

XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

ESTIMATIVA DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA DO RIO SÃO MIGUEL NO MUNICÍPIO DE ARCOS – MG

Marina Soares Rossi⁽¹⁾; Nathane Manuelle Silva Vilela⁽²⁾; Michael Silveira Thebaldi⁽³⁾.

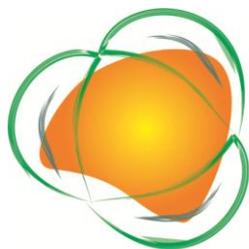
⁽¹⁾ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária; Centro universitário de Formiga; Avenida Dr. Arnaldo de Senna, 329, Água Vermelha, Formiga - MG. CEP 35570-000. marina_soares_rossi@hotmail.com. ⁽²⁾ Graduanda em Engenharia Civil; Centro universitário de Formiga; Avenida Dr. Arnaldo de Senna, 329, Água Vermelha, Formiga - MG. CEP 35570-000. nathanecivil@gmail.com. ⁽³⁾ Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Professor Titular I; Setor de Engenharia Ambiental e Sanitária; Centro universitário de Formiga; Avenida Dr. Arnaldo de Senna, 329, Água Vermelha, Formiga - MG. CEP 35570-000. msthebaldi@unifomg.edu.br.

EIXO TEMÁTICO: Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos

RESUMO - O estudo do comportamento da vazão de um curso d'água é de suma importância para se prever épocas de secas e cheias, implementar planos de gestão dos recursos hídricos, incluindo a outorga, além de dar subsídios ao dimensionamento de obras hidráulicas. Portanto, o presente trabalho executou um estudo estatístico das vazões médias mínimas de sete dias consecutivos anuais (Q_7) e da curva de permanência de vazões do Rio São Miguel, em Arcos - MG. A série histórica de vazão foi obtida no banco de dados Hidroweb, gerido pela Agência Nacional das Águas. Os dados avaliados contemplaram os anos civis entre 1968 a 2014, com exceção dos anos de 1991, 1992, 2009 e 2012, devido os dados de vazões estarem incompletos nestes. Foram ajustadas as Funções Cumulativas de Probabilidade modelos log-Normal 2 parâmetros, log-Normal 3 parâmetros, Gumbel para mínimos, Weibull e Gama para Q_7 , sendo a aderência destes aos dados observados testada usando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado. Pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado, o modelo Log-Normal a 2 parâmetros foi o que melhor aderiu à série de Q_7 . O valor obtido de $Q_{7,10}$ foi de $0,131014 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto que, os valores de Q_{50} , Q_{90} e Q_{95} , estimados a partir da curva de permanência, foram $1,4207 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $0,4853 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,35885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Outorga pelo uso da água. Distribuições Estatísticas. Curva de permanência de vazões.

ABSTRACT - The study of flow behavior of water body is very important to predict drought and flood seasons, implement water management plans, including its grants, besides, gives subsidies to hydraulic structures design. Therefore, this study performs a statistical study of average minimum annual flow of seven consecutive days (Q_7) and the flow permanence curve of São Miguel River, at Arcos - MG. The historical series of flow rate was obtained by HIDROWEB database, managed by the Agência Nacional de Águas. The evaluated data contemplated the calendar years from 1968 to 2014, except the years 1991, 1992, 2009 and 2012, because the data flows were incomplete in these. Were fit the Cumulative Probability Functions log-



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Normal 2 parameters, log-Normal 3 parameters, Gumbel to minimum, Weibull and Gamma models, for Q_7 , being the fit of these to the observed data tested by Kolmogorov-Smirnov and Chi-Squared tests. By the Kolmogorov-Smirnov and Chi-square fit testes the Log-Normal with 2 parameters was the best fit for Q_7 series. The value obtained for $Q_{7,10}$ was $0.131014 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, while the values of Q_{50} , Q_{90} and Q_{95} , estimated from the permanence curve were $1.4207 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $0.4853 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and $0.35885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Key words: Water resources management. Water use grant. Statistical distributions. Flow permanence curve.

Introdução

A bacia do rio São Miguel, com uma área de cerca de 505 km^2 , está localizada no extremo meridional da bacia do rio São Francisco, no estado de Minas Gerais, em região com predominância de rochas carbonáticas, onde há um carste com feições como: cavernas, dolinas, sumidouros, surgências, torres, entre outros (DIAS e VELÁSQUES, 2015).

Diante da grande importância da água disponível no rio São Miguel, visto que é consumida pela população, principalmente dos municípios de Pains e Arcos, em Minas Gerais, utilizada nas indústrias e comércios, além de abastecer várias áreas rurais, faz-se necessário um estudo hidrológico com o objetivo de analisar e computar dados referentes às alterações nas vazões nesta bacia.

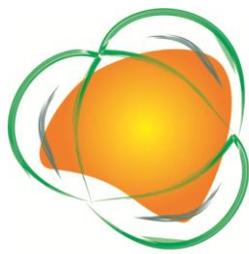
Assim, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento da vazão do Rio São Miguel, pelo uso de séries históricas provenientes de dados de monitoramento realizado no município de Arcos – MG, elaborando a série histórica de vazões médias mínimas de sete dias consecutivos anuais e através da construção e análise da curva de permanência das vazões do Rio São Miguel.

Material e Métodos

Os dados referentes às vazões do Rio São Miguel foram obtidos no serviço web Hidroweb, gerido pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2015). Os dados foram adquiridos em $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ da estação fluviométrica código 40053000. A área de drenagem do corpo d'água é de 296 km^2 , segundo as informações do serviço web supracitado. Os dados avaliados contemplaram os anos civis entre 1968 a 2014, com exceção dos anos de 1991, 1992, 2009 e 2012, devido os dados de vazões estarem incompletos nestes anos.

Os dados brutos foram trabalhados a fim de obter a série de vazões médias mínimas de sete dias consecutivos anuais (Q_7). As frequências observadas das vazões foram obtidas pela fórmula de Weibull (MELLO e SILVA, 2013).

Os dados que compuseram as séries de vazão mínima diária anual e Q_7 foram ordenados de modo crescente, obtendo-se assim a frequência de não excedência destes. Já os dados de vazão máxima diária anual foram ordenados de maneira decrescente, obtendo-se a frequência de excedência.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Foram ajustadas as Funções Cumulativas de Probabilidade modelos log-Normal 2 parâmetros, log-Normal 3 parâmetros, Gumbel para mínimos, Weibull e Gama para a série de Q_7 (MELLO e SILVA, 2013).

Com o objetivo de testar a aderência das distribuições contínuas aos dados observados nas séries históricas estudadas, foram efetuados os testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado nas diferentes distribuições descritas acima. Foi considerado um nível de significância de 5% de probabilidade estatística para ambos os testes.

Para se obter o modelo estatístico que melhor representa a série, adotou-se como critério aquele que fosse significativo a ambos os testes e que apresentasse o menor valor de Qui-Quadrado calculado. Se o critério supracitado não fosse atendido por nenhuma distribuição, foi adotada apenas a significância ao teste de Kolmogorov-Smirnov, observando o menor valor obtido de Qui-Quadrado.

Após obtenção da distribuição estatística que melhor representa a série de Q_7 do Rio São Miguel, pelo uso dos testes de aderência estatística, foi obtido o valor de vazão nesta série com tempo de retorno de 10 anos, associado a uma frequência de não excedência.

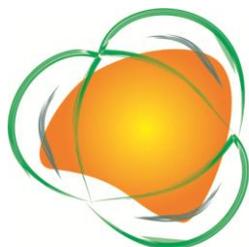
Para confecção da curva de permanência das vazões do Rio São Miguel, todas as vazões obtidas para a estação fluviométrica consultada foram ordenadas em ordem crescente, assim então, obtidas as frequências de excedência para cada uma destas com o uso da Equação 1. Ao plotar-se o gráfico vazão versus frequência de excedência, tem-se a curva de permanência. Com o uso desta, foram obtidos os valores das vazões Q_{50} , Q_{90} e Q_{95} .

Resultados e Discussão

A série histórica de vazão Q_7 , em $m^3 s^{-1}$, do Rio São Miguel, nos anos civis entre 1967 e 2014, com exceção dos anos de 1991, 1992, 2009 e 2012, é mostrada na Tabela 1. De acordo com os valores obtidos das vazões médias mínimas de sete dias consecutivos anuais (Q_7) registrada nesta série histórica, o menor valor foi de $0,0563142 m^3 s^{-1}$, enquanto o maior foi de $2,8075 m^3 s^{-1}$.

Tabela 1 - Série histórica de vazão Q_7 , em $m^3 s^{-1}$, do Rio São Miguel, nos anos civis entre 1968 e 2014, com exceção dos anos de 1991, 1992, 2009 e 2012.

Ordem	Q_7 ($m^3 s^{-1}$)	$F_{n\grave{a}oexc}$	Ordem	Q_7 ($m^3 s^{-1}$)	$F_{n\grave{a}oexc}$	Ordem	Q_7 ($m^3 s^{-1}$)	$F_{n\grave{a}oexc}$
1	0,0563142	0,022222	16	0,30555714	0,355556	31	0,5280428	0,688889
2	0,0803571	0,044444	17	0,3067714	0,377778	32	0,5381	0,711111
3	0,0883714	0,066667	18	0,3169	0,400000	33	0,5393142	0,733333
4	0,0952571	0,088889	19	0,3323857	0,422222	34	0,566328	0,755556
5	0,1068	0,111111	20	0,3655142	0,444444	35	0,5681	0,777778
6	0,1302285	0,133333	21	0,3763428	0,466667	36	0,575477	0,800000
7	0,1682	0,155556	22	0,4009428	0,488889	37	0,592842	0,822222
8	0,1687428	0,177778	23	0,4098	0,511111	38	0,762428	0,844444
9	0,1914857	0,200000	24	0,4132428	0,533333	39	0,769257	0,866667
10	0,2039142	0,222222	25	0,4468428	0,555556	40	0,783028	0,888889
11	0,2166571	0,244444	26	0,4736	0,577778	41	0,845371	0,911111
12	0,2711	0,266667	27	0,4742285	0,600000	42	1,004828	0,933333
13	0,2759	0,288889	28	0,4853	0,622222	43	1,971714	0,955556



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

14	0,293342	0,311111	29	0,4853	0,644444	44	2,8075	0,977778
15	0,3017	0,333333	30	0,5206	0,666667			

$F_{n\grave{a}oexc}$: Frequência de não excedência.

Fonte: dos autores, 2016.

Os parâmetros ajustados das distribuições de frequência aplicadas à série histórica de Q_7 do Rio São Miguel são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores obtidos dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de Q_7 do Rio São Miguel.

log-Normal 2 parâmetros	log-Normal 3 parâmetros	Gumbel para mínimos	Gama	Weibull
$\mu_n = -0,79948$ $\sigma_n = 1,378948$	$\beta = -74,6703$ $\mu_n = 4,024368$ $\sigma_n = 1,025364$	$\alpha = 2,662898$ $\mu = 0,707973$	$\beta = 835,0049$ $u = 0,023913$	$\beta = 1,645078$ $\lambda = 1,273855$

Fonte: dos autores, 2016.

Os valores de $|\Delta F|$ calculado máximo e λ^2 obtidos na avaliação da aderência dos modelos ajustados à distribuição de probabilidades da série histórica de vazão Q_7 do rio São Miguel são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores obtidos das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado na avaliação do ajuste das funções à série histórica de vazão Q_7 do São Miguel.

Modelo	ΔF Crítico	$ \Delta F $ calculado máximo	λ^2 teórico	λ^2 Calculado
log-Normal 2 parâmetros		0,091789*		2,171828333*
log-Normal 3 parâmetros		0,114989*		3,425402806*
Gumbel para Mínimos	0,202	0,301268 ^{NS}	5,991	69,11026519 ^{NS}
Gama		0,150627*		7,662788813 ^{NS}
Weibull		0,405554 ^{NS}		36,40553432 ^{NS}

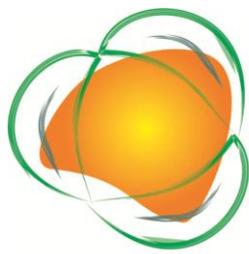
* Significativo a 5% de probabilidade; NS: Não significativo.

Fonte: dos autores, 2016.

Com os resultados encontrados nos testes de aderência, o modelo Log-Normal a 2 parâmetros foi o que melhor aderiu à série de Q_7 do Rio São Miguel, por ser significativa por ambos os testes e apresentar menor valor de Qui-Quadrado calculado.

Silva et al. (2006), em seu trabalho que avaliou as Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais, obtiveram que o modelo Log-normal 3 parâmetros produziu ajustes de melhor qualidade, ao se testar os modelos Log-normal 3 parâmetros, Weibull e Gumbel, evidenciado pelos menores valores de qui-quadrado calculado.

Da mesma forma, Euclides (1992) analisando dados de vazão mínima em sub-bacias do Rio Juatuba, avaliou que o modelo Log-normal 3 parâmetros foi o mais adequado para estimativa desta variável, após avaliar as distribuições Gumbel,



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

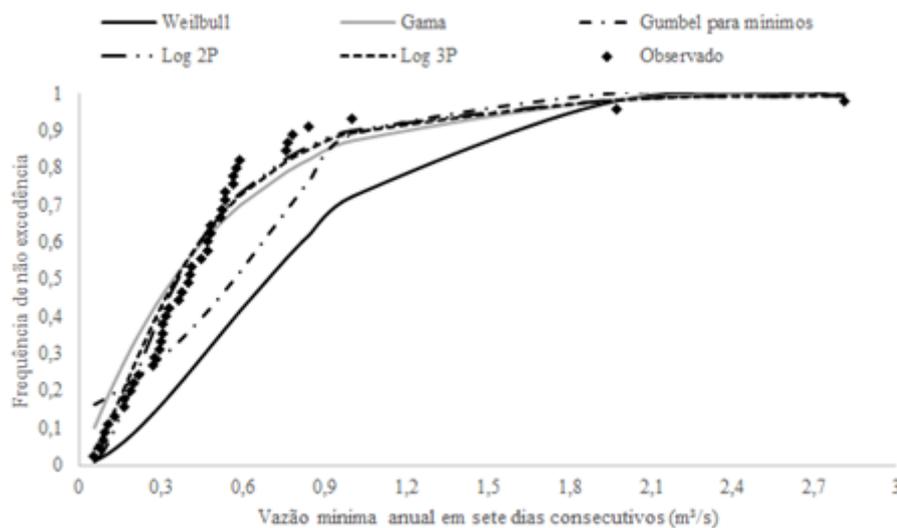
XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Log-normal a dois e três parâmetros e Fuller-Coutagne. Ambos os trabalhos diferem do encontrado neste estudo, em que o modelo Log-Normal 2 parâmetros foi o mais adequado para representar a frequência da série de Q_7 , porém, há de se salientar que o modelo Log-Normal 3 parâmetros produziu bons resultados.

Os dados da série histórica de Q_7 Rio São Miguel bem como as funções cumulativas de probabilidade ajustadas são mostrados na Figura 1.

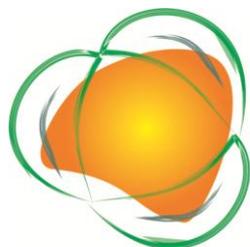
Figura 1 – Dados da série histórica de vazão Q_7 do Rio São Miguel e funções cumulativas de probabilidade dos modelos testados.



Fonte: dos autores, 2016.

Corroborando com os resultados apresentados na Tabela 3, pode-se verificar, pela análise da Figura 1, a não aderência dos modelos Weibull e Gumbel para Mínimos, enquanto que as distribuições estatísticas Log-Normal a 2 e 3 parâmetros e Gama, representaram melhor as frequências observadas de Q_7 .

A curva de permanência das vazões diárias do Rio São Miguel, é mostrada na Figura 2.



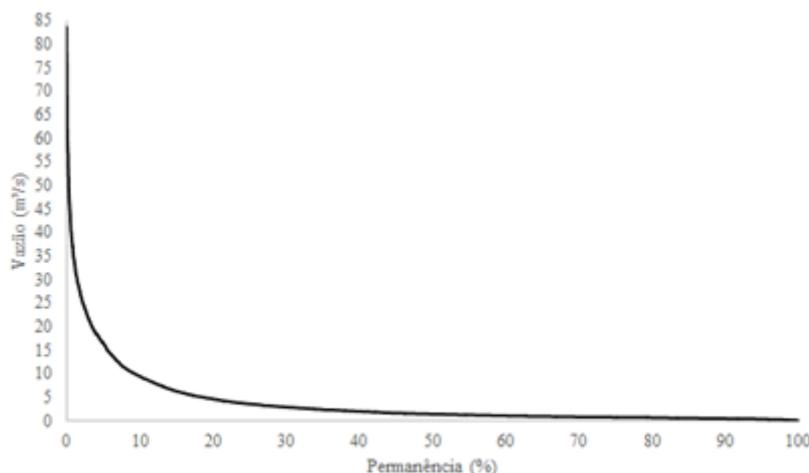
XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Figura 2 – Curva de Permanência das vazões diárias do Rio São Miguel, em Arcos – MG.



Fonte: dos autores, 2016.

Na Tabela 4, a partir da análise da curva de permanência e da série histórica de Q_7 , são apresentadas as vazões de referência Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$ para o Rio São Miguel, bem como as vazões máxima e mínima diárias e vazão mediana (Q_{50}).

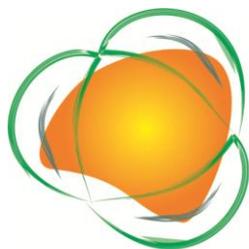
Tabela 4 - Valores obtidos pelas vazões Q_{50} , Q_{90} , Q_{95} , $Q_{7,10}$, vazões máximas e vazão mínimas diárias do Rio São Miguel.

Parâmetro	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Q_{50}	1,4207
Q_{90}	0,4853
Q_{95}	0,35885
$Q_{7,10}$	0,131014
Vazão Máxima	83,5514
Vazão Mínima	0,01777

Fonte: dos autores, 2016.

Verifica-se, com a análise da Tabela 4 que 50% das vazões do Rio São Miguel são superiores a $1,4207 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo o valor máximo $83,5514 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o que mostra uma maior amplitude valores acima da mediana ($82,1307 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Já em relação aos valores abaixo da mediana, a amplitude é pequena, $1,40293 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Assim, pode-se inferir que as vazões de cheia escoadas pela calha do Rio São Miguel foram muito superiores ao que normalmente é escoado, relacionando então, as vazões de pico, a eventos extremos de precipitação.

Em relação às vazões de referência, a $Q_{7,10}$ é a menor delas, sendo, portanto, mais restritiva quando usada para gerenciamento dos recursos hídricos e outorga pelo uso da água. O Estado de Minas Gerais, estabelece a vazão outorgável em 30% da $Q_{7,10}$ (SCHVARTZMAN et al., 1999), fixando assim, a vazão ecológica (a



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

vazão que deve permanecer no rio) não inferior a 70% do $Q_{7,10}$ (SILVA et al., 2006). Assim, no Rio São Miguel, pode ser explorada uma vazão de até $0,42621 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Conclusões

Analisando os resultados encontrados nos testes de aderência à série de vazões médias mínimas de sete dias consecutivos anuais (Q_7), o modelo que melhor se ajustou a série foi o Log-Normal a 2 parâmetros, sendo significativo em ambos os testes.

O valor obtido de vazão na série Q_7 com tempo de retorno de 10 anos associado a uma frequência de não excedência, foi de $0,131014 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (vazão outorgável $0,42621 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), enquanto que, os valores de Q_{50} , Q_{90} e Q_{95} , estimados a partir da curva de permanência, foram $1,4207 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $0,4853 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,35885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Agradecimentos

À UNIFOR-MG, pelo auxílio para participação do evento.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

DIAS, F. S.; VELÁSQUES, L. N. M. Hidrogeologia da Bacia do Rio São Miguel, municípios de Pains e Arcos – MG. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. *Anais...*São Paulo, 2002. p. 1-20.

EUCLYDES, H. P. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba-MG. 1992. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1.ed. Lavras: Editora UFLA, 455p., 2013.

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

SCHVARTZMAN, A. S.; MEDEIROS, M. J.; NASCIMENTO, N. O. Avaliação preliminar do critério de outorga adotado do estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABRH, 1999. CD Rom.