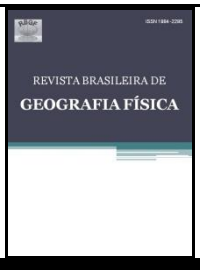
ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Potencial de Retenção de Águas Pluviais pelo Método "*Curve Number*"[1]

Marcia Regina Gomes de Jesus Soares[2], Jorge Antonio Silva Centeno[3], Chisato Oka Fiori[3], Claudinei Taborda da Silveira[3], Eloy Kaviski[3]

[1]Parte da Tese de Doutorado da primeira autora.
[2]Doutoranda em Geografia – Universidade Federal do Paraná, UFPR e Bolsista da CAPES. CEP 81531-980, Curitiba, PR. E-mail: marcia.rgsoares@gmail.com - autor correspondente.
[3]Professores doutores da Universidade Federal do Paraná – UFPR.

Artigo recebido em 12/05/2014 e aceite em 20/08/2014.

R E S U M O

No presente trabalho são apresentados os resultados de um estudo cujo objetivo geral é analisar a evolução temporal do potencial de retenção de águas pluviais de bacias hidrográficas com base no parâmetro "*Curve Number*" (CN) do método de estimativa de vazões do *Soil Conservation Service* (SCS), visando contribuir para a gestão e manejo dos recursos hídricos. O método do SCS é um modelo chuva-vazão que é utilizado para estimar vazões em pequenas bacias com base em dados pedológicos e de evolução de uso e ocupação do solo. A cobertura do solo, derivada de imagens de satélite Landsat TM 5 foi usada para estimar o parâmetro CN e a evolução temporal deste parâmetro foi analisada para caracterizar as principais mudanças na área de estudo. O método foi aplicado na sub-bacia hidrográfica do rio Mourão de 854 km2, localizada no curso médio do rio Ivaí – PR. Comparando os dados para o ano de 1986 e 2011, obtiveram-se os seguintes resultados: 68% da área permaneceram com o mesmo valor de CN, seguido de 20% de aumento da impermeabilização e 12% de diminuição da mesma. Observou-se que a principal causa para o aumento da impermeabilização foi que a urbanização também aumentou em 7% em áreas de solos com restrições ao uso. Estes resultados explicam o aumento da vazão de 2011 em comparação a 1986, que foi na média de 8%, aliada também ao aumento da precipitação em 208,7 mm para o mesmo período.

Palavras-chave: Modelo de análise, bacia hidrográfica, impermeabilização do solo.

Potential for retention by method of rainwater "curve number"

A B S T R A C T

In this paper we present the results of a study aimed at the analysis of the temporal the evolution of the potential for stormwater retention in basins using the "Curve Number" (CN) parameter of the Soil Conservation Service (SCS), run-off model. The SCS model is a run-off model that is used to estimate run-off in small watersheds using soil data and information about land use and land cover. Land cover was derived from satellite imagery and allowed to compute the CN parameter for each pixel. Comparing the values obtained for two different years, changes within the basin were analyzed. The method was tested using data of a 854 km2 sub-basin in the middle course of the Mourão river. The analysis lead yielded the following results: 68% of the area remained the same value CN, followed by a 20% increase and 12% of waterproofing decreases. It was observed that the main cause for the increase in urbanization that the sealing was also increased by 7% in areas with fragile soils. These results explain the increased flow rate of 2011 compared to 1986, which was on average 8%, combined with an increasing precipitation of 208.7 mm for the same period.

Keywords: Temporal evolution, waterproofing, soil sealing.

Introdução

O tipo e a cobertura do solo são duas variáveis determinantes na capacidade de infiltração e na retenção das águas do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica. Estes elementos são importantes para o estabelecimento de políticas de gestão de uma bacia, visto que traduzem a evolução da ocupação de sua superfície e as atividades de preservação.

Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar a evolução temporal do potencial de retenção de águas pluviais de bacias hidrográficas através do estudo o uso e cobertura do solo derivado de imagens de satélite para a gestão e manejo dos recursos hídricos. Para isto, foi avaliada a viabilidade do uso do parâmetro CN (*curve number*) do modelo chuva-vazão desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS), órgão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), que é muito utilizado para estimar vazões em pequenas bacias com base em dados que podem ser derivados de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica.

Um método simples e largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas no mundo, o método CN tem sido empregado por pesquisadores como Hawkins, 1993; Jacobs, 2005; Tedela *et al*., 2008; Santos et al, 2007; Banasik, 2010; Cao et al., 2011; Araújo Neto, 2012. O método do SCS baseia-se no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida em um dado evento é uma função da altura total da lâmina precipitada e de perdas que ocorrem, principalmente, devido à infiltração, à interceptação vegetal e à retenção em depressões do terreno (TYAGI *et al*., 2008).

Neste estudo, são levadas em consideração as variáveis físicas pedológicas, geomorfológicas e de evolução de uso e ocupação do solo que foram confrontadas com os dados de vazão e pluviosidade com o objetivo de conhecer até que ponto a dinâmica multitemporal do uso influencia no comportamento hidrológico.

A área de estudo do presente trabalho compreende a sub-bacia hidrográfica do rio Mourão no curso médio do rio Ivaí entre as coordenadas UTM 345.500,2m e 7.342.774,9m; 378.837,8m e 7.293.496,2m (Figura 1). Seu exutório coincide com o ponto da estação de coleta de vazão e pluviosidade. Para atender os objetivos propostos foi construído um banco de dados com informações derivadas de imagens Landsat e dados a respeito dos solos derivados de mapas pedológicos na escala de 1:250.000, da EMBRAPA (1984). A área de estudo abrange os municípios de Campo Mourão, Luiziana e Mamborê, no estado do Paraná.

Material e Métodos

A variação temporal da cobertura foi estimada usando imagens Landsat, de diferentes épocas. Através das imagens de satélite Landsat TM 5 compreendendo um período de multitemporalidade de vinte e cinco anos (1986 e 2011), foi verificada a evolução do adensamento urbano e seu grau de impacto na hidrologia. Para tanto foi realizada a classificação supervisionada das imagens multiespectrais, utilizando o método da Máxima Verossimilhança Gaussiana, dentro do software Spring do INPE (2013).

O classificador utilizado na elaboração da carta de uso e cobertura do solo foi o "máxima verossimilhança (maxver)" que

considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Os temas obtidos nas cartas de uso e cobertura do solo foram: Agricultura; Água/banhado; Vegetação; Área urbana.

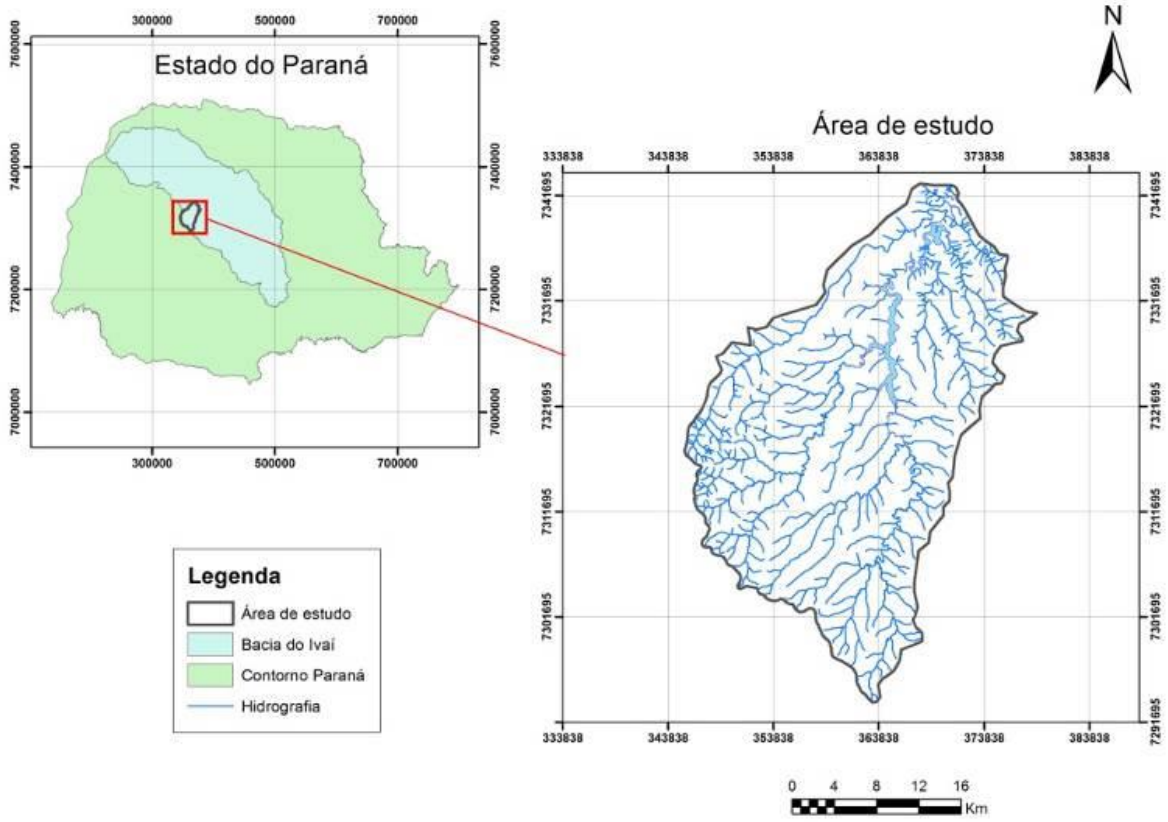


Figura 1. Figura de localização geográfica da área de estudo.

O *Soil Conservation Service* (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos propôs um método simplificado para estimar o escoamento superficial em pequenas bacias rurais. Esta estimativa se baseia em levantamento de dados como uso e cobertura do solo, precipitação e tipo de solo. O método se popularizou em estudos hidrológicos devido à sua fácil aplicação. Posteriormente, maneiras de estimar os parâmetros de entrada a partir de imagens de satélite foram propostos, como o estudo de RAGAN; JACKSON (1980), o que introduziu uma adaptação e simplificação de um de seus parâmetros.

O método consiste em estimar a chuva efetiva, a parcela do volume precipitado que forma o escoamento superficial, e com isto o escoamento superficial. A chuva efetiva é dada por:

$$Q = ((P - 0.3S)2)/(P + 0.7S) \quad (1)$$

Onde,

Q = altura da lâmina do escoamento, em mm

P = precipitação, em mm

S = capacidade de recarga máxima da bacia após uma precipitação antecedente de 5 dias, em mm.

A capacidade de recarga máxima está associada às características físicas da bacia, em termos de solos e cobertura vegetal.

$$S = (24500/CN) - 254 \qquad (2)$$

Para seu cálculo, é necessário determinar o parâmetro NC, *Curve Number*, que é um valor tabelado que descreve a combinação de tipo de solo, a umidade antecedente e o uso e cobertura na bacia.

Como uma bacia não apresenta características uniformes em termos de solo e cobertura vegetal, o valor representativo da bacia pode ser obtido ponderando cada valor presente na bacia pela proporção de área associada a este valor:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^{n} cn_i a_i}{A} \qquad (3)$$

Onde

CN = número da curva;

A = área da bacia;

CN = número da curva de uma parte da bacia;

A = área associada a um número de curva na bacia.

No estudo, para derivar o valor do parâmetro CN foram analisadas as associações entre as classes de cobertura e ocupação obtidas das imagens orbitais e o grupo hidrológico do solo. Para esta classificação hidrológica, foram utilizadas as informações pedológicas na escala 1:250.000 (Figura 2) fornecidas pela EMBRAPA (1984). Estes dados permitiram determinar a distribuição espacial da classificação hidrológica dos solos, conforme mostra a Figura 3.

De acordo com a Figura 2 e a Figura 3, 81% da área de estudo é constituída por Latossolos (LVd13, LVd9, LVdf10, LVdf4, LVdf6, LVef2) os quais constituíram o grupo hidrológico B, por se tratar de solos arenosos com pouca argila, proporcionando melhor infiltração a escoamento superficial; 5% de Argissolo (PVd4), o qual constitui o grupo hidrológico A, por se tratar de solo arenoso, profundo e bem drenado; 12% de Neossolo Chernossólico (RRe11, RRe12) que constituíram o grupo hidrológico D, por se tratarem de solos com argilas pesadas, muito impermeáveis e; 0,3% Neossolo típico (RRe7) que constitui o grupo hidrológico C por se tratar de solos mais argilosos que o grupo B, com baixa permeabilidade.

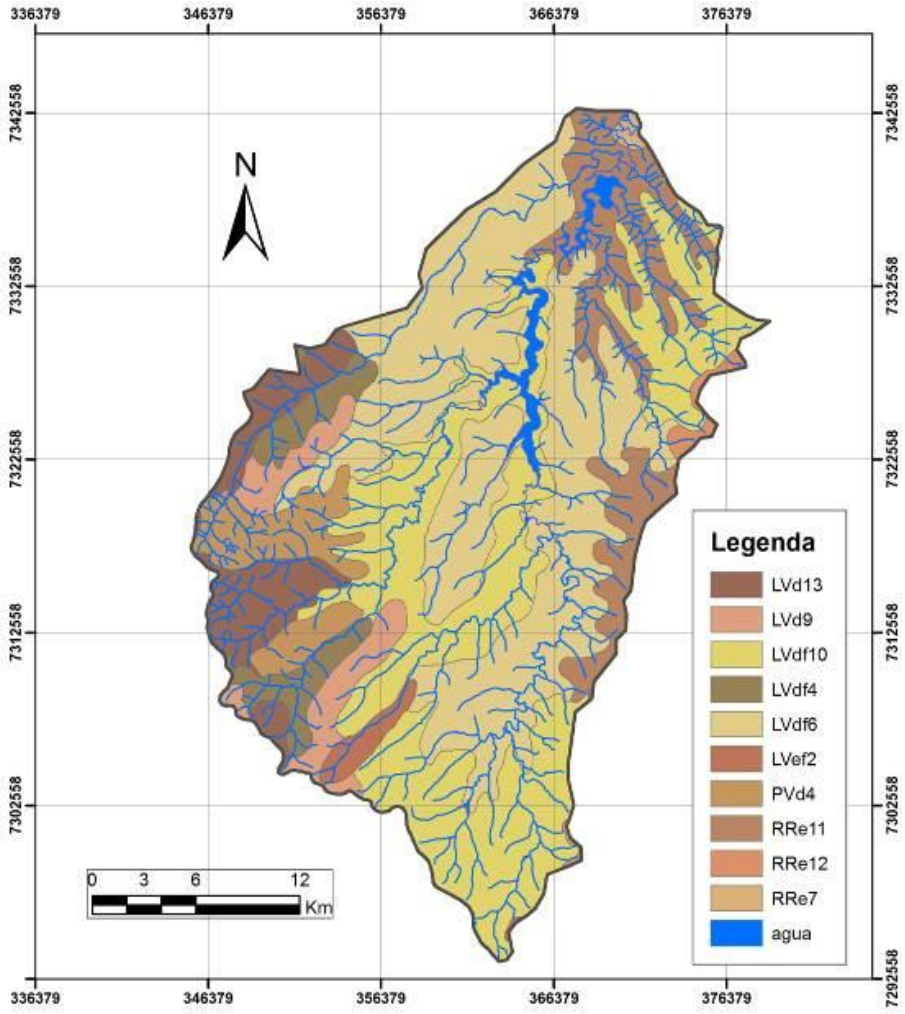


Figura 2. Mapa de solos. Legenda: Latossolos (LVd13, LVd9, LVdf10, LVdf4, LVdf6, LVef2); Argissolo (PVd4); Neossolo Chernossólico (RRe11, RRe12); Neossolo típico (RRe7)

A tabela original do método do SCS é ampla e apresenta uma grande quantidade de combinações. No estudo de RAGAN; JACKSON (1980), esta quantidade de possibilidades foi restrita em função da capacidade de se mapear a cobertura usando imagens orbitais.

Com base nessa simplificação, e considerando as classes presentes na região de estudo, uma tabela simplificada foi proposta, conforme a Tabela 1:

Tabela 1. Número da curva CN do SCS simplificado.

		Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Uso do solo	Agricultura	62	71	78	81
	Água/banhado	100	100	100	100
	Vegetação	36	60	70	76
	Áreas urbanas	77	85	90	92

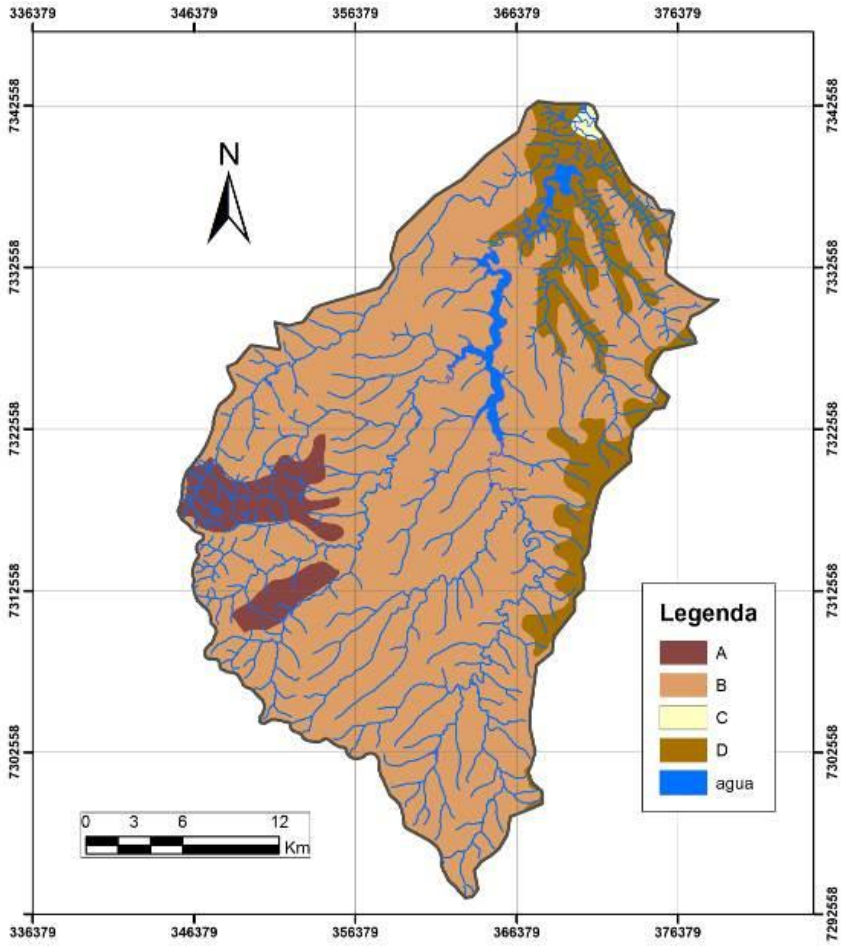


Figura 3. Classificação hidrológica do solo. Legenda: A = alta permeabilidade; B = permeabilidade alta a moderada; C = permeabilidade moderada a baixa; D = baixa permeabilidade.

A curva de permanência (Figura 4) constitui importante fonte de apontamento do potencial de regularização hidrológica, e ela foi construída por dispor as vazões diárias observadas no período considerado em ordem decrescente. Com a amplitude da variação das vazões, foram definidos os intervalos de classe e colocados os intervalos em ordem decrescente e verificar o número de eventos ocorridos em cada intervalo à frequência absoluta. Foi calculada a frequência relativa (frequência absoluta / número de dados) para cada intervalo e acumuladas seguindo a ordem anterior. Plotou-se em um gráfico o limite inferior de cada intervalo (ordenada) e a correspondente frequência relativa acumulada (abscissa).

Resultados

A Figura 4 mostra a Curva de Permanência da área de estudo, ou a capacidade de retenção de águas superficiais, mostrando curvatura típica de bacias hidrográficas menores (Figura 4), com valores variando de 3 e 52 m^3/s. Notam-se condições de escoamento superficial de maior equilíbrio na distribuição espacial.

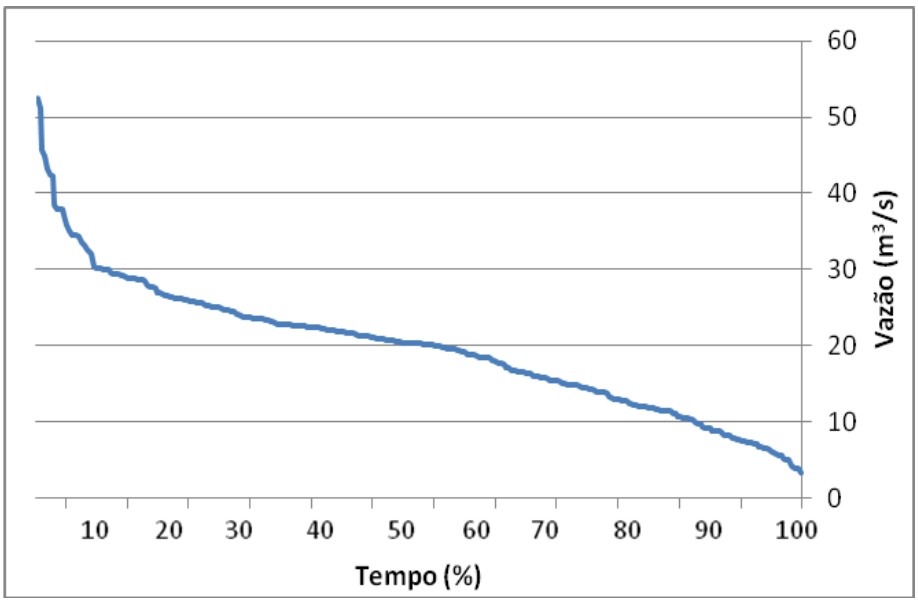


Figura 4. Curva de Permanência da área de estudo. Valor médio mensal de 1985-2012.

A área total da bacia compreende a 854 km^2. Esta área foi classificada no levantamento do uso do solo em duas datas: 1986 e 2011, para verificar as alterações que podem ser observadas neste período. O resultado da classificação está apresentado nas Figuras 5a e 5b.

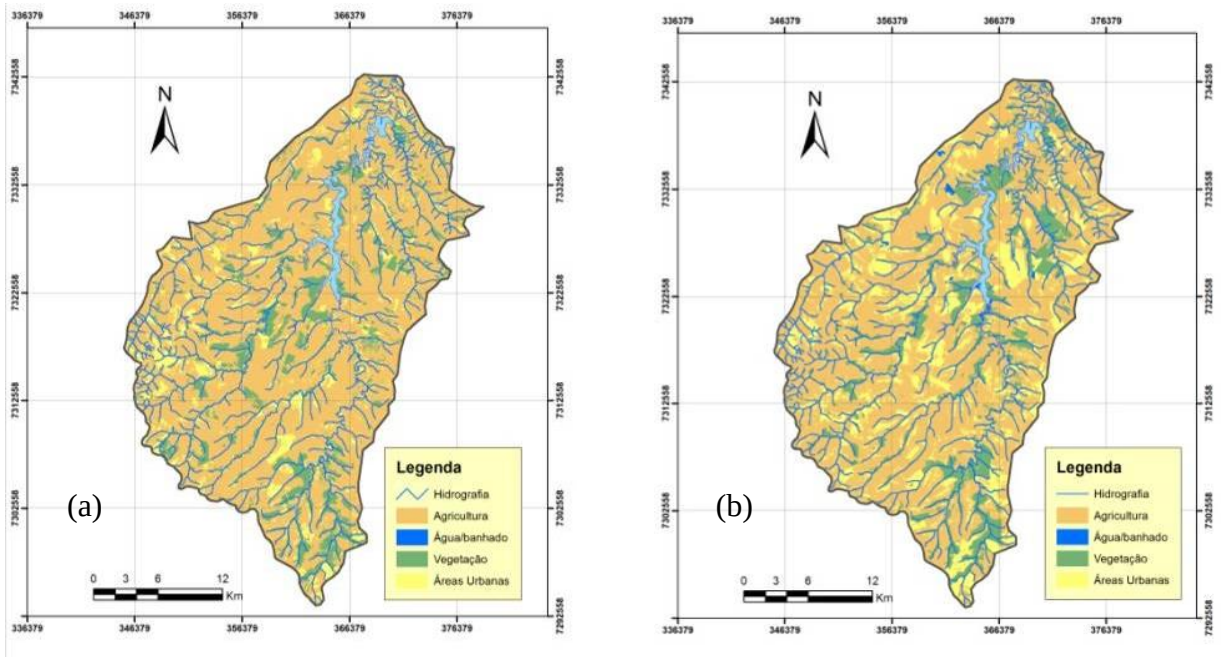


Figura 5. Uso e ocupação do solo: (a) – 1986 e (b) – 2011.

A percentagem de área associada a cada tipo de cobertura foi calculada com base nestes mapas temáticos e é mostrada na tabela 2.

Utilizando os fatores apresentados na Tabela 1, foi possível determinar os valores do número da curva (CN) para cada pixel da imagem, e com isto obter a distribuição

espacial deste parâmetro na bacia nas duas datas em questão. O resultado é mostrado na Figura 6. Tonalidades escuras estão associadas a baixos valores do parâmetro, enquanto que tonalidades claras correspondem a altos valores do CN.

Tabela 2. Evolução do uso e ocupação do solo.

	Grupo Hidrológico do Solo	
Uso do solo	**Área em 1986 (km^2)**	**Área em 2011 (km^2)**
Agricultura	667	585
Água/banhado	4	18
Vegetação	107	115
Áreas urbanas	76	136

Comparando as figuras das duas datas é notado que na parte norte da bacia valores baixos do CN foram substituídos por valores mais altos, refletindo a expansão da agricultura (Figura 6).

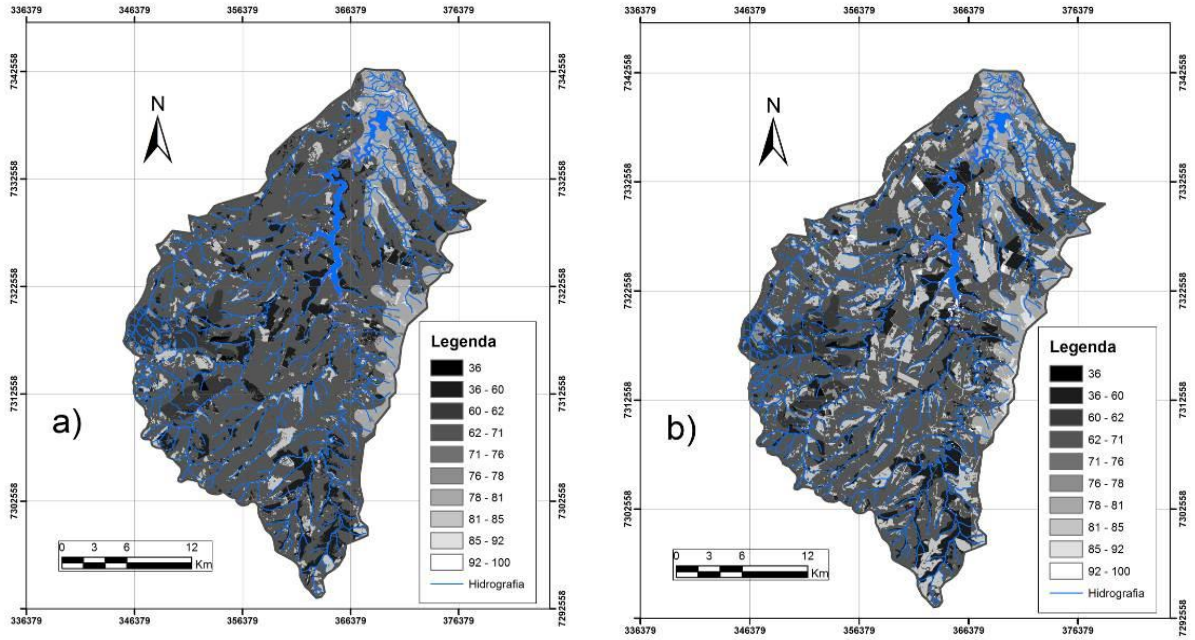


Figura 6. Mapa de retenção máxima do solo: (a) – 1986 e (b) – 2011.

A seguir, a evolução do CN foi analisada comparando pixel a pixel os mapas temáticos mostrados na figura 6. Esta análise permite verificar que grande parte da bacia permaneceu inalterada; em torno de 68% da bacia continua com o mesmo valor de CN. É também observado que 20% dos pixels traduzem o aumento da impermeabilização e 12% a diminuição da mesma (Figura 7).

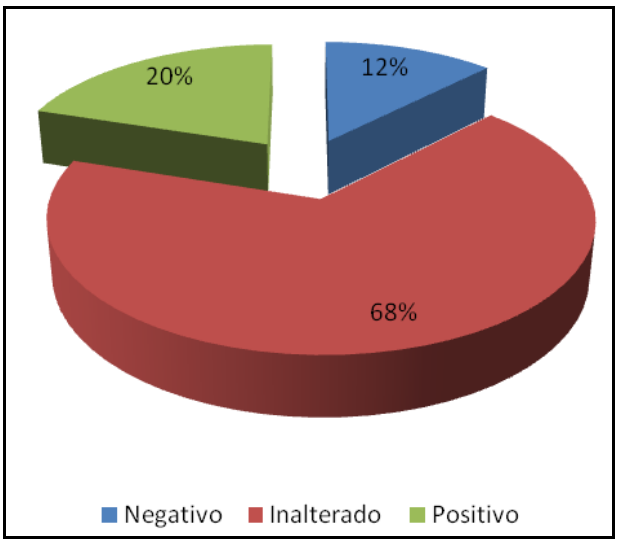


Figura 7. Mudança de permeabilidade de 1986 a 2011.

Discussão

Observou-se que a principal causa para o aumento da impermeabilização foi que a urbanização também aumentou em 7% em áreas com solos frágeis ao uso agrícola e ocupações urbanas e de textura que favorecem o escoamento superficial à infiltração. Embora o uso agrícola tenha diminuído em 10%, o espaço foi preenchido principalmente pelas áreas urbanas, resultando no aumento da curva de escoamento, ou no agravamento dos valores do CN.

Assim se verifica contraposição do uso do solo às características naturais da bacia hidrográfica. Estes resultados explicam o aumento da vazão de 2011 em comparação a 1986, que foi na média de 8%, aliada também ao aumento da precipitação em 208,7 mm.

Conclusão

O método do CN constitui boa ferramenta para identificação de áreas frágeis e limitantes ao considerar a evolução de uso e ocupação do solo através da análise multitemporal. O método permitiu contemplar variáveis importantes para a análise e gestão de elementos físicos da paisagem e seus processos, ao se trabalhar com os dados de forma conjunta, o que é necessário para se chegar a resultados completos e eficazes. Desta forma o objetivo da pesquisa proporcionou a integração dos condicionantes do meio físico, apontando áreas mais ou menos suscetíveis às formas de modificações estabelecidas pelas atividades humanas.

Agradecimentos

Ao INPE, pelo fornecimento das imagens de satélites para o auxílio na elaboração do mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo.

Referências

Araújo Neto, J. R.; Palácio, H.; Andrade, E.; Santos, J.; Pinheiro, E. 2012. Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil.

Irriga, Botucatu, Edição Especial, p. 264 – 279.

Banasik, K.; Woodward, D. 2010. Empirical determination of runoff curve number for a small agricultural watershed in Poland. 2nd *Joint Federal Interagency Conference*, Las Vegas, NV, June 27 - July 1.

Cao, H.; Vervoort, R. W.; Dabney, S. M. 2011. Variation in curve numbers derived from plot runoff data for New South Wales (Australia). *Hydrological Processes*, v. 25, p. 3774-3789.

Embrapa. 1984. *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná*. SLNCS.

Hawkins, R. H. 1993. Asymptotic determination of curve numbers from data. Journal of Irrigation and Drainage Division, *American Society of Civil Engineers*, v. 119, n. 2, p. 334-345.

Inpe – *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. 2013. SPRING Realise 4.2. São Paulo, conceitos cartográficos.

Jacobs, J. H.; Srinivasan, R. 2005. Effects of curve number modification on runoff estimation using WSR-88D rainfall data in Texas watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 60, n. 5, p. 274-279.

Ragan, R M.; T J Jackson (1980). Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model, *Journal of Hydrology*, Divn., ASCE, Vol. 106 (HYS5): 667-678.

Santos. C. A. G.; Vajapeyam. R. M. S.; Srinivasan, S. 2007. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semiárido da Paraíba. Revista *OKARA*: Geografia em debate, João Pessoa, v. 1, n. 1, p. 1-152.

Tedela, N., Mccutcheon, S.; Rasmussen, T.; Tollner, W. 2008. Evaluation and Improvements of the Curve Number Method of Hydrological Analysis on Selected Forested Watersheds of Georgia. *Report submitted to Georgia Water Resources Institute*. Available at http:/water.usgs.gov/wrri/07grants/progress/2007GA143B .pdf. [Acessado em 01 Agosto 2013].

Tyagi, J. V.; Mishra, S. K.; Singh, R.; Singh, V. P. 2008. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. *Journal of Hydrology*, v. 352, p. 388–403.