Erros nas áreas de drenagem de grandes bacias hidrográficas devido à forma de conversão da projeção geográfica

Alzira Gabrielle Soares Saraiva [1]
Thâmara Martins Ismael de Sousa [1]
Adriano Rolim da Paz [2]

[1] Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB, João Pessoa - Paraíba, Brasil, CEP: 58051-900
saxzira@yahoo.com.br; thamaraismael@hotmail.com

[2] Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia da UFPB, João Pessoa - Paraíba, Brasil, CEP: 58051-900
adrianorpaz@yahoo.com.br

Abstract. DEM processing for obtaining flow directions, flow accumulation areas and other products is one of the first steps for several environmental studies. For large watersheds, this manipulation of data requires the use of geographical coordinates (latitude – longitude). However, drainage areas need to be determined in planar units, i.e. km², in order to be used for example for converting rainfall in runoff and other analysis. Commonly, the drainage areas are calculated in terms of number of pixels and then converted to planar units, but little or no attention is given to how this conversion is performed. This paper calculates drainage areas for 38 basins along Tapajos watershed using four distinct procedures: (a) conversion of degrees to km by adopting a nominal rule based on Equator; (b) the same rule but using a precise conversion; (c) conversion using the equivalence between degrees and km according to the latitude of the basin's centroid; (d) individual conversion of each pixel dimensions according to its own geographical coordinates. Results were evaluated considering the latter as the reference method, and indicate that errors ranging between 16% and 20% were obtained when using the method (a), while method (b) reduced errors to the range 1-4%. Method (c) showed the best performance, with errors less than 2%, and may be considered reasonable for using in those basins. However, for basins located farther from the Equator, even this method (c) may not proven to be adequate. These results highlight the importance of properly converting from degrees to planar units when calculating drainage areas along large watersheds.

Palavras-chave: remote sensing, digital elevation models, flow accumulation areas, sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, áreas acumuladas de drenagem

1. Introdução

O crescimento consideravelmente do interesse em pesquisas e estudos ambientais em torno da hidrologia de grandes bacias hidrográficas se dá com diversas finalidades como previsão hidrológica, impacto de modificações de uso e ocupação do solo, mudanças climáticas, entre outros (Paz et al., 2006; Paz e Collischonn 2007; Sá, et al., 1993; Santos e Zeilhofer 2003; Silva e Ewen 2000).

O avanço das geotecnologias, em especial as do sensores de satélite e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite a extração e o tratamento dos dados espaciais. Isso possibilita a realização de estudos de diversas naturezas, com maior automatização, permitindo melhor gerenciamento, rapidez e integração de informações e, consequentemente, melhor tomada de decisão.

Um dos produtos de sensoriamento remoto bastante utilizados é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que é um conjunto de dados topográficos obtidos mediante sistemas orbitais, em formato raster, que cobrem grande parte da superfície terrestre (Burrough e Mcdonnel, 1998; Florenzano, 2008; Moore *et al.*, 1991). Um exemplo desse tipo de conjunto de dados são as imagens provenientes do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que possuem informações da altimetria do terreno com resolução espacial de 30 m e de 90 m (Farr et al., 2007), sendo bastante popularizado na comunidade científica e utilizado em diversos trabalhos, por serem disponibilizados gratuitamente.

Muitas pesquisas utilizam esses dados para obtenção de características hidrológicas importantes para análise de grandes bacias hidrográficas, como definição de direções de fluxo, que indicam para qual pixel vizinho drena o fluxo do pixel em questão, e a partir das direções de fluxo são calculadas as áreas acumuladas de drenagem, redes de drenagem, delimitação de bacias, entre outros planos de informação.

Para análise de grandes áreas muitas vezes é necessária a adoção de sistema de projeção geográfica (latitude-longitude), com medidas em graus, no entanto, para obtenção de algumas características relevantes para o estudo, como área de drenagem, estes valores necessitam ser projetados para unidades planas (Finlayson e Montgomery, 2003; Mayorga et al., 2005). A forma de conversão dessas unidades é muitas vezes ignorada pelo usuário, pois isso fica escondido nas rotinas internas do *software*, ou são adotadas deliberadamente simplificações na conversão de grau para quilometro, devido, principalmente, à falta de conhecimento e às facilidades proporcionadas por ferramentas automáticas. Desta forma, aspectos importantes dessa etapa muitas vezes são negligenciados pelos usuários.

Diante da lacuna apresentada, o presente artigo tem por objetivo analisar os erros e incertezas no processo de conversão de áreas acumuladas contabilizadas em uma grade em graus para unidades planas, analisando diferentes abordagens que vão da forma mais simplificada até uma abordagem mais complexa que seria a projeção individual de cada pixel. Para estudo de caso é apresentada a bacia hidrográfica do rio Tapajós, considerando as áreas de drenagem de 38 postos fluviométricos monitorados pela Agência Nacional de Águas (ANA).

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de estudo e dados disponiveis

A bacia do rio Tapajós abrange os Estados do Mato Grosso, Pará e uma pequena porção do Amazonas, por isso é uma bacia de domínio da União. Essa bacia está situada entre as latitudes 2º e 15° Sul e 53° e 61° Oeste (Figura 1). O rio Tapajós é um dos principais afluentes do rio Amazonas, tendo sua confluência na cidade de Santarém (PA), onde conta com cerca de 500.000 km^2 de área de drenagem (Collischonn *et al*., 2008).

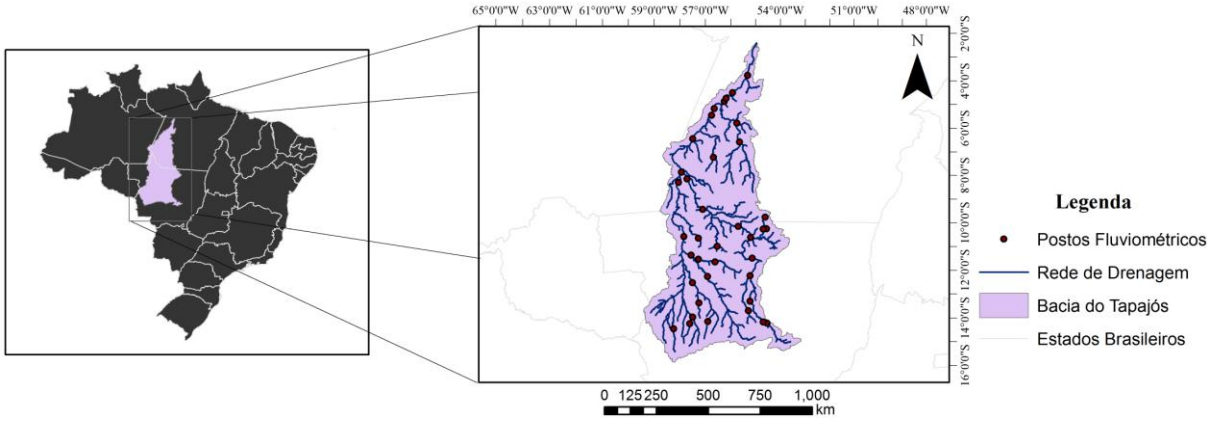

Figura 1. Localização dos 38 postos fluviométricos da ANA na bacia do rio Tapajós.

Para a realização do estudo proposto foi feita a aquisição das imagens SRTM gratuitamente a partir do Geoportal CSI, na página eletrônica <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>. Essas imagens são disponibilizadas em quadros de 5º x 5º contendo o MDE na resolução espacial de aproximadamente 90 m. Mas devido a necessidade de adquirir várias imagens para cobrir a área em estudo foi realizada a

reamostragem do MDE da resolução original (0,0008333º ou ~90 m) para 0,002º (~ 200 m), em decorrência do elevado custo computacional.

Os 38 postos fluviométricos distribuídos ao longo da bacia do rio Tapajós (Figura 1) foram adquiridos no potal da Hidroweb da ANA <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=4010&MapaSel=1> e sobrepostos sobre os planos de informação gerados a partir do MDE.

2.2 Processamento do MDE

A partir do MDE obteve-se o dado de entrada para gerar os planos de informação de direções de fluxo, áreas acumuladas de drenagem e a delimitação de bacias.

O arquivo de direções de fluxo é do tipo raster, cujo atributo em cada pixel da imagem significa a indicação para qual pixel vizinho ocorre a contribuição do fluxo. Para essa determinação usualmente é utilizado o algoritmo D8, onde cada pixel da imagem assumi um dos oito valores, indicando para qual pixel vizinho drena o escoamento, escolhendo a direção que proporcione a maior declividade (Figura 2) (Jenson e Domingue, 1988; Planchon e Darboux, 2001).

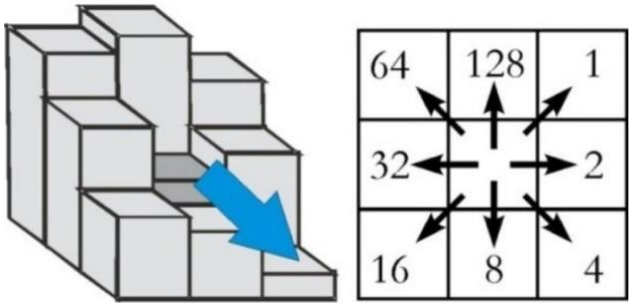

Figura 2. Escolha da direção de fluxo pela maior declividade, indicando em qual sentido ocorre a drenagem. Possíveis direções de fluxo para um dos oito pixels ou célula.
Fonte: Buarque, et al. (2009).

A partir desse plano de informação foi gerado às áreas acumuladas de drenagem, onde o caminho percorrido pixel a pixel recebe um valor correspondente ao somatório das áreas de todos os pixels de montante. O valor de área acumulada pode ser expresso em quantidade de pixels ou em unidades de área (km^2). Determina-se a área superficial de cada pixel em unidades planas levando-se em conta sua posição geográfica, a fim de corretamente contabilizar a equivalência entre unidades geográficas e planas conforme a latitude.

A delimitação da bacia e das sub-bacias foi realizada com a escolha do pixel exutório que correspondeu para a bacia do rio Tapajós ao pixel de maior área de drenagem e para as sub-bacias utilizadas para o cálculo do centróide a escolha foi com base nos 38 postos fluviométricos da ANA.

2.3 Obtenção de áreas de drenagem em unidades planas

Quatro abordagens foram adotadas para obter as áreas acumuladas de drenagem em unidades planas (km²). Três desses métodos abrangem inicialmente o cálculo das áreas acumuladas em termos da quantidade de pixels e posteriormente a conversão para unidades planas. Nos três métodos, todos os pixels tem mesma área superficial. No primeiro deles, denominado aqui de método da Conversão Equador Simplificado, utilizou-se a regra de equivalência nominal de que 1º corresponde a 100 km. Logo, cada pixel de 0,002º x 0,002º tem área superficial de 10^{-6} km². O segundo método foi similar ao primeiro, mas considerando uma equivalência entre graus e km considerada precisa para o Equador, de que 1º = 111, 319473266602 km (o método é referido aqui como Conversão Equador Preciso). O terceiro

método considera para cada bacia hidrográfica contribuinte a um posto fluviométrico uma regra específica de conversão entre graus e km, conforme a latitude do centróide da bacia.

O quarto método se distingue dos demais por considerar que cada pixel tem área superficial calculada individualmente conforme a latitude e longitude dos seus vértices. Nesse método, essas coordenadas são usadas para estabelecer a equivalência entre graus e km para cada pixel individualmente, considerando o elipsóide WGS-84.

Tem-se, portanto, do primeiro ao quarto método um crescente nível de rebuscamento no cálculo das áreas acumuladas em unidades planas. Considera-se que os dois primeiros métodos, que se baseiam na conversão equivalente à latitude do Equador, são os comumente mais utilizados, enquanto o último é raramente descrito na literatura (Finlayson e Montgomery, 2003; Mayorga et al., 2005).

2.4 Avaliação de erros

Como o método da projeção individual de cada pixel é considerado o mais rebuscado e o mais preciso, os resultados das áreas acumuladas obtidos por esse método foram tomados como referência na comparação com os resultados dos outros três métodos. Ao se falar em erros, portanto, refere-se à diferença entre o método analisado e o método de referência, que é o da projeção individual de cada pixel.

3 Resultados e discussão

Para os quatro métodos estudados avaliou-se inicialmente a área superficial mínima e máxima em quilômetros quadrados de cada pixel, a fim de verificar a amplitude dos resultados para cada tipo de cálculo. Os métodos do Equador simplificado e preciso ignoram a localização da bacia hidrográfica e de cada pixel e, portanto, não apresentam variação de área superficial entre os pixels de todas as bacias analisadas. Pelo método do centróide e pelo método da projeção individual de cada pixel, as áreas superficiais dos pixels variaram 2,88% e 3,30% respectivamente, entre o máximo e o mínimo (Tabela 1). Entretanto, a variação ocorrida pelo método da latitude média diz respeito à variação entre bacias, ao passo que a variação que ocorre no método da projeção individual é relativa tanto às diferenças entre bacias como ao longo da bacia.

Tabela 1. Amplitude da área mínima e máxima para cada método.

Método	Área mínima (km^2)	Área máxima (km^2)	Amplitude (% de Amin)
Equador Simplificado	0.040000	0.040000	0.00%
Equador Preciso	0.049568	0.049568	0.00%
Latitude Média	0.048058	0.049441	2.88%
Projeção individual do pixel	0.047945	0.049529	3.30%

Avaliando o erro das áreas de drenagem dos postos fluviométricos pelos três métodos em relação ao método da projeção individual de cada pixel, verificou-se que a conversão do equador simplificada foi o que apresentou os maiores erros ao longo da área das bacias, sub-estimando os valores de áreas acumuladas em quase 20% (Figura 3A). Fazendo essa análise apenas para os métodos de conversão do Equador preciso e pelo centróide (Figura 3B) verificou-se que o método Equador preciso apresentou maiores erros distribuídos ao longo da

bacia em relação ao método de latitude média, e que em alguns pontos os erros tenderam a zero, enquanto que para o primeiro método os erros de área acumulada foram super-estimados havendo maior concentração entre 1 a 3%.

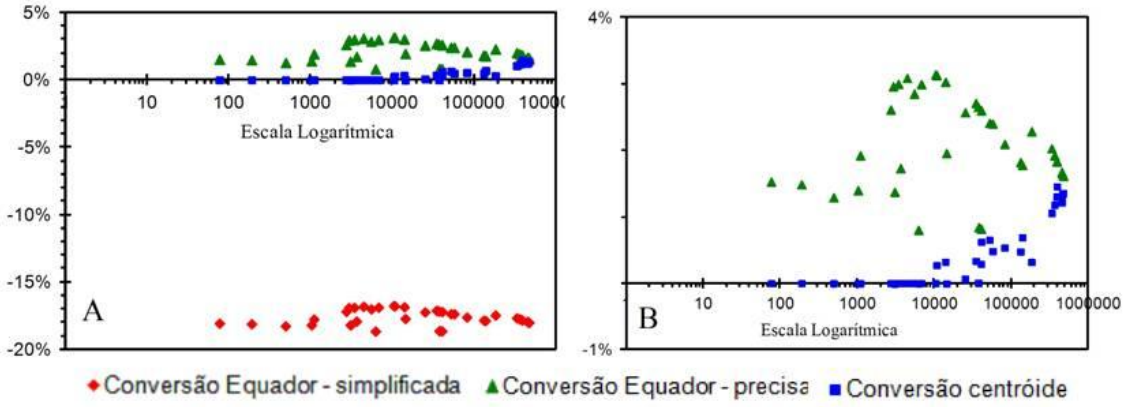

Figura 3. (A) Erro da área acumulada obtida pelos métodos da conversão Equador – simplificada e precisa e pela conversão do centróide em relação ao método da projeção individual de cada pixel; (B) Idem à (A), mas excluindo resultados do método conversão Equador simplificada para ajustar escala em valores de menor ordem de grandeza (Em ambos os gráficos, no eixo x é a área da bacia hidrográfica obtida pelo método da projeção individual, na escala logarítmica).

Os 38 pontos selecionados para avaliar o erro de área acumulada obtido em relação ao método individual de cada pixel foram distribuídos ao longo da bacia a fim de verificar espacialmente para cada método quais os pontos apresentaram maior percentual de erro (Figura 4).

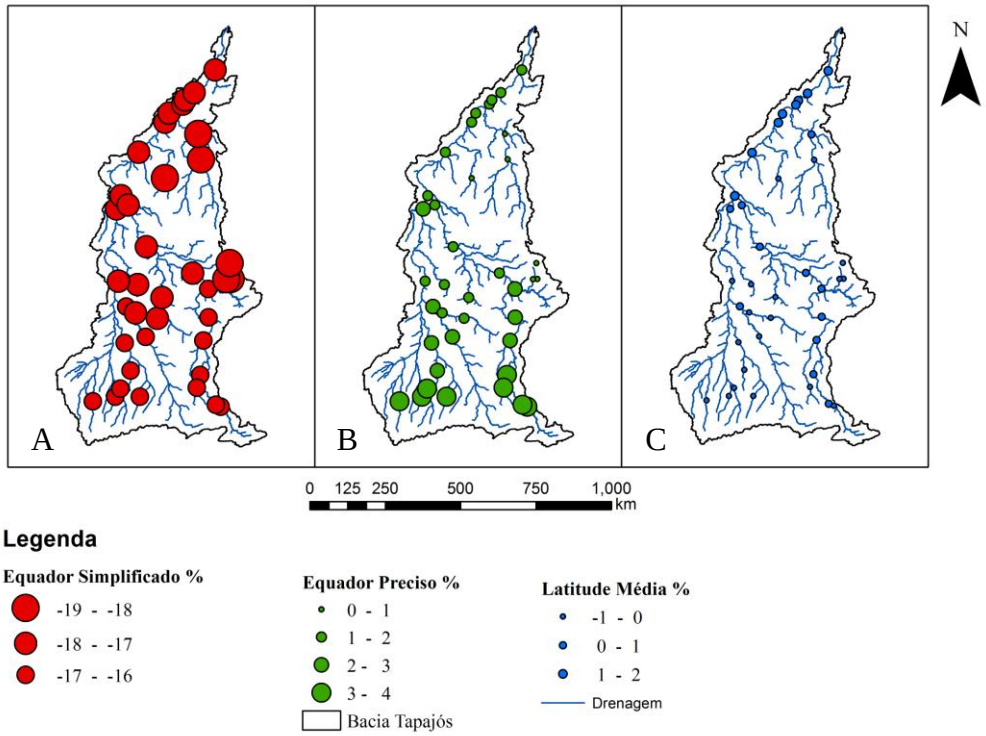

Figura 4. Distribuição dos erros de área acumulada ao longo da bacia do rio Tapajós para método do equador simplificado (A), equador preciso (B) e latitude média (C)

Para o método do Equador simplificado os maiores erros se concentraram na parte norte e leste da bacia do Tapajós, mostrando que esse cálculo é o menos recomendado para transformação de graus para unidades planas (Figura 4 A). Já o Equador preciso apresentou menores erros próximo ao equador e à medida que se afastou esse percentual aumentou (Figura 4 B). Dos métodos avaliados o que mostrou menores erros foi o de latitude média ao longo de toda a bacia, sendo esses menores à medida que se afastou do Equador (Figura 4 C). Deve-se levar em conta que os pontos exibidos no mapa se referem aos exutórios das bacias de drenagem de cada um dos postos fluviométricos. As bacias dos postos situados ao longo do rio principal, portanto, abrangem áreas que vão desde o ponto indicado como exutório até as cabeceiras, ou seja, uma grande variação de latitude. Isso de certa forma mascara a identificação de um padrão de erros em função das bacias analisadas, já que os erros estão intimamente associados à posição geográfica da bacia e a distância em relação ao Equador. Por outro lado, os estudos a serem desenvolvidos em análises ambientais diversas envolvem a determinação de áreas de drenagem de bacias como essas analisadas, que perpassam vários graus de latitude.

4 Conclusões

Tendo em vista muitas vezes a necessidade de converter graus para unidades planas em estudos hidrológicos e ambientais para grandes bacias e a não preocupação com a escolha do método para esse procedimento foi realizado um estudo aplicado a bacia do Tapajós vericando a variação no resultado de áreas acumuladas calculadas por diferentes procedimentos de conversão.

O método do equador simplificado geralmente mais utilizado pela sua praticidade foi também o que demonstrou maior percentual de erro variando de 16% a aproximadamente 20% em relação ao método considerado como referência. Enquanto os métodos do equador preciso e o de latitude média apresentaram os menores percentuais, sendo o último método o que mostrou menor erro para a bacia estudada. Tem-se que, para as bacias de drenagem analisadas, considerar a latitude média para fazer a conversão uniforme das áreas superficiais individuais de todos os pixels minimiza bastante o erro quando não é possível fazer a conversão específica de cada pixel isoladamente. Espera-se que para bacias localizadas em latitudes mais elevadas, considerar a latitude média como método de conversão não seja suficiente para reduzir os erros a níveis aceitáveis.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq por conceder bolsa de Mestrado à segunda autora.

Referências Bibliográficas

Buarque, D. C. *et al*. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. RBRH — **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 14 n.2 Abr/Jun 2009, 91-103.

Burrough, P. A.; Mcdonnel, R. A. ***Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics***. Oxford University Press. Oxford, 1998, 333p.

Collischonn, B. *et al*. *Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates*. **Journal of Hydrology**. 360 , 207– 216. 2008

Farr, T. G., et al. The Shuttle Radar Topography Mission. ***Rev. Geophys***., 45, RG2204, doi: 10.1029/2005RG000183.

Jenson, S.K., Domingue, J.O. (1988). ***—Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis”***. *Photogramm. Eng. Remote Sens*., 54(11), pp. 1593-1600.

Finlayson, D. P. e Montgomery, D. R..*Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems*. **Geomorphology** 53 (2003) 147–164**.** 2003.

Florenzano, T. G. (Org.). **Geomorfologia***:* Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Mayorga et al., 2005. *Estimating cell-to-cell land surface drainage paths from digital channel networks, with an application to the Amazon basin*. **Journal of Hydrology.** 315, 167–182. 2005.

Moore, I.D., *et al*. *Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications.* **Hydrol. Process**. 5, 3–30. 1991

Paz, A. R.; Collischonn, W.; Tucci, C. Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. João Pessoa (PB). 2006. **Anais** ... CD-ROM.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; SILVEIRA, A. L. L. *Improvements in large scale drainage networks derived from digital elevation models.* **Water Resources Research**, 42 (8). 2006.

Paz, A. R.; Collischonn, W.. Rede de drenagem para modelagem hidrológica distribuída. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 20p. 2007. **Anais**... CD-ROM.

Planchon, O.; Darboux, F. 2001 ***A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models.*** *Catena* 46 pp. 159-176.

Sá, J. de F. de, *et al*. Uma Avaliação de Distintas Metodologias para Extração de Informações Topográficas Utilizando um Modelo Numérico do Terreno e o Algoritmo de um Modelo Hidrológico Distribuído. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, 252-260. 1993. **Anais**.

Santos, I. M. ; ZEILHOFER, P. Integração do modelo hidrológico NGFLOW no sistema integrado de monitoramento ambiental da bacia do rio Cuiabá – SIBAC**.** In: GIS BRASIL – 9º Show de Geotecnologias – 3ª Mostra do Talento Científico. 8p. 2003. **Anais** ... CD-ROM.

Silva, L. P da; Ewen, J. Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias Hidrográficas: A Necessidade de Novas Metodologias. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5 n.4 Out/Dez 2000, 81-92.