http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index
DOI: 10.5747/ce.2019.v11.n3.e286
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 19/08/2019 Revisado: 19/09/2019 Aceito: 22/08/2019

CONTRIBUIÇÕES DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA A ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO/SP

CONTRIBUTIONS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING TO THE ENVIROMENTAL ANALYSYS OF BASIN HYDROGRAPIC OF RIO PARDO/SP

Fernando Henrique Vidal França, Danilo Ribeiro

Universidade Estadual Paulista – UNESP
E-mail: fernandoengamb@yahoo.com.br

RESUMO – O estudo sobre os fenômenos hidrológicos se constitui numa fonte importante de informações sobre o comportamento da água, fornecendo valiosos subsídios para a gestão dos recursos hídricos, nas escalas local, regional e global. No presente trabalho foi realizada uma análise análise crítico-construtiva dos produtos gerados por meio do processamento digital de imagens de satélite da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, na região da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos-04 do Estado de São Paulo. A análise dos mapas temáticos elaborados demonstrou como principal atributo da área delimitada para estudo o fato da maior parte de seu território ser composto por áreas de relevo planas ou suavemente onduladas, e ainda sub-bacias que apresentam elevadas declividades, combinação responsável por influenciar diretamente na acumulação da vazão de seus recursos hídricos, o que favorece expressivamente os potenciais regionais de produção de energia, agropecuário, industrial e comercial.
Palavras-chave: hidrologia; processamento digital de imagens; análise ambiental; recursos hídricos

ABSTRACT – The study of hydrological phenomena is an important source of information about the water behavior, providing valuable subsidies for water resources management at local, regional and global scales. In the present work, was performed a critical-constructive analysis of the products generated by digital satellite image processing of the Basin Hydrographic of Pardo, in the region of the Water Resources Management Unit-04 of the State of São Paulo. The analysis of the elaborated thematic maps demonstrated as main attribute of the delimited area for study the fact that most of its territory is composed of flat or gently undulating relief areas, as well as sub-basins that present high slopes, a combination responsible for directly influencing the accumulation of the flow of its water resources, which significantly

favors the regional potentials of energy production, agricultural, industrial and commercial.
Keywords: hydrology; digital image processing; environmental analysis; water resources

1. INTRODUÇÃO

A investigação sobre os diversos fenômenos hidrológicos de uma determinada área de estudo possibilita uma ampla variedade de informações qualitativas e quantitativas acerca do comportamento da água contribuindo para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos de uma região.

O estudo das águas associado com os fenômenos climáticos resulta em análises acerca dos diversos tipos de precipitações, das temporadas mais secas e mais chuvosas, bem como na prevenção de eventos catastróficos. Pela integração entre hidrologia e estudos de solos e vegetação podem ser obtidos dados sobre a devolução da água ao sistema, por meio da evapotranspiração, assim como a capacidade de armazenamento de água no solo ou as zonas de recarga do nível freático (LIMA, 2008).

Também outros aspectos importantes podem ser alcançados no relacionamento das características hidrológicas de um determinado local com suas características geológicas e topográficos, respondendo importantes questões relativas às bacias hidrográficas (LIMA, 1976).

Tanto estes exemplos são verossímeis que a declividade dos terrenos da bacia hidrográfica é determinante na velocidade do escoamento da água pela superfície, condicionando o tempo de concentração da bacia, pois quanto maior for a declividade da bacia, menor será o tempo de concentração e maior será o pico de uma vazão de cheia para uma dada chuva. Além disso, a declividade da bacia também influencia na capacidade de infiltração do solo, pois menores velocidades de escoamento propiciam maiores oportunidades de infiltração das águas precipitadas (PORTO, 2012).

Nessa perspectiva, a gama de ramificações da Hidrologia fornece valiosos subsídios para a gestão adequada dos recursos hídricos, nas escalas local, regional e global, sendo tais estudos imprescindíveis para elaborar planos, projetos e dar suporte às decisões diante da atual conjuntura hídrica.

Assim, dando ênfase aos aspectos hidrológicos relacionados ao relevo, que influenciam, direta e indiretamente, o comportamento dos cursos de água presentes em uma bacia hidrográfica ou em um conjunto delas, para o estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (na região da UGRHI-04), o presente trabalho apresentou como objetivo principal a análise crítico-construtiva dos produtos gerados por meio do processamento digital de imagens da localidade.

2. METODOLOGIA

Para que os objetivos propostos fossem alcançados, primeiramente foi efetuada uma pesquisa sobre a área de estudo, sendo as principais informações para a devida caracterização objetiva obtidas no sítio eletrônico do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH), bem como na Tese de Doutorado em Geografia de Celarino defendida em 2015.

Em um segundo momento, foi realizado, com o auxílio da interface elaborada por Derek Watkins, o download de 38 (trinta e oito) imagens de satélite resolução espacial de 30 (trinta) metros, disponibilizadas pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no repositório Earthdata, sendo tais imagens constantes do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), relacionado a pesquisas sobre a representação de elementos da superfície terrestre por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Após a obtenção do conjunto de imagens, por meio da composição destas, foi elaborado um mosaico em um único arquivo *raster*. Por sua vez, utilizando-se de um arquivo *shapefile* com a delimitação de todas as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI), foi obtido o recorte da imagem SRTM30 da UGRHI-04, relativa à Bacia Hidrográfica do

Rio Pardo, contendo dados de elevação da localidade delimitada.

Para o tratamento das referidas imagens e a geração de mapas temáticos, foi utilizado o QGIS, software livre de geoprocessamento, em sua versão 2.18.

O processamento do modelo digital de elevação da UGRHI-04 foi realizado por meio da ferramenta GRASS, versão 7.4.1, um complemento instalado no software QGIS, sendo adotadas as seguintes técnicas:

a) aplicação da função "r.watershed", utilizando como entrada o arquivo com o recorte do MDE da UGRHI-04, gerando 4 tipos de imagem (delimitação de sub-bacias, direções de fluxo, rede de drenagem; e fluxo acumulado);

b) aplicação da função "r.slope", também utilizando como entrada o arquivo com o recorte do MDE da UGRHI-04, gerando como produto uma imagem da declividade da bacia, com dados expressos em porcentagem;

c) utilização da ferramenta "r.reclass", tendo como dado de entrada a imagem de declividade (item b), realizando, a reclassificação da imagem *raster* de acordo com regras preestabelecidas, adotando-se como parâmetro a regra de classificação de declividade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), largamente utilizada para esse fim;

d) utilização da ferramenta 'r.report', tendo como dado de entrada a imagem reclassificada da declividade (item c), obtendo-se, como resultado, a área de cada uma das classes de declividade encontradas na imagem.

Para cada uma das imagens geradas, foi escolhida uma representação gráfica (estilo), com cores diversificadas, à critério dos autores, para melhor análise e compreensão dos produtos elaborados.

Ao final, utilizando-se do Compositor de Impressão do QGIS, as imagens processadas foram transformadas em 7 (sete) mapas temáticos, sendo estes devidamente organizados para fins de apresentação e discussão sobre a situação da bacia hidrográfica em análise.

2.1. Caracterização da Área de Estudo

O Rio Pardo, afluente de margem esquerda do Rio Grande, banha os Estados de Minas Gerais e São Paulo, localizando-se sua nascente no estado mineiro, em Ipuiúna/MG. Após passar pela Serra do Cervo e o município de Botelhos/MG, adentra ao Estado paulista pelo município de Caconde, avançando rumo a noroeste, e após sua passagem por Barretos/SP, desemboca no Rio Grande, divisa entre o norte de São Paulo e o oeste de Minas Gerais, tendo um curso total aproximado de 573 km, sendo boa parte do volume de sua água proveniente do Rio Mojiguaçu, após a sua junção com este no município de Pontal (IPUIÚNA, 2019).

Na região de sua nascente, denominada de Alto Pardo, predominam os processos erosivos e a formação de planícies fluviais é bastante limitada em função da elevada declividade, porém, sendo este um motivo pelo qual o rio Pardo tem grande aproveitamento hidroelétrico, sendo constituído pelas represas Euclides da Cunha, Limoeiro e Caconde.

Já em sua região intermediária, esta situada no Estado de São Paulo, apresenta características de vales menos entalhados e maiores dimensões interfluviais, além de uma diminuição da declividade e da velocidade da água nos canais, promovendo maior transporte de sedimentos em suspensão, tendo alguns trechos canais bastante sinuosos, sendo comum a morfologia meandrante em seus tributários (CELARINO, 2015).

Seu curso final, denominado de Baixo Pardo, é uma região que possui vastas áreas com baixas declividades, grandes dimensões interfluviais e vales pouco entalhados, cujas planícies fluviais são extensas alcançando alguns quilômetros de espessura, sendo formados terraços fluviais, os quais são totalmente ocupados pela cultura da cana de açúcar na atualidade. Seus canais tributários são pouco sinuosos e o principal é por vezes

retilíneo, há a formação irregular de planícies fluviais em função dos depósitos em barras laterais, ocupados por vegetação em quase sua totalidade (CELARINO, 2015).

A área total drenada da bacia é de 17.860 km^2, sendo sua densidade de drenagem de 1,19km/km^2 e a descarga média anual no Rio Grande de aproximadamente 500m^3/s. A referida bacia abrange 51 municípios, dos quais os mais populosos são Poços de Caldas/MG e Ribeirão Preto/SP, sendo sua população total estimada pelo IBGE em 2007 de 1.988.078 pessoas. Em São Paulo, segundo a divisão hidrográfica estadual (Lei Estadual n.º 9.034/94), o Rio Pardo integra a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 4 (UGRHI-04), apresentada na Figura 1, cuja área de drenagem é de 8.993km^2 distribuída nos 27 municípios que integram o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (SIGRH, 2019).

Figura 1. Divisão Hidrográfica de São Paulo.



Fonte: CPTI, 2008 (adaptada).

Na área da UGRHI-04, a economia tem suas bases na agropecuária, na indústria, no comércio e na prestação de serviços consolidados na região de Ribeirão Preto/SP, tendo destaque na agropecuária as culturas de cana-de-açúcar e laranja, além das pastagens, e áreas de culturas irrigadas com importância econômica e na demanda por água, tais como cebola, batata e milho (SIGRH, 2019).

3. RESULTADOS

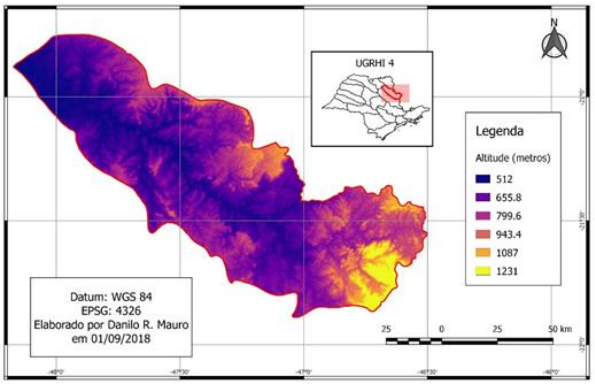
Os resultados a seguir apresentados são derivados do processamento digital das imagens SRTM30 obtidas, sendo os 7 (sete) mapas temáticos gerados com a utilização do software QGIS, versão 2.18.

A Figura 2 apresenta o Modelo Digital de Elevação (MDE), também denominado de Modelo Digital de Terreno (MDT), na qual são apresentados os dados sobre as elevações do terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

Observa-se que as principais elevações da bacia, destacadas na cor amarela, estão localizadas em sua porção sudeste, ultrapassando os 1000m de altitude, e ainda, que no exutório principal da bacia, as altitudes estão na casa dos 500m.

As regiões destacadas na cor azul correspondem às menores elevações da bacia, notadamente os fundos de vale, onde estão localizados os cursos de água, estando também nitidamente identificados o trajeto do Rio Pardo, quando adentra o Estado paulista na porção leste da bacia, oriundo do Estado de Minas Gerais, correndo no sentido noroeste, bem como o trajeto de seus afluentes.

Figura 2. Modelo Digital de Elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.



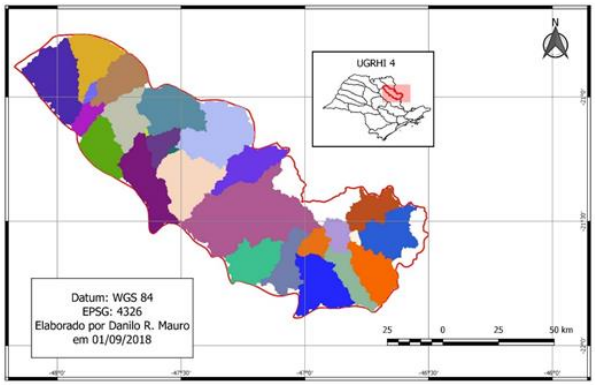
Já na Figura 3 são apresentadas as 24 sub-bacias hidrográficas que formam a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, sendo tais sub-bacias definidas por parâmetros inseridos pelo usuário no software de processamento, dentre os quais sobressaem aqueles relacionados às elevações, bem como os de delimitação do tamanho das células, o qual

se constitui como importante tendo em vista que valores muito elevados relativos ao tamanho das células gera um conjunto menor de sub-bacias, enquanto um tamanho menor de células leva a um número maior de sub-bacias.

Para o caso concreto da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (na região da UGRHI-04), após alguns testes iniciais, definiu-se o valor do tamanho de células como 6.000 unidades, dando-se prosseguimento ao processamento digital da imagem. Tendo em vista que as imagens SRTM30 possuem resolução espacial de 30m, cada unidade (ou pixel) da imagem corresponde a uma área de 900m² ou 0,09km², e assim, 6.000 pixels correspondem a uma área de 540km², significando, em termos práticos, que a maior sub-bacia obtida tem, no máximo, essa área de drenagem.

As regiões na coloração branca no mapa, analisadas conjuntamente com o mapa temático sobre o fluxo de drenagem da bacia (Figura 4), evidenciam áreas que contribuem a bacias hidrográficas pertencentes a outras unidades de gerenciamento paulistas, bem como a bacias pertencentes ao estado mineiro.

Figura 3. Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

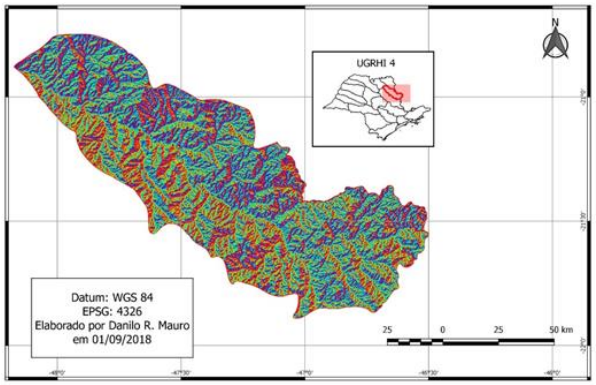


Por sua vez, a Figura 4 demonstra as direções de fluxo de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI-04), sendo a imagem *raster* de direção de fluxo (ou direção de drenagem) gerada a partir do MDE (ou MDT), pixel a pixel, ou seja, o valor de elevação de cada célula é comparado com suas 8 (oito) células vizinhas.

Assim, a direção do fluxo é então determinada para a célula com maior desnível em relação à célula central de referência, podendo esta direção ser norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste ou noroeste.

Conforme dito anteriormente, o Rio Pardo, ao adentrar a UGRHI-04, oriundo de Minas Gerais, recebe seus afluentes e segue no sentido noroeste, até alcançar seu exutório. Pode-se ainda observar que, pela margem direita do Rio Pardo, a direção preferencial de fluxo é para o sudeste, contrariamente à sua margem esquerda, cuja direção principal de drenagem é no sentido nordeste.

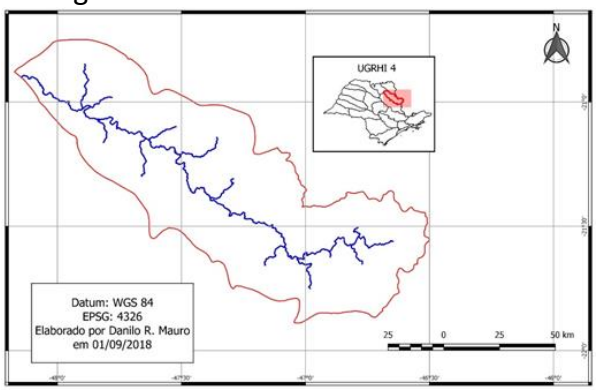
Figura 4. Fluxo de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.



A Figura 5 apresenta o quarto produto gerado pelo processamento da imagem *raster* do MDE da área em estudo, a saber a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI-04).

É possível observar que os principais contribuintes do Rio Pardo se distribuem de maneira uniforme pelas suas margens direita (norte) e esquerda (sul), dentre os destacam-se o Rio Velho, o Rio Mojiguaçu, o Rio Tambaú e o Rio do Peixe (pela margem sul) e o Rio Cubatão e o Rio Araraquara (pela margem norte).

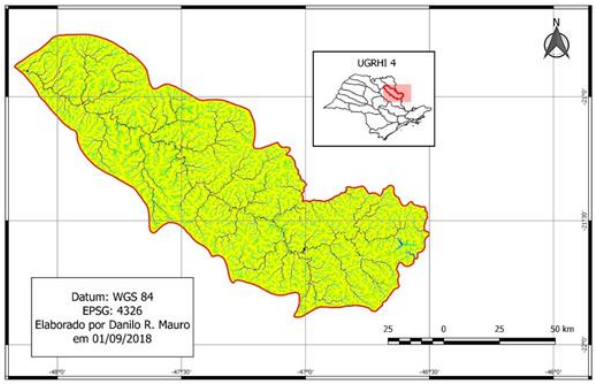
Figura 5. Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.



A partir do *raster* de direção de fluxo de drenagem (Figura 5), é gerado o mapa temático apresentado na Figura 6 sobre o fluxo acumulado da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI-04), podendo o fluxo acumulado ser entendido como o grau de confluência do escoamento da bacia, ou seja, a maneira como os cursos de água recebem a contribuição de seus afluentes e subafluentes.

Os corpos de água são representados pela cor azul e as nascentes por tons mais claros, sendo que, conforme os pontos de confluência são atingidos, vão sendo mostrados tons mais escuros, até se atingir o exutório. Observa-se que a bacia em estudo possui uma ampla gama de cursos de água, motivo pelo qual surgem com brevidade tons mais escuros.

Figura 6. Fluxo Acumulado da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

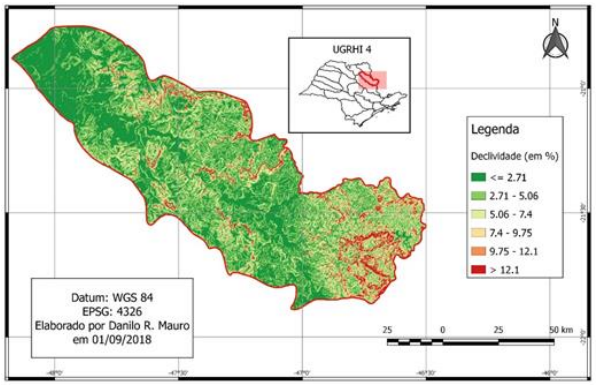


Na Figura 7 é apresentado um dos principais produtos capazes de ser extraído de um MDE: a carta de declividade. O software de geoprocessamento faz uma classificação prévia das principais porcentagens de declividade encontradas na tabela de atributos do arquivo *raster* gerando uma imagem contendo dados da declividade do terreno, em porcentagem.

Quanto maior a porcentagem de declividade, maior a inclinação do terreno, ou seja, maior é a relação entre a diferença de altura entre dois pontos em relação a um mesmo plano horizontal.

No recorte geográfico delimitado, observa-se que as maiores declividades são encontradas na área de influência da cabeceira do Rio Pardo, na porção mais a leste da bacia, alcançando valores superiores a 12% de inclinação, sendo que, conforme o rio vai recebendo seus afluentes, a bacia vai ficando mais plana, com valores de declividade compreendidos entre 2% e 7%.

Figura 7. Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.



Visando facilitar a interpretação de cartas de declividade pelo estabelecimento de relações entre percentuais de declividade e formas de relevo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), como um dos produtos de uma reunião técnica sobre levantamento de solos realizada em 1979, , definiu 6 (seis) classes de declividade em associação com o relevo como mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Classificação da Declividade

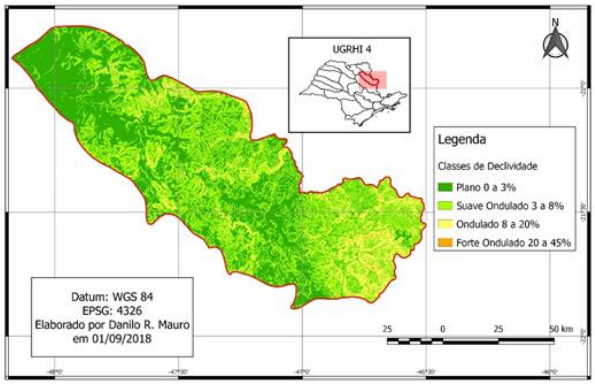
Declividade	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA, 1979.

Tendo por base a consagrada classificação da EMBRAPA, foi realizada a reclassificação da declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI-04) de acordo com as regras expostas no quadro apresentado, obtendo-se como o resultado o mapa temático constante da Figura 8.

Percebe-se a predominância das baixas declividades na bacia, principalmente as classes de relevo plano e suave ondulado, existindo também, em menor quantidade, áreas de relevo ondulado e pouquíssimas áreas fortemente onduladas, observadas mais próximas da cabeceira do Rio Pardo e nas áreas de vertentes das suas sub-bacias.

Figura 8. Classes de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.



No intuito de contribuir ainda mais com a compreensão corroborando com a análise visual, foram calculadas, por meio da ferramenta GRASS do software QGIS, as áreas de cada uma das classes de declividade da bacia, sendo os cálculos apresentados no Quadro 2, confirmando a predominância dos relevos plano e suavemente ondulado, os quais somados correspondem a mais de 89% da área em análise.

Quadro 2. Classificação da Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

Declividade (%)	Área (km^2)	%
0 – 3 (Plano)	4.083,3	46,2 %
3 – 8 (Suavemente ondulado)	3.817,8	43,3 %
8 – 20 (Ondulado)	897,4	10,2 %
20 – 45 (Fortemente ondulado)	27,1	0,3%
Total	**8.826,6**	**100%**

4. DISCUSSÃO

Depreende-se da análise dos produtos gerados relativos à Bacia Hidrográfica do Rio Pardo informações importantes para a gestão de seus recursos hídricos. Em primeiro lugar, se constata pelo mapa temático referente ao Modelo Digital de Elevação (Figura 2) que há bastante desnível das cotas da bacia, confirmando a indicação de seu potencial para a produção de energia elétrica, por meio de pequenas centrais ou até mesmo de usinas hidrelétricas.

Outra informação relevante, que corrobora com a observação anterior sobre o potencial regional, se infere da análise do mapa temático sobre o fluxo acumulado (Figura 6), o qual evidencia que a bacia, em virtude de suas declividades e peculiaridades em relação ao relevo, acumula vazão desde a sua cabeceira devido às altas declividades das sub-bacias que a compõe.

Já da análise dos mapas temáticos sobre a declividade e as classes de declividade da bacia (Figuras 7 e 8, respectivamente), decorre a observação de que, dada as altas porcentagens de declividade associadas a relevos planos ou suavemente ondulados, não é de se estranhar também os potenciais agropecuário, industrial e comercial da região, impulsionado grandemente pela condição do relevo e por uma boa disponibilidade hídrica.

Como desdobramento deste trabalho, recomenda-se um estudo mais detalhado sobre o uso e ocupação do solo e a fragilidade ambiental das áreas identificadas com

declividades superiores a 8%, relativas às categorias de relevo ondulado e fortemente ondulado, nas quais estão concentradas as vertentes da bacia, sendo também indicados estudos relativos à sazonalidade e à variabilidade hidrológica da região, no intuito de uma investigação mais aprofundada, inclusive de suas sub-bacias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi demonstrado pelos mapas temáticos elaborados a partir de imagens de satélite que a área delimitada para estudo apresenta, como principal atributo o fato da maior parte de seu território ser composto por áreas de relevo planas ou suavemente onduladas, característica esta que, combinada com as altas declividades de suas sub-bacias, que influencia diretamente na acumulação da vazão de seus recursos hídricos, sendo esta informação de grande relevância e oportuna para a gestão da água e o planejamento das atividades que visam o desenvolvimento regional da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos especialmente aos docentes do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente, professores Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli e Dr. Rodrigo Lilla Manzione, pelas orientações e contribuições que enriqueceram expressivamente este trabalho.

REFERÊNCIAS

CELARINO, A. L. S. **O quaternário tardio na Bacia do Rio Pardo (MG e SP):** análises morfométricas e evidências paleoambientais preservadas em solos e sedimentos de planícies fluviais. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Campinas, Campinas, 2015.

CPTI – Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pardo (UGRHI-04).** Relatório Técnico n.º 401/08. São Paulo: CPTI, 2008. 370 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Rio de Janeiro: 1979. 83 p.

IPUIÚNA – PREFEITURA MUNICIPAL DE IPUIÚNA. **Rio Pardo, uma paixão.** Histórias do Município. Disponível em: http://ipuiuna.mg.gov.br/rio-pardo-uma-paixao/. Acesso em: 2 set. 18.

LIMA, W. P. **Princípios de Manejo de Bacias Hidrográficas.** Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba: ESALQ/USP, 1976.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008.

PORTO, R. L (org.). **Fundamentos para a Gestão da Água.** São Paulo: FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos; SMA – Secretaria de Meio Ambiente, 2012. 23 2p. Disponível em: ohttps://www.ambiente.sp.gov.br/publicacoes. Acesso em: 28 ago. 2018.

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **CBH-PARDO.** Portal do SigRH. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpardo/apresentacao. Acesso em: 31 ago. 18.