

Morphometric characterization of the basin in the semi-arid region of Pernambuco using SRTM data in free software

Iug Lopes*, Brauliro G. Leal**, Clovis M. C. Ramos***

* Doctoral student at Post-Graduation Program in Agricultural Engineering at the Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil. Teacher of Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brazil. iuglopes@hotmail.com (correspondent author)

** Teacher of School of Computer Engineering, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, Bahia, Brazil. brauliro.leal@univasf.edu.br

***Teacher of School of Agricultural and Environmental Engineering, Universidade Federal do Vale do São Francisco, – Juazeiro, Brazil. clovis.ramos@univasf.edu.br

Received 10 July 2018, accepted 27 August 2018

Abstract

The morphometric characterization of watersheds using SRTM data, in a GIS environment, can provide an aid in the management and management of water resources, especially in regions where there is less water availability. The objective of this study was to evaluate the morphometric characterization Pontal River Basin through the Shuttle Radar Topography Mission data (SRTM) processed in Geographic Information System (GIS) with the help of free software Quantum GIS (QGIS) 2.8 and Terrain Analysis Ucantar Digital Elevation Models (TauDEM) V.5. The average slope was 4.45% and over 92% of the basin area had lower slopes than 8%. The basin has 6046.23 Km², considered the 6th order with drainage 0.42 Km Km⁻². He also presented form factor of 0.41 m m⁻¹, compactness and circularity coefficient of 0.72 index of 0.32, indicating that the basin has very elongated shape and therefore low risk of flooding. Free software has proved to be an efficient tool, and can help in the management and management of water resources.

Keywords: physiographic analysis, QGIS, TauDEM

Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre

Resumo

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM, em ambiente SIG, pode proporcionar um auxílio no âmbito da gestão e do gerenciamento de recursos hídricos, principalmente para regiões em que há uma menor disponibilidade hídrica. O objetivo deste estudo foi de realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pontal através de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) processados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o auxílio dos softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5. A bacia hidrográfica em questão possui 6046,23 km², considerada de 6º ordem, com densidade de drenagem de 0,42 km km⁻². Observou-se que a declividade média foi de 4,45% e mais de 92% da área da bacia apresentou declividades menores que 8%. Apresentou ainda fator de forma de 0,41 m m⁻¹, coeficiente de compacidade de 0,72 e índice de circularidade de 0,32, indicando que a bacia possui formato muito alongado e por conseguinte, baixa tendência a enchentes. Os softwares livres se mostraram uma ferramenta eficiente, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: análise fisiográfica, QGIS, TauDEM.

1. Introdução

Desenvolvimento de Sistema de Informação Geográfica (SIG) está sendo aberto a uma nova perspectiva, sendo utilizado na avaliação e morfometria de bacia hidrográficas com grande precisão. Atualmente as técnicas de

geoprocessamento estão sendo aplicadas para análise de terrenos e bacias hidrográficas, com estas obtêm-se um ambiente flexível e poderosa ferramenta para a manipulação e análise da informação espacial (Pareta e Pareta, 2011).

A inserção de informações de relevo em ambiente SIG permite o conhecimento de características em quaisquer bacias hidrográficas. O conhecimento morfométrico é gerado através metodologias consolidadas (Horton, 1945; Strahler, 1957) e atualmente tem usado, de forma intensa, as informações de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Segundo Rodriguez et al. (2006) a precisão de dados SRTM são de boa qualidade, porém, em estudo realizado Falorni et al. (2005) demonstrou que a qualidade pode reduzir dependendo da topografia, sendo necessária uma maior redução em relevo montanhoso ou de grande inclinação.

Em estudos realizados por Oliveira et al. (2010), observaram que a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM, em ambiente SIG, pode proporcionar um auxílio no âmbito da gestão e do gerenciamento de recursos hídricos. Minimizando os custos e o tempo para construção destes trabalhos. A utilização de tal ferramenta já está consolidada para tratamentos de dados SRTM (Elesbon et al., 2011; Guedes e Silva, 2012; Sreedevi et al., 2013; Gurugnanam e Kalaivanan, 2014). Porém o tratamento dos dados SRTM com softwares livres pode tornar mais práticos e viáveis os estudos de bacias hidrográficas. .

As características físicas de uma bacia hidrográfica representam um papel fundamental na

avaliação de estudo hidrológico, sendo este capaz de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia (Santos et al., 2012). Desse modo um dos procedimentos mais comuns utilizados em análises hidrológicas ou ambientais é a delimitação de uma bacia hidrográfica, chegando a modelagem hidrológica utilizando como ferramenta geoprocessamento.

Dessa forma, o objetivo foi realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pontal através de dados do projeto SRTM processados em SIG, com o auxílio dos softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5.

2. Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Pontal (Figura 1), que está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 08°20'00" e 09°13'40" de latitude sul, e 40°11'24" e 41°20'53" de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande. Tem uma área de drenagem de 6046,00 km², 178,62 km de comprimento do curso d'água principal e tem sua foz do lado esquerdo do rio São Francisco na cidade de Lagoa Grande. O curso do rio Pontal tem a direção no sentido noroeste-sudeste.

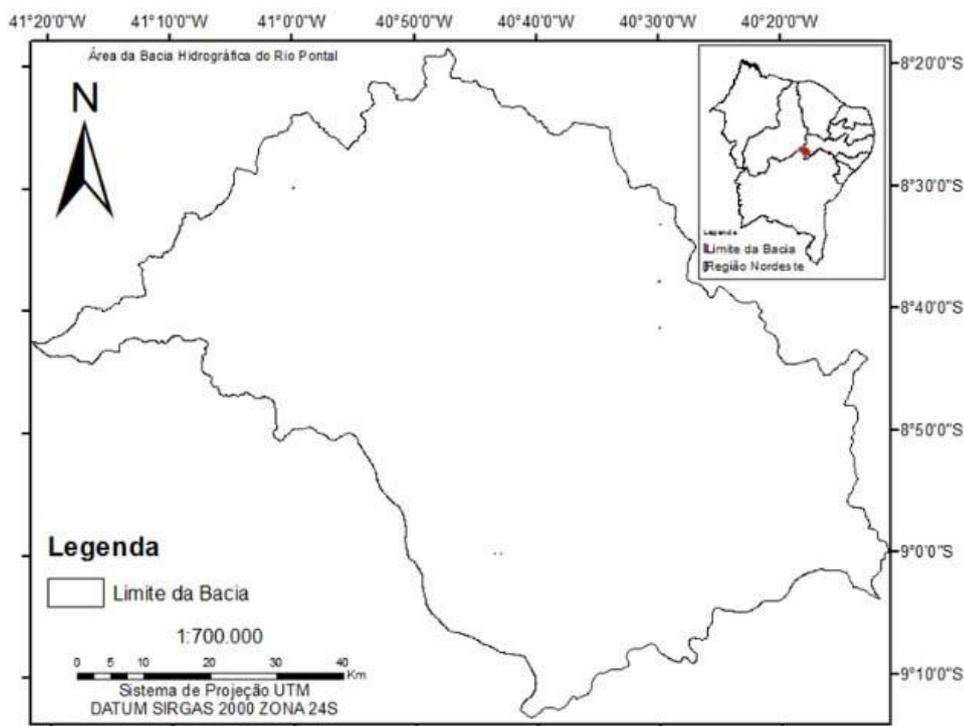


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio do Pontal-PE.

Processamento dos dados SRTM

Obteve-se os dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) junto à United States

Geological Survey (USGS), com informações originais disponíveis para a América do Sul referentes a banda C do equipamento InSAR, apresentando resolução espacial de 90 m. As cartas utilizadas foram a SC-24-V-A e a SC-24-V-B de dados da SRTM, que corresponde a um mosaico para área estudada.

Para a extração das redes de drenagem o Modelo Digital de Elevação (MDE) passou pelos tratamentos descritos abaixo com o auxílio dos Softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5, que é composta pelas ferramentas para a extração e análise de informações hidrológicas de topografia.

Inicialmente foram eliminados os pixels sem valores de elevação, originando um novo MDE. A partir de então foi possível gerar os mapas com as informações de direções de fluxo e de declividade. Tais informações foram necessárias para a composição do mapa da área de contribuição de fluxo. Com a origem deste, pode-se obter a área de contribuição corresponde aos limites da bacia

hidrográfica determinado a partir do ponto exutório, permitindo a primeira visualização da rede de drenagem.

A definição dos corpos hídricos passou por um reajuste do limiar que se refere ao número mínimo de células do terreno necessárias para gerar *pixels* da drenagem, permitindo a extração do fluxo e de drenagem. Rennó et al. (2008) estudando a variação do limiar observou que índice para verificação hidrológica acima do limiar de 300 foi o mais indicado. Assim para este estudo foi adotado também o valor de limiar indicado por Rennó et al. (2008) na extração do fluxo de drenagem.

Diante do reajuste do limiar, obteve-se a hierarquia dos rios, as sub-bacias e a rede de drenagem. O método utilizado para demarcação automática dos limites da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal foi de acordo com classificação da hierarquização fluvial proposta por Strahler (1957). Assim finalizou-se a etapa de geração de mapas e iniciou a caracterização da bacia e sub-bacias, que ocorreu utilizando recursos do SIG e as equações da Tabela 1.

Tabela 1 - Equações dos parâmetros físico, hidrográfico e do relevo, utilizados para a caracterização morfométricas da bacia hidrográfica do rio Pontal.

Parâmetro	Descrição	Equação	Fonte
Físicos			
Fator de forma (Kf)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Kf = A/L^2$ (m ² /m)	Horton (1945)
Coefficiente de compacidade (Kc)	Relação entre o perímetro (P) da bacia e a área da bacia (A).	$Kc = 0,28(P/\sqrt{A})$ (m/m ²)	Lima (1969)
Índice de circularidade (IC)	Relação entre a área da bacia (A) e o perímetro (P) da bacia.	$IC = 12,57$ (A/P ²)	Miller (1953)
Razão de alongação (Re)	Relação entre índices pré determinados, a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Re = 1,128[(A0,2)/L]$	Schumm (1963)
Hidrológicos			
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A).	$Dd = Cr/A$ (km/km ²)	Horton (1945)
Densidade hidrográfica (Dh)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A).	$Dh = Nt/A$ (km ²)	Christofolletti (1969)
Declividade de álveo	Relação da variação da cota (ΔH) e do comprimento do rio principal (R); Da área abaixo do perfil (A_{bp}); Da extensão horizontal (Li) e da declividade (Di), ambos de cada trecho.	$S1 = \Delta H/R$ $S2 = 2 * A_{bp}/R^2$ $S3 = L/[\sum(Ri/\sqrt{Di})]$ $S4 = \Delta H/R (10 - 85\%)$	Villela e Mattos, 1975
Índice de sinuosidade do rio principal (IS)	Relação entre o comprimento rio principal (R) e o perímetro do talvegue do rio principal (L_{RP}).	$IS = 100(Rp - LRP)/Rp$	Schumm (1963)

Razão de textura (T)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P).	$T = Nt/P$ (km^{-1})	França (1968) Smith (1950)
Sinuosidade do rio principal (Sin)	Relação entre o comprimento do rio principal (R) e o perímetro do talvegue do rio principal (L_{RP}).	$Sin = R/LRP$	Schumm (1963)
Relevo			
Índice de rugosidade	Relação entre a variação da cota (ΔH) e a Densidade de drenagem (Dd).	$Ir = \Delta H * Dd$	Christofoletti (1969)
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a variação da cota (ΔH) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Rr = \Delta H/L$	Christofoletti (1969)

A caracterização foi realizada através de cálculos dos parâmetros físicos que relacionam as principais medidas da bacia por área de drenagem, perímetro da bacia, coeficiente de compactidade, fator de forma, razão de alongação e índice de circularidade.

Para as características da hidrografia, que relacionam as principais medidas da rede hidrográfica da bacia, foi determinado o ordenamento dos canais por hierarquia segundo Strahler (1957), a densidade de drenagem, a densidade hidrográfica, a sinuosidade do curso principal, o índice de sinuosidade, o perfil longitudinal e a declividade de álveo (S1, S2, S3 e S4).

As características do relevo, que relacionam as principais medidas do comportamento das altitudes e declividades na bacia, foram determinadas as curvas hipsométrica e de declividades (Villela e Mattos, 1975), o índice de rugosidade e a razão de relevo.

3. Resultados e discussão

A avaliação das características da bacia hidrográfica do rio Pontal permitiu a observação do comportamento espacial da altitude, através do modelo digital de elevação (MDE), e da declividade, pelo modelo digital de declividades (MDD), apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

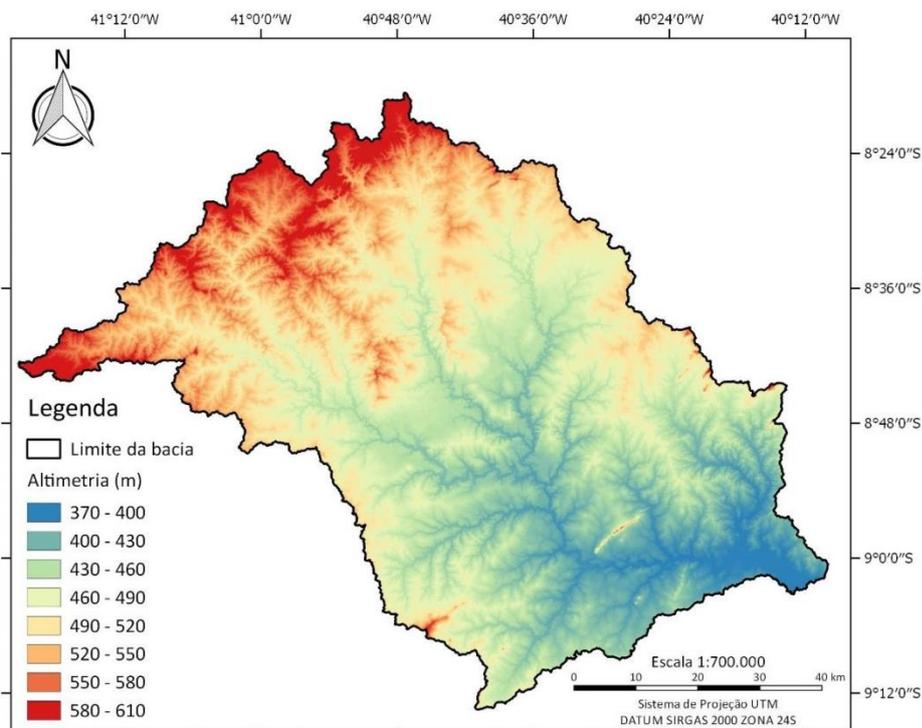


Figura 2. Representação do modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do rio Pontal, em Pernambuco.

Com a visualização da Figura 2, fica evidente a relação entre o modelo digital de elevação e a representação da rede de fluxo, o que possibilita a determinação de todas as conectividades a montante e

a jusante dos cursos d'água. Essa relação, que é implícita, foi complementada por Medeiros et al. (2009), onde relata que em cada célula da estrutura de um MDE contempla um micromapeamento da

direção de fluxo, o que torna possível e explícito a direção do fluxo de água para cada área estudada.

A altitude máxima da bacia (Amab) e Altitude mínima da bacia (Amib) foi de 598 m e 358 m, respectivamente. Dessa maneira, o valor encontrado para a amplitude altimétrica foi de 240 m,

o que indica que esta bacia possui um relevo de suave a plano. Essas características de amplitude pouco vão influenciar na quantidade de radiação que a bacia hidrográfica intercepta e por consequência na evapotranspiração, temperatura e precipitação (Benatti et al., 2015).

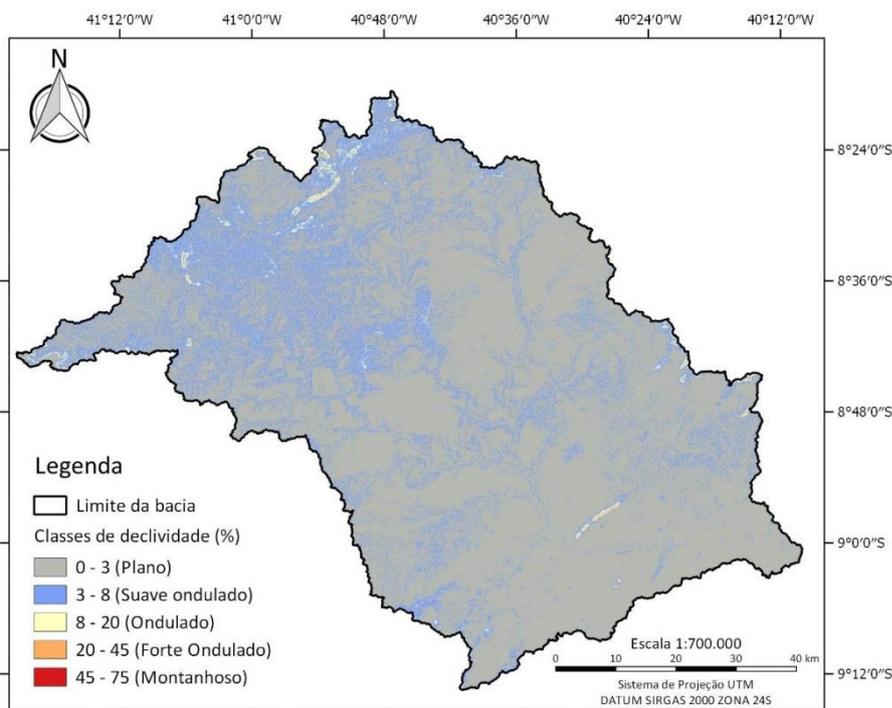


Figura 3. Representação do modelo digital de declividade da bacia hidrográfica do rio Pontal, em Pernambuco.

A partir do modelo digital de declividade observou-se que a declividade máxima foi de 56%, a declividade média foi de 4,45% e mais de 92% da área da bacia apresentou declividades menores que 8%. Os valores encontrados por Silva et al. (2012) foram pouco diferentes, sendo 48% e 3,3%, para a declividade máxima e média, e de 88,8% para as declividades inferiores a 6%. Desta forma caracteriza-se a bacia hidrográfica do rio Pontal com relevo de plano a suave ondulado.

Segundo Benatti et al. (2015), a declividade apresentada por uma bacia hidrográfica é um dos fatores que afeta consideravelmente a velocidade do escoamento superficial, reduzindo assim a infiltração da água no solo, que, em casos de ausência de cobertura vegetal e elevadas precipitações, potencializam o processo de erosão do solo e a ocorrência de enchentes. Apesar da bacia hidrográfica do rio Pontal conter uma larga variação no valor da declividade, não apresenta características para potencializar o escoamento superficial e todas as suas consequências negativas para o solo.

Abaixa diferença entre os valores de altimetria, como os visualizados, possibilita o favorecimento do escoamento mais lento. Existe predominância de classes de altitude de 460m e

declividade 4,45 % de inclinação, o que caracteriza um relevo do tipo suave ondulado, segundo a classificação da EMBRAPA (2009). A caracterização do relevo em valores de declividade por área é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Área das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Pontal, em Pernambuco.

Valor	Classes	Área (%)
0 – 3 %	Plano	47,13
3 – 8 %	Suave ondulado	45,05
8 – 20 %	Ondulado	7,19
20 – 45 %	Forte ondulado	0,60
45 – 75 %	Montanhoso	0,03

Em termos de índices morfométricos do relevo da bacia hidrográfica do rio Pontal, pode-se observar a caracterização na Tabela 3.

Tabela 3. Índices morfométricos de caracterização do relevo da bacia hidrográfica do rio Pontal, em Pernambuco.

Características de relevo	Valor
Altitude máxima da bacia (Amab)	598 m
Altitude média da bacia (Ameb)	460 m

Altitude mínima da bacia (Amib)	358 m
Declividade máxima da bacia (Dmab)	56,4 %
Declividade média da bacia (Dmab)	4,45 %
Declividade mínima da bacia (Dmib)	0,00 %
Índice de rugosidade (Ir)	101,70
Razão de relevo (Rr)	1,98 m m ⁻¹

Ressalta-se ainda que o relevo exerce influência no desenvolvimento do perfil do solo, nas respostas de deflúvio da precipitação e sua respectiva velocidade do escoamento superficial. Alves et al. (2016) ressalta que em regiões acima de 45% de declividade, o que possui apenas em 0,03% da bacia hidrográfica do rio Pontal, deve ser caracterizada como área de preservação, em conformidade com o novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651 (Brasil, 2012).

Os índices originários da caracterização geométrica da bacia hidrográfica do rio Pontal são apresentados na Tabela 4. Segundo Tucci (2009) uma característica de fundamental importância na definição da sua potencialidade hídrica e hidrológica é a área da bacia, sendo que quanto maior a área, menor a tendência de ocorrer picos de enchentes, devido ao tempo de escoamento para toda a bacia. Em estudo realizado por Flauzino et al. (2016), observou-se que esses dados são fundamentais para a contextualização do uso do solo. E a bacia hidrográfica do rio Pontal possui boas características para conservação da mesma.

Tabela 4. Índices morfométricos de classificação geométrica da Bacia Hidrográfica do Rio da Pontal, em Pernambuco.

Características geométricas	Valor
Área de drenagem (A)	6046,23 km ²
Perímetro (P)	484,82 km
Comprimento do eixo (L)	121,08 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,74 m/m ²
Fator de forma (Kf)	0,41 m/m
Razão de alongação (Re)	0,72
Índice de circularidade (IC)	0,32

Na bacia obteve-se um valor de área (A) de 6046,23 km², o que permite inferir que nas épocas de concentração pluviométrica pode ser gerado um grande volume de água, além de influenciar na característica de design dos corpos hídricos. O perímetro (P) da bacia hidrográfica do rio Pontal é de 484,82 km e pode auxiliar no entendimento de outras características, sendo representado pelo comprimento da linha sobre o divisor de água. Estudos realizados por Silva et al. (2012) na mesma bacia observou uma área de 6057,0 km² e o P de 464,0 km, e a diferença

entre os valores pode estar associado ao tipo de software utilizado para a análise da imagem SRTM.

O valor de comprimento do eixo principal da bacia hidrográfica (L) foi de 121,08 km e pode permitir um conhecimento da forma da bacia se esta é mais alongada ou circular, quando associado a outras características.

Através da obtenção do coeficiente de compacidade (Kc), 1,74, pode-se a bacia hidrográfica do rio Pontal pode ser classificada com pouca suscetibilidade a enchentes em condições médias de precipitação, essa caracterização é explicada em virtude do Kc apresentar o valor afastado do unitário (Lima, 1969).

Quanto ao fator de forma (Kf), com valor de 0,41 m m⁻¹, observa-se que esta bacia hidrográfica tem pouca circularidade e pequena possibilidade de gerar enchentes, segundo a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), definindo que quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas.

A caracterização do Kf pode ser complementada com a Re e o IC, sendo 0,72 e 0,32 respectivamente para a bacia hidrográfica do rio Pontal. Esses índices indicam que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada, corroborando com o valor do índice Kf. Esses mesmos resultados foram observados por Andrade et al. (2008) para a bacia hidrográfica do rio Manso-MT, definindo como pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação.

Os índices morfométricos de caracterização hidrográfica são apresentados na Tabela 5. As principais medidas da drenagem da bacia hidrográfica do rio Pontal são comprimento do rio principal de 178,62 km, o comprimento do talvegue do rio principal de 116 km.

Pode-se verificar também um quantitativo de 2562,15 km de Comprimento da rede de drenagem em toda a extensão da bacia, e 1340 unidades de seguimentos de córregos d'água. Essa quantificação vai influenciar diretamente nas características de Densidade de drenagem (Dd), Densidade hidrográfica (Dh) e Razão de textura (T).

Essas características são reforçadas pelos baixos valores encontrados para Dd e Dh da bacia. De forma similar a sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim-Açu (Rocha et al., 2014), em condições normais de precipitação, a bacia hidrográfica do rio Pontal é pouco susceptível a enchentes e não está sujeita a inundações.

Observa-se que o sistema de drenagem da bacia hidrográfica do rio Pontal é do tipo dendrítica de acordo com a classificação de Christofolletti (1979) e a ordem da bacia é 6°, de acordo com a

classificação de Strahler (1957). E pode-se visualizar

estas características na Figura 4.

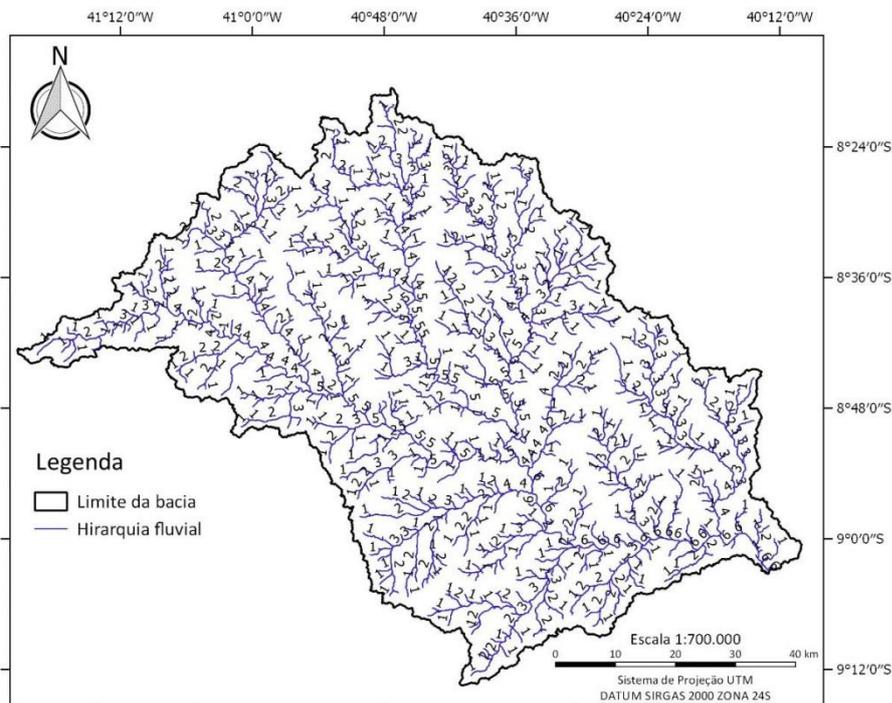


Figura 4. Representação da rede de drenagem e a hierarquia dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Pontal, em Pernambuco.

A Dd foi de $0,42 \text{ km km}^2$, representando a melhor indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. E para esta bacia verifica-se um sistema com drenagem baixa, que segundo Fraga (2014), possui uma maior superfície de contribuição em relação à quantidade de canais. De forma semelhante a Dd, a Dh também foi caracterizada, seguindo o parâmetro de Christofolletti (1969), como um baixo número de canais de primeira ordem por km. Verifica-se mais uma vez que os valores encontrados Silva et al. (2012) são numericamente diferentes, porém correspondem a mesma característica de classificação. Os valores de Dd igual a 0,34 e de Dh igual a 0,12, estes valores estão associados ao limiar utilizado na extração dos fluxos de drenagem nas imagens de SRTM.

Diante das observações de Dd e Dh, de maneira contrária pode-se observar a Razão de Textura (T), com um valor de $2,76 \text{ km}^{-1}$. Essa característica indica um maior número de canais no terreno, porém com baixos valores de razão de bifurcação que são justificados pela Dd e Dh.

Quando observado o valor de Sinuosidade (Sin) do rio principal, que constitui um fator controlador da velocidade de escoamento, $\text{Sin} = 1,53$, verifica-se que é classificado como corpo hídrico com poucas irregularidades segundo a classificação de Schumm (1963). Sendo que os valores superiores a 2,0 estão ligados a canais tortuosos. Essa característica possibilita uma interpretação quanto ao

tempo de retenção de água, assim permitindo inferir que este é próximo aos canais que tem um padrão retilíneo.

Cota média do álveo é 414,5 m (marcado na Figura 5), os valores de declividade média de álveo, S1 ($0,00134 \text{ m m}^{-1}$), S2 ($0,00096 \text{ m m}^{-1}$), S3 ($0,00076 \text{ m m}^{-1}$) e S4 ($0,00107 \text{ m m}^{-1}$), possibilitam a verificação das variações da declividade no curso d'água do canal principal, o que é evidenciado pela Figura 5. O maior valor de álveo é de S1, indicando que as maiores variações de declividade estão associadas quando se considera todo o comprimento formado pelo canal principal e sua variação de altimétrica. O valor de S3 indica pouca declividade quando realizado pelo processo de setorização. Resultados semelhantes, de baixa declividade por setorização da bacia, foi identificada por Coutinho et al. (2011).

Com a observação dos mapas hipsométricos da bacia hidrográfica do rio Pontal, constata-se que índice de dissecação de um relevo e o nível de interferência nos processos erosivos são baixos. Segundo Vieira et al. (2012), estas características estão associados ao escoamento superficial das águas e diretamente relacionadas as declividades. Esses resultados foram obtidos por Porto et al. (2013) para bacia hidrográfica em São Paulo, com a finalidade de possibilidades de armazenamento de água.

Caracterização da bacia hidrográfica do rio Pontal é um dos aspectos vitais para o planejamento de

escoamento superficial e execução do desenvolvimento do Projeto do Perímetro Irrigado do Pontal, a ser instalado em um futuro breve. Além de

permitir a compreensão da geomorfologia da bacia, como proposto por Trentin et al. (2013).

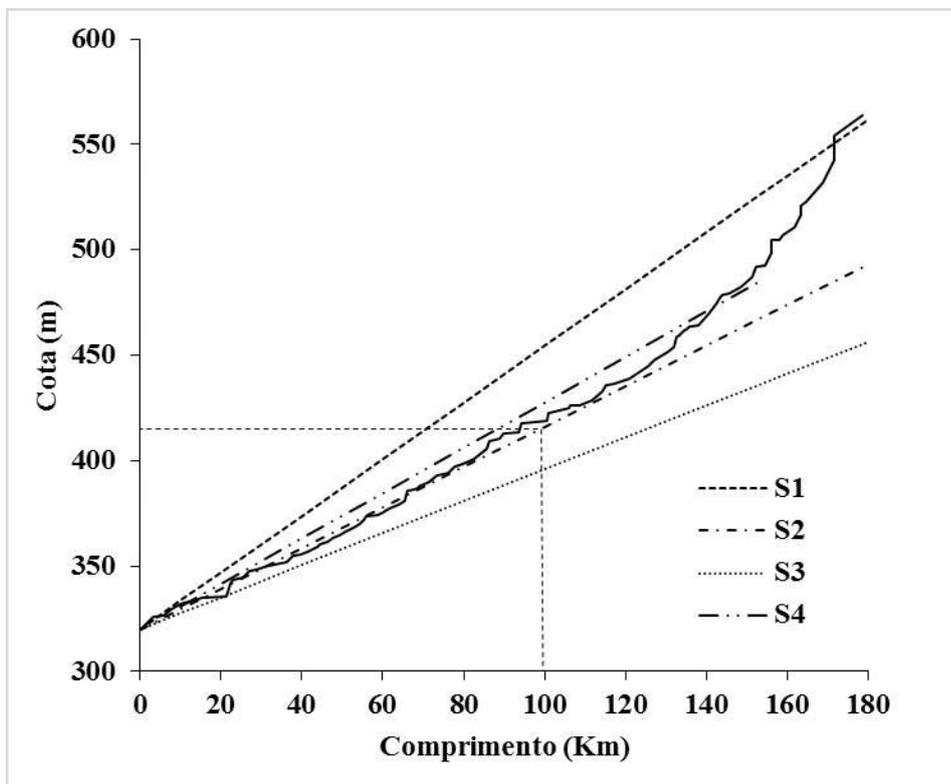


Figura 5. Representação das formas de declividade do álveo.

4. Conclusões

A baixa declividade de 4,42%, permitem inferir que o solo tem uma condição favorável a uma maior infiltração da água de precipitação e menor escoamento superficial da água.

Os índices Kc, Ic, Kf e Dd calculados indicam que a área apresenta uma baixa tendência a enchentes.

Por ser uma bacia hidrográfica de relevância agrícola para a região, faz-se necessário estudos de uso para aptidão agrícola detalhado e o levantamento da qualidade da água.

Os softwares livres se mostraram uma ferramenta eficiente no que diz respeito à obtenção das características morfométricas da bacia, de uma forma simples e automatizada, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos. A razão pela qual se mostra uma alternativa prática e viável é minimização custos e tempo, usando apenas dados SRTM e softwares livres.

Referências

Alves, W.S., Scopel, I., Perini, A.M., Morais, W.A., 2016. Análise morfométrica da bacia do Ribeirão das Abóboras, Rio Verde (GO). *Revista de Geociências* 35, 652-667.

Andrade, N.L.R., Xavier, F.V., Alves, E.C.R.F., Silveira, A., Oliveira, C.R., 2008. Caracterização morfométrica e pluviométrica da Bacia do Rio Manso - MT. *Revista de Geociências* 27, 237-248.

Benatti, D.P., Tonello, K.C., Faria, L.C., Leite, E.C., 2015. Morfometria, uso e ocupação do solo de uma microbacia em Sete Barras, São Paulo. *Irriga* 20, 21-32.

Brasil. Presidência da República, 2012. Lei 2.651. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília

Christofoletti, A., 1969. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfologia* 18, 35-64.

Coutinho, L.M., Cecílio, R.A., Xavier, A.L., Zanetti, S.S., Garcia, G.O.G., 2011. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo, ES. *Irriga* 16, 369-381.

Elesbon, A.A.A., Guedes, H.A.S., Silva, D.D., Oliveira, I.C., 2011. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. *Revista Escola de Minas* 64, 281-288.

Embrapa, 2009. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa, Rio de Janeiro.

- Falorni, G., Teles, V., Vivoni, E.R., Bras, R.L., Amaratunga, K.S., 2005. Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission. *Journal of Geophysical Research* 110, 1-20.
- Flauzino, B.K., Melloni, E.G.P., Pons, N.A.D., Lima, O., 2016. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. *Revista de Geociências* 35, 277-287.
- Fraga, M.S., Ferreira, R.G., Silva, F.B., Vieira, N.A.P., Silva, D.P., Barros, F.M., Martins, I.S.B., 2014. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. *Nativa* 2, 114-118.
- França, G.V., 1968. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba., pp.151 Tese (Doutorado). Piracicaba, ESALQ.
- Guedes, H.A.S., Silva, D.D., 2012. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. *Engenharia Agrícola* 32, 932-943.
- Gurugnanam. B, Kalaivanan. K.V., 2014. Level Detailed Relief Map Preparation Using SRTM Data and GIS in Kolli Hill, Tamil Nadu, India. *International Journal of Scientific Research* 3, 9.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull Geol Soc Amer* 5, 275-370.
- Lima, W.P., 1969. Manejo de Bacias Hidrográficas. ESALQ, Piracicaba.
- Medeiros, L.C., Ferreira, N.C., Ferreira, L.G., 2009. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para delimitação Automática de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia* 61, 1-14.
- Miller, V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Technical Report 3.
- Oliveira, P.T.S., Sobrinho T.A., Steffen, J.L., Rodrigues D.B.B., 2010. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 819-825.
- Pareta, K., Pareta, U., 2011. Quantitative Morphometric Analysis of a Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS, *International Journal of Geomatics and Geosciences* 2, 248-269.
- Porto, D.R., Pellegrini, P.S., Etchebehere, M.L.C., Saad, A.R., 2013. Análise morfotectônica da bacia hidrográfica do rio Aguapeí, Planalto Ocidental Paulista, mediante fluviomorfometria e fotointerpretação. *Revista de Geociências* 32, 2, 227-246.
- Rennó, C.D., Nobre, A.D., Cuartas, L.A., Soares, J.V., Hodnett, M.G., Tomasella, J., Waterloo, M.J.H., 2008. A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment* 112, 3469-3481.
- Rocha, R.M., Lucas, A.A.T., Almeida, C.A.P., Menezes Neto, E.L., Aguiar Netto, A.O., 2014. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente Água* 2, 276-287.
- Rodrigues, F., Werlang, M.K., 2011. Avaliação do estágio de evolução do relevo em pequenas bacias hidrográficas no sudoeste do município de São Pedro do Sul, RS. *Ciência e Natura* 33, 133-144.
- Rodriguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E., 2006. A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72, 249-260.
- Santos, D.B., Vidotto, M.L., Bertinatto, R., Marcon, G.R.S., Frigo, E.P., 2012. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias* 5, 7-18.
- Schumm, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin* 74, 1089-1100.
- Silva, M.T., Silva, V.P.R., Sousa E.P., Oliveira, S.D., 2012. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 3, 646-660.
- Smith, K.G., 1950. Standars for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science* 248, 655- 668.
- Sreedevi, P.D., Sreekanth, P.D., Ahmed, S., Khan, H.H., 2013. Drainage morphometry and its influence on hydrology in an semi arid region: using SRTM data and GIS. *Environmental Earth Sciences* 70, 839-848.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union* 38, 913-920.
- Tonello, K.C., Dias, H.C.T., Souza, A.L., Ribeiro, C.A.A.S., Leite, F.P., 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. *Revista Árvore* 30, 15-31.
- Trentin, R., Robaina, L.E.S., Scoti, A.A.V., 2013. Mapeamento geomorfológico do município de Manoel Viana- Oeste do Rio Grande do Sul-Brasil. *Revista de Geociências* 32, 333-345.
- Tucci, C.E.M., 2009. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre.

Vieira, D.M.S., Torres, J.L.R., Oliveira, L.M.,
Gonçalves, O.R., Oliveira, M.A., 2012.
Morfometria e qualidade da água da microbacia
do córrego do Sapecado, afluente do rio Uberaba.
Global Science and Technology 5, 11-22.
Vilella, S.M., Mattos, A., 1975. Hidrologia Aplicada.

Mc Graw-Hill do Brasil, São Paulo.
Zanata, M., Pissarra, T.C.T., Arraes, C.L., Rodrigues,
F.M., Campos, S., 2011. Influência da escala na
análise morfométrica de microbacias
hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia
Agrícola e Ambiental 15, 1062-1067.