

Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio das Fêmeas, Oeste da Bahia com uso de Geotecnologias

Nayara Silva Souza¹
Jossy Mara Simões Cardoso¹
Wanderley de Jesus Souza¹
José Yure Gomes dos Santos¹
Pablo Santana Santos¹

¹ Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB
47808021- Barreiras - BA, Brasil

nayarasilvas@ifpi.edu.br, jossymara.cardoso@gmail.com, wanderley.souza@ufob.edu.br,
joseyure.santos@ufob.edu.br, pablo@ufob.edu.br

Abstract. Studies about the natural dynamics and environmental vulnerability in watershed can be made using morphometric characterization. Thus, the present work was carried out to perform the morphometric analysis of the Fêmeas River, Sub-basin of Grande River, Western of Bahia, using the GIS methods. The parameters used for all analysis of the sub-basin were divided as follows: characteristics of the drainage network (area, perimeter, total length of all channels, hierarchy of channels, form factor, compactness coefficient, index of circularity and drainage density) and topographic characteristics (altimetry and slope), which were determined using ArcGIS 9.3 software. In relation to the characteristics of the drainage network it was found 6,420.23 km² of drainage area, 638 km of perimeter, the total length of channels was 1,197.1 km and its maximum classification was 4th order, the form factor was 0.250, the compactness coefficient was 2.230 and the index of circularity was 0.198. In relation to the topographic characteristics, were noted that the values of altitudes in the sub-basin ranged from 498 m to 1,020 m, in which the hypsometric amplitude was 522 m. The values of slope were 6 distinct classes, in which flat surfaces has preponderance. Thus, the analysis of morphometric characteristics using Geotechnologies allowed verifying, in natural conditions, that the sub-basin of the Fêmeas River has a low susceptibility to inundation.

Palavras-chave: image processing, morphometric study, hidrology, processamento de imagens, estudo morfométrico, hidrologia.

1. Introdução

No momento em que a água deixou de ser considerada apenas um elemento natural e passou a ser encarada como um recurso renovável, porém limitado, observou-se a necessidade de regulamentação do seu uso. Em razão disso, surge no Brasil, um complexo sistema legal e institucional responsável pela gestão dos recursos hídricos, o qual faz parte do Direito das Águas (Sampaio, 2011).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - Lei ° 9433/1997 - marcou o contexto histórico da legislação sobre Recursos Hídricos, mostrando-se como um instrumento moderno e inovador ao propor um gerenciamento de forma descentralizada e com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, na gestão da água, além de deixar bem claro, através de seus fundamentos, que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, bem de domínio público, cuja gestão deve sempre proporcionar os seus usos múltiplos.

Para a implementação da PNRH definiu-se como unidade territorial de planejamento a bacia hidrográfica, que do ponto de vista hidrológico, Barrella (2001) define como um conjunto de terras drenadas por um curso principal e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas precipitadas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e reservatórios de águas subterrâneas. No entanto, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento se faz indispensável, não apenas pelos aspectos hidrológicos, como também,

pelo fato de que dentro de uma bacia ocorrem inúmeras interações entre aspectos bióticos, abióticos e antrópicos que influenciam direta e indiretamente a dinâmica dos recursos hídricos, fazendo-se necessário o conhecimento de todos esses aspectos (características morfométricas, climáticas, pedológicas, geomorfológicas, bem como, o uso e ocupação dos solos) e das respostas do ambiente as alterações dos mesmos.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica constitui-se como um procedimento muito importante, utilizado previamente em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como finalidade esclarecer as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (Teodoro et al., 2007), destacando-se ainda sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

Desse modo, as técnicas de geoprocessamento são muito utilizadas atualmente para avaliação de diversos parâmetros morfométricos de bacias de drenagem e de bacias hidrográficas, pois conforme Pareta e Pareta (2011), elas proporcionam um ambiente flexível e constituem uma ferramenta poderosa para a manipulação e análise da informação espacial.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar as características morfométricas da sub-bacia do Rio das Fêmeas, Oeste da Bahia, com o auxílio de técnicas de SIG's, a fim de verificar a susceptibilidade da mesma a enchentes.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A bacia do Rio das Fêmeas é uma Sub-bacia do Rio Grande, afluente da margem esquerda do Médio Rio São Francisco, e está localizada entre os paralelos 11°15' e 13°30'S e 43°45' e 46°30'W, cuja área de 6.420,23 km² compreende 42% do município de São Desidério-BA (Figura 1). O rio das Fêmeas é um dos principais integrantes da Bacia do Rio Grande em termos de volume afluente (Andrade et al., 2002).

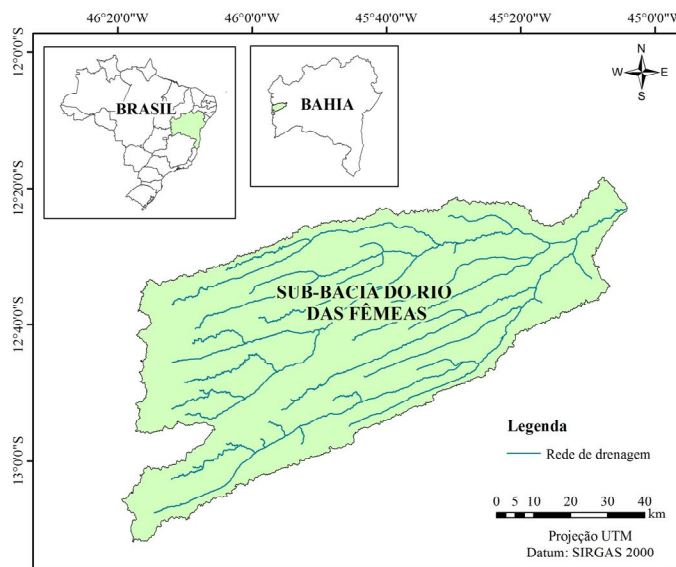


Figura 1. Localização da Sub-bacia do Rio das Fêmeas.

O clima da região classifica-se como Aw (Köppen) (clima tropical com chuvas de verão), com temperatura média anual de 23,2 °C, e umidade média relativa do ar variando entre 45% a 79%. A taxa anual de evaporação é de aproximadamente 1.580 mm e os valores médios anuais de precipitação variaram entre 976,9 mm a 1.744,8 mm. A vegetação predominante na sub-bacia é o cerrado e os solos encontrados com maior frequência são os Latossolos.

O Rio das Fêmeas faz parte do Chapadão Urucuia, que compreende uma região de relevo aplainado com altitudes variando de 900 – 1000 m, no estado de Goiás, e de 600 – 650 m no estado da Bahia. A rede de drenagem da região é em sua maioria formada por rios perenes resultado da grande capacidade de armazenamento hídrico pluvial dos arenitos da formação Urucuia, que contribui significativamente para a alimentação dos cursos d'água (BRASIL, 2006; Albuquerque, 2009).

Segundo Lima (2000), na sub-bacia do Rio das Fêmeas a atividade agrícola se encontra em processo acelerado de mecanização utilizando irrigação continuada, onde destacam-se as culturas de soja, café, arroz e algodão, além de apresentar também uma extensiva atividade pecuária. Estas atividades promovem uma grande utilização dos recursos hídricos superficiais da região, como confirmado pela SRH (2003), a qual verificou que alguns dos mananciais da sub-bacia já atingiram o limite máximo outorgável, não havendo mais disponibilidade para liberação de outorgas, o que ocasionou um aumento na utilização de águas subterrâneas por meio da perfuração de poços profundos com grandes vazões para irrigação com pivô-central.

2.2 Materiais e Métodos

Para a realização da análise morfométrica da sub-bacia do rio das Fêmeas foi necessária inicialmente a obtenção das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução espacial de 30 m, as quais foram utilizadas na elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) com o auxílio do software ArcGIS 9.3. A fim de se obter um melhor resultado realizou-se o processo de refinamento que consiste na eliminação de eventuais depressões espúrias que possam existir na imagem utilizada na geração do MDE, caso contrário, sem o preenchimento das depressões o estudo do escoamento superficial da área poderia ser prejudicado.

Os parâmetros escolhidos para a análise morfométrica da sub-bacia foram divididos da seguinte forma: características da rede de drenagem (área, perímetro, comprimento total de todos os canais, hierarquização dos canais, fator de forma, coeficiente de compactidade, índice de circularidade e densidade de drenagem) e características do relevo (altimetria e declividade). Os arquivos criados em ambiente SIG foram: MDE da bacia, a direção de fluxo, escoamento acumulado, rede de drenagem e delimitação da bacia (através do ponto do exutório). A partir desses dados foi possível a geração dos mapas hipsométrico, de declividade, ordem dos canais, além de cálculos numéricos da rede de drenagem.

A área, perímetro e o comprimento dos rios foram calculados utilizando a ferramenta *Calculate Geometry* do ArcGIS 9.3. A classificação da sub-bacia com relação a sua área baseou-se na metodologia de Wisler e Brater (1964), os quais consideram que bacias cujas áreas são inferiores 26 km² são consideradas pequenas e as bacias grandes são aquelas com área superior a esse valor.

Com relação à drenagem da sub-bacia, apesar de ser extraída da imagem SRTM, utilizou-se como referência as cartas topográficas com escala de 1:100.000, da SUDENE, vetorizadas pela SEI (2008). A partir da definição da rede de drenagem procedeu-se o ordenamento dos cursos d'água utilizando a classificação de Strahler (1952), que considera como rios de primeira ordem os rios de cabeceiras, ou, aqueles que não possuem tributários, os de segunda ordem, por sua vez, são aqueles originados da junção de dois rios de primeira ordem, os de terceira ordem são formados pela reunião de dois cursos d'água de segunda ordem, e assim por diante. Essa hierarquização dos cursos d'água possibilitou o cálculo da densidade de drenagem, com base na Equação 1, bem como sua classificação conforme Vilella e Matos (1975), os quais consideram bacias de drenagem pobres aquelas com índice de 0,5 km.km⁻², e ricas ou bem drenadas aquelas bacias cujos índices atingem 3,5 km.km⁻² ou mais.

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

onde Dd é a densidade de drenagem, L é o comprimento total dos cursos d'água (km) e A é a área da bacia (km²).

O coeficiente de compacidade (Kc) ou índice de Gravelius é a razão entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia. O tamanho da bacia, não tem influência sobre esse coeficiente, no entanto, a sua forma pode determinar diferentes valores de Kc, sendo assim, valores próximos a 1 relaciona-se a bacias circulares e a maior propensão a enchentes, enquanto que valores superiores a 1 indicam que a bacia apresenta forma irregular e alongada, e menor propensão a enchentes. O coeficiente de compacidade foi calculado por meio da Equação 2:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

onde Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro (km) e A é a área da bacia (km²).

O Fator de forma (Kf) é a relação entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área). Quanto mais próximos seus valores estiverem da unidade maior suscetibilidade da bacia a enchentes. O Kf foi determinado pela Equação 3 (Horton, 1932):

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

onde Kf é o fator de forma, A é a área da bacia (km²) e L é o comprimento axial da bacia (km).

Além da determinação do Kc e Kf em estudos morfométricos é comum também a determinação do índice de circularidade (Ic), todos esses coeficientes são muito utilizados para a previsão de enchentes em bacias hidrográficas. O Ic relaciona o perímetro à área da bacia, cujos valores tendem para unidade em bacias de forma circular e diminuem para bacias com forma alongada. O Ic foi calculado pela Equação 4 (Cardoso et al., 2006):

$$Ic = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (4)$$

onde Ic é o índice de circularidade, A é a área da bacia (km²) e P é o perímetro da bacia (km).

Os valores das altitudes (mapa de hipsométrico) foram extraídos do MDE e posteriormente organizados em classes. A determinação desse parâmetro é importante, visto que ele pode interferir na intensidade de escoamento, devido à influência que exerce na distribuição da vegetação, nos tipos de solos, no clima e conseqüentemente na rede de drenagem (Duarte et al., 2007). O mapa de declividade também foi gerado através do MDE, utilizando as ferramentas *Spatial Analys Tools / Surface / Slope* do ArcGIS 9.3 e em seguida produziu-se as classes de declividade para a área de estudo e sua influência na velocidade de escoamento superficial e no tempo de concentração.

3. Resultados e Discussões

A sub-bacia do Rio das Fêmeas, após os cálculos realizados do ArcGIS 9.3, apresentou uma área de drenagem de 6.420,23 km², dessa forma, segundo a classificação de Wisler e Brater (1964) é considerada uma grande bacia, visto que, sua área supera o valor de 25 km². Calculou-se ainda, o seu perímetro e o comprimento axial da mesma, os quais apresentaram valores de 638 km e 160,72 km, respectivamente. Estes servem de base para a determinação de outros cálculos necessários para caracterização da sub-bacia.

Com relação aos coeficientes de compacidade (K_c) e de forma (K_f) observou-se que a sub-bacia obteve um K_c de 2,23, podendo afirmar que a mesma apresenta baixa suscetibilidade a picos de enxurrada, considerando todos os outros fatores intervenientes constantes. O valor do K_f foi de 0,2504, ou seja, apresentou um fator de forma baixo, o que condiz com sua forma alongada. Assim, segundo Vilella e Matos (1975) esta sub-bacia é menos sujeita a enchentes que outra sub-bacia, de igual tamanho, porém com fator de forma maior. Isso se dá porque como a bacia é estreita e longa, o escoamento direto de uma precipitação ocorrida na sua área não se concentra rapidamente, além do fato de que bacias com essas características tem menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão. Na Tabela 1 pode-se observar que assim como a sub-bacia do rio das Fêmeas, a bacia do rio de Ondas, do Rio Tapacurá e do Rio Salitre apresentaram forma alongada, K_c maiores que 1 e K_f menores que 1 o que explica o fato de todas elas estarem pouco sujeitas a inundações, em anos normais de precipitação, segundo as referências citadas na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre K_c , K_f e forma de bacias hidrográficas.

Bacia	Área	K_c	K_f	Forma	Referência
Rio das Fêmeas	6.420,23	2,230	0,2504	Alongada	-
Rio de Ondas	5.580,63	1,947	0,2500	Alongada	Araújo et al. (2010)
Rio Tapacurá	471,33	1,802	0,1818	Alongada	Duarte et al. (2007)

O índice de circularidade da sub-bacia foi de 0,198, o que condiz com o fato da sub-bacia ter forma alongada. Este índice reforça a baixa probabilidade de enchentes na região estudada, tendo em vista que seu valor encontra-se bem distante da unidade.

Em se tratando do sistema de drenagem da sub-bacia do Rio de Fêmeas, este apresentou grau de ramificação de 4º ordem (Figura 2), de acordo com a hierarquia definida por Strahler (1952).

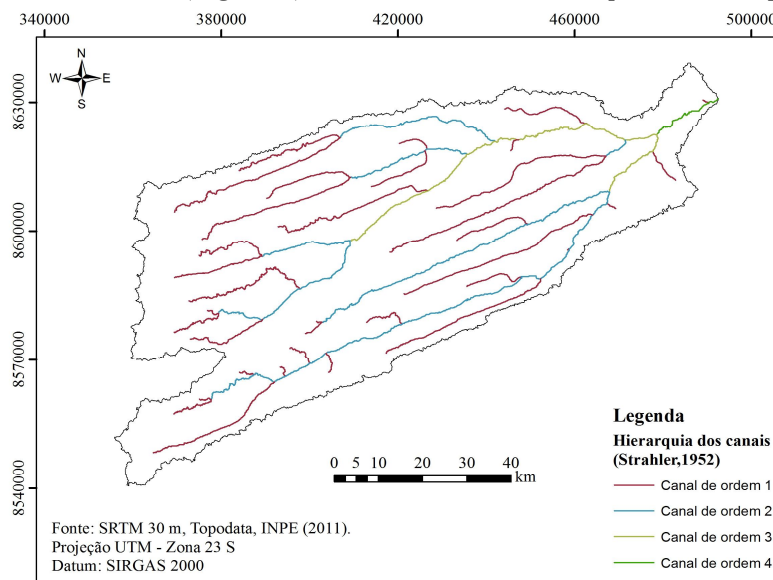


Figura 2. Rede de drenagem e hierarquização dos cursos d'água da sub-bacia do Rio das Fêmeas.

A rede de drenagem total da sub-bacia é composta por 45 canais, cujo somatório do comprimento total dos trechos (L_t) é igual a 1.197,1 Km e a densidade de drenagem de

0,186 km km⁻², tratando-se portanto de uma drenagem pobre conforme Vilella e Matos (1975). Gaspar (2006), afirma que a baixa densidade de drenagem é uma característica comum na região do oeste baiano. Na Tabela 2 observa-se a quantidade total de cursos d'água classificados por ordem e os seus respectivos comprimentos (L). Assim, nota-se 50% dos rios da bacia são de 1º ordem o que representa um grande número de nascentes, visto que estes não se originam da junção de rios, como é o caso dos cursos d'água de ordens superiores.

Tabela 2. Quantidade de cursos d'água classificados por ordem e os seus respectivos comprimentos (L).

Ordem dos cursos d'água	Quantidade	L (km)
1º ordem	35	708,00
2º ordem	7	358,60
3º ordem	2	110,80
4º ordem	1	19,67
Total	45	1.197,1

As altitudes na sub-bacia variaram de 498 m a 1020 m (Figura 3), o que corresponde a uma amplitude hipsométrica de 522 m. As maiores cotas são relativas às áreas de nascentes, onde estas variam de (920 - 1020 m) e as menores (498 - 677 m) encontram-se nas áreas próximas à desembocadura do Rio das Fêmeas no Rio Grande. Essa variação nos valores de altitude podem influenciar na distribuição da precipitação e na intensidade de escoamento da sub-bacia. Uma feição que se destaca na área da sub-bacia é a Serra Geral de Goiás, a qual apresenta no seu topo uma morfologia de arenitos silicificados resistentes ao intemperismo (SRH, 2003).

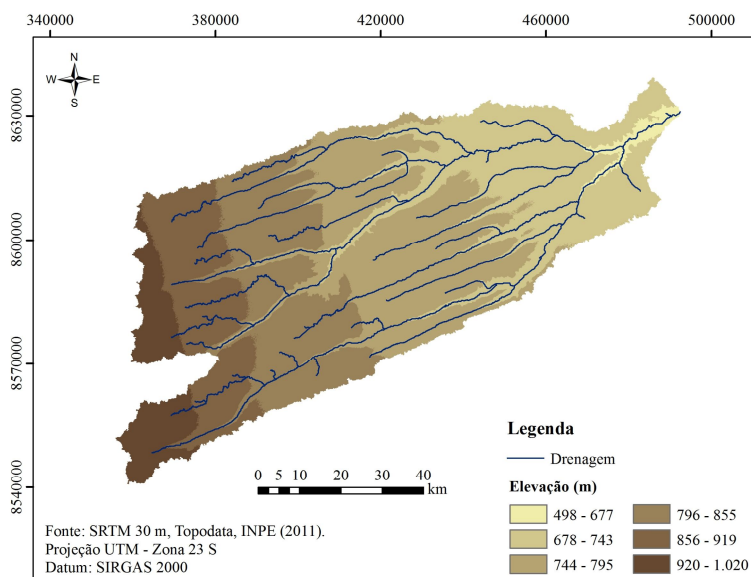


Figura 3. Mapa altimétrico da sub-bacia do Rio das Fêmeas.

Foram geradas para a sub-bacia do Rio das Fêmeas cinco diferentes classes percentuais de declividade, a saber, 0-1, 2-3, 4-7, 8-10, 20-30 e 40-70. Na Figura 4 pode-se visualizar que a maior parte da sub-bacia apresenta declividade entre 0 a 1%, ou seja, um relevo aplainado, como também observado por Lima (2000) e pela SRH (2003), o que significa uma velocidade de escoamento baixa, um maior tempo de concentração e um menor pico de descarga superficial. Esse relevo plano favorece a cultura agrícola crescente na região estudada.

A Figura 4 permite verificar ainda, que as declividades se acentuam nos encaixes dos cursos d'água, sendo que os maiores valores encontram-se no baixo curso do Rio das Fêmeas, onde se concentram as declividades com classe de 20-30 % e 40-70%. Esse comportamento do relevo é semelhante ao encontrado por Araújo et al. (2010) na sub-bacia do Rio de Ondas, a qual também é pertencente a bacia do Rio Grande.

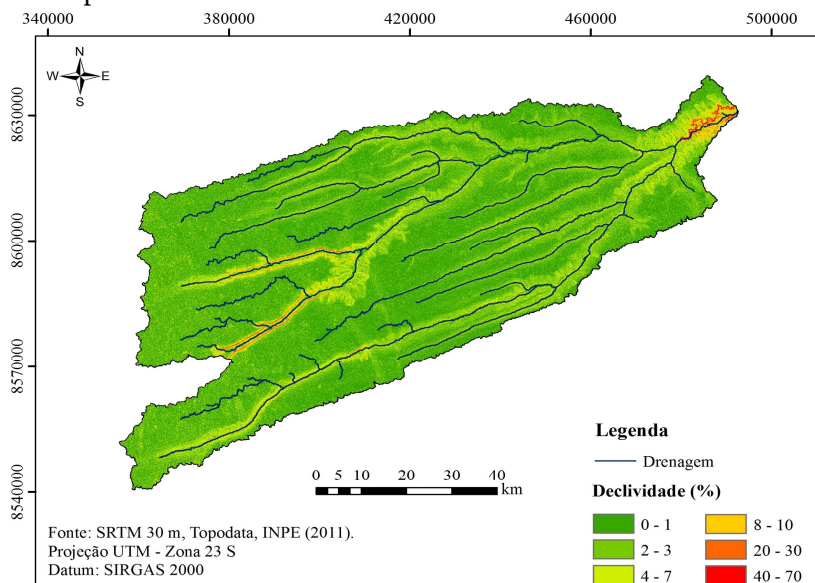


Figura 4. Mapa de declividade da sub-bacia do Rio das Fêmeas.

4. Conclusões

A análise das características morfométricas da sub-bacia do Rio das Fêmeas permitiu verificar que a mesma, em condições naturais, apresenta baixa susceptibilidade a enchentes, corroborada pelos valores de coeficiente de compacidade, coeficiente de forma, densidade de drenagem e índice de circularidade obtidos, bem como, pelas características hipsométricas e de declividade observadas.

Embora a sub-bacia apresente uma grande área de contribuição e grande faixa de variação da altitude, o que de certa forma contribui para vazão de saída na bacia, a densidade de drenagem demonstrou-se pobre, sendo formada por 45 canais, cuja classificação máxima foi de 4º ordem.

O uso de Geotecnologias neste estudo foi de fundamental importância por permitir que as análises morfométricas e de susceptibilidade da bacia fossem realizadas com celeridade.

As avaliações realizadas neste trabalho propiciaram embasamento para elaboração preliminar do planejamento e gestão do uso do solo e da água na sub-bacia.

5. Referências

ALBUQUERQUE, A.C.L.S. **Estimativa de recarga do rio das Fêmeas através de métodos manuais e automáticos**, 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

ARAÚJO, N.S.P. et al. **Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio de Ondas**. I Simpósio Regional de Geografia do Cerrado (SIREGEO), 2010, Barreiras, BA. Disponível em: <<http://www.geografia.icad.ufba.br/siregeo/ARA%C3%9AJ0,%20Nayara%20Silva%20Perazzo%20de.pdf>> Acesso em: 1 set. 2014.

ANDRADE, A.C. et al. **Estudos de processos erosivos na Bacia do Rio Grande (BA) como subsídio ao planejamento agropecuário**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BRASIL. Lei nº 9433. 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br>.> Acesso em: 10 jan. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos - **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco** - Brasília: MMA, 2006. 148p.

CARDOSO, C.A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

DUARTE, C.C. et al. Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá- PE. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, n.2, mai/ago. 2007.

GASPAR, M. T. P. **Sistema Aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão**. 2006. 158 p. Tese (Doutorado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc America Bulletin**, v.3, n.56, 1945.

LIMA, O.A.L. Estudos Geológicos e Geofísicos do aquífero Urucuia na Bacia do Rio Cachorro-Oeste da Bahia. 42p. Publicação da SRH-BA e UFBA. 2000 in ALBUQUERQUE, A.C.L.S. **Estimativa de recarga do rio das Fêmeas através de métodos manuais e automáticos**, 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. V. 2, n.1, 2011. Disponível em: < <http://ipublishing.co.in/jggsvol1no12010/voltwo/EIJGGS3022.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2014.

SAMPAIO, R. **Direito ambiental**. Fundação Getulio Vargas. 2011.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Base Cartográfica Digital do Estado da Bahia**. Diretoria de Informações Geoambientais/Coordenação de Cartografia e Geoprocessamento. 2008.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA. **Resumo Executivo do Relatório final do Uso conjunto das águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do rio das Fêmeas-BA**. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades em Terra na Bacia do São Francisco. ANA/GEF/PNUMA/OEA: 2003. 42p.

SRTM (**Shuttle Radar Topography Mission**), NASA. Disponível em: <www.srtm.usgs.gov>. Acesso em: 15 set. 2014

STRAHLER, A.N. (1952). **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology**. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 38, pp. 913-920

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, p.137-156, 2007.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.

WISLER, C.O.; BRATER, E.F. 1964. **Hidrologia**. Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A.