

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

APLICAÇÃO DO CURVE NUMBER COMO FORMA DE AVALIAR OS IMPACTOS NAS MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E NA RESPOSTA HIDROLÓGICA DE UMA PEQUENA BACIA SEMIÁRIDA

* Maria de Jesus Delmiro Rocha ¹
Jefferson Hannover Faustino Magalhães ¹
Cleiton da Silva Silveira ¹

APPLICATION OF THE CURVE NUMBER IN ORDER TO ASSESS THE IMPACT OF CHANGES IN THE LAND USE AND IN THE HYDROLOGICAL RESPONSE OF A SMALL SEMIARID CATCHMENT IN JUAZEIRO DO NORTE-CE

Recibido el 29 de agosto de 2020. Aceptado el 14 de abril de 2021

Abstract

Information on human land use occupation are important tools for the establishment of urban expansion policies as well as for the management of water resources, since the lack of control in the management of vegetation and soil can cause changes in infiltration characteristics and changes in the hydrological response of watersheds. Thus, this study evaluated the efficiency and feasibility of using the Soil Conservation Service (SCS) parameter CN, curve number, to determine the temporal evolution of the change in the land use, in the infiltration capacity and in the concentration time of the Batateiras river basin of the region of Juazeiro do Norte (CE), from 1985 to 2018, through data on land use and occupation available through the MapBiomias platform. The results showed that there was a strong change in land use and occupation in the region, presenting a 25% loss in the forest area and an increase of 323% in the urban area from 1985 to 2018. The soil's infiltration capacity, consequently, suffered a reduction in areas with high infiltration potential, from 70% in 1985 to 50% in 2018. The municipality's average curve number increased from 79.4 to 82.1 in the 33 years of the evaluated period and the concentration time of the Batateiras river basin, located in the interior of the county, reduced from 13.1 hours to 11.9 hours, accumulating a reduction of 1.2 hours as a consequence of the county's land use changes.

Keywords: MapBiomias. land use. curve number. concentration time.

¹ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Bloco 713 - 1º Andar – Centro de Tecnologia, CEP 60451-970, Fortaleza, Ceará, Brasil. Email: mariadelmirocha@gmail.com

Resumo

As informações sobre o uso e ocupação do solo são importantes ferramentas para o estabelecimento de políticas de expansão urbana, bem como para o gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que a falta de controle no manejo da vegetação e do solo pode ocasionar modificações nas características de infiltração e mudanças na resposta hidrológica de bacias hidrográficas. Deste modo, este trabalho avaliou a eficiência e a viabilidade do uso do parâmetro CN, *curve number*, do Soil Conservation Service (SCS), para determinar a evolução temporal da mudança no uso e cobertura do solo, na capacidade de infiltração e na mudança do tempo de concentração da bacia hidrográfica do rio Batateiras e da região de Juazeiro do Norte (CE) de 1985 a 2018 através dos dados de uso e ocupação do solo disponível pela plataforma MapBiomias. Os resultados mostraram que ocorreu uma forte mudança no uso e ocupação do solo da região, apresentado uma perda de 25% na área de floresta e um aumento de 323% na área urbana de 1985 a 2018. A capacidade de infiltração do solo, conseqüentemente, sofreu uma redução das áreas com alto potencial de infiltração, de 70% em 1985 para 50% em 2018. O *curve number* médio do município aumentou de 79.4 para 82,1 nos 33 anos do período avaliado e o tempo de concentração da bacia do rio Batateiras, localizado no interior do município, reduziu de 13.1 horas para 11.9 horas, acumulando uma redução de 1.2 horas como consequência das mudanças do uso do solo no município.

Palavras chave: MapBiomias.uso do solo. *curve number*. tempo de concentração.

Introdução

As informações sobre o uso e ocupação do solo são importantes para o estabelecimento de políticas de expansão urbana (Barros *et al.*, 2015) bem como o gerenciamento de recursos hídricos, pois refletem a evolução da ocupação das atividades antrópicas sobre áreas potenciais de conservação (Sposito, 2001; Igari e Pivello, 2011; Lima e Ribeiro, 2012) e sobre as bacias hidrográficas. Esses dados incluem elementos-chave como o tipo de uso e cobertura do solo a partir dos quais pode-se avaliar a capacidade de infiltração e retenção de água e o potencial escoamento da superfície (Kemerich *et al.*, 2014).

O manejo incorreto da vegetação e do solo pode levar a alterações na estrutura deste podendo ocasionar intensas alterações como maior ou menor compactação, modificação da densidade, mudança na porosidade, no armazenamento e na disponibilidade de água às plantas e, como resultado final, interferir em sua capacidade de infiltração (Piroli *et al.*, 2011; Piroli, 2015). Quanto às bacias hidrográficas, o manejo antrópico inadequado de pequenas bacias em regiões semiáridas de alta fragilidade pode proporcionar significativos reflexos negativos como alterações na resposta hidrológica destas (Rodrigues *et al.*, 2013)

O crescimento e adensamento populacional nas cidades-polo cearenses nos últimos anos marcaram uma mudança drástica na cobertura vegetal que deram lugar as áreas construídas (Calegari *et al.*, 2010). As regiões e bacias urbanas, nesse contexto de modificação intensa do uso e ocupação do solo para inserção de obras antrópicas como impermeabilização, pavimentação e edificações, passaram a apresentar, como consequência, modificações e aumento no CN da

região (Soares *et al.*, 2017), reduções consideráveis na capacidade infiltração dos solos (Medonça, 2009; Nascimento *et al.*, 2017) e mudança no tempo de concentração de bacias hidrográficas localizadas nessas áreas (Nunes e Fiori, 2008; Justino, Paula e Paiva 2011; Moreira, 2014).

O método Curve Number (CN) é um modelo empírico chuva-vazão desenvolvido na década de 1950 pelo Serviço de Conservação do Solo do USDA (SCS) em resposta à complexidade do uso da terra e da abstração inicial da precipitação (Ajmal *et al.*, 2015). O modelo CN destaca-se por ser simples, empírico, com suposições claramente definidas e para o qual os dados de entrada necessários estão geralmente disponíveis, como chuva e tipo de uso e ocupação do solo (Valle *et al.*, 2019). No método CN, vários fatores diferentes que afetam a geração de escoamento superficial, como tipo de solo, cobertura e uso do solo, condição da superfície e condição antecedente do escoamento são incorporados em um único parâmetro (Oliveira *et al.*, 2016). A aplicação do CN, porém, como forma de avaliar a evolução temporal do uso do solo em regiões que apresentaram grande interferência antrópica nos últimos anos e os potenciais impactos nas bacias hidrográficas internas a essas regiões ainda é pouco aplicado (Andrade *et al.*, 2017).

Assim, esta pesquisa teve como objetivo verificar a eficiência e a viabilidade do uso do parâmetro CN, *curve number*, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), para avaliar a evolução temporal da mudança no uso e cobertura do solo, na capacidade de infiltração e na mudança do tempo de concentração da bacia hidrográfica do rio Batateiras e da região e Juazeiro do Norte (CE) de 1985 a 2018 por meio de dados de uso e ocupação do solo disponíveis na plataforma MapBiomas.

Metodologia

Caracterização da área de estudo

Este trabalho abrangeu a área do município de Juazeiro do Norte, município integrante da Região Metropolitana do Cariri (RMC) no sul do Estado do Ceará, distante de 514 km da capital Fortaleza, conforme apresenta Figura 1. Com longitude - 39° 18' 55" e latitude - 07° 12' 47", o município possui uma área de 248.558 km² e uma altitude média de 377,3m em relação ao nível do mar. Considerado o terceiro município mais populoso do Ceará, estima-se que Juazeiro do Norte tenha uma população de 249.936 habitantes (IBGE, 2020). Além disso possui clima equatorial com temperaturas entre 22 e 34 °C com média anual de 28 °C. Possui duas estações climáticas bem definidas durante o ano, uma chuvosa, de janeiro a abril, e outra seca, de maio a dezembro.

A bacia hidrográfica escolhida dentro da área do município é uma sub-bacia hidrográfica do rio Batateira que abrange parte da região urbana da cidade de Juazeiro do Norte. A sub-bacia possui área aproximada de 36 km², o segmento do rio estudado apresenta declividade média

de 0.003 m/m e comprimento do talvegue de 8.23 km. A formação Batateiras, de onde se origina o nome do rio estudado, junto às formações Santana e Exu, na região do Cariri, são consideradas as unidades hidrogeológicas mais importante e mais perfuradas para captação e abastecimento por água subterrânea (Andrade, Gomes e Castro, 2005).

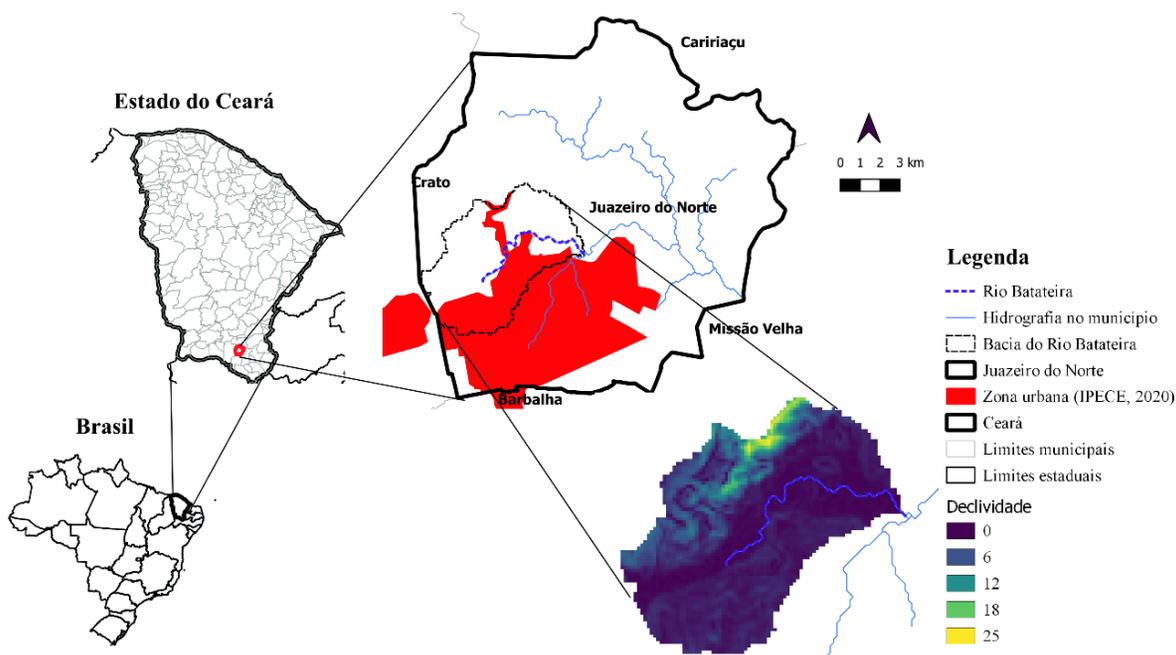


Figura 1. Localização do município de Juazeiro do Norte no Estado do Ceará- Brasil com a hidrografia na região destacando a sub-bacia hidrográfica do rio Batateira estudada neste trabalho.

Obtenção do parâmetro Curve Number

O método Curve Number (CN) é um modelo empírico desenvolvido na década de 1950 pelo Serviço de Conservação do Solo do USDA (SCS). O modelo CN é baseado na lei de conservação de massa de um evento de chuva, conforme apresenta Equação 1.

$$P = I_a + F + Q$$

Equação 1

Onde P é a precipitação total de evento (mm); I_a é a abstração inicial (mm); F é a infiltração cumulativa (mm) e Q é o escoamento superficial direto (mm). Assumindo-se o exposto na Equação 2, têm-se:

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S}$$

Equação 2

Com S sendo a retenção máxima potencial.

SCS (1972) propôs uma relação linear entre S e I_a , denominada λ , definida como a razão de abstração inicial onde $I_a = \lambda S$. O valor padrão de $\lambda = 0.2$ foi recomendado com base em estudos de muitas pequenas bacias hidrográficas agrícolas, havendo ainda muitos estudos sobre este parâmetro (Ajmal *et al.*, 2015).

Para simplificar, o parâmetro adimensional CN, *Curve Number*, foi desenvolvido para expressar a retenção máxima potencial do solo. Assim, o CN é um coeficiente adimensional que representa o solo, uso da terra ou cobertura e varia de 0, para retenção máxima de umidade sem escoamento por chuva, a 100, sem retenção com toda a chuva tornando-se escoamento. A Equação 3 apresenta o parâmetro CN.

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25.4}}$$

Equação 3

Para o cálculo do parâmetro *Curve Number* (CN) são necessários os dados de uso e ocupação do solo da área de estudo. Utilizou-se, para tanto, os dados fornecidos pela plataforma MapBiomass. Esta plataforma é uma iniciativa do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima e é elaborada por uma rede colaborativa de co-criadores compostos por ONGs, universidades e empresas de tecnologia organizadas por biomas e temas transversais que disponibiliza um histórico de 34 anos (1985-2018) de monitoramento de uso e ocupação para o Brasil.

Dentre os usos disponíveis pela plataforma, aqueles existentes dentro da área de abrangência dos estudos foram efetivamente utilizados no cálculo do CN. Para tanto, porém, foi necessário ajustar um valor CN referente a cada uso. Assim, buscou-se uma descrição correspondente e similar entre as classes de usos do Soil Conservation Service e então tomou-se este CN para o respectivo uso. A Tabela 1 apresenta a descrição dos usos do solo pelo MapBiomass, a descrição correspondente e o CN adotados.

Utilizou-se também, como forma de caracterizar e avaliar sob outra perspectiva o impacto da mudança no uso do solo da área em estudo na infiltração do solo, a metodologia de classificação dos solos pelo potencial de infiltração detalhada em Nascimento, Carvalho & Costa (2017). O potencial de infiltração de cada tipo de uso do solo considerado também se encontra apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Usos do solo na região segundo classificação do MapBiomas e classificação adotada para a descrição do uso da Terra e respectivo CN segundo Soil Conservation Service

Uso do solo no MapBiomas	Descrição correspondente segundo Soil Conservation Service	CN	Potencial de infiltração
Formação florestal	Floresta com boa cobertura	70	Alto
Formação savânica	Floresta de baixa densidade	77	Alto
Formação campestre	Espaços abertos, gramados, em condição justa	79	Restrito
Afloramento rochoso	-	100	Escoamento
Pastagem	Pastagem em condição ruim	86	Muito restrito
Agricultura	Terra cultivada sem tratamento para preservação	88	Muito restrito
Cultura anual e perene	Terra cultivada sem tratamento para preservação	88	Muito restrito
Mosaico de agricultura e pastagem	Terra cultivada sem tratamento para preservação	88	Muito restrito
Infraestrutura urbana	Área urbana sem vegetação estabelecida	91	Sem potencial
Mineração	Solo exposto	91	Muito restrito
Outra área não vegetada	Terra cultivada sem tratamento para preservação	91	Sem potencial
Rio, lago e oceano	-	100	Escoamento

Realizou-se, então, a estimativa do Curve Number da região para cada ano de 1985 a 2018 tomando-se o CN para cada tipo de solo e as áreas disponíveis por tipo de uso por ano para, por fim, calcular um CN médio para a região conforme Equação 4. Este procedimento foi realizado tanto para toda a área do município de Juazeiro do Norte como para a sub-bacia do rio Batateiras.

$$CN_j = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i * A_{ij}}{\sum_{i=1}^n A_{ij}}$$

Equação 4

Onde: CN_j : Curve Number médio para a região em um determinado ano j ; CN_i : Curve Number adotado para um determinado tipo de solo i ; A_{ij} : Área para um determinado tipo de solo i no ano j ; n : Número correspondente ao total de usos do solo utilizados para cálculo

Com os valores de CN ao longo dos anos em Juazeiro do Norte e para a sub-bacia estudada, buscou-se avaliar seus efeitos sobre o tempo de concentração (T_c) bem como a mudança deste à medida em que mudava o CN ao longo do tempo. Para isso, utilizou-se a sub-bacia do rio Batateiras delimitada no interior do município de Juazeiro para o estudo em questão.

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica se refere ao tempo necessário para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial numa dada seção. Há na literatura diversas equações consolidadas para o cálculo do tempo de concentração. Muitas delas, porém, utilizam apenas parâmetros fisiográficos da bacia como declividade e comprimento do rio principal, por exemplo. Tal aspecto desconsidera a influência do tipo de uso do solo da superfície, que pode favorecer ou desfavorecer escoamentos mais velozes, e desconsidera em maior grau a análise da mudança nas características da superfície ao longo do tempo. Objetivando então calcular o tempo de concentração incorporando a importância do uso do solo aplicou-se a fórmula para o cálculo do tempo de concentração desenvolvida pelo *Soil Conservation Service* fórmula, dada pela Equação 5 adaptada de Silveira (2005). Foram calculados o tempo de concentração para cada ano de acordo com o CN médio da bacia para o mesmo período e posteriormente avaliado a mudança ao longo do período.

$$t_c = 0.057 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \cdot L^{0.8} S^{-0.5} \quad \text{Equação 5}$$

Onde t_c : Tempo de concentração da bacia (hrs); L : Comprimento do talvegue (km); CN : Curve Number, S : Declividade do talvegue (m/m)

Resultados e discussão

Avaliando-se a Figura 2, é possível perceber que no ano de 1985, o município de Juazeiro do Norte tinha a maior parte de sua área ocupada por área de floresta, com 17438.2 ha, e, secundamente, por áreas voltadas a pastagem, com 6183.4 ha. Em sequência, porém em menor escala, o município possuía uma área de infraestrutura urbana maior que áreas voltadas à agricultura de, respectivamente, 706.2 ha e 21.6 ha. Esses dados refletem o fato de Juazeiro do Norte, segundo Lima e Ribeiro (2012), no início de sua edificação, ter seu desenvolvimento associado a romarias, recebendo aportes populacionais apenas de forma sazonal e parte de sua economia ainda dependente da atividade agropecuária conforme tendência econômica do Estado do Ceará.

Na década de 90, entretanto, há uma forte mudança no uso e ocupação do solo, de forma que a área de floresta passa a ceder espaço para áreas de agropecuária e urbana, indicando, portanto, um processo de urbanização. Diante disso, esses dois últimos usos do solo, no ano de 2000, passam a ocupar juntos 10830.7 ha do município, contra 13032.4 ha de floresta, de forma que esta apresenta uma perda de 25% de sua área em relação a 1985. Frente a isso, passa-se a ter uma maior ocupação populacional na região e o desenvolvimento da agropecuária visando atender as demandas de insumo das indústrias.

Nas últimas décadas, entretanto, percebe-se que a área de Floresta, apesar de ter sofrido perdas de área no início do século, volta a aumentar em detrimento da área de pecuária. Além disso, a redução de área voltada à agropecuária é acompanhada também por altas taxas de crescimento da área urbana desde o final da década de 90. Isso pode ser explicado pelos avanços dos setores de serviços, comércio e aumento da infraestrutura urbana que possibilitaram a expansão do município (Sposito, 2001; Calegari et al., 2010).

A redução de área de pecuária e o aumento da floresta também pode ser explicada por mudanças no Código Florestal. Segundo Igari e Pivello (2011), em 2008, passou-se a exigir a regularização ambiental das propriedades rurais, para possibilitar o acesso do produtor ao crédito rural. Dessa forma, a maior fiscalização das exigências advindas do Código Florestal pode ter sido a causa do aumento das áreas de Floresta observada a partir de 2009, de forma que, ao final do período analisado, este uso do solo apresenta uma área aproximada de 12444.0 ha, ao passo que as pastagens ocupam 7166.4 ha.

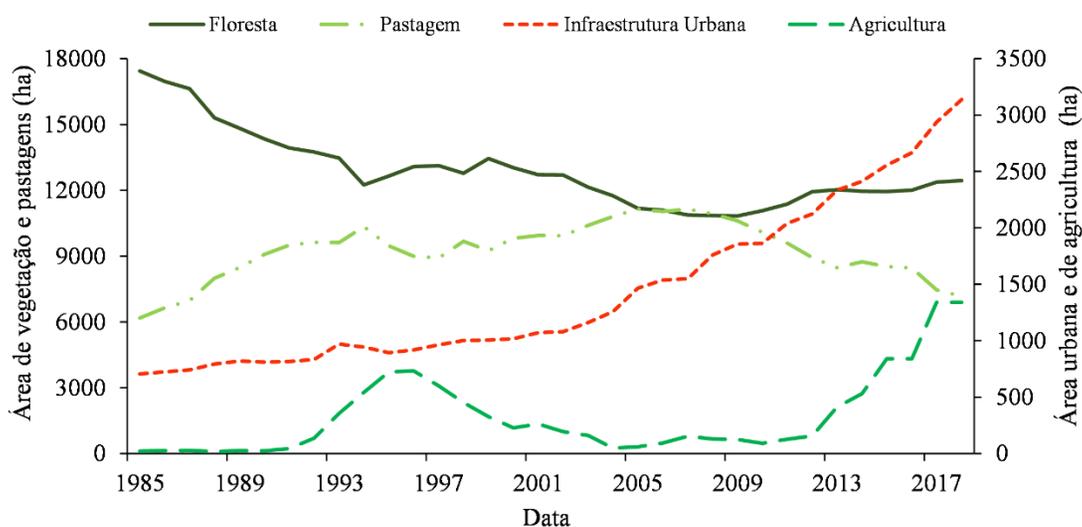


Figura 2. Variação na área dos principais usos do solo na região entre o período de 1985 e 2018.

Complementando-se a análise feita a partir da Figura 2, desta vez, observando-se os mapas da Figura 3, é possível identificar as mudanças no uso e ocupação do solo no município estudado. Em 1985, Juazeiro do Norte apresentava uma mancha urbana menos expressiva, representando apenas 2.84% da área total do município, todavia, já se observava uma área considerável voltada para atividades de agropecuária, com 26.45% da ocupação do território. Em 2018, entretanto, é possível notar que a mancha de área não vegetada cresceu enormemente na região sudoeste do município, passando a representar 12.60% da área total. Além disso, é possível perceber também uma perceptível perda de áreas de Floresta, que passa a ocupar 50.0% do município.

Sabendo disso, é importante ressaltar que há uma forte tendência do processo de infiltração ter sido seriamente afetado ao longo dos anos. Isto devido a forte introdução de áreas impermeáveis advindas de construções urbanas, mas também pela substituição de florestas por culturas agrícolas e de pastagem onde o solo passa a ser compactado pelo uso intensivo de máquinas e equipamentos de grande porte. Tucci e Clarke (1997) explicam uma grande quantidade de água proveniente da chuva torna-se incapaz de infiltrar no solo, ocasionando problemas relacionados não só a recarga de nascentes, que introduz períodos mais prolongados de estiagem, como também promove o aumento do escoamento superficial que possibilita problemas advindos da erosão do solo.

Barros et al. (2015) avaliou os índices de áreas verdes públicas no perímetro central da cidade de Juazeiro do Norte e encontrou um índice de área verde de, aproximadamente, $1.3 \text{ m}^2 \cdot \text{hab}^{-1}$ para a região urbana do município. Ressalta-se que esse baixo valor deve-se a política adotada na cidade que visa a impermeabilização das praças, canteiros e os elementos da paisagem urbana em geral. Barros et al. (2015) obteve para o total de 24 bairros na cidade uma área verde próxima de 0.24 km^2 , que comparada aos estimados 30 km^2 de infraestrutura urbana apresentado na Figura 2, representaria, aproximadamente, 0.8% da área urbana. O processo de urbanização acentuado observado na cidade de Juazeiro do Norte contribui para potenciais alterações nas condições do clima da região, em especial em áreas pouco arborizadas e com maior densidade de construções (Silva *et al.*, 2016).

Piroli et al. (2011) avaliou a mudança no uso e ocupação do solo para a bacia do córrego de Furnas nos anos de 1972 e 2007 contabilizando o aumento ou a diminuição percentual das áreas dos diferentes tipos de usos do solo entre os anos avaliados. O autor ressaltou que a área da bacia tornou-se majoritariamente urbana e com grandes áreas de usos específicos de pastagens e agricultura. Característica similar pôde-se observar para a região de Juazeiro do Norte na Figura 3. Piroli (2015), em estudo similar, avaliou a mudança no uso e ocupação do solo e também quantificou a mudança na capacidade de acumulação de água infiltrada nos solos. O autor concluiu que a mudança dos usos e coberturas da terra pode diminuir o volume teórico de água infiltrada no solo em mais de 20% ao longo dos anos, passando, assim, a aumentar o volume que escoar superficialmente.

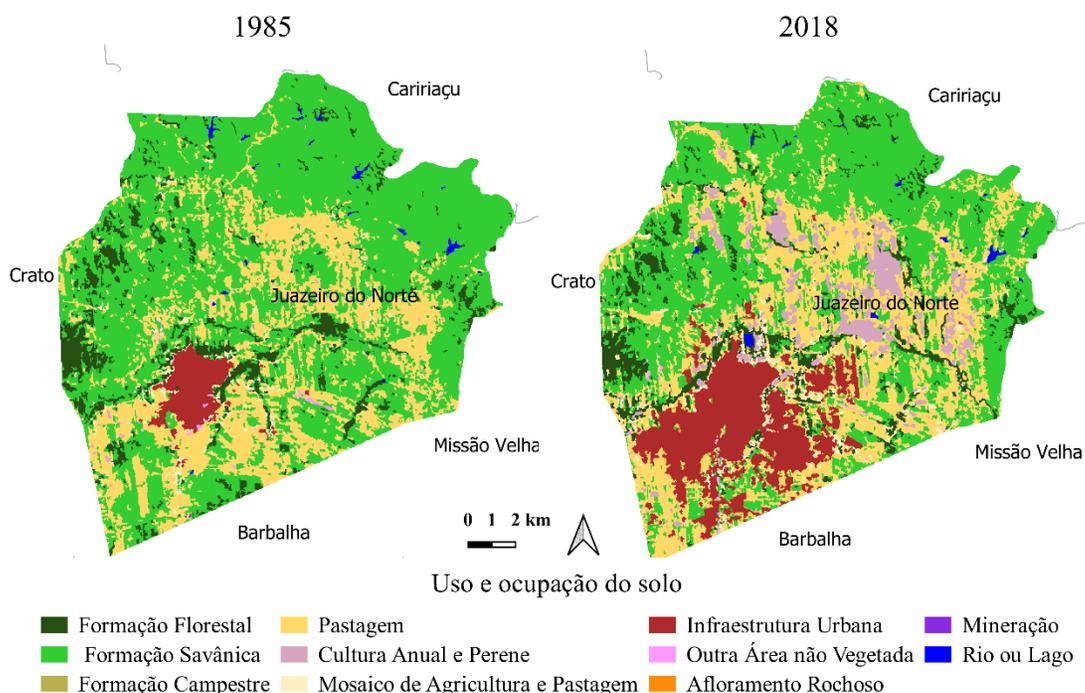


Figura 3. Mapa de uso e ocupação do solo na cidade de Juazeiro do Norte – CE nos anos de 1985 e 2018.

Apresentam-se na Tabela 2 os dados referentes a análise das mudanças do uso do solo nos anos extremos do período de dados analisados, 1985 e 2018. Nota-se que a área de floresta foi a mais afetada, perdendo, de 1985 para 2018, um total 4992.4 ha, representando uma redução de 28.6% de sua área em relação a 1985. Os usos corpos d'água e formação natural não vegetal também apresentaram redução de área, porém menos expressiva, de 8.2%.

Paralelamente, a agropecuária apresentou um crescimento expressivo em sua área com um aumento de 86.7% também em comparação a 1985. Destaca-se, ademais, que o uso do solo que mais cresceu percentualmente foi o uso referente à área não vegetada, representado majoritariamente pela área urbana, apresentando um aumento de 323% em sua área. Essas mudanças destacadas são facilmente percebidas pelo contraste nos usos do solo apresentado nesses dois anos na Figura 3.

Tabela 2. Mudança percentual nas áreas dos usos do solo entre os anos de 1985 e 2018

Uso do Solo	1985	2018	Variação da área (ha)	% em relação à área de 1985
Floresta	17438.2	12444.0	-4994.2	- 28.6%
Agropecuária	6583.2	12292.4	5709.2	86.7%
Área não vegetada	755.5	3196.0	2440.5	323.0%
Formação natural não Florestal	21.0	20.4	-0.6	- 3.0%
Corpos D'água	87.9	83.4	-4.5	- 5.2%

A partir da Figura 4, observando-se a variação percentual do potencial de infiltração do solo de todo o município estudado, é possível ter uma apresentação mais clara dos impactos causados pelas alterações do uso do solo sobre o fenômeno em questão. Percebe-se, portanto, que a redução de áreas de Floresta e de Formação Natural resultou, ao longo dos anos, um forte efeito quanto à redução de áreas com alto potencial de infiltração. Estas em 1985 representavam cerca de 70% do território e em 2018, apenas 50%, reduzindo-se, portanto, em 30%. Paralelamente, o crescimento urbano e o desmatamento para criação de áreas de agropecuária, por sua vez, trouxe um aumento considerável para áreas com potencial de infiltração muito restrito ou sem potencial, que enquanto, em 1985, juntos representavam cerca de 30% da área do município, em 2018, cresceram para 50%. Áreas sem potencial de infiltração, em especial, têm crescido exponencialmente, principalmente, nos últimos anos, representando sozinhas 12.6% do município no final do período analisado, sendo reflexo, majoritariamente, do desenvolvimento urbano da região.

A avaliação do potencial de infiltração, de acordo com Nascimento et al. (2017), é abordada a partir da comparação entre as diferentes capacidades de infiltração da água nos solos sob a influência de diferentes tipos de cobertura vegetal e ocupações presentes na bacia avaliada, para o qual a cada tipo de uso do solo é associado a um potencial de infiltração. Nascimento et al. (2017) acompanhou a evolução do potencial de infiltração de duas bacias entre os anos de 1984, 1992 e 2001 e ambas apresentaram um aumento aproximado de 5% na área com potencial de armazenamento restrito e um aumento médio na área sem potencial de escoamento de 5%. Já a área com alto potencial de escoamento diminuiu em média 10%. O comportamento encontrado em Juazeiro do Norte apresentou uma diminuição na área de alto potencial de escoamento mais acentuada e próxima de 20%. Pode-se associar a diminuição das áreas de alto potencial de infiltração e o aumento das áreas sem potencial de escoamento como um reflexo direto da diminuição das áreas vegetadas e o aumento da área urbana do município (Kemerich *et al.*, 2014).

Medonça et al. (2009), em estudo similar, destaca que a capacidade de infiltração é maior em áreas vegetadas devido à maior quantidade de matéria orgânica. Ademais, o autor também destaca que a capacidade de infiltração depende fundamentalmente da umidade antecedente, da natureza e do estado da estrutura do solo superficial, sendo assim, facilmente afetada pelo tipo de vegetação e de manejo e, portanto, função do grau de antropização e do tipo de cobertura do solo.

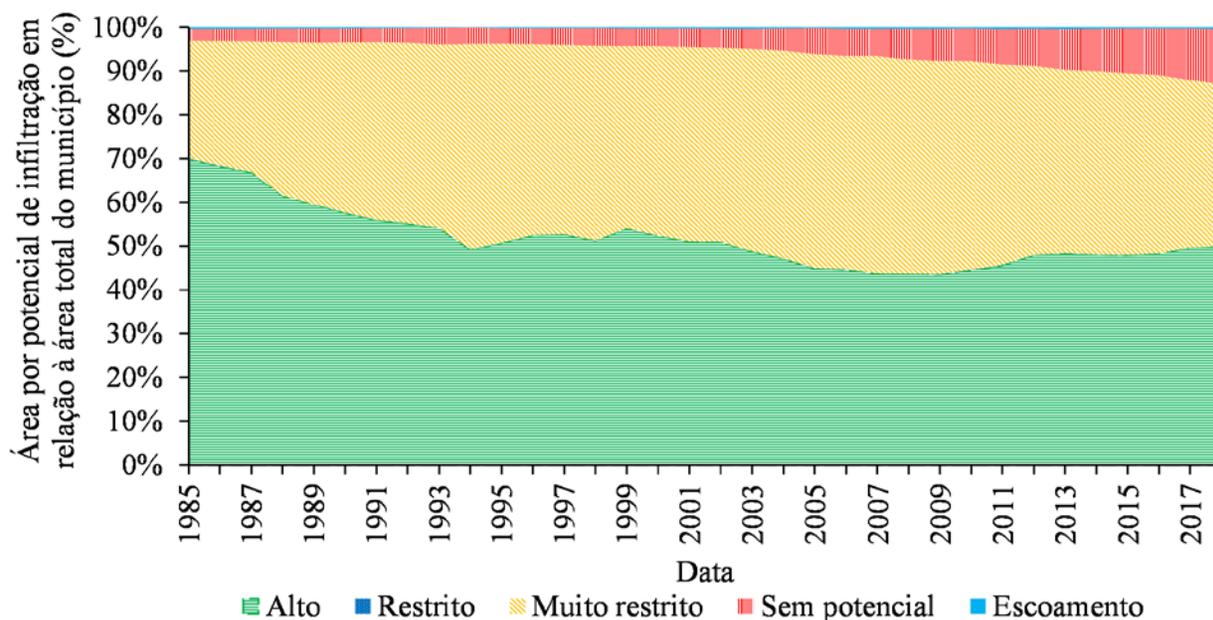


Figura 4. Variação do potencial de infiltração do solo no município de Juazeiro do Norte (CE) para o período de 1985 a 2018.

Observa-se na Figura 5 os efeitos sobre o CN ao longo dos anos no município de Juazeiro do Norte. Em um primeiro momento, é notório que o CN, no final do século XX, apresentou um forte crescimento, saindo de um valor de 79.4 em 1985, para 81.2 no ano de 2000, fato este que coincide com o avanço da urbanização na localidade, podendo-se, portanto, estabelecer uma relação de causalidade. Além disso, observa-se ainda que a curva de CN eleva-se bastante até o ano de 2009, quando chega ao valor de 82.2, a partir do qual sofre uma leve redução, decaindo-se para 81.9 em 2013, coincidindo com as movimentações políticas associadas ao Código Florestal de forma que em 2018, fecha o período analisado em 82.1.

Andrade et al. (2017) avaliou a mudança do CN resultante dos efeitos das mudanças de uso do solo de duas bacias localizadas na região centro-sul do Estado do Ceará e concluiu que o efeito do uso da terra no CN é evidente, sugerindo que uma perturbação no uso da terra a

partir da condição nativa implica grande variabilidade no CN. Uma das bacias hidrográficas estudadas pelo referido autor mantinha a vegetação semiárida tropical natural e a outra foi coberta por uma floresta tropical seca e fina, na qual toda a vegetação com diâmetro menor que 10 cm removida e os galhos foram cortados e colocados sobre o solo. A bacia mais preservada apresentou variação de CN significativamente inferior à bacia com maior intervenção. A variação de CN no primeiro caso foi de 60 a 90 enquanto no segundo foi de aproximadamente 0 a 90.

Soares et al. (2017) avaliou a mudança no uso do solo e obteve o CN médio para a bacia do rio Ivaí, no Paraná, para os anos de 1986 e 2011. Os autores observaram aumento no CN na maioria das sub-bacias analisadas no ano de 2011 e destacou que a principal causa do aumento da impermeabilidade foi que a urbanização e o uso agrícola em áreas de solos frágeis e altas concentrações de argila, o que favorece o escoamento superficial sobre a infiltração. Ressalta-se, porém, que o aumento no CN observado pro Soares et al. (2017) foram bastante pequenos, não superando o valor de uma unidade. A região de Juazeiro do Norte, estudada no presente trabalho por sua vez, apresentou um aumento n CN médio da região, próximo de três unidades, sendo comparativamente maior.

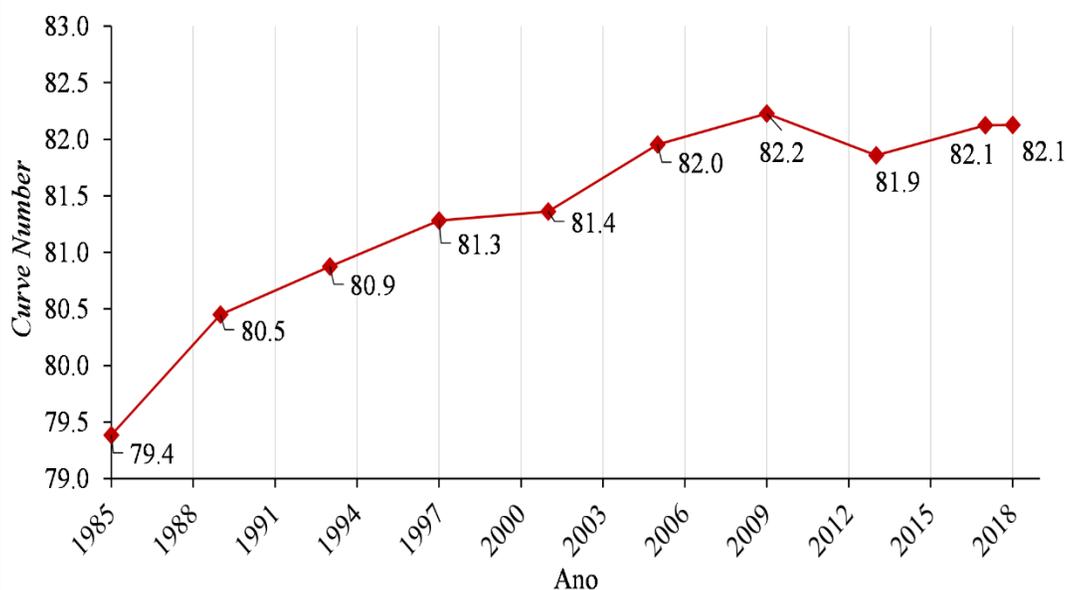


Figura 5. Variação do Curve Number médio para a região de 1985 a 2018.

Associando todo o elevado desenvolvimento urbano do município de Juazeiro do Norte às evidentes mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo e conseqüentemente ao CN médio obtido para a região, a Figura 6 apresenta a correlação obtida entre os dados populacionais da cidade obtidos pelos censos e estimados pelo IBGE para os anos entre os censos com o CN médio obtido para a região nos anos em que se dispunha de dados de população. A relação apresentou um elevado coeficiente de correlação de 0.95 reforçando as discussões previamente abordadas em que as mudanças no uso do solo e o aumento do CN na região estão fortemente marcados por melhorias na infraestrutura urbana da cidade que, conseqüentemente, impulsionaram todo o desenvolvimento urbano e aumento populacional do município.

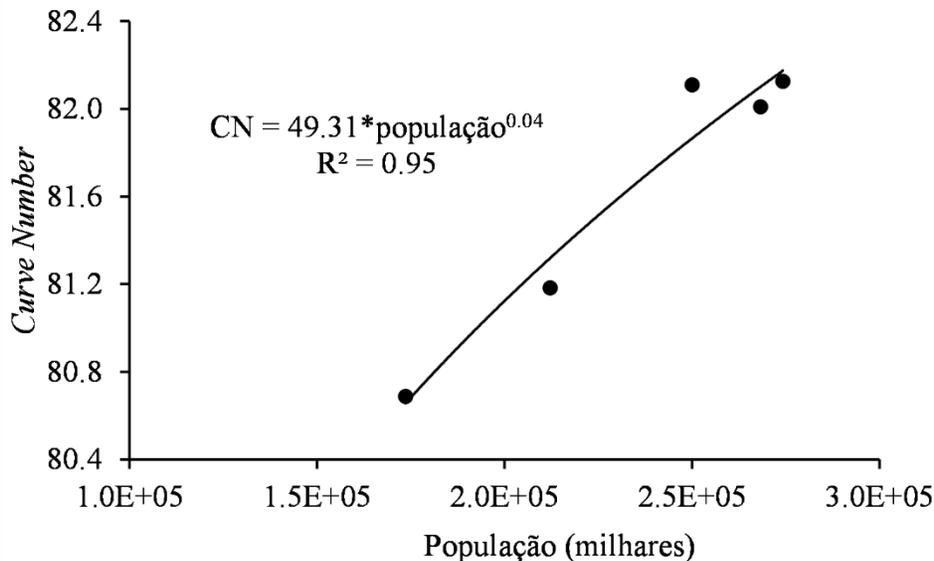


Figura 6. Correlação entre o Curve Number médio para a região e a população de Juazeiro do norte.

Avaliou-se, por fim, os efeitos da urbanização histórica de Juazeiro do Norte sobre o comportamento hidrológico das bacias do município. Para isso, utilizou-se como base a bacia do rio Batateira, escolhida por se localizar em um ponto que mais sofreu com os avanços da urbanização e da criação de pastagens. Avalia-se, a partir da Figura 6, as alterações do tempo de concentração da bacia (T_c), calculado pela fórmula do método SCS Lag, em função das alterações de CN ao longo dos anos. Diante disso, em um primeiro momento, nota-se a proporcionalidade inversa existente entre esses dois fatores com a redução do tempo de concentração associada ao crescimento do CN ao longo dos anos.

Em 1985, ano no qual o CN apresenta o valor mais baixo do período analisado, 80.4, o tempo de concentração obtido foi de 13.09 horas. Ao longo da série histórica, entretanto, há um aumento do número de CN, de forma a resultar em uma redução do tempo de concentração, dada a proporcionalidade inversa existente entre esses dois parâmetros. No ano de 2001, início do século XXI, o CN chegou a um valor de 82.3, ao passo que o tempo de concentração decaiu para 12.34 horas. Diante disso, observa-se da Figura 6 que os valores de CN cresceram, particularmente, a uma taxa maior nos últimos anos, resultando, assim, em 2018, em um valor de 83.4 para CN e em 11.9 horas de tempo de concentração. Portanto, comparando-se com o início do período analisado, nota-se que o aumento do número de CN ocasionou a redução T_c em 1.19 horas na bacia estudada.

Nunes e Fiori (2008) explicam que com essas observações é possível concluir que o aumento do número de CN advindo dos avanços da urbanização associado a consequente diminuição do tempo de concentração são responsáveis por aumentar o volume escoado e acelerar o percurso d'água desde o ponto mais distante da bacia, fazendo com que o rio atinja cada vez mais rápido, o seu pico de vazão de cheias.

Sabendo disso, Moreira (2014), avaliou o impacto da evolução urbanística sobre a bacia hidrográfica do Córrego São Gabriel no estado do Espírito Santo, empregando-se, para isso, diferentes cenários. No estudo em questão, foi observada uma redução do tempo de concentração para cenários futuros de urbanização da bacia proporcionados pelo incremento de áreas impermeáveis, de forma que se observou um decaimento do T_c de um valor inicial de 191.62 minutos, em um cenário com urbanização em fase inicial, para um valor final de 151.71 minutos, em um cenário futuro de maior urbanização. Consequentemente, observou-se também um aumento significativo nas vazões observadas entre os cenários de pré-urbanização e urbanização inicial sendo resultado da diminuição expressiva da cobertura vegetal, advinda da expansão rural.

Justino, Paula e Paiva (2011) analisaram o efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do da bacia do Córrego Lagoinha no município de Uberlândia, Minas Gerais, novamente, avaliando diferentes cenários e os efeitos do CN. Os resultados obtidos mostraram que para uma variação de 29 a 54% no índice de áreas impermeáveis, a vazão de pico pode sofrer um aumento de até 59.40% sobre a vazão de pico do cenário de referência. Os autores destacam que, para a bacia em questão, já intensamente urbanizada, a melhor solução para solucionar problemas decorrentes de inundações é a implantação de um reservatório de retenção ou detenção em sua área central, pois, este amortecerá as vazões e o tempo de pico.

Nesse contexto, Vendrame e Lopes (2005), também avaliaram a influência do aumento do CN com a urbanização da bacia do rio Pararangaba, em São José dos Campos-SP, e sua influência sobre a redução do tempo de concentração. Percebeu-se que, para um cenário de pré-urbanização, o CN apresentado era de 69.33, resultando em 15,23 horas de tempo de concentração, ao passo que a urbanização para o ano de 2005 estava associada a um CN de 76.09 na bacia, proporcionando uma redução no tempo de concentração para 6.27 horas. Para uma cenarização futura de urbanização, o CN gerado foi de 84.77, com Tc decaindo para, apenas, 5.07 horas. Os autores ainda comentam a necessidade de se avaliar os avanços da urbanização de bacias, uma vez que, caso não sejam tomadas medidas preventivas, as vazões podem se tornar muito superiores em relação às vazões para condição rural. Conseqüentemente, pode haver a necessidade de investimentos consideráveis no futuro para controlar o incremento do volume de escoamento superficial (Travassos, 2012).

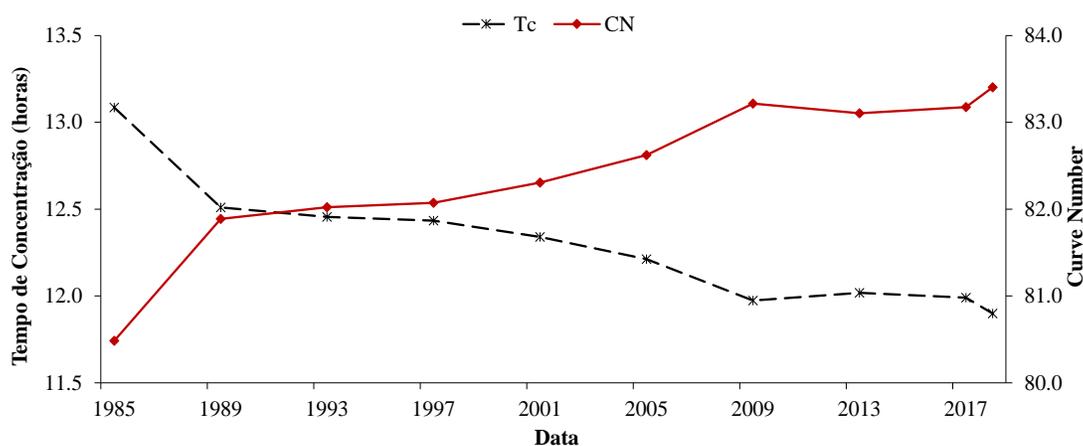


Figura 7. Variação do tempo de concentração em função do Curve Number médio para a região de 1985 a 2018.

Conclusões

Avaliou-se neste trabalho a aplicação do uso do parâmetro CN, *curve number*, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), para avaliar a evolução temporal da mudança no uso e cobertura do solo, na capacidade de infiltração ao longo do tempo e na mudança do tempo de concentração da bacia hidrográfica do rio Batateiras para a região e Juazeiro do Norte (CE) através dos dados de uso e ocupação do solo disponível pela plataforma MapBiomas. Realizou-se também a uma análise histórica do desenvolvimento urbano da cidade e a correlação com a mudança do CN médio da região.

Os resultados apresentaram uma acentuada redução nas áreas de vegetação, concomitante a um aumento das áreas de pastagem e de infraestrutura urbana, sendo estas mudanças associadas ao adensamento populacional e ao surgimento de empreendimentos comerciais e industriais ao longo dos últimos 30 anos no município. Ao comparar as alterações no uso do solo entre os anos 1985 e 2018, observou-se um crescimento considerável da mancha de área não vegetada, em especial em torno da região urbana do município, com um aumento percentual de cerca de 323% em área. Paralelamente a isso, para o mesmo período, áreas de pastagem também sofreram um aumento expressivo, de aproximadamente de 86.7%, enquanto as áreas de vegetação apresentaram redução na área em, aproximadamente, 28.6%. Observou-se, ademais, uma forte tendência do processo de infiltração ter sido, significativamente, afetado no município. Sendo concluído, por este estudo que a redução de áreas de Floresta e de Formação Natural surtiu, ao longo dos anos, um forte impacto quanto à redução de áreas com alto potencial de infiltração em detrimento do crescimento de áreas com potencial de infiltração muito restrito ou sem potencial.

Obteve-se também valores de CN representativos para o município e para a sub-bacia do rio Batateiras para cada ano da série histórica estudada, com base nos dados de uso e ocupação do solo levantados. A partir disso, foi possível observar um crescimento dos valores de CN de 79.4 a 82.1 paralelo ao desenvolvimento urbano do município, em especial, após a construção de empreendimentos industriais e comerciais.

Por fim, a partir da análise comparativa entre a mudança dos valores de CN ao longo da série histórica e o reflexo na mudança nos valores do tempo de concentração da sub-bacia do rio Batateiras, localizada dentro da área do município estudado, notou-se uma proporcionalidade inversa existente entre os dois fatores. Assim, enquanto o CN aumentou, o tempo de concentração diminuiu de 13.1 horas para 11.9 horas. Ressalta-se, por fim, que a redução do tempo de concentração associada ao crescimento do CN ao longo dos anos pode ocasionar o aumento o volume escoado na bacia e acelerar o percurso d'água desde o ponto mais distante da bacia, fazendo com que o rio atinja cada vez mais rápido, o seu pico de vazão de cheias.

Referências bibliográficas

- Ajmal, M., Kim, T. W. (2015) Quantifying Excess Stormwater Using SCS-CN–Based Rainfall Runoff Models and Different Curve Number Determination Methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **141**(3), 04014058.
- Andrade, E. M., Araújo Neto, J. R., Guerreiro, M. J. S., Santos, J. C. N., Palácio, H. A. Q. (2017). Land Use Effect on the CN Model Parameters in a Tropical Dry Environment. *Water Resources Management*, **31**(13), 4103–4116.
- Andrade, L. A. P., Gomes, C. C., Castro, M. A. H. (2005) Diagnóstico do abastecimento público por dados tubulares de Juazeiro do Norte – CE. *Águas subterrâneas*, São Paulo, Brasil, 19 pp.

- Barboza, E. N., Neto, F. C. B., Caiana, C. R. A., Crisostomo1, N. C., Sampaio, M. R. L., Beserra, M. N. S. e Lacerda, A. W. J. R. (2019) Análise de precipitações pluviométricas entre 1974-2009 no município de Juazeiro do Norte, Ceará. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, **14**(01), 36-46.
- Barros, A. S., Matos, R. M., Silva, P. F., Neto, J. D. (2015) Índices de áreas verdes públicas no perímetro central da cidade de Juazeiro do Norte – CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **8**(4), 1273-1280.
- Calegari, L.; Martins, S. V.; Gleriani, J. M.; Silva, E.; Busato, L. C. (2010) Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. *Revista Árvore*, **34**(5), 871-880.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). IBGE Cidades. Acesso em: 10 maio. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>
- Igari, A. T., Pivello, Vânia R. (2011) Crédito rural e código florestal: irmãos como caim e abel? *Ambiente & Sociedade*, **14**(1), 133-150.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2020). Acesso em: 02 de maio de 2020. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/georreferenciados/index.htm>
- Justino, E. A., Paula, H. M., Paiva, E. C. R. (2011) Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. *Espaço em revista*, **13**(1), 16-38.
- Kemerich, P. D. C., Martins, S. R., Kobiyama, M., Flores, C. E. B., Borba, W. F., Fernandes, G. A., Santi, A. L., Cherubin, M. R. (2014) Water Infiltration and Runoff Under Different Land Uses and Occupancy in a Hydrographic Basin. *Anuário do Instituto de Geociências*, **37**(2), 75-88.
- Lima, G. G., Ribeiro, S. C. (2012) Geomorfologia e paisagem do município de Juazeiro do Norte/CE: relações entre a natureza semi-árida e os impactos antrópicos. *Geomorfologia e Cotidiano*, **4**(2), 520-530.
- Mendonça, L. A. R., Vásquez, M. A. N., Feitosa, J. V., Oliveira, J. F., Franca, R. M., Vásquez, E. M. F., Frischkorn, H. (2009) Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, **14**(1), 89-98.
- Moreira, L. L. (2014) *Análise do impacto da evolução urbanística sobre o sistema de drenagem urbana*. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 87 pp.
- Nascimento, P. W. F., Carvalho, R. P. B., Costa, V. C. (2017). Avaliação do potencial de infiltração relativo das bacias hidrográficas urbanas do rio Anil e do rio Grande (município do Rio de Janeiro). *Geo UERJ*, **0**(30), 364-390.
- Nunes, F. G., Fiori, A. P. (2008) Análise da impermeabilização dos solos e aumento dos picos de vazão de cheias em bacias hidrográficas urbanas. *Boletim Paranaense de Geociências*, 62-63, 47-60.
- Oliveira, P. T. S., Nearing, M. A., Hawkins, R. H., Stone, J. J., Rodrigues, D. B. B., Panachuki, E., Wendland, E. (2016) Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data. *Journal of Soil and Water Conservation*. **71**(5), 420-429.
- Piroli, E. L. (2015) Mudanças no uso da terra e impactos sobre a infiltração de água em microbacias hidrográficas avaliadas com técnicas de geoprocessamento, *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, João Pessoa, Brasil.
- Piroli, E. L., Ishikawa, D. T. K., Demarchi, J. C. (2001) Análise das mudanças no uso do solo da microbacia do Córrego das Furnas, município de Ourinhos - SP, entre os anos de 1972 e 2007, e dos impactos sobre suas áreas de preservação permanente, apoiada em geoprocessamento. *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 15. 2011, Curitiba, Brasil.
- Rodrigues, J. O., Andrade, E. M., Mendonça, L. A. R., Araújo, J. C., Palácio, H. A. Q., Araújo, E. M. (2013) Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **17**(3), 312-318.
- SCS, Soil Conservation Service (1972) SCS National Engineering Handbook, Section 4. *Hydrology, Soil Conservation Service*. US Department of Agriculture, Washington, DC.

- Silva, A. C., Silva, O. G., Silva, D., N., F., Corrêa, A., C., B. (2016) Mudanças do uso e ocupação da terra a partir da expansão urbana e as influências climáticas sobre a morfodinâmica no município do Recife/PE entre 1975 e 2015. *Revista Cerrados*, **13** (1), 33-49.
- Sposito, M. E. B. A urbanização da sociedade: reflexões para um debate sobre as novas formas espaciais. O espaço no fim de século – a nova raridade, Editora Contexto, 2001.
- SCS. Soil Conservation Service. *Urban Hydrology for Small Watersheds*, 2nd Ed., (TR-55), June 1986.
- Soares, M. R. G. j., Fiori, C. O., Silveira, C. T., Kaviski, E. (2017). Efficiency of the curve number method of rainwater retention. *Mercator*, **16**(1).
- Silveira, A. L. L. (2005) Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **10**(1), 5-23.
- Travassos, L. (2012) Urban flooding: a social and environmental issue. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, **1**(1), 88-105.
- Valle Junior, L. C. G., Rodrigues, D. B. B., Oliveira, P. T. S. (2019). Taxa de abstração inicial e estimativa do número da curva usando dados de chuva e escoamento de uma bacia hidrográfica tropical. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **24**(1), 169-178.
- Vendrame, I. F., Lopes, W. A. B. (2005) Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica do escoamento superficial da bacia do Pararangaba. *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Brasil.