

Influência do uso e ocupação do solo sobre a vazão do alto da bacia do Rio Verde Grande - MG

Lorrana Cavalcanti Albuquerque¹, Pedro Augusto Alves Amaral², Edson de Oliveira Vieira^{3*}, Flávia Mazzer Rodrigues⁴, Rodrigo Praes de Almeida⁵

Resumo

A bacia hidrográfica do Rio Verde Grande é caracterizada pela baixa disponibilidade hídrica e alta variabilidade climática com os maiores índices pluviométricos concentrados na cabeceira da bacia o que ocasiona constantes conflitos pelo recurso hídrico, o qual não é suficiente para atender às demandas da população. Para tanto, fez-se necessário uma compatibilização entre a demanda e a oferta de água, necessitando de estudos que orientem uma gestão adequada desse recurso. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a interferência da dinâmica do uso e ocupação do solo na vazão do Alto da bacia hidrográfica do Rio Verde Grande (AVG). Os mapas temáticos de uso e ocupação do solo do AVG foram confeccionados utilizando processamento digital de imagens orbitais, para os anos de 1994, 2004 e 2014, com a finalidade de análise temporal do uso e ocupação do solo. A partir dos mapas temáticos, foram obtidas as áreas de cada uso e ocupação de solo nos períodos propostos e realizada uma comparação com o comportamento hidrológico de uma série de vazão correspondente ao trecho do AVG. Analisaram-se as vazões média de longo período, vazão máxima média, vazão mínima média, Q90% e Q95%, assim como, os dados de precipitação no período estudado. Como base nos resultados obtidos, observou-se pouca influência do uso e ocupação do solo na bacia do AVG e o comportamento das vazões do rio em sua calha principal, estando essas intimamente relacionadas com a precipitação.

Palavras chaves: recursos hídricos; imagens orbitais; geotecnologia

Influence of land use on streamflow from the upper watershed of Rio Verde Grande - MG

The Rio Verde Grande watershed is characterized by low water availability and high climatic variability with the highest rainfall levels concentrated in the headwaters of the basin, which causes constant conflicts by the water resource, which is not enough to meet the population water supply. In order to do so, it is necessary may to be able to reconcile the water demand and water supply, requiring studies that guide the proper management of this resource. In this context, the objective of this work was to evaluate the interference of the land use dynamics in the streamflow of upper watershed of the Rio Verde Grande (AVG). The thematic maps of the land use of the AVG were made using digital orbital image processing for the years 1994, 2004 and 2014, with the purpose of temporal analysis of the land use of watershed. From the thematic maps, the areas of each land use in the proposed periods were obtained and a comparison was made with the hydrological behavior of a streamflow series corresponding to the AVG stretch. The mean flow rates for long period, mean maximum flow, average minimum flow, Q90% and Q95%, as well as the precipitation data for the period studied were analyzed. Based on the results obtained, little influence of soil use and occupation in the AVG basin has been observed, as well as the behavior of the river streamflows in its main channel, being these closely related to precipitation.

Keywords: water resources; orbital images; geotechnology

¹Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, 39404-547, lorranacavalcanti@hotmail.com

²Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, 39404-547, pedroaugustoalves@hotmail.com

³Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, 39404-547, evieira@ica.ufmg.br

⁴Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, 39404-547, flamazzer@hotmail.com

⁵Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil, 39401-089, rodrigo.praes@yahoo.com.br

*Autor para correspondência: evieira@ica.ufmg.br

Introdução

A bacia hidrográfica tem-se revelado importante unidade espacial utilizada para gerenciar as atividades de uso e a conservação dos recursos naturais, sobremaneira nas situações atuais de grande pressão sobre o ambiente, em função do crescimento populacional e do desenvolvimento (Pissarra et al. 2004).

Nesse contexto, observa-se que as modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas influenciam o seu comportamento hidrológico. Essas alterações produzem os mais variados impactos sobre o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos (Tucci, 1998).

Contudo, o conhecimento dos processos hidrológicos nas bacias hidrográficas é de extrema importância, uma vez que a utilização dos recursos hídricos disponíveis cresceu juntamente com a população, provocando modificação no ciclo hidrológico. A disponibilidade de séries de dados medidos de vazões, bem como o monitoramento do uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas é muito pequena, com exceção de poucos trabalhos de pesquisa, mas de duração limitada (Cabral et al. 2013).

Por fim, observa-se que a baixa pluviosidade e longos períodos de estiagem da região Norte de Minas, conjugada com temperatura e insolação elevadas, contribuem para uma condição de déficit hídrico significativo (Silva et al. 2008).

Neste contexto, sabe-se que a bacia hidrográfica do Rio Verde Grande compreende uma área de aproximadamente 31.410 km², dos quais 87% encontram-se no estado mineiro e é caracterizada pela alta variabilidade climática e grande variabilidade espacial da chuva, com os maiores índices concentrados a montante da bacia, a sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG), onde se encontra o maior conjunto populacional, o município de Montes Claros, com aproximadamente 402 mil habitantes (IBGE, 2017).

Atualmente, o município de Montes Claros encontra-se em estado de calamidade hídrica e a medida corretiva adotada pela companhia de abastecimento de água do estado de Minas Gerais foi a captação de água em uma bacia hidrográfica adjacente, devido a incapacidade da sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG), produzir a quantidade de água demandada (COPASA, 2017).

Associado a baixa disponibilidade hídrica na região, esse aumento da demanda implicará no aumento de conflitos pelo uso da água e, de acordo com estudos, verifica-se que a qualidade e a quantidade desse recurso pode ser alterada pelo uso e ocupação dos solos que interferem significativamente na infiltração de água no

solo e no escoamento superficial e, conseqüentemente, no carreamento de sedimentos para os mananciais (Vanzela et al. 2010).

De acordo com Tucci (2002), as vazões mínimas podem aumentar ou diminuir após o desmatamento, em decorrência da manutenção da capacidade de infiltração de água no solo. A vazão mínima aumenta após o desmatamento, quando o solo tem sua taxa de infiltração mantida e isso soma-se a redução da interceptação e da evapotranspiração ocasionadas pela vegetação antes existente. Por sua vez, a redução da vazão mínima ocorre quando se reduz seu potencial de infiltração, aumentando o escoamento superficial e conseqüentemente as vazões máximas.

Contudo, na área da sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG) ocorre principalmente o uso com pastagens, em sua grande maioria, degradadas. Portanto, reflete diretamente no volume de água armazenado no solo, uma vez que quanto menor a proteção do solo, maior é a taxa de escoamento superficial, conseqüentemente menor a infiltração da água. Nessas condições, acentua-se o problema com a erosão e conseqüente assoreamento do curso hídrico, além de maximizar o potencial das cheias e reduzir a vazão no período de estiagem.

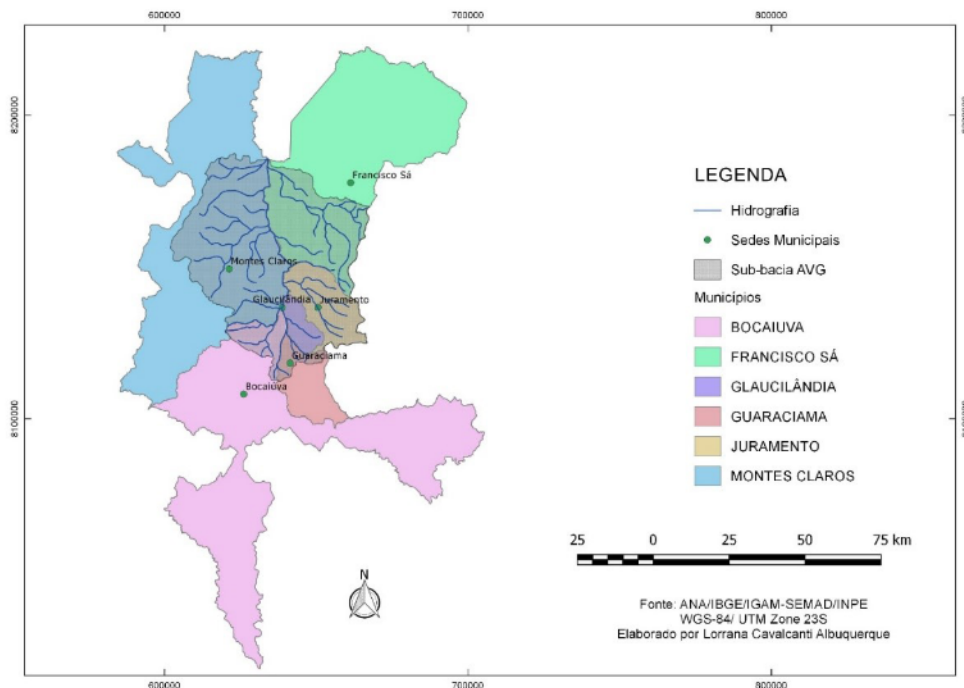
Diante do que foi exposto, este trabalho teve como objetivo analisar a correlação do uso e ocupação do solo na dinâmica da sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG), e qual seria a influência na vazão no canal de drenagem.

Materiais e métodos

A Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande está localizada entre os paralelos 14020' e 17014' de latitude Sul e meridianos 42030' e 44015' de longitude Oeste, com uma área de 31.410 km² que abrange, total ou parcialmente, 8 municípios do Estado da Bahia e 27 municípios do Estado de Minas Gerais. A população é de aproximadamente 800 mil habitantes, que corresponde a cerca de 5% da população total da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (ANA, 2016). A sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG), está localizada entre os municípios de Montes Claros, Francisco Sá, Bocaiúva, Guaraciama, Glaucilândia e Juramento (Figura 1), totalizando uma área de drenagem de 3.101 km².

As imagens do estudo foram obtidas no site do INPE no endereço eletrônico <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> selecionando uma imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) para o ano de 2014 e duas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, datadas dos anos de 1994 e 2004.

Figura 1 – Localização dos municípios que pertencem sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG) – MG.



Para o processo de georreferenciamento das imagens, utilizou-se como referência imagens ortoretificadas GLS Landsat 5. O *Software* utilizado para o georreferenciamento foi o *Environmental for Visualizing Images* (ENVI), por meio do qual foram alocados pontos de controle em áreas correspondentes em ambas as imagens, atribuindo desta maneira valores de coordenadas geográficas (latitude e longitude) para cada pixel da imagem, com o intuito de remover as distorções geométricas encontradas nas imagens. Foram utilizadas como base para o registro as imagens do Landsat 8, do ano de 2014, cujo sistema de projeção é o de coordenadas planas UTM (*Universal Transverse Mercator*) e de referencial geodésico WGS-84, referentes às mesmas órbita-ponto das imagens de 1994 e 2004.

Após o georreferenciamento das imagens, foram importadas para o banco de dados do SPRING as bandas 5, 4 e 3, para imagens do Landsat 5, e bandas 4, 5 e 6, para as cenas do Landsat 8, compondo a composição colorida de cada cena e realizado a delimitação da área de estudo (Câmara *et al.*, 1996). Para o enquadramento da área de estudo foram necessárias duas cenas Landsat (órbita/ponto 218/71 e 218/72), resultando em dois mosaicos RGB por ano, que posteriormente foram unificados em uma única imagem abrangendo toda a área da bacia hidrográfica.

Para o mapeamento do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Alto Verde Grande foi utilizado o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING (CÂMARA *et al.*, 1996), software disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017). No processo de determinação das coordenadas do banco de dados, utilizou-se projeção de coordenadas LATLONG e modelo da terra DATUM: Sirgas 2000. Para

realizar a classificação utilizou-se o classificador Bhattacharya comumente recomendado para classificações supervisionadas por regiões. Oliveira e Mataveli (2013) também utilizaram esse classificador em seus estudos, inclusive encontrando resultados positivos com o método. Foram definidas as seguintes classes: água, pastagem, vegetação remanescente, eucalipto, área urbana, agricultura irrigada e solo exposto. Para cada classe coletou-se amostra de regiões previamente segmentadas de acordo com a interpretação visual e durante toda a classificação foi utilizado para auxiliar no reconhecimento dos alvos as imagens orbitais disponibilizadas gratuitamente no sítio do Google Earth (www.googleearth.com). A finalização do procedimento ocorreu quando atingiu uma distinção adequada das classes estabelecidas.

Para avaliação estatística das amostras de treinamento utilizou-se o índice Kappa e matriz de confusão gerada pelo próprio software de processamento. Esse índice, que mede a confiabilidade da amostragem, é classificado em péssima ($K < 0$), ruim ($0 < K < 0,2$), razoável ($0,2 < K < 0,4$), boa ($0,4 < K < 0,6$), muito boa ($0,6 < K < 0,8$) e excelente ($0,8 < K < 1,0$). E por fim, utilizou o software QGIS para a elaboração dos mapas.

A série histórica de vazões médias mensais foram coletados pelo sistema HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA). Sendo definida a estação fluviométrica Capitão Enéas (Latitude -16,3406, Longitude -43,7831) por ser a mais próxima do exultório sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG).

Com o auxílio da Planilha do *software Microsoft Excel* foi realizado os cálculos da vazão do inventário da área de estudo correspondente a região considerada. Foram importados dados mensais de séries de vazões

máxima, mínima e média. A partir dessas, gerou-se também um valor para cada década de estudo, referente as vazões com permanência de 90 e 95% no tempo, Q_{90} e Q_{95} , respectivamente. Foram organizados os dados anuais de precipitação, obtidos em estação meteorológica do INMET, presente dentro da sub-bacia do Alto Verde Grande (AVG) no município de Montes Claros – MG.

Resultados e discussão

De acordo com os dados obtidos e analisados foram elaborados mapas e tabelas que são exibidos a seguir. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os mapas temáticos de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Alto Verde Grande nos anos de 1994, 2004 e 2014, respectivamente.

Figura 2 – Mapa temático do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Alto Verde Grande para o ano de 1994.

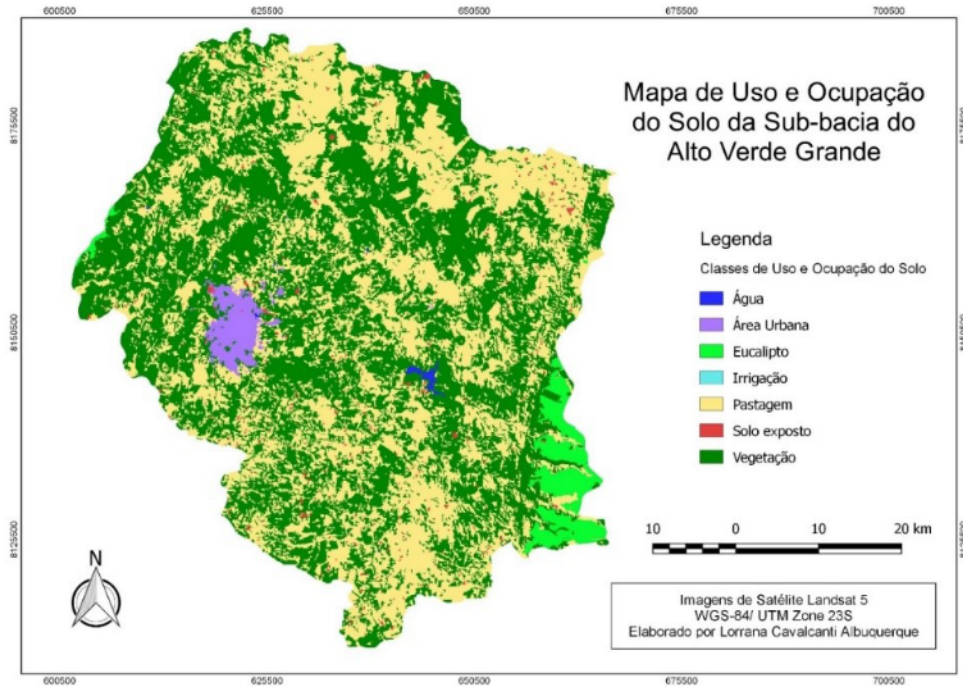


Figura 3 – Mapa temático do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Alto Verde Grande para o ano de 2004.

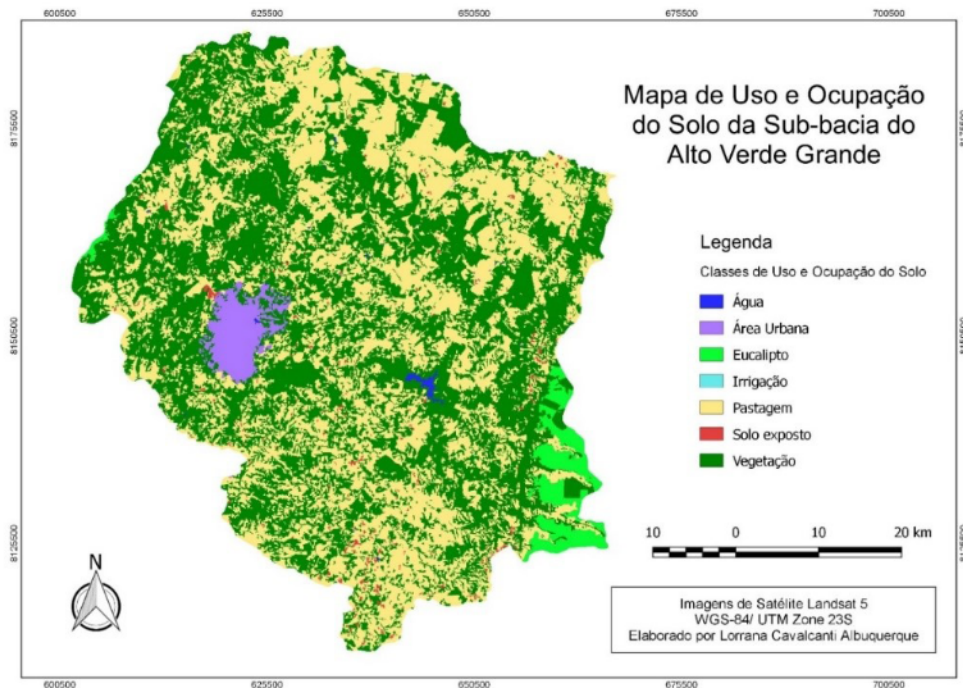
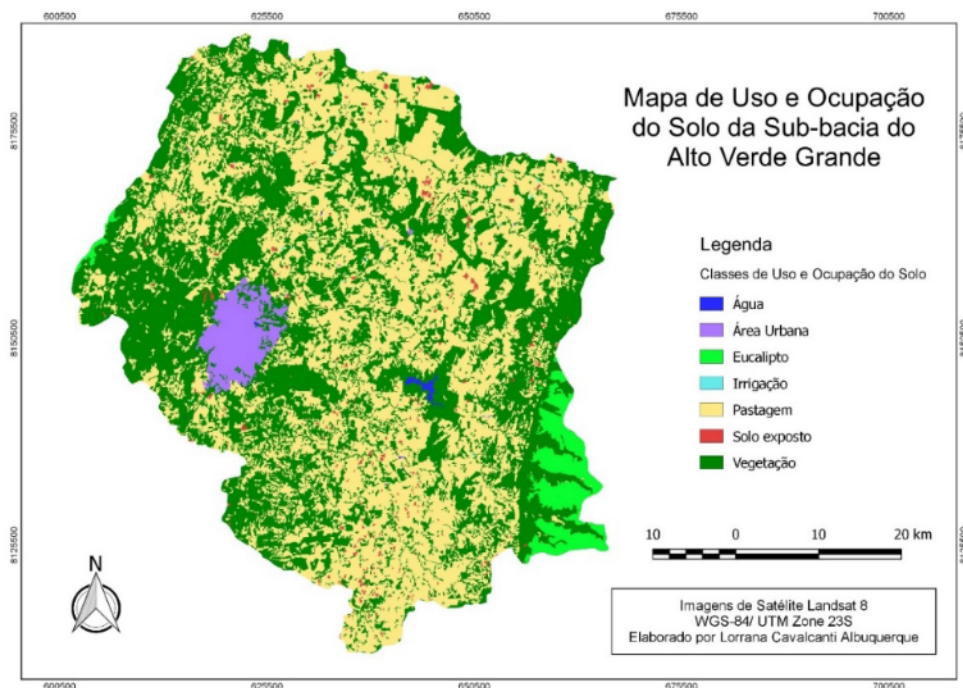


Figura 4 – Mapa temático do uso e ocupação do solo da sub-bacia do Alto Verde Grande para o ano de 2014.



Ao observar-se as Figuras 2, 3 e 4 juntamente com a Tabela 1, percebe-se que a predominância na área de estudo é de vegetação nativa e pastagem, sendo que essas se comportam de formas diferentes dentro da bacia. Em algumas regiões tem-se o aumento da área de

pastagem e em outras o aumento da vegetação, como na área ocupada pelo parque estadual Lapa Grande, por exemplo, onde percebe-se um adensamento da vegetação com evolução dos anos.

Tabela 1 – Área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo na sub-bacia AVG em 1994, 2004 e 2014.

	1994		2004		2014	
	ha	%	ha	%	ha	%
Água	516,1	0,17	549,2	0,18	466,9	0,15
Área Urbana	5.193,8	1,67	6.772,8	2,19	7.970,0	2,57
Eucalipto	8.812,6	2,84	8.056,4	2,60	8.998,0	2,90
Irrigação	9,5	0,00	30,3	0,01	152,0	0,05
Pastagem	135.032,5	43,52	134.209,3	43,30	144.901,3	46,70
Solo Exposto	2.408,4	0,78	2.107,5	0,68	2.362,7	0,76
Vegetação	158.304,7	51,02	158.195,3	51,04	145.420,8	46,87
Total	310.277,6	100,00	309.920,9	100,00	310.271,7	100,00

[Moreira et al. \(2014\)](#) estudando a Bacia Hidrográfica do Rio Vieira, uma sub-bacia do Alto Verde Grande, na qual está inserida o parque, também encontrou aumento da área de vegetação entre os anos de 2009 e 2012. Os valores de vegetação encontrados, 51%, 51% e 47% para os anos de 1994, 2004 e 2014 respectivamente, foram próximos do valor de 40% informado no plano de bacia para o ano de 2008 ([ANA, 2016](#)). Essa diferença está possivelmente associada à metodologia utilizada no cômputo da área. Por outro lado, as demais regiões do AVG apresentaram característica de supressão de mata

nativa, sendo substituída por área de pastagem, principalmente entre os anos de 2004 e 2014. Assim como a mata nativa, os valores de pastagem encontrados se aproximam do valor do plano, 48%.

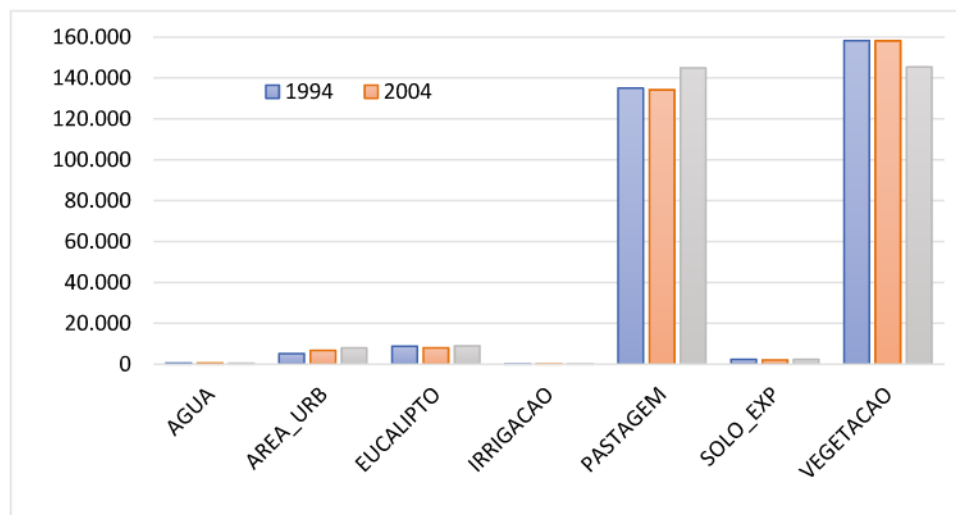
De acordo com a Figura 5, observa-se a expansão da área urbana que saltou de 5,19 mil ha em 1994 para 7,97 mil em 2014, em decorrência do crescimento da cidade de Montes Claros presente na sub-bacia. A área irrigada também aumentou, entretanto tem pouca representatividade dentro da sub-bacia, da ordem de 0,05%

do total do solo em 2014. Essas afirmações corroboram com o plano de bacias do Rio Verde Grande.

A área de eucalipto manteve-se quase inalterável concentrando-se nas bordas da bacia, representando 2,84, 2,60 e 2,90% da ocupação solo nos respectivos

anos. Em números gerais, percebe-se um aumento no desmatamento entre 2004 e 2014 (vegetação diminuiu 4,17% e pastagem aumentou 3,40%). O período entre os anos de 1994 e 2004 apresentou poucas alterações tanto em pastagem quanto em vegetação, da ordem de 0,2%.

Figura 5 – Análise temporal do uso e ocupação do solo na sub-bacia AVG.



A partir dos dados obtidos na [ANA \(2017\)](#) acerca das vazões mensais mínimas, máximas e médias, elaborou-se a Tabela 2, expressa também em milímetros por ano, considerando a área de contribuição de 3.570

km². Encontrou-se um coeficiente de deságue entre a quantidade de água precipitada por ano em milímetros e vazão do rio Verde Grande também em milímetros por ano, conforme demonstra a Tabela 3.

Tabela 2 – Vazões máximas média, média e mínimas média por período estudado.

Período	QMin Méd		QMéd		QMáx Méd	
	(m ³ /s)	(mm/ano)	(m ³ /s)	(mm/ano)	(m ³ /s)	(mm/ano)
1984-1994	3,03	26,730	11,49	101,518	34,26	302,658
1995-2004	1,61	14,234	6,32	55,796	14,95	132,062
2005-2014	2,80	24,691	7,83	69,209	20,60	182,013

Tabela 3 – Correlação climatológica entre a precipitação e a vazão.

Período	Q Méd		Precipitação Média (mm)	Coeficiente de deságue (%)
	(m ³ /s)	(mm/ano)		
1984-1994	11,49	101,518	1026,73	9,9%
1995-2004	6,32	55,796	993,53	5,6%
2005-2014	7,83	69,209	1102,19	6,3%

Com base nos dados apresentados na Tabela 2, observa-se que existe um decréscimo da média de vazões por período estudado em função do decréscimo da precipitação e vice-versa. Pode-se perceber por meio do coeficiente de deságue que a quantidade de água que saiu do sistema na forma de vazão apresentou um percentual entre 5,6 e 9,9%, em relação a que entrou na forma de precipitação. [Pereira et al. \(2007\)](#), avaliando o comportamento hidrológico do rio São Francisco e seus

afluentes entre os anos de 1979 e 2000, identificaram que dentre os principais afluentes, o rio Verde Grande é o que apresenta menor coeficiente de deságue, sendo que apenas 5% do volume precipitado atingiu a foz do rio, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Na Figura 6, observa-se o comportamento das vazões de permanência (Q_{90} e Q_{95}) frente à precipitação,

e na Figura 7, verifica-se o comportamento de todas as vazões estudadas frente à evolução das classes de pastagem e vegetação nativa, predominantes na região.

[Collischonn et al. \(2001\)](#) afirmam que existe a tendência de aumento da vazão média de um curso

hídrico com o aumento do desmatamento. Segundo o autor, a vazão mínima tende a diminuir enquanto que a vazão máxima tende a aumentar em proporções maiores em decorrência da redução na taxa de infiltração.

Figura 6 – Vazões de permanência Q_{90} e Q_{95} e precipitação entre 1984 e 2014.

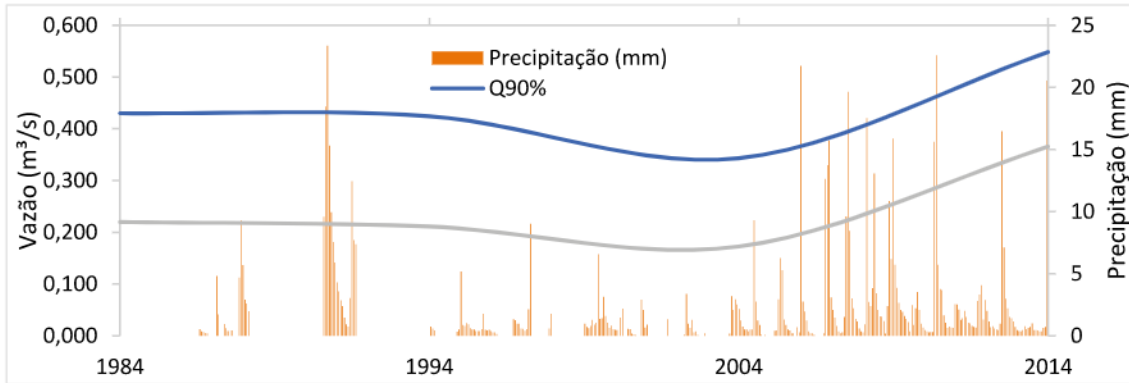
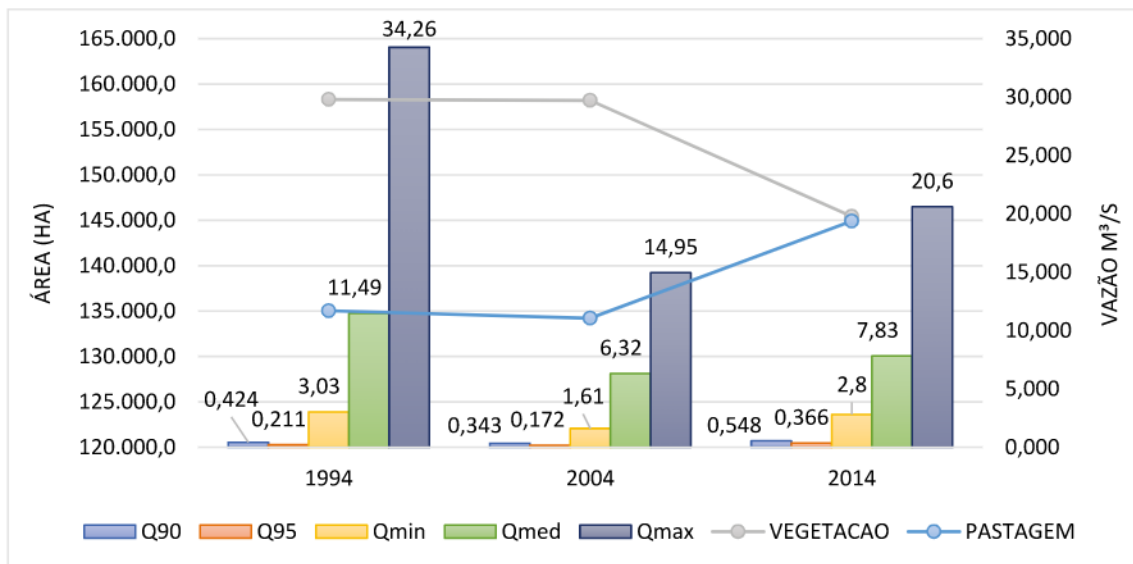


Figura 7 – Análise temporal das classes de pastagem e vegetação nativa na sub-bacia AVG.



Entretanto, ao serem analisadas as Figuras 6 e 7 em conjunto com o coeficiente de deságue, percebe-se que a vazão nesse trecho do rio Verde Grande está intimamente relacionada à precipitação, demonstrando pouca influência do uso e ocupação do solo nesse valor para o período analisado. O coeficiente de deságue demonstra que houve maior diferenciação no destino da água precipitada na bacia entre os períodos de 1984-1994 e 1995-2004, quando os valores percentuais médios de precipitação convertida em vazão foram de 9,9 e 5,6%, respectivamente. Enquanto isso, como já mencionado,

esses dois períodos foram os que mais se assemelharam quanto ao uso e ocupação do solo.

Conclusão

partir de todos os resultados obtidos conclui-se que o uso e ocupação do solo na sub-bacia do Alto Verde Grande possui pouca influência no comportamento das vazões do rio principal no trecho estudado, estando essas vazões estreitamente relacionadas com a precipitação da região.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. 2016. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Agência Nacional de Águas. Disponível em: www.ana.gov.br.
- Cabral, S. L.; Reis, R. S.; Junior, C. R. F. 2013. Avaliação do efeito da urbanização na produção de sedimentos da bacia do rio Jacarecica/AL mediante uso de modelo hidrossedimentológico distribuído. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37(4): 1073-1080. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400024>
- Câmara, G.; Medeiros, C. B.; Casanova, M. A.; Hemerly, A. Magalhães, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Computação. SBC, 1996.
- Collischonn, W. 2001. Simulação hidrológica em grandes bacias, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre. v. 6, n.1, p. 95–118, 2001. Doi: [10.21168/rbrh.v6n1.p95-118](https://doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p95-118)
- COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Disponível em: <https://goo.gl/qvxWc9>.
- ENVI - Environment for Visualizing Images – ITT Vision information solution, 4: 7, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: <https://goo.gl/5WRuPS>.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. Manuais, Tutorial de Geoprocessamento, Classificação de Imagens Disponível em: <https://goo.gl/Qkb9CD>.
- Landis, J.R.; Koch, G.G. 1977The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33 (1): 159-174,. PMID: 843571
- Moreira, A.M.; Fernandes, F.H.S; Nery, C.V.M. 2014. Mapeamento e análise do uso e ocupação do solo na bacia do rio vieira no município de Montes Claros/MG. *Revista Brasileira de Geomática* 2. Doi: [10.3895/rbgeo.v2n2.5448](https://doi.org/10.3895/rbgeo.v2n2.5448)
- Oliveira, B. S.; Mataveli, G. A. V. Avaliação do desempenho dos classificadores Ioseg e Bhattacharya para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, n. 1986, p. 6917–6922, 2013.
- Pereira, S. B., Pruski, F. F., Silva, D. D., Ramos, M. M. 2007. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11(6): 615-622, Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000600010>
- Pissarra, T. C. T.; Politano, W.; Ferraudo, A. S.2004. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28:297-305. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200008>.
- Silva, S.M.; Velásquez, L.N.M.; Freitas, A.M.; Pereira, C.; Costa, D.A.; Soares, L.C.; Fantinel, L. M.; Fleming, P. M.; Rodrigues, P. C. H.. Hidroquímica das Águas Subterrâneas e Anomalias de Fluoreto em Região do Semiárido Mineiro. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, Natal. Livro de Resumo, p.209. 2008.
- TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre. Ed. da UFRGS: ABRH, 1998. p.669.
- TUCCI, C. E. Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. Câmara Temática sobre Recursos Hídricos, Brasília-DF, p. 150, 2002.
- Vanzela, L. S.; Hernandez, F. B. T.; Franco, R. A. M. 2010. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande 14 (1): 55–64. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>