

## Uso dos Sistemas de Informações Geográficas na Determinação das Características Físicas de uma Bacia Hidrográfica

Francisco de Deus Fonseca Neto <sup>1</sup>

Alessandra Lopes Braga <sup>2</sup>

Angelo Marcos Santos Oliveira <sup>3</sup>

Júlio César de Oliveira <sup>4</sup>

Universidade Estadual Norte Fluminense - Leciv/UENF

CEP 28013-602 - Campos dos Goytacasses - RJ, Brasil

<sup>1</sup> ffonseca\_net@yahoo.com.br

Universidade Federal de Viçosa - DEC/UFV

CEP 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil

<sup>2</sup> alessandralb@hotmail.com; <sup>3,4</sup> {mangelo; oliveirajc}@ufv.br

**Abstract.** This paper presents a methodology for determination of the physical characteristics of a watershed basin using the Information Geographical Systems (GIS). The case study was made in a located sub-basin in the municipal district of São José dos Campos - SP. The acquired data base of this work was generated starting from the digitization in screen of a topographical map of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). Based in analysis of the compactness coefficient (KC) it can be affirmed that the area of the sub-basin has not risk to occur inundations. According with the analysis of the results of the drainage density (Dd) verified that the sub-basin is well drained.

**Palavras-chave:** GIS, watershed, drainage density, SIG, bacia hidrográfica, sistema de drenagem.

### 1. Introdução

O Geoprocessamento pode ser entendido como a tecnologia de processamento de dados geográficos que faz a ligação técnica e conceitual dessas ferramentas. Dentro do conjunto de tecnologias que compõe o Geoprocessamento, a principal é o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Num conceito mais abrangente o Geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto o SIG processa dados gráficos e não-gráficos (alfanuméricos) com ênfase à análises espaciais e modelagens de superfícies.

A importância dos Sistemas de Informações Geográficas pode ser avaliada pelas suas aplicações nos mais diversos campos do conhecimento humano. De modo geral, esses sistemas têm sido aplicados ao manejo de recursos naturais, ao planejamento urbano e de tráfego, ao planejamento empresarial rural e urbano, ao planejamento militar, à Cartografia e em muitas outras aplicações.

O Geoprocessamento é uma técnica de ampla aplicação na área de hidrologia, principalmente no que se referem aos problemas crescentes, resultados da ocupação das bacias, do incremento significativo da utilização da água e do resultante impacto sobre o meio ambiente do globo. Profissionais de diversas áreas como engenheiros (agrícolas, agrimensores, agrônomos, civis, etc.), geólogos, matemáticos, estatísticos, geógrafos, biólogos, entre outros atuam nas diferentes áreas dessa ciência.

No âmbito da utilização de Hidrologia em Recursos Hídricos (RH) é entendida como a área que estuda o comportamento físico da ocorrência e o aproveitamento da água na bacia hidrográfica, quantificando os recursos hídricos no tempo e no espaço e avaliando o impacto da modificação da bacia hidrográfica sobre o comportamento dos processos hidrológicos. A

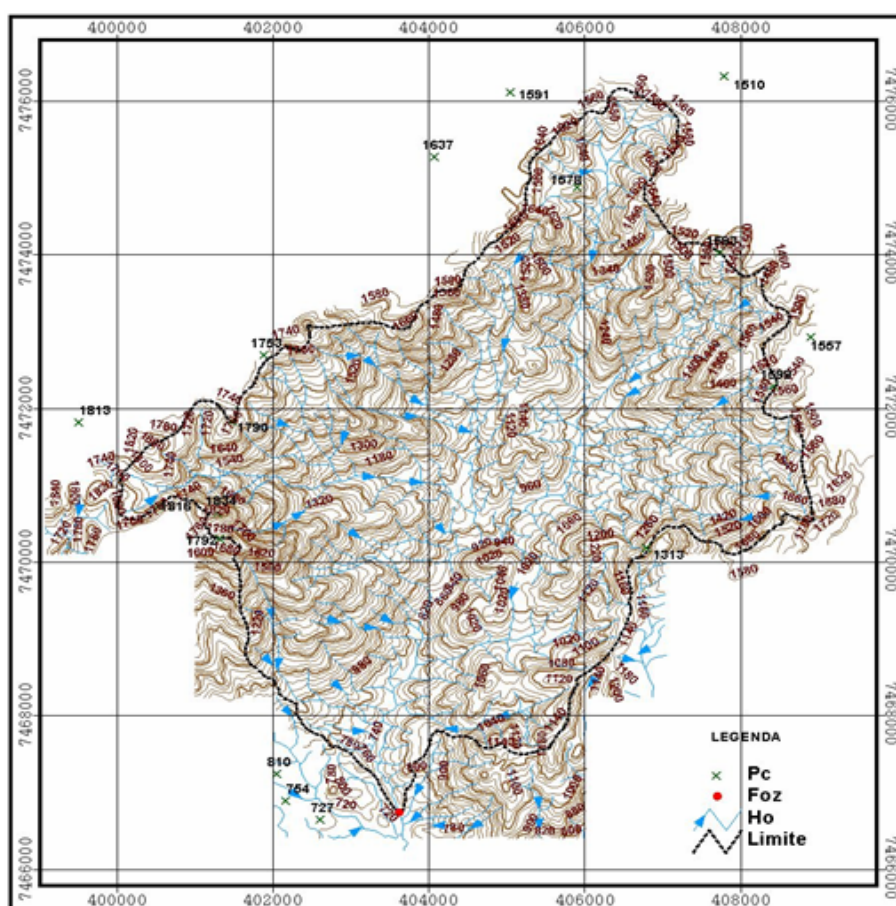
quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto e planejamento dos recursos hídricos.

Em projetos de recursos hídricos a bacia hidrográfica é necessariamente a unidade de pesquisa e planejamento. Nesta unidade de planejamento as análises podem ser auxiliadas pelo SIG. O SIG é utilizado como ferramenta para a produção de mapas, suporte à análise espacial e de fenômenos ou como um banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais referentes à bacia em estudo. Desta forma, uma metodologia atualmente disponível para a caracterização de bacias hidrográficas utilizando o SIG será apresentada neste trabalho.

## 2. Método de Análise

### 2.1 Obtenção dos Dados da Área de Estudo

A região de interesse localiza-se na carta topográfica SF-23-Y-B-V-3, Monteiro Lobato (SP - MG), que abrange os municípios de Monteiro Lobato e São José dos Campos em SP, Sapucaí-Mirim e Camanducaia em MG (**Figura 1**), escala 1:50.000 produzida pelo IBGE. Esta carta foi escaneada e georreferenciada e, em seguida, procedeu-se à digitalização do limite da sub-bacia, da hidrografia, obedecendo-se o sentido de escoamento dos cursos d'água, das curvas de nível com equidistância vertical de 20m e dos pontos altimétricos, utilizando-se o *software* ArcView 3.2a, trabalhando-se cada tema separadamente. Após a digitalização das feições realizou-se a edição utilizando-se o *software* Arc/INFO 8.0.

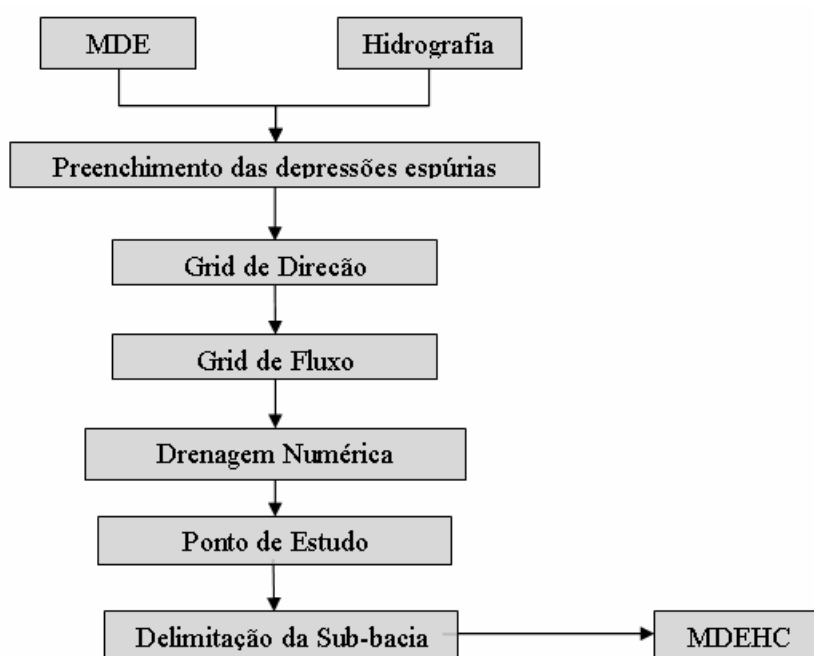


**Figura 1.** Base cartográfica utilizada com a delimitação da sub-bacia em estudo.

## 2.2 Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE foi gerado a partir do programa Arc/INFO. Isto porque dentre os algoritmos disponíveis comercialmente no mercado para interpolação e geração de Modelos Digitais de Elevação destaca-se o TOPOGRID, implementado no módulo ARC do software ARC/INFO. Este algoritmo propõe a incorporação da rede de drenagem digital real, extraída das bases cartográficas, durante o processo de geração do MDE. Sempre que há a violação das condições de altimetria favoráveis ao escoamento, o traçado da hidrografia mapeada é respeitado. Com isso, é garantida a coincidência espacial da drenagem mapeada com as células de menor altitude do modelo, configurando-se, assim, a criação de um MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente). O *software* ArcView também gera um MDE, a partir da interpolação das curvas de nível, entretanto, não incorpora a rede de drenagem para favorecer o sentido do escoamento, dificultando a criação de um MDEHC.

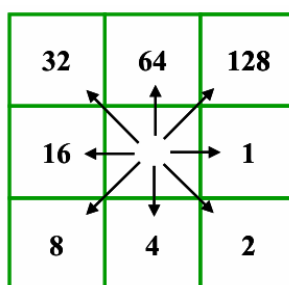
Os procedimentos efetuados para geração do MDEHC estão na **Figura 2**:



**Figura 2.** Fluxograma das atividades desenvolvidas.

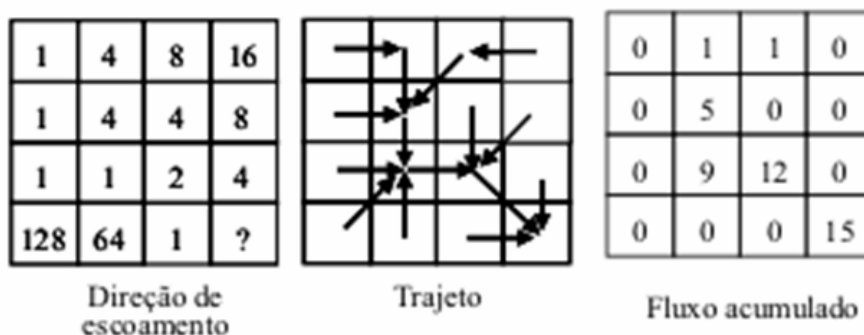
Com os dados de entrada MDE e Hidrografia, o próximo passo tem o objetivo de eliminar as depressões espúrias presentes no MDE gerado pelo Arc/INFO. Isto possibilitará que o sentido preferencial do escoamento, que na natureza é da maior para a menor elevação, seja sempre obedecido, representando fielmente o escoamento observado na realidade.

A aplicação “*Flow Direction*” calcula a direção de escoamento de cada célula do MDE, devendo ser executada após a realização do preenchimento das depressões espúrias. A direção do escoamento superficial é calculada através do método determinístico de oito células vizinhas, que considera apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do modelo digital de elevação, sendo que o escoamento tenderá a fluir para a maior declividade encontrada (**Figura 3**). Cada uma dessas opções está associada a uma codificação numérica específica.



**Figura 3.** Oito possíveis direções de escoamento.

Com a aplicação “*Flow Accumation*”, calcula-se o número de células localizadas a montante de cada célula, obtendo-se o escoamento acumulado para cada uma delas. O fluxo acumulado é uma medida da área de drenagem de cada ponto da superfície do MDE. O valor do fluxo acumulado torna-se maior ao longo de cada célula do caminho do escoamento preferencial conforme ilustra a **Figura 4**.



**Figura 4.** Determinação do fluxo acumulado.

Para o cálculo da rede de drenagem numérica da bacia necessitou-se usar o GRID de fluxo acumulados gerado anteriormente, pois deve-se informar o número de células acumuladas para que se passe a considerar como um curso d’água. Quanto menor este número maior o detalhamento da rede de drenagem numérica.

Tendo o GRID de fluxo acumulado como fundo e o tema de limite da sub-bacia de estudo, no ArcView criou-se um novo tema com o formato de ponto. Foram utilizados os GRIDS de direção de escoamento e o ponto da estação no formato GRID para a geração da sub-bacia de estudo, podendo assim encontrar o MDEHC.

A validação do MDEHC foi feita através de dois procedimentos:

- comparação entre as redes de drenagem mapeada e numérica;
- visualização da correta delimitação da bacia de drenagem associada à estação de estudo.

Verificou-se a existência de cortes dos limites da hidrografia, se os divisores de água estavam bem locados e considerou-se o modelo como apto para o uso das determinações das características físicas da sub-bacia.

### 2.3 Características Físicas

Foram determinadas as seguintes características físicas da sub-bacia de estudo:

### 2.3.1 Área de Drenagem e Perímetro da Sub-Bacia

A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para definir sua potencialidade hídrica e o cálculo das outras características físicas.

### 2.3.2 Forma da Sub-Bacia

A forma da superfície de uma bacia exerce grande influência no tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, para que toda a água que caiu no ponto mais remoto da bacia atinja a saída da mesma. Existem vários índices utilizados para determinar a forma das bacias, relacionando-as com as formas geométricas conhecidas. O coeficiente de compacidade relaciona a bacia com um círculo e o fator de forma com um retângulo. O coeficiente de compacidade ou índice de *Gravelius* –  $K_c$  é a relação entre o perímetro e a circunferência de um círculo de área equivalente à da bacia.

A determinação do coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) e do fator de forma ( $K_f$ ) da sub-bacia foi feita usando-se as equações (1) e (2).

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

onde: P = perímetro da bacia (Km) e A = área da bacia (Km<sup>2</sup>).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

onde: A = área da bacia (Km<sup>2</sup>) e L = comprimento do curso d'água mais longo (Km).

### 2.3.3 Sistema de Drenagem

#### a) Densidade de Drenagem

O adequado conhecimento do sistema de drenagem de uma bacia e do seu grau de ramificação permite caracterizar uma maior ou menor velocidade com que a água escoar ao longo desta. Uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é dada pelo índice de densidade de drenagem ( $D_d$ ). Este índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e sua área. Representando o comprimento total dos cursos d'água na bacia por L e a área de drenagem por A, a densidade de drenagem é dada pela razão entre L e A.

A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e fornece uma indicação da eficiência do sistema de drenagem da bacia, dando subsídios sobre a permeabilidade e o grau de infiltração da água.

O sistema de drenagem é constituído pelo curso d'água principal e seus tributários ou afluentes e os índices utilizados para caracterizá-lo são a ordem dos cursos d'água e a densidade de drenagem. A ordem dos cursos d'água representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia. A ordem dos rios pode ser determinada seguindo os critérios introduzidos por Horton e Strahler (Tucci, 2001).

#### b) Identificação e determinação do comprimento do curso d'água principal

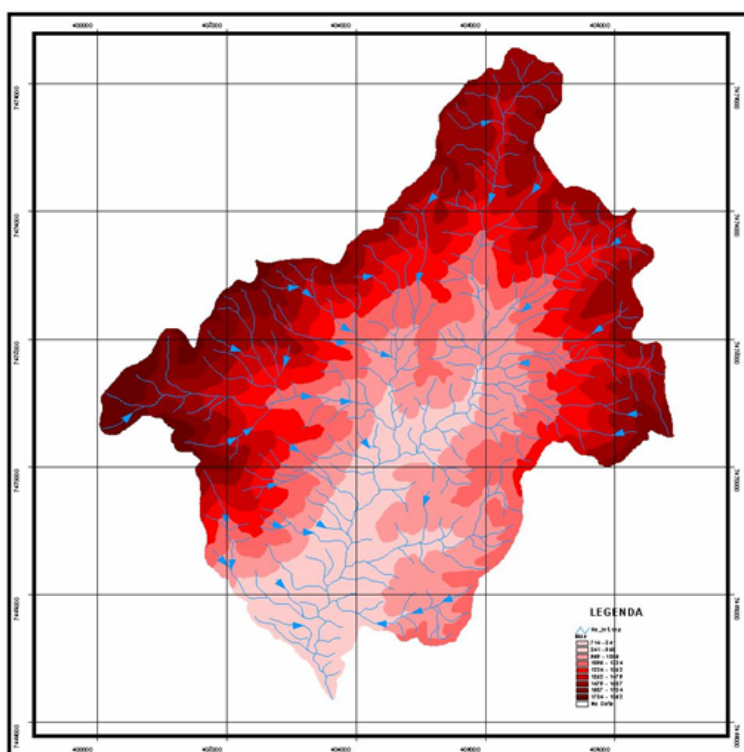
O curso d'água principal é aquele que drena a maior área no interior da bacia.

### 2.3.4 Características do relevo da Sub-bacia

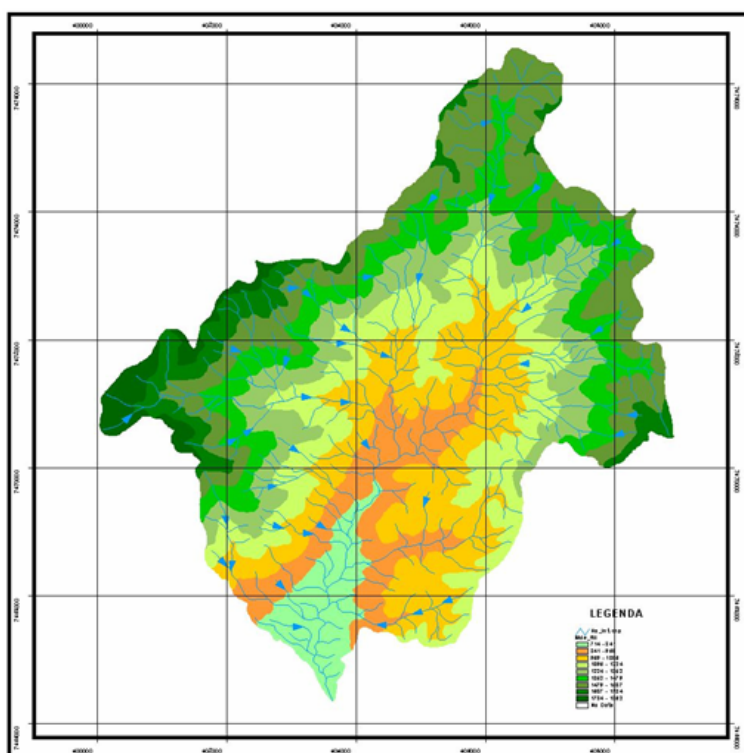
A variação da altitude e a elevação média de uma bacia são importantes pela influência que exercem sobre a precipitação, sobre as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio.

### 3. Resultados

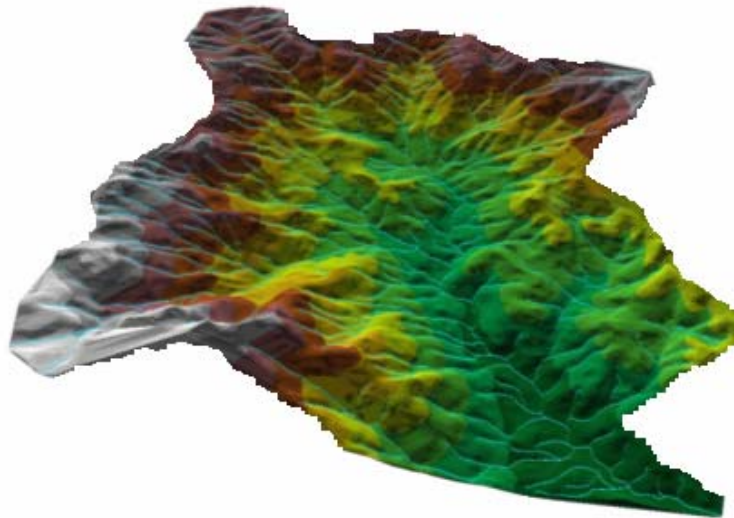
As **Figuras 4, 5 e 6** apresentam alguns resultados obtidos das características físicas da sub-bacia utilizando SIG. Na **Tabela 1** mostra o resumo dos resultados das características físicas da sub-bacia.



**Figura 4.** Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC).



**Figura 5.** Modelo Digital de Elevação com as depressões preenchidas



**Figura 6.** GRID no formato TIN com a vista tridimensional da sub-bacia.

**Tabela 1.** Características físicas da sub-bacia.

<b>Características Físicas</b>	<b>Valor</b>
Área de drenagem manual (km <sup>2</sup> )	43,58
Área de drenagem automática (km <sup>2</sup> )	43,52
Perímetro (km)	35,53
Coefficiente de Compacidade (K <sub>c</sub> )	1,50
Fator de Forma (K <sub>f</sub> )	0,27
Comprimento total de drenagem (km)	170,10
Densidade de drenagem (D <sub>d</sub> )	3,90
Comprimento do Curso d'água Principal (km)	12,79
Declividade média da bacia (m/m)	0,39
Altitude Máxima (m)	1862,00
Altitude Mínima (m)	714,00
S <sub>3</sub> Declividade Equivalente Constante (m/m)	0,0475
Altitude mínima do curso d'água principal (m)	714,00
Altitude média do curso d'água principal (m)	1156,00
Altitude máxima curso d'água principal (m)	1599,00

#### 4. Conclusão

Com os resultados obtidos conclui-se que a sub-bacia analisada está pouco sujeita à enchentes, devido a sua forma, e boa densidade de drenagem. Mesmo assim, deve-se adotar medidas de proteção em relação à cobertura do solo e conservação da mata ciliar, evitando-se problemas de erosão e enchentes a jusante.

A metodologia apresentada revelou-se apropriada à determinação das características físicas de bacias hidrográficas, entretanto recomenda-se que seja aplicada em regiões distintas da tratada neste estudo e que se façam comparações entre este método e os métodos tradicionais de obtenção destes dados, pois, vencida a etapa de aquisição da base de dados o processo se torna extremamente rápido e automatizado.

Não só pela apresentação visual, que impressiona pela qualidade e aproximação da realidade, como pode ser observado pela **Figura 6** (Visualização do MDEHC em formato 3D), o uso do SIG como ferramenta à disposição da hidrologia, vem se tornando um fato de que ninguém poderá se refutar.

## Referências

Esri. Using ArcView GIS. Ed. **Environmental Systems Research Institute**. Redlands, California – EUA. 1996. 340p.

Fernandes Filho, E. I.. **Desenvolvimento de um sistema especialista para determinação da aptidão agrícola das terras de duas bacias hidrográficas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 1996.71p.

Loch, Carlos. **Noções básicas para a interpretação de imagens aéreas, bem como algumas de suas aplicações nos campos profissionais**. Editora da UFSC. Florianópolis, SC. 3ª. ed. 1993. 120p.

Rocha, César Henrique Barra. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Ed. Do Autor. Juiz de Fora, MG. 2000. 220p.

Silva, D. D. **Notas de aulas da disciplina ENG 342 – Hidrologia Aplicada**. Viçosa, MG: Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. 2003.

Tucci, C.E.M. **Hidrologia: ciências e aplicação**. Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. Porto Alegre, RS. 2ª ed. : 2ª reimpressão. 2001. 943p.

Villela, S. M., Matos, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda. São Paulo,SP. 1979. 245p.