

Estimativa do escoamento superficial em microbacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG

Deodato do Nascimento Aquino

UFC, Campus do Pici,
Departamento de Eng.
Agrícola;
deoagro@yahoo.com.br

Adunias dos Santos

Teixeira UFC, Campus
do Pici, Departamento de Eng.
Agrícola; adunias@ufc.br

Eunice Maia de Andrade

UFC, Campus do Pici,
Departamento de Eng.
Agrícola; eandrade@ufc.br

Fernando Bezerra Lopes

UFC, Campus do Pici,
Departamento de Eng.
Agrícola;
lopesfb@yahoo.com.br

Antônio Dimas Simão de Oliveira

UFC, Campus do Pici,
Departamento de Eng.
Agrícola;
dimasbat@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estimar o pico de descarga superficial de uma microbacia hidrográfica da região semi-árida do nordeste brasileiro, com o uso de software de Sistema de Informação Geográfica. O estudo foi conduzido na microbacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim, pertencente à bacia do Alto Jaguaribe, localizado na porção meridional do Estado do Ceará, no município de Iguatu. A estimativa do escoamento superficial foi obtida através do método proposto pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, ou seja, "curve number". A precipitação efetiva da área oscilou de 16,62 a 114,88 mm, enquanto que o pico de descarga máxima variou de 0,76 a 24,42 m³ s⁻¹. Tomando-se por base os resultados obtidos, conclui-se que as perspectivas de utilização do modelo são grandes, mesmo considerando as condições de pouca disponibilidade de dados no Brasil.

Palavras-chave: CN. SIG. Vazão máxima.

Abstract

This work was carried out to estimate the peak discharge of a small watershed sited in the semiarid region of Brazilian Northeast using Geographic Information System (GIS). The study was developed in Jaguaribe Mirim watershed, which belongs to the Alto Jaguaribe basin, sited in the meridional portion of Ceará State, Brazil. Over land flow was estimated using the Soil Conservation Service Method, Curve Number. The effective rainfall over the area went from 16.62 to 114.88 mm, while the peak flow discharge changed from 0.76 to 24.42 m³ s⁻¹. Based on the results, we concluded that perspective of the model use is high, spite of the conditions of data set access.

Keywords: Curve number. GIS. Peak discharge.

1 Introdução

O planejamento, projeto e operação de qualquer obra relacionada com o aproveitamento, controle e proteção dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica baseiam-se na avaliação da demanda frente à disponibilidade de água em bacias hidrográficas. Para uma gestão adequada, notadamente nas atividades de administração, a disponibilidade hídrica na bacia precisa ser bem conhecida. Essa disponibilidade é avaliada através da aplicação de um balanço hídrico, para o que é imprescindível o conhecimento das principais variáveis hidrológicas, notadamente da precipitação e da vazão (Tucci e Clarke, 1998).

O escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definitiva; este, na área rural sofre interferência da cobertura vegetal, precipitação, declividade, tipo de solo, práticas de manejo e grande parte se infiltra (Genovez, 2001). As vazões de uma bacia dependem de fatores climáticos e geomorfológicos (Villela e Mattos, 1975).

Diferentes tipos de solo podem apresentar susceptibilidade diferenciada ao escoamento superficial, mesmo para condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essas diferenças são devidas às propriedades do próprio solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

A cobertura florestal possui uma estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, interferindo no movimento da água em vários compartimentos do sistema, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios. (Arcova et al., 2003).

A definição das práticas de manejo sustentáveis adequadas para uma microbacia requer dentre outros o conhecimento do regime de escoamento superficial.

Segundo Ferreira (1997), os Sistemas de Informações Geográficas vêm sendo considerados uma ferramenta poderosa no processo de mapear e descrever os mecanismos de mudanças que operam no meio ambiente, além de indicar respostas às várias questões sobre planejamentos urbano e regional, meio rural e levantamento dos recursos renováveis.

Diversos métodos são utilizados para se estudar o escoamento superficial. Alguns fornecem as vazões máximas de uma bacia hidrográfica tais como a fórmula racional, a fórmula de Mac-Math e o método de Cook; outros permitem conhecer o volume total escoado superficialmente. Nesta categoria destaca-se o método do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS-USDA), denominado método do número da curva, que utiliza a precipitação total diária, incorpora o efeito relativo das características de infiltração de água no solo, uso da terra e práticas agrícolas.

Vários estudos foram realizados utilizando o método do número da curva para estudar o escoamento superficial. Wells et al. (1986) compararam quatro modelos (método do SCS, equação de Holtan, equação de Richard e o modelo Green-Ampt) para estudar a infiltração em perfis de solos, encontrando boa estimativa para o escoamento superficial.

Mccuen e Bondelid (1981) estudando o coeficiente de escoamento superficial verificaram que o método do SCS (1972) permite razoáveis aproximações na estimativa do volume escoado, exceto quando a abstração inicial é significativamente maior que cerca de 25% da precipitação total.

O uso do método CN (curve number) em bacias hidrográficas no Brasil é comum, porém sua precisão pode ser questionável, em especial para bacias com escoamento efêmero, onde as respostas hidrológicas possuem comportamento diferenciado (Mello et al., 2003).

Para se estimar a vazão máxima de uma bacia hidrográfica pelo método do SCS-USDA é necessário ter conhecimento das características topográficas, pluviometria, cobertura vegetal, uso e manejo do solo e do tempo de concentração da referida bacia.

O objetivo deste trabalho é identificar os parâmetros de maior importância no escoamento superficial em uma microbacia da região semi-árida do Estado do Ceará pelo emprego de Sistema de Informação Geográfica.

2 Materiais e método

2.1 Descrição Geral da Área

O laboratório de campo desta pesquisa situa-se entre as coordenadas geográficas: 6°23'33,26"S, 39°15'26,28"W e 6°23'53,95"S, 39°15'32,76"W, nascente e foz, respectivamente. A microbacia do riacho Jaguaribe Mirim está inserida na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, tributário da margem direita do rio Jaguaribe, porção meridional do Estado do Ceará (Fig. 1).

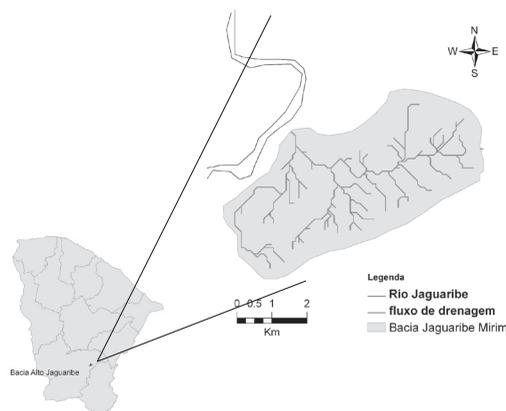


Figura 1: Localização da microbacia estudada no Estado do Ceará

2.2 Características edafo-climáticas

A área estudada, em seu aspecto litológico, é constituída predominantemente por rochas do embasamento cristalino, com intrusões graníticas, representantes da série magmáticas do Pré-Crambiano Superior (COTEC, 1985). Segundo a classificação de Koopen, a zona climática do município de Iguatu é do tipo BSw'h', clima semi-árido com precipitação média anual de 940,51 mm.ano⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1: Dados pluviométricos para uma série histórica de 30 anos do município de Iguatu-Ce

Postos pluviométricos	Precipitação média (mm)	Precipitação máxima diária
Baú	815,18	105,00
José de Alencar	666,69	162,00
Riacho Vermelho	764,97	121,00
Quixóá	680,25	94,60
Iguatu	940,51	141,00

As classes de solo predominante na microbacia em estudo são: Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico (Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico) e os Litólicos Eutróficos (Neossolo Litólicos) (EMBRAPA, 1999) (Fig. 2).

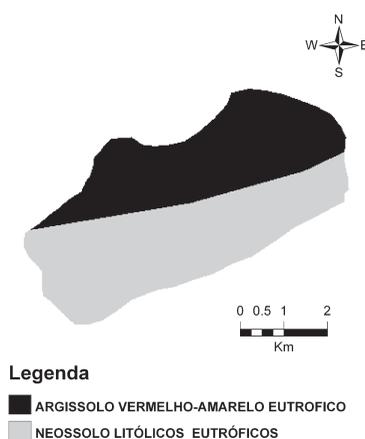


Figura 2: Classes de solo predominante na microbacia do riacho Jaguaribe Mirim

Os Argissolos são solos moderadamente profundos e o acúmulo de argila no horizonte Bt reduz muito a permeabilidade destes, isso somado ao fato do horizonte superficial ser muitas vezes arenoso faz com que a grande limitação agrícola dos Argissolos seja o risco de erosão (UFLA, 2007).

O Neossolo litólico são mais representativos das regiões semi-áridas, caracterizados por afloramentos rochosos, pouco evoluídos, rasos, pouca capacidade de retenção de umidade; conseqüentemente contribuem para maiores escoamentos superficiais em uma mesma faixa de altura pluviométrica quando comparado com o primeiro (EMBRAPA, 1999).

2.3 Delimitação da bacia

A delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comum procedimentos em análises hidrológicas ou ambientais. Para isso tem sido comum a utilização de informação de relevo em formato analógico, mas, com o advento e consolidação dos sistemas de informações geográficas e, conseqüentemente, o surgimento de formas digitais consistentes de representação do relevo, como os Modelos Digitais de Elevação; métodos automáticos para delimitação de bacias têm sido bastante utilizados (Garbrecht e Martz, 1999).

Para a microbacia estudada, inicialmente, georreferenciou alguns pontos *in loco*, com o auxílio de um GPS Magellan, modo DIF 3, para servir de referencial na delimitação da bacia.

Tomando-se por base as leituras efetuadas em campo (coordenadas em UTM), delimitou-se a micro bacia através do modelo numérico digital do terreno. Com o emprego da ferramenta ArcHydro do software ARCMAP, estimou-se a densidade de fluxo.

2.4 Método do SCS-USDA para estimativa da vazão máxima

A estimativa do escoamento superficial foi determinada através da Eq.(1).

$$Pe = \begin{cases} \left[\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] & \text{Se } P > 0,2S, \quad Pe > 0 \\ Se & P \leq 0,2S, \quad Pe = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Onde,

Pe é o escoamento superficial por pixel, em mm,

P é a precipitação máxima diária por pixel, em mm,

S, representa o potencial máximo de retenção em cada pixel, em mm.

Dada as dificuldades encontradas para se determinar o potencial máximo de retenção, o SCS (1972), adotou um índice denominado número da curva de escoamento, representado por CN, obtido em função da cobertura do solo pela vegetação, tipo de preparo e classe de solo.

Empregou-se uma expressão empírica e adimensional que relaciona CN ao parâmetro S Eq. (2), a qual, quando Pe e P são expressos em milímetros, é dada por:

$$S = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (2)$$

Para determinação da CN, o método proposto pelo SCS divide os tipos de solo em quatro grandes grupos hidrológicos (USBR, 1977):

GRUPO A - Potencial mínimo de escoamento superficial e alta taxa de infiltração, inclui solos arenosos profundos com pouco silte e argila, e também muito permeável, apresenta taxa de infiltração de 8-12 mm/h;

GRUPO B - A maior parte dos solos arenosos, menos profundo ou menos compacto que o grupo A, porém com uma infiltração média superior e menos permeável que o anterior, apresenta taxa de infiltração de 4-8 mm/h;

GRUPO C - Os solos pouco profundos que geram escoamento superficial acima da média e com infiltração inferior à média, com porcentagem considerável de argila, possui taxa de infiltração de aproximadamente 1 - 4 mm/h;

GRUPO D - solos pouco profundos, com infiltração muito baixa, gerando muito escoamento superficial, contendo mais argila do tipo 2:1.

O cálculo do tempo de concentração proposto pelo SCS-USDA (1990) é expresso pela Eq. 3:

$$Tc = L^{0,8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{4407 + (Sg)^{0,5}} \right] \quad (3)$$

Onde: Tc - Tempo de concentração de cada pixel (horas)

L - comprimento da diagonal do pixel (m)

n - Curve number por pixel (tabelado)

Sg - declividade de cada pixel da bacia (m/m)

Para o cálculo do pico de descarga de cada pixel na microbacia estudada, determinou-se um mapa temático através da Eq. (4).

$$Qp = 0,0028 * A * \frac{Pe}{Tc} \quad (4)$$

Onde: A - Área de cada pixel (0.8464 ha)

Pe - Precipitação efetiva de cada pixel (mm)

Tc - Tempo de concentração da água em cada pixel (horas)

Para a obtenção da precipitação máxima diária, levantou-se os dados de uma série histórica de 30 anos (1975-2005) em 5 pluviômetros localizados nos limites fisiográficos do município de Iguatu-Ce Tab. (1). Com os valores das precipitações máximas diárias dos respectivos postos pluviométricos georreferenciados, gerou-se um grid de precipitação no software Surfer 7.0, pelo método de interpolação inverso do quadrado da distância. A partir do grid processou-se no ARCGIS um mapa temático com isolinhas de mesma altura pluviométrica.

Para a obtenção dos valores de curva number caracterizou-se o uso e manejo do solo pertencente à micro bacia de interesse, e para o tratamento digital da imagem contou-se com o auxílio do software ENVI versão 4.2. O ENVI é um sistema interativo, projetado para tratar automaticamente informações multiespectrais de imagens digitais. No presente trabalho foram utilizadas as bandas espectrais 4, 3 e 2 do espectro infravermelho, vermelho e verde, respectivamente, do satélite TM/Landsat-7, na órbita 217 e ponto 64. As variações nas respostas espectrais dos vários alvos contidos na área de estudo foram evidenciadas por cores diferentes e suas combinações.

A classificação digital das imagens foi efetuada utilizando um algoritmo de classificação supervisionada, denominado “Paralelepípedo”. Neste processo foi necessário especificar inicialmente o nome e número de classes pretendidas, bem como o número mínimo de *pixels* em cada classe. Para a imagem estudada vetorizou-se 4 classes: caatinga densa, caatinga rala, solo sob pastagem e solo descoberto. Em seguida vetorizou-se todas as classes exportando-as no formato *shapefile* para o ARCGIS 9.1.

Posteriormente adicionou-se no ARCGIS 9.1, na tabela de atributos do *shapefile* vetorizado, os valores das respectivas classes de utilização do solo em cada padrão de cobertura da microbacia em estudo, tendo como parâmetro a Tab. 2: solo nu (91), pastagem pobre (86), caatinga rala (78) e caatinga densa (54). Pelas características dos solos da microbacia, estes estão inseridos no grupo hidrológico C, e considerando os padrões de uso e cobertura, obteve-se o número da curva de escoamento para o complexo solo-vegetação.

Dentre os fatores que compõem a equação do tempo de concentração, o fator declividade é considerado um dos mais importantes, pois influi direto e significativamente na velocidade de escoamento da água na bacia. Para a determinação do fator declividade (Sg) utilizou-se o modelo numérico do terreno, gerado pelo SRTM.

Tabela 2: Número da curva de escoamento superficial para os grupos hidrológicos solo-cobertura (USBR,1977).

Cobertura do solo	Condições de superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Pastagens	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
	Pobre segundo curva de nível	47	67	81	88
	Normal segundo curva de nível	25	59	75	83
	Boa segundo curva de nível	0	35	70	79
Florestas	Muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	Abertas ou de baixa transpiração	46	68	78	84
	Normal	36	60	70	76
	Densas ou de moderada transpiração	26	52	62	69
	Muito densas ou de alta transpiração	15	44	54	61

Estabeleceu-se o comprimento máximo unitário de cada pixel em 130 m, através do teorema de Pitágoras (Eq. 5), sendo os catetos as dimensões de cada pixel, comprimento (92) e largura (92), da seguinte forma:

$$L^2 = 92^2 + 92^2 \tag{5}$$

Foi empregado o software Global Mapper 5 para processar os dados digitais provenientes de fotografias aéreas obtidas pelo radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), fornecidos pela NASA. Obteve-se assim o modelo numérico do terreno para a microbacia do Jaguaribe Mirim, o que permitiu a interface com a plataforma ARCGIS 9.1 e a ferramenta Arc Hydro.

3 Resultados e conclusões

A disponibilidade de dados de precipitação é bastante superior à de vazão, devido à maior quantidade de postos meteorológicos no País, que geram uma malha de informações consideravelmente consistente (Genovez, 2001).

Obteve-se grande amplitude de variação da precipitação máxima diária para o município de Iguatu, com extremos variando de 94 e 162 mm, em 5 postos pluviométricos para uma série histórica de 30 anos (1975-2005).

A precipitação efetiva gerada sobre a área em estudo oscilou de 16,62 a 114,88 mm, a qual foi dividida em 5 classes (Fig. 3). A parcela da chuva que se precipitou sobre a área da bacia e que se transformou em precipitação efetiva, escoamento superficial, iniciou o processo a partir das maiores elevações do terreno, formando enxurradas em direção aos vales.

Arcova et al. (2003), estudando a precipitação efetiva e a interceptação das chuvas por uma floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em São Paulo, concluíram que, em média, 18,6% da precipitação foi interceptada pela floresta, retornando à atmosfera na forma de vapor. Um montante de 81,2% alcançou o piso como precipitação interna e apenas 0,2% como escoamento pelo tronco. Os fluxos de precipitação interna e escoamento pelo tronco foram maiores no período caracterizado como chuvoso. Os percentuais de interceptação foram superiores no período pouco chuvoso.

Quanto maior o valor do número da curva de escoamento superficial, CN, maior a quantidade de escoamento superficial direto esperado de uma determinada precipitação. Desta forma observa-se na Fig. 4 que no geral os maiores valores de CN foram registrados na parte baixa da microbacia, nas proximidades do rio Jaguaribe.

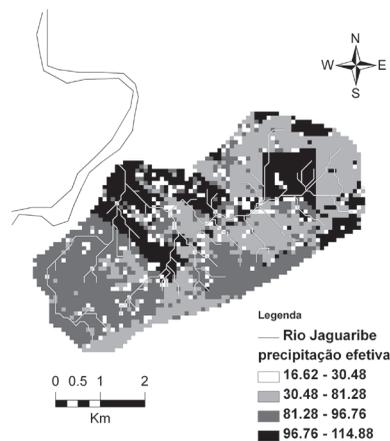


Figura 3: Valores da precipitação efetiva pontual (mm) para a micro bacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim

Comportamento explicado por ser uma região de solos mais pesados (neossolo flúvicos) com pouca cobertura vegetal e topografia suave ondulada. Em adição a este fato, é nestas áreas onde se praticam uma atividade agrícola mais intensa sem nenhuma prática conservacionista de uso e manejo do solo. Enquanto que nas áreas elevadas a vegetação nativa se encontra conservada.

Uma área sem proteção de cobertura vegetal é geralmente mais suscetível á erosão, do que um que esteja recoberto por vegetação, sendo que o seu efeito dependerá do tipo e fase do crescimento da vegetação associada à seqüência de culturas e ao manejo (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

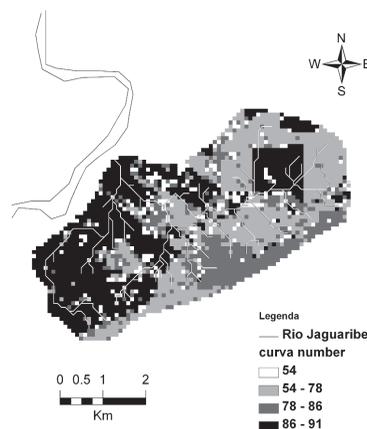


Figura 4: Valores pontuais da curva number do solo para a sub-bacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim

Verifica-se assim que a capacidade de retenção de água no solo é inversamente proporcional ao escoamento e está diretamente associada ao fator manejo e cobertura do mesmo.

Através da Figura 5 observa-se que a microbacia em estudo apresenta topografia pouco acidentada, com relevo suave ondulado predominando a classe de declive de 0 a 2,1%. Com o aumento da declividade das vertentes, cresce a energia da água e, conseqüentemente, sua capacidade erosiva, associada ao aumento do escoamento superficial. O volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionados ao grau de declividade do terreno (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

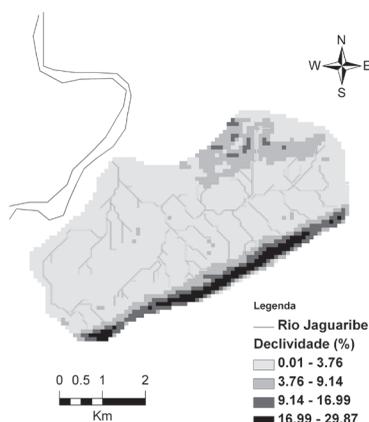


Figura 5: Valores pontuais da declividade (%) para a sub-bacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim

Pelo resultado do fluxo de acumulação dos riachos, demonstra-se uma bacia com baixa densidade de drenagem, aproximadamente $0,67 \text{ km km}^{-2}$, comportamento esperado, visto que o relevo da região é caracterizado por uma topografia suave ondulada com pequeno grau de declives (Fig. 5).

A densidade de drenagem varia diretamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia e conseqüentemente no tempo de concentração. Embora existam poucas informações sobre a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de $0,5 \text{ km km}^{-2}$, para bacias com drenagem pobre, a 3,5 ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas (Villela e Mattos, 1975).

Observa-se na Figura 6 que o tempo de concentração foi bastante influenciado pelo grupo hidrológico, decrescendo com o aumento do valor da curva number.

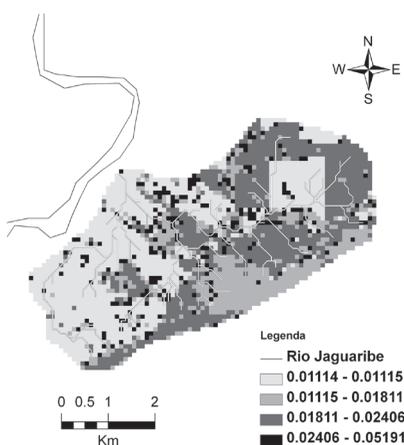


Figura 6: Valores pontuais do tempo de concentração (horas) para a sub-bacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim

Analisando-se os resultados apresentados na Fig. 7, evidencia-se que o pico de descarga máxima pontual por pixel para a bacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim variou de $0,76$ a $24,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Cada pixel abrange uma dimensão de $92 \times 92 \text{ m}$ totalizando uma área de $0,8464 \text{ ha}$. A área da microbacia Jaguaribe Mirim é de aproximadamente $2768,91$ hectares, determinada através de ferramenta do ARCGIS.

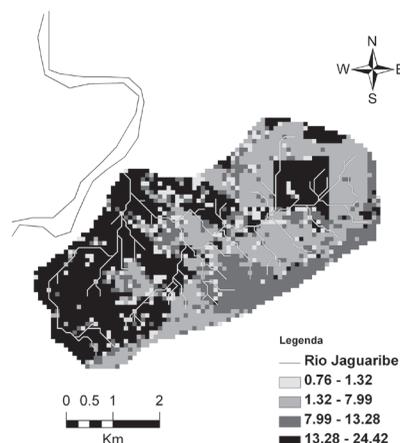


Figura 7: Valores pontuais do pico de descarga ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) para a microbacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim

Tucci e Clarke (1998) identificaram grandes variações de vazões em várias sub-bacias do rio da Prata devido a dois componentes básicos: modificações antrópicas e variabilidade climática.

O pico de descarga máximo pontual para a microbacia hidrográfica do riacho Jaguaribe Mirim foi bastante influenciado pela adoção de práticas de manejo e uso do solo, estando mais elevado nas áreas de solos expostos as intempéries do meio ;

O parâmetro de declividade teve pouca contribuição no pico de descarga para a microbacia estudada, visto que na maioria são solos de topografia suave ondulada;

Se cada um dos parâmetros do pico de descarga tivesse que ser estimado de forma tradicional, ou seja, mediante inúmeros experimentos de campo isso representaria uma limitação quando se tratasse de grandes áreas. Nesse contexto as técnicas de geoprocessamento aparecem como ferramentas alternativas para que este tipo de análise possa ser feito em escala regional, em tempo e custos muito menores.

Referências

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1993. 352 p.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Plano estadual dos recursos hídricos: diagnóstico*. Fortaleza, 1992. v. 1.
- COTEC – Consultoria Técnica. *Barragem Trussu: estudo e avaliação dos impactos ambientais*. Fortaleza: PRONI/DNOCS, 1989. 118 p. Tomo I: diagnóstico ambiental.
- COTEC – Consultoria Técnica. *Relatório técnico sobre o rio Trussu*. Recife: SUDENE, 1985.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF, 1999. 412 p.
- FERREIRA, C. C. M. *Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 158 p.
- FUNCEME. 2004. Disponível em: < <http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 22 dez. 2006.
- GARBRECHT, J.; MARTZ, L.W. Digital elevation model issues in water resources modeling. In: ESRI, USERS CONFERENCE, 19., 1999, San Diego. *Proceedings...* San Diego: ESRI, 1999. 1 CD-ROM.
- GENOVEZ, A. B. Vazões máximas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.). *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. cap 3, p. 33-112.
- MELLO, C. R. et al. Abstração inicial da precipitação em micro bacia hidrográfica com escoamento efêmero. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003.
- McCUEN, R. H.; DONDELID, T. R. Relation between curve number and runoff coefficient. *J. Irrig. Drain. Eng. Div.*, New York, v. 107, n. 4, p. 395-401, 1981.

- PALACIO, H. A. Q. *Índice de qualidade das águas na parte baixa da Bacia Hidrográfica do rio Trussu, Ceará*. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION. Disponível em: <[ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3 / South_America](ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America)>. Acesso em: 12 out. 2006.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 35-51.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. *Hydrology*. In: ENGINEERING Field Manual. Washington, DC. 1990. chap. 2. Litho.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. *Hydrology*. In: NATIONAL Engineering handbook. Washington, DC, 1972. sect. 4. GPO
- SOUZA, J. L.; LOMBARDI NETO, F.; TUBELIS, A. Estimativa e análise do escoamento superficial em solo descoberto e cultivado com a sucessão soja e trigo, sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 3, p. 77-84, 1995.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2000.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Environmental issues in the la Plata basin. *Water Resources Development*. Dublin, v. 14, n. 2, p. 157-173, 1998.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Departamento de Ciências do Solo. 2000. *Solos do Cerrado*. Disponível em: <<http://www.dcs.ufla.br/Cerrados/Portugues/CArgissolo.htm>>. Acesso em: 4 abr 2007.
- USBR. *Design of small dams*. Denver, 1977. 639 p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.
- WELLS, L. G. , WARD, A. D., MOORE, I. D. Comparison of four infiltration models in characterizing infiltration through surface mine profiles. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, St. Joseph, v. 23, n. 3, p. 785-793, 1986.

SOBRE OS AUTORES

Deodato do Nascimento Aquino

Engenheiro Agrônomo, M. Sc. em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pelo CMID-UFC, bolsista do CNPq.

Adunias dos Santos Teixeira

Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Prof. do Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC.

Eunice Maia de Andrade

Engenheira Agrônoma, Ph.D., Profª. do Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC.

Fernando Bezerra Lopes

Tecnólogo em Recursos Hídricos/Irrigação, M. Sc. em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pelo CMID-UFC, bolsista do CNPq.

Antonio Dimas Simão de Oliveira

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Agronomia (Irrigação e Drenagem) pelo CMID-UFC, atualmente doutorando em engenharia agrícola pela mesma universidade.