

Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de Cerrado

Érika Gonçalves Pires¹
Laura de Simone Borma²

¹ Universidade Federal do Tocantins - UFT, Instituto Federal do Tocantins - IFTO
Av. NS 15, ALCNO 14, Estação Experimental, 77020-120 - Palmas – TO, Brasil
Av. NS-10, AE 310 Sul, 77021-090- Palmas – TO, Brasil
erikapires@ifto.edu.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
laura.borma@inpe.br

Abstract. This paper shows the application of HAND model in a watershed located in Cerrado environment, in a macro and micro scale. HAND model was applied using different thresholds and the results were classified according to four classes with hydrological significance. The HAND was calibrated based on the drainage network and the measurements performed in the groundwater field. In the small watershed 26 piezometers were installed throughout the basin for groundwater monitoring. The HAND model showed viable to represent the basin drainage, located in Cerrado environment, with most areas with high altitudes compared to the hydrography of the ANA. A problem was that in some regions the length of the drainage was less than the real, defining points of source in inappropriate places, but it's a small error if we consider the magnitude of the watershed.

Palavras-chave: Watershed, HAND model, drainage, groundwater level, bacia hidrográfica, modelo HAND, drenagem, nível lençol freático.

1. Introdução

A determinação da altitude é um problema clássico que remonta aos princípios da topografia e geodésia, e por ser o seu conhecimento de fundamental importância no desenvolvimento de diversos trabalhos que buscam otimizar os processos para sua obtenção. Os dados altimétricos provenientes de modelos topográficos são imprescindíveis em várias atividades: planejamento urbano, estudos hidrológicos, agricultura, etc.

Atualmente o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) tem sido o dado mais utilizado para representar o relevo de uma determinada região, a partir da obtenção do Modelo Digital do Terreno (MDT).

O SRTM circula o globo terrestre, cobrindo todas as regiões tropicais e muito mais, gerando dados de radar que permitiram a reconstrução digital do relevo da superfície e a consequente geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) para diversos usos. Os dados SRTM-DEM, com uma resolução horizontal de 90m próximo ao Equador e uma resolução vertical de 1m constitui um dos mais acessíveis e precisos dados topográficos, disponíveis para a maioria do globo terrestre.

Com este objetivo novos descritores do terreno vêm auxiliando na extração de dados quantitativos para caracterização do relevo. Um exemplo é o algoritmo HAND (Height Above the Nearest Drainage), desenvolvido por Rennó et al. (2008), o qual é um descritor do terreno com potencial extremamente útil para estudos aplicados a identificação do nível do lençol freático e de unidade de relevo.

O HAND mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDT e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo (flowpath) que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem. O resultado é uma grade que representa a normalização do MDT com relação à

drenagem. Nesse caso, todos os pontos ao longo da rede de drenagem, por serem pontos de referencia final de altura, possuem cota zero. Este descritor relaciona-se diretamente com o potencial gravitacional de drenagem (ou distância vertical) de cada ponto do MDT. Os pontos podem então ser agrupados em zonas equipotenciais, cuja relevância hidrológica e ecológica pode ser verificada (Cuartas, 2008).

Alfaya (2012) avaliou o uso de dados SRTM e o descritor HAND para mapear as áreas alagadas da calha do rio Solimões-Amazonas, utilizando análise baseada em objeto. Foi feita uma análise detalhada, utilizando áreas testes e uma análise do índice kappa pelo método de Monte Carlo, cujos resultados revelam que os dados e o método utilizados são promissores para esse tipo de mapeamento e de área de estudo.

Rennó et al. (2008) realizaram testes com o MDE-HAND em áreas da bacia amazônica, e obtiveram forte correlação entre o modelo e a topografia local.

Gharari et al. (2011) avaliaram a performance do modelo HAND para regiões da Europa Central, e obtiveram bons resultados utilizando os dados obtidos pelo HAND e dados de declividade, para classificação da paisagem.

Enquanto alguns algoritmos utilizam medidas simples e fáceis de implementar, tais como a Distância Euclidiana, que nem sempre representam as condições encontradas em campo, o algoritmo HAND (Height Above the Neareast Drainage) propõe uma nova abordagem baseando-se em medidas que podem permitir uma representação mais fiel do terreno (Pinheiro et al., 2009).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização do modelo HAND em uma bacia hidrográfica em ambiente de cerrado, para uma escala macro e micro.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

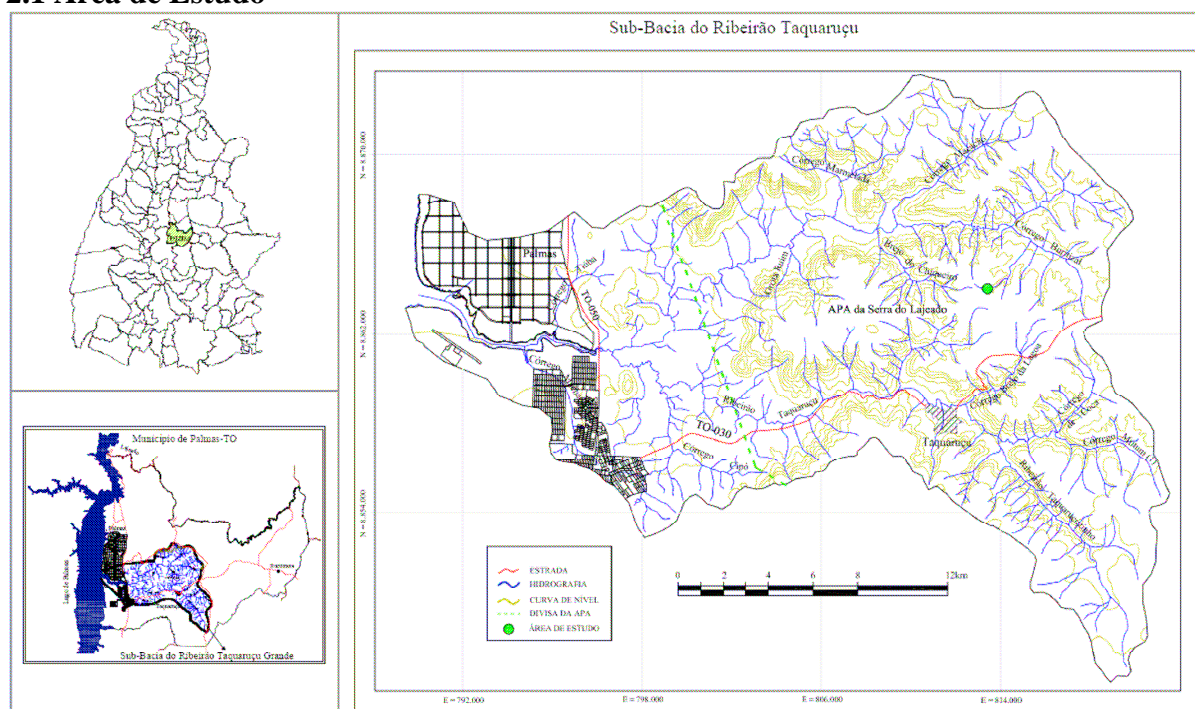


Figura 1: Localização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no estado do Tocantins, e compreende a Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu e Microbacia do Córrego Buritizal (Figura 1). A sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu está localizada na região centro-sul do município de Palmas-TO, entre as

coordenadas geográficas 10°10'33" e 10°25'18" de latitude sul e 48°03'57" e 48°23'03" de longitude oeste de Greenwich. Possui uma área de 46.307,31 ha, o que representa 19,1% da área total do município, sendo que 73,67% de sua área está inserida na Área de Proteção Ambiental da Serra do Lajeado (UNITINS, 1999).

A microbacia afluentes do Córrego Buritizal, pertencente à sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu, localizada em uma área rural próxima ao distrito de Taquaruçu, município de Palmas-TO, e está localizada entre as latitudes 10°15'33" e 10°16'16" S, e as longitudes 48°07'56" e 48°08'47" Wgr, à uma altitude média de 616 metros, distante aproximadamente 42 km da capital do Estado do Tocantins, possuindo uma área de 104,7360 ha.

A área da microbacia foi escolhida em função de suas dimensões e variação na paisagem. Optou-se por uma área com dimensões reduzidas para que se pudesse caracterizá-la com maior precisão em todos os seus aspectos. Além disso, levou-se em consideração o fato da microbacia ser afluente do Córrego Buritizal o qual é responsável pelo abastecimento de água do município de Palmas-TO, e da autorização do proprietário da área para se realizarem coletas e instalações dos equipamentos de monitoramento.

2.2 Metodologia

Primeiramente foi feita a caracterização da área de estudo, onde foi gerado no software ARCGIS 9.3 os mapas temáticos de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Declividade, Solos, Clima, Vegetação, utilizando como base de dados Tocantins (2003).

A partir da interpretação das imagens do satélite Landsat-5 TM foi obtido o mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo, confeccionado nos software Spring 5.2 e ARCGIS 9.3.

A hidrografia foi extraída da base de dados fornecida pela Agência Nacional de Águas – ANA. Para representar a topografia da região foi utilizado os dados do SRTM, e depois foi feita a delimitação das áreas das bacias.

Foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico da microbacia com a finalidade de se obter a representação das informações planimétricas (x e y) e altimétricas (z -diferença de nível) da área da microbacia, fornecendo o maior número possível de informações da superfície representada.

Para modelagem da profundidade do lençol freático, tanto na escala da microbacia (~1km²) como na escala da Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu (~460km²) foi utilizado um modelo descritor do terreno, denominado HAND. O modelo permite a determinação de faixas de variação da profundidade do lençol freático (> 15m; entre 5,0m e 15m e < 5,0m), através da combinação da topografia do terreno (geralmente fornecida pelo SRTM-DEM) e da rede de drenagem, através da diferença de cota entre dois pontos ao longo de uma trajetória de fluxo, conforme procedimento descrito em (Rennó, et al. 2008).

O modelo HAND foi aplicado na microbacia e na Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu, visando comparar os resultados entre as duas bacias, além de avaliar a profundidade do lençol freático. Para a geração do dado foi considerado um limiar de 50 e 100, ou seja, uma área de contribuição mínima de 50 e 100 pontos. O HAND da microbacia foi calibrado com base na rede de drenagem e nas medidas do lençol freático realizadas em campo.

Para simulação com o HAND, inicialmente foi gerado o DEM com base na imagem SRTM relativa à área de estudo. Para seleção do limiar de drenagem, necessário para as simulações do HAND, inicialmente determinou-se a rede de drenagem a partir do HAND. Essa rede de drenagem simulada foi então comparada com a rede de drenagem da ANA (Agência Nacional de Águas), visando identificar qual valor de limiar permite a simulação das ordens de rio de interesse para o presente trabalho. Para essa análise também foram utilizados os mapas temáticos utilizados para caracterização da área de estudo.

Após a definição dos limiares foi rodado o modelo HAND para a Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu e realizada a classificação do dado, utilizando o software ENVI 4.5, onde obteve-

se um mapa classificado em 4 classes. Na imagem HAND classificada da Sub-Bacia, foi recortada a área da microbacia.

Na área da microbacia foram instalados 21 piezômetros por toda a bacia, para o monitoramento do lençol freático. Além desses, foram instalados mais 5 piezômetros através de sondagem a percussão. Durante as sondagens foram feitas a determinação da consistência e a descrição de cada camada do solo.

Os piezômetros foram instalados na área de influência do curso dos principais canais de drenagem da bacia, além de locais com formações vegetais distintas: pastagem/campo e mata de galeria. Para monitoramento da variação do nível do lençol freático, foram realizadas visitas quinzenais aos piezômetros, onde foi medido o nível d'água.

3. Resultados e Discussão

Para obtenção da simulação HAND, foram realizados vários testes com diferentes limiares, e foi definido o limiar de 50, pois foi o que melhor reproduziu a rede de drenagem da ANA. A Figura 2 mostra o SRTM-DEM da Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu, com a drenagem gerada pelo modelo HAND (limiar 50) e a hidrografia da ANA.

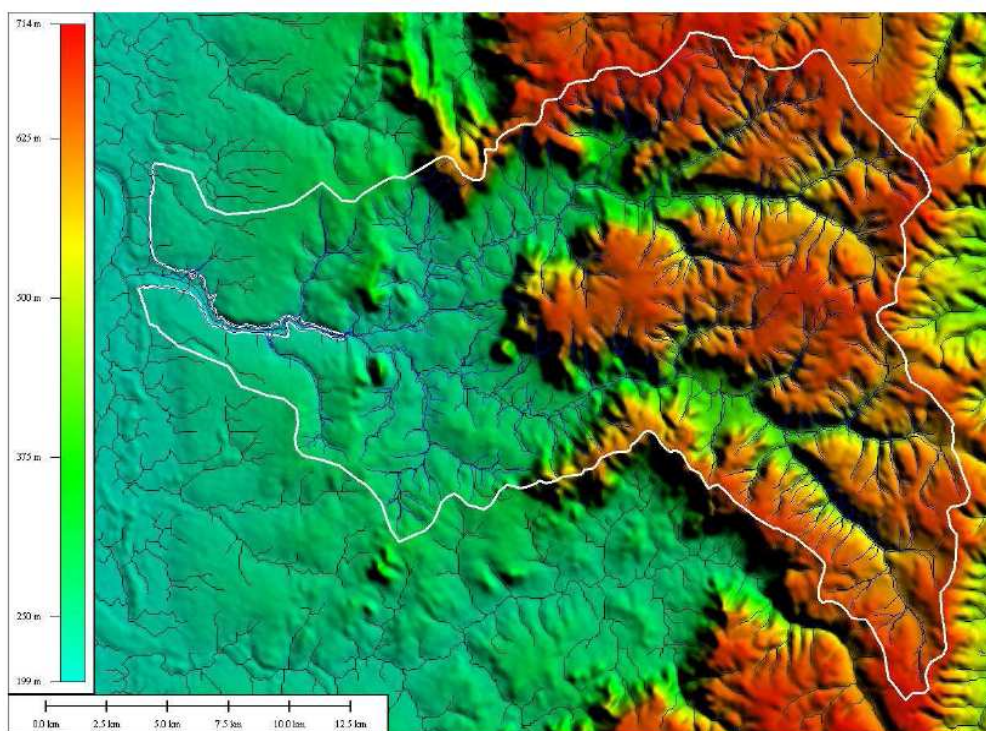


Figura 2: SRTM-DEM da Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu, com a drenagem HAND (limiar 50-preto) e a hidrografia da ANA (azul).

Analisando as Figuras 2 e 3, observa-se que a forma da drenagem HAND aproxima-se bastante da hidrografia da ANA, principalmente nas regiões com maior altitude.

Os dados obtidos pelo HAND está relacionada indiretamente com a profundidade do lençol freático, que por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos a zero) indicam regiões cujo lençol está próximo a superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação. Valores altos de distância vertical identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas (INPE, 2012).

No mapa HAND classificado da Sub-Bacia (Figura 3), a primeira classe (azul) representa ambientes onde o lençol freático está à superfície do solo ou muito próximo dela, sendo normalmente denominados baixios. A segunda classe (verde) representa ambientes de

transição com lençol freático raso, denominada ecótono. Já a terceira e quarta classe representa aqueles ambientes cujo lençol freático é suficientemente ou bastante profundo e engloba dois ambientes: o primeiro mais declivoso denominado vertente (amarelo) e o segundo mais plano denominado platô (vermelho).

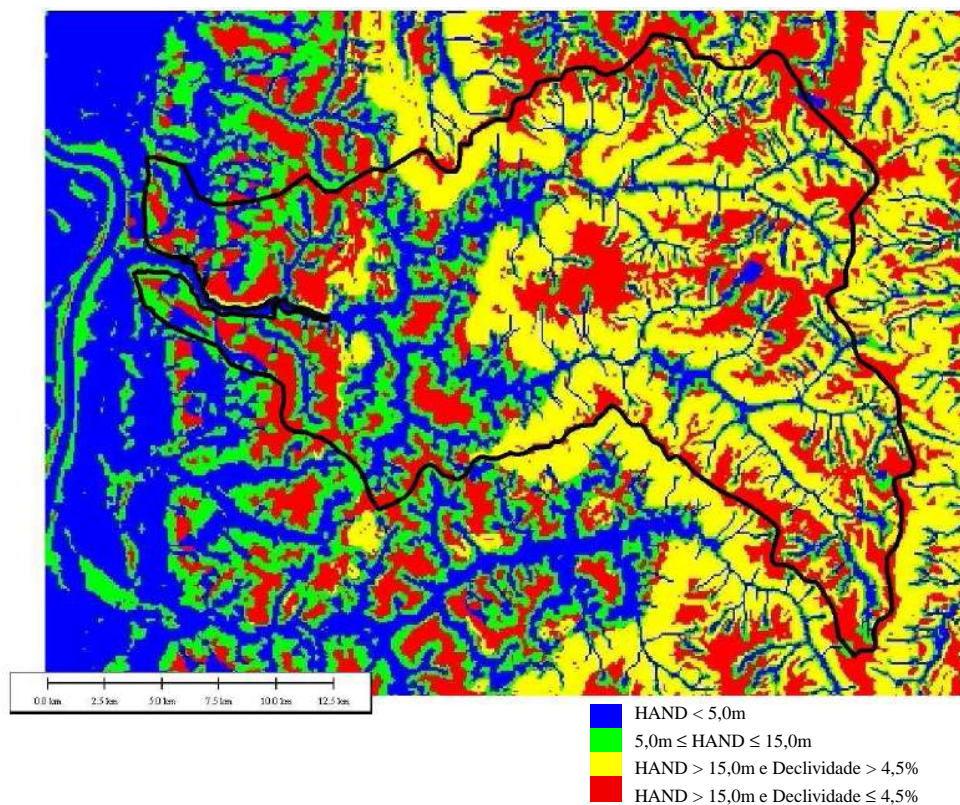


Figura 3: Mapa HAND classificado da Sub-Bacia (limiar 50).

Comparando a Figura 1 e 3, observa-se que a região oeste da Sub-Bacia é uma área com relevo plano, onde está localizada parte da área urbana da cidade de Palmas-TO, e apresenta regiões de baixios e vertentes, e portanto estão sujeitas a alagamento. Atualmente existem em na área urbana de Palmas-TO várias regiões onde ficam alagadas durante e após as chuvas, e há a necessidade da construção de galerias de águas pluvias para escoar a água da chuva.

A área do Distrito de Taquaruçu também foi classificado pelo HAND com regiões de baixios, e está localizada entre duas regiões de vertentes, propício para ocorrer alagamento na região.

A região central da sub-bacia é uma região com grandes altitudes, possuindo serras e morrotes, e foi classificado pelo HAND corretamente, como regiões de platô. A área mais ao leste da bacia, possui regiões de platô e vertentes, e são regiões pouco propícias para alagamento.

Os ambientes Baixio e Ecótono possuem vegetação do tipo mata de galeria e cerrado e solos Latossolo vermelho amarelo. Esta classe é constituída por solos profundos, bem acentuadamente drenados, muito permeáveis, porosos e com elevado grau de intemperização. O ambiente Vertente é formado por vegetação do tipo cerrado e possui solos concrecionários que são solos minerais, rasos a medianamente profundos, bem a moderadamente drenados. O ambiente platô possui vegetação do tipo cerrado e solos Latossolo Vermelho distrófico, Neossolos Litólicos Distróficos e a maior parte de solos do tipo Concrecionários.

Foi feito a classificação do mapa HAND para os limiares 100 e 50 (Figura 4). Observa-se que o limiar 50 representa melhor as áreas de um modo geral, enquanto o limiar 100 superestima as áreas de platô.

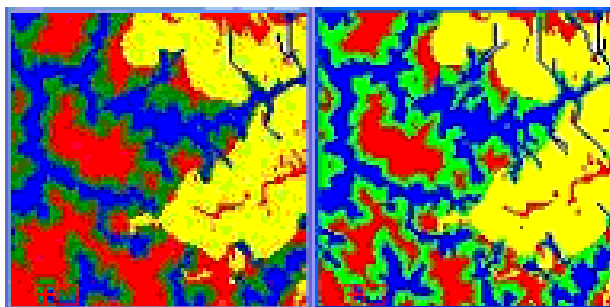


Figura 4: Mapa HAND classificado da Sub-Bacia com limiares de 100 e 50, respectivamente.

A fim de realizar a análise hidrológica da microbacia foi inserido no mapa obtido da simulação HAND, a localização dos piezômetros, utilizados para obter dados meteorológicos e do nível do lençol freático, respectivamente. A Figura 5 mostra o mapa HAND classificado da microbacia (limiar 50), com a localização dos piezômetros.

Salienta-se que para geração do mapa do modelo HAND da micro-bacia do Córrego Buritizal, o SRTM na escala horizontal de 90m foi reamostrado para a escala de 30m, visando uma melhor definição da topografia na microbacia, que tem uma área da ordem de 1km². De acordo com Rodrigues et al. (2011), o mapeamento HAND a partir de SRTM de 30 metros fornece melhor detalhamento das feições da paisagem.

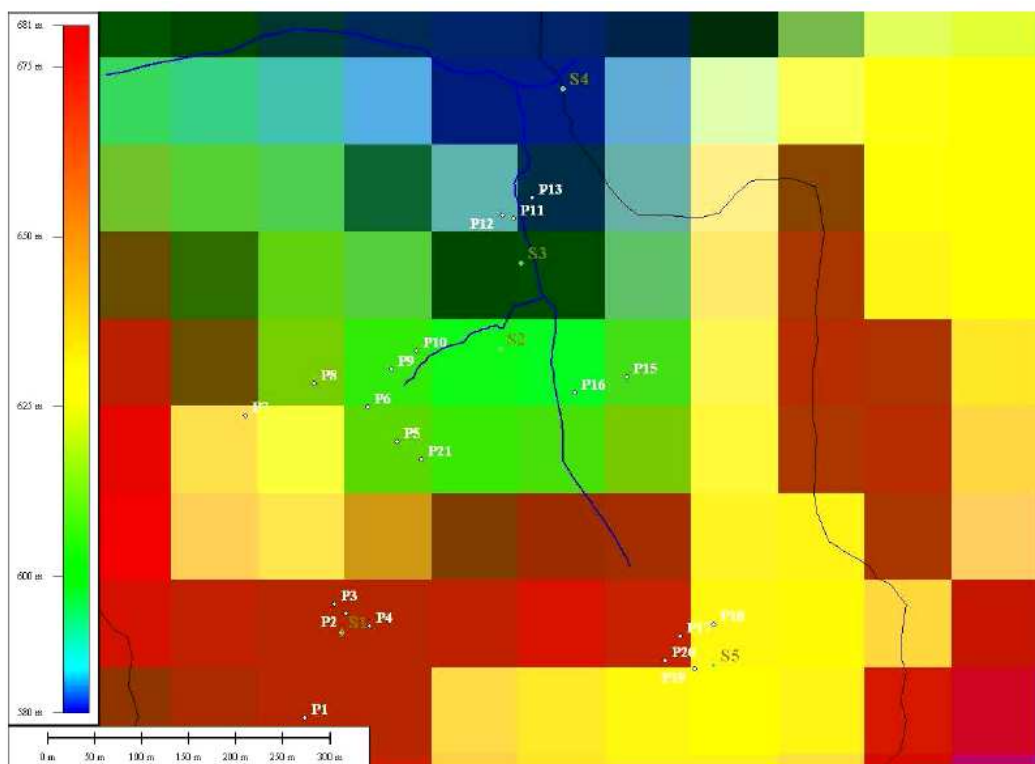


Figura 5: Mapa HAND classificado da microbacia (limiar 50), com a localização dos piezômetros.

Pela análise do mapa HAND da microbacia (Figura 5), o conjunto de piezômetros P1, P2, P3, P4 e a sondagem S1 estariam localizados em uma área de platô com nível d'água a mais

de 15m de profundidade. Pelas análises da profundidade do lençol freático através de dados de campo, os pontos P2 e P4 permaneceram secos ao longo de todo o período analisado. No entanto, os pontos P1 e P3, apresentaram ocorrência de nível d'água (NA) entre 1-2m de profundidade e na sondagem S1, o nível d'água chegou a cerca de 5m de profundidade no período chuvoso. Observa-se, pela Tabela 1, que a profundidade da camada impenetrável, no ponto S1, está a 5,4m de profundidade. Nessa região, observa-se que o HAND simulou uma profundidade maior do lençol freático do que a observada em campo.

Os pontos P17, P18, P19, P20 e a sondagem S5, de acordo com o HAND, estariam em uma área de encosta, com lençol profundo, acima dos 15m de profundidade. Observa-se que a profundidade do lençol freático, nessa região, variou entre 0,5m e 2,0m, chegando a um máximo de 3,5m na sondagem S5. A camada impenetrável, nessa região, chegou a 7,3m. Nessa região também foi simulada pelo HAND uma profundidade do lençol maior do que a verificada em campo.

O conjunto P21, P5, P6, P8, P9, P10, P15, P16 e a sondagem S2, pelas análises do HAND, estariam em uma área de ecótono, com lençol freático entre 5,3m e 15m de profundidade. Os piezômetros P9, P15 e P16 permaneceram secos durante todo o período analisado. Os piezômetros P5, P6, P8 e P21, exibiram profundidade máxima de cerca de 3,0m (P5 e P21) e de 2,0m a 2,5m (P6 e P8), no período seco de 2008. Mais uma vez, o HAND superestimou a profundidade do lençol freático nessa região.

A sondagem S3 e os poços P11, P12 e P13 estariam entre uma área de ecótono e uma área com lençol freático raso (< 5.3m). A sondagem S4, bem próxima ao exutório, estaria na região de áreas baixas, com lençol freático < 5,3m de profundidade. As profundidades máximas do nível d'água, nesses pontos, estiveram entre 2,5 e 3,0m (ponto P13). Nessa região, os valores simulados pelo HAND está mais próximos dos valores observados em campo.

Tabela 1: Cotas de topo, base e profundidade do Nível d'Água

Piezômetro	Cota Topo	Cota Base	Profundidade(m)
P1	634,6	632,5	2,1
P2	629,0	626,0	3,0
P3	630,3	627,6	2,7
P4	630,4	627,5	2,9
S1	629,8	624,4	5,4
P17	633,3	630,3	3,0
P18	655,4	652,5	2,9
P19	640,1	637,5	2,6
P20	637,3	634,8	2,5
S5	641,1	633,7	7,3
P15	632,8	629,9	2,9
P16	642,4	638,9	3,5
P5	620,5	616,9	3,6
P6	623,1	619,6	3,5
P21	623,9	620,3	3,6

Esse problema pode ser observado comparando a imagem do HAND com o Modelo Digital do Terreno (MDT) da microbacia, regiões de talvegues, com elevada declividade, foram consideradas pelo HAND como platô. Esse é o caso da região onde se localizam os piezômetros P1 a P4 e a sondagem S1.

4. Conclusões

O modelo HAND mostrou-se bastante viável para representar a drenagem da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu, localizada em uma região de ambiente cerrado, com grande parte de

áreas com grandes altitudes, quando comparado com a hidrografia da ANA. Um dos problemas encontrado foi que em algumas regiões o comprimento da drenagem foi inferior ao real, definindo pontos de nascentes em locais inadequados.

Na escala regional, onde há uma grande variação de altitude, o HAND tende a gerar melhores resultados do que o SRTM, pois normaliza o dado de acordo com a distância vertical à rede de drenagem mais próxima, independente da altitude do terreno.

A simulação com o HAND, embora seja promissora em termos de avaliação da profundidade do lençol freático, necessita de um modelo digital do terreno bastante preciso para fornecer profundidades mais condizentes com a realidade. Para o caso da microbacia, onde o modelo digital do terreno utilizado foi o SRTM 90m, reamostrado para uma grade de 30m, considerando que a microbacia tem uma área de cerca de 1km², essa resolução é muito grosseira e necessita ser refinada para melhor capturar as variações de declividade do terreno.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pelo apoio financeiro, através do projeto CT-HIDRO, e a Dr. Luz Adriana Cuartas (INPE), pela colaboração na geração e uso da variável HAND.

Referências Bibliográficas

Alfaya, F. A. V. da S. **Mapeamento das áreas alagadas da calha do rio Solimões Amazonas utilizando análise baseada em objeto com dados SRTM**. INPE, São José dos Campos, 2012.

Cuartas, L. A. **Estudo observacional e de modelagem hidrológica de uma micro-bacia em floresta não perturbada na Amazônia Central**. Tese de Doutorado. São José dos Campos: INPE, 2008. 236p.

Gharari, S.; Hrachowitz, M.; Fenicia, F.; Savenije, H. H. G.. **Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment**. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 3275–3291, 2011.

INPE. **Distância vertical à drenagem mais próxima**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/hand.php>. Acesso: 20/10/2012.

Pinheiro, T. F., Rennó, C. D. Escada, M. I. S. **Utilização de um novo algoritmo descritor de terreno para o mapeamento de ambientes de terra firme na Amazônia**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6069-6076.

Rennó, C.D.; Nobre, A.D.; Cuartas, L.A; Soares, J.V.; Hodnett, M.G.; Tomasella, J.; Waterloo, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, pp. 3469-3481, 2008.

Rodrigues, G. O.; Nobre, A. D.; Silveira, A. C.; Cuartas, L. A. **Efeitos da resolução espacial de dados SRTM na descrição de terrenos obtida pelo modelo HAND (Height Above the Nearest Drainage) – estudo de caso em Manaus/AM**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5769-5776.

TOCANTINS. **ATLAS DO TOCANTINS: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial**. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente - SEPLAN, Diretoria de Zoneamento Ecológico- Econômico – DZEE. 3º ed. rev. atu. Palmas: SEPLAN, 2003.

UNITINS. **Plano de Manejo da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande – TO (S.O.S Taquaruçu) – Relatório Técnico Final**. Palmas: UNITINS. 1999.