

OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE CURVA (CN-SCS) PARA DIFERENTES MANEJOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA, CEARÁ, BRASIL

JOSÉ RIBEIRO DE ARAÚJO NETO¹; HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO²; EUNICE MAIA DE ANDRADE³; JÚLIO CÉSAR NEVES DOS SANTOS⁴; EVERTON ALVES RODRIGUEZ PINHEIRO⁵

¹Mestrando em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. Av. Mister Hull, S/N, Caixa Postal 12.168, Campus do Pici, CEP 60455-970, Fortaleza, CE, Fone: (085) 3366.9762. E-mail: junior.bg@bol.com.br

²Doutora em Engenharia Agrícola, Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE, Campus Iguatu. E-mail: helbaraujo23@yahoo.com.br

³Engenheira Agrônoma, Ph. D., Professora do Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: eandrade@ufc.br

⁴Doutorando em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: juliocesnds@yahoo.com.br

⁵Mestrando em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: evertonvest@yahoo.com.br

1 RESUMO

Objetivou-se com o presente estudo calibrar e validar o número de curva (CN) para diferentes manejos da vegetação caatinga no semiárido brasileiro. O trabalho foi desenvolvido em três microbacias experimentais localizadas na região Centro Sul do Ceará, Brasil. Os dados de precipitação e escoamento foram medidos no período de 2008 a 2011 por uma estação hidrometeorológica localizada no exutório das microbacias. Na primeira microbacia (B1) a cobertura vegetal foi mantida inalterada enquanto que na segunda (B2) foi aplicado o manejo de raleamento para produção de pastagem e a terceira (B3) aplicou-se o manejo de corte/queima e plantação da gramínea (*Andropogon gayanus*, Kunt) para produção de pasto. A calibração do CN foi realizada empregando-se o critério do máximo coeficiente de Nash e Sutcliffe. Os resultados mostraram que o manejo da vegetação influencia na produção de escoamento nas microbacias refletindo nos valores de CN. Os CN gerados podem ser usados para estimativa do escoamento superficial em condições similares de manejo da caatinga no semiárido brasileiro e encontraram-se próximos a valores tabelados de manejos similares obtidos para condições de uso e cobertura do solo de outros países. Tanto na calibração como validação os modelos apresentaram bons coeficientes de Nash e Sutcliffe superiores a 0,6, bem como, índices de confiança de bom a muito bom.

Palavras-chave: Escoamento superficial; modelagem hidrológica; microbacias hidrográficas

ARAÚJO NETO, J. R. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; de ANDRADE, E. M.; dos SANTOS, J. C. N.; PINHEIRO, E. A. R. OPTIMIZATION OF THE COVER NUMBER (CN-SCS) FOR DIFFERENT MANAJEGEMENT IN A SEMARID REGION, CEARÁ, BRASIL

2 ABSTRACT

This study was carried out to calibrate and validate the Runoff Curve Number method (CN) for different management of Caatinga vegetation in the Brazilian semi-arid. The study was conducted in three small experimental watersheds in the southern central region of Ceará State, Brazil. Rainfall and streamflow records were collected at a station located at the watershed outlet from 2009 to 2011. The first small watershed (B1), is representative of caatinga, a type of scrubby forest; the second one (B2) was a thinning applied to pasture production and the third one (B3) was managed with cutting/burning and planting grass (*Andropogon gayanus*, Kunt) to forage productivity. The CN calibration was done using the Nash and Sutcliffe coefficient. Results showed that the management of vegetation influences the runoff in watersheds reflecting the CN. The CN generated can be used for the estimation of the surface runoff in management conditions similar to those of the caatinga in the Brazilian semi-arid region. The validation values were near the recorded values of similar managements, obtained in other countries. Both, the calibration and validation runoff model showed good Nash and Sutcliffe coefficients over 0,6.

Keywords: Runoff; hydrologic modeling; small watershed.

3 INTRODUÇÃO

Os modelos hidrológicos tem se tornado ferramentas de planejamento e decisão, além das clássicas funções de avaliações hidrológicas e, como tal, devem ser estruturados de forma simples para permitir sua utilização por diversos usuários. A estimativa do escoamento superficial é essencial para a avaliação do potencial de rendimento de água em uma bacia hidrográfica, bem como, no planejamento de medidas de conservação do solo e água, redução do assoreamento e riscos de inundações a jusante (MUÑOZ-ROBLES *et al.*, 2011). Embora muitos modelos hidrológicos estejam disponíveis para a estimativa do escoamento gerado de uma chuva, a maioria dos modelos é limitado, seja pela sua entrada de dados intensivos ou por requerimentos de processos de calibração (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Um método simples e largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas no mundo é método do Número de Curva (CN) desenvolvido na década de 1950 pelo Serviço de Conservação dos Solos (SCS-USDA), atualmente Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) (HAWKINS, 1993; JACOBS; SRINIVASAN, 2005; TEDELA *et al.*, 2005; BANASIK; WOODWARD, 2010; CAO *et al.*, 2011). 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 das abstrações iniciais, que representa as perdas que ocorrem, principalmente, devido à infiltração, à interceptação vegetal e à retenção em depressões do terreno (TYAGI *et al.*, 2008).

Os valores de CN são obtidos para cada uso e cobertura do solo em tabela padrão do SCS. As tabelas foram desenvolvidas para as condições de uso e cobertura do solo dos EUA, em conjunto com quatro grupos de solos classificados de acordo com a taxa de infiltração, textura e estrutura. (NRCS, 2007; LIMA *et al.*, 2007).

Para alguns usos da terra e grupo de solo o valor CN não está disponível nos manuais e assim deve ser estimado. Desta forma, emerge a importância do desenvolvimento de pesquisas que sejam capazes de estimar o número da CN mediante diferentes cenários de uso e ocupação do solo para diferentes regiões. Já que, quando se trata da cobertura vegetal das

bacias hidrográficas, sabe-se que este fator sofre várias modificações tanto naturais como antrópicas, e essa dinâmica produz alterações nas respostas hidrológicas (KANG et al., 2001; CASERMEIRO et al., 2004; BARTLEY et al., 2006; GARCIA-RUIZ et al., 2008).

Embora, o método de CN já seja bastante usado em todo o mundo, somente nas últimas décadas é que passou a ser empregado com uma maior frequência no Brasil (MELLO et al., 2003; ALVES et al., 2011). Alguns trabalhos têm buscado determinar o valor CN para algumas bacias hidrográficas localizadas no semiárido nordestino como Figueiredo (2011) e Almeida (2011), no entanto, pesquisas relacionadas ao modelo CN-SCS direcionadas aos diferentes manejos da vegetação caatinga na região semiárida brasileira ainda são escassas. Em outras regiões como na China, alguns pesquisadores também determinaram novos valores de CN para cada tipo de uso da terra, porque eles acreditavam que os valores de CN dos EUA não poderiam ser exportados para outros países (ZHANG et al., 2003; JIN et al., 2003; ZHANG et al., 2004; GAO et al., 2006; WANG; HUANG, 2008)

Nesse contexto, para uma aplicação mais próxima da realidade do modelo CN-SCS na previsão do escoamento em regiões semiáridas, esse estudo tem como objetivo a calibração e validação do parâmetro número de curva para diferentes manejos da vegetação caatinga em pequenas bacias rurais no semiárido brasileiro.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área de estudo é composta por três microbacias experimentais, localizadas no município de Iguatu, região Centro Sul do estado do Ceará, Brasil. Fazem parte da grande bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, mas precisamente na sub-bacia do Alto Jaguaribe entre as coordenadas $6^{\circ}23'42''$ a $6^{\circ}23'47''$ S e $39^{\circ}15'24''$ a $39^{\circ}15'29''$ W (Figura 1). As microbacias experimentais estão inseridas na área de domínio do Instituto Federal e Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE e foram instaladas pela parceria entre a Universidade Federal do Ceará –UFC e o IFCE.

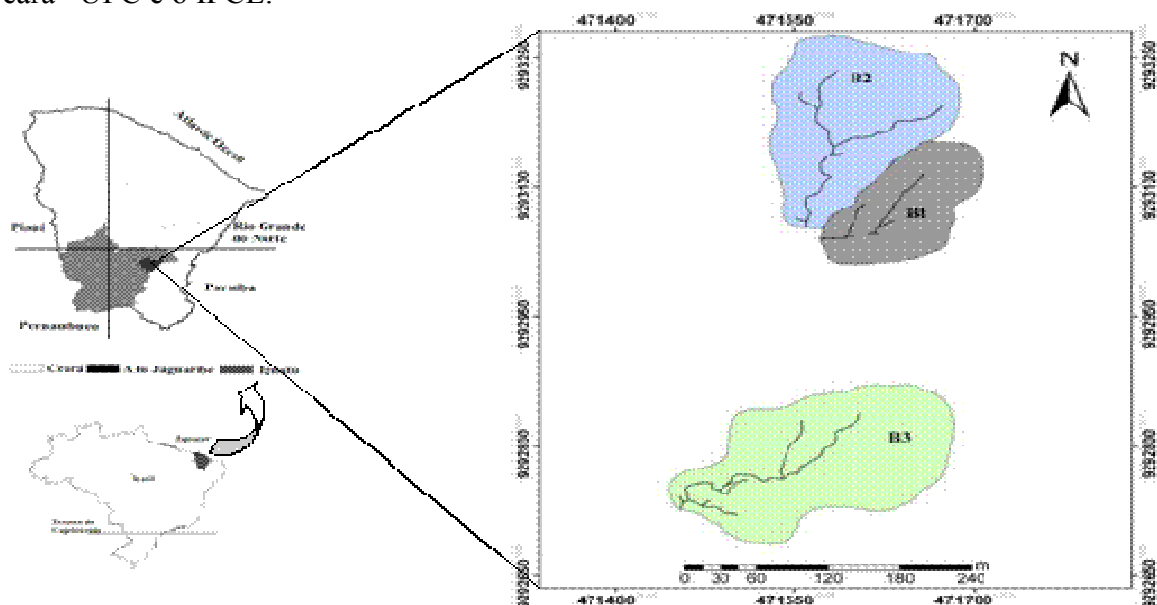


Figura 1. Localização das microbacias experimentais no Estado do Ceará

O clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo BSw'h', clima semiárido. A temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio e precipitações pluviométricas máximas de outono. A média histórica da precipitação anual para o município de Iguatu entre os anos de 1974/2008 é de 970 ± 316 mm, sendo a precipitação pluviométrica na região concentrada principalmente nos meses de janeiro a maio, com os maiores valores constatados no mês de março. A distribuição mensal é marcada por uma alta variabilidade, podendo em um único mês, concentrar um acumulado superior ao total anual de um ano seco. A região é caracterizada também por altas taxas evaporativas, com medida em tanque classe "A" chegando a uma média de $2.943 \text{ mm ano}^{-1}$ estando às médias mensais com maiores valores durante os sete meses de menor precipitação como citado por Santos et al. (2011).

As características morfométricas das microbacias experimentais estudadas podem ser verificadas na Tabela 1. As três microbacias monitoradas fazem parte do bioma Caatinga, apresentam escoamento efêmero e foram monitoradas durante as estações chuvosas dos anos de 2008 e 2011. O solo nas três microbacias em estudo é classificado como Vertissolo Ebânico Carbonático Típico, classificados de acordo com a EMBRAPA (2006).

Tabela 1. Características morfométricas das microbacias experimentais: B1, B2 e B3

Características	Unid.	Microbacias		
		B1	B2	B3
Manejo da vegetação		Caatinga nativa	Caatinga raleada	Queima com pastagem
Área da bacia	ha	2,06	1,15	2,80
Perímetro	m	594,50	478,35	696,75
Comprimento do talvegue	m	183,87	120,54	187,90
Comp. do curso principal	m	252,11	147,18	238,20
Comprimento da bacia	m	204,20	188,17	253,90
Declividade da bacia	%	10,59	8,72	5,57
Fator de forma	-	0,49	0,32	0,43
Coefficiente de compacidade	-	1,16	1,25	1,17
Densidade de drenagem	m ha^{-1}	192,59	153,80	146,29
Tempo de concentração	h	0,06	0,05	0,07
Sinuosidade do curso principal	-	2,06	1,20	2,8

Quanto aos tratamentos aplicados a microbacia B1 foi mantida inalterada com cobertura vegetal natural durante o período de estudo, sem intervenção humana (Figura 2a), representando condições naturais de pequenas bacias rurais do semiárido brasileiro. A microbacia designada de B2 recebeu o manejo de raleamento em (Figura 2b), prática ainda pouco empregada por pequenos agricultores do semiárido brasileiro para produção de pastagem. Já a microbacia B3 foi submetida ao tratamento da corte/queima com plantação de pastagem (*Andropogon gayanus*, Kunt) (Figura 2c), sendo a prática da queimada a mais utilizada pelos agricultores da região na remoção da vegetação. Ambos os tratamentos do raleamento e da queima foram aplicados com propósito de verificar a influência da prática de desmatamento na caatinga sobre as repostas hidrológicas em pequenas bacias rurais no semiárido brasileiro.



Figura 2. Detalhes da vegetação nas microbacias experimentais: (a) B1 caatinga nativa; (b) B2 caatinga raleada e (c) B3 corte, queima e plantação da gramínea

4.2 Monitoramento Hidrológico

O monitoramento hidrológico das microbacias experimentais foi realizado a partir de estações automáticas equipadas com pluviógrafos (registro a cada 5 minutos) (Figura 3a), situadas a montante de uma calha Parshall (Figura 3b), responsável pela medição do deflúvio superficial. Para medição do nível da água foram instalados linígrafo automáticos, a partir das elevações de nível de água ou cotas registradas no sensor, que foram coletadas continuamente

em intervalos de 5 minutos, converteu-se altura da água em vazão mediante equação específica de cada calha (equação 1).



Figura 3. (a) Modelo do pluviógrafo e (b) calha Parshall instalados na microbacia experimental monitorada

$$Q = 3,72W \cdot 0,0086^{W^{0,026}} \cdot Hm^{1,393} \cdot W^{0,026} \quad (1)$$

Em que:

Q - corresponde a vazão da calha Parshall ($L s^{-1}$);

W - representa a largura do estrangulamento (cm) para cada calha;

Hm - expressa a altura da coluna d'água no ponto a montante do estrangulamento (cm).

4.3 Calibração e Validação

O método Número de Curva do Soil Conservation Service (CN-SCS), utilizado na estimativa do escoamento superficial, engloba informações relativas à precipitação e ao componente solo-vegetação, considerando o tipo, o uso, a umidade inicial e a condição hidrológica do solo (NRCS, 2007). O método SCS foi fundamentado na análise de um amplo número de chuvas, sendo que a parte da precipitação que gera o escoamento superficial é dado pela equação 2.

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (2)$$

Em que:

Pe - precipitação efetiva ou escoamento superficial, mm;

P - precipitação total, mm;

S - capacidade máxima de infiltração, mm.

Esta equação é válida para $P > I_a$, caso contrário, $P_e = 0$. Através de diversas pesquisas em pequenas bacias experimentais, uma relação empírica foi desenvolvida para as abstrações iniciais, na qual se estabeleceu que essas representam 20% da capacidade máxima de infiltração da água no solo (0,2S) (SCS, 1972).

Na aplicação do modelo CN-SCS a capacidade máxima de infiltração é obtida pela equação 3 com o uso do número de curva (CN). O CN varia de 1 a 100, normalmente, para as condições de campo o CN, situa-se entre 35 e 98, sendo o limite inferior para condições de solo com alta taxa de infiltração e com pouco escoamento, já o limite superior é para condições de solo de baixa taxa de infiltração e alto escoamento superficial.

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

(3)

Em que:

CN - é o parâmetro número da curva

Existem atualmente muitas tabelas que apresentam os valores de CN-II (condições de média umidade antecedente do solo) para várias superfícies de solos agrícolas e urbanos, de acordo com seu grupo de solo, tipo de vegetação e área impermeabilizada e condições hidrológicas da superfície (SCS, 1972; TUCCI, 1993; CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; PRUSKI et al., 2004)

No método CN-SCS o número da curva pode ser determinado para quatro grupos de solos (A, B, C e D), classificados de acordo com a capacidade de produção de escoamento superficial. O risco de ocorrência de escoamento superficial aumenta no sentido de A para D, enquanto a capacidade de infiltração ocorre de modo inverso. Os limites da taxa de infiltração para grupo de solo definido pelo SCS-USDA são alvo de muitos estudos. De acordo com NRCS (2007) solos com uma camada impermeável de água existente a uma profundidade entre 50 a 100 cm e condutividade hidráulica saturada $< 3,6 \text{ mm.h}^{-1}$ fazem parte do grupo de solo D. Pesquisadores como Pruski et al. (2004) afirmam que solos com taxa de infiltração $< 3 \text{ mm.h}^{-1}$ caracterizam como grupo de solos D. Sendo assim, as três microbacias possuem o mesmo solo com condutividade hidráulica saturada inferior a $0,2 \text{ mm.h}^{-1}$ classificado como grupo de solos do tipo D.

Foram selecionados 36, 30, 13 eventos para respectivamente as microbacias B1, B2 e B3 entre as estações chuvosas de 2008 e 2011. O critério utilizado para selecionar os eventos foram somente aqueles que apresentavam condições de umidade antecedente AMC II (médio) ou III (alto), ou seja, apenas eventos com o somatório das precipitações nos últimos 5 dias superiores a 36 mm.

O ajuste do CN na etapa de calibração foi realizado pelo ajustamento do seu valor, através do coeficiente de NES, por meio do software *Excel* com o uso da ferramenta *Solver*, adotando como critério a relação entre a precipitação efetiva calculada com a precipitação efetiva medida até que o coeficiente de Nash e Sutcliffe atingisse valor máximo para aquele grupo de dados da calibração, que foram metade dos eventos em cada microbacia para calibrar, sendo a outra metade usada para validação.

Tanto na calibração do parâmetro CN como na validação o critério utilizado foi o máximo coeficiente de confiança definido por Nash e Sutcliffe (1970) dado pela equação 4.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum (Y_m - Y_c)^2}{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)^2} \right] \quad (4)$$

Em que:

NS – coeficiente de Nash e Sutcliffe, $\{-\infty < NSE < 1\}$;

Y_m – valor medido;

Y_c – valor calculado;

\bar{Y}_m - média dos valores medidos.

Este coeficiente pode variar de $-\infty$ até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de NSE superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor de NSE fica entre 0,36 e 0,75. O NSE, além de traduzir a similaridade da variabilidade entre duas variáveis, é um indicador da similaridade de quantificação, o que é considerado bastante relevante na avaliação de confiança e eficiência na modelagem o qual, segundo Machado et al. (2003), é um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar a precisão de modelos hidrológicos. Os coeficientes de Nash e Sutcliffe foram definidos como NSE-Cal. para o grupo de eventos de calibração, sendo metade dos eventos de cada microbacia, e NSE-Val. para os eventos de validação. Para a validação do CN levou-se em consideração a umidade antecedente do solo.

Para se validar o CN calibrado também foram aplicados os seguintes índices estatísticos: coeficiente de correlação (R), o qual indica a dispersão dos dados em relação à média (precisão) e índice de Willmott (id) que indica o grau de exatidão do modelo, ou seja, de quanto os valores estimados se aproximam dos observados. Por último empregou-se o índice de confiança ou desempenho (c), o qual é o produto do coeficiente de correlação com o índice de Willmott ($c = R * id$), em que $c = 1$ significa confiança perfeita e $c = 0$ considerado péssimo (Tabela 2), conforme proposto por Camargo; Sentelha (1997).

Tabela 2. Valores do coeficiente de desempenho conforme Camargo; Sentelhas (1997)

Valor de "c"	Desempenho
> 0,90	Ótimo
0,81 a 0,90	Muito Bom
0,71 a 0,80	Bom
0,51 a 0,70	Mediano
0,41 a 0,50	Sofrível
0,31 a 0,40	Mau
≤ 0,30	Péssimo

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Calibração

Para os eventos selecionados, com base nos dados de precipitação e precipitação efetiva, determinou-se o armazenamento (S) e calibrou-se o número de curva (CN) que

podem ser verificados juntos com os valores de coeficiente de escoamento (C) na Tabela 3., O coeficiente de escoamento foi calculado como o valor médio dos eventos selecionados. Verificou-se uma correlação entre os valores de CN e C para as microbacias em estudo. Estudos realizados por Lima et al. (2007) apontaram essa relação, e, ainda mostraram uma equação empírica que relaciona o CN com o coeficiente de escoamento. Considerando as similaridades morfológicas e do tipo de solo entre as microbacias em estudo, bem como as características climatológicas por serem bacias circunvizinhas, os valores desses coeficientes já indicam a influência do manejo da vegetação na produção do escoamento.

Tabela 3. Coeficiente de escoamento (C), armazenamento (S), número de curva calibrado (CN) e coeficiente de Nash e Sutcliffe de calibração para as microbacias em estudo

Microbacias	Manejo aplicado	C	S (mm)	CN	NSE-Cal.*
B1	Caatinga nativa	0,16	80,2	75,4	0,75
B2	Caatinga raleada	0,10	97,3	72,3	0,76
B3	Queima com pastagem	0,27	33,0	88,5	0,80

*NSE-Cal. = Coeficiente de Nash e Sutcliffe usado como critério para calibração do CN.

A microbacia B1 apresentou, para os anos hidrológicos em estudo, S de 80,2 mm e CN de 75,4 próximos aos valores observados por Figueiredo (2011) também para vegetação caatinga, no período de 2005 e 2010, que observou S de 80 mm e CN de 78. O método CN-SCS busca representar as perdas hídricas potenciais de uma bacia; quanto menor o valor do parâmetro CN, maior será o armazenamento inicial de uma bacia, reduzindo a possibilidade de escoamento (TYAGI et al., 2008). Nesse sentido, verifica-se que a microbacia B2 apresentou o maior S de 97,3 mm e o menor CN de 72,3, valores inversos foram verificados na microbacia B3 com S de 33 mm e maior CN de 88,5.

Os menores CN para a microbacia B2, 4,1% inferior ao da microbacia B1 com caatinga nativa, ocorre provavelmente, pelo fato do maior desenvolvimento da vegetação herbácea no manejo do raleamento da caatinga. Este maior desenvolvimento é decorrente da maior penetração de luz solar e consequente desenvolvimento da vegetação rasteira. Esse comportamento corrobora com resultados encontrados por Muñoz-Robles et al. (2011) onde observou que em áreas com maior cobertura herbácea no semiárido do sudeste da Austrália ocorreu um amplo controle do escoamento.

Em outras regiões semiáridas no mundo Kang et al. (2001) e Bartley et al. (2006) constataram também que, mesmo em áreas com cobertura vegetal e declividade semelhantes, dependendo do arranjo da cobertura vegetal, com maior ou menor presença de cobertura herbácea, essas podem apresentar respostas hidrológicas diferentes. Autores como Wainwright et al. (2000) e Casermeiro et al. (2004) afirmam que, em áreas coberta com vegetação a resposta geral tem sido a redução significativa de taxas de escoamento, no entanto, as maiores diferenças nas taxas de escoamento está relacionada não somente com o total cobertura da vegetação, mas também como resultado de diferenças na fisionomia das plantas e da estrutura, que provoca diferentes valores de interceptação e escoamento pelos troncos das árvores.

Já a prática da remoção da vegetação pelo corte/queima na microbacia B3 aumenta significativamente o valor do CN (17,4% a mais em relação à microbacia B1 com caatinga nativa), pela ausência da cobertura do solo o que proporciona um maior escoamento. Kang et

al. (2001) na China, indicaram que a enxurrada na região do país, decorrente das chuvas verão (intensidade alta), em áreas sob cultivo e cobertura vegetal foi significativamente menor que a de áreas de solo descoberto (sem cultura vegetal ou mesmo resíduos de culturas). Portanto, deixando evidente o decréscimo do escoamento superficial com o aumento da cobertura vegetal. Este resultado observado na microbacia B3 demonstra que a presença de cobertura vegetal é um fator preponderante sobre a redução do escoamento, corroborando com resultados de Garcia-Ruiz et al. (2008), que verificaram a importância da vegetação sobre o deflúvio em microbacia preservada.

Os resultados do CN calibrado neste estudo evidenciam a importância do arranjo das espécies vegetais na resposta hidrológica de microbacias. O raleamento, com o consequente surgimento das espécies herbáceas em uma maior densidade resultou em um aumento na infiltração da água no solo e uma redução das perdas de água por escoamento superficial. Taís resultados expressa o importante papel que a cobertura vegetal pode desempenhar no controle das perdas de água, principalmente quando se considera a irregularidade e a baixa precipitação pluvial da região semiárida do Nordeste do Brasil, (ALBUQUERQUE et al., 2001). Resultados encontrados por Santos et al. (2007) avaliando as perdas de água em diferentes coberturas superficiais também no semiárido do Nordeste, Estado da Paraíba, observaram que na área com caatinga nativa a retenção de água foi 5 vezes maior do que as áreas expostas.

Novos valores de CN também foram determinados por alguns pesquisadores na China considerando diversos tipos de uso da terra. Wang; Huang (2008) obteve o valor CN para o milheto (*Panicum miliaceum* L.), alfafa (*Medicago sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench), usando o escoamento medido para calcular os valores de CN. Estudos semelhantes também foram realizados em outras bacias hidrográficas (JIN et al., 2003; ZHANG et al., 2004; GAO et al., 2006). Já Zhang et al. (2003) estabeleceram uma nova abordagem para obter valores de CN a partir de um evento chuvoso em particular e para as chuvas dos últimos cinco dias, utilizando um método estatístico na bacia Anjiagou da província de Gansu. Esses autores obtiveram melhor desempenho do modelo CN-SCS com os novos valores de CN. Os resultados desses estudos indicaram que o valor CN padrão no modelo CN-SCS é uma superestimativa para alguns tipos de uso do solo e uma subestimativa para os outros.

5.2 Validação

A Figura 4 apresenta a relação entre as precipitações efetivas medidas e as estimadas com o uso do CN calibrado para os três manejos, considerando as condições de umidade antecedente (AMC), visto que, as predições de escoamento são muito sensíveis às condições de umidade anteriores nos sistemas de bacias hidrográficas (PATIL et al., 2008). Quando a simulação apresentar acuracidade, os pares de pontos (medidos e estimados) apresentam-se em torno da reta 1:1, a qual conecta os valores computados iguais aos observados, ou seja, a igualdade perfeita. Pelos índices aplicados, a precipitação efetiva estimada e medida apresenta boa correlação em todos os manejos, com coeficientes de correlação (r) superiores a 0,80 e índice de Willmott (id) maior que 0,90, indicando um bom desempenho ($c = 0,77$) para a microbacia B3 e muito bom ($c=0,89$) para as microbacias B1 e B2. Os coeficientes de Nash e Sutcliffe para validação (NSE-Val.) nas três microbacias foram maiores que 0,60 (Figura 4), mostrando que para o número de eventos em estudo o CN pôde ser calibrado e validado com boa precisão. Resultados semelhantes forma observados por Almeida (2011) na calibração e validação do CN em duas encostas também no semiárido brasileiro.

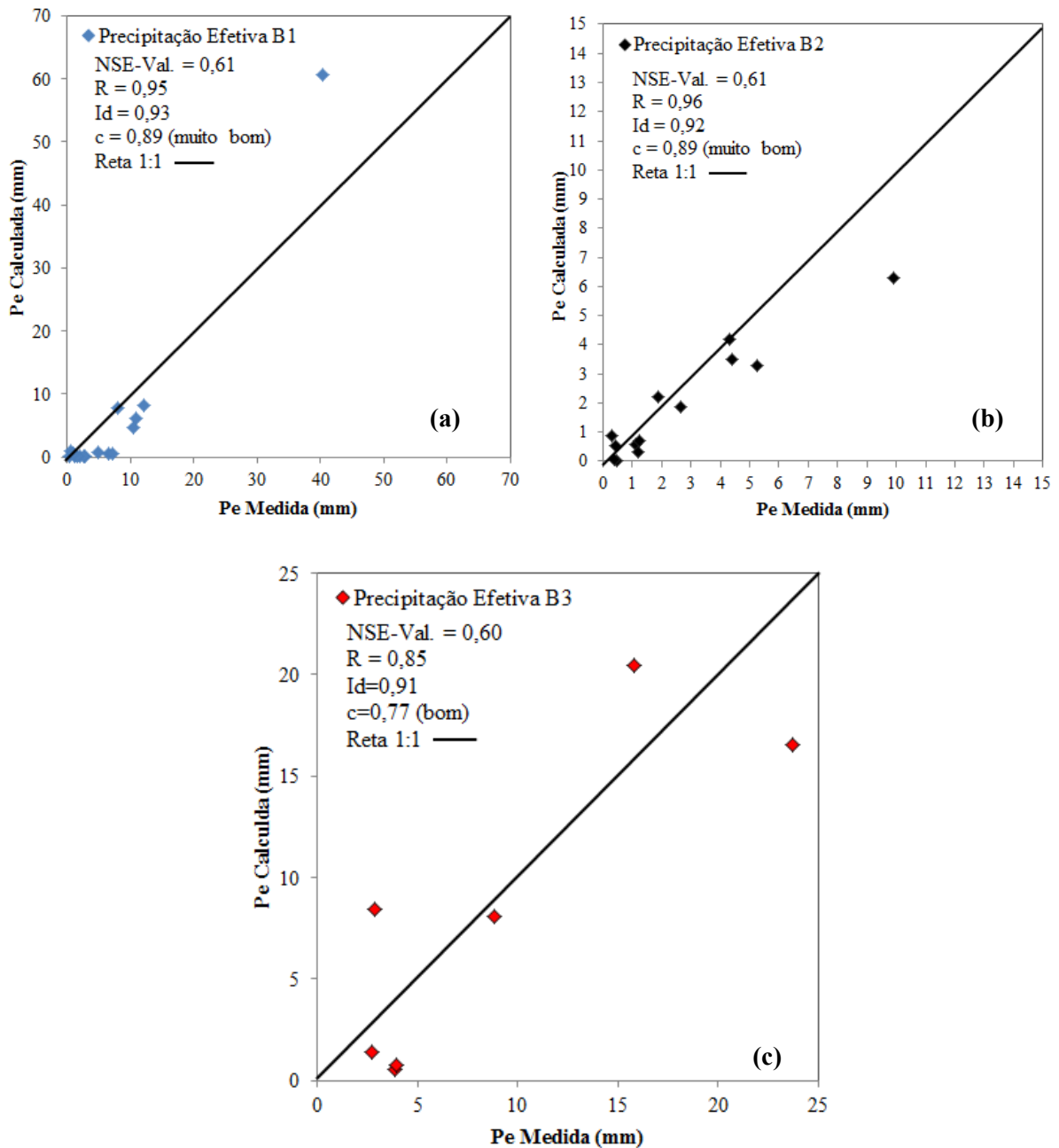


Figura 4. Valores de escoamento superficial medido e estimado atribuindo o CN calibrado para: (a) microbacia B1; (b) microbacia B2 e (c) microbacia B3

Independente do manejo aplicado, os valores de CN calibrados e validados para as microbasias estudadas apresentaram valores altos superiores a 70 (Tabela 3), podendo ser atribuído em parte aos eventos selecionados apresentarem condições de umidade antecedente AMC II (médio) ou III (alto), bem como também, à característica sedimentar da geologia onde a microbasias está inserida e ao tipo de solo, classificado como D segundo as classes do modelo CN-SCS em decorrência da baixa condutividade hidráulica saturada inferior de 0,2

mm.h⁻¹. Araújo; Piedra (2007) mencionaram que os processos envolvidos na formação do escoamento superficial estão mais relacionados à geologia e ao solo do que às atributos climáticos, observando na região sedimentar da bacia de Jaruco em Cuba um maior CN em relação à bacia comparada de Aiuaba no semiárido do Ceará.

A fim de averiguar se os valores de CN, calibrados e validados para os diferentes manejos na caatinga apresentados na Tabela 3, representam bem as condições reais, efetuou-se uma comparação entre valores obtidos neste estudo e os das tabelas existentes na literatura. A Tabela 4 apresenta valores de CN tabelados que relaciona o estado de cobertura do solo, as condições hidrológicas e o tipo de solo, sob a condição de umidade média (AMC II), para as condições próximas as encontradas nas microbacias manejadas. O grupo de solo presente nas três microbacias é o D, de acordo com a classificação usada no método CN-SCS.

Tabela 4. Número de curva (CN) para bacias agrícolas nas condições de umidade antecedente normal (AMC II)

Cobertura do Solo	Condições de Superfície	Tipo de Solo			
		A	B	C	D
Florestas	Normais	36	60	70	(76)*
	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
Campos Permanentes	Normais	30	58	71	(78)*
	Esparsa, baixa transpiração	45	66	77	83
	Densas, alta transpiração	25	55	70	77
Pastagens	Condições pobres	68	79	86	(89)*
	Condições ótimas	39	61	74	80

Fonte: SCS (1972)

*Entre parênteses o valor de CN tabelado para manejos considerados similares aos aplicados nesse estudo.

Verifica-se na Tabela supracitada que o valor tabelado de CN para florestas normais é 76, próximo o valor do CN calibrado e validado de 75,4 (Tabela 3) para microbacia B1 com cobertura vegetal caatinga nativa. Já o valor de CN para a microbacia B2 com caatinga raleada foi comparado a uma cobertura com campos permanentes em condições de superfície normais, devido a vegetação típica da microbacia ter sido retirada entorno de 60% com o manejo do raleamento, causando assim um maior desenvolvimento do extrato herbáceo formado devido a maior penetração da radiação solar. O valor de CN calibrado e validado para caatinga raleada foi de 72,3 valor próximo ao CN de 78 para campos permanentes normais, sendo que nas condições reais de caatinga raleada a cobertura herbácea provocou uma redução no valor do parâmetro CN em comparação com a caatinga nativa. Já para a microbacia B3, pode-se comparar o valor de CN calibrado e validado de 88,5 ao valor de CN de 89 para pastagens em condições pobres, pois, o tratamento da corte/queima com plantação de pastagem estava em estagio inicial nos anos em estudo.

Portanto, os valores de CN para diferentes manejos da caatinga na região semiárida do Ceará na Tabela 3 estão coerentes com os valores similares observados na literatura na Tabela 4, representando o nível de confiança na utilização dos valores de CN calibrados e validados

em condições reais e locais de campo nos manejos estudados para predição do escoamento superficial em microbacias rurais com manejos similares.

6 CONCLUSÕES

1. Para os eventos hidrológicos selecionados nos anos em estudo foi possível a calibração e validação do parâmetro CN em diferentes manejos da vegetação caatinga.

2. Os CN gerados podem ser usados para estimativa do escoamento superficial em condições similares de manejo da caatinga no semiárido brasileiro e encontraram-se próximos a valores tabelados de manejos similares obtidos para condições de uso e cobertura do solo de outros países.

3. Pelos índices aplicados, os CN calibrados e validados apresentaram alta confiabilidade com coeficientes de Nash e Sutcliffe superiores a 0,6 indicando um bom desempenho, enquanto o índice de confiança ($c > 0,75$) classifica a etapa de validação de bom a muito bom.

4. Os menores valores de CN = 72,3 para a microbacia com caatinga raleada, próximo ao CN = 75,4 para microbacia nativa, sugere um manejo adequado para a produção de pastagem no semiárido, uma vez que produz pastagem e reduz as perdas de água por escoamento superficial. A prática de corte/queima com pastagem, tornou o solo mais exposto, proporcionando maiores escoamentos expressos no valor de CN, que foi de 88,5.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 121–128, 2001.

ALMEIDA, C. L. **Impacto da recuperação de áreas degradadas sobre as repostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. 2011.

ALVES, D. B., SAUSEN, T. M., LACRUZ, M. S. P. Modelagem dinâmica do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria – RS. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, INPE. p.5671-5678, 2011.

ARAÚJO, J. C.; PIEDRA, J. I. G. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 1169–1178, 2009.

BANASIK, K., WOODWARD, D. **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, 2010.

BARTLEY, R.; ROTH, C. H.; LUDWIG, J.; MACJANNET, D.; LIEDLOFF, A.; CORFIELD, J.; HAWDON, A.; ABBOTT, B. Runoff and erosion from Australian's tropicsemi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scale. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 3317–3333, 2006.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

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

CASERMEIRO, M. A.; MOLINA, J. A.; CARAVACA, M. T. D. L.; COSTA, J. H.; MASSANET, M. I. H.; MORENO, P. S. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. **Catena**, v. 57, p. 91-107, 2004.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. McGRAWHILL International Editions: Civil Engineering Series. 572 p. 1998.

FIGUEIREDO, J. V. **Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em Caatinga preservada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, 2011.

GAO, Y.; ZHU, B.; MIAO, C. Y.; ZHANG, J. Z. Application of SCS model to estimate the volume of rainfall runoff in sloping field of purple soil. **Chin. Agr. Sci. Bull.**, v. 22, n. 11, p. 396-400, 2006.

GARCIA-RUIZ, J. M.; REGUÉS, D.; ALVERA, B.; LANA-RENAULT, N.; SERRANO-MUELA, P.; NADL-ROMERO, E.; NAVAS, A.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C. ARNÁEZ, J. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 274, p. 30-46, 2006.

HAWKINS, R. H. 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, 1993.

JACOBS, J. H., SRINIVASAN, R. 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, 2005.

JIN, H.; SUN, X. H.; LI, Y. B. Application of SCS model in Lanhe watersheds. **J. Taiyuan Univ. Technol.**, v. 34, n. 6, p. 735-736, 2003.

KANG, S.; ZHANG, L.; SONG, X.; ZHANG, S.; LIU, X.; LIANG, Y.; ZHENG, S. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. **Hydrological Processes**, v. 15, p. 977-988, 2001.

LIMA, H. M.; VARGAS, H. CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007.

- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 147-155, 2003.
- MELLO, C. R., LIMA, J. M., SILVA, A. M. S., LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003.
- MUÑOZ-ROBLES, C.; REID, N.; TIGHE, M.; BRIGGS, S. V.; WILSON, B. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia. **Geoderma**, v. 160, p. 524–534, 2011.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS): **National Engineering Handbook**, Part 630 Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Chapt. 7, Hydrologic Soil Groups, 2007.
- PATIL, J.P.; SARANGI, A.; SINGHA, A.K.; AHMADB, T. Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. **Biosystems Engineering**, v. 100, p. 137–146, 2008.
- PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento Superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.
- SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. Runoff and soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 813-820, 2011.
- SANTOS, C. A. G. VAJAPYAM, R. M. S.; SRINIVASAN, S. 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, 2007.
- TEDELA, N., MCCUTCHEON, S., RASMUSSEN, T., TOLLNER, W. **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>. Accessed 23 January 2012. 2008.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH: EDUSP, 1993. 944p.
- TYAGI, J. V.; MISHRA, S. K.; SINGH, R.; SINGH, V. P. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. **Journal of Hydrology**, v. 352, p. 388–403, 2008.
- WAINWRIGHT, J., PARSONS, A. J., ABRAHAM, A. D. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico. **Hydrological Processes**, v. 14, p. 2921–2943, 2000.
- WANG, Y.; HUANG, M. B. Optimizing parameters of SCS-CN method for application on the Loess Plateau. **Bull. Soil Water Conserv.**, v. 28, n.1, p. 54–58, 2008.

ZHANG, M. H.; WANG, X. Y.; QIN, F. L. Application of SCS model to estimate the quantity of rainfall runoff of small watershed in Shixia, Miyun County. **J. Capital Norm. Univ.** (Nat. Sci. Ed.), v. 25 (S1), p. 155–158, 2004.

ZHANG, X. Y.; MENG, F.; DING, N. Application of SCS model to estimating the quantity of runoff of small watershed in semi-arid or arid region. **Res. Soil Water Conserv.**, v. 10, n. 4, p. 172–174, 2003.