

ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO LESTE DA AMAZÔNIA

DANILO ATHUS FONSECA FRANÇA, VANESSA CONCEIÇÃO DOS SANTOS,
CARLOS EDUARDO AGUIAR DE SOUZA COSTA

Universidade Federal do Pará - UFPA
<danilo_athus@hotmail.com>, <vanessacs@ufpa.br>, <eduardoaguiarsc@hotmail.com>
10.21439/conexoes.v16i0.2227

Resumo. No estudo de enxurradas e/ou enchentes, falhas na estimativa dos volumes gerados podem acarretar grandes prejuízos, e a ausência de dados para realizar estas análises em pequenas bacias hidrográficas é um problema em todo o Brasil, principalmente na região Norte. Dessa forma, métodos de modelagem dessas variáveis se tornam de fundamental importância para a mitigação dos impactos causados pela relação sociedade e meio ambiente. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo a mensuração do escoamento superficial nas bacias dos igarapés Santos e Santana, que se localizam lado a lado e englobam o município de Tucuruí (PA), pelo método SCS (Soil Conservation Service). O método leva em consideração a tipologia do solo e a sua interação com o uso e ocupação do solo em função das precipitações, principalmente as mais intensas, e características da região amazônica, permitindo assim o cálculo das precipitações excedentes e a confecção dos hietogramas e hidrogramas, possibilitando a análise do comportamento dessas vazões nas respectivas bacias.

Palavras-chaves: Bacias hidrográficas, Método SCS, Hietogramas, Hidrogramas.

ANALYSIS OF SURFACE FLOW IN SMALL WATER BASINS IN EASTERN AMAZON

Abstract. In the study of floods and/or floods, failures in the estimation of the generated volumes can cause great losses, and the lack of data to carry out these analyzes in small hydrographic basins is a problem throughout Brazil, especially in the North region. Thus, methods for modeling these variables become of fundamental importance to mitigate the impacts caused by the relationship between society and the environment. Therefore, this study aimed to measure the runoff in the Santos and Santana igarapés basins, which are located side by side and encompass the municipality of Tucuruí (PA), using the SCS (Soil Conservation Service). The method considers the soil typology and its interaction with the use and occupation of the soil depending on the rainfall, especially the most intense, and characteristics of the Amazon region, thus allowing the calculation of surplus rainfall and the preparation of the hietograms and hydrographs, making it possible to analyze the behavior of these flows in the respective basins.

Keywords: Watersheds, SCS method, Hietograms, Hydrograms.

1 INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são consideradas sistemas, pois têm uma área de captação natural de precipitação que converge o escoamento para um único ponto de saída, o exutório (DORIGUEL; CAMPOS; JUNIOR, 2015). O conhecimento das características de uma bacia hidrográfica é fundamental para a conservação de

seus recursos naturais e norteador para a aplicação de técnicas que favoreçam o desenvolvimento sustentável. Para determinar este conhecimento é muito importante o monitoramento de variáveis físicas do ciclo hidrológico, como a infiltração, escoamento superficial, cotas e vazões (PEREIRA et al., 2016).

Os problemas gerados pelas precipitações intensas vêm causando cada vez mais transtornos para a socie-

dade, tais como as inundações, provocando questionamentos sobre o uso adequado dos recursos hídricos (HUANG et al., 2020). O desenvolvimento de análises hidrológicas consistentes de eventos extremos, como inundações, é a chave para uma melhor avaliação dos riscos hidrológicos futuros e para compreender os efeitos da variabilidade climática. Correa et al. (2017) relatam que o aumento de enchentes e secas na Amazônia nos últimos anos, indicam a necessidade de ferramentas para melhor analisar os dados hidrológicos e, também, aumentar a quantidade de dados disponíveis em regiões ainda não estudadas.

A retirada da cobertura vegetal, que diminui a velocidade da água que chega ao solo, e também a sua impermeabilização, contribuem diretamente para a diminuição da taxa de infiltração, aumento do escoamento superficial, inundações e diminuição da recarga do lençol freático (FREITAS et al., 2013). Segundo (VIOLA et al., 2012), o detalhamento das características físicas de uma bacia hidrográfica pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aperfeiçoaram a modelagem dos sistemas hidrológicos. Dessa forma, os modelos de base conceitual e distribuída são importantes ferramentas de análise ambiental, possibilitando a análise e previsão de vazões, avaliação de cenários climáticos, uso do solo e estudos sobre a disponibilidade hídrica.

A quantificação do escoamento superficial é uma tarefa complexa e dependente de vários fatores (Urbanização, Topografia, Tipos de solo etc.), os quais são agregados a parâmetros ou variáveis em modelos de chuva-vazão. Um modelo simples e muito aplicado no dia a dia da engenharia e com razoável quantidade de informações disponíveis é o do Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), que atualmente chama-se Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS). Esse método, inicialmente desenvolvido para uso em áreas agrícolas, tem sido objeto de estudo, desenvolvimento e aplicação também em áreas urbanas. Com ele é possível: a) estimar a partir de informações do tipo, uso e umidade antecedente do solo, o número da curva de escoamento superficial (CN) e com este a parcela da precipitação que resultará em escoamento superficial, ou Chuva excedente; b) conhecida à Chuva excedente, estimar a distribuição e o volume do escoamento superficial de uma determinada área de drenagem, baseando-se no hidrograma unitário adimensional (SARTORI; NETO; GENOVEZ, 2005).

Os Igarapés Santos e Santana são vizinhos, e cruzam o território urbano do município de Tucuruí (PA), localizado no leste da Amazônia. A cidade se encontra

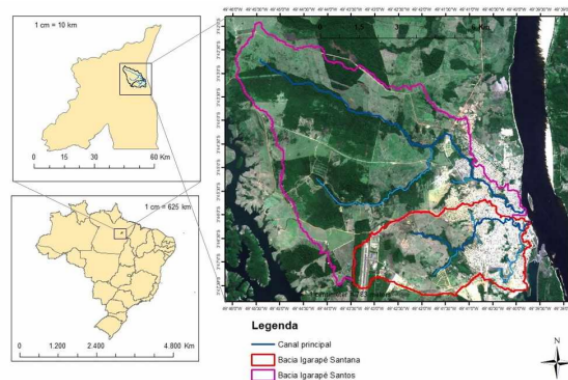
às margens do rio Tocantins, ou seja, qualquer alteração na área das bacias tem influência direta no escoamento superficial e nas possíveis inundações na cidade. Sendo assim, objetivou-se pesquisa a mensuração da precipitação excedente ou escoamento superficial nas bacias hidrográficas dos Igarapés pelo método SCS e a confecção dos hietogramas e hidrogramas das bacias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na mesorregião Sudeste do estado do Pará, e está inserida no município de Tucuruí. As bacias hidrográficas dos Igarapés Santos e Santana estão localizadas entre os paralelos 3° 46' 06.25" Sul e 3° 46' 05.86" Sul e meridianos 49° 45' 00.17" Oeste e 49° 39' 32.28" Oeste, respectivamente. Na Figura 1 é possível observar o mapa de localização da área.

Figura 1: Imagem da localização das bacias hidrográficas dos Igarapés Santana e Santos.



A vegetação predominante no município de Tucuruí é a Tropical Úmida. O clima segundo a classificação de Köppen-Geiger se enquadra no tipo Am, com temperaturas que variam de 22 °C a 32 °C (RIBEIRO et al., 2014). A umidade relativa é elevada e apresenta oscilações entre a estação mais chuvosa e a mais seca, de 100 a 52%, respectivamente, sendo a média real de 78% (IBGE, 2015).

2.2 Metodologia

A delimitação das bacias hidrográficas e dos Igarapés foi realizada através do software de georreferenciamento em ambiente SIG (Sistema de informações geográficas). Para a delimitação da bacia em estudo, foi utilizada uma cena compatível com escala 1:250.000 disponibilizada pela “Embrapa Monitoramento por Sa-

télite”, projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), carta de articulação SA-22-Z-C.

Para uma melhor visualização da área de estudo os vetores foram sobrepostos em imagem atual, sentinel, órbita 224 e ponto 63, disponibilizada pela SEMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente) de Tucuruí. Após a realização dos processos, foi possível encontrar os parâmetros das bacias em estudo, entre eles a área, comprimento dos canais, e tempo de concentração foram utilizados para mensurar o escoamento superficial nas áreas de estudo.

2.3 Método SCS

O hidrograma de escoamento superficial foi confeccionado a partir de um hidrograma unitário (HU), que foi definido após uma extensiva análise em várias pequenas bacias hidrográficas em diversas partes dos Estados Unidos, dessa forma foi definido um hidrograma para 1 mm de chuva excedente, que melhor representa as diversas situações.

A chuva excedente é determinada pela Equação 1:

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{(P + 0,8 \times S)} \quad (1)$$

Onde: P_{ef} = Precipitação excedente (mm); P = Precipitação (mm), para $P > 0,2 \times S$; S = Potencial máximo de retenção do solo (mm).

O termo $0,2 \times S$ é a abstração inicial, ou seja, as perdas iniciais por interceptação, infiltração e retenção superficial. O parâmetro S é estimado em função do CN, como mostra a seguinte Equação 2:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

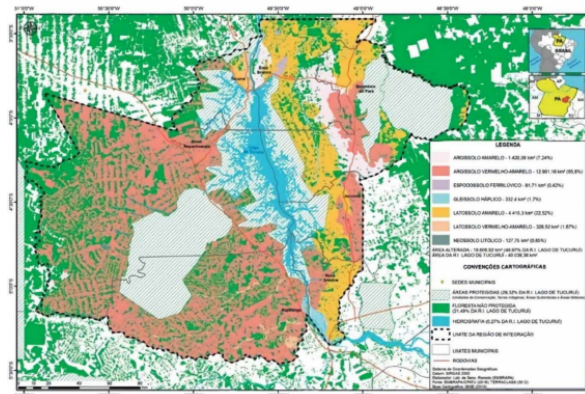
O modelo do SCS considera três condições de umidade antecedente (AMC) do solo para estimativa do CN:

- AMC I: Condição em que os solos de uma bacia estão secos, mas não o suficiente para o ponto de murchamento das plantas;
- AMC II: Condição em que os solos se encontram na “umidade ideal”, isto é, nas condições que precederam uma enchente máxima anual;
- AMC III: Condição em que os solos de uma bacia se encontram quase saturados, quando da ocorrência de chuvas fortes ou fracas durante cinco dias anteriores a uma determinada chuva.

Os valores padronizados de CN, utilizados nessa pesquisa, são apresentados na AMC II, que relaciona

o tipo de solo com uso do mesmo em categorias: A, B, C, D. Onde A é o tipo de solo mais permeável e D é o mais impermeável. Na Figura 2 é possível observar as tipologias de solo na região.

Figura 2: Tipos de solos na região de integração do lago de Tucuruí/PA.



Analisando a Figura 2, foi observado que os tipos de solo que compõem a área em estudo são: Latossolo amarelo e Latossolo vermelho e amarelo. Esses tipos de solo se enquadram na categoria A. Dessa forma, com esses dados e com a análise do uso e ocupação do solo, é possível determinar o CN através de uma média ponderada, que relaciona o CN correspondente para cada tipo de ocupação de solo com a sua área de influência.

O hidrograma unitário triangular (HU) é foi determinado pelas Equações (3-8) a seguir:

$$Tp = 0,6 + Tc + 0,5 \times D \quad (3)$$

$$Ta = Tp + 0,5 \times D \quad (4)$$

$$Tr = 1,67 \times Ta \quad (5)$$

$$Tb = 2,67 \times Ta \quad (6)$$

$$D = 0,25 \times Ta \quad (7)$$

$$Q = \frac{2,08 \times A}{Tp} \quad (8)$$

Para encontrar o Tempo de pico (3), que é o tempo em que ocorre a vazão máxima, soma-se metade do tempo da precipitação com 0,6 do tempo de concentração da bacia. Com esses índices determinados é possível encontrar os valores de tempo de ascensão (4), tempo de recessão (5) e o tempo de base (6). A vazão unitária

é dada pela equação (8), e relaciona a área da bacia hidrográfica com o tempo de pico. A duração da chuva é definida na equação (7), porém no caso de precipitações superiores a esse valor é necessário dividir a mesma em blocos de chuva que se enquadrem no índice.

2.4 Intensidade dos blocos de chuva

Para encontrar a intensidade da chuva na Área em estudo foi utilizada a Equação (9) de chuvas intensas de Tucuruí, segundo Souza et al. (2012).

$$i = \frac{(1264,67 \times T^{0,1012})}{(t + 9,7852)^{0,7242}} \quad (9)$$

Sendo i , a intensidade de chuva (mm.h-1); T , o tempo de retorno (anos); t , a duração (min).

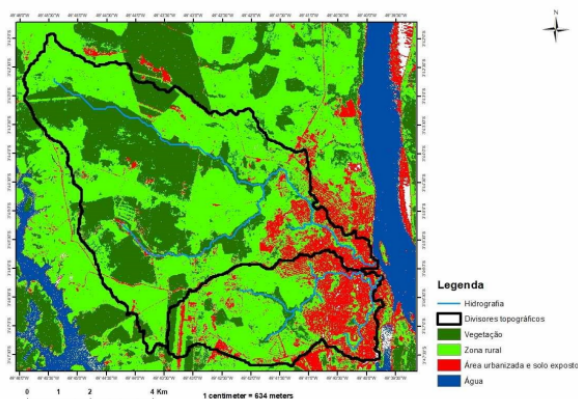
As intensidades das precipitações foram calculadas para o tempo de retorno 50 anos, que é recomendado para projetos de macrodrenagem. O hidrograma de projeto foi confeccionado para uma chuva de 2 horas, que foi dividida em blocos de 15 minutos. Como o HU é feito para 1 mm de chuva, para se encontrar a vazão de projeto os valores foram definidos em proporção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Uso e ocupação do solo

Estudos em escala de bacias hidrográficas de uso e ocupação do solo, vem se tornando cada vez mais importantes, principalmente quanto ao uso e ocupação do solo. Na Figura 3 observa-se o uso e ocupação dos solos nas bacias dos Igarapés Santana e Santos.

Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas dos Igarapés Santos e Santana.



O Igarapé Santos faz parte de uma bacia rural, ou seja, cerca de 89% de sua área é ocupada para as atividades do campo e somente 11% corresponde ao núcleo

urbano, que são as áreas próximas ao exultório. A bacia hidrográfica do Igarapé Santana tem em sua maioria espaços antropizados, a área urbana corresponde a 53% e está crescendo de forma dispersa com o surgimento de condomínios fechados e conjuntos habitacionais (TOLEDO et al., 2021; LIBERATO; ALMEIDA; SILVA, 2019).

Esse crescimento da urbanização nas proximidades do leito natural do córrego é preocupante pois, com certeza, irão sofrer forte influência dos regimes de enchentes do corpo hídrico. De acordo com Bernardo e Espindula (2020), áreas urbanas semelhantes a estas tendem a ter uma urbanização que deixa de ser gradativa e passa a se intensificar, e isso chama a atenção para a implementação de projetos que aproximem a população e realize a sua conscientização. A exemplo, o investimento em saneamento ambiental com redes de drenagem urbana, ou mesmo educação ambiental voltada principalmente para a gestão dos resíduos sólidos.

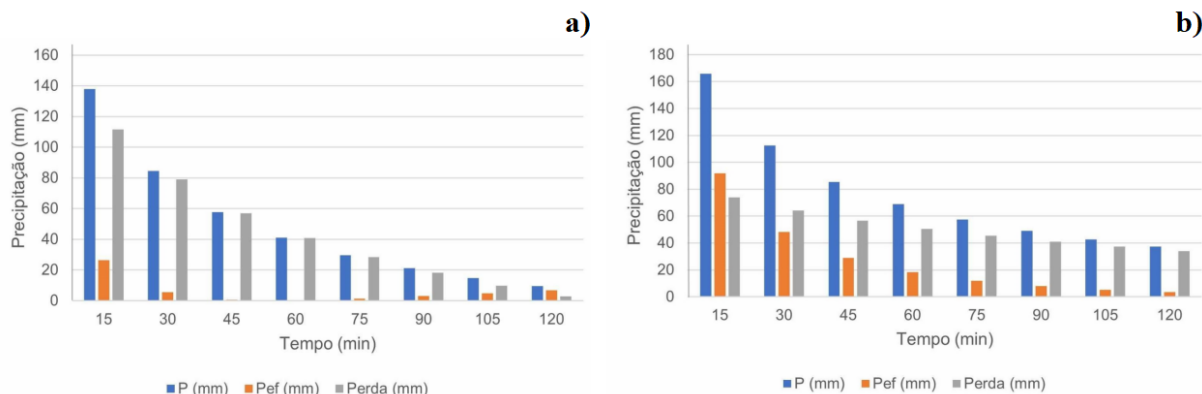
3.2 Hietograma de projeto

A seguir na Figura 4 são representados os Hietogramas das bacias dos Igarapés Santos e Santana. Ao analisarmos os hietogramas pode-se observar as precipitações que chegam ao solo, quanto dessa precipitação vira escoamento superficial e quanto infiltra.

Pode-se notar que as maiores precipitações ocorrem nos primeiros minutos, isso acontece devido a equação de chuvas intensas de Tucuruí, que leva em conta as chuvas convectivas que são comuns na região amazônica, e tem como características grande intensidade e curta duração de tempo (SOUZA et al., 2012). Fato este que coincide com o trabalho de Cruz et al. (2019) realizado em Altamira (PA), na qual encontraram chuvas intensas nos primeiros minutos, tanto para equações criadas no trabalho quanto para a de Souza et al. (2012).

A precipitação excedente na bacia do Igarapé Santos é mínima, isso devido a dois fatores: o solo ser bastante permeável e sua ocupação ser voltada para as atividades rurais, dessa forma a maior parte da precipitação infiltra, isso até a primeira hora, como nota-se no hietograma que o escoamento superficial aumenta e a infiltração diminui devido a saturação do solo.

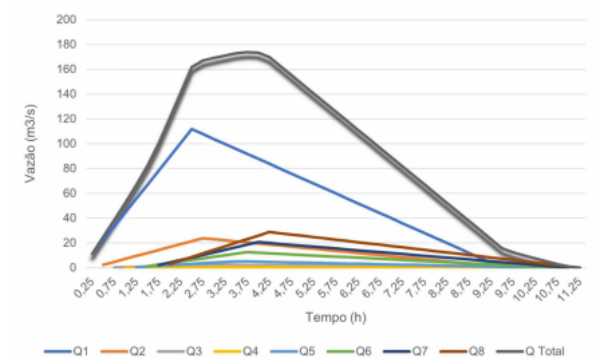
No caso da bacia do Igarapé Santana que é mais urbana, a precipitação que chega ao solo é maior devido ao fato da abstração inicial ser bem menor, consequentemente o escoamento superficial é muito maior (mesmo a bacia tendo solo predominantemente tipo A), o fato de já ter uma parte considerável impermeabilizada diminui drasticamente os volumes infiltrados. Se medidas não forem tomadas com urgência, logo mais a tendência desta área será ter alagamentos recorrentes.

Figura 4: Hietogramas: a) bacia do Igarapé Santos; b) bacia do Igarapé Santana.

tes, a exemplo do trabalho de Targa et al. (2012) no Igarapé Tucunduba em Belém (PA), que na época já possuía quase que 65% de solo impermeabilizado, causando uma série de transtornos não só na Bacia, mas em regiões vizinhas a ela.

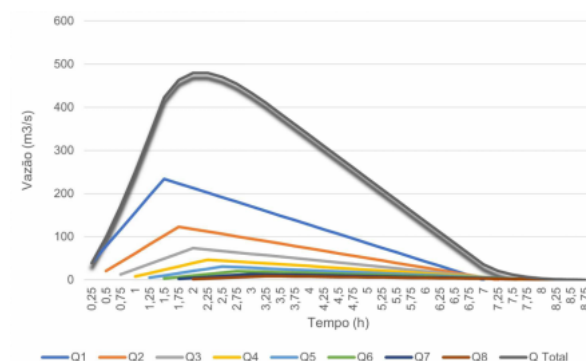
3.3 Hidrograma de projeto

O hidrograma de projeto foi obtido através da convolução de todos os eventos de chuva e seus respectivos hidrogramas triangulares, dessa forma gerando o hidrograma total curvilíneo de projeto para uma chuva de 2 horas. Os hidrogramas abaixo (Figuras 5 e 6) mostram as vazões geradas pelos blocos de precipitação, assim com os tempos de ascensão, de pico e de recessão até o fim do escoamento superficial.

Figura 5: Hidrograma da bacia do Igarapé Santos para chuva de 2 horas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do Igarapé Santana apresenta volumes de escoamento superficial muito superior à da bacia do Igarapé Santos, logo deve-se evitar a impermeabilização

Figura 6: Hidrograma da bacia do Igarapé Santana para chuva de 2 horas.

nas áreas à montante da bacia, evitando assim que as vazões fiquem ainda mais acentuadas e provoquem inundações em áreas com menores cotas.

Outro fator que deve ser levado em consideração é o descarte dos resíduos sólidos pela cidade, pois com menos abstração inicial nas áreas impermeabilizadas a chuva excedente, que só tende a aumentar, pode carregar esses resíduos sólidos para dentro dos corpos hídricos e poluindo assim os mesmos, trazendo diversos transtornos para a população e a diminuição da qualidade de vida.

Pode-se concluir que, o método SCS fornece dados valiosos de maneira prática e que servem de apoio a trabalhos de engenharia na região e estudos mais aprofundados para área, possibilitando que os gestores responsáveis possam adotar as melhores estratégias para beneficiar a população.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, J. L.; ESPINDULA, L. Rio e

- pertencimento em processos de urbanização: O caso de cachoeiro de itapemirim/es. **Pensar Acadêmico**, v. 18, n. 2, p. 246–267, 2020.
- CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. de; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. d. Caracterização geomorfológica e do uso do solo da bacia hidrográfica do alto meia ponte, goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 16, n. 4, p. 433–442, 2012.
- CALZAVARA, S. F.; FERNANDEZ, O. V. Q. Uso e ocupação do solo e número de curva (cn) na bacia hidrográfica do córrego matilde cuê, marechal cândido rondon (pr). **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, v. 7, n. 1, p. 185–209, 2015.
- CORREA, S. W.; PAIVA, R. C. D. de; ESPINOZA, J. C.; COLLISCHONN, W. Multi-decadal hydrological retrospective: Case study of amazon floods and droughts. **Journal of Hydrology**, Elsevier, v. 549, n. 1, p. 667–684, 2017.
- CRUZ, J. d. S.; ALVES, I. H. C.; ALVES, C. da S.; FIGUEIREDO, N. M. de; GOMES, E. P.; COSTA, C. E. A. de S. Equações de chuvas intensas com dados cpc morphing technique (cmorph) para o município de altamira-pa. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 192–207, 2019.
- DORIGUEL, F.; CAMPOS, S.; JUNIOR, O. D. Caracterização morfométrica da microbacia do córrego maria pires, santa maria da serra, estado de são paulo, brasil. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 30, n. 4, p. 372–377, 2015.
- FREITAS, J. P. O. d.; DIAS, H. C. T.; BARROSO, T. H. A.; POYARES, L. d. B. Q. Distribuição da água de chuva em mata atlântica. **Revista Ambiente & Água**, SciELO Brasil, v. 8, n. 1, p. 100–108, 2013.
- HUANG, Y.; TIAN, Z.; KE, Q.; LIU, J.; IRANNEZHAD, M.; FAN, D.; HOU, M.; SUN, L. Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, Wiley Online Library, v. 7, n. 3, p. e1421, 2020.
- LIBERATO, M. d. S.; ALMEIDA, L. P.; SILVA, G. d. M. Vetores de pressão decorrentes de impactos ambientais: O estudo de caso do alto curso do rio pirapora, maranguape-ce. **Cadernos de Ensino, Ciências & Tecnologia**, v. 1, n. 3, p. 306–317, 2019.
- PEREIRA, M. A. F.; CAMPO, G. F. N.; CASTRO, M. K.; CASTRO, N. M. d. R. Regionalização com geometria hidráulica e fractal: estudo de caso com hidrograma unitário instantâneo geomorfológico. **RBRH**, SciELO Brasil, v. 21, n. 1, p. 347–359, 2016.
- RIBEIRO, R. E. P.; ÁVILA, P. L. R.; BRITO, J. d.; SANTOS, E. d.; SOUSA, L. d. Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de tucuruí-pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 798–807, 2014.
- RODRIGUES, L. L.; BLANCO, C. J. C. Vazão de pico em uma bacia hidrográfica com diferentes níveis de urbanização em santarém/pa. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 62–75, 2018.
- SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. 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**, v. 10, n. 4, p. 05–18, 2005.
- SOUZA, R. O. d. M.; SCARAMUSSA, P. H.; AMARAL, M. A. do; NETO, J. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. Equações de chuvas intensas para o estado do pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 16, n. 1, p. 999–1005, 2012.
- TARGA, M. d. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. d. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do igarapé tucunduba, belém, pa, brasil. **Revista Ambiente & Água**, SciELO Brasil, v. 7, n. 2, p. 120–142, 2012.
- TOLEDO, L. M.; WALL, F. C. M.; SALOMÃO, A. L. de S. et al. Panorama do sistema lagunar de maricá-rj: Indicadores de saneamento vs. qualidade de água. **Revista Internacional de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 6–24, 2021.
- USDA, U. S. D. o. A. NRCS – Natural Resources Conservation Service. NEH: National Engineering Handbook. Part 630: hydrology. Washington, chap. 10. 2007.
- VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de; GIONGO, M.; BESKOW, S.; SANTOS, A. F. dos. Modelagem hidrológica em uma sub-bacia hidrográfica do baixo rio araguaia, to. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3, p. 38–47, 2012.