

# REVISTA AIDIS

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

## CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E DO USO E OCUPAÇÃO DE BACIAS URBANAS EM JUAZEIRO DO NORTE/CE

Pedro André de Sousa Gonçalves <sup>1</sup>  
\* Renato de Oliveira Fernandes <sup>1</sup>

## PHYSIOGRAPHIC CHARACTERIZATION AND LAND USE AND OCCUPATION STUDY OF URBAN BASINS IN JUAZEIRO DO NORTE, CE

Recibido el 26 de marzo de 2021. Aceptado el 14 de septiembre de 2021

### Abstract

The characterization of watersheds is essential for the implementation of solutions that minimize urban drainage problems. This work presents the characterization of the watersheds of Riacho dos Macacos and Timbaúbas, which are the main basins in the city of Juazeiro do Norte, Ceará. Physical, hydraulic, and hydrological characterizations and land use and occupation studies were performed by geoprocessing techniques using Sentinel-2 satellite images, Shuttle Radar Topography Mission data, and QGIS processing. Thirteen sub-basins were delimited with a total area of 57.3 km<sup>2</sup>, flat to smooth-wavy relief, and concentration time ranging from 19 to 121 min. The two less urbanized sub-basins, SB1 and SB2, presented 71% and 61% of vegetation, respectively. On the other hand, intense urbanization generated 72.5% of impermeable areas in one of the sub-basins (SB10). In agreement with the waterproofing rates of the basins and soil type, the Curve Number, of the method Natural Resources Conservation Service (NRCS), ranged from 70 (SB1) to 90 (SB10) and averaged 79. Indicators of susceptibility to floods agree with the frequent occurrences of floods in the SB3, SB6, and SB11 sub-basins that mainly include the neighborhoods of Lagoa Seca and Jardim Gonzaga.

**Keywords:** geoprocessing, hidrologia urbana, urbanização.

<sup>1</sup> Departamento de Construção Civil. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Regional do Cariri, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Construção Civil. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Regional do Cariri. Av. Leão Sampaio, 107. Triângulo, Juazeiro do Norte - CE, CEP: 63.041-145. Brasil. Email: [renato.fernandes@urca.br](mailto:renato.fernandes@urca.br)

## Resumo

Estudos de caracterização de bacias hidrográficas são essenciais para implantação de soluções que minimizem os problemas na drenagem urbana. Este trabalho apresenta a caracterização das bacias hidrográficas do Riacho dos Macacos e das Timbaúbas, que são as principais bacias da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará. A caracterização física, hidráulica, hidrológica e o uso e ocupação do solo foi realizado usando técnicas de geoprocessamento com as imagens do satélite Sentinel 2, do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e processadas no QGIS. Foram delimitadas 13 sub-bacias com área total de 57.3 km<sup>2</sup>, relevo plano a suave-ondulado e tempo de concentração que variaram de 19 minutos a 121 minutos. As duas sub-bacias menos urbanizadas (SB1 e SB2) apresentaram percentuais de 71% e 61% de vegetação, respectivamente. Por outro lado, a intensa urbanização gerou 72.5% de áreas impermeáveis em uma das sub-bacias (SB10). Em concordância com as taxas de impermeabilização das bacias e do tipo do solo, o Número da Curva (CN), do método do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), variou de 70 (SB1) a 90 (SB10) e média de 79. Os indicadores de susceptibilidade as enchentes concordam com as ocorrências frequentes de cheias nas sub-bacias SB3, SB6 e SB11 que atingem principalmente os bairros Lagoa Seca e Jardim Gonzaga.

**Palavras chave:** geoprocessamento, hidrologia urbana, urbanização.

## Introdução

O desenvolvimento urbano, na maioria das cidades, está associado a ocupação desordenada do solo com substituição de ambientes naturais por áreas construídas que, geralmente, reduz a capacidade de infiltração de água no solo e obstrui rios e várzeas (Brown; Keath; Wong, 2009; Guan; Sillanpää; Koivusalo, 2015).

As consequências mais evidentes da urbanização nos recursos hídricos é o aumento das cheias e alagamentos com prejuízos sociais e econômicos (Christofidis; Assumpção; Kligerman, 2020).

Para minimizar os problemas da urbanização na drenagem urbana é comum a adoção de medidas estruturais, associadas às obras de engenharia, e/ou medidas não estruturais que estão relacionadas ao planejamento da ocupação do espaço urbano. Recentemente, estudos de drenagem urbana tem focado em soluções sustentáveis que tornam o ambiente urbano adaptado e resiliente as águas especialmente no contexto das mudanças climáticas (Fletcher *et al.*, 2015; Wong; Brown, 2009).

Independente das medidas a serem adotadas são necessários estudos de caracterização física (De-Carvalho; Henry-Silva, 2020), hidrológica e hidráulica das bacias hidrográficas (Araujo *et al.*, 2019), a determinação de áreas prioritárias a serem preservadas, identificação e projeção do uso e ocupação do solo (Fernandes; Costa; Studart, 2017), entre outros aspectos, necessários no fornecimento de informações para a tomada de decisão.

A sede do município de Juazeiro do Norte, Ceará, é um exemplo de região que sofreu um rápido processo de urbanização desordenada e que gerou, como consequência direta, alagamentos e cheias, principalmente no primeiro semestre do ano quando as chuvas diárias acumuladas podem ultrapassar a 160 mm (ANA, 2021).

Com o objetivo de gerar subsídios para o planejamento de medidas estruturais e não estruturais e minimizar os problemas de drenagem, este estudo apresenta a caracterização das principais bacias hidrográficas da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará, incluindo o modelo numérico do terreno com a delimitação das sub-bacias e da rede de drenagem, declividades dos rios principais, tempos de concentração, uso e ocupação do solo e estimativa do valor da Curva Número (CN) do Natural Resources Conservation Service (NRCS) que geralmente é utilizado para estimativa da vazão máxima.

## Metodologia

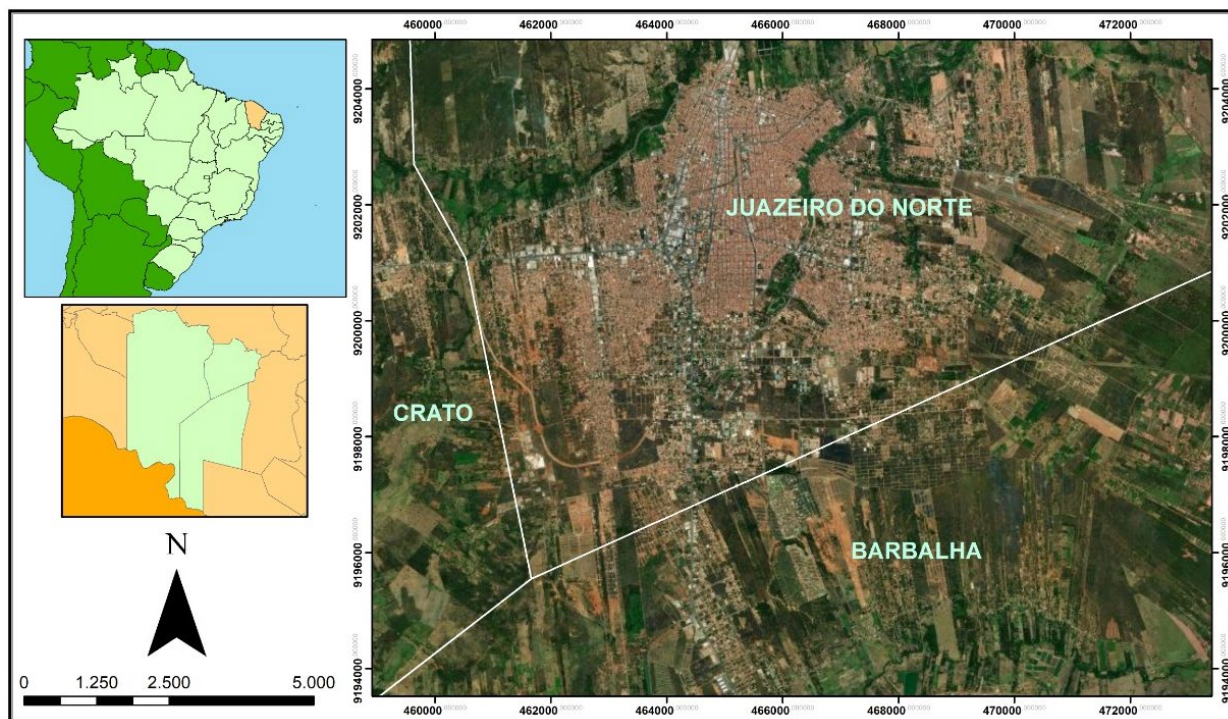
### Área de estudo

A área de estudo está localizada na sede do município de Juazeiro do Norte, Ceará (Figura 1) que tem área territorial da ordem de 248.8 km<sup>2</sup> e população superior a 250000.00 habitantes (IBGE, 2020).

O município de Juazeiro do Norte é o terceiro mais populoso do Ceará e tem sua área urbana drenada pelos Riachos dos Macacos e das Timbaúbas, que são afluentes do Rio Batateiras. Ao longo do riacho do Macacos encontra-se o Parque Ecológico das Timbaúbas que possui vegetação e várzea que contribui na redução das ondas de cheias.

No período chuvoso a área de estudo apresenta diversos pontos de inundação (Figura 1) com destaque para áreas localizadas nos bairros Lagoa Seca e Jardim Gonzaga. Os alagamentos é uma das consequências direta da ocupação de áreas ribeirinhas e das elevadas taxas de impermeabilização do solo devido à falta de zoneamento das áreas de riscos de inundação em áreas de várzeas e rios. Neste sentido, O Plano Municipal de Saneamento Básico de Juazeiro do Norte, CE, aprovado através do Decreto nº 219, em dezembro de 2015 (PMJN, 2021), apresenta cinco programas, entre os quais o Programa de Drenagem Urbana e Manejo de Águas Pluviais que busca promover a gestão deste serviço e prever a elaboração de um manual de execução de obras de drenagem e o zoneamento das áreas com riscos de alagamento.

Outros problemas na área de estudo e que causam impactos nos recursos hídricos é a baixa cobertura do serviço de coleta de esgoto, com apenas 22.71% (SNIS, 2019), e ausência de um programa efetivo de gestão dos resíduos sólidos e de um aterro sanitário público para o destino adequado dos rejeitos dos resíduos sólidos. A ineficiência nos serviços de coleta de esgoto e dos resíduos sólidos geram diversos problemas ambientais, entre os quais; redução da qualidade da água e obstrução dos dispositivos de drenagem urbana.



**Figura 1.** Mapa de localização da área urbana do município de Juazeiro do Norte, Ceará (Fonte: elaboração própria).

### Modelo Digital de Elevação (MDE)

A delimitação das bacias do Riacho dos Macacos e das Timbaúbas, área urbana de Juazeiro do Norte, foi feita através do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) através do projeto TOPODATA (INPE, 2021). A imagem do sensor SRTM disponibilizada pela TOPODATA tem uma resolução espacial de 30m, oriundo do pós-processamento dos dados originais do SRTM que tem uma resolução espacial de 90m.

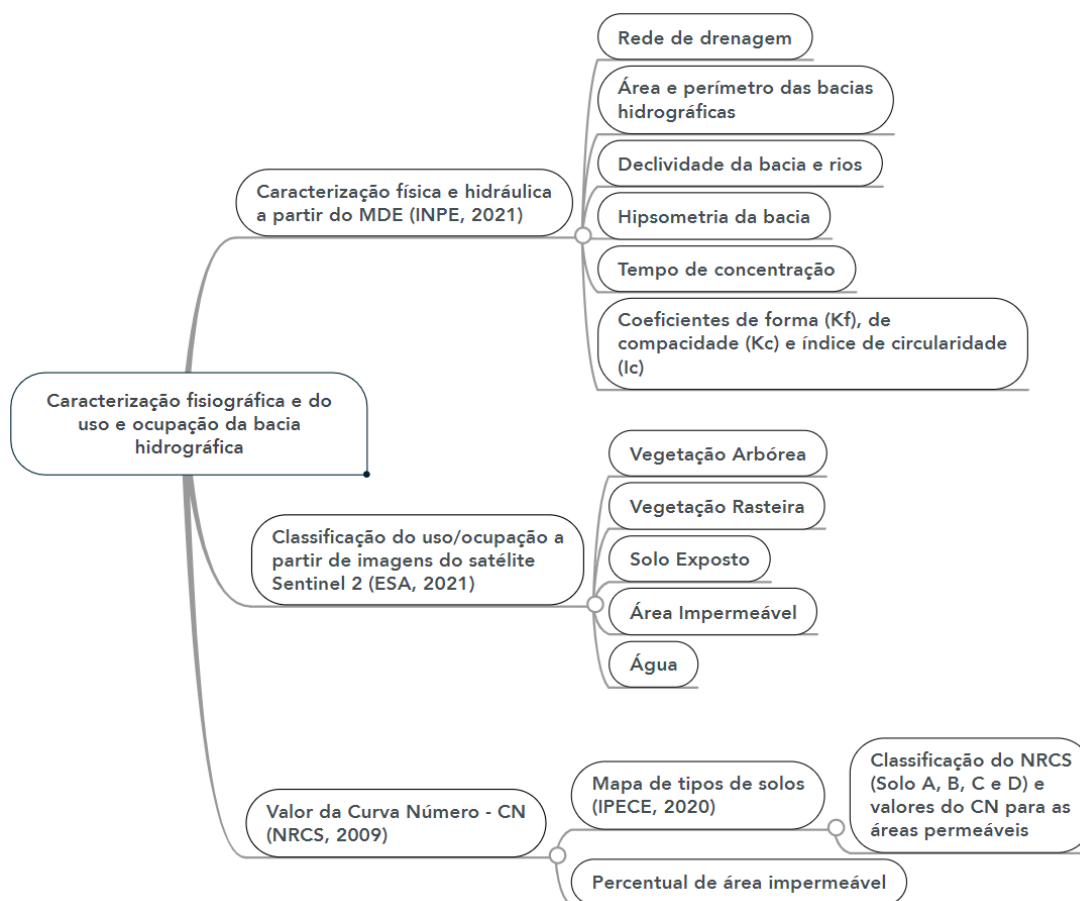
A acurácia desses dados está ligada com a topografia local, apresentando distorções em relevos acidentados com inclinação acima de 20°. Segundo Valeriano (2003) essas distorções também podem ser encontradas em imagens com resolução espacial inferiores a 40m.

O processamento do MDE, a caracterização e a delimitação das bacias citadas foram realizadas no QGIS 3.2. Bonn ([https://docs.qgis.org/3.10/en/docs/user\\_manual/](https://docs.qgis.org/3.10/en/docs/user_manual/)) e no GRASS GIS 7 (<https://grass.osgeo.org/grass7/>) que é uma um *plugins* incorporado no QGIS e são ferramentas de livre acesso (Bruno, 2017). A Figura 2 resume as etapas gerais da metodologia adotada com as referências das fontes de dados e informações.

### Direção do Fluxo

A direção de fluxo foi determinado através do algoritmo *r.watershed* presente no GRASS GIS 7. Esse algoritmo apresenta duas opções para a determinação da direção do fluxo, que são: SFD – (*Single-flow-direction*), nessa opção o fluxo é calculado e direcionado apenas para uma das células vizinhas de menor elevação em relação a célula de origem do fluxo. Já a opção MFD – (*Multi-flow-directions*) o fluxo é direcionado e calculado uniformemente para todas as células vizinhas de menor elevação em relação a célula de origem do fluxo.

O algoritmo utiliza o modelo D8, aplicado por O’Callaghan e Mark (1984) e proposto por Jenson & Domingue (1988) para ambos padrões de direção de fluxo. O modelo propõe que a direção do fluxo de uma célula é dada pela orientação com que a água flui para uma das 8 células vizinhas em relação a célula principal. O modelo D8 é melhor exemplificado na Figura 3, onde cada pixel de maior elevação direciona o fluxo para o pixel de menor elevação, simulando o comportamento natural do escoamento superficial da água.



**Figura 2.** Fluxograma das etapas gerais da metodologia adotada (Fonte: elaboração própria).

Para a realização da delimitação da bacia foi utilizado o algoritmo *r.water.outlet* que também faz parte do GRASS GIS 7. Esse algoritmo toma como base a direção da drenagem superficial e o par de coordenadas do exutório da bacia. Com base nesses parâmetros, foi calculado os valores de maior altitude e identificado os divisores de água, considerando a área a montante do exutório da área de contribuição da bacia hidrográfica. Esse processo foi repetido para todas as sub-bacias de contribuição.

A caracterização topográfica da bacia hidrográfica foi realizada no QGIS através do MDE. A declividade foi classificada conforme as orientações da (EMBRAPA, 1999) que divide o relevo em classes de porcentagem, e a altimetria foi dividida em cinco classes em relação ao nível do mar pelo DATUM SIRGAS 2000 e fuso 24S.

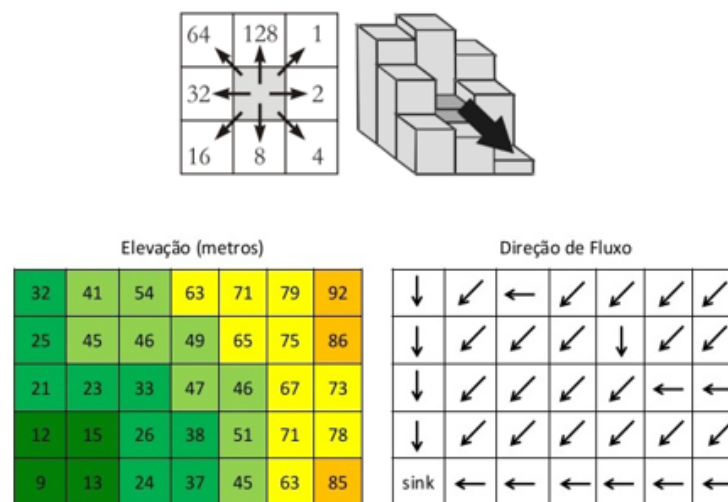


Figura 3. Direção do fluxo a partir do MFD (Fonte: Jensen & Domingue, 1988).

### Caracterização do uso e ocupação do solo

Para a determinação do uso e ocupação do solo foi utilizado uma imagem registrada pelo satélite *Sentinel 2* disponibilizada pela Agência Espacial Europeia (ESA, 2021). A imagem contém 13 bandas espectrais, sendo elas 4 bandas no visível e no infravermelho, 6 bandas no *Red Edge* e no infravermelho de ondas curtas e 3 bandas destinadas a correções atmosféricas. As imagens geradas pela plataforma podem chegar até 15m de resolução espacial nas bandas referentes ao visível e infravermelho.

Foi realizado um pré-processamento com a imagem do satélite Sentinel 2 com ajustamento do DATUM para o SIRGAS 2000 e o fuso 24S. Em seguida, realizado uma mesclagem das bandas 2, 3, 4 e 8 referentes aos comprimentos de onda do verde, vermelho, azul e infravermelho próximo. Após o pré-processamento foi definida cinco classes de mapeamento de uso e ocupação do solo seguindo as recomendações de Tucci (2004) para áreas urbanas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação recomendada de uso e ocupação do solo segundo Tucci (2004).

Cobertura urbana	Classificação utilizada
Bosques ou zonas com coberturas ruins	Vegetação Arbórea
Terrenos Baldios em boas condições	Vegetação Rasteira
Terra	Solo Exposto
Ruas asfaltadas, telhados, viadutos e	Área Impermeável
Água	Área Impermeável

A classificação da imagem foi realizada através do *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*. O SCP permite que seja criada feições de treinamentos ou de áreas de interesses *Region Of Interest (ROI)* com cálculo automático das assinaturas espectrais das feições de treinamento. Para maior precisão e acurácia na classificação, foram coletadas 20 amostras para o treinamento do algoritmo.

O cálculo das áreas foi feito através do algoritmo *r.report* que estar presente no GRASS GIS 7. O resultado gerado desse processo é um arquivo de texto contendo o valor de cada área.

#### Classificação hidrológica do solo

O valor da Curva Número (CN) do método do *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos apresenta os tipos de solos, o uso e ocupação da superfície e a umidade antecedente devido às chuvas dos últimos dias. Neste estudo a condição de umidade considerada foi a II, situação em que às chuvas dos últimos cinco dias totalizam entre 1 mm e 40 mm, muito comum no período chuvoso. O tipo de solo nesse método é classificado em grupos hidrológicos A, B, C e D (Tabela 2), com maior e menor capacidade de infiltração de água, respectivamente (NRSC, 2009). Para a bacia em estudo, os tipos de solos foram obtidos do portal do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE (IPECE, 2020) e associados a classificação do NRSC a partir de Sartori *et al.* (2005).

**Tabela 2.** Taxas de infiltração utilizadas para identificar o grupo hidrológico dos solos (Fonte: NRSC, 2009).

Grupo Hidrológico dos Solos	Taxa de infiltração (cm/h)
A	1.20 – 0.80
B	0.80 – 0.40
C	0.40 – 0.15
D	0.15 – 0.00

No Brasil, vários esforços têm sido feitos nas últimas décadas para adaptar o modelo para as condições nacionais (ex. Setzer & Porto, 1979; Sartori *et al.*, 2005; Sartori *et al.*, 2011). Neste estudo, a estimativa do CN de cada sub-bacia ( $CN_{\text{bacia}}$ ) levou em consideração o CN da área permeável ( $CN_{\text{permeável}}$ ), definido no método do NRCS (2009) para as condições médias de “espaços abertos, parques e jardins” ou “terrenos baldios” com valores de  $CN=49$  para o solo A,  $CN=69$  para solo B,  $CN=79$  para solo C e  $CN=84$  para o solo D. O CN do solo impermeável geralmente é de 98 e está incluído na Equação 1.

$$CN_{\text{Bacia}} = CN_{\text{permeável}} + \left( \frac{A_{\text{impermeável}}}{A_{\text{Bacia}}} \right) \times (98 - CN_{\text{permeável}}) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:  $CN_{\text{permeável}}$  = CN da área permeável da metodologia do SCS

$A_{\text{impermeável}}$  = área impermeável da bacia ( $\text{km}^2$ )

$A_{\text{Bacia}}$  = área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

### Caracterização física e hidráulica

O processamento do modelo digital de elevação (MDE) possibilitou a determinação de características físicas e hidráulicas da bacia tais como; áreas de drenagem das sub-bacias, comprimento e declividade média dos rios, altitude média das sub-bacias que foram dados básicos para a determinação de coeficientes e índice físicos.

A forma da bacia exerce influência direta no tempo de concentração e conseqüentemente na possibilidade de ocorrência de enchentes. Foi utilizado três coeficientes que indica a forma das sub-bacias e sua propensão a inundações, que são eles (Tucci, 2004): o fator de forma -  $K_f$  (Equação 2), o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) e o índice de circularidade ( $I_c$ ).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

$L$  = Comprimento axial do rio principal (km);

$A$  = Área da bacia ( $\text{km}^2$ )

O valor do  $K_f$  superior a 0.75 indica alta susceptibilidade a enchentes. Por outro lado,  $K_c$  (Equação 3) superior a 1.5 indica baixa susceptibilidade da bacia hidrográfica a enchentes.

$$K_c = 0,282 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

$P$  = Perímetro da bacia (km);

$A$  = Área da bacia ( $\text{km}^2$ ).



O Índice de circularidade ( $I_c$ ) representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia (Equação 4). Valores menores que 0.51 sugerem bacias alongadas o que contribui para reduzir os picos de vazões e, portanto, minimizar as cheias. O índice de circularidade juntamente com o coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) tende ao valor de 1 quando a bacia se aproxima da forma circular e, portanto, apresenta alta propensão a enchentes.

$$I_c = 12,57 * \frac{A}{P^2}$$

**Equação (4)**

Em que:

A = Área da bacia ( $\text{km}^2$ );

P = Perímetro da bacia (km).

O tempo de concentração foi determinado pela Equação de Kirpich (Equação 5), como recomendado por Fernandes, Costa e Studart (2017) para a bacia do Riacho dos Macacos.

$$t_c = 57 \left( \frac{L^2}{I} \right)^{0,385}$$

**Equação (5)**

Em que, L é o comprimento do rio principal (km) e I a declividade do rio principal (m/m) entre a cabeceira e exutório de cada sub-bacia que levou em consideração, para sua delimitação, os principais locais de ocorrência de inundações.

## Resultados e discussão

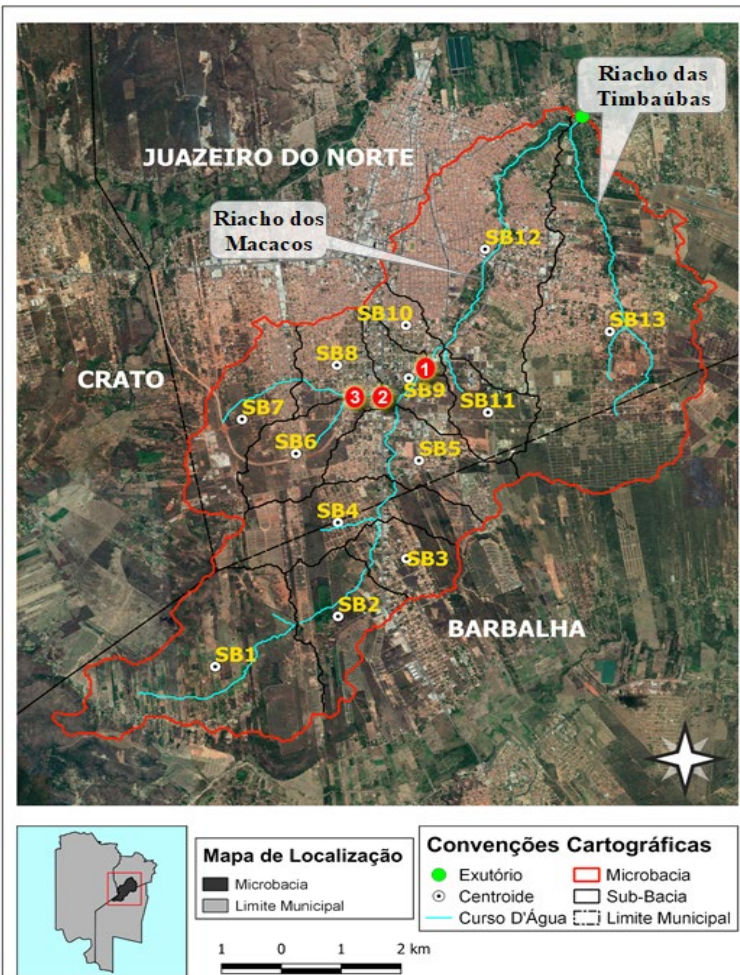
### Características física e hidráulica da bacia hidrográfica

Com o uso de técnicas de geoprocessamento foi possível delimitar a bacia hidrográfica, as sub-bacias de contribuição, a rede de drenagem principal (Figura 4), determinar a declividade (Figura 5A) e altimetria (Figura 5B). A Figura 4 mostram três pontos de alagamento frequentes na Av. Plácido Aderaldo Castelo (1), Av. Leão Sampaio (2) e Rua Padre Manoel Germano (3).

A bacia hidrográfica do Riacho dos Macacos foi dividida em 12 sub-bacias e a bacia do Riacho das Timbaúbas está representada pela SB13. Nas sub-bacias SB1 e SB2 é possível identificar as maiores áreas de vegetação (Figura 4) e estão totalmente inseridas no município de Barbalha, CE.

As características físicas e o respectivo tempo de concentração das sub-bacias estão na Tabela 3. As três sub-bacias com maiores áreas são SB13 ( $14.51 \text{ km}^2$ ), SB12 ( $9.37 \text{ km}^2$ ), e SB1 ( $8.42 \text{ km}^2$ ) que representam 56% da área total. Todas as sub-bacias apresentaram baixa susceptibilidade para enchentes segundo o coeficiente de forma ( $K_f$ ) com valores inferiores a 0.75 (Tabela 3).

As sub-bacias SB3, SB6 e SB11 apresentaram coeficientes de compacidade ( $K_c$ ) inferior a 1.5, sugerindo um formado mais circular e, portanto, mais susceptível a enchentes que as outras sub-bacias. Além disso, os índices de circularidade ( $I_c$ ) destas sub-bacias apresentaram valores superiores a 0.51 reforçando a hipótese de alta susceptibilidade a enchentes sugerido pelo coeficiente de compacidade ( $K_c$ ).



Av. Plácido Aderaldo Castelo



Av. Leão Sampaio



Rua Padre Manoel Germano



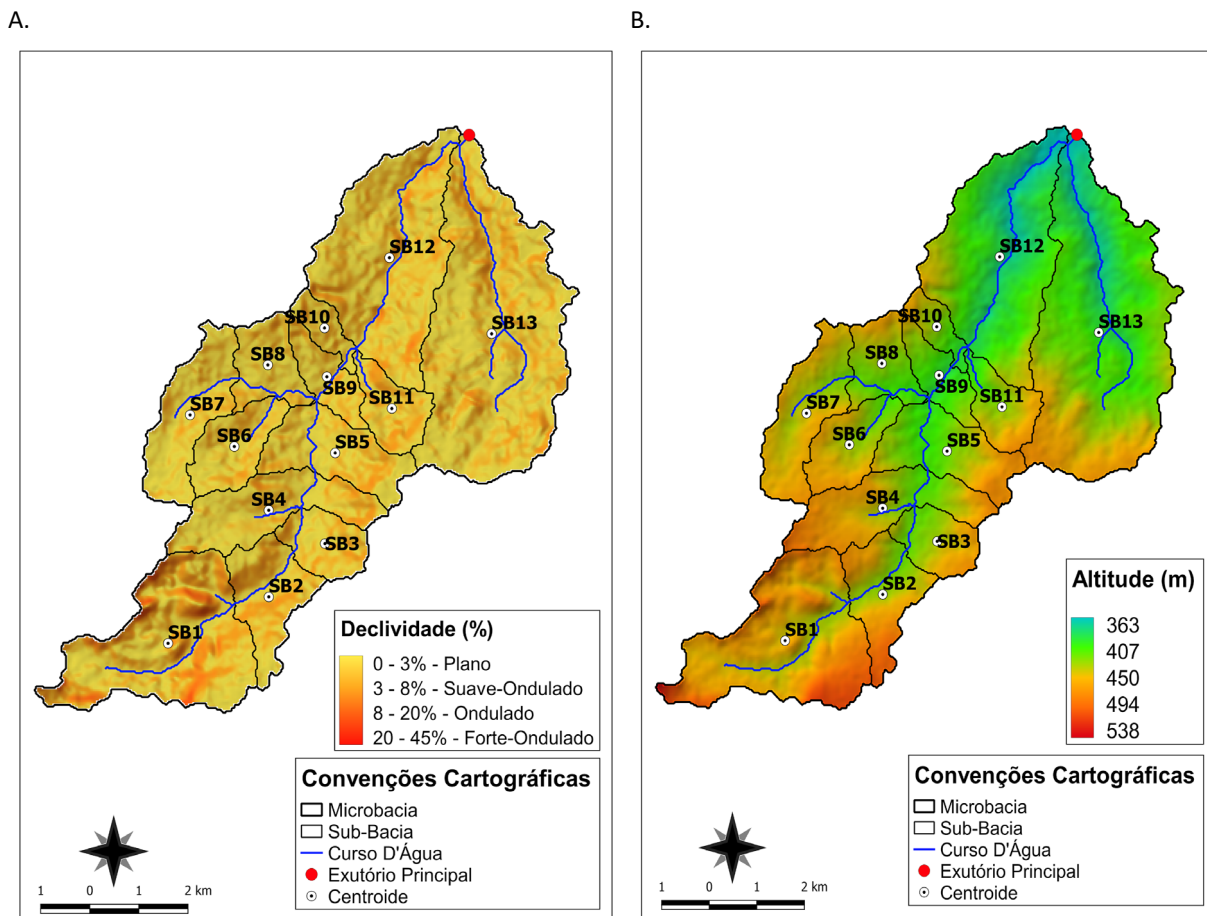
Fotos: <http://blogs.diariodonordeste.com.br>

**Figura 4.** Delimitação das bacias do Riacho dos Macacos e das Timbaúbas, área urbana de Juazeiro do Norte, Ceará, com indicação de sub-bacias, rede de drenagem principal e três locais de ocorrência de inundações frequentes (Fonte: autores).

Os tempos de concentração das sub-bacias SB6 ( $t_c=23$  min) e SB11 ( $t_c=19$  min) são os menores da área de estudo. As duas sub-bacias citadas possuem os rios com as maiores declividades, o que influenciou na redução dos tempos de concentração, demandando intervenções estruturais (ex. reservatórios de amortecimento da onda de cheia) e não-estruturais (ex. sistema de alerta de cheias) capaz de responder a intervalos curtos de tempo.

As sub-bacias com os maiores tempos de concentração foram SB12 ( $t_c=121$  min), SB13 ( $t_c=117$  min) e SB1 ( $t_c=96$  min). Estes resultados foram influenciados pelo comprimento longo do rio (4 km a 7 km) e baixas declividades (0.4% a 0.7%) que caracterizaram estes trechos como plano.

Na SB12 está localizado o Parque Natural Municipal das Timbaúbas que é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral com 0.23 km<sup>2</sup> e foi criado pelo Decreto municipal nº 352 de 23 de outubro de 2017. A área possui vegetação e várzeas ao longo da calha do Riacho dos Macacos o que contribui no amortecimento da onda de cheia.



**Figura 5.** Mapas de declividades (A) e hipsométrico (B) da bacia Racho dos Macacos e das Timbaúbas (Fonte: autores).

Como identificado através dos coeficientes Kf, Kc e Ic, a maioria das sub-bacias tem formas alongadas. O relevo é pouco acidentado e a declividade média é de 1.24% apontando para um relevo plano e pequenas variações entre o relevo suave-ondulado. Na SB1, principalmente, existem pequenas áreas com características de relevo ondulado e forte-ondulado. De acordo com o mapa hipsométrico (Figura 5B) a bacia tem variação altimétrica de 175m, com altitude de 538m, na sub-bacia SB1, e 363m no exutório em SB13.

**Tabela 3.** Caracterização física e tempo de concentração das sub-bacias hidrográficas da área de estudo.

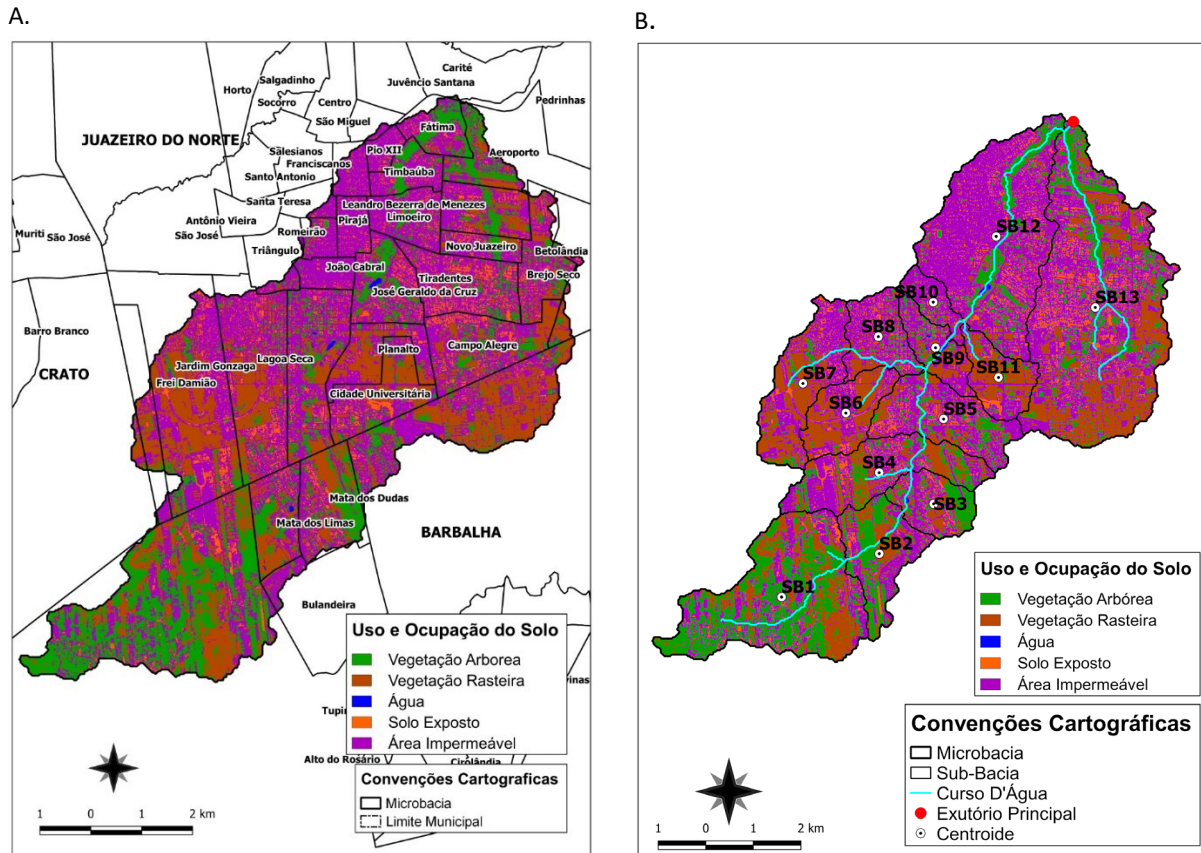
Bacia	A (Km <sup>2</sup> )	P (Km)	Coeficiente			Rio		t <sub>c</sub> (min)
			Kf	Ic	Kc	Declividade (%)	Comprimento (m)	
SB1	8.42	15.59	0.35	0.44	1.52	0.416%	4017.75	96
SB2	3.00	9.73	0.31	0.40	1.58	0.587%	1704.70	44
SB3	1.90	6.04	0.46	0.66	1.23	0.297%	1010.47	38
SB4	4.02	12.39	0.19	0.33	1.74	0.563%	888.84	27
SB5	3.42	9.94	0.31	0.44	1.51	0.296%	1690.91	56
SB6	2.34	7.38	0.33	0.54	1.36	1.365%	1131.18	23
SB7	3.73	11.20	0.27	0.37	1.64	0.895%	1675.57	37
SB8	2.13	7.79	0.46	0.44	1.51	0.799%	1877.94	42
SB9	1.58	7.52	0.20	0.35	1.69	0.589%	951.31	28
SB10	0.96	5.47	0.26	0.41	1.57	0.177%	574.58	30
SB11	1.88	6.69	0.36	0.53	1.38	1.579%	950.20	19
SB12	9.37	16.19	0.34	0.45	1.49	0.447%	5598.65	121
SB13	14.51	21.56	0.30	0.39	1.60	0.682%	6598.42	117

#### Tipos de solos, uso e ocupação da bacia hidrográfica

Através de técnicas de classificação supervisionada a partir da assinatura espectral dos alvos imageados e utilizando um ambiente SIG, foi possível caracterizar o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica (Figura 6A e 6B).

A Figura 6A e 6B mostram que as bacias hidrográficas são caracterizadas por atividades antrópicas intensas. A área impermeável predomina (Figura 7) e ocupa 26.51 km<sup>2</sup>, correspondendo a 46.3% da área total. A “vegetação rasteira” ocupa 14.71 km<sup>2</sup> (25.68%), “vegetação arbórea” ocupa 11.60 km<sup>2</sup>, (20.25%), “solo exposto” apresentou 4.39 km<sup>2</sup> de área (7.68%) e a água superficial representa o menor percentual de área da bacia com ocupação de 0.07 km<sup>2</sup> (0.12%).

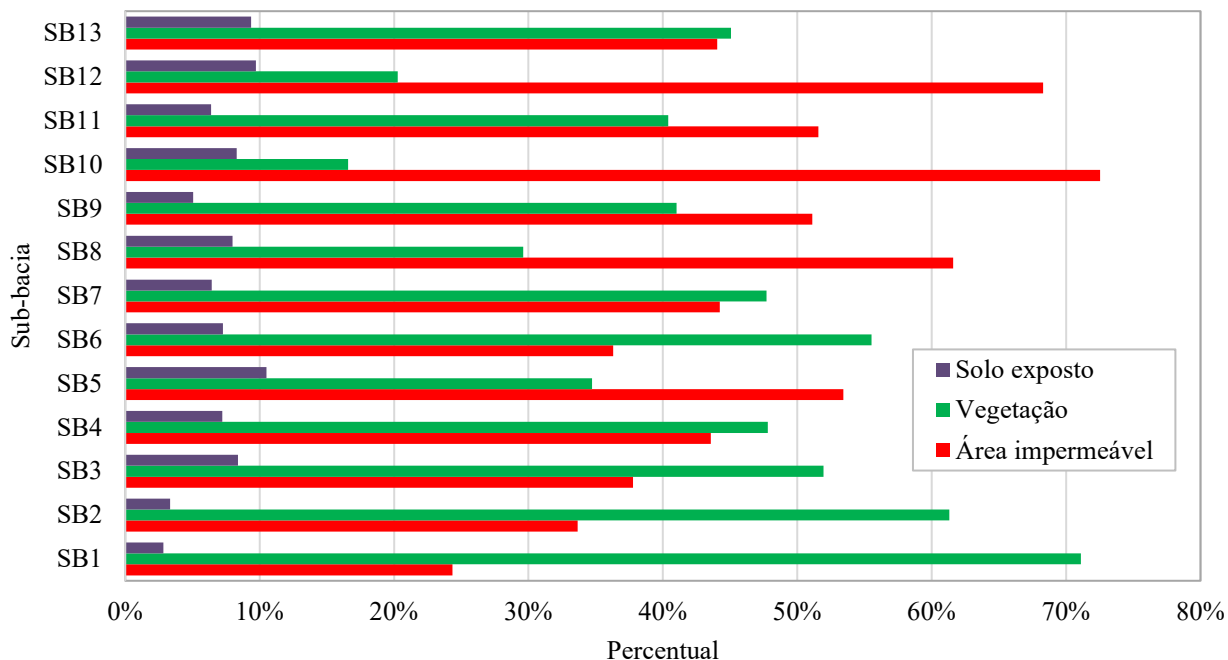
A Figura 7 apresenta os percentuais de solo exposto, vegetação (arbórea + rasteira) e área impermeável por sub-bacias. As sub-bacias SB1 e SB2 apresentaram os maiores percentuais de vegetação, com 71.1% e 61.3% respectivamente. Por outro lado, as sub-bacias SB10 e SB12 apresentaram os maiores percentuais de áreas impermeáveis, com 72.5% e 68.3% respectivamente. As áreas mais impermeabilizadas incluem os bairros; João Cabral, Romeirão, Santa Tereza, Pirajá, Franciscanos, Limoeiro e Pio XII. O percentual máximo de solo exposto foi de 10.5% e ocorreu na sub-bacia SB5.



**Figura 6.** Mapa de uso e ocupação do solo da bacia Riacho dos Macacos e das Timbaúbas com sobreposição dos bairros (A) e sub-bacias (B). (Fonte: autores com dados do IPECE e do satélite Sentinel 2 para o ano de 2019).

A caracterização do uso e ocupação e os tipos de solos serviram de base para a estimativa do valor do CN de cada sub-bacia (Tabela 4). Os tipos de solos encontrados na bacia foram os solos “B” (Argissolo + Latossolo) e “C” (Neossolo) classificados no método do NRCS segundo Sartori *et al.* (2005). O solo B corresponde a aproximadamente 87% da área total com 49,6 km<sup>2</sup> (Tabela 4).

O valor médio do CN das bacias do Riacho dos Macacos e das Timbaúbas foi de 79 (Tabela 4). O CN mínimo foi 70 para SB1, que apresentou a maior área vegetada (71.1%) e menor superfície impermeabilizada (24.3%). Por outro lado, SB10 apresentou CN de 90, que é o valor máximo para área de estudo e está associado a intensa urbanização, revelado no alto percentual de área impermeável (72.5%) e menor área vegetada (16.6%). Valores elevados do CN estão associados a solos com baixa taxa de infiltração ou pouco permeável.



**Figura 7.** Percentual de solo exposto, vegetação (arbórea + rasteira) e área impermeável na bacia do Riacho dos Macacos e das Timbaúbas para o ano de 2019 (Fonte: autores).

**Tabela 4.** Valores das áreas impermeáveis e do CN por sub-bacia.

Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área impermeável (%)	Tipo de solo (km <sup>2</sup> )		CN
			Solo B	Solo C	
SB1	8.42	24.3	8.42	0.00	70
SB2	3.00	33.7	3.00	0.00	74
SB3	1.91	37.8	1.91	0.00	75
SB4	4.02	43.6	4.02	0.00	77
SB5	3.43	53.4	3.43	0.00	77
SB6	2.34	36.3	2.32	0.02	74
SB7	3.73	44.2	3.73	0.00	77
SB8	2.13	61.6	1.27	0.86	86
SB9	1.58	51.1	0.45	1.13	84
SB10	0.97	72.5	0.42	0.55	90
SB11	1.88	51.6	1.88	0.00	83
SB12	9.37	68.3	4.57	4.80	88
SB13	14.51	44.0	14.19	0.31	77
Total / Média	57.29	47.9	49.6	7.7	79

## Conclusão

A caracterização física identificou que a bacia do Riacho dos Macacos, composta pelas sub-bacias SB1 a SB12, possui área de 42.75 km<sup>2</sup> e a bacia do Riacho das Timbaúbas (SB13) possui área de 14.51 km<sup>2</sup>. As duas bacias hidrográficas se caracterizam por possuir baixa declividade (plano e suave-ondulado) o que favorece os eventos de alagamentos nas áreas urbanizada. O tipo de solo predominante em 87% da área estudada é classificado como solo “B” do método do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) e que apresenta taxa de infiltração moderada.

O intenso processo de urbanização na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará, foi evidenciado através dos altos percentuais de impermeabilização do solo que alcançou 72.5%, para o ano de 2019, na sub-bacia SB10, 68.3% na sub-bacia SB12 e 61.6% na sub-bacia SB8. Os bairros mais afetados pela impermeabilização do solo são: João Cabral, Romeirão, Santa Tereza, Pirajá, Franciscanos, Limoeiro e Pio XII. Por outro lado, as sub-bacias com as maiores áreas de vegetação são; SB1 (71.1%), SB2 (61.3%) e SB6 (55.5%). A alta impermeabilização do solo na área de estudo foi representado no valor elevado do Número da Curva (CN) do método do NRCS em algumas sub-bacias. O valor do CN variou de 70, em SB1 que é a sub-bacia menos urbanizada, a 90 em SB10 que se encontra densamente urbanizada.

Os resultados também mostraram que as sub-bacias SB3, SB6 e SB11 apresentam maior susceptibilidade as enchentes, segundo o coeficiente de compacidade e o índice de circularidade. Além disso, duas das sub-bacias citadas (SB6 e SB11) apresentaram os menores tempos de concentração exigindo intervenções na drenagem urbana capaz de responder a pequenos intervalos de tempo. No exutório da sub-bacia SB6, que drena parte dos bairros Jardim Gonzaga e Frei Damião, apresenta frequentemente problemas de enchentes ao longo da Rua Padre Manoel Germano no bairro Lagoa Seca, corroborando com a susceptibilidade as cheias sinalizadas pelos indicadores físicos.

A sub-bacia SB9 reúne as vazões proveniente de 30.5 km<sup>2</sup> de área a montante e apresenta problemas frequentes de alagamentos no cruzamento da Av. Plácido Aderaldo Castelo necessitando de intervenções capaz de reduzir as vazões, principalmente nas sub-bacias a montante.

O estudo apresenta informações importantes para estimativa das vazões máximas por sub-bacia e conseqüentemente para a tomada de decisão sobre as melhores intervenções estruturais e não estruturais na drenagem da cidade de Juazeiro do Norte, Ceará. Para indicação das intervenções na bacia que possibilite solucionar os problemas recorrentes de cheias, são necessários estudos adicionais, com a geração dos hidrogramas de vazões máximas para diferentes períodos de retornos e avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos das intervenções. Os resultados reforçam a necessidade de planejamento do espaço urbano com preservação do curso natural dos rios e de áreas permeáveis para infiltração de água no solo.

## Agradecimentos

*Agradecemos ao Laboratório Integrado de Recursos Hídricos e Construções Sustentáveis (LIRC) do Departamento de Construção Civil da Universidade Regional do Cariri pela infraestrutura fornecida.*

## Referências bibliográficas

- ANA, Agência Nacional de Água (2021) *Catálogo de Metadados da ANA*. Acesso em 25 fevereiro de 2021, Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>
- Araujo, M. M. F., Dall'Agnol, A. L. B., Leandro, D., Castro, A. S., Quadro, M. S., Lima, G. F. (2019) Caracterização hidrológica e suscetibilidade de risco à inundação nas bacias do município de Arroio do Padre/RS. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, **10**(01), 283–296. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0024>
- Brown, R. R., Keath, N., Wong, T. H. F. (2009) Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science and Technology*, **59**(05), 847–855.
- Bruno, L. O. (2017) Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, **4**(8), 321-326. <https://dpi.org/10.21438/rbgas.040807>
- Christofidis, D., Assumpção, R. Dos S. F. V., Kligerman, D. C. A (2020) evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em Debate*, **43**, 94–108. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s307>
- De-Carvalho, H. R. L., Henry-Silva, G. H. G. Da S. (2020) Caracterização morfométrica das bacias de contribuição dos reservatórios umari e mendubim, semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista De Geografia*, **37**(03), 221–238. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.246125>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Brasil. *Serviço de Produção de Informação*, 412p.
- ESA, European Space Agency (2021) *Sentinel Data Access Overview - Sentinel Online - Sentinel*. Acesso em: 26 mar. 2021. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/sentinel-data-access>.
- Fernandes, R. De O., Costa, C. T. F. Da, Studart, T. M. De C. (2017) Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana. *Águas Subterrâneas*, **31**(03), 243–254. <https://doi.org/10.14295/ras.v31i3.28812>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Hunt, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M. (2015) SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, **12**(07), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Guan, M., Sillanpää, N., Koivusalo, H. (2015) Modelling and assessment of hydrological changes in a developing urban catchment. *Hydrological Processes*, **29**(13), 2880–2894. <https://doi.org/10.1002/hyp.10410>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) *Panorama de Juazeiro do Norte*. Acesso em: 26 mar. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2008) *TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil*. Acesso em: 26 mar. 2021. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>
- IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2018) *Ceará em Mapas Interativos*. Acesso em: 20 julho 2020, disponível em: [http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php?rodovias\\_pavimentadas](http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php?rodovias_pavimentadas)
- Jenson, S. K., Domingue, J. O. (1998) Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54**(11): 1593-1600.



- NRCS, Natural Resources Conservation Service (2009) Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. *National Engineering Handbook: Part 630, Hydrology*. 2009. Acesso em: 26 de janeiro de 2021, Disponível em: <http://directives.sc.egov.usda.gov>
- O'Callaghan, J. F., Mark, D. M. (1984) The Extraction of Drainage Networks From Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, **28**(3): 328-344. [http://dx.doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0)
- PMJN, Prefeitura Municipal de Juazeiro do Norte (2015). *DECRETO Nº 219, Dispõe sobre a aprovação do Plano Municipal de Saneamento Básico e aprova o Planejamento da Gestão do Plano Municipal de Saneamento Básico e institui Estrutura Administrativa para Execução do Plano Municipal de Saneamento Básico*. Acesso em: 20 dezembro. 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/kwDN7>
- Sartori, A., Hawkins, R. H., Genovez, A. M. (2011) Reference Curve Numbers and Behavior for Sugarcane on Highly Weathered Tropical Soils. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **137**, 705-711. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000354](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000354)
- Sartori, A., Neto, F. L., Genovez, A. M. (2005) Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **10**(04), 05-18. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>
- Setzer, J., Porto, R. L. (1979) Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. *Boletim Técnico DAAE*, **2**(02), 81-104.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020) *Diagnósticos*. Acesso em: 26 mar. 2021. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>
- Tucci, C., E., M., *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Acesso em: 21 julho. 2020, 4ª ed. - Oficina de Texto. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=4&LIVRO=102>
- Valeriano, M. M. (2003) Mapeamento de declividade em microbacias com Sistemas de Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **7**(02): 303-310. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200020>
- Wong, T. H. F., Brown, R. R. (2009) The water sensitive city: principles for practice. *Water Science and Technology*, **60**(03), 673–682. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>