

Utilização de imagens LANDSAT para determinação de vazões máximas na bacia do córrego Melancias/MG em função do aumento das áreas urbanizadas para diferentes períodos de retorno

Felipe Bernardes Silva¹
Nayara Paula Andrade Vieira¹
Edson de Oliveira Vieira²
Cristina Rodrigues Nascimento²

¹Graduando (a) em Agronomia - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Av. Universitária, nº 1000, Bairro: Universitário – Montes Claros - MG, Brasil
{felipe_bs_16, nayara_pav}@hotmail.com.

²Professor (a) do ICA/UFMG
Av. Universitária, nº 1000, Bairro: Universitário – Montes Claros - MG, Brasil
edsonufmg@hotmail.com; crisrodnas@gmail.com.

Abstract. Watersheds that are located within urban areas require hydrological studies to predict extreme events that support decision making in order to better urban planning. Given that the objective of this study was to determine peak flows for the basin stream Melancias / MG, located in the city of Montes Claros / MG, along a series of 27 years and for different return periods. The methodology included the acquisition of images Landsat-5/TM orbit / point 218/72 for the year 2011, geometric and radiometric corrections performed in software ENVI 4.2. From the color composite RGB-453, was classified automatic supervised by the GML algorithm, the surface divided into four distinct classes (impermeable areas, sparse vegetation and bare soil, vegetation and water bodies). With this data it was possible to simulate peak flows for return periods of 5, 50 and 100 years, for the years 1984, 1990, 2000 and 2011. Note that there was a significant increase in maximum flows of the project, since the basin currently has a high rate of soil sealing, 95%, a cumulative flow rate of $105.4525 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ for the return period of 5 years and a rate of $251.3497 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ for a return period of 100 years.

Palavras-chave: remote drainage system, maximum rainfall events and physiographic parameters, rede de drenagem, eventos de máxima precipitação e parâmetros fisiográficos.

1. Introdução

O avanço do processo de urbanização desordenada com a criação de imensas metrópoles com pouco ou nenhum planejamento, causa diversos danos para o meio ambiente e para a sociedade. Os corpos d'água que inicialmente serviam como fonte de água e alimento proporcionando condições para a criação e desenvolvimento das vilas, hoje se encontram, em muitas cidades, com elevado índice de degradação, principalmente em sua mata ciliar, devido à exacerbada ocupação urbana, promovendo, erosão, assoreamento, redução da vazão, redução da qualidade da água e alterações significativas no ecossistema local.

Na atual realidade brasileira, são raros os municípios que não apresentam boa parcela da população residente em locais precários, isso implica em ocupação de áreas como encostas de rios e vales inundáveis, que são terraplanados e os cursos d'água canalizados (Costa *et al.*, 2012). Essa expansão para além de limites seguros é muitas vezes estimulada por iniciativas privadas sobre interesses sociais, não respeitando a legislação vigente e os planos diretores dos municípios (Rolnik, 2009, *apud* Costa *et al.*, 2012). Sendo assim a tecnologia do Sensoriamento Remoto apresenta-se como importante ferramenta para projetos de engenharia e planejamento urbano, sendo amplamente empregada no mapeamento de áreas afetadas por inundações, modelagem hidrológica, estudo de impactos ambientais em bacias hidrográficas, avaliações de questões relativas ao ciclo hidrológico, poluição de mananciais, entre outros (Pisani, 1992). Satélites equipados com diversos tipos de sensores oferecem uma infinidade

de dados e produtos, que permitem quantificar a evolução da dinâmica da superfície, possibilitando avaliar o comportamento de um determinado tipo de cobertura e sua influência no contexto geral da bacia hidrográfica (Novo, 2010).

Segundo Paiva e Paiva (2001) pequenas bacias hidrográficas apresentam dificuldade em se obter dados de vazão, sendo, portanto necessário a utilização de métodos que levem em consideração dados de precipitação, comumente encontrados.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica do avanço da urbanização na bacia do Córrego Melancias/MG, a partir de séries temporais de imagens do satélite LANDSAT-5/TM e a consequência da impermeabilização do solo nas vazões máximas para diferentes períodos de retorno.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A área de estudo está localizada na zona leste do município de Montes Claros/MG compreendendo 21 bairros e parte do centro da cidade (Figura 1). A nascente do Córrego Melancias/MG corresponde à coordenada geográfica 16° 46' 57,618''S e 43° 50' 38,87''W, e sua foz na coordenada geográfica 16° 41' 10,146''S e 43° 51' 21,12''W (Ministério do Exército, 1979).

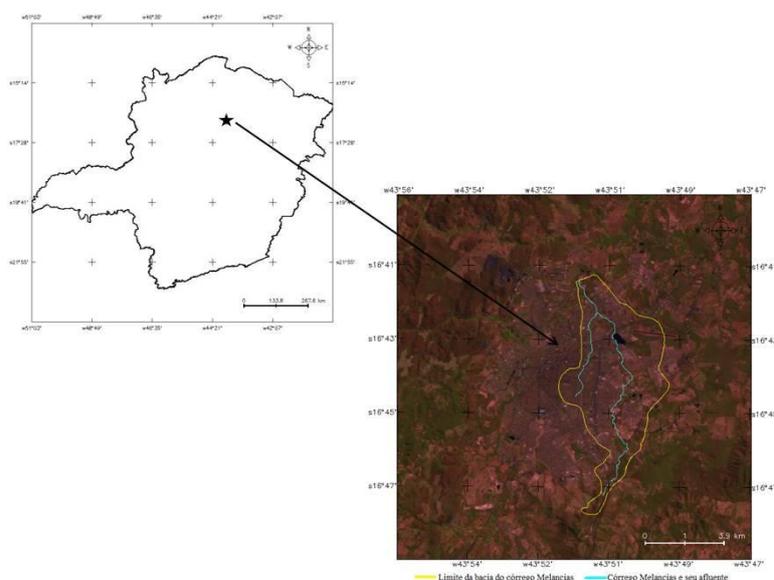


Figura 1: Localização espacial da bacia do córrego Melancias no estado de Minas Gerais.

A bacia apresenta uma área 30,145 km², sendo o comprimento do rio principal com 12,7 km, possuindo atualmente, quase toda sua extensão, tanto de seu leito quanto de sua bacia, dentro da área urbana, acarretando impactos diretos. Isso pode ser comprovado pelo elevado crescimento populacional da cidade de Montes Claros nos últimos 27 anos como pode ser observado na Tabela 1:

Tabela 1. Evolução da população urbana da cidade de Montes Claros

<i>Ano</i>	<i>População</i>
1980	155.483
1990	250.573
2000	289.183
2010	344.427

Fonte: IBGE citado por LEITE, 2005.

2.1. Aquisição e processamento das imagens de satélite

Para avaliar os efeitos da urbanização na área da bacia do Córrego Melancias/ MG, foram adquiridas imagens da órbita/ponto 218/72, correspondente ao município de Montes Claros/MG, disponibilizadas gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) do satélite LANDSAT 5 sensor TM, em quatro períodos diferentes 1984, 1990, 2000 e 2011. Em seguida as mesmas foram georreferenciadas utilizando o programa *ENVI 4.2 (Environment for Visualizing Images)* utilizando imagens GEOCOVER disponibilizadas pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), Padovani et al. (2002). Em seguida foi feito o recorte da área de estudo utilizando o arquivo vetorial, gerado da carta planialtimétrica da cidade de Montes Claros.

Para avaliar o processo de ocupação do solo e o avanço da urbanização na área da bacia do Córrego Melancias/MG ao longo das décadas estudadas, foram realizadas classificações automáticas supervisionadas utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXVER) no *software* SPRING versão 5.1. Quatro classes de interesse foram definidas para a classificação da superfície da bacia, sendo elas: áreas urbanas, solo exposto e vegetação rala, vegetação densa e corpos d'água. O conjunto de pontos amostrais, utilizados na classificação, foi obtido pela análise da composição colorida RGB/453 e pela leitura de pixels, relacionando o padrão do pixel na composição colorida RGB com as diferentes superfícies, com enfoque em áreas conhecidas e que possuíam características marcantes referentes a cada classe pré-determinada.

Ao final da elaboração dos mapas temáticos, os mesmos foram cruzados com a informação mais recente correspondente, ou seja, a imagem do ano 2011, permitindo quantificar a evolução e/ou crescimento da urbanização dessas áreas ao longo do tempo.

2.3. Estimativa das vazões máximas de projeto

O método escolhido para a determinação da vazão máxima de projeto foi o Método Racional Modificado, sendo muito utilizado em projetos de sistemas de drenagem urbana, embora seu uso seja indicado para bacias de dimensões reduzidas, o mesmo tem sido empregado além desses limites. O Método Racional Modificado encontra-se expresso na Equação 1 (CCE 1991, citado por Steffen e Rondon, 2000):

$$Q_{\max} = 0,278.C.Im.A^D \quad (1)$$

Em que:

Q_{\max} = vazão máxima de escoamento superficial, m³/s;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional, em função de características da bacia;

Im = Intensidade de precipitação máxima média observada num intervalo de tempo igual ao tempo de concentração da bacia, mm/hora;

A = Área total da bacia de drenagem em km²

D = um coeficiente redutor, admite-se 1,0 para áreas até 50 hectares e igual a 0,9 para áreas maiores que este valor.

Como ocorreu uma variação do coeficiente de escoamento superficial ao longo da área analisada, foi utilizada a Equação 2.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A} \quad (2)$$

Sendo:

C = Coeficiente de escoamento superficial médio para a bacia, adimensional;
 C_i = coeficiente de escoamento superficial da subárea i, adimensional, Tabela 2;
 A_i = Subárea considerada (ha);
 A = Área total considerada (ha).

Tabela 2. Valores de C propostos pelo Colorado Highway Department

Características da bacia	C
Superfícies impermeáveis	0,90 – 0,95
Terreno estéril montanhoso	0,80 – 0,90
Terreno estéril ondulado	0,60 – 0,80
Terreno estéril plano	0,50 – 0,70
Prados, campinas, terreno ondulado	0,40 – 0,65
Matas decíduas, folhagem caduca	0,35 – 0,60
Matas coníferas, folhagem permanente	0,25 – 0,50
Pomares	0,15 – 0,40
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15 – 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 – 0,30

FONTE: Pruski *et al.* (2004) *apud* Souza (2010).

Como no trabalho serão utilizados períodos de retorno de 5, 50 e 100 anos, faz-se necessário o emprego do fator de correção (C_f) para o coeficiente de escoamento superficial, Tucci (1997), segundo a Tabela 3:

Tabela 3. Fator de Correção do coeficiente de escoamento superficial para diferentes períodos de retorno.

Período de Retorno (anos)	C _f
2 a 10	1
25	1,1
50	1,2
100	1,25

FONTE: Wright - McLaughlin, *apud* Tucci (1997).

A intensidade máxima média foi obtida utilizando-se a relação intensidade – duração – frequência para o local de estudo (Tabela 4), obtendo-se os seguintes parâmetros:

$$i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (3)$$

Onde:

i_m = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, mm/h;

T = Período de retorno em anos, para este trabalho adotou-se os períodos de retorno de 5, 50 e 100 anos;

Tabela 4: K, a, b, c = parâmetros de ajuste relativos à estação pluviográfica;

Localidade	K	a	b	c
Montes Claros/MG	3500,014	0,248	34,992	0,993

t = duração da precipitação, em minutos, obtido pela Equação 4:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (4)$$

Sendo:

t_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue, em km;

H = diferença de nível entre o mais remoto da bacia e a seção de deságüe, em metros.

3. Resultados e Discussão

Como pode ser observada nas Figuras 2 e 3, a evolução da área urbana se deu rapidamente na bacia do Córrego Melancias/MG, reduzindo drasticamente as áreas de solo exposto e vegetação rala e vegetação densa. No ano de 1984 as áreas de solo exposto e vegetação rala possuíam predomínio em relação às outras, devido, provavelmente, a expansão urbana, ou seja, criação de loteamentos em áreas onde existia vegetação nativa, porém os mesmos ainda não provinham de infra-estrutura, como pavimentação asfáltica e novos bairros. Como pode ser observada na Figura 4, a área urbana cresceu, entre 1984 e 1990, 224,6%. Entre 1990 e 2000 a urbanização apresentou um crescimento de 84,3%. Nos últimos 11 anos estudados, a bacia do Córrego Melancias apresentou um crescimento urbano de 3,6% em virtude do crescimento e do fortalecimento econômico do município, principalmente do setor industrial, comercial, além da firmação da cidade de Montes Claros como cidade universitária, sendo um importante pólo de imigração, principalmente de cidades da região. Durante todo o período analisado as áreas urbanizadas na bacia do Córrego Melancias passaram de 11,8% em 1984 para 75,0% em 2011. No total a vegetação apresentou ao longo dos 27 anos um decréscimo de 48,34%. Ao mesmo tempo o solo exposto reduziu 78,29% em devido ao crescimento acelerado e desordenado da área urbana.

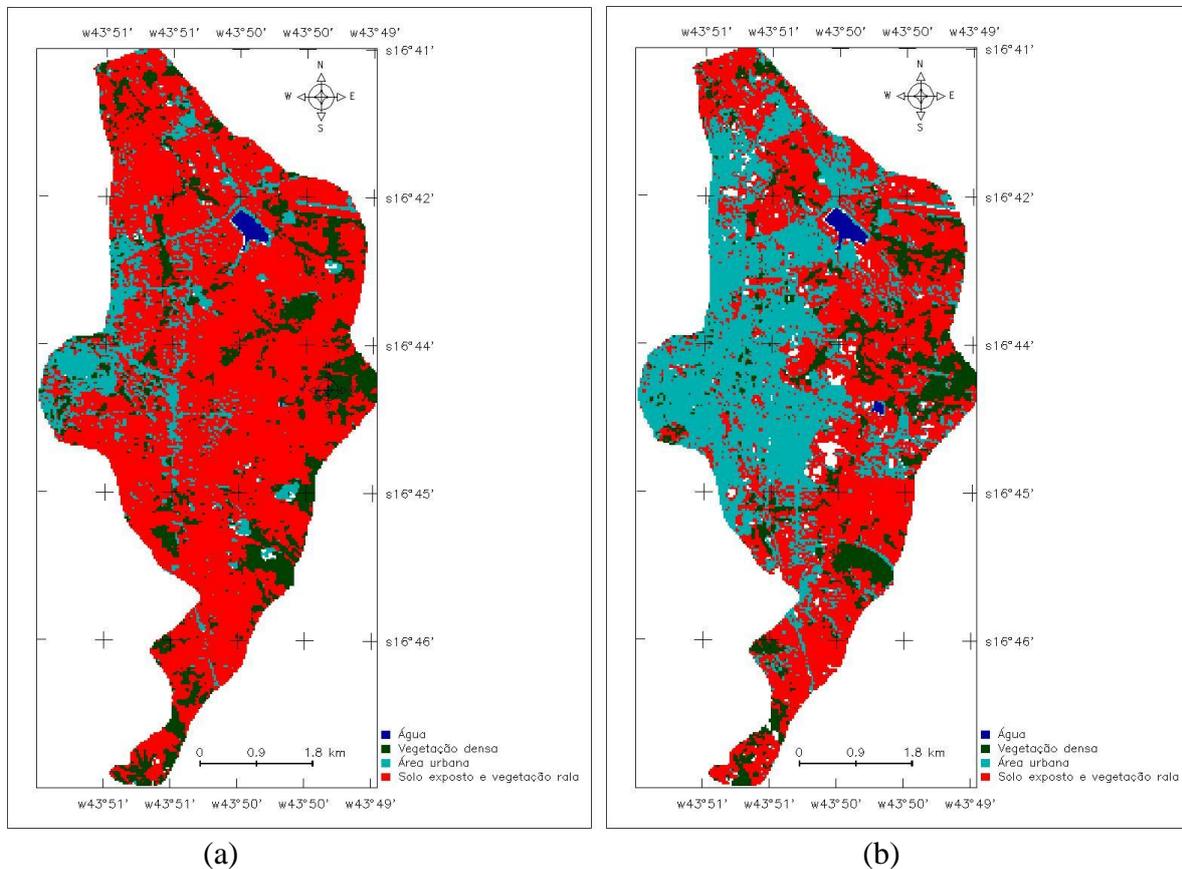


Figura 2. Mapa temático da bacia do Córrego Melancias para os anos 1984 (a) e 1990 (b)

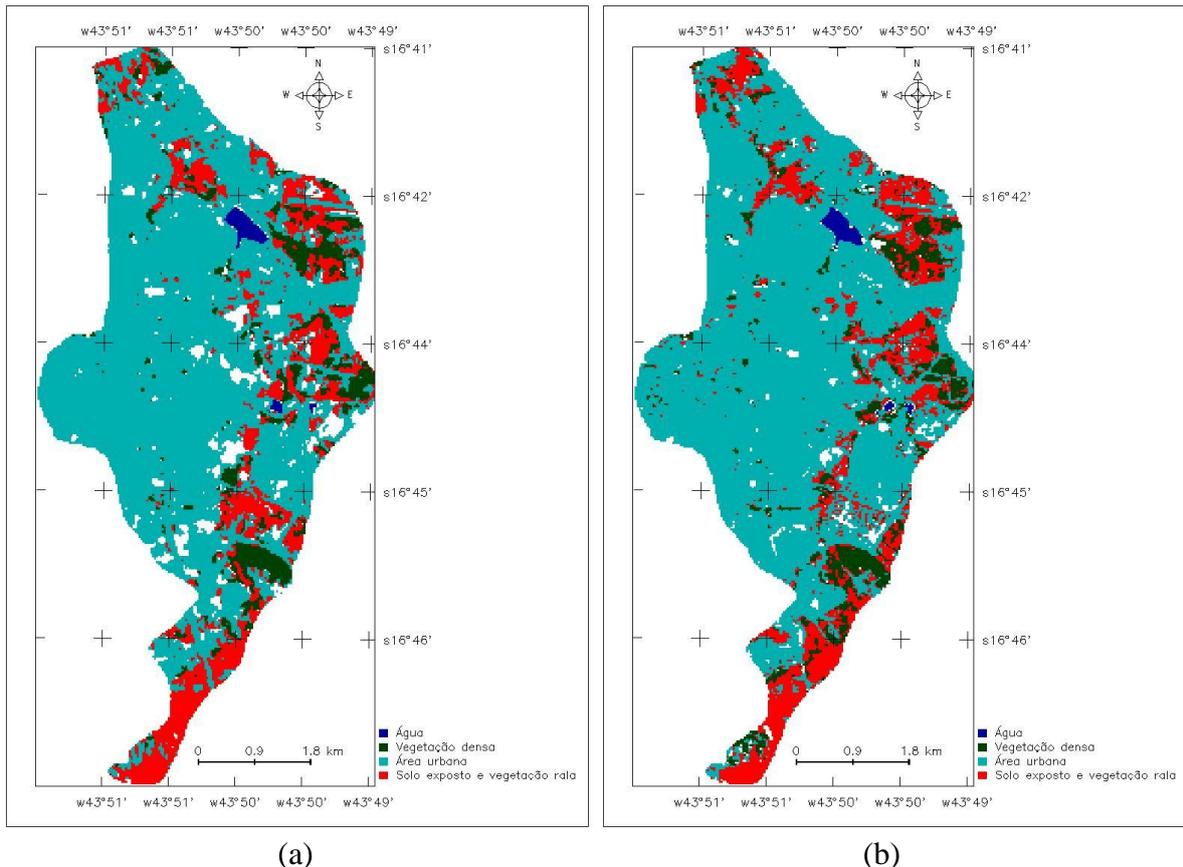


Figura 3. Mapa temático da bacia do Córrego Melancias para os anos 2000 (a) e 2011 (b)

Os impactos gerados na bacia elevaram os índices de poluição, principalmente daqueles oriundos da descarga clandestina de efluentes, deposição de lixo no leito e nas margens do córrego, além do aumento da proliferação de vetores de doenças e mau cheiro. Na Figura 4 é possível visualizar a dinâmica das superfícies, evidenciando a variação ao longo do período de estudo, dos alvos classificados.

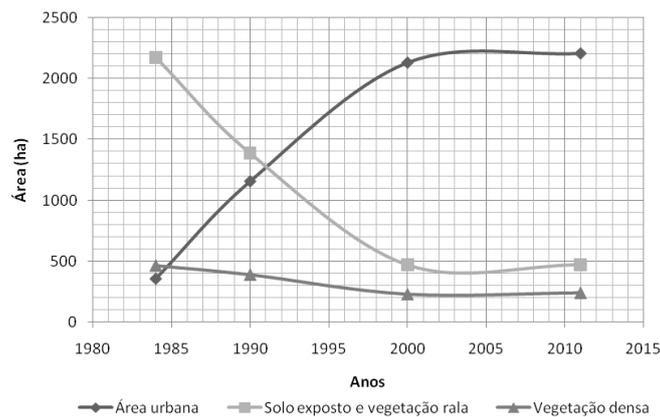


Figura 4. Variação do uso e ocupação solo ao longo da série histórica

Segundo Paiva e Paiva (2001), o coeficiente de escoamento, também denominado coeficiente de deflúvio ou coeficiente de “run-off”, é resultado da relação entre o volume total que é precipitado sob uma determinada superfície e o volume que esco superficialmente. Esta variação ocorre devido aos diferentes comportamentos que a superfície apresenta sob um evento de precipitação, variando de acordo com a intensidade da chuva, de uma possível

precipitação antecedente, da umidade do solo, do tipo do solo presente na bacia, do uso e ocupação do mesmo, da drenagem e do volume que é retido superficialmente, entre alguns outros fatores. Em função disso o coeficiente de escoamento apresentou uma variação ao longo do período analisado, uma vez que houve uma mudança significativa da porcentagem da área da bacia que passou a ser impermeável, fator esse que influencia diretamente na vazão máxima de projeto da bacia, Figura 5.

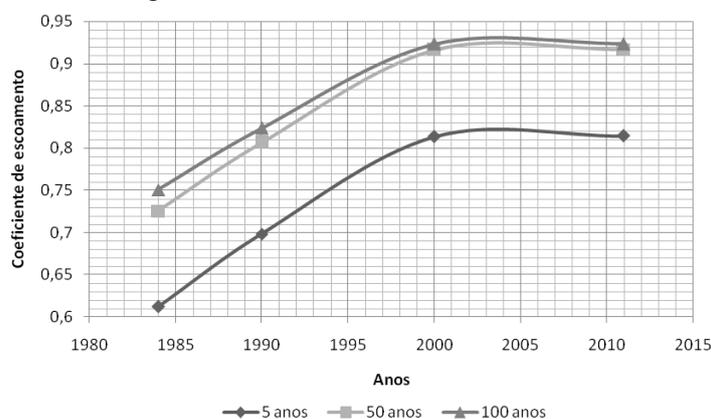


Figura 5. Evolução do coeficiente de escoamento ao longo da série histórica

Observando a figura acima para os períodos de retorno de 5, 50 e 100 anos, é possível observar o quão drástica foi sua variação ao longo do estudo, podendo-se inferir em termos atuais, tomando-se como base o ano de 2011, que o coeficiente de escoamento superficial variou de 0,815 até 0,924. Essa variação ocorre porque a medida que se aumenta o período de retorno maior à probabilidade de aumento na área impermeável e maior a probabilidade de ocorrer uma precipitação com intensidade muito elevada, sendo importante observar que quanto mais intenso for um evento de precipitação, maior será o volume escoado superficialmente. Como consequência maior será a vazão máxima de projeto, apresentando um valor de $105,4525 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o período de retorno de 5 anos e de $251,3497 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o período de retorno de 100 anos correspondendo a um aumento de 138,35%, para o ano de 2011, como pode ser observado na Figura 6.

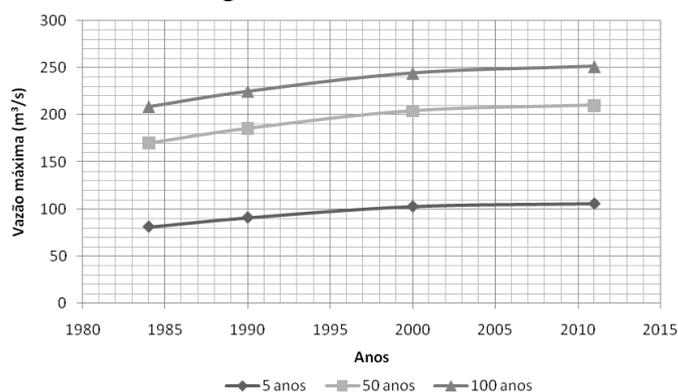


Figura 6. Variação da vazão máxima de projeto ao longo da série histórica

4. Conclusões

É possível inferir que ao longo do período de estudo, a bacia do córrego Melancias/MG apresentou valores crescentes de vazão máxima em função do aumento do período de retorno e do aumento das áreas impermeabilizadas, evidenciando a necessidade de estudos aprofundados na área, a fim de verificar se a calha do córrego é capaz de escoar com

segurança o volume precipitado, uma vez que o leito do córrego em seu trecho final nunca sofreu qualquer intervenção de modo a evitar danos provenientes de eventos de máxima magnitude.

Agradecimentos

À FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais.

Referências Bibliográficas

CCN, **Planejamento e Engenharia S/C Ltda. Metodologia de cálculo regional de vazões máximas para córregos urbanos.** (In: Plano Diretor de drenagem: Campo Grande - MS). Campo Grande, 1991 *apud* Steffen, J. L.; Rondon, M. A. C. **Determinação da vazão de projeto em bacias urbanas.** In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/x-010.pdf> Acesso em: 05 jul 2012.

Costa, C. W.; Dupas, F. A.; Pons, N. A. D.. Regulamentos de uso do solo e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP. **Geociências(UNESP. Impresso)**, v. 31, n. 2, p. 143-157, 2012.

Instituto brasileiro de geografia e estatística – IBGE. Enciclopédia dos Municípios Brasileiros 1960, 1970, 1980, 1990 e 2000. Disponível em: < <http://biblioteca.ibge.gov.br/>>*apud* LEITE, Marcos Esdras; PEREIRA, Anete Marília. Expansão territorial e os espaços de pobreza na cidade de Montes Claros. In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 10. 2005, São Paulo. **Anais...**São Paulo: 2005. p. 7475 – 7487

Ministério do exercito. Montes Claros – MG. **Carta planialtimétrica.** 1979. Escala 1:100000.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1989, 308 p.

Padovani, C. R.; Padovani, S. L. A. C.; Brandão, M. F. Metodologia de georreferenciamento e interpretação de Imagens Landsat TM para aplicação em estudos ambientais no Pantanal brasileiro. In: Simpósio latino americano de percepção remota y sistemas de informacion espacial, 10., 2002, Cochabamba, Bolivia. **Anais...** Cochabamba:Universidade Maior de San Simon-Clas, 2002. (CD-ROM).

Paiva, E.M.C.D. & Paiva, J.B.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2001. p 75 – 77.

Pisani, M. A. J.; Zmitrowicz, W. **Sensoriamento Remoto via orbital aplicado a estudos urbanos.** São Paulo: EPUSP, 1992. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petrece/BT56-%20Pisani.pdf> Acesso em: 27 out. 2011. ISSN 0103-9830

Pruski, F. F.; Brandão, V. S.; Silva, D. D. **Escoamento Superficial.** 2.ed. Viçosa: UFV, 2004. 87p *apud* Souza, C.D. F. **Sistema computacional para a estimativa do escoamento superficial.** 2010. 90 p. Dissertação (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

Rolnik, R. La democracia em el filo de La navaja: limites y posibilidades para La implementación de una agenda de reforma urbana em Brasil. **Eure**, Sección Artículos, v. 25, n. 104, 2009 *apud* Costa, C. W.; Dupas, F. A.; Pons, N. A. D.. Regulamentos de uso do solo e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP. **Geociências (UNESP. Impresso)**, v. 31, n. 2, p. 143-157, 2012

Tucci C. E. M. (Org) **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. Universitária - EDUSP/ABRHU, 1997. 544p.