21/7/2016	36	0
9/6/2016		0,2	22/7/2016		0
10/6/2016	54	5,4	23/7/2016		0
11/6/2016		5,7	24/7/2016		0
12/6/2016		0	25/7/2016	35	0
13/6/2016	49	0	26/7/2016		0
14/6/2016		0	27/7/2016		0
15/6/2016	46	0	28/7/2016		0
16/6/2016		0	29/7/2016		0
17/6/2016	50	0	30/7/2016		0
18/6/2016		0	31/7/2016		0
19/6/2016		0	1/8/2016	35	0
20/6/2016	42	0	2/8/2016		0
21/6/2016		0	3/8/2016		0
22/6/2016	39	0	4/8/2016		0
23/6/2016		0	5/8/2016	35	0
24/6/2016	45	0	6/8/2016		0
25/6/2016		0	7/8/2016		0
26/6/2016		0	8/8/2016		0
27/6/2016	50	0	9/8/2016		0
28/6/2016		0	10/8/2016	35	1,4
29/6/2016		0	11/8/2016		0
30/6/2016		0	12/8/2016	35	0
1/7/2016	41	0	13/8/2016		0
2/7/2016		0	14/8/2016		0
3/7/2016		0	15/8/2016	37	9,6
4/7/2016	45	0	16/8/2016		0
5/7/2016		0	17/8/2016	44	0
6/7/2016	43	0	18/8/2016		0
7/7/2016		0	19/8/2016	44	0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
20/8/2016		0	2/10/2016		0
21/8/2016		0	3/10/2016	37	4,6
22/8/2016	39	0	4/10/2016		25,8
23/8/2016		0	5/10/2016	73	4,6
24/8/2016	35	0	6/10/2016		4,6
25/8/2016		0	7/10/2016	43	0,0
26/8/2016	41	0	8/10/2016		0,0
27/8/2016		0	9/10/2016		0,0
28/8/2016		0	10/10/2016	36	0,0
29/8/2016	39	0	11/10/2016		0,0
30/8/2016		0	12/10/2016		0,0
31/8/2016	32	0,1	13/10/2016		0,0
1/9/2016		0	14/10/2016	35	0,0
2/9/2016	35	0	15/10/2016		0,0
3/9/2016		0	16/10/2016		0,0
4/9/2016		0	17/10/2016	34	0,0
5/9/2016	30	0	18/10/2016		0,0
6/9/2016		0	19/10/2016		0,0
7/9/2016		0	20/10/2016		0,0
8/9/2016		0	21/10/2016	27	11,3
9/9/2016	29	0	22/10/2016		4,4
10/9/2016		0	23/10/2016		0,0
11/9/2016		0	24/10/2016		0,0
12/9/2016	30	0	25/10/2016		1,0
13/9/2016		0	26/10/2016	36	0,0
14/9/2016	37	0	27/10/2016		0,0
15/9/2016		0	28/10/2016		0,0
16/9/2016	24	0	29/10/2016		0,3
17/9/2016		0	30/10/2016		0,6
18/9/2016		0	31/10/2016	37,5	0,0
19/9/2016	24	5,2	1/11/2016		0,0
20/9/2016		1,1	2/11/2016		0,0
21/9/2016	41	0	3/11/2016		0,0
22/9/2016		0	4/11/2016	33,3	3,2
23/9/2016	35	0	5/11/2016		17,2
24/9/2016		10,4	6/11/2016		0,0
25/9/2016		1,0	7/11/2016		0,2
26/9/2016	35	0	8/11/2016		0,2
27/9/2016		0	9/11/2016	38	0
28/9/2016	36	0	10/11/2016		0
29/9/2016		0	11/11/2016	31	0,8
30/9/2016		0	12/11/2016		23,9
1/10/2016		5,8	13/11/2016		38,4

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
14/11/2016		23,6
15/11/2016		20,6
16/11/2016	221	0,3
17/11/2016		7,2
18/11/2016		11,4
19/11/2016		0
20/11/2016		0
21/11/2016	82	0
22/11/2016		26,6
23/11/2016		0
24/11/2016		17,0
25/11/2016		0
26/11/2016		24,2
27/11/2016		0,1
28/11/2016	52	0
29/11/2016		0,2
30/11/2016		43,2
1/12/2016		17,6
2/12/2016	83	9,2
3/12/2016		0
4/12/2016		0
5/12/2016		16,4
6/12/2016		78
7/12/2016	142	0,7
8/12/2016		3,2
9/12/2016	105	39,6
10/12/2016		9
11/12/2016		11,2
12/12/2016	131	13,6
13/12/2016		0
14/12/2016		1,6
15/12/2016		0
16/12/2016		11,9
17/12/2016		0
18/12/2016		0
19/12/2016		0
20/12/2016		0
21/12/2016		7,6
22/12/2016		0
23/12/2016		0
24/12/2016		0
25/12/2016		0
26/12/2016		0

Data	Q (L/s)	Prec. (mm)
27/12/2016		0
28/12/2016		0
29/12/2016		0
30/12/2016		0
31/12/2016		4,9

ANEXO II – DEFLÚVIOS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS - METODOLOGIA PROPOSTA POR SOUZA (1993)

O estudo desenvolvido por Souza (1993), denominado Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais “possibilita a estimativa das variáveis hidrológicas sob forma de rendimentos específicos de duração mensal e recorrência decendial” (MOREIRA, 2010). Para tal, baseia-se na utilização de três mapas temáticos, sendo esses, o de regiões homogêneas, de rendimento específico médio mensal e o de rendimento específico médio de longo prazo.

O rendimento específico médio mensal é referente aos valores mínimos unitários que apresentam 10 anos de recorrência. Utilizando o rendimento específico, o cálculo da $Q_{7,10}$ é realizado conforme a Equação 1:

$$Q_{7,10} = F_{7,10} \times R_e \times A$$

em que, $F_{10,7}$ é a função de interferência para rendimentos mínimos, R_e o rendimento específico, apresentado pelas isolinhas de vazão mínimas com 10 anos de recorrência em L/s.km² e A, a área de drenagem em km².

A função de interferência para rendimentos mínimos é dada pela Equação 2, para período de retorno de 10 anos.

$$F_{10,7} = \alpha + \beta \times \gamma^7$$

em que, α , β e γ são parâmetros relacionados a tipologia da região no local, observada a partir do mapa de regiões homogêneas. A sétima potência é relacionada a Q_7 , ou seja, a vazão mínima média de setes dias.

A bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, se insere na região 211, cujos valores dos parâmetros α , β e γ são, respectivamente, 0,470123, 0,417122 e 1,005897. O R_e da região 211, para a bacia hidrográfica do estudo é de 5 L/s.km².

Para a vazão média de longa duração, adotou-se o valor de rendimento específico de 18 L/s.km², considerando novamente a área de drenagem de 25 km². A obtenção da Q_m foi realizada utilizando-se a Equação 3.

$$Q_m = R_e \times A$$

em que, R_e o rendimento específico de longo termo em L/s.km² e A, a área de drenagem em km².

**ANEXO III – PERÍODOS DE MONITORAMENTO DE ACORDO COM OS
CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO**

Cenário 1.1.1				Cenário 1.2.1			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
5/1/2015	168	0	1	5/1/2015	168	0	1
6/1/2015	124	0	2	6/1/2015	124	0	2
7/1/2015	90	0	3	7/1/2015	90	0	3
8/1/2015	81	0	4	8/1/2015	81	0	4
9/1/2015	69	0	5	9/1/2015	69	0	5
10/1/2015		0	6	10/1/2015		0	6
11/1/2015		0	7	11/1/2015		0	7
12/1/2015	58 ¹	0	8	12/1/2015	58 ¹	0	8
13/1/2015		0	9	13/1/2015		0	9
14/1/2015	46 ¹	0	10	14/1/2015	46	0	10
15/1/2015	53	0	11	15/1/2015	53	0	11
16/1/2015	41 ¹	0	12	16/1/2015	41	0	12
17/1/2015		0	13	17/1/2015		0	13
18/1/2015		0	14	18/1/2015		0	14
19/1/2015	28	0	15	19/1/2015	28 ¹	0	15
20/1/2015	37	0	16	20/1/2015	37	0	16
21/1/2015	29	0	17	21/1/2015	29	0	17
22/1/2015	28	0	18	22/1/2015	28	0	18
23/1/2015	28	0	19	23/1/2015	27.9 ¹	0	19
24/1/2015		0	20	24/1/2015		0	20
25/1/2015		0	21	25/1/2015		0	21

¹ Valores utilizados para obtenção de K_b

Cenário 1.2.2			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
9/4/2015		0	1
10/4/2015		0	2
11/4/2015		0	3
12/4/2015		0	4
13/4/2015		0	5
14/4/2015	66	0	6
15/4/2015	57	0	7
16/4/2015	68 ¹	0	8
17/4/2015	56 ¹	0	9
18/4/2015		0	10
19/4/2015		0	11
20/4/2015	55 ¹	0	12
21/4/2015		0	13

Cenário 1.2.3			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
7/5/2015	192	0	1
8/5/2015		0	2
9/5/2015		0	3
10/5/2015		0	4
11/5/2015	86	0	5
12/5/2015	72	0	6
13/5/2015	69	0	7
14/5/2015	77 ¹	0	8
15/5/2015		0	9
16/5/2015		0	10
17/5/2015		0	11
18/5/2015	66 ¹	0	12
19/5/2015	79	0	13
20/5/2015	61 ¹	0	14
21/5/2015		0	15

Cenário 1.2.4			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
24/6/2015	52	0	1

Cenário 1.2.4			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
25/6/2015	44	0	2
26/6/2015	50	0	3
27/6/2015		0	4
28/6/2015		0	5
29/6/2015	50	0	6
30/6/2015	51	0	7
1/7/2015	49 ¹	0	8
2/7/2015	39	0	9
3/7/2015	49	0	10
4/7/2015		0	11
5/7/2015		0	12
6/7/2015	37	0	13
7/7/2015	41	0	14
8/7/2015	42	0	15
9/7/2015	44	0	16
10/7/2015	43	0	17
11/7/2015		0	18
12/7/2015		0	19
13/7/2015	56	0	20
14/7/2015	34 ¹	0	21
15/7/2015	35	0	22
16/7/2015	44	0	23
17/7/2015		0	24
18/7/2015		0	25
19/7/2015		0	26
20/7/2015	42	0	27
21/7/2015	34	0	28
22/7/2015	37	0	29
23/7/2015	33 ¹	0	30
24/7/2015	35	0	31

Cenário 1.2.5			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
27/7/2015	81	0	1
28/7/2015	63	0	2
29/7/2015	61	0	3
30/7/2015	51	0	4
31/7/2015	53	0	5
1/8/2015		0	6
2/8/2015		0	7

Cenário 1.2.5				Cenário 1.2.6			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
3/8/2015	38 ¹	0	8	1/7/2016	41	0	20
4/8/2015	37	0	9	2/7/2016		0	21
5/8/2015	39	0	10	3/7/2016		0	22
6/8/2015	36	0	11	4/7/2016	45	0	23
7/8/2015	37	0	12	5/7/2016		0	24
8/8/2015		0	13	6/7/2016	43	0	25
9/8/2015		0	14	7/7/2016		0	26
10/8/2015	38	0	15	8/7/2016	35	0	27
11/8/2015	35	0	16	9/7/2016		0	28
12/8/2015	43	0	17	10/7/2016		0	29
13/8/2015	33	0	18	11/7/2016	35	0	30
14/8/2015	35 ¹	0	19	12/7/2016		0	31
15/8/2015		0	20	13/7/2016	37 ¹	0	32
16/8/2015		0	21	14/7/2016		0	33
17/8/2015	35	0	22	15/7/2016		0	34
18/8/2015	33	0	23	16/7/2016		0	35
19/8/2015	33	0	24	17/7/2016		0	36
20/8/2015	33 ¹	0	25	18/7/2016		0	37
				19/7/2016	38	0	38
				20/7/2016		0	39
				21/7/2016	36	0	40
				22/7/2016		0	41
				23/7/2016		0	42
				24/7/2016		0	43
				25/7/2016	35	0	44
				26/7/2016		0	45
				27/7/2016		0	46
				28/7/2016		0	47
				29/7/2016		0	48
				30/7/2016		0	49
				31/7/2016		0	50
				1/8/2016	35	0	51
				2/8/2016		0	52
				3/8/2016		0	53
				4/8/2016		0	54
				5/8/2016	35 ¹	0	55
				6/8/2016		0	56
				7/8/2016		0	57
				8/8/2016		0	58
				9/8/2016		0	59

Cenário 1.2.6			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
12/6/2016		0	1
13/6/2016	49	0	2
14/6/2016		0	3
15/6/2016	46	0	4
16/6/2016		0	5
17/6/2016	50	0	6
18/6/2016		0	7
19/6/2016		0	8
20/6/2016	42 ¹	0	9
21/6/2016		0	10
22/6/2016	39	0	11
23/6/2016		0	12
24/6/2016	45	0	13
25/6/2016		0	14
26/6/2016		0	15
27/6/2016	50	0	16
28/6/2016		0	17
29/6/2016		0	18
30/6/2016		0	19

Cenário 2.1				Cenário 2.1			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
20/5/2015	61	0	1	1/7/2015	49	0	43
21/5/2015		0	2	2/7/2015	39	0	44
22/5/2015		0,2	3	3/7/2015	49	0	45
23/5/2015		0	4	4/7/2015		0	46
24/5/2015		0	5	5/7/2015		0	47
25/5/2015		0	6	6/7/2015	37	0	48
26/5/2015	58	0	7	7/7/2015	41	0	49
27/5/2015	63	0	8	8/7/2015	42	0	50
28/5/2015	50	2,4	9	9/7/2015	44	0	51
29/5/2015	58	4,4	10	10/7/2015	43	0	52
30/5/2015		0	11	11/7/2015		0	53
31/5/2015		0	12	12/7/2015		0	54
1/6/2015	64	0	13	13/7/2015	56	0	55
2/6/2015		3,2	14	14/7/2015	34	0	56
3/6/2015	71	1	15	15/7/2015	35	0	57
4/6/2015		0	16	16/7/2015	44	0	58
5/6/2015		0	17	17/7/2015		0	59
6/6/2015		0	18	18/7/2015		0	60
7/6/2015		0	19	19/7/2015		0	61
8/6/2015	58	0	20	20/7/2015	42	0	62
9/6/2015	65	0	21	21/7/2015	34	0	63
10/6/2015	47	0	22	22/7/2015	37	0	64
11/6/2015	51	0	23	23/7/2015	33	0	65
12/6/2015	56	0	24	24/7/2015	35	0	66
13/6/2015		0	25	25/7/2015		0,4	67
14/6/2015		0	26				
15/6/2015	54	4	27				
16/6/2015	66	0	28				
17/6/2015	55	0	29				
18/6/2015	57	0	30				
19/6/2015	61	0,3	31				
20/6/2015		0,1	32				
21/6/2015		0,6	33				
22/6/2015	62	0,4	34				
23/6/2015	54	0,3	35				
24/6/2015	52	0	36				
25/6/2015	44	0	37				
26/6/2015	50	0	38				
27/6/2015		0	39				
28/6/2015		0	40				
29/6/2015	50	0	41				
30/6/2015	51	0	42				

Cenário 2.2			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
10/8/2015	38	0	1
11/8/2015	35	0	2
12/8/2015	43	0	3
13/8/2015	33	0	4
14/8/2015	35	0	5
15/8/2015		0	6
16/8/2015		0	7
17/8/2015	35 ¹	0	8
18/8/2015	33	0	9
19/8/2015	33	0	10
20/8/2015	33	0	11
21/8/2015	33	0,1	12

Cenário 2.2			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
22/8/2015		0	13
23/8/2015		0	14
24/8/2015	32	0	15
25/8/2015	33	0,2	16
26/8/2015	34 ¹	0	17
27/8/2015	34	4,6	18
28/8/2015	41	0	19
29/8/2015		0	20
30/8/2015		0	21
31/8/2015	35	0	22
1/9/2015	33 ¹	0	23

Cenário 2.3			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
22/9/2015		0	1
23/9/2015		0	2
24/9/2015		0	3
25/9/2015		0	4
26/9/2015		0	5
27/9/2015		0	6
28/9/2015	36	0	7
29/9/2015	36 ¹	0,6	8
30/9/2015		0	9
1/10/2015	37	2,4	10
2/10/2015	46	0	11
3/10/2015		0	12
4/10/2015		0,1	13
5/10/2015	40	0	14
6/10/2015	39	0	15
7/10/2015	39	0	16
8/10/2015	32	0	17
9/10/2015	32 ¹	0	18
10/10/2015		0	19
11/10/2015		0	20
12/10/2015		0	21
13/10/2015	30	0	22
14/10/2015	30	0	23
15/10/2015	26	0	24
16/10/2015	26	0	25
17/10/2015		0	26

Cenário 2.3			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
18/10/2015		0	27
19/10/2015	26	0	28
20/10/2015	28	0	29
21/10/2015	28 ¹	0	30

Cenário 2.4			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
22/6/2016	39	0	1
23/6/2016		0	2
24/6/2016	45	0	3
25/6/2016		0	4
26/6/2016		0	5
27/6/2016	50	0	6
28/6/2016		0	7
29/6/2016		0	8
30/6/2016		0	9
1/7/2016	41 ¹	0	10
2/7/2016		0	11
3/7/2016		0	12
4/7/2016	45	0	13
5/7/2016		0	14
6/7/2016	43	0	15
7/7/2016		0	16
8/7/2016	35	0	17
9/7/2016		0	18
10/7/2016		0	19
11/7/2016	35	0	20
12/7/2016		0	21
13/7/2016	37	0	22
14/7/2016		0	23
15/7/2016		0	24
16/7/2016		0	25
17/7/2016		0	26
18/7/2016		0	27
19/7/2016	38	0	28
20/7/2016		0	29
21/7/2016	36	0	30
22/7/2016		0	31
23/7/2016		0	32
24/7/2016		0	33

Cenário 2.4				Cenário 2.4			
Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias	Data	Q (L/s)	Prec. (mm)	Dias
25/7/2016	35	0	34	5/9/2016	30	0	76
26/7/2016		0	35	6/9/2016		0	77
27/7/2016		0	36	7/9/2016		0	78
28/7/2016		0	37	8/9/2016		0	79
29/7/2016		0	38	9/9/2016	29	0	80
30/7/2016		0	39	10/9/2016		0	81
31/7/2016		0	40	11/9/2016		0	82
1/8/2016	35	0	41	12/9/2016	30	0	83
2/8/2016		0	42	13/9/2016		0	84
3/8/2016		0	43	14/9/2016	37	0	85
4/8/2016		0	44	15/9/2016		0	86
5/8/2016	35	0	45	16/9/2016	24	0	87
6/8/2016		0	46	17/9/2016		0	88
7/8/2016		0	47	18/9/2016		0	89
8/8/2016		0	48	19/9/2016	24 ¹	5,2	90
9/8/2016		0	49	20/9/2016		1,1	91
10/8/2016	35 ¹	1,4	50	21/9/2016	41	0	92
11/8/2016		0	51	22/9/2016		0	93
12/8/2016	35	0	52	23/9/2016	35	0	94
13/8/2016		0	53				
14/8/2016		0	54				
15/8/2016	37	9,6	55				
16/8/2016		0	56				
17/8/2016	44	0	57				
18/8/2016		0	58				
19/8/2016	44	0	59				
20/8/2016		0	60				
21/8/2016		0	61				
22/8/2016	39	0	62				
23/8/2016		0	63				
24/8/2016	35	0	64				
25/8/2016		0	65				
26/8/2016	41	0	66				
27/8/2016		0	67				
28/8/2016		0	68				
29/8/2016	39	0	69				
30/8/2016		0	70				
31/8/2016	32	0,1	71				
1/9/2016		0	72				
2/9/2016	35	0	73				
3/9/2016		0	74				
4/9/2016		0	75				