



Plant cover and hydrological response in a seasonally dry tropical forest (SDTF)

Cobertura vegetal e as respostas hidrológicas em floresta tropical sazonalmente seca (FTSS)

Eunice Maia de Andrade¹, Maria Elinalda Ribeiro Costa², Júlio Cesar Neves dos Santos³, Helba de Araújo Queiroz Palácio⁴, Jacques Carvalho Ribeiro Filho^{5*}

Abstract: The scarcity of information on the processes of rainfall-flow limits understanding of the hydrology of dry regions of the world. In order to minimise the problem, this study was developed to investigate the influence of the characteristics of rainfall events and plant cover on the effective precipitation (Pe) in a seasonally dry tropical forest (SDTF) in the Northeast of Brazil. The study was carried out in two paired watersheds, one with SDTF under regeneration for 35 years (CR₃₅) and the other under thinned SDTF for 5 years (TC). A historical series of five years (2009-2013) was analysed, with a total of 203 rainfall events, where only those rainfall events that generated a Pe > 1.0 mm were considered. CR₃₅ had a greater number of Pe events (47) than TC (35). Rainfall depth and intensity were the factors that best explained the effective precipitation under both types of vegetation cover. The influence of herbaceous vegetation on the reduction of surface runoff was demonstrated by the smaller runoff depth and the greater potential for soil water storage in the watershed under thinned Caatinga. This fact leads to the conclusion that the technique of thinning is suitable management for Caatinga vegetation, and is capable of promoting the retention of soil water.

Key words: Rainfall flow. Land use. Herbaceous layer. Semi-arid.

Resumo: A escassez de informações sobre os processos chuva-deflúvio é uma limitação no entendimento da hidrologia das regiões secas do globo terrestre. Buscando minimizar esta problemática, desenvolveu-se este estudo objetivando investigar as influências das características dos eventos pluviométricos e da cobertura vegetal na precipitação efetiva (Pe) em floresta tropical sazonalmente seca (FTSS), no nordeste do Brasil. O estudo foi realizado em duas microbacias emparelhadas, uma com FTSS em regeneração há 35 anos (CR₃₅) e outra com FTSS raleada há 5 anos (CR). Foi analisada uma série histórica de cinco anos (2009-2013), com um total de 203 eventos pluviométricos, sendo considerados somente os eventos pluviométricos que geraram Pe > 1,0 mm. A CR₃₅ apresentou um maior número de eventos (47) de Pe do que a CR (35). A altura pluviométrica e as intensidades foram os fatores que melhor explicaram a precipitação efetiva em ambas as coberturas vegetais. A influência da vegetação herbácea na redução do escoamento superficial foi evidenciada pelas menores lâminas escoadas e pelo maior potencial de armazenamento de água no solo na microbacia com a Caatinga raleada. Tal fato permite concluir que a técnica de raleamento representa um manejo apropriado para a vegetação da Caatinga, sendo capaz de promover a retenção de água no solo.

Palavras-chave: Chuva-deflúvio. Uso da terra. Estrato herbáceo. Semiárido.

*Corresponding author

Posted to 21/09/2017 and approved on 22/09/2017

¹Ph.D., Prof.^a da Universidade Federal do Ceará, DENA/CCA/UFC, Bolsista em produtividade de pesquisa do CNPq E-mail – eandrade@ufc.br;

²Mestra em Eng. Agrícola pela Universidade Federal do Ceará, DENA/CCA/UFC. E-mail – maria.elinalda@gmail.com;

³Doutor em Eng. Agrícola pela Universidade Federal do Ceará, DENA/CCA/UFC; Prof^o do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFMT – Campus Uberlândia. E-mail: juliocesarns@gmail.com;

⁴Doutora em Eng. Agrícola pela Universidade Federal do Ceará, DENA/CCA/UFC; Prof^a do Instituto Federal do Ceará – IFCE – Campus Iguatu. E-mail: helbaraujo23@yahoo.com.br;

⁵Mestrando em Manejo de Solo e Água pela Universidade Federal Rural do Semiárido, DCAT/CCA/UFERSA. E-mail: jacquesfilho1@hotmail.com

INTRODUCTION

Although hydrological studies date back more than five centuries, it was only in the 1940s and 50s that the hydrology of semi-arid regions came to be investigated (KEPPEL; RENARD, 1962; STONE *et al.*, 2008). The hydrological processes in these regions are difficult to observe, being little understood; data is generally limited (ELFEKI *et al.*, 2017; HRACHOWITZ, 2011), with less than 20% of all published articles on tropical forests covering seasonally dry tropical forests (SDTF) (PINHEIRO *et al.*, 2013; YUAN *et al.*, 2014).

Dry tropical regions are characterised by extreme hydro-climatological conditions, where the rains are concentrated over a short period of time with high spatial and temporal variability (SANTOS *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2017). Andrade *et al.* (2010) demonstrate that the total precipitation in one month may be higher than 70% of the average for the region. Watercourses are mostly ephemeral or intermittent (OSBORN; HICKOK, 1968; SANTOS *et al.*, 2016), showing high peaks in discharge, with runoff only during the rainy season (MEDEIROS *et al.*, 2014). These factors contribute to the high spatial and temporal heterogeneity of the recharge and discharge mechanisms throughout the river basin, which in turn, represent a great challenge to the prediction of hydrological processes at the watershed scale (FANG *et al.*, 2012; ROUILLARD *et al.*, 2015). Such characteristics are aggravated by the high potential evapotranspiration, a result of the highly intense solar energy and high temperatures.

Although surface runoff is affected by different static factors (area of the basin, slope, length of the main course, etc.), rainfall characteristics and land use (dynamic factors) are important in understanding the process of rainfall runoff (WEI *et al.*, 2007). In dry tropical forests, where almost all the watercourses are ephemeral, surface runoff is determined only by the characteristics of the rainfall events and land use (MEDEIROS *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2017).

Researchers have shown that changes in land use significantly alter the hydrological responses of small river basins (FOHRER *et al.*, 2001; ASHAGRIE *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2017). The adoption of suitable plant cover improves the physical properties of the soil and increases the rate of infiltration (MAGLIANO *et al.*, 2015), with a consequent reduction in surface runoff (ARNAU-ROSALÉN *et al.*, 2008; XIAO *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2012).

Plant cover, with its diversified structure, is important in the process of soil water storage (LI *et al.*, 2014) and the reduction of soil loss through the process of erosion (RODRIGUES *et al.*, 2013). If the existence of vegetation is dependent on water availability, this same vegetation determines the paths to be taken by the water in its own generation and quality maintenance.

INTRODUÇÃO

Embora os estudos hidrológicos datem seu início há mais de cinco séculos, somente nas décadas de 40 e 50, do século XX, que a hidrologia de regiões semiáridas passou a ser investigada (KEPPEL; RENARD, 1962; STONE *et al.*, 2008). Os processos hidrológicos nessas regiões são difíceis de serem observados, sendo pouco entendidos; geralmente, os dados são limitados (ELFEKI *et al.*, 2017; HRACHOWITZ, 2011). No entanto, menos de 20% de todos os artigos publicados sobre as florestas tropicais abordam as florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS), (PINHEIRO *et al.*, 2013; YUAN *et al.* 2014).

As regiões tropicais secas se caracterizam por condições hidroclimatológicas extremas, onde as chuvas são concentradas em um curto período de tempo com elevada variabilidade espacial e temporal (SANTOS *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2017). Andrade *et al.* (2010) evidenciam o fato de que o total precipitado em um mês pode ser superior a 70% da média da região. Os cursos d'água em sua maioria são efêmeros ou intermitentes (OSBORN; HICKOK, 1968; SANTOS *et al.*, 2016), apresentando picos de descargas elevados e escoamento somente durante a estação chuvosa (MEDEIROS *et al.*, 2014). Esses fatores contribuem para a elevada heterogeneidade espaço temporal dos mecanismos de recarga-descarga ao longo da bacia hidrográfica; os quais, por sua vez, representam um grande desafio na predição dos processos hidrológicos em escala de microbacias (FANG *et al.*, 2012; ROUILLARD *et al.*, 2015). Tais características são agravadas pela elevada evapotranspiração potencial decorrente das altas intensidades de energia solar e elevadas temperaturas.

Embora o escoamento superficial seja afetado por diferentes fatores estáticos (área da bacia, declividade, comprimento do curso principal, etc.), as características pluviométricas e o uso da terra (fatores dinâmicos) são determinantes no entendimento do processo chuva-escoamento superficial (WEI *et al.*, 2007). Em florestas tropicais secas, onde os cursos hídricos, em quase sua totalidade, são efêmeros, o escoamento superficial é totalmente determinado pelas características dos eventos pluviométricos e do uso da terra (MEDEIROS *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2017).

Pesquisadores têm demonstrado que mudanças no uso da terra alteram significativamente as repostas hidrológicas de pequenas bacias hidrográficas (FOHRER *et al.*, 2001; ASHAGRIE *et al.*, 2006; ANDRADE *et al.*, 2017). A adoção de cobertura vegetal adequada promove melhoria das propriedades físicas do solo e aumentam a taxa de infiltração (MAGLIANO *et al.*, 2015), com consequente redução do escoamento superficial (ARNAU-ROSALÉN *et al.*, 2008; XIAO *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2012).

A cobertura vegetal e sua estrutura diversificada são determinantes no processo de armazenamento da água no solo (LI *et al.*, 2014) e na redução das perdas de solo pelo processo erosivo (RODRIGUES *et al.*, 2013). Se a existência da vegetação é dependente da disponibilidade hídrica, essa mesma vegetação é determinante nos caminhos a serem percorridos pela água, na sua própria geração e manutenção da qualidade.

Studies aimed at understanding the consequences of plant cover on the relationships of rainfall and effective precipitation are therefore important in the proper planning of water and land use (MUNOZ-ROBLES *et al.*, 2011; PATIN *et al.*, 2012). The aim of this research was to investigate the influence of the characteristics of rainfall events and plant cover on the effective precipitation (Pe) in a seasonally dry tropical forest (SDTF) in the northeast of Brazil.

MATERIAL AND METHODS

The experimental area consists of two watersheds, located in the town of Iguatu, in the State of Ceará, Brazil (Figure 1). The climate in the region is of type BSw'h' (hot semi-arid), with an average temperature in the coldest month always above 18°C. The average annual potential evapotranspiration in the region is 1,988 mm, with an average annual rainfall of 867 mm, of which 85% is concentrated in the period from January to May, and around 30% of the rainfall being recorded in March.

The two watersheds under study have different plant cover, one of Caatinga under regeneration for 35 years (CR₃₅) and the other of thinned Caatinga for 5 years (TC) (Figure 1A). The CR₃₅ watershed has well-conserved vegetation, classified as closed woody Caatinga (Figure 1B). Due to this characteristic, the soil is completely shaded during the rainy season, and development of the herbaceous layer is limited. In the second watershed, a management of thinning the Caatinga was applied, when all woody species with a diameter of less than 10 cm were eliminated. This management allows greater penetration of the sunlight and the development of a high-density herbaceous layer, as shown by Palácio *et al.* (2013).

Neste contexto, estudos voltados para a compreensão da inferência da cobertura vegetal nas relações chuva-precipitação efetiva são importantes no planejamento adequado do uso da água e do solo (MUNOZ-ROBLES *et al.*, 2011; PATIN *et al.*, 2012). Assim, objetiva-se com esta pesquisa investigar as influências das características dos eventos pluviométricos e da cobertura vegetal na precipitação efetiva (Pe) em floresta tropical sazonalmente seca (FTSS), no nordeste do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental é composta por duas microbacias, localizadas no município de Iguatu, Ceará, Brasil (Figura 1). O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), com temperatura média no mês mais frio sempre superior a 18 °C. A evapotranspiração potencial média anual da região é de 1.988 mm, com precipitação média anual de 867 mm, sendo 85% concentrada no período de janeiro-maio, cerca de 30% dessa precipitação é registrada no mês de março.

As duas microbacias estudadas apresentam coberturas vegetais distintas, uma com Caatinga em Regeneração há 35 anos (CR₃₅) e outra com Caatinga Raleada há 5 anos (CR) (Figura 1A). A microbacia CR₃₅ apresenta uma vegetação em estado bem conservado, sendo classificada como Caatinga arbustivo-arbórea fechada (Figura 1B). Devido a essa característica, o solo é totalmente sombreado durante a estação chuvosa, e o desenvolvimento do estrato herbáceo é limitado. Já na segunda microbacia, foi aplicado um manejo de raleamento da Caatinga, onde foram eliminadas todas as espécies arbóreas arbustivas com diâmetro inferior a 10 cm. Tal manejo permitiu a maior penetração de luz solar e o desenvolvimento do estrato herbáceo de alta densidade, como mostrado por Palácio *et al.* (2013).



Figure 1 – Watersheds with woody caatinga under regeneration for 35 years (A) and with thinned caatinga (B).

Source: The authors.

Figura 1 - Microbacias com Caatinga arbórea-arbustiva em regeneração há 35 anos (A) e Caatinga raleada (B).

Fonte: Os autores.

The watersheds show similar geomorphological and edaphic characteristics (Table 1), the latter being classified as a typical Carbonatic Ebanic Vertisol. This class of soil has minerals of the montmorillonite group (2:1) in the clay fraction, with the occurrence of cracks in the dry period and flooding during the rainy season. This characteristic leads to low values for hydraulic conductivity (Table 1).

Hydrological monitoring in both types of land use was carried out from 2009 to 2013 by means of two automatic stations equipped with rain gauges (recording every 5 minutes), and a Parshall gutter in the outflow of each watershed, which were responsible for measuring the surface runoff or effective precipitation (Pe). To measure the water level, automatic limnigraphs were installed. In this study, it was decided to consider the occurrence of surface runoff when Pe was greater than 1 mm. To verify the normality of the data, the Lilliefors test for normality was applied at a significance level of 95% using the SPSS 16.0 software.

As microbacias apresentam características geomorfológicas e solo semelhantes (Tabela 1), sendo esse último classificado como VERTISSOLO EBÂNICO Carbonático típico. Essa classe de solo apresenta na fração argila minerais do grupo das montmorilonitas (2:1) com a ocorrência de fendas no período seco e encharcamento durante a estação chuvosa. Tal característica conduz a baixos valores da condutividade hidráulica (Tabela 1).

O monitoramento hidrológico, nos dois usos da terra, foi conduzido de 2009 a 2013 por meio de duas estações automáticas equipadas com pluviógrafos (registro a cada 5 minutos) e uma calha Parshall no exutório de cada microbacia, responsáveis pelas medições do escoamento superficial ou precipitação efetiva (Pe). Para mensuração do nível da água, foram instalados linígrafos automáticos. Neste estudo, optou-se por considerar a existência de escoamento superficial quando a Pe fosse superior a 1 mm. Para verificar a normalidade dos dados, aplicou-se o teste de normalidade *Lilliefors* ao nível de significância de 95%, pelo emprego do programa SPSS 16.0.

Table 1 - Morphometric characteristics and physical attributes of the soil and plant cover in the experimental watersheds

Tabela 1 - Características morfométricas, atributos físicos do solo e da cobertura vegetal das microbacias experimentais

Characteristic	Unit.	Land use	
		CR ₃₅	TC
Area of the watershed	ha	2.06	1.15
Length of the main course	m	252.11	147.18
Slope of the watershed	%	10.59	8.72
Drainage density	m ha ⁻¹	192.59	153.80
Concentration time	h	0.06	0.05
Sand	g kg ⁻¹	137	137
Silt	g kg ⁻¹	447	447
Clay	g kg ⁻¹	416	416
Textural class		Clayey loam	
Saturated hydraulic conductivity (Ks)	mm h ⁻¹	0.25	0.20
Tree cover	%	60	25
Herbaceous cover	%	70	100

RESULTS AND DISCUSSION

The high temporal variability of the annual rainfall in the region can be seen in Table 2. For the five years under study, the values ranged from 662 to 1,347 mm year⁻¹, with a coefficient of variation of 0.3. In the first year of the study (2009), total rainfall was 1,062 mm, with the occurrence of 52 individual rainfall events, of which 20 generated surface runoff; in the last year of the study, for a total precipitation of 662 mm and 30 rainfall events, only one event was able to generate surface runoff in the two watersheds, demonstrating the uncertainty of the rainfall-flow events.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Elevada variabilidade temporal das precipitações pluviométricas anuais da região podem ser observadas na Tabela 2. Para os cinco anos estudados, os valores variaram de 662 a 1.347 mm ano⁻¹, com coeficiente de variação de 0,3. No primeiro ano de estudo (2009), a altura pluviométrica total foi de 1.062 mm, com ocorrência de 52 eventos individuais de chuva, dos quais 20 geraram escoamento superficial; já no último ano do período em estudo, para um total precipitado de 662 mm e ocorrência de 30 eventos pluviométricos, somente um evento foi capaz de gerar escoamento superficial nas duas microbacias, expressando as incertezas dos eventos chuva-deflúvio.

In years like 2009 and 2011 which had an annual precipitation above the historical average, and with events that were well-distributed over time, the largest number of runoff-generating events occurred (Table 2), as soil moisture reduces initial abstractions in later events. In years like 2010 and 2013, which were below the historical average and characterised by the frequent occurrence of hot dry periods, few events with superficial runoff were seen, as the occurrence of these hot dry periods reduces the level of antecedent moisture in the soil and increases the formation of cracks (a characteristic of vertic soils), as reported by Santos *et al.* (2016). Accordingly, the determining factor in the process of surface runoff in the study area has been the pattern of rainfall events and the antecedent moisture status of the soil, as also argued by other researchers (MORIN, *et al.*, 2006; FANG *et al.* 2012).

Investigating 2013 (Table 2), when the lowest total rainfall depth (662 mm) was recorded, only one rainfall event generated surface runoff in both types of vegetation cover (CR₃₅ and TC). This event, recorded on 9 May 2013, displayed a rainfall depth of 162 mm, with a high return period of 70 years (SANTOS *et al.*, 2016). On the day following this event, another runoff-generating event occurred, with a precipitation of 62 mm, unfortunately it was not possible to measure the surface runoff due to a fault in the data acquisition system.

Em anos como 2009 e 2011, que apresentaram precipitações anuais acima da média histórica e com eventos bem distribuídos temporalmente, ocorreram os maiores números de eventos geradores de escoamento (Tabela 2), uma vez que o umedecimento do solo reduz as abstrações iniciais em eventos posteriores. Já em anos como 2010 e 2013, que foram abaixo da média histórica e caracterizados por frequente ocorrência de veranicos, foram observados poucos eventos com escoamento superficial, uma vez que a ocorrência de veranicos reduz o teor de umidade antecedente do solo e aumenta a formação de fendas (características dos solos vérticos), conforme relatado por Santos *et al.* (2016). Assim, o fator determinante do processo de escoamento superficial na área de estudo tem sido o padrão dos eventos pluviométricos e o estado de umidade antecedente do solo, como já argumentado por outros pesquisadores (MORIN, *et al.*, 2006; FANG *et al.*, 2012).

Investigando-se o ano de 2013 (Tabela 2), quando foi registrada a menor altura pluviométrica total (662 mm), somente um evento pluviométrico foi gerador de escoamento superficial em ambas as coberturas vegetais (CR₃₅ e CR). Esse evento, registrado no dia 09/05/2013, apresentou altura pluviométrica de 162 mm, com elevado período de retorno de 70 anos (SANTOS *et al.*, 2016). No dia seguinte a este evento, ocorreu outro evento gerador de escoamento com precipitação de 62 mm, infelizmente não foi possível mensurar o escoamento superficial devido a uma falha no sistema de aquisição de dados.

Table 2 - Characterisation of rainfall events and effective precipitation in the experimental watersheds

Tabela 2 - Caracterização dos eventos pluviométricos e das precipitações efetivas nas microbacias experimentais

Year	Total P. (mm)	Number of Events	Events where Pe > 1 mm	Total Precip. w/Pe	Pe (mm)	Runoff Coefficient (RC)	Effective Runoff Coeff. (RCpe)
Caatinga under Regeneration for 35 years (CR ₃₅)							
2009	1.062,3	52	20	657.1	102.7	0.10	0.16
2010	797.3	28	3	134.9	14.5	0.02	0.11
2011	1.347,0	59	22	871.5	187.0	0.14	0.21
2012	803.4	34	13	481.9	171.6	0.21	0.36
2013	661.7	30	1	162.0	34.0	0.05	0.21
Total	4.671,6	203	59	2307.3	509.8	0.11	0.22
Thinned Caatinga (TC)							
2009	1.062,3	52	19	647.1	72.1	0.07	0.11
2010	797.3	28	5	239.3	10.8	0.01	0.05
2011	1.347,0	59	17	717.0	142.8	0.11	0.20
2012	803.4	34	7	278.3	26.2	0.03	0.09
2013	661.7	30	1	162.0	24.0	0.04	0.15
Total	4.671,6	203	49	2043,7	275.9	0.06	0.14

Total P. - total precipitation; Pe - Effective precipitation; Total P. w/Pe - Total precipitation that generated surface runoff; RC - Runoff Coefficient; RCpe - Effective Runoff Coefficient.

P. total - precipitação total; Pe - Precipitação efetiva; P. Total p/Pe - Total precipitado que gerou escoamento superficial; CE - Coeficiente de Escoamento; CEpe - Coeficiente de Escoamento Efetivo.

It should be noted that this was an extreme event, and therefore, irrespective of the occurrence of hot dry periods, the event had high effective runoff coefficients, with values of 0.21 and 0.15 for CR_{35} and TC respectively. This event corroborates the proposition by Rouillard *et al.* (2015) that in extreme events the determining factor for hydrological response is the rainfall pattern.

In general, it can be seen that the TC watershed displayed a smaller amount of runoff-generating events in relation to CR_{35} (Table 2), totalling 17% less events with runoff. In relation to the runoff coefficients (RC) and coefficients of effective flow (RC_{pe}), throughout the years under study the TC watershed presented lower values for RC, 0.11 and 0.06 in general for CR_{35} and TC respectively (Table 2). These values indicate the protective effect of the development of herbaceous vegetation in TC, where the total runoff depth was 46% less than in CR_{35} .

Especially under the conditions of the extreme event (9 May 2013), the TC watershed reduced runoff depth by 10 mm (equivalent to 29.4%) in relation to the CR_{35} watershed (Table 2). The herbaceous layer dissipates the kinetic energy of the rain and generates barriers to surface runoff, reducing its velocity. Thus, the time the water remains in the basin increases together with the opportunity for infiltration, leading to a break in hydrological connectivity (BRACKEN *et al.*, 2013). According to Palacio *et al.* (2013), the TC area displayed a herbaceous biomass production of 3,555 kg ha⁻¹, while in the CR_{35} watershed, production was only 1,115 kg ha⁻¹, a result of the greater shading caused by the Caatinga under regeneration. Furthermore, this greater production of biomass promotes an increase in organic matter input to the soil, and reduces its density (BRACKEN *et al.*, 2013), increasing hydraulic conductivity. The positive effect of herbaceous vegetation in increasing the infiltration capacity of soil water was also confirmed by Arnau-Rosalén *et al.* (2008) on slopes in the region of Alicante, Spain.

The lower runoff coefficients in TC, either in relation to the total precipitation or to the rainfall depth that promoted runoff, confirm the hypothesis that the development of the herbaceous layer in that watershed contributes to greater water retention and consequently, more water being available for the vegetation. In turn, the area of Caatinga under regeneration displays more heterogeneous vegetation, with a lower soil-cover index, favouring the generation of runoff, which is transported to the lowest areas and increases water availability, especially near the watercourses. Inadequate soil management may therefore result in greater surface runoff and soil loss (ASHAGRIE *et al.*, 2006; WEI *et al.*, 2007; XIAO *et al.*, 2011), while a management that ensures greater ground cover through development of the herbaceous layer may promote greater infiltration of water into the soil, and lower effective precipitation, with improvements in the physical properties of the soil (WANG *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2013).

Destaca-se que se trata de um evento extremo, e assim, independente da ocorrência de veranicos, o evento apresentou elevados coeficientes de escoamento efetivo, com valores de 0,21 e 0,15 para a CR_{35} e CR, respectivamente. Esse evento corrobora com o postulado por Rouillard *et al.* (2015) de que em eventos extremos o fator determinante da resposta hidrológica é o padrão da chuva.

De modo geral, observa-se que a microbacia CR apresentou menor quantidade de eventos geradores de escoamento em relação a CR_{35} (Tabela 2), totalizando 17% a menos de eventos com escoamento. Quanto aos coeficientes de escoamento (CE) e coeficientes de escoamento efetivo (CE_{pe}), ao longo de todos os anos estudados, a CR apresentou menores valores, sendo a CE no geral de 0,11 e 0,06 para CR_{35} e CR, respectivamente (Tabela 2). Esses valores indicam o efeito protetor do desenvolvimento da vegetação herbácea na área CR, onde a lâmina total escoada foi 46% menor que na CR_{35} .

Especificamente na condição de evento extremo (09/05/2013), a microbacia CR reduziu em 10 mm (equivalente a 29,4 %) a lâmina escoada em relação à microbacia CR_{35} (Tabela 2). O estrato herbáceo dissipa a energia cinética da chuva e gera barreiras ao escoamento superficial, reduzindo sua velocidade. Com isso, aumenta-se o tempo de permanência da água na bacia e a oportunidade de infiltração, levando à quebra da conectividade hidrológica (BRACKEN *et al.*, 2013). De acordo com Palácio *et al.* (2013), a CR apresentou produção de biomassa herbácea de 3.555 kg ha⁻¹, enquanto que na microbacia CR_{35} a produção foi de apenas 1.115 kg ha⁻¹, resultado do maior sombreamento promovido pela Caatinga em regeneração. Essa maior produção de biomassa ainda promove aumento do aporte de matéria orgânica ao solo e reduz sua densidade (BRACKEN *et al.*, 2013), aumentando a condutividade hidráulica. O efeito positivo da vegetação herbácea no aumento da capacidade de infiltração da água nos solos foi comprovado também por Arnau-Rosalén *et al.* (2008) em encostas na região do Alicante na Espanha.

Os menores coeficientes de escoamento na CR, seja em relação ao total precipitado ou à altura pluviométrica que promoveu escoamento, confirmam a hipótese de que o desenvolvimento do estrato herbáceo naquela microbacia contribui para uma maior retenção de água e, consequentemente, maior disponibilidade hídrica para a vegetação. Por sua vez, a área com Caatinga em regeneração apresenta vegetação mais heterogênea e com menor índice de cobertura do solo, favorecendo a geração de escoamento, que é transportado para as partes mais baixas e aumenta a disponibilidade de água especificamente nas proximidades dos cursos d'água. Portanto, um manejo inadequado do solo pode resultar em maiores escoamentos superficiais e perdas de solo (ASHAGRIE *et al.*, 2006; WEI *et al.*, 2007; XIAO *et al.*, 2011), enquanto que manejos que garantam maior cobertura do solo, por meio do desenvolvimento do estrato herbáceo, podem promover maior infiltração de água no solo e menor precipitação efetiva, com melhorias nas propriedades físicas do solo (WANG *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2013).

Differences between the values for RC and RC_{pe} (Table 2) express the high initial abstractions, since the RC_{pe} only considers events that generate runoff. The high initial abstractions can be explained by the type of soil in the watersheds, with the presence of 2:1 expansive clay (vertic soils) (SANTOS *et al.*, 2016).

Regarding the existence of a correlation between the six variables under investigation, only three factors showed a significant Pearson correlation with Pe in the two types of plant cover (Table 3). Thus, the data demonstrates statistically that runoff has a high relationship with total precipitation, I30max, and EI30, which together represent the magnitude and temporal distribution of the rainfall.

Diferenças existentes entre os valores de CE e CE_{pe} (Tabela 2) expressam as elevadas abstrações iniciais, uma vez que a CE_{pe} considera somente os eventos geradores de escoamento. As elevadas abstrações iniciais explicam-se pelo tipo de solo das microbacias com presença de argila expansiva 2:1 (verticos) (SANTOS *et al.*, 2016).

No que diz respeito à existência de correlação entre as seis variáveis investigadas, somente três fatores apresentaram correlação de Person significativa com a Pe nas duas coberturas vegetais (Tabela 3). Assim, os dados indicam estatisticamente que o escoamento apresenta elevada relação com o total precipitado, I30máx. e EI30, que representam a magnitude e a distribuição temporal da chuva.

Table 3 - Pearson correlation matrix between Total Precipitation (P), Effective Precipitation (Pe), maximum rainfall intensity over 30 minutes (I30max), erosivity (EI30) and 1 day (AP1D) and 5-day antecedent precipitation AP5D)

Tabela 3 - Matriz de correlações de Person entre Precipitação total (P), Precipitação efetiva (Pe), intensidade da chuva máxima em 30 minutos (I30máx.), erosividade (EI30) e precipitação antecedente de 1 dia (PA1D) e 5 dias (PA5D)

	Caatinga under Regeneration for 35 years (CR_{35})						Thinned Caatinga (TC)					
	P	Pe	I30	EI30	AP1D	AP5D	P	Pe	I30	EI30	AP1D	AP5D
P	1						1					
Pe	0.548**	1					0.658**	1				
I30	0.671**	0.575**	1				0.694**	0.607**	1			
EI30	0.923**	0.701**	0.770**	1			0.953**	0.760**	0.736**	1		
AP1D	0.262	0.093	-0.329*	-0.162	1		0.437**	0.323*	-0.626**	-0.412**	1	
AP5D	0.293*	0.219	-0.302*	-0.225	-0.365**	1	0.355*	0.098	-0.313*	-0.281	0.432**	1

* statistically significant correlation at 5% probability; ** statistically significant correlation at 1% probability. The Lilliefors test was used to test for normality.

*correlação estatisticamente significativo ao nível de 5% de probabilidade; **correlação estatisticamente significativo ao nível de 1% de probabilidade. O teste de normalidade empregado foi o "teste Lilliefors".

The greater correlation between Pe and P for TC in relation to CR_{35} is due to the greater homogeneity of the thinned Caatinga cover (Table 3). Thinning the Caatinga generates a homogeneous herbaceous cover, while in areas of Caatinga under regeneration, the plant cover is heterogeneous, with zones of exposed soil, areas with dense arboreal vegetation, etc. Thus, areas with more homogeneous plant cover are expected to show less variable hydrological behaviour and a more predictable flow pattern. In studies in China, Chen *et al.* (2014) identified that rainfall depth (P), among the other variables studied (discharge, precipitation, volume of upstream dams, population and GDP) was the only one that showed a significant correlation with flow, explaining 80% of the variance.

Results similar to those found for CR_{35} and TC were reported by Jost *et al.* (2012). The authors showed that relationships of rainfall-flow vary according to the species that make up the plant cover. This sensitivity of the hydrological response, not only to the pattern of plant cover, but to the species that make up the woody substrate, is based on the vegetation architecture, on the relationship between the undergrowth and the tree cover, and on the development of the root system.

A maior correlação entre Pe e P para CR em relação a CR_{35} deve-se à maior homogeneidade da cobertura de Caatinga raleada (Tabela 3). O raleamento da Caatinga gera uma cobertura herbácea homogênea, enquanto que em áreas com Caatinga em regeneração a cobertura vegetal é heterogênea, existindo zonas com solo exposto, área com vegetação arbórea densa e etc. Assim, espera-se que áreas com cobertura vegetal mais homogênea apresentem um comportamento hidrológico menos variável e um padrão de escoamento mais previsível. Em estudos na China, Chen *et al.* (2014) identificaram que a altura pluviométrica (P), entre outras variáveis estudadas (descarga, precipitação, volume de barragens a montante, população e PIB), foi a única que apresentou correlação significativa com a vazão, explicando 80% da variância.

Resultados semelhantes aos encontrados para CR_{35} e CR foram constatados por Jost *et al.* (2012). Os autores comprovaram que as relações de chuva-vazão variam em função das espécies que compõem a cobertura vegetal. Essa sensibilidade da resposta hidrológica não só ao padrão da cobertura vegetal, mas às espécies que compõem o substrato arbóreo arbustivo, se fundamenta na arquitetura da vegetação, na relação cobertura rasteira *versus* cobertura arbórea e no desenvolvimento do sistema radicular.

In a study conducted in the Brazilian semi-arid region, Pinheiro *et al.* (2013) found influence of the Caatinga root system on soil macroporosity. The authors verified that root depth is less during the dry period, allowing for greater infiltration of the first rains of the wet season, in such a way that the dynamic character of the roots must alter the conditions for generating surface runoff.

As the erosivity index (EI30) represents the energy of rain power to cause erosion, with I30max being used in the calculation, high values for the Pearson coefficient (Table 3) can be seen for both types of plant cover under study (CR₃₅ and TC). Furthermore, the higher values for TC reinforce the protective effect and homogeneity of the vegetation.

In Table 3, low values can also be seen for the correlation between Pe and the accumulated antecedent precipitation (AP1D and AP5D). These results show that caution is required when using criteria established for other regions, such as those established by the United States Soil Conservation Service (USDA-SCS) for the Curve Number Method (CN), which considers the values for antecedent precipitation over the previous five days as an indicator of the antecedent moisture status of the soil.

According to Figure 2, there is a trend for the cover of thinned Caatinga to present lower values for Pe in relation to CR₃₅, expressed by the smaller value for the angular coefficient. There is a further tendency for the CR₃₅ watershed to display extreme events of high Pe (such as the event with an effective precipitation greater than 60 mm), since less development of the herbaceous cover reduces soil roughness.

Em estudo conduzido no semiárido brasileiro, Pinheiro *et al.* (2013) constataram a influência do sistema radicular da Caatinga sobre a macroporosidade do solo. Os autores verificaram que a profundidade das raízes é menor no período seco, possibilitando maior infiltração nas primeiras chuvas da estação úmida, de maneira que o caráter dinâmico das raízes deve alterar as condições de geração de escoamento superficial.

Como o índice de erosividade (EI30) representa o poder energético da chuva em causar erosão, onde se utiliza no cálculo o I30máx., observam-se elevados coeficientes de Pearson (Tabela 3) para ambas as coberturas vegetais estudadas (CR₃₅ e CR). Os maiores valores para a CR ainda reforçam o efeito protetor da vegetação e a homogeneidade de vegetação.

Na Tabela 3, observam-se, ainda, baixos valores de correlação entre Pe e as precipitações antecedentes acumuladas (PA1D e PA5D). Esses resultados indicam que é necessária prudência ao utilizar critérios estabelecidos para outras regiões, como as estabelecidas pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos (SCS-USDA) no método do Número de Curva (CN), que considera os valores de precipitação antecedente dos últimos cinco dias como indicador do estado de umidade antecedente do solo.

De acordo com a Figura 2, observa-se a tendência da cobertura de Caatinga raleada apresentar menores valores de Pe em relação a CR₃₅, expresso pelo menor valor do coeficiente angular. Observa-se ainda a tendência da microbacia CR₃₅ apresentar eventos extremos de elevada Pe (como o evento com precipitação efetiva maior que 60 mm), uma vez que o menor desenvolvimento da cobertura herbácea reduz a rugosidade do solo.

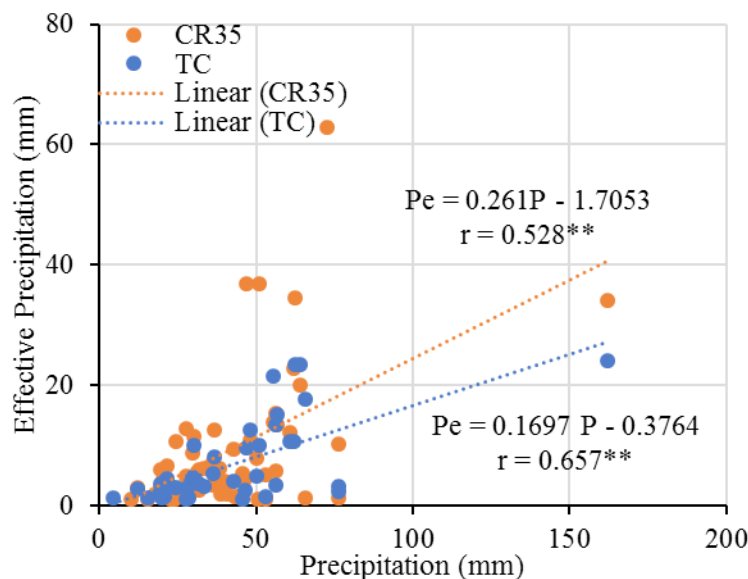


Figure 2 - Relationship between P and Pe for individual events, for the CR₃₅ and TC watersheds.

Figura 2 - Relação para eventos individuais entre P e Pe, para as microbacias CR₃₅ e CR.

Figure 3 shows a simple regression analysis for verifying the relationships between P and Pe on an annual scale. The regression coefficients in both equations were significant ($F = 64$, $p \leq 0.001$) for the two types of plant cover under study. The best fit of the model to the values for total annual precipitation expresses the greater explicability of the effective precipitation by the total precipitation. This behaviour occurs because in years with above-average precipitation, the conditions of antecedent soil moisture are similar for many events that generate runoff (lower occurrence of hot dry periods).

The regression model identified that the TC watershed, both on the annual scale (Figure 3) and for events (Figure 2), has greater soil water retention capacity, since for the same rainfall depth, the effective precipitation for this type of land use was always lower than for CR₃₅. Considering that the two watersheds show similar geomorphological and edaphic characteristics (Table 1), it is possible to verify that the herbaceous plant cover which developed in the watershed of thinned Caatinga promoted greater water retention, as described by Santos *et al.* (2011), which may favour the microbiology, and the micro- and mesofauna of the area, as well as greater biomass production, as found by Palácio *et al.* (2013).

In Figure 3, the parallelism of the regression lines shows that the process of runoff generation is similar in the two areas. However, in the area of thinned Caatinga, a greater part of the precipitation is intercepted and kept in the soil, which results in less runoff. Considering the above, it can be said that the technique of thinning the vegetation represents a suitable management for the Caatinga biome, capable of maintaining a greater amount of water in the soil, even when compared to Caatinga vegetation under regeneration.

Na Figura 3, observa-se uma análise de regressão simples para verificar as relações entre P e Pe em escala anual. Os coeficientes de regressão em ambas as equações foram significativos ($F = 64$, $p \leq 0,001$) para as duas coberturas vegetais estudadas. O melhor ajuste do modelo para os valores de precipitação total anual expressa a maior explicabilidade da precipitação efetiva pela precipitação total. Esse comportamento ocorre uma vez que, em anos com precipitação acima da média, as condições de umidade antecedente do solo são semelhantes para muitos eventos geradores de escoamento (menor ocorrência de veranicos).

O modelo de regressão identificou que a microbacia CR, tanto na escala anual (Figura 3) quanto de eventos (Figura 2), detém maior capacidade de retenção de água pelo solo, uma vez que, para uma mesma altura pluviométrica, a precipitação efetiva nesse uso da terra sempre foi inferior à CR₃₅. Considerando que as duas microbacias apresentam características geomorfológicas e edáficas semelhantes (Tabela 1), é possível constatar que a cobertura vegetal herbácea desenvolvida na microbacia com Caatinga raleada promoveu a maior retenção de água, como identificado por Santos *et al.* (2011), o que pode favorecer a microbiologia, a micro e mesofauna da área, bem como uma maior produção de biomassa, como constatado por Palácio *et al.* (2013).

Na Figura 3, o paralelismo entre as retas de regressão indica que o processo de geração de escoamento é semelhante nas duas áreas. Porém, na área da Caatinga raleada, uma parcela maior da precipitação é interceptada e mantida no solo, o que resulta em menor escoamento. Diante do exposto, é possível afirmar que a técnica de raleamento da vegetação representa um manejo apropriado para o bioma Caatinga, sendo capaz de manter uma maior quantidade de água no solo, mesmo em comparação à vegetação de Caatinga em regeneração.

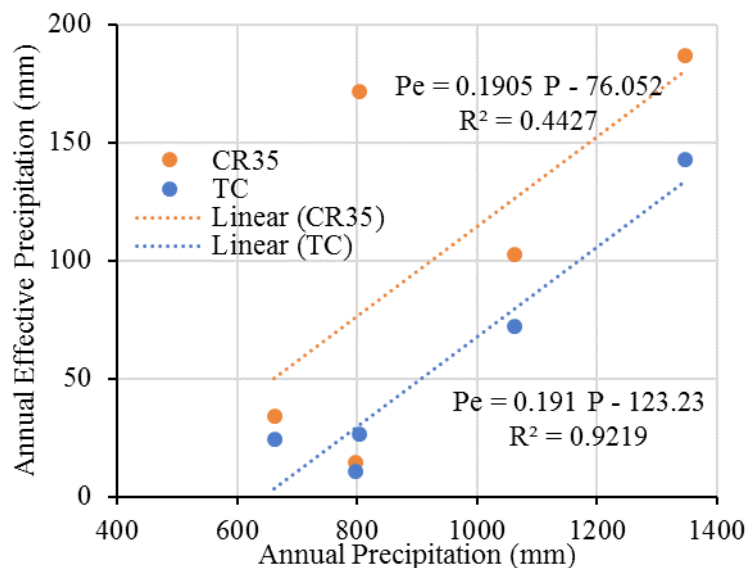


Figure 3 - Annual relationship between P and Pe for the CR₃₅ and TC watersheds.

Figura 3 - Relação anual entre P e Pe para as microbacias CR₃₅ e CR.

CONCLUSIONS

The magnitude and intensity of the precipitation were the factors that best explained the effective precipitation in both types of plant cover, Caatinga under regeneration and thinned Caatinga;

The greater development of the herbaceous layer in the thinned watershed was effective in defining the hydrological response, determining a smaller number of runoff-generating events;

The influence of the herbaceous vegetation on the reduction of surface runoff was demonstrated by the smaller runoff depths and by the greater potential for soil water storage in the watershed under thinned Caatinga;

The hydrological monitoring that was carried out leads to the conclusion that the technique of thinning represents a suitable management for the Caatinga vegetation, capable of promoting water retention in the soil.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Commission for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for their financial support.

CONCLUSÕES

A magnitude e a intensidade da precipitação foram os fatores que melhor explicaram a precipitação efetiva em ambas as coberturas vegetais, Caatinga em regeneração e Caatinga raleada;

O maior desenvolvimento do estrato herbáceo na microbacia raleada foi efetivo na definição das respostas hidrológica, determinando menor número de eventos geradores de escoamento;

A influência da vegetação herbácea na redução do escoamento superficial foi evidenciada pelas menores lâminas escoadas e pelo maior potencial de armazenamento de água no solo na microbacia com a Caatinga raleada;

O monitoramento hidrológico realizado permite concluir que a técnica de raleamento representa um manejo apropriado para a vegetação da Caatinga, sendo capaz de promover a retenção de água no solo.

AGRADECIMENTOS

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal no Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

SCIENTIFIC LITERATURE QUOTED

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: *O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. 2. ed. Fortaleza, CE: Imprensa Expressão Gráfica, 2010. Cap. 3, p. 71-94

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; GUERREIRO, M. J. S.; SANTOS, J. C. N.; PALÁCIO, H. A. Q. Land Use Effect on the CN Model Parameters in a Tropical Dry Environment. **Water Resources Management**, v. 31, p. 1-14, 2017.

ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO CASES, A.; BOIX-FAYOS, C.; LAVÉE, H.; SARAH, P. Analysis of soil surface component patterns affecting runoff generation. An example of methods applied to Mediterranean hillslopes (Alicante, Spain). **Geomorphology**, v. 101, p. 595-606, 2008.

ASHAGRIE, A. G.; DE LAAT, P. J. M.; DE WIT, J. M.; TU, M.; UHLENBROOK, S. Detecting the influence of land use changes on discharges and floods in the Meuse River Basin— the predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation? **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 10, p. 691-701, 2006.

BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J.; ALI, G. A.; TETZLAFF, D.; SMITH, M. W.; REANEY, S. M.; ROY, A.G. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. **Earth-Science Reviews**, v. 119, p. 17-34, 2013.

CHEN, J.; XIAODAN, W.; FINLAYSON, B. L.; WEBBER, M.; WEI, T.; LI, M.; CHEN, Z. Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. **Journal of Hydrology**, v. 513, p. 403-412, 2014.

ELFEKI, M.; NIYAZI, B. Integrated rainfall-runoff and flood inundation modeling for flash flood risk assessment under data scarcity in arid regions: Wadi Fatimah basin case study, Saudi Arabia. **Natural Hazards**, v. 85, p. 87-109, 2017.

FANG, N.; SHI, Z.; LI, L.; GUO, Z.; LIU, Q.; AI, L. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. **Catena**, v. 99, p. 1-8, 2012.

FOHRER, N.; HAVERKAMP, S.; ECKHARDT, K.; FREDE, H. Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, v. 26, p. 577-582, 2001.

- HRACHOWITZ, M.; BOHTE, R.; MUL, M. L.; BOGAARD, T. A.; SAVENIJE, H. H. G.; UHLENBROOK, S. On the value of combined event runoff and tracer analysis to improve understanding of catchment functioning in a data-scarce semi-arid area. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15 (6), p. 2007-2024, 2011.
- JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H.; MARKART, G.; KOHL, B. A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 420-421, p. 112-124, 2012.
- KEPPEL, R. V.; RENARD K. G. Transmission losses in ephemeral streambeds, Journal of the Hydraulics Division. **American Society Civil Engineering**, v.88 (3), p. 59-68, 1962.
- LI, J.; FENG, P.; CHEN, F. Effects of land use change on flood characteristics in mountainous area of Daqinghe watershed, China. **Natural Hazards**, v. 70, p. 593-607. 2014.
- MAGLIANO, P. N.; BRESHEARS, D. D.; FERNANDEZ, R. J.; JOBBAGY, E. G. Rainfall intensity switches ecohydrological runoff/runon redistribution patterns in dryland vegetation patches. **Ecological Applications**, v. 25, n. 8, p. 2094-2100. 2015.
- MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 1216-1223, 2014.
- MORIN, E.; GOODRICH, D. C.; MADDOX, R. A. Spatial patterns in thunderstorm rainfall events and their coupling with watershed hydrological response. **Advances in Water Resources**, v. 29, p. 843-860, 2006.
- MUNOZ-ROBLES.; REID, N.; TIGHE, M.; BRIGGS, S.V.; WILSON, B. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semi-arid Australia. **Geoderma**, v. 160, p. 524-534, 2011.
- OSBORN, H. B.; HICKOK, R. B. Variability of rainfall affecting runoff from a Semiarid Rangeland watershed. **Water Resources Research**, v. 4, p. 199-205, 1968.
- PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; ARAÚJO NETO, J. R.; BRASIL, P. P. Emergency evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. **American Society of Agricultural and Biological Engineers. Transactions**, v. 56, p. 1357-1363, 2013.
- PATIN, J.; MOUCHE, E.; RIBOLZI, O.; CHAPLOT, V.; SENGTAHEVANGHOUNG, O.; LATSACHAK, K.O.; SOULILEUTH, B.; VALENTIN, C. Analysis of runoff production at the plot scale during a long-term survey of a small agricultural catchment in Lao PDR. **Journal of Hydrology**, v. 426, p. 79-92. 2012.
- PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1-4, 2013.
- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; MENDONÇA, L. A. R.; SANTOS, J. C. N. Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 488-498, 2013.
- ROUILLARD, A.; SKRZYPEK, G.; DOGRAMACI, S.; TURNEY, C.; GRIERSON, P. F. Impacts of high inter-annual variability of rainfall on a century of extreme hydrologic regime of northwest Australia, **Hydrology Earth System Science**, v. 19, p. 2057-2078, 2015.
- 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 Agronômica**, v. 42, p. 813-820, 2011
- SANTOS, J. C. N.; A, E.M.; GUERREIRO, M.J.S.; MEDEIROS, P.H.A.; QUEIROZ P.H.A.; ARAÚJO NETO, J.R. Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 1057-1066, 2016.
- SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Effect of Rainfall Characteristics on Runoff and Water Erosion for Different Land Uses in a Tropical Semiarid Region. **Water Resources Management**, v. 31, p. 173-185, 2017.
- STONE, J. J.; NICHOLS, M. H.; GOODRICH, D. C.; BUONO, J. Long-term runoff database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States. **Water Resources Research**, v. 44, p. 1-5, 2008.
- WANG, S.; ZHANG, Z.; MCVICAR, T.; ZHANG, J.; ZHU, J.; GUO, J. W.; SHENGPING. An event-based approach to understanding the hydrological impacts of different land uses in semi-arid catchments. **Journal of Hydrology**, v. 416-417, p. 50-59, 2012.
- WEI, W.; CHEN, L.; FU, B.; HUANG, B.; WU, D.; GUI, L. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. **Journal of Hydrology**, v. 335, p. 247-258, 2007.
- XIAO, P.; YAO, W.; RÖMKENS, M. J. M. Effects of grass and shrub cover on the critical unit stream power in overland flow. **International Journal of Sediment Research**, v. 26, p. 387-394, 2011.
- YUAN, Y.; NIE, W.; MCCUTCHEON, S. C.; TAGUAS, E. V. Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona. **Hydrological Processes**, v. 28, p. 774-783, 2012.