



## VI-080 - DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS-MG.

**Cristiano Christofaro** <sup>(1)</sup>

Biólogo - UFMG. Mestre e Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (DESA/UFMG).

**Mônica M. Diniz Leão**

Engenheira Química. Doutora em Engenharia Ambiental (INSA – França), Professora Associada, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Penafiel, 126/201 - Anchieta - Belo Horizonte - MG - CEP: 30310-420 - Brasil - Tel: (31) 2555-7409 - e-mail: christofaro@gmail.com

### RESUMO

O presente trabalho propõe a utilização de Modelos de Elevação do Terreno gerados a partir de imagens SRTM para a delimitação de bacias hidrográficas bem como das áreas de influência incrementais associadas a estações de amostragem de dados de qualidade da água. Desse modo, a localização geográfica de 29 estações de amostragem localizadas na bacia do Rio das Velhas - MG, juntamente com a hidrografia e imagens SRTM foram processadas no programa ArcView 3.2, com a extensão *Hydrologic Modeling System* - HEC-HMS, de modo a permitir a visualização e quantificação das áreas de influência incrementais associadas a cada estação. Os resultados demonstram que a técnica apresenta grande potencial de contribuição para uma melhoria na delineação de redes de monitoramento de qualidade das águas, bem como na interpretação dos resultados gerados ao longo do monitoramento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de Informação Geográfica – SIG, Sensoriamento Remoto, SRTM, monitoramento da qualidade da água, poluição hídrica, Rio das Velhas.

### INTRODUÇÃO

A preocupação com os recursos hídricos tem gerado uma demanda crescente por informações acerca do seu comportamento ao longo do espaço e do tempo. Nesse contexto, a bacia hidrográfica vem sendo considerada a unidade geográfica ideal para o planejamento e gestão dessas informações. Diversas questões devem ser consideradas a fim de permitir uma caracterização efetiva de bacias hidrográficas, incluindo a hidrografia, declividade, cobertura vegetal, etc. No entanto, o primeiro passo para essa caracterização consiste na delimitação de seus limites físicos que, por sua vez, estão associados ao relevo da bacia.

A caracterização de bacias hidrográficas tem sido facilitada pela utilização da Modelagem Numérica do Terreno (MNT). Esses modelos correspondem à representação matemática da distribuição de um fenômeno espacial dentro de uma região da superfície terrestre (Felgueiras e Câmara, 2001). Assim, para a definição dos limites de uma bacia, o relevo pode ser representado como uma matriz de *pixels* (menor elemento de uma imagem) que contém valores de altimetria associados. Esta matriz corresponde a um modelo numérico de terreno (MNT), ou mais especificamente ao Modelo Digital de Elevação (MDE), podendo ser obtida através da vetorização e interpolação de curvas de nível de uma folha topográfica e também a partir de imagens de satélite e de radar (Burrough & McDonnell, 1998).

De acordo com Dias et al. (2004), quanto menos subjetivo for o critério na definição dos limites de uma bacia, mais preciso será o seu traçado. Nesse contexto, a aplicação de algoritmos automáticos computadorizados apresenta vantagens associadas ao fato de serem utilizados critérios bem definidos, passíveis de replicação e verificação. Desse modo, a utilização de MDEs na delimitação dos limites das bacias hidrográficas pode trazer benefícios significativos para a gestão dos recursos hídricos.

No Brasil, a delimitação de bacias hidrográficas tradicionalmente se baseou nas cartas geográficas fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. No entanto, essas cartas, geradas na década de 1970, apresentam defasagens em relação às condições atuais da paisagem. Nesse contexto, dados topográficos



recentemente gerados por sensoriamento remoto, como os dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), tem se mostrado como uma importante fonte de dados para suprir a carência de informações associadas ao relevo (Costa et al. 2007).

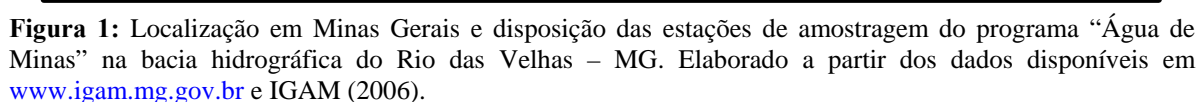
Além da delimitação da bacia hidrográfica como um todo, os MDEs gerados a partir do relevo permitem a delimitação das áreas de influência associadas a cada uma das estações de amostragem localizadas na bacia, contribuindo para um melhor delineamento da rede amostral bem como para uma interpretação mais eficiente dos dados gerados. No presente trabalho, será demonstrada a aplicabilidade da utilização de MDEs, a partir das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), na caracterização das áreas de influência incrementais das estações de monitoramento distribuídas ao longo da bacia hidrográfica do rio das velhas – MG.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A bacia do rio das Velhas está localizada na região central do Estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17° 15'S e 20° 25'S e longitudes 43° 25'W e 44° 50'W (Figura 1). Apresenta uma forma alongada na direção norte-sul e corresponde à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos SF5 (São Francisco 5). O rio das Velhas tem sua nascente principal na cachoeira das Andorinhas, Município de Ouro Preto, numa altitude de aproximadamente 1.500 m. Toda a bacia compreende uma área oficial de 29.173 Km<sup>2</sup>, onde estão localizados 51 municípios que abrigam uma população de aproximadamente 4,8 milhões de habitantes (destes, aproximadamente 89% residem em distritos e municípios integralmente inseridos na bacia). O rio das Velhas encontra-se com o rio São Francisco em Barra do Guaicuí, Distrito de Várzea da Palma, numa altitude de 478 m (IGAM 2007).

Desde 1997, a bacia hidrográfica do Rio das Velhas vem sendo monitorada no âmbito do programa “Águas de Minas” (IGAM, 2006). Nesse programa, 29 (vinte e nove) estações de amostragem, distribuídos ao longo da bacia (Figura 1), são utilizadas para amostragem de diversos parâmetros de qualidade das águas, com frequência de amostragem trimestral ou semestral.





## Análise

No presente estudo, a delimitação das áreas de influência de cada estação de monitoramento foi feita a partir das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Essas imagens de radar são o resultado de uma missão espacial da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana), realizada em Fevereiro de 2000, objetivando o levantamento altimétrico da superfície terrestre continental. Para a América do Sul, as imagens SRTM apresentam resolução de 90 metros. As informações de relevo derivadas do SRTM para o Brasil foram obtidas na EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Miranda, 2005).

Os pontos de monitoramento da qualidade das águas, georreferenciados, relativos ao projeto “Águas de Minas” foram sobrepostos à imagem SRTM, previamente recortada conforme a delimitação oficial da bacia hidrográfica do rio das Velhas ([www.igam.mg.gov.br](http://www.igam.mg.gov.br)). A partir dessa sobreposição, procedeu-se a delimitação das sub-bacias em função dos pontos de monitoramento utilizando-se a extensão *Hydrologic Modeling System* - HEC-HMS, versão 3.1.0 (Scharffenberg & Fleming, 2006), do *software* ArcView 3.2.

O processo de delimitação das áreas de influência de cada estação de monitoramento no programa HEC-HMS percorreu as seguintes etapas: recondicionamento do Modelo Digital de Elevação (*DEM Recontitioning*), preenchimento de sumidouros (*Fill Sinks*), direção do escoamento (*Flow Direction*), acumulação do escoamento (*Flow Accumulation*), definição do fluxo (*Stream Definition*), segmentação do fluxo (*Stream Segmentation*), delineação da bacia (*Watershed Delineation*), processamento dos polígonos da bacia (*Watershed Polygon Processing*), processamento dos segmentos do fluxo (*Stream Segment Processing*) e agregação das bacias (*Watershed Aggregation*). A partir do tratamento completo da imagem realizou-se a delimitação automática das áreas de drenagem incrementais de cada uma das estações de amostragem estudadas, bem como da respectiva área cumulativa. As áreas incrementais correspondem à área de drenagem de uma estação de amostragem desconsiderando a área de drenagem de eventuais estações a montante. O resumo do processo pode ser visto na Figura 2.

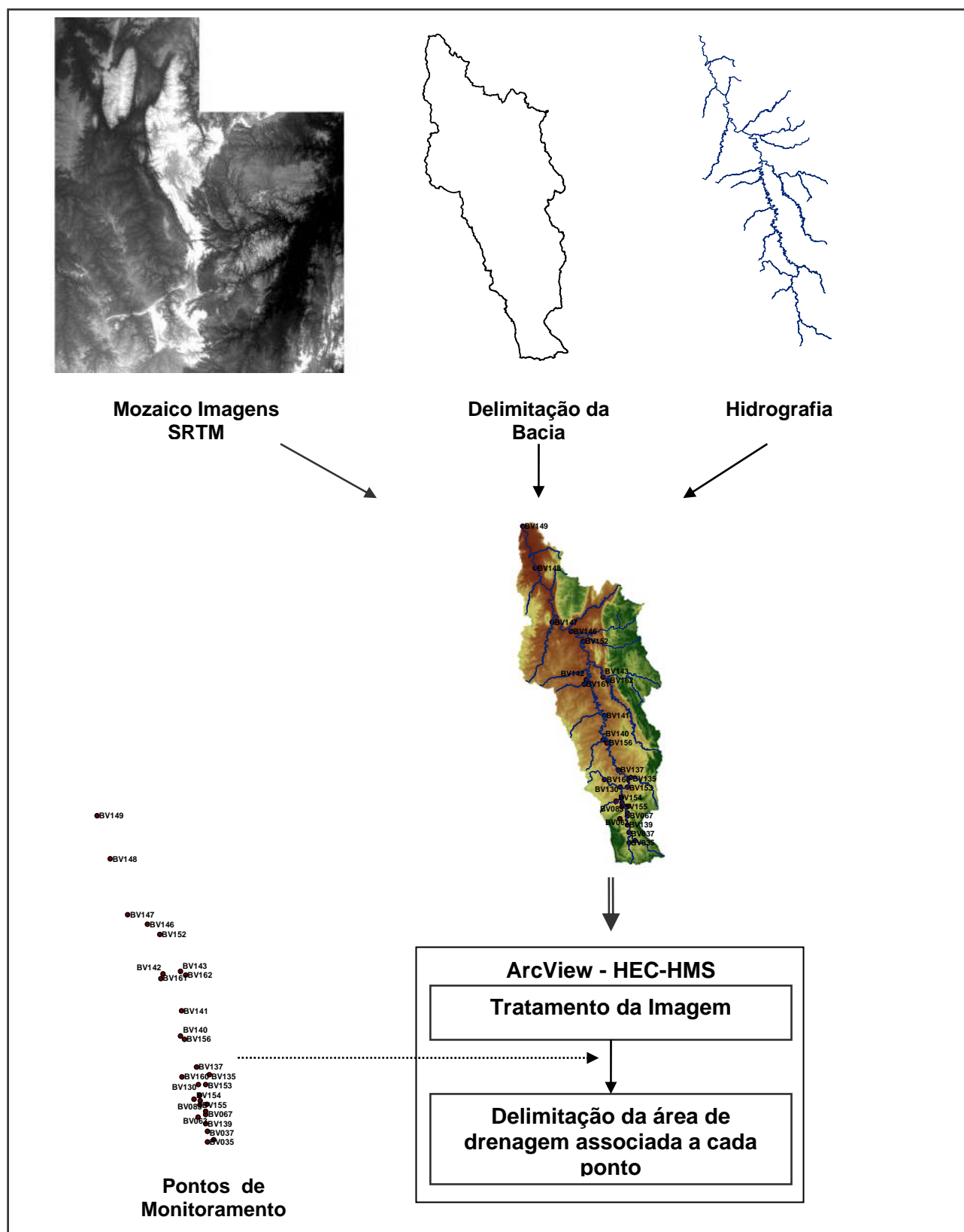


Figura 2: Fluxograma ilustrando os dados de entrada para a delimitação das áreas incrementais de drenagem relativas às estações de amostragem da qualidade das águas da bacia do Rio das Velhas utilizando a extensão Geo-HMS no *software* ArcView 3.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A delimitação das áreas incrementais de influência de cada uma das estações de monitoramento derivadas da análise da imagem SRTM pode ser visualizada na Figura 03. As áreas de drenagem associadas a cada estação de monitoramento podem ser visualizadas na tabela 01.

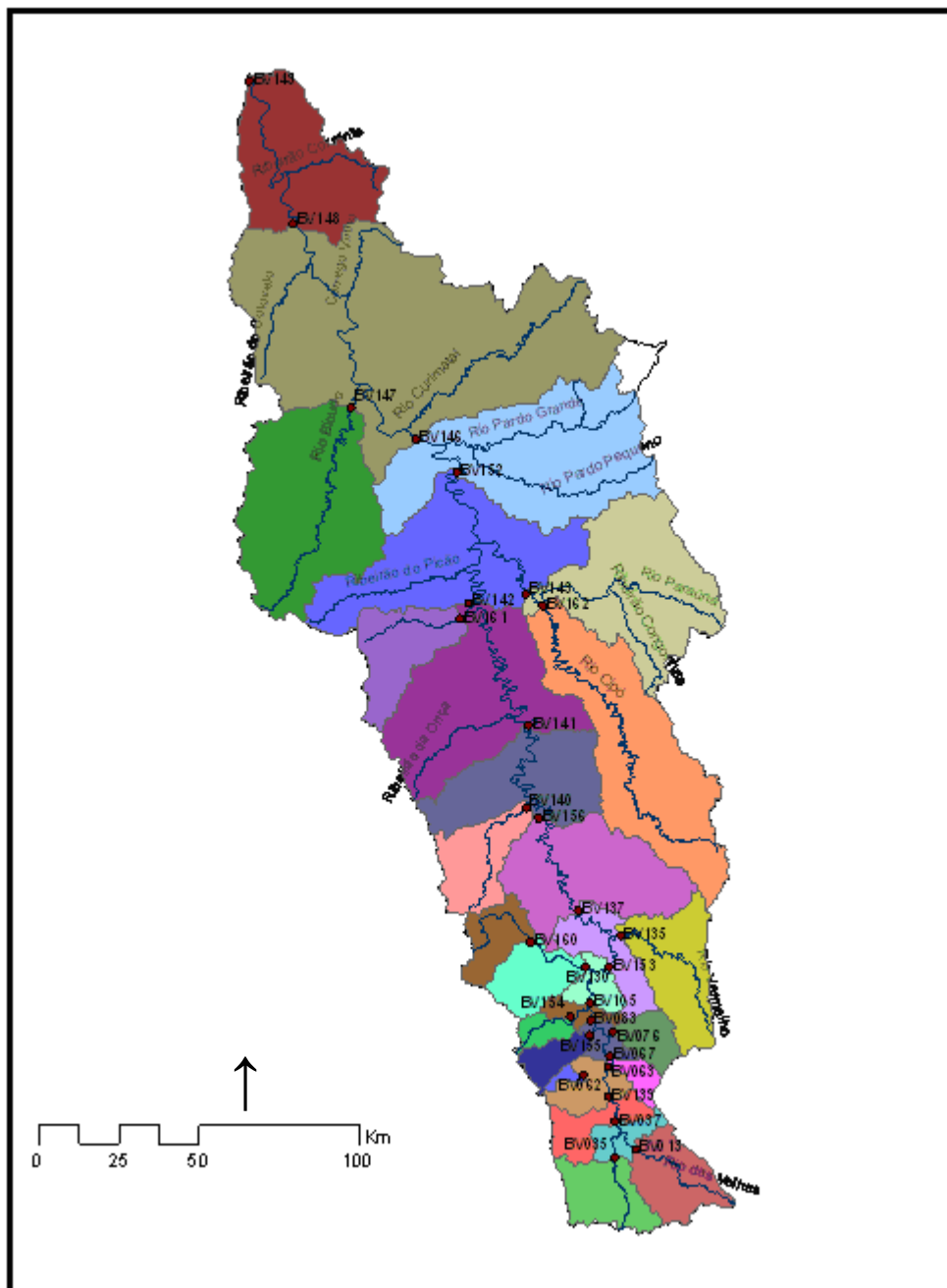


Figura 3: Delimitação das áreas de drenagem incrementais associadas às estações de monitoramento da bacia do rio das Velhas no âmbito do projeto “Águas de Minas”.



**Tabela 1: Áreas de influências das estações de monitoramento da qualidade das águas da bacia do Rio das Velhas no âmbito do projeto “Águas de Minas”.**

Estação	Descrição	Área incremental (Km²)	% Bacia	Área Cumulativa (Km²)	% Área Cumulativa
BV013	Rio das VELHAS logo a montante da foz do Rio Itabirito	540,76	1,95%	540,76	1,95%
BV035	Rio ITABIRITO a jusante da cidade de Itabirito	462,31	1,66%	462,31	1,66%
BV037	Rio das VELHAS logo a jusante da foz do Rio Itabirito	184,44	0,66%	1.187,99	4,28%
BV062	Ribeirão ÁGUA SUJA próximo de sua foz no Rio das Velhas	39,95	0,14%	39,95	0,14%
BV063	Rio das VELHAS logo a jusante do Ribeirão Água Suja	270,30	0,97%	1.803,22	6,49%
BV067	Rio das VELHAS a montante do ribeirão Sabará	121,51	0,44%	1.924,54	6,93%
BV076	Ribeirão SABARÁ próximo de sua foz no Rio das Velhas	235,45	0,85%	235,45	0,85%
BV083	Rio das VELHAS logo a jusante do Ribeirão Arrudas	124,97	0,45%	2.481,53	8,93%
BV105	Rio das VELHAS logo a jusante do Ribeirão do Onça	119,85	0,43%	2.736,23	9,85%
BV130	Ribeirão da MATA próximo de sua foz no Rio das Velhas	436,51	1,57%	776,49	2,80%
BV135	Rio TAQUARAÇU próximo de sua foz no Rio das Velhas	787,17	2,83%	787,17	2,83%
BV137	Rio das VELHAS na Ponte Raul Soares	446,07	1,61%	4.944,23	17,80%
BV139	Rio das VELHAS a montante da ETA/COPASA, em Bela Fama	304,82	1,10%	1.492,63	5,37%
BV140	Ribeirão JEQUITIBÁ próximo de sua foz no Rio das Velhas	566,32	2,04%	566,32	2,04%
BV141	Rio das VELHAS na cidade de Santana do Pirapama	1.115,18	4,02%	7.995,36	28,79%
BV142	Rio das VELHAS a jusante do ribeirão Santo Antônio	1.941,90	6,99%	10.610,29	38,20%
BV143	Rio PARAÚNA próximo de sua foz no Rio das Velhas	1.793,56	6,46%	3.971,66	14,30%
BV146	Rio das VELHAS a jusante do rio Pardo Grande	2.466,18	8,88%	19.049,93	68,59%
BV147	Rio BICUDO próximo de sua foz no Rio das Velhas	2.131,21	7,67%	2.131,21	7,67%
BV148	Rio das VELHAS na cidade de Várzea da Palma	5.103,85	18,38%	26.285,23	94,64%
BV149	Rio das VELHAS, a montante da sua foz no rio S. Francisco, em Guaicuí	1.489,84	5,36%	27.775,38	100%
BV152	Rio das VELHAS entre os Rios Paraúna e Pardo Grande	2.001,90	7,21%	16.584,04	59,71%
BV153	Rio das VELHAS a jusante do Ribeirão da Mata	198,05	0,71%	37.10,81	13,36%
BV154	Ribeirão do ONÇA próximo de sua foz no Rio das Velhas	135,16	0,49%	135,16	0,49%
BV155	Ribeirão ARRUDAS próximo de sua foz no Rio das Velhas	196,50	0,71%	196,50	0,71%
BV156	Rio das VELHAS logo a jusante do Rio Jabuticatubas	1.369,89	4,93%	6.313,84	22,73%
BV160	Ribeirão das NEVES próximo de sua foz no Ribeirão da Mata	339,43	1,22%	339,43	1,22%
BV161	Ribeirão SANTO ANTÔNIO próximo de sua foz no Rio das Velhas	672,75	2,42%	672,75	2,42%
BV162	Rio CIPÓ a montante da foz do Rio Paraúna	2.177,59	7,84%	2.177,59	7,84%
	<b>TOTAL</b>	<b>27.773,40</b>	<b>100%</b>		

Conforme Figura 2 e Tabela 1, verifica-se que as estações de monitoramento apresentaram grande variação no que diz respeito à área incremental. Assim, enquanto a maior área de influência incremental verificada correspondeu a 18,38% da bacia (BV148), a menor área incremental abrangeu 0,14% (BV062). De uma maneira geral, verifica-se que as estações com maior área incremental estão localizadas no trecho baixo da bacia do rio das Velhas. Já as estações de monitoramento do trecho alto da bacia apresentaram as menores áreas de drenagem incrementais, com valores abaixo de 2% da área total da bacia. Desse modo, estações adicionais devem ser localizadas, preferencialmente, dentro dos limites das maiores áreas incrementais





verificadas na bacia, de modo a permitir um melhor balanceamento entre os diversos trechos da bacia do Rio das Velhas.

## CONCLUSÕES

Os MDEs gerados a partir das imagens SRTM permitiram uma quantificação atual das áreas de influência de cada uma das vinte e nove estações de monitoramento distribuídas ao longo da bacia do Rio das Velhas. A geração de um mapa específico das áreas de influência de cada estação de monitoramento, por sua vez, permitiu uma melhor caracterização espacial da rede de monitoramento da bacia.

Os benefícios da delimitação das áreas incrementais das estações de amostragem por meio de MDEs também podem ser relacionados à análise dos resultados gerados pelo monitoramento. As informações associadas à área de influência de cada estação de amostragem podem contribuir para uma melhor interpretação dos resultados ou ainda em análises subseqüentes, uma vez que permitem a caracterização da importância relativa de cada uma das estações de amostragem em relação à totalidade da bacia. Assim, potencial de utilização em outras técnicas utilizadas na gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas, incluindo: modelagem da qualidade da água, caracterização regional e avaliações de risco ecológico.

Portanto, a interação entre técnicas de sistemas de informação geográfica e dados de sensoriamento remoto para a delimitação das áreas de influência associadas às estações de amostragem se mostrou uma ferramenta rápida, barata e eficaz. No entanto, os usuários devem estar atentos às limitações inerentes aos dados fornecidos pelas imagens SRTM, incluindo a resolução espacial de 90 metros, fora dos EUA, e a sensibilidade a objetos existentes no relevo, incluindo a cobertura vegetal (Valeriano, 2004).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BURROUGH, P. & MCDONNELL, R. *Principles of Geographical Information System. Spatial Information and Geostatistics*. Oxford University Press. New York, 1998.
2. COSTA, C.A.; COSTA, A.C.; TEIXEIRA, A.S., ALVES, N.N.L., ANDRADE, E.M, SOUSA, B.F.S., LEÃO, A.O. *Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica*. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE. 2007.
3. DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A., BARROS, E.U.A., MAIA, P.H.P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Bahia Análise & Dados* v. 14, n. 2. 2004.
4. FELGUEIRAS, C. A., CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: Câmara, G. Davis, C. e Monteiro, A.M.V; *Introdução à Ciência da Geoinformação*, São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, cap 7. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>, Acesso em 11 de maio 2009.
5. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento das águas Superficiais na Bacia do Rio das Velhas 1998-2006*. Belo Horizonte: IGAM, 161 p. 2007.
6. MIRANDA, E. E. (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 12 fev. 2008.
7. SCHARFFENBERG, W. A.; FLEMING, M. J. Hydrologic Modeling System – HEC-HMS. U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. USA. 2006.
8. VALERIANO, M.M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul INPE-10550-RPQ/756. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP. Brasil. 2004.