



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MARIA CAROLINA MESQUITA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DA DRENAGEM SUPERFICIAL DA MICROBACIA URBANA
DO RIACHO MARATOAN, MUNICÍPIO DE CRATEÚS, CEARÁ**

CRATEÚS

2022

MARIA CAROLINA MESQUITA DE SOUSA

AVALIAÇÃO DA DRENAGEM SUPERFICIAL DA MICROBACIA URBANA DO
RIACHO MARATOAN, MUNICÍPIO DE CRATEÚS, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita.

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S697a Sousa, Maria Carolina Mesquita de.
Avaliação da drenagem superficial da microbacia urbana do riacho Maratoan, município de Crateús, Ceará / Maria Carolina Mesquita de Sousa. – 2022.
54 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita.
1. Modelagem hidrológica-hidráulica. 2. SWMM. 3. Impermeabilização. 4. Inundações. I. Título.
CDD 628
-

MARIA CAROLINA MESQUITA DE SOUSA

AVALIAÇÃO DA DRENAGEM SUPERFICIAL DA MICROBACIA URBANA DO
RIACHO MARATOAN, MUNICÍPIO DE CRATEÚS, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovado em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^o. Dr. Alan Michell Barros Alexandre
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a. Dra. Raimunda Moreira da Franca
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a. Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais,

Maria Roseni e Antonio Evandro.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus do Universo, pelo dom da vida e por ter feito tantas e grandiosas movimentações em minha caminhada para que eu esteja hoje, pela Universidade Federal do Ceará, obtendo título de engenheira ambiental e sanitária, e realizando um sonho de infância.

Aos meus pais, Maria Roseni e Antonio Evandro, assim como aos meus irmãos, Ana Luísa e Caique, pelo cuidado, amor, suporte e motivação, em especial durante esta minha primeira experiência acadêmica. Agradeço por serem casa, apoio, conselho, alegria e celebração.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita, por aceitar meu convite de orientação de Trabalho de Conclusão de Curso, e me conduzir de maneira leve e graciosa para a execução deste projeto. Agradeço por todo compartilhamento de conhecimentos ao longo de minha experiência acadêmica, pela confiança, por todo incentivo. Você é inspiração e excelência.

Aos meus professores, em especial àqueles das áreas de hidrologia, hidráulica e gestão recursos hídricos, Prof.^o Dr. Alan Michell Barros Alexandre, Prof.^a Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita, Prof.^a Dra. Larissa Granjeiro Lucena, e Prof.^a Dra. Raimunda Moreira da Franca, por suas expertises em suas áreas, que me encantam e me motivam.

A Prof.^a Dra. Luana Viana Costa e Silva pela atual, excelente e humana coordenação do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, que além de formar profissionais técnicos, forma também benevolência, justiça e polidez por meio de nossas atuações na sociedade.

Aos meus amigos e colegas de graduação, que me apoiaram e vibraram comigo esta etapa, em especial aos companheiros Emanuel Andrade, Marcos Bandeira, José Mota e Zilda Chaves por se tornarem família e por tantos momentos compartilhados, vocês fizeram com que tudo ficasse mais leve.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Campus de Crateús, por ter sido a minha segunda casa e me proporcionar experiências tão marcantes e formadoras através de diversas vivências, além do contato com excelentes professores, servidores e colaboradores em geral que, em conjunto, formam não só profissionais, mas também seres humanos.

RESUMO

O planejamento da drenagem urbana de águas superficiais do município de Crateús tem apresentado falhas frequentes em seus sistemas drenantes, marcados por ocorrências de inundações. Este estudo teve como objetivo analisar o sistema de drenagem urbana de águas superficiais e identificar pontos críticos de inundações em uma microbacia urbana na localidade de Maratoan, bairro da cidade de Crateús, Ceará. O *software Storm Water Management Model* (SWMM) foi utilizado para simulação hidrológica-hidráulica da microbacia, sendo necessários como dados de entrada as precipitações, área e largura das sub-bacias, declividade, valores de impermeabilização, coeficiente de rugosidade pelo número de Manning (n) e o número de curva (CN). Três cenários foram simulados para a compreensão das características hidrológico-hidráulicas da microbacia e para auxiliar na previsão de impactos ocasionados por fortes chuvas. O primeiro cenário de impermeabilização foi para condições atuais da microbacia; e os outros dois, para o aumento em 20% e 40% de cobertura impermeável. Foram utilizadas a série histórica de 30 anos de precipitação da região assim como chuvas máximas de 100,1 mm, 139,8 mm e 164,9 mm para os tempos de retorno (TR's) de 05, 20 e 50 anos, respectivamente. As simulações ilustraram nove resultados que explanaram a dinâmica das chuvas máximas com o aumento da impermeabilização com vazões afluentes que chegam a até $1898,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Representações criadas mostraram sobrecarga nos segmentos do riacho que adentram a área urbana, com áreas de extravasamento que justificam a ocorrência de inundações. Existiu uma pequena diferença entre as vazões de pico quando aplicadas aos mesmos cenários, indicando que a microbacia já está saturada e em estado crítico. As afluências crescem linearmente para cada análise, tanto pela diminuição das camadas permeáveis quanto pelo aumento das precipitações, assim como também pelo amortecimento das vazões devido a rede de reservatórios presentes na microbacia, que atua no controle de cheias a montante. O território Maratoan na cidade de Crateús, Ceará, apresenta pontos de estresse em seus sistemas de drenagem de águas superficiais urbanas, de modo que se constatarem desde primeiro momento áreas inundáveis na rede de drenagem superficial natural da região para as chuvas máximas simuladas.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica-hidráulica; SWMM, Impermeabilização, Inundações.

ABSTRACT

The planning of urban drainage of surface water in the municipality of Crateús has presented frequent failures in its drainage systems, marked by occurrences of floods. This study aimed to analyze the urban surface water drainage system and identify critical points of flooding in an urban watershed in the Locality of Maratoan, a neighborhood in the city of Crateús, Ceará. The Storm Water Management Model (SWMM) software was used for the hydrological-hydraulic simulation of the watershed, requiring as input data the rainfall, area and width of the sub-basins, slope, waterproofing values, roughness coefficient by the Manning number (n) and the curve number (CN). Three scenarios were simulated to understand the hydrological-hydraulic characteristics of the watershed and to help predict impacts caused by heavy rains. The first waterproofing scenario was for current watershed conditions; and the other two, for the increase in 20% and 40% of waterproof coverage. The historical series of 30 years of precipitation in the region were used, as well as maximum rainfall of 100.1 mm, 139.8 mm and 164.9 mm for the return times (TR's) of 05, 20 and 50 years, respectively. The simulations illustrated nine results that explained the dynamics of maximum rainfall with increasing waterproofing with inflows that reach up to $1898.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Representations created showed overload in the stream segments that enter the urban area, with overflow areas that justify the occurrence of floods. There was a small difference between the peak flows when applied to the same scenarios, indicating that the watershed is already saturated and in a critical state. The inflows grow linearly for each analysis, both due to the decrease in permeable layers and the increase in precipitation, as well as the dampening of flows due to the network of reservoirs present in the microbasin, which acts in the control of floods upstream. The Maratoan territory in the city of Crateús, Ceará, presents stress points in its urban surface water drainage systems, so that from the first moment there were floodable areas in the natural surface drainage network of the region for the maximum simulated rainfall.

Keywords: Hydrological-hydraulic modeling; SWMM, Waterproofing, Flooding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Localização de Crateús - Ce e da microbacia do riacho Maratoan.....	26
Figura 02 – Microbacia do riacho Maratoan em Crateús - CE.....	27
Figura 03 – Corte longitudinal do conduto natural irregular adotado.....	33
Figura 04 – MDE tratado para extração das amostras e classificação supervisionada do solo.....	36
Figura 05 – Mapa de declividade da área da bacia.....	38
Figura 06 – Rede de drenagem natural criada no SWMM para a microbacia do riacho Maratoan.....	39
Figura 07 – Representações para afluências totais, volumes e extravasamentos na rede natural de drenagem.....	40
Figura 08 – Perfil de elevação da água para os trechos do riacho com indícios de sobrecarga na rede natural de drenagem.....	42
Figura 09 – Perfil de elevação da água para as unidades de armazenamento da rede natural de drenagem para as sub-bacias 01 e 04 para o TR de 05 anos.....	43
Figura 10 – Perfil de elevação da água para as unidades de armazenamento da rede natural de drenagem para as sub-bacias 01 e 04 para o TR de 50 anos.....	43
Figura 11 – Representação dos índices de infiltração das sub-bacias e extravasamentos dos segmentos para TR05 e camadas de impermeabilizações dos cenários analisados.....	46
Figura 12 – Representação dos índices de infiltração das sub-bacias e extravasamentos dos segmentos para TR20 e camadas de impermeabilizações dos cenários analisados.....	47
Figura 13 – Representação dos índices de infiltração das sub-bacias e extravasamentos dos segmentos para TR50 e camadas de impermeabilizações dos cenários analisados.....	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 01 – Descrição dos cenários de impermeabilização que serão aplicados a cada chuva máxima referente aos períodos tempos de retorno (TR) de 05, 20 e 50 anos.....	34
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01– Afluências totais para os diferentes cenários de impermeabilização e chuvas máximas aplicados a Microbacia do riacho Maratoan.....	45
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3P	Planejamento, procedimento e preparo. Metodologia de Martins (2012)
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
CN	Curve Number
EPA	Environmental Protection Agency
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LID	Low Impact Development
MDE	Modelo Digital de Elevação
n	Coefficiente de rugosidade de Manning
SCS	Soil Conservation Service
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SNIRH	Sistema Nacional de Informação Sobre Recursos Hídricos
SWMM	Storm Water Management Model
TR	Tempo de Retorno
USDA	United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	Justificativa	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Os desafios da gestão de sistemas de drenagem de águas pluviais no Brasil	18
2.2	Problemas operacionais drenagem urbana	19
2.3	Modelagem hidrológica e hidráulica para sistemas de drenagem urbana...	21
2.3.1	<i>Sorm Water Management Model – SWMM</i>.....	22
3	METODOLOGIA	25
3.1	Local de estudo, população e amostra	25
3.2	Concepção da base computacional	27
3.3	Modelo aplicado	30
3.4	Análise de cenários	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Base computacional	35
4.2	Modelo Aplicado	38
4.3	Análise dos cenários	39
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O desenvolvimento urbano, direcionado a ser um conjunto de procedimentos necessários para as cidades, certamente é definido como um de seus principais focos da gestão municipal. Considerando que as áreas urbanizadas mais adensadas são em maioria as mais antigas em composição, legislação e operação, a universalização de um planejamento urbano municipal íntegro se torna um dos maiores obstáculos para alcançar êxito na realização destes procedimentos. Casos de inconsistências nas medidas de gestão, em especial nos de sistemas de saneamento básico, são impasses que oneram a melhoria da qualidade de vida da população, e o conseqüente aperfeiçoamento de um território antropizado (TUCCI, 2008, 2012; QUINTO JUNIOR, 2003; VILLANUEVA *et al.*, 2011).

O planejamento da drenagem urbana de águas pluviais do município de Crateús, no Ceará, tem apresentado faltas e falhas frequentes em seus sistemas drenantes, marcados por ocorrências de enchentes, inundações e alagamentos em seu perímetro e pontos de cotas mais baixas. Estes fenômenos que se manifestam no município de Crateús de forma mais recorrente desde 2004 contextualizam problemáticas sociais, ambientais e econômicas para a região (BRASIL, 2004; SEMA, 2017).

Assim, como existe o descontrole do crescimento urbano causado por essa ascendência em termos de ocupação e da atividade das cidades, a urbanização descontrolada e a crescente impermeabilização do solo, aliadas a falta de um planejamento específico para o setor, estão na maioria das vezes desvinculadas das ações dos demais setores relacionados (como abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e gerenciamento de resíduos sólidos, por exemplo), além da ausência políticas para execução obras, sempre com uma visão restrita do problema e poucos recursos disponíveis (TUCCI, 2008, 2012).

As ocorrências de inundações – assim como de enchentes e alagamentos – podem estar relacionadas a falta de previsão dos municípios para precipitações extremas e a sensação de falsa segurança pelos recorrentes períodos de seca sofridos pelos estados do Nordeste, e em específico, pelo estado do Ceará (CEDEPLAR e FIOCRUZ, 2008; SEMA, 2017). Além destes dois fatores, estes acontecimentos se intensificam nos centros urbanos devido a déficits no dimensionamento dos sistemas de drenagem de águas pluviais, como também pela carência de elaboração de instrumentos de readequação da prestação destes serviços, de modo que

promovam a mitigação dos impactos a partir da densidade e da dinâmica populacional das unidades de gestão (TUCCI, 2012).

O Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional juntamente com a Fundação Osvaldo Cruz (2008), em um estudo de cenários para o Nordeste brasileiro, apontam que com a ocorrência de alterações de temperatura e precipitação, a região se torna cada vez mais vulnerável para enfrentar as dificuldades de adaptação às alterações provocadas pelas mudanças do clima. O Sertão de Crateús, localizado na região central do Oeste do estado do Ceará, é caracterizado por clima semiárido mostra-se cada vez mais passível de ser acometido pelas alterações atmosféricas, apresentando recentes extremos climáticos demonstrados através de secas severas, contrastadas por episódios de chuvas intensas (SEMA, 2017).

Incoerências presentes nos sistemas de drenagem superficial e no aporte de microbacias urbanas em relação a águas pluviais estão relacionadas falta de planejamento e execução de infraestrutura dos sistemas de drenagem urbana. Com isso, torna-se extremamente apropriado o uso de metodologias e análises técnicas que de maneira simples e rápida possam retornar informações que servirão de base para a apontamento da atual situação de municípios ou regiões com recorrentes acontecimentos de inundações, como é o caso do Município de Crateús e, assim, prever riscos com a intenção de propor melhorias (TUCCI, 2008, 2012; VILLANUEVA *et al.*, 2011)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o sistema de drenagem urbana de águas superficiais e identificar pontos críticos de inundações em uma microbacia urbana na Localidade de Maratoan, bairro da cidade de Crateús, Ceará.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Realizar caracterização fisiográfica da microbacia do riacho Maratoan na cidade de Crateús;

- Parametrizar e aplicar um modelo hidrológico-hidráulico para a área de estudo da microbacia urbana;
- Identificar os pontos críticos de enchentes na bacia;
- Analisar cenários com base em diferentes valores de impermeabilização do solo da bacia e diferentes precipitações.

1.3 Justificativa

A deficiência da qualificação de projetistas e técnicos, e a limitada percepção das diferentes esferas de poder em relação a medidas eficientes na drenagem, são alguns dos problemas da gestão de drenagem urbana que refletem impactos sobre a sociedade e o meio ambiente (Tucci, 2012). Desta forma, Tucci (2012) destaca a importância de investimento e incentivo para que profissionais especializados estejam presentes na concepção e gestão destas medidas de desenvolvimento das cidades, para além de dimensionar soluções de drenagem de águas pluviais superficiais conforme dados e estudos hidrológicos-hidráulicos, considerar também os aspectos ambientais, econômicos e sociais das respectivas áreas de implantação para terem estimativas assertivas e projetos seguros.

Muitos dos problemas que em geral são observadas nos sistemas de drenagem superficial e no aporte de microbacias urbanas em relação a águas pluviais estão relacionadas a déficits de planejamento e execução de infraestrutura dos sistemas de drenagem urbana. Neste sentido, observa-se que, dentre outros fatores, a existência de ocupações em regiões ribeirinhas, as gestões que se encontram carentes de profissionais especializados e instrumentos de gestão eficazes, assim como a falta de incentivo e financiamento para a implementação de políticas que visem a melhoria da qualidade da prestação de serviços de infraestrutura urbana de forma isolada para cada região gestora, considerando suas especificidades e performance populacional se fazem essenciais para o Município de Crateús, aplicadas ao território urbano do riacho Maratoan de modo que ao usar trabalho técnico, é retornada a segurança de habitação para antigos pontos de estresse da região (TUCCI, 2008, 2012; VILLANUEVA *et al.*, 2011)

Desta forma, o presente trabalho analisa vários parâmetros locais e a interação destes para a melhor compreensão e gestão da microbacia hidrográfica, por meio de simulação de modelagem hidrológica-hidráulica, sendo esta um instrumento fundamental de apoio à implementação de medidas de gerenciamento do manejo de águas pluviais para população de Crateús - Ce, em específico do território Maratoan. Este estudo visa contribuir com propostas

mitigatórias futuras que poderão embasar novas condutas da gestão de drenagem de águas da chuva e controle de cheias da microbacia urbana estudada, servindo de base para a melhoria das condições fundamentais de habitação local.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Os desafios da gestão de sistemas de drenagem de águas pluviais no Brasil

Para ocorrer a maximização da gestão das águas pluviais no Brasil, esta deve ser integrada com diretrizes de planejamento do uso do solo e de infraestrutura urbana para que se obtenham soluções para as problemáticas das cidades (VILLANUEVA *et al.*, 2011). Nota-se que a partir dessa integração de regulamentações, a drenagem de água pluviais acaba carenciado de legislação específica, sendo necessário o uso de outras normas regulamentadoras, pois as leis que abordam sobre o gerenciamento das águas estão sempre correlacionadas ou incluídas em outras vertentes do planejamento urbano, como os recursos hídricos, licenciamento ambiental, uso do solo, etc (TUCCI, 2008).

Contextualizando a atual forma de gestão das águas das cidades, Souza (2013) pontua instrumentos legais aplicáveis a drenagem urbana sustentável, com suas potencialidades e dificuldades:

- Lei 12.651/2012, Novo Código Florestal – Trata da proteção da vegetação nativa, apresentando o conceito de Área de Preservação Permanente (APP), aplicáveis a situações de zonas urbanas cortadas por rios e riachos;
- Resolução CONAMA 369/2006 – Dispõe sobre excepcionalidade de intervenção em APP para execução de atividades relacionadas a utilidade pública, interesse social ou baixo impacto, a partir da inexistência de risco de agravamento de processos como enchentes;
- Lei no 6766/1979 – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano em margens de cursos d'água e em lotes e loteamentos que possuem potencialidades de alteração do comportamento hidrológico urbano e aumento de escoamento superficial;
- Lei 11.445/2007 – Define a base do saneamento básico, com referência à drenagem urbana como sendo “manejo de águas pluviais”, o que muda o contexto de gestão desta, e trazendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento do saneamento, que por mais que óbvio, esta diretriz não é aplicada de fato nos estudos de intervenções urbanas, resultando em soluções pontuais isoladas e superficiais dos problemas de drenagem;
- A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento e dá outras providências, reafirma a drenagem urbana como sendo um

serviço público do saneamento básico e define como serviço de manejo das águas pluviais urbanas os sistemas de drenagem urbana, de transporte de águas pluviais urbanas, de detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias e de tratamento e disposição final de águas pluviais urbanas.

Ainda afirma que universalização do acesso e efetiva prestação do serviço de drenagem urbana através de consórcios intermunicipais de saneamento básico, esta organização sendo também uma forma de implementar a geração de investimentos para prestação destes serviços. Ferreira (2019) diz que estas colocações, embora otimistas, ainda trazem incertezas devido a possibilidade de altas tarifas serem requeridas pela prestação destes serviços à população, agravando o quadro da desigualdade social no país.

Dessa forma, verifica-se a necessidade de institucionalização direcionada da gestão dos sistemas de drenagem urbana, a partir de implementação de medidas delineadas por regulamentações e leis direcionadas, as chamadas medidas não estruturais, que controlem os impactos e definam modelos de financiamento e gestão das águas urbanas (TUCCI, 2012). Partindo da lógica que a atuação da gestão da drenagem urbana é de responsabilidade dos municípios, Tucci (2012) apresenta uma proposta de modelo institucional para a gestão da drenagem urbana, a partir da definição de gestores e mecanismos de controle de impactos aplicados a um modelo integrado de gerenciamento, como os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano, e os próprios Planos Municipais de Saneamento Básico, que se aplicam bem as especificidades e cada município.

Sendo estes modelos integrados de gerenciamento requisitos importantes para a melhoria do manejo de águas pluviais em regiões urbanas, é necessário que, além de uma visão mais sutil sobre as características locais para os embasamentos das aplicações, também sejam valorizados e considerados nestes os aspectos mais complexos relacionados a atividades naturais presentes. Com estes aspectos, se torna possível além do diagnóstico e constatações de problemas de drenagem, apontar prováveis fenômenos extremos na área, com intuito de reparar danos já existentes e prever danos futuros para realizar passivos necessários através de tecnologias, estudos científicos e embasamentos precisos.

2.2 Problemas operacionais da drenagem urbana

O crescimento urbano causa impactos diversos, sobretudo relacionados ao manejo deficiente de águas pluviais. A partir da não compreensão do regime de cheias, eventos de

alagamentos, enchentes e inundações acontecem corriqueiramente quando existe a presença de riachos e rios em área urbana. Esses eventos podem ocorrer por falhas no dimensionamento, como também por problemas de integralização de sistemas básicos de infraestrutura urbana. Entretanto, mesmo com todo o avanço que se estabeleceu para com estudos dos instrumentos de manejo de águas urbanas, entende-se que além do crescimento demasiado das cidades, um impasse que se sobressai a este, e que faz com que o cenário da drenagem urbana seja tão ultrajado e limitado na execução destes estudos, possa ser o da ausência de interesse e de incentivos a soluções dessas problemáticas de maneira prática e duradoura (TUCCI, 2012; MARTINS, 2012; CRUZ *et al.*, 2017).

Souza (2013) observa que os sistemas de drenagem são feitos para falhar, por se basearem somente na eficiência hidráulica e em tempos de retorno (TR) – que consistem basicamente no aumento do escoamento superficial para que a água saia de forma mais rápida da área da bacia urbana, e, se baseiam também, no estabelecimento de períodos máximos de tempo, que configura a resistência da bacia de drenagem a eventos extremos sem colapsar.

Outros fatores são levantados a respeito de inconsistências nos serviços de drenagem de águas urbanas, através da perspectiva de gestão de bacias urbanas, ou macrodrenagem. Na medida que a área urbana cresce de jusante para montante dentro de uma macrodrenagem, as regiões já consolidadas se encontram completamente impermeabilizadas com redes de drenagem dispostas por meio de canalizações, onde a partir do crescimento da urbanização a montante com suas novas impermeabilizações e execuções de infraestrutura, o escoamento superficial ascende e as vazões a jusante aumentam consideravelmente ocasionando as inundações, já que os impactos do aumento da vazão sobre a perspectiva da região à montante que ainda vai ser consolidada não são previstos pelo projetista que dimensionou o sistema inicial e, em muitos casos, essa previsão não é exigida pelo município através de políticas, como os planos de drenagem urbana municipais (TUCCI, 2012).

Martins (2012) afirma que a fragmentação das atividades, a ausência de planejamento a longo prazo e a descontinuidade administrativa são fatores que preocupam a atual conjuntura da gestão da drenagem urbana, ao passo que os órgãos gestores adotam medidas isoladas para o manejo destas águas sem considerar todo o contexto ambiental e social ao qual estão inseridos, como, por exemplo, municípios elaborarem projetos que não são compatíveis aos demais projetos de drenagem desenvolvidos pelo Estado ou pela União para a bacia hidrográfica que estão inseridos; as trocas de gestão que paralisam a execução de projetos diversos dos antigos administradores, incluindo os de manejo de águas pluviais; e, por fim,

planos de drenagem com horizontes de projetos que necessitam de revisões e atualizações, que não são realizadas corriqueiramente.

Martins (2012) sintetiza a gestão de drenagem através do conceito do 3P, que são três conjuntos de ações e métodos aplicáveis ao gerenciamento das águas urbanas, sendo eles: planejamento, procedimento e preparo. Esta é uma abordagem muito interessante que norteia não só técnicos, mas toda sociedade para o entendimento, que é defasado, sobre a gestão de sistemas de drenagem urbana e sua importância.

No planejamento, destacam-se os planos municipais de saneamento, assim como demais leis e normas que mencionam e dão diretrizes básicas para implementação de sistemas de drenagem no país. No procedimento, destacam-se as ações de operação e manutenção dos sistemas estruturais implantados, onde o acompanhamento da qualidade da prestação dos serviços com visitas regulares aos aparelhos do sistema, ações de educação ambiental e conscientização da população, e também da previsão da ocorrência de eventos extremos e da capacidade de suporte destes sistemas executados. O preparo consiste na otimização de processos emergenciais relacionados ao sistema de drenagem de águas urbanas.

2.3 Modelagem hidrológica e hidráulica para sistemas de drenagem urbana

A partir da alteração dos processos hidrológicos e da grande extensão das áreas urbanas, viu-se a necessidade de fazer uso de tecnologias aliadas a modelos matemáticos e estatísticos, para aplicá-los ao dimensionamento de obras hidráulicas e avançar na gestão dos sistemas de drenagem. Com isso modelos hidrológicos-hidráulicos são aplicados com a finalidade de simular o comportamento de chuvas e vazões em bacias hidrográficas, que são o principal objeto de estudos destes modelos, e avaliar a interação entre eles e demais parâmetros pertinentes.

Métodos diversos para dimensionamentos, simulações e modelagens hidrológica-hidráulicas são essenciais para o diagnóstico e para a implementação de medidas de fornecimento dos serviços de infraestrutura urbana, como os de redes de manejo de águas pluviais. Com essas análises direcionadas consegue-se, além de prever a atividade dos sistemas expostos a configurações extremas de seus parâmetros, identificar também pontos de enchentes e inundações resultantes da atividade pluvial superficial, que são as principais problemáticas de enfrentamento em regiões críticas de cidades, e dos municípios como um todo (SANTOS, 2009; COLLODEL, 2009; RIBEIRO, 2018).

Dentre os tipos de modelos hidrológicos que existem os modelos determinísticos ou conceituais são os que representam melhor os processos hidrológicos e fornecem condições para se fazer estudos a longo prazo, devido a aplicação de métodos de elevada confiabilidade para análise e preenchimento de falhas e previsão de vazões (ALMEIDA e SERRA, 2017). Em relação a modelos hidráulicos, existem modelos simplificados que efetuam avaliações e resultados complexos e fornecem uma gama de funcionalidades, a partir de poucos e acessíveis dados de entrada (COLLODEL, 2009; ALMEIDA e SERRA, 2017; MESQUITA *et al.*, 2020; COSTA, 2021).

2.3.1 Storm Water Management Model - SWMM

Um modelo bastante utilizado para estudos hidrológicos-hidráulicos de bacias é o Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, o *Storm Water Management Model* (SWMM). Este é um modelo de gerenciamento de águas pluviais da *Environmental Protection Agency* (EPA), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, que viabiliza de forma simples, gratuita e dinâmica, a simulação de chuva-vazão para eventos pontuais ou sistemas a longo prazo aplicados ao planejamento, análise e projetos relacionados a escoamentos de águas pluviais e demais sistemas de áreas urbanas. Com ele, é possível determinar a variação de precipitação com o tempo, infiltração da chuva nas camadas insaturadas do solo, captura e retenção de chuva, escoamento com vários tipos de tecnologias de desenvolvimento de baixo impacto, *Low Impact Development* (LID), entre outras interações hidráulica-hidrológicas-antrópicas. Com sua aplicabilidade aos diversos cenários urbanos e rurais, o SWMM opera considerando desde aspectos naturais da bacia até tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento (ROSSMAN, 2016).

Rossman (2016) ainda complementa listando as aplicabilidades típicas do sistema de modelagem SWMM ao manejo de águas pluviais, como, por exemplo:

- projetar e dimensionar componentes do sistema de drenagem para controle de enchentes;
- mapear planícies de inundação de sistemas de canais naturais.

Ribeiro (2018) realizou um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho do modelo SWMM em bacias hidrográficas do país para ser utilizado como ferramenta de monitoramento da interação das águas urbanas e constata que o modelo é capaz de identificar

a dinâmica das bacias urbanas, sendo possível mapear pontos críticos e propor soluções diversas para prevenção e mitigação de possíveis impactos destes sistemas.

2.3.1.1 Modelo Conceitual

O *software* SWMM é um modelo de simulação física que faz uso equações discretas por meio das definições de conservação de massa, de energia e da quantidade de movimento quando for necessário, sendo aplicados a determinação de escoamento superficial, infiltração, propagação de fluxos, inundações e alagamentos à superfície do terreno, assim como demais parâmetros de qualidade da água (ROSSMAN, 2016). A partir do uso do *software* é possível gerar simulações para diferentes configurações de sistemas de redes de drenagem de águas das chuvas, podendo elas serem tanto sistemas de redes tubulares por condutos de diâmetros e materiais diversos, quanto para sistemas de redes naturais de drenagem de água superficial, os canais naturais irregulares, como rios e riachos.

As sub-bacias são os principais elementos de análise de hidráulica-hidrológica da modelagem realizada pelo SWMM, de modo que as interações de infiltração e de escoamento superficial ocorrem em suas dependências e podem ser divididas em subáreas permeáveis e impermeáveis. A infiltração da chuva para a zona não saturada do solo em regiões permeáveis faz uso de modelo de infiltração baseado no método do *Curve Number* (CN), ou número de curva, desenvolvido pelo *United States Department of Agriculture* (USDA) *Soil Conservation Service* (SCS), que assume que em uma dada bacia hidrográfica, considerando a duração de um episódio de chuva, o quociente do volume instantâneo de escoamento direto (Q) pelo volume total de chuva (P), são iguais aos quociente do volume de infiltração (F) acumulado até aquele instante, pelo volume máximo potencial de retenção (S), conforme Equação 01 (ROSSMAN, 2016; CUNHA, 2015).

$$\frac{F}{S} = \frac{P}{Q} \quad (01)$$

Quando são consideradas a equação da continuidade e as perdas iniciais (I_a) diferentes de zero, a precipitação (P) passa a ser (P- I_a), e temos a equação de escoamento superficial do método SCS-CN, (Equação 02):

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad (02)$$

O modelo de transporte da Onda Dinâmica gera resultados mais precisos por considerar todos os termos da equação do movimento (GOMES, 2006; ROSSMAN, 2016). Considerando que o modelo de transporte da Onda Dinâmica (Equação 03) calcula, de forma simultânea, os valores dos níveis de água nos nós e as vazões nos condutos, ele pode ser aplicado para qualquer tipo de traçado da rede de drenagem, e utiliza a equação de Manning para relacionar vazão com a profundidade do escoamento, inclinação do conduto ou linha de água (ALVES, 2018; ROSSMAN, 2016).

$$\frac{\delta Q^2/A}{\delta x} + \frac{\delta Q}{\delta t} + gA \frac{\delta h}{\delta x} = gAS_0 - gAS_f \quad (03)$$

O SWMM permite que o usuário também selecione a equação que deseja utilizar em seus sistemas, dado as configurações iniciais, e aplica a equação de Manning (Equação 04) para determinar a relação entre a vazão que escoo pelo conduto (Q), a área da seção transversal (A), o raio hidráulico (Rh) e a declividade (S), dada por:

$$Q = \frac{1.49}{n} AR_h^{2/3} \sqrt{S} \quad (04)$$

Onde “n” é o coeficiente de rugosidade de Manning. Para o caso de escoamento em Modelo da Onda Dinâmica, “S” representa a declividade hidráulica do fluxo (ROSSMAN, 2016).

3 METODOLOGIA

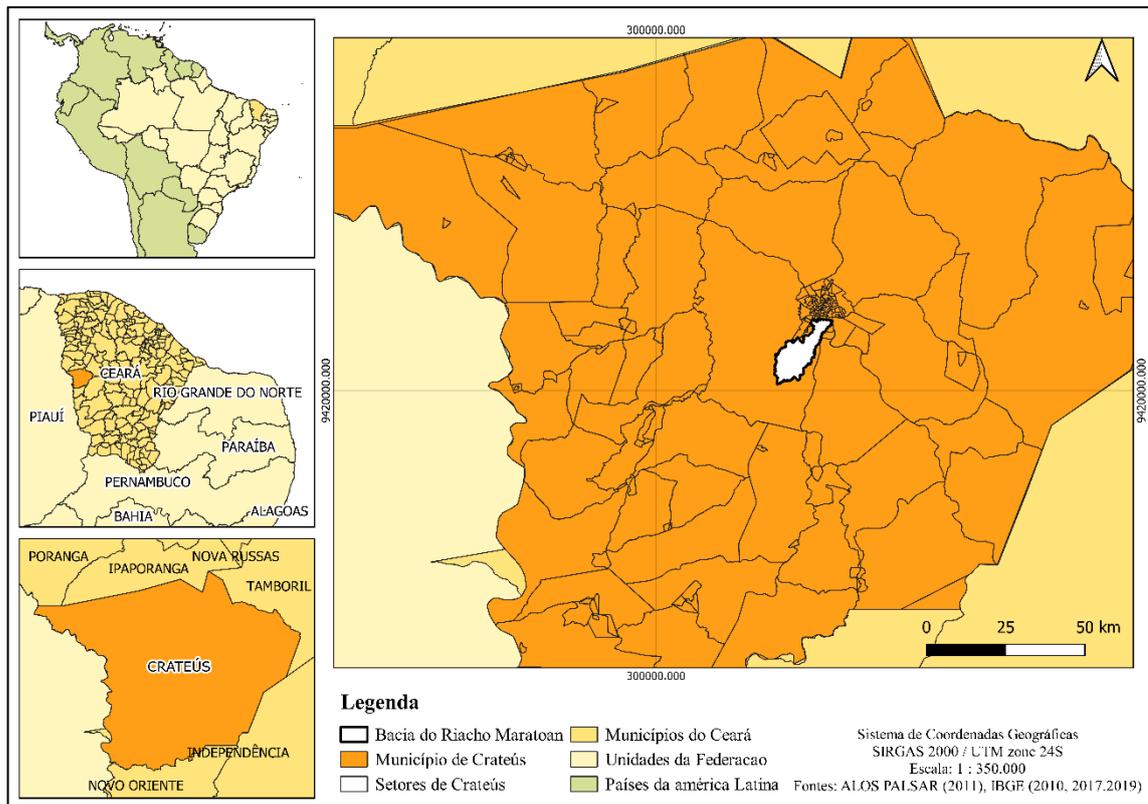
Para esta análise, foi necessária uma série de obtenções e tratamentos de informações para criar os dados de entrada para o sistema de modelagem hidrológica-hidráulica para a microbacia do riacho Maratoan e, assim, realizar de forma realística a simulação de cenários, conforme descrito a seguir:

- Revisão bibliográfica;
- Levantamento de base existente de dados hidrológicos-hidráulicos da região para caracterização fisiográfica;
- Concepção da base computacional para simulação;
- Simulação e análise de cenários.

3.1 Local de estudo, população e amostra

Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (2017), o Município de Crateús, com área absoluta de 2985,1 km², possui clima tropical quente semiárido, pluviosidade média de 731,2 mm e temperatura média de 26 a 28°C, caracterizado com períodos chuvosos de janeiro a abril. Do ponto de vista de relevo, Crateús está situada na região que envolve o Planalto da Ibiapaba e a Depressão Sertaneja bem definidos, além de possuir Maciços Residuais (Figura 01).

Figura 01 – Localização de Crateús – Ce e da microbacia do riacho Maratoan.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

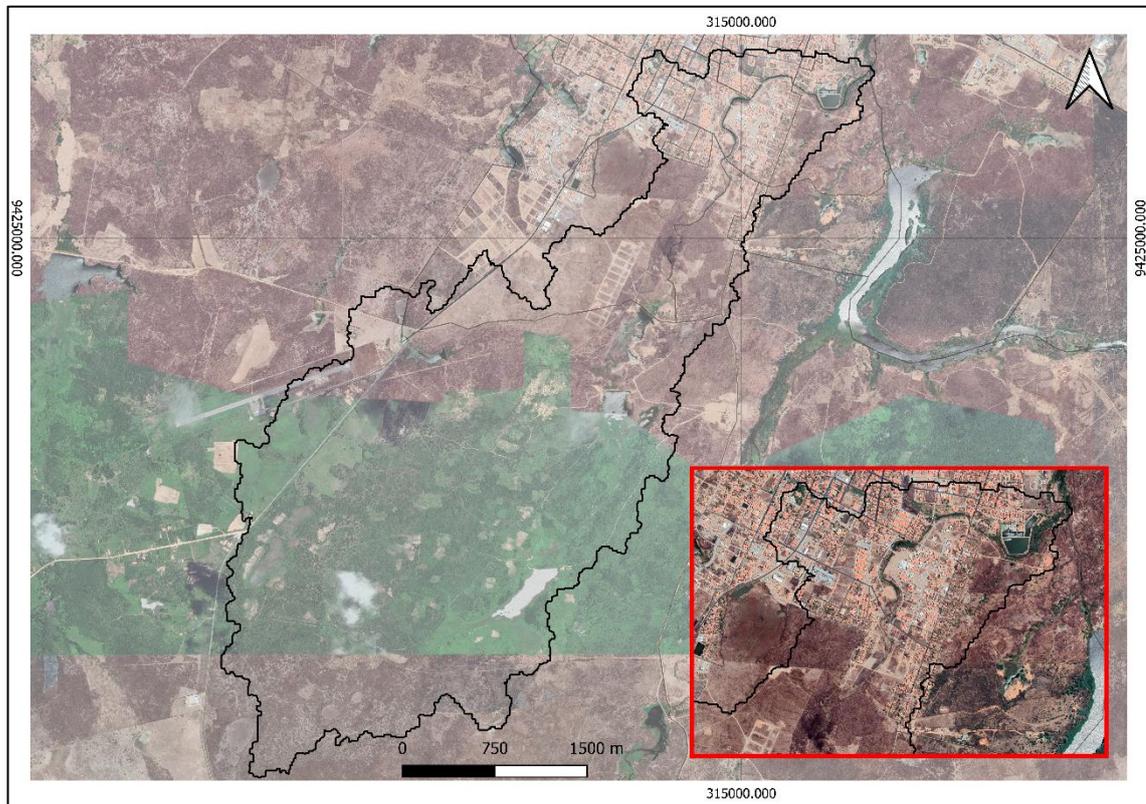
A partir de entrevista *on-line* realizada com um representante da associação comunitária do Maratoan, foi possível obter informações iniciais e pertinentes sobre a região a qual está localizada a microbacia urbana objeto deste estudo. O território Maratoan compreende as localidades de Santa Luzia, Maratoan, Morada dos Ventos I, agrupamento Nossa Senhora de Fátima, conjunto São José, Nova Terra e Terra Livre. Formalmente a localidade é chamada de Fátima II e já se estrutura no município de Crateús há aproximadamente 15 anos.

Atualmente, o território Maratoan é formado por cerca de 700 famílias, sendo área predominantemente residencial. As ruas não possuem rede tubular de drenagem de águas pluviais, sendo a condução das águas da chuva feita de forma espontânea para o riacho; apenas três ruas são contempladas por rede de esgotamento sanitário e o território possui 100% de cobertura de rede de abastecimento de água. Esta é uma região periférica do município de Crateús, localizado em zona de transição da sede municipal a zona rural e apresenta características de vulnerabilidade socioeconômica.

Constata-se que o território Maratoan e seu respectivo córrego, o riacho Maratoan, ficam localizado próximo ao leito principal do rio Poti, e no perímetro de zona urbana do município (Figura 02). O território Maratoan está situado em região de jusante da microbacia,

próximo a seu exultório, formado pelos agrupamentos e bairros no perímetro da área urbana que juntos, possuem uma área de aproximadamente 204,35 km². A microbacia possui área total de 13,285 km², que se dispõe de forma bem definida, em cerca de 20% de área urbanizada ocupada e 80% de área verde destinada a atividades agropastoris

Figura 02 – Microbacia do riacho Maratoan em Crateús – Ce.



Fonte: Google Earth. Elaborado pela autora, 2022.

3.2 Concepção da base computacional

3.2.1 Delimitação da microbacia hidrográfica

A delimitação da microbacia hidrográfica foi extraída a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado pelo satélite ALOS PALSAR, que dispõe de imagens de alta resolução a partir de sensores com 2,5m e 10m de determinações. Inicialmente, foram extraídos no *software* QGIS as curvas de nível do MDE, ajustado para espaçamento de 1m para melhor detalhamento hipsométrico da região. No *software* *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS), posteriormente, a bacia hidrográfica foi delimitada a partir da indicação de cota do exultório pela ferramenta *r.water.outlet*. O mesmo procedimento foi realizado para

também delimitar as sub-bacias do riacho Maratoan. Após ter ciência da área de contribuição do riacho, observou-se necessário conhecer a direção da drenagem e os seguimentos desses corpos hídricos que afluem na área, a partir das elevações. Para melhor detalhamento destes dados, realizou-se o refinamento do MDE pela ferramenta *r.fill.dir*, e finalmente pode-se extrair a direção da drenagem e os seguimentos dos trechos a partir da ferramenta *r.watershed*, que fornece além destas, várias outras análises hidrogeológicas de bacias hidrográficas.

3.2.2 Classificação supervisionada do solo

A classificação do solo da microbacia do riacho Moratoan foi obtida através das imagens do satélite LANDSAT-8 a partir da composição de imagens de suas bandas 05, 06 e 07. Essas imagens foram reprojadas para o sistema de coordenadas local, visando a fluidez na comunicação dos dados. Para realizar este procedimento, foi utilizado o plugin *Dzetsaka* do software QGIS. A classificação do solo contou com três determinações de características de superfície que são importantes para este estudo, sendo elas: corpos hídricos, pastagens e área urbana. Com tratamento de composição de bandas destas imagens de satélite de alta resolução e o grande número e diversidade de amostras coletadas para execução da classificação supervisionada, intendeu-se definir os cursos hídricos da região hidrográfica, a área urbana (que nesta análise representará regiões impermeáveis), e as áreas de pastagem (que representarão as áreas permeáveis).

3.2.3 Chuvas e Vazões

Os dados de chuva foram obtidos a partir de séries históricas disponíveis no portal *Hidroweb*, pela consulta na rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA). A partir da averiguação de postos pluviométricos próximos ao riacho, foi escolhido um posto, ou estação, cuja série de dados fosse interessante para caracterização da dinâmica pluviométrica da região de estudo e que subsidiasse na definição de uma série de 30 anos de leituras diárias para precipitações.

Após definida, valores desta série histórica foram inseridos no *software* para quatro perspectivas diferentes: primeiro a série de 30 anos completa, e posteriormente para chuvas máximas anuais ajustadas a três diferentes tempos de retorno, sendo estes os dados de entrada de cada cenário a ser analisado. A metodologia de transformação de chuva em vazão utilizada

faz uso do modelo determinístico do hidrograma unitários, SCS, com base no Número de curva, o CN.

As simulações no SWMM foram realizadas utilizando a série de 30 anos de leitura pluviométrica, o comportamento dos elementos do sistema de drenagem elaborado para a microbacia do riacho Maratoan foi avaliado através do relatório final emitido pelo próprio *software* e o padrão de atividade da microbacia pode ser definido, que auxiliou na compreensão da dinâmica hidráulica/hidrológica das demais simulações. Logo após, foram selecionadas chuvas máximas para os períodos de retorno de 5, 20 e 50 anos, e realizadas as simulações, sendo estes valores períodos usuais de análises de chuvas em microbacias deste porte.

As chuvas máximas foram determinadas a partir da escolha da melhor função de distribuição de probabilidade, com teste qui-quadrado de 95% de confiança. Considerou-se para este estudo as metodologias de distribuição de probabilidade de Gumbel, e as distribuições de probabilidade Gamma e Log Normal, que são distribuições recorrentemente utilizadas na região por retornarem valores assertivos.

3.2.4 Determinação da relação Cota x Área x Volume

Para os açudes presentes na microbacia, representados pelas unidades de armazenamento da rede, foram utilizadas as relações Cota x Área x Volume de Mesquita *et. al.* 2020, determinadas a partir de um reservatório de pequeno porte localizado na cidade de Fortaleza – Ce. A metodologia de Mesquita *et. al.* (2020) foi utilizada neste estudo para realizar a caracterização dos reservatórios a partir de dados consistentes, visto que os barramentos presentes na microbacia do riacho Maratoan possuem dimensões semelhantes ao escolhido pelo autor e não possuem monitoramento.

3.2.5 Delimitação da seção dos trechos do riacho

Os comprimentos dos segmentos do riacho inseridos na rede de drenagem natural foram obtidos por medições dos trechos baseadas nas imagens do mapa *Google Earth* (2021), enquanto as profundidades, foram determinados por observações e conhecimento prévio do local.

3.2.6 Declividade

Para determinação da declividade da microbacia, a ferramenta *slope* do *software* de gestão de dados geoespaciais e análise GRASS por meio da interface do QGIS foi utilizada como sendo a melhor metodologia de detalhamento das inclinações da região do riacho Maratoan e seus afluentes, já que se trata de uma região plana.

3.3 Modelo aplicado

O SWMM foi utilizado para a simulação hidrológica-hidráulica da microbacia. O *software* requer dados de entrada, como área e largura da bacia, declividade, que podem ser obtidas previamente a partir de recursos do QGIS e análises diversas, e demais valores de impermeabilização, como o coeficiente de rugosidade pelo número de Manning (n) e o CN.

3.3.1 Ajustamento dos Parâmetros e Elementos utilizados

Os valores de entrada no SWMM relacionados a declividade, área e comprimento dos segmentos de cada trecho de riacho Maratoan e correlatas foram obtidos através da delimitação de sua microbacia hidrográfica por meio de tabela de atributos e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), assim como dados de impermeabilização e suas interações, pela classificação supervisionada do solo. A série histórica de 30 anos assim como as chuvas máximas, tratadas e ajustadas, também foram inseridas no SWMM. A base para o traçado dos elementos da rede de drenagem no SWMM foi obtida por meio de imagem .bmp e ajustamento para o sistema de coordenadas utilizado no QGIS. Os elementos da rede, como as sub-bacias, condutos, nós e bacias de retenção – foram criados e inseridos manualmente conforme configuração preexistente na imagem base, de forma mais próxima possível ao disposto.

3.3.1.1 Sub-bacias

Os dados de entrada para especificação da bacia hidrográfica do riacho Maratoan e suas sub-bacias contaram com áreas e comprimentos médios determinados por ferramentas SIG e projetadas pelo sistema de coordenadas geográficas WGS 84 / UTM zone 24 S. A declividade

média predominante da região foi da ordem de 4,6%. O valor de CN utilizado foi na ordem de 80, a condutividade de 0,5 mm/h e o tempo de condução de 7h. O armazenamento superficial foi determinado pelo indicador da tabela útil A.5 do manual do SWMM, de modo que as áreas permeáveis foram consideradas pastagens, na ordem de 5.08 mm de armazenamento superficial, e as áreas impermeáveis foram consideradas superfícies impenetráveis com apenas 1.27 mm de armazenamento. O coeficiente de Manning para escoamento em superfície livre foi determinado como campo natural com valor de 0,13 tanto para áreas permeáveis como para impermeáveis, a partir da tabela útil A.6 do manual (ROSSMAN, 2016).

Os armazenamentos em depressão foram utilizados para a superfície impermeáveis no valor de 1,27 mm e para as áreas permeáveis, consideradas como pastagem, no valor de 5,08 mm. O método de infiltração utilizado para esta simulação foi pelo de CN, com parâmetros padrão do SWMM, que foram verificados como valores consistentes para a simulação e modelagem hidrológica para a região.

3.3.1.2 Açudes

A microbacia do riacho Maratoan tem a presença de açudes que foram criados ao longo do tempo através de pequenos barramentos dispostos nas suas sub-bacias. Para as unidades de armazenamento presentes nas bacias foram consideradas a média de um dia sem chuva para as contribuições de tempo seco, que são perdas relativas que ocorrem nestes elementos devido ao clima seco da região e facilidade de evaporação. Para as quatro cotas dos vertedouros assim com o para as profundidades médias dos lagos foram determinadas por ferramentas do QGIS, baseadas nas curvas de nível do local extraídos para um metro de resolução espacial – a mesma que serviu de base para criação da área total de contribuição da bacia hidrográfica do riacho. O coeficiente de evaporação foi ajustado e considerado como de 0,08 segundo metodologia de Mesquita *et al.* (2020), assim como para a utilização da curva cota área volume, que foi regida por função com coeficiente de 91758 e expoente de 1.2375 e constante nula. Os demais valores adotados são valores padrão do sistema.

3.3.1.3 Nós

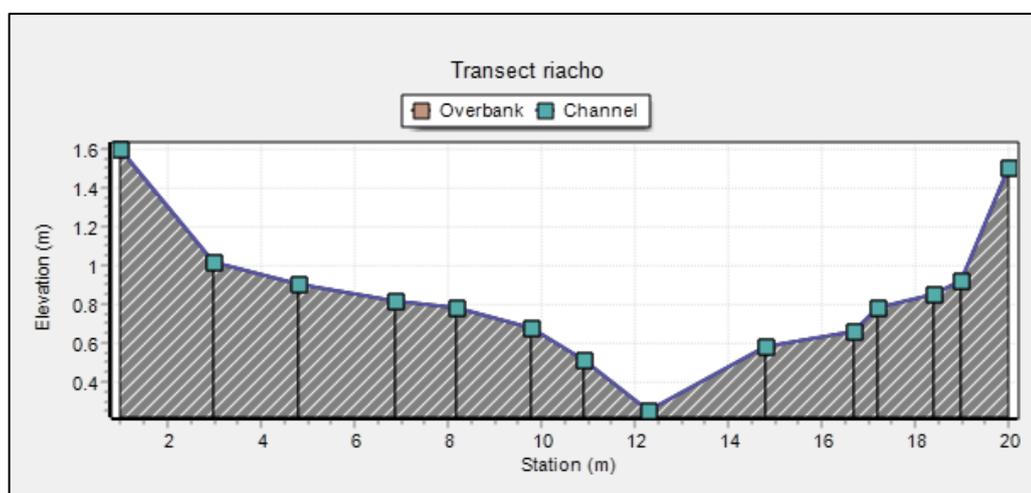
Os nós foram determinados como as junções para afluências de cada trecho do riacho Maratoan. As cotas de cada nó e a sua respectiva profundidade foram determinados pelo

software QGIS através de medições e análise e corrigidas pelo próprio SWMM. Como a análise será feita para o fluxo dinâmico associou-se aos nós a possibilidade de mensuração do extravasamento desses pontos da drenagem natural, quando houver, por uma área de alagamento de 10 m², para todos os pontos do riacho.

3.3.1.3 Trechos

Os trechos do riacho Maratoan foram determinados como uma sessão irregular, com profundidade máxima de 1,35m para toda a rede, conforme Figura 03. Os comprimentos dos trechos foram também determinados por medições com ferramentas SIG e a rugosidade de Manning n utilizado por 0,06 conforme o manual do SWMM.

Figura 03 – Corte longitudinal do conduto natural irregular adotado.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

3.4 Análise de cenários

Devido à situação do território Maratoan em zona de transição dos limites urbanos do município de Crateús, se faz necessária uma análise de cenários para serem estudadas as vazões de pico e tempos de concentração para diferentes tempos de retorno para a microbacia urbana, a partir das chuvas máximas. Considerando localização da microbacia e uma possível expansão dos limites urbanos do município, teve-se a perspectiva de que os índices de impermeabilização aumentarão nesta bacia, e estes três indicadores serão alterados conforme a dinâmica de expansão da área urbana do município.

Baseando-se nas precipitações máximas anuais obtidas a partir dos estudos hidrológicos, buscou-se selecionar chuvas que ocorram para datas quaisquer da série histórica tratada, assim como diferentes porcentagens de coberturas de impermeabilização da bacia, simulando o avanço da urbanização e, conseqüente, da impermeabilização a montante da microbacia urbana.

Nesta análise foram necessários valores de entrada relacionados aos valores de precipitações das chuvas máximas e das camadas impermeáveis para a região que a microbacia está localizada e, a partir da interação destas variáveis principais, os distintos cenários foram simulados de modo que através de seus resultados e diagnósticos, subsidiaram ações de compreensão da atividade hidrológico-hidráulica da microbacia, conseqüentemente auxiliando na previsão de impactos causados por eventos extremos. Intentou-se, também, confirmar as ocorrências de sobrecarga nos trechos do riacho que já ocorreram anteriormente, relacionados a inundações, para atestar a coerência das simulações. Inicialmente foi simulada a atividade da bacia hidrográfica do riacho Maratoan para toda a série histórica de precipitações, para assim haver uma compreensão do padrão de atividade hidrológica-hidráulica local e, posteriormente, os cenários para as chuvas máximas ajustadas para os TR's de 5, 20, e 50 anos.

A partir da classificação supervisionada do solo se torna possível determinar valores reais de impermeabilização para as áreas das sub-bacias, que foram o primeiro grupo de cenário de simulações a serem analisados. Após determinar o padrão da bacia do riacho Maratoan, realizou-se uma primeira análise com

as chuvas máximas referentes aos tempos de retorno determinados para as condições atuais de impermeabilização das sub-bacias do Riacho Maratoan. Em seguida, foram analisados mais dois cenários. O segundo cenário, determinado a partir do aumento de 20% de impermeabilização em toda a bacia e o segundo cenário, com o aumento de mais 40%.

As simulações ilustraram nove resultados que explanam a dinâmica das chuvas máximas para os diferentes TR's na sub-bacia com o aumento da impermeabilização. Conforme o Quadro 01, o primeiro agrupamento de dados analisado foi o cenário 01, realizado na microbacia para as condições normais de impermeabilização em relação aos diferentes tempos de retorno. Em seguida, para um cenário de aumento 20% de impermeabilização nas sub-bacias: cenário 02, e por último o cenário 03, que representou um aumento de 40% na impermeabilização da área de contribuição do riacho Maratoan, que simulou a total impermeabilização na região de área urbana que pertence a bacia, e valores elevados de impermeabilidade nas demais sub-bacias.

Quadro 01 – Descrição dos cenários de impermeabilização que serão aplicados a cada chuva máxima referente aos períodos tempos de retorno (TR) de 05, 20 e 50 anos.

	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
TR05	Condições reais de Impermeabilização por valores adotados para cada sub-bacia.	Aumento em 20% de impermeabilização para cada sub-bacia do Riacho Maratoan.	Aumento em 40% de impermeabilização para cada sub-bacia do Riacho Maratoan.
TR20			
TR50			

Fonte: elaborado pela autora, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Base computacional

4.1.1 Delimitação da microbacia hidrográfica

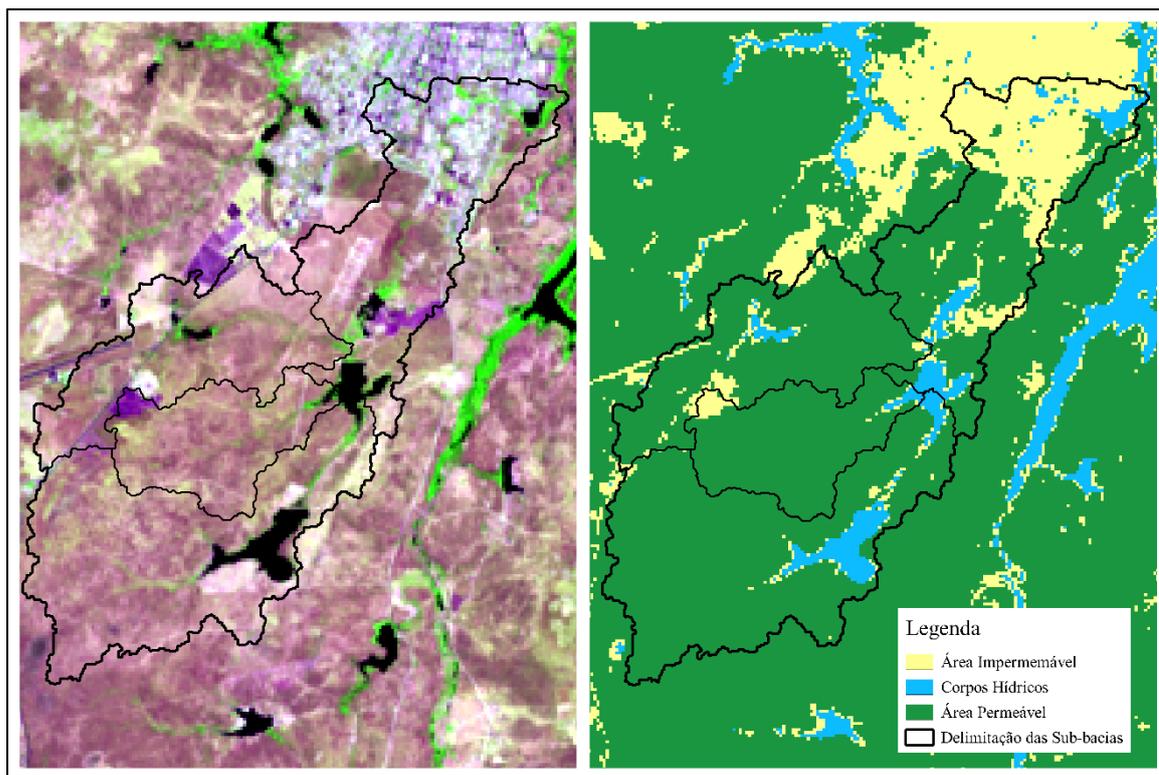
A partir do pré-tratamento do MDE e do uso das fermentas *Grass*, o traçado da área de contribuição do riacho Maratoan pôde ser determinado com ajustamento satisfatório da composição existente em relação ao extraído. Foram criadas três subáreas a partir de afluentes ao curso principal do riacho Maratoan, denominadas de sub-bacias, que definiram melhor o comportamento hidrológico e hidráulico nos diferentes setores e regiões da microbacia urbana. Os segmentos do riacho criados a partir da direção da drenagem corresponderam com o observado nas imagens do Google Earth e com o *shapefile* de drenagens naturais elaborado pela ANA e fornecido pelo Sistema Nacional de Informação Sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

4.1.2 Classificação supervisionada do solo

Na fase preliminar de tratamento das imagens observou-se que a composição das camadas das bandas 05, 06 e 07 do satélite LANDSAT-8 foram interessantes para a caracterização do uso do e ocupação solo por método de classificação supervisionada, na medida que a interação entre as bandas infravermelho próximo e infravermelho médio levaram mais realismo para a classificação, por compor suas imagens com cores naturais simuladas, essenciais para desenvolvimento desta metodologia na coleta de amostras das regiões de interesse.

As determinações de características de superfície para identificação de corpos hídricos, pastagens e área urbana pelo plugin *Dzetsaka* por meio de 53 amostras resultou em uma composição realística das áreas de interesse para a modelagem, com indicação de áreas permeáveis, impermeáveis e espelhos d'água preexistentes da área de contribuição do riacho Maratoan, que delimitou dados e interpretações pertinentes, conforme apresentado na Figura 04, para concepção da modelagem.

Figura 04 – MDE tratado para extração das amostras e classificação supervisionada do solo.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Observando as áreas permeáveis e impermeáveis determinadas pela classificação supervisionada do solo aliados a conhecimentos prévios do local, determinou-se que a sub-bacia um possui sua área total permeável, assim como a sub-bacia dois. A sub-bacia três possui ordem de 5% de área impermeável por estar já localizada em zona de transição da sede de Crateús para a zona rural. A sub-bacia quatro, onde está localizado o território Maratoan e fim de zona urbana da sede de Crateús, representou uma área de 40% de impermeabilização. Estes foram os valores de entrada do SWMM, que representaram as condições reais e atuais de impermeabilização da bacia.

4.1.3 Chuvas e Vazões

Analisada a área da microbacia hidrográfica, foram identificados três postos pluviométricos próximos a seu perímetro que formarão série histórica aplicável a concepção de perfil de precipitações: a estação 540000 (Crateús), localizada nas proximidades do território Maratoan, região de jusante da bacia, onde se localiza o exultório, a estação 540020 (Aeroporto – Crateús), região média da bacia, na zona de transição entre zona urbana e rural de Crateús, e

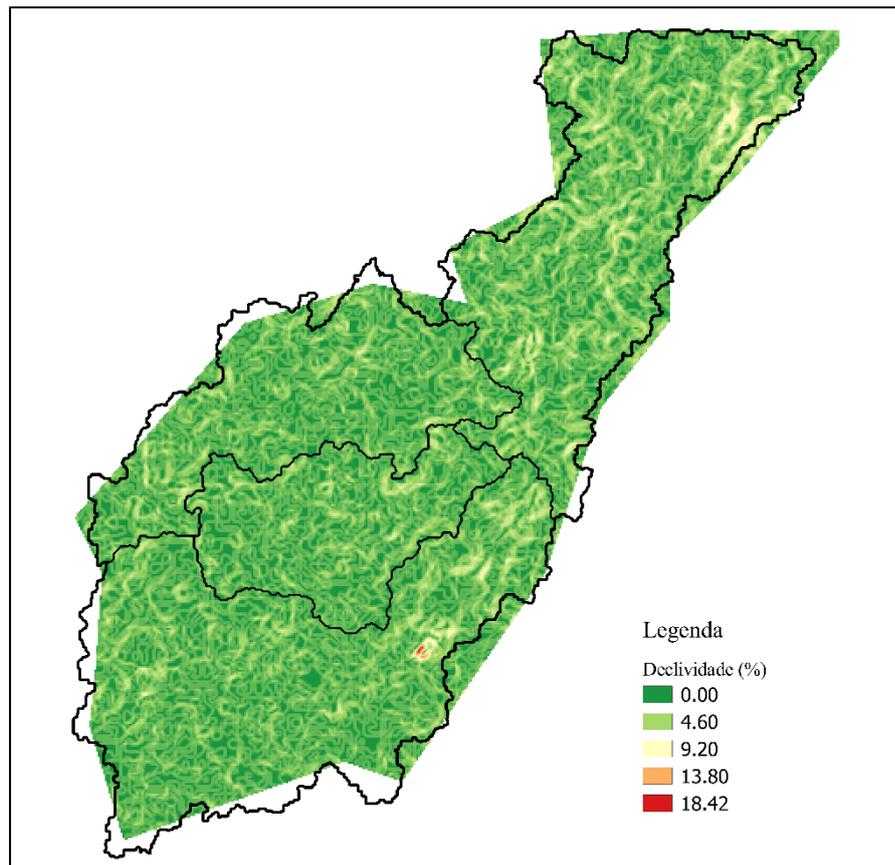
a estação 540111 (Fazenda Gracinha), localizado me região de montante, já em área rural crateuense. A estação escolhida com melhor série de dados para traçar o perfil de chuvas da área de contribuição da bacia do riacho Maratoan foi a 540020, estação Aeroporto, que apresentou dados diários e contínuos de 1991 a 2021, e com poucas falhas. Os dados diários de precipitação da estação Aeroporto para os anos de 2021 a 1991 foram inseridos do SWMM em formato *.dat* pra utilização compatível da série histórica no *software*.

A partir da certificação da estação escolhida que melhor representou a série histórica, as chuvas máximas foram determinadas de acordo com os períodos de retorno estipulados para a região a partir da função de distribuição de probabilidade Gamma, com o menor teste qui-quadrado e 95% de confiança, retornando as precipitações com duração de um dia com 100,1 mm, 139,8 mm e 164,9 mm respectivamente para os TRs de 05, 20 e 50 anos. A utilização desta função, segundo Araújo (2010), requiere o uso de testes de aderência para provar a adaptação dos dados, sendo verificado por análise a adequação dos dados à curva de um modelo de distribuição hipotética, para assim, conseguir alcançar compreensão dos fenômenos meteorológicos, determinar seus padrões de ocorrência e se conseguir entender do comportamento climático de uma região.

4.1.4 Declividade

A declividade obtida com o processamento das imagens de satélite resultou no diagnóstico de uma região predominantemente plana, com poucas variações de declividade, variando entre 0% predominante e 18% de inclinação máxima em poucos pontos da bacia, como ilustrado na Figura 05. Para a verificação de aplicação a modelagem, foram utilizados a média e mediana dos cinco intervalos principais da área, para melhor determinar a declividade. Entre as determinações observou-se que a mediana, por se tratar de uma determinação probabilística mais eficaz, retornou um valor de 9,20542%. Portanto, a partir da imagem extraída por ferramentas SIG e pelo conhecimento do relevo da região da bacia 4,6% foi utilizado como valor médio de declividade por se tratar de uma região, como mencionado anteriormente, predominantemente plana.

Figura 05 – Mapa de declividade da área da bacia.



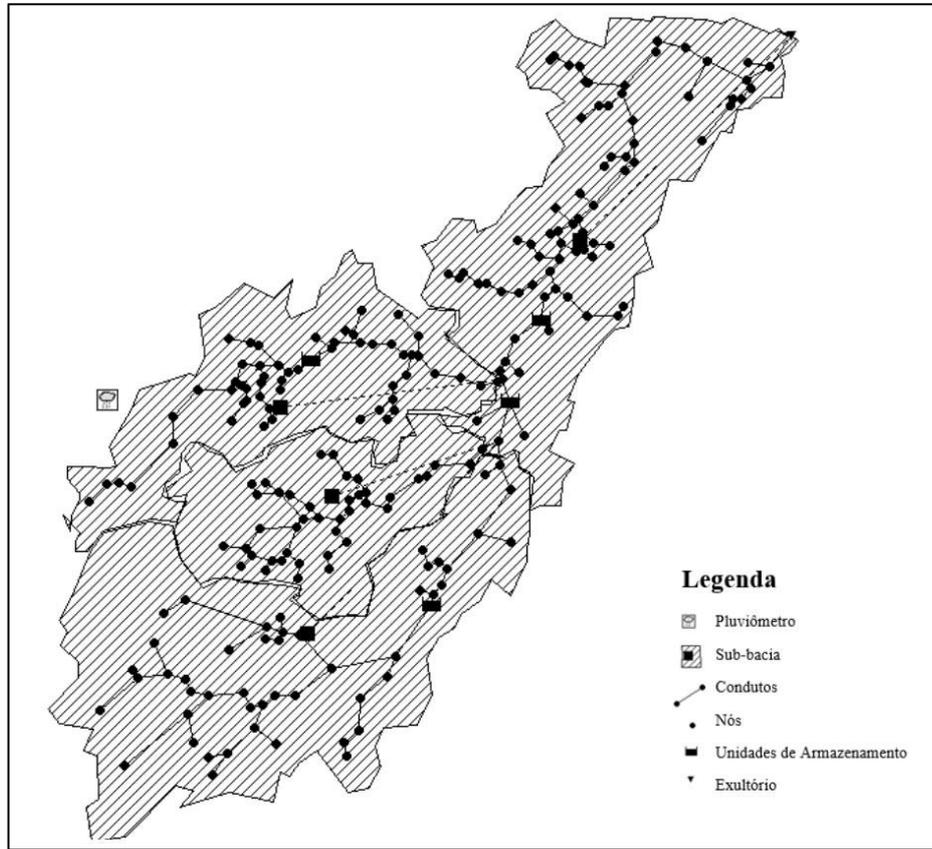
Fonte: elaborado pela autora, 2022.

4.2 Modelo aplicado

4.2.1 Ajustamento dos Parâmetros e Elementos utilizados

Para criar a configuração real da bacia os elementos foram adicionados de modo que sobrepunham as imagens de referência. A rede de drenagem criada com base na imagem extraída do QGIS (Figura 06) resultou em quatro sub-bacias (*Subcatchments*), quatro reservatórios (*Storage Units*), duzentos e dezoito junções (*junctions*), duzentos e vinte e seis trechos (*Conduits*), um pluviômetro (*Rain Gages*) e um exultório (*Outfalls*). As sub-bacias um, dois e três convergem para a sub-bacia quatro, enquanto os reservatórios um e dois se dispõem nas sub-bacias um e três respectivamente, e os reservatórios três e quatro na sub-bacia quatro.

Figura 06 – Rede de drenagem natural criada no SWMM para a microbacia do riacho Maratoan.

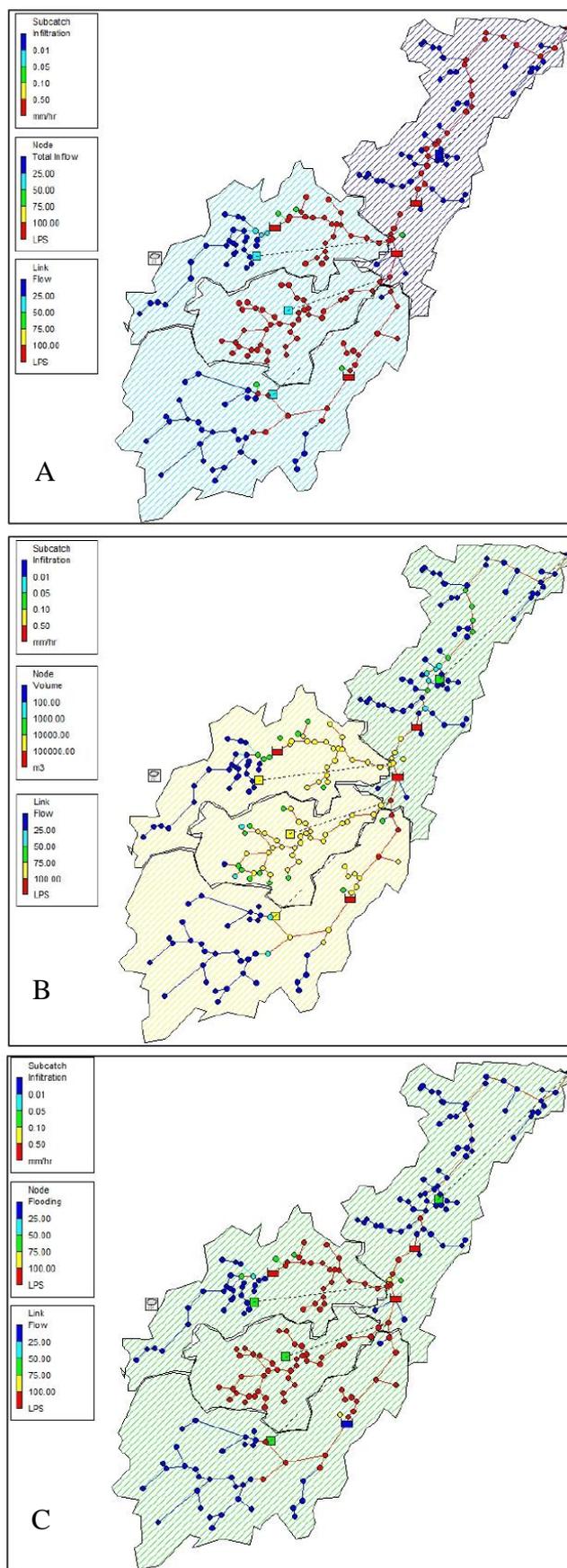


Fonte: elaborado pela autora, 2022.

4.3 Análise dos cenários

As simulações retornaram nove cenários que representaram a dinâmica das chuvas máximas na sub-bacia com o aumento da impermeabilização. Para o diagnóstico geral da bacia, o relatório subsidiado pelas imagens da Figura 07 apresenta um perfil de afluências totais (*Total Inflow*), volumes (*Node Volume*) e extravasamentos (*Flooding*) condizentes com os constatados e existentes na configuração real dos trechos do riacho na região estudada.

Figura 07 – Representações para aflúências totais, volumes e extravasamentos na rede natural de drenagem.



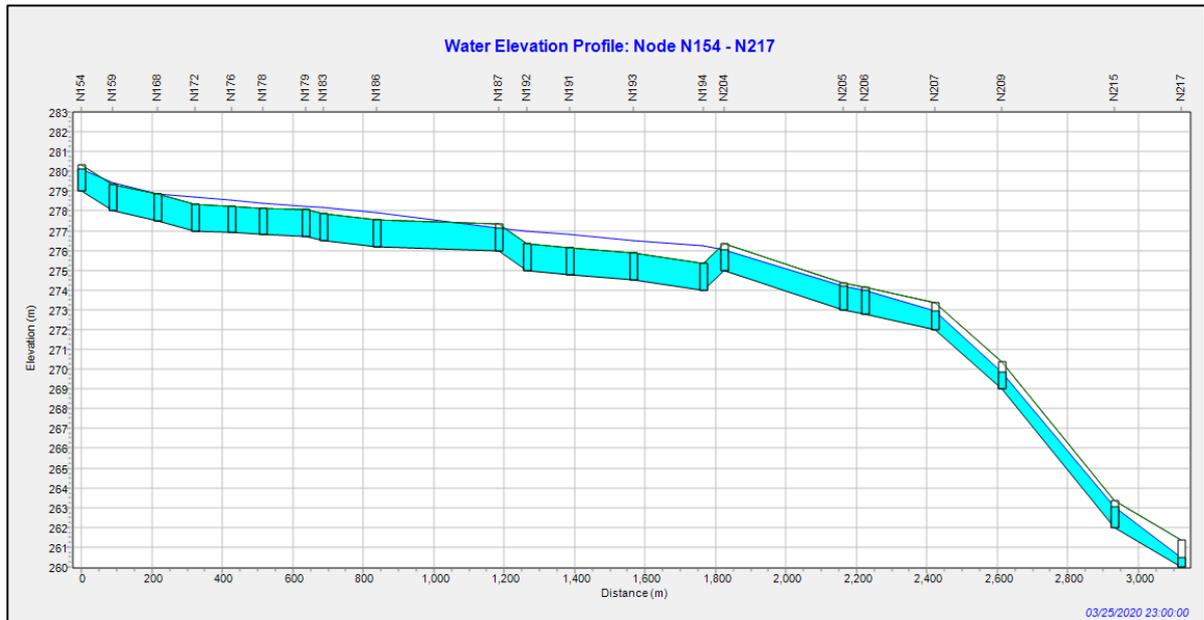
Fonte: elaborado pela autora, 2022.

A representação (A) das afluências em vermelho define bem o curso hídrico principal do riacho Maratoan e principais trechos secundários. O diagrama para o volume nos nós e de fluxo nos condutos (representação B) mostram uma sobrecarga nos segmentos do riacho que adentram a área urbana ao longo de todas as simulações para as ruas Doutor Diderot Catunda Melo e Gustavo Barroso, região esta que segundo moradores de Crateús acontecem recorrentemente as principais enchentes e inundações que acabam por ocasionando danos a população local, indicada pela cor verde. Nestes trechos sobrecarregados de zona urbana é possível verificar áreas de extravasamento (Figura 08), justificando as ocorrências destes fenômenos que ocorrem para as chuvas máximas passíveis da região que alternam conforme as vazões são aplicadas.

Regiões periféricas recorrentemente são locais com menor investimento em infraestrutura, fato este que segundo estudo de Moraes (2017), apresenta um alto índice de existência de fragilidade nos sistemas de drenagem urbana, assim como ocupação irregular às margens dos córregos, que se relaciona às falhas relacionadas à micro e macrodrenagem, e justificam a ocorrência de inundações e déficits no manejo de águas superficiais, situações existentes não somente no território Maratoan, mas em todos os município do país.

Em regiões planas quando impermeabilizadas pelos diversos processos de uso do solo e urbanização, o escoamento das águas é oneroso, criando situações de inundação (MORAES *et al.*, 2017). Crateús, e principalmente o território Maratoan, por ser uma região predominantemente e plana, se assemelha com o observado pelo autor no município de Rio claro (SP) e apresenta pontos de inundações em estáveis condições de relevo, que mesmo que sutis, causa transtornos e acumulação de águas superficiais, a medida que as precipitações aumentam.

Figura 08 – Perfil de elevação da água para os trechos do riacho com indícios de sobrecarga na rede natural de drenagem.



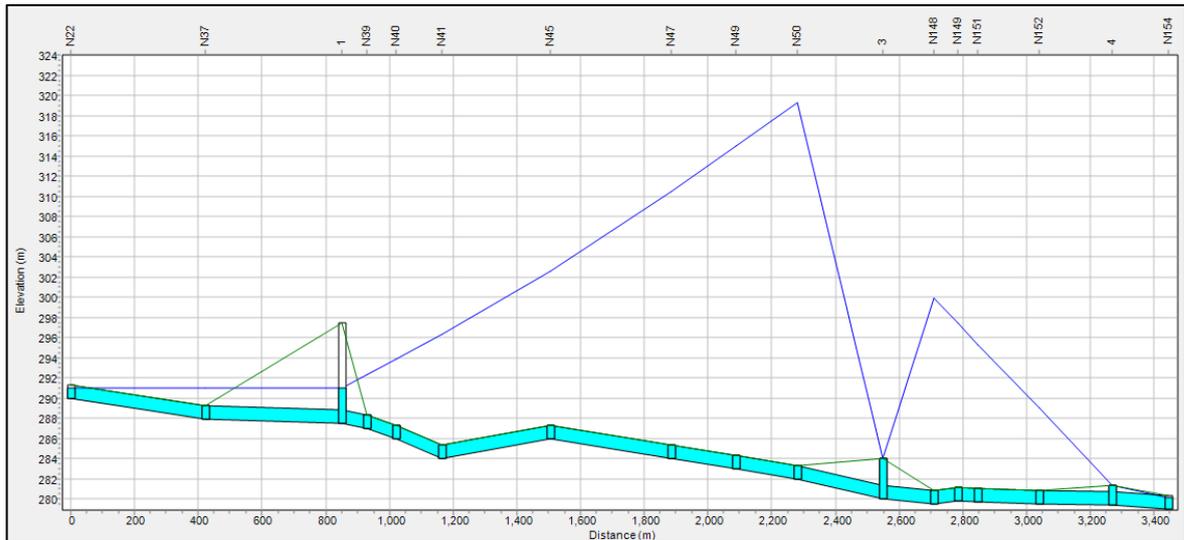
Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Os extravasamentos nos nós (representação C) ilustram em vermelho a presença e a área de contribuição dos reservatórios e barramentos que foram construídos ao longo da bacia, com um acúmulo superior ao de escoamento superficial livre. Como os barramentos são o acúmulo excedente das águas que naturalmente correriam pelos cursos do riacho, este excedente acumulado é análogo ao extravasamento de nós, que em um sistema de drenagem urbana por meio de tubulações simularia os poços de visita. Fato este que colabora com a facilitação do entendimento da dinâmica hídrica natural da área.

Observa-se também, que tanto as aflúncias como os níveis de volume acompanham estes índices de sobrecarga na disposição dos elementos do riacho Maratoan em relação a seus barramentos, mostrando, assim, a influência de barramentos através da construção de açudes com a função de controle de cheias e vazões, e armazenamento de água para épocas de seca.

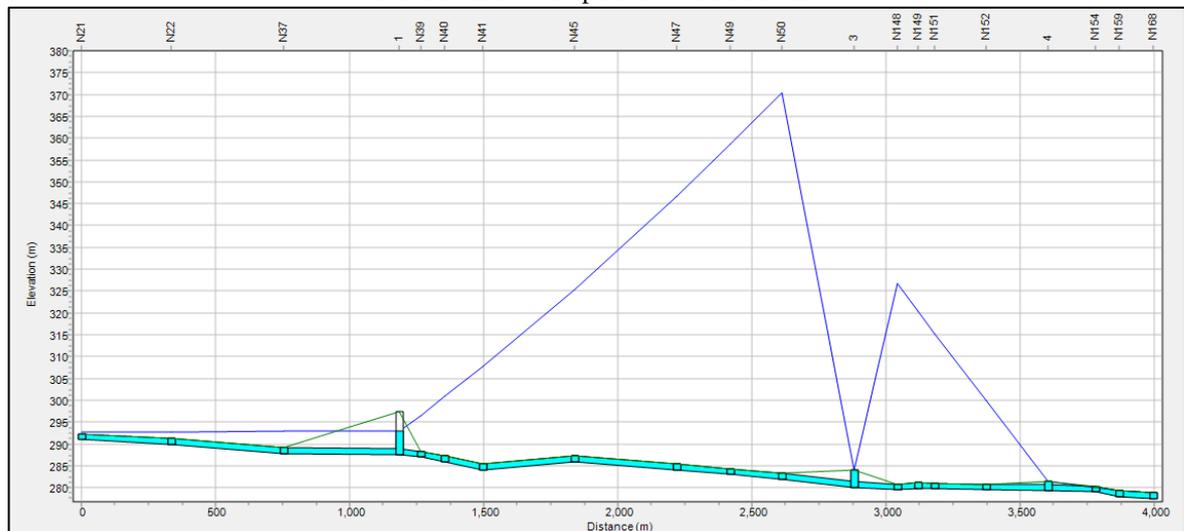
A Figura 09 e a Figura 10 apresentam dos perfis longitudinais dos reservatórios localizados nas sub-bacias um e quatro, que representam os represamentos para os TR's de 05 e 50 anos, respectivamente, e suas cotas alcançadas relativas ao volume de acumulação.

Figura 09 – Perfil de elevação da água para as unidades de armazenamento da rede natural de drenagem para as sub-bacias 01 e 04 para o TR de 05 anos.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Figura 10 – Perfil de elevação da água para as unidades de armazenamento da rede natural de drenagem para as sub-bacias 01 e 04 para o TR de 50 anos.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

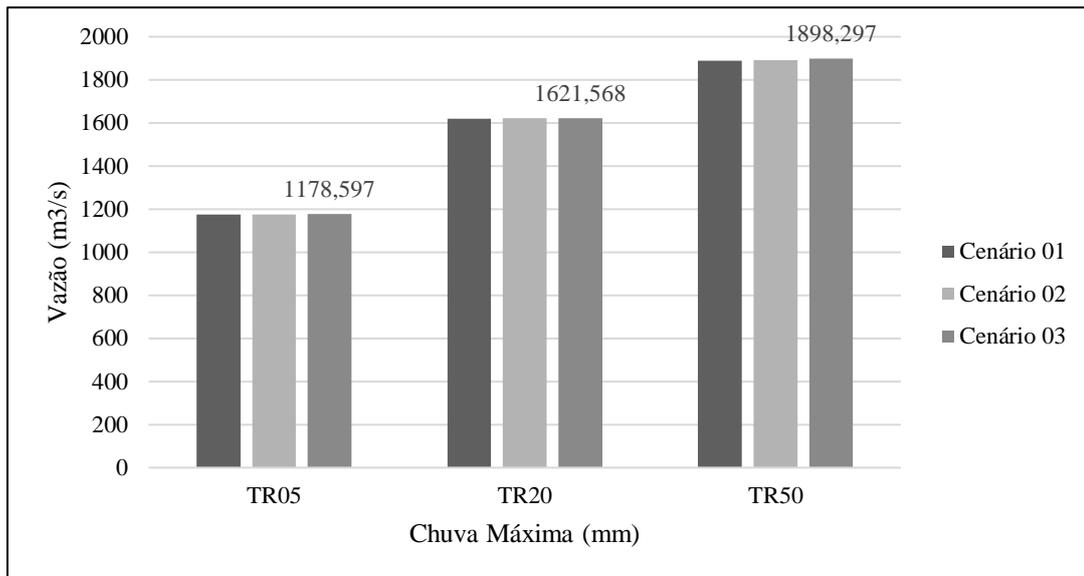
No primeiro agrupamento de dados analisado (Figura 11), observou-se que a atividade de permeabilidades e vazões permaneceram praticamente constantes entre as condições reais e de 20% de aumento da impermeabilização da bacia, exceto por $1\text{m}^3/\text{s}$ de diferença entre as vazões afluentes, conforme Gráfico 01. Este comportamento pode ser atestado pela chuva se tratar de uma precipitação que está se manifestando recorrentemente na região, assim como a cobertura impermeável ainda ser mediana ou baixa nas sub-bacias um,

dois e três. Para o terceiro cenário, com a total cobertura de impermeabilização da sub-bacia 04, a infiltração nesta região aproxima-se a valores nulos e as vazões aumentam.

Observa-se também no Gráfico 01 e na Figura 12 o aumento de taxas de afluências de água e progressão constante nas impermeabilidades conforme a chuva máxima para o tempo de retorno (TR) de 20 anos é aplicado aos cenários na microbacia. Percebe-se também uma constância de aumento nas contribuições da bacia ao riacho a partir de 20% de impermeabilização, de modo que, com a total impermeabilização da sub-bacia quatro e aumento das taxas das demais, o escoamento superficial aumenta de montante a jusante, e contribui da mesma forma. Esta é também uma chuva que ultimamente está se manifestando em Crateús.

Com aumento de camada impermeável por toda a microbacia partindo da zona urbana, observa-se níveis baixos ou nulos de infiltração seguido do posterior aumento da vazão do riacho. A vazão de pico aumenta devido as grandes chuvas geradas no local e trazem uma cobertura igualmente distribuída de índices de infiltração, quando analisada a dinâmica hidráulica para o TR de 50 anos no cenário atual da área. Com aumento de 20% de impermeabilização, na zona urbana do riacho Maratoan é mostrada uma diminuição da infiltração devido atividade do escoamento superficial induzido pelo grande volume de precipitação e uma provável rápida saturação do solo (Figura 13). As vazões aumentam linearmente para cada cenário analisado. Este amortecimento das vazões pode ser em decorrência da rede de reservatórios presentes na microbacia, que atua no controle de cheias a montante a partir da capacidade de armazenamento de volume dos barramentos presentes.

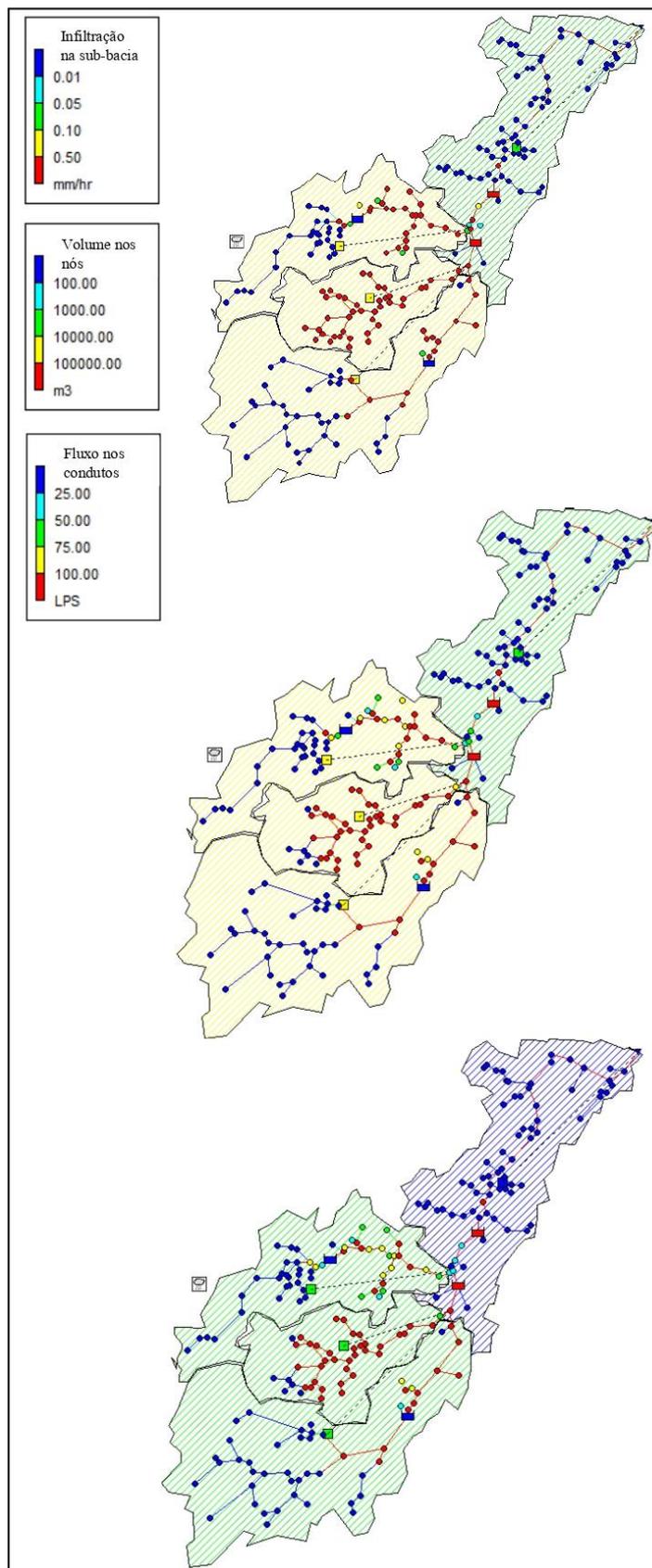
Gráfico 01 – Afluências totais para os diferentes cenários de impermeabilização e chuvas máximas aplicados a Microbacia do riacho Maratoan.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

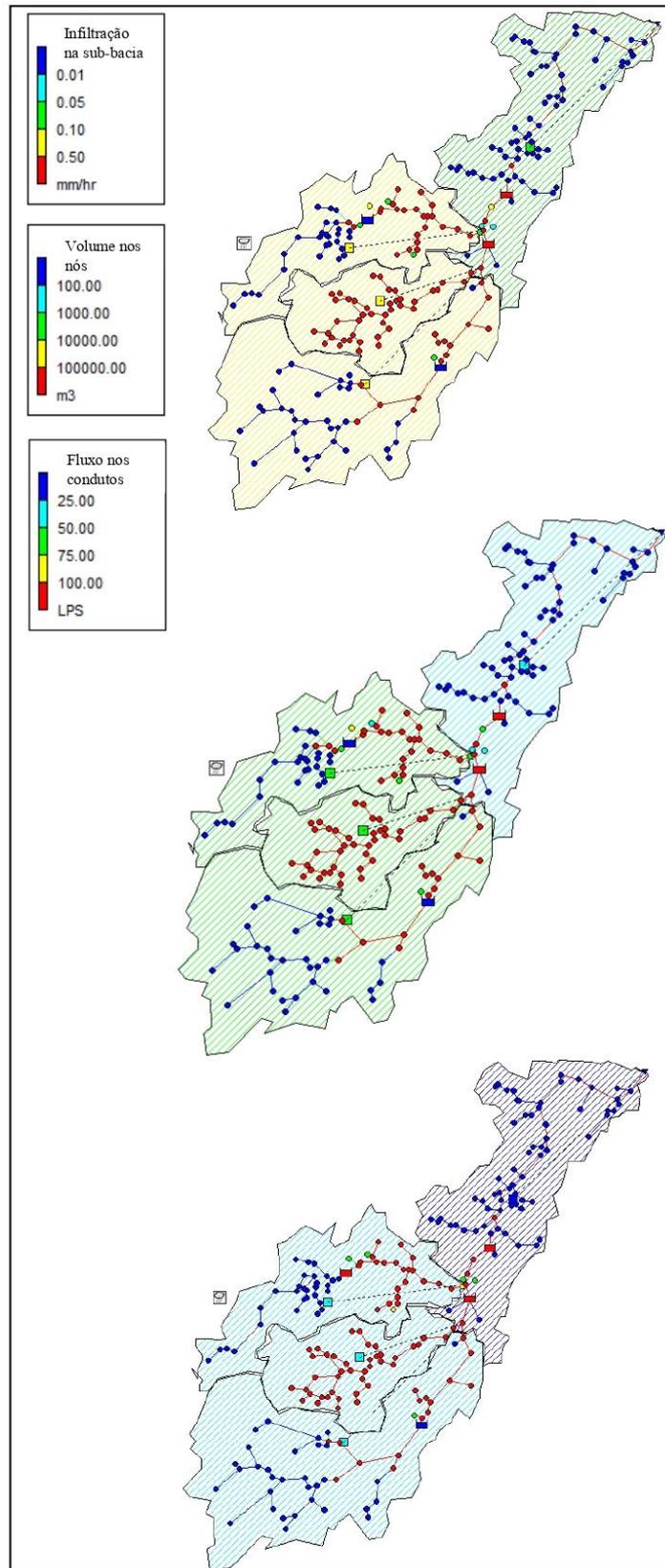
A seguir, nas Figuras 11, 12 e 13 destacam-se as taxas de infiltração na sub-bacia, que se iniciam medianas para as condições reais de cobertura impermeável e tentem a diminuir a cada cenário subsequente aplicado. Por se tratar de uma simulação a mensuração destes valores de infiltração é generalizada para toda a bacia a partir de suas subdivisões, e as representações em cores das imagens mostram pequenos intervalos entre um nível de infiltração e outro, impossibilitando a apresentação real numérica sobre nos resultados obtidos, porém confia-se nos dados devido a conhecimentos prévios de como a microbacia e região do Maratoan se comportam, de modo que a dinâmica de compatível com o simulado e pelo fato de que a análise, gestão e controle das ações através de gráficos e estudos estatísticos qualitativos e quantitativos, contribuem para uma gestão mais eficiente das redes de drenagem urbana (COSTA, 2018).

Figura 11 – Representação dos índices de infiltração das sub-bacias e extravasamentos dos segmentos para TR05 e camadas de impermeabilizações dos cenários analisados.



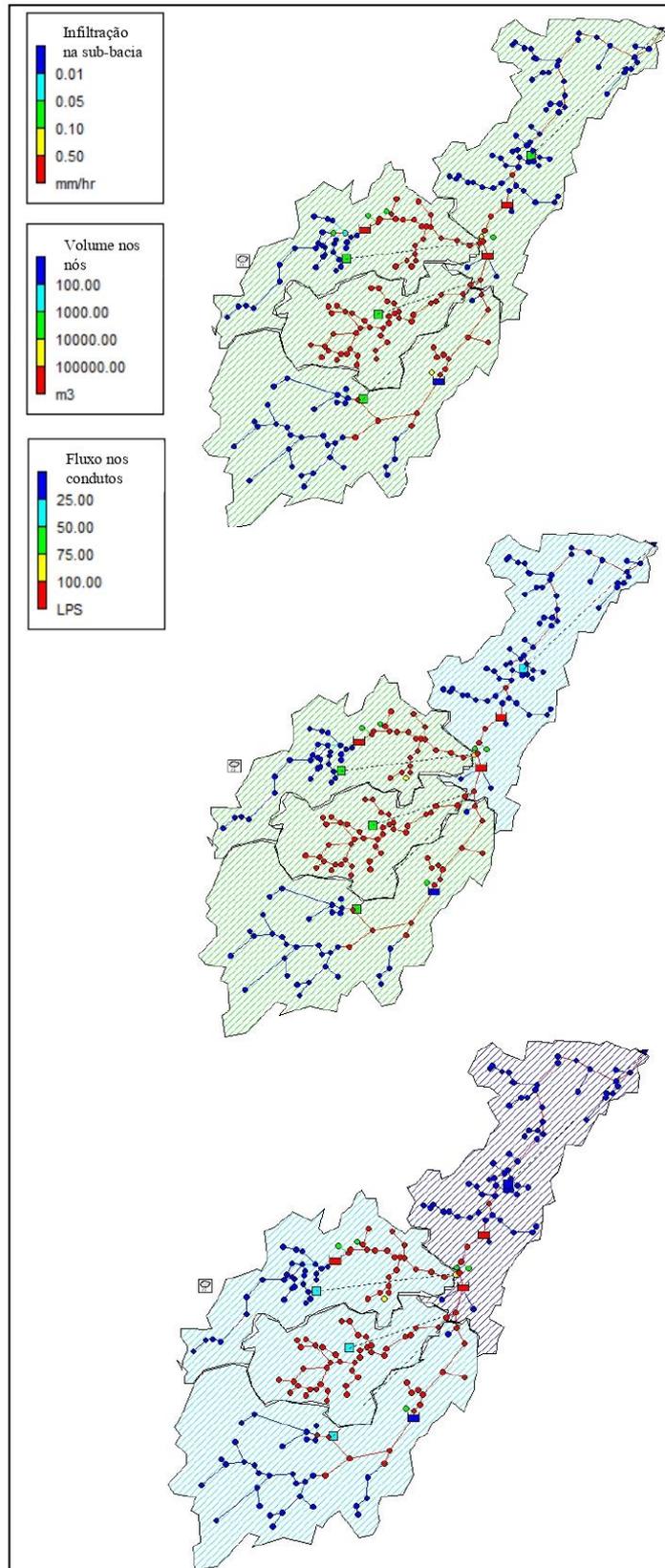
Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Figura 12 – Representação dos índices de infiltração das sub-bacias e extravasamentos dos segmentos para TR20 e camadas de impermeabilizações dos cenários analisados.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Figura 13 – Representação dos índices de infiltração das sub-bacias e extravasamentos dos segmentos para TR50 e camadas de impermeabilizações dos cenários analisados.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

A partir dos estudos elaborados por ferramentas SIG aliados ao conhecimento prévio do local foi possível a criação de uma base de dados assertiva para os valores de entrada do *software* SWMM. Estes dados, assim como as simulações elaboradas mostram de forma realística as atividades e especificidades hidrológica-hidráulicas da microbacia do riacho Maratoan, presente em zona urbana do município de Crateús. Observa-se que a representação das aflúncias totais se compatibiliza com o presente na região e imagens base do geoprocessamento, definindo os cursos d'água principais do riacho e regiões de recarga dos reservatórios presentes que se apresentam de forma predominante na região.

Em resumo, tem-se a apuração de que a sub-bacia quatro, onde o território Maratoan de dispõe, já está em condições de impermeabilidade máxima pelos diversos usos do solo aplicados a região e áreas a montante, encaminhando-se a um estado crítico de capacidade de acomodação segura das águas superficiais, de modo que com a aumento das precipitações as vazões e aflúncias aumentam na bacia e em seus respectivos pontos de estresse, causando danos aos moradores da área. Esta constatação é semelhante aos resultados obtidos por Mesquita *et al.* (2020) para uma bacia hidrográfica urbana de Fortaleza-Ce, em que o aumento de cerca da impermeabilização não altera a vazão de pico, e o aumento da impermeabilização ocasionaria inundações mais intensas e frequentes ao longo da bacia. A partir da análise e comparações de aflúncias com os diferentes TR's, vê-se que existiu uma pequena diferença entre as vazões de pico entre os mesmos cenários, indicando que a microbacia já está saturada e em estado crítico, comportamento igualmente observado por Justino para o Município de Uberlândia-MG (2012).

5 CONCLUSÃO

O território Maratoan na cidade de Crateús, Ceará apresenta pontos de estresse em seus sistemas de drenagem de águas superficiais urbanas, de modo que, a partir da modelagem hidrológica-hidráulica realizada pode-se constatar desde primeiro momento áreas inundáveis na rede de manejo superficial natural da região para as chuvas máximas aplicadas, o que comprova os intercorrentes acontecidos em diversos trechos do sistema drenante.

Com a caracterização dos parâmetros fisiográficos da microbacia do riacho Maratoan os resultados retornaram consistentes análises da microbacia urbana estudada, representando a qualidade representada por estudos embasados em sensoriamento remoto e geoprocessamento, materiais estes que deve estar corriqueiramente sendo utilizados como ferramentas de obtenção de melhoria das condições fundamentais de habitação local, e não só em problemáticas mais complexas.

As chuvas máximas retornaram valores condizentes da atividade de precipitações para Crateús, de modo que se observa compatibilidade do estudo para as máximas dos referidos TR's e respectivos comportamentos da bacia nas simulações. Quanto as faixas de impermeabilização adotadas para coberturas atuais da microbacia, percebe-se que se aplicam as realidades de coberturas impermeáveis reais e já se encontram em eminente cenário de sobrecarga do sistema para os cenários 02 e 03.

A modelagem hidrológica da microbacia apresenta as áreas de ocorrências de inundações no perímetro urbano do território Maratoan, representadas na simulação por meio do extravasamento do volume de aporte dos trechos do riacho, que atestam as considerações de a região apontada ser uma das áreas de risco de probabilidade de inundações e consequentes problemas relacionados à manejo de águas pluviais no município de Crateús.

Para os cenários de impermeabilização aplicados a chuva máxima obtida através TR de 05 anos observa-se consideráveis e constantes níveis de infiltrações para até 20% de incrementação de camadas impermeáveis a bacia. Estes valores baixam quando há um incremento de 40% de impermeabilização na área. Os valores de infiltração para o TR20 diminuem gradativamente ao passo que as coberturas de impermeabilização são acrescidas a bacia, de modo que a área urbana presente na mesma possui valores mínimos e até mesmo nulos de absorção de água na superfície, o mesmo processo ocorre para o TR50, porém em maiores proporções. As vazões afluentes em cada cenário crescem linearmente a cada análise, tanto pelo

amortecimento das vazões pela rede de reservatórios presentes na microbacia, quanto pelo aumento das precipitações e escoamento superficial.

Recomenda-se que a partir desta simulação e análise de cenários para drenagem superficial, sejam elaborados estudos que se aprofundem nas especificidades da região, a fim de caracterizar de forma real os parâmetros locais e entender demais indicadores que influenciam nas características hidrológicas-hidráulicas da microbacia. A realização de visitas *in loco* a pontos específicos da bacia e segmentos do riacho são interessantes para realizar dimensionamentos da rede de manejo das águas pluviais superficiais concisos assim como a inserção de obras de infraestrutura com base em tecnologias LID no Território Maratoan, e em demais áreas construídas a montante da microbacia. Estas condutas além de refinar e direcionar análises e soluções, mobilizam a população para subsidio na elaboração de políticas públicas e estudos consistentes, que são base para elaboração de Planos municipais de saneamento básico e principalmente, planos municipais de drenagem urbana.

Neste sentido, observa-se a importância e necessidade de qualificações específicas ao uso de tecnologias e *softwares* por parte dos profissionais destinados ao gerenciamento de projetos e estudos de saneamento, em especial os de drenagem urbana, pois, para além de trazerem visão holística sobre diagnósticos locais relacionados a temática, possibilitam também comprovações técnicas e científicas para a atuação profissional na prática, universalizando tanto a prestação dos serviços, quanto a qualidade destes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.; e SERRA, J. C. V. **Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas**. Revista FAE. v. 20, n. 1, p. 129 – 137. Curitiba. 2017.
- ARAÚJO, E. M, et al. **Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE**. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 1, p. 36-45, jan-mar, 2010. www.ccarevista.ufc.br. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20100005>. Acesso em: maio de 2022.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília – DF**. Jul. 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: agosto de 2021.
- BRASIL. **Enchentes 2004: Relatório Sala de Situação. Brasília – DF**. Mar.2004 Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/min000013.pdf>>. Acesso em: 1 outubro de 2021.
- FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz; CEDEPLAR. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). **MUDANÇAS CLIMÁTICAS, MIGRAÇÕES E SAÚDE: CENÁRIOS PARA O NORDESTE BRASILEIRO, 2000-2050**. (Relatório de Pesquisa). Belo Horizonte: CEDEPLAR/FIOCRUZ, Julho de 2008. Disponível e: <<https://cedeplar.ufmg.br/publicacoes/>>. Acesso em: agosto de 2021.
- COLLISCHONN, Walter. **Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. rev. e ampl Porto Alegre: ABRH, 2013. 342 p., il. algumas color., tabs. Inclui referências. ISBN 9788588686342. Disponível: <https://docero.com.br/doc/ee1csc8>>. Acesso em: julho de 2022.
- COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- COSTA, M. E. L. **Modelagem hidrológica e hidráulica usando o SWMM - Storm Water Management Model na bacia urbana do Riacho Fundo I - Distrito Federal**. Research, Society and Development. v. 10, n. 1. Edição 6010111458, (CC BY 4.0). ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11458>. Brasília. 2021.
- COSTA, R. F. et al. **Como combater as enchentes em drenagem urbana um caso de ações de controle e gestão de eficiência**. Encontro Técnico AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. 29º cpngresso Navional de Sanemaneto e Meio Ambiente. Bom Retiro - São Paulo-SP. 2018. Disponível: < <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/combater-enchentes-drenagem-urbana/>>. Acesso em: março de 2022.
- CRUZ, M. A. S; *et al.* **Controle da drenagem urbana no brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo.

2017. Disponível: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/controladrenagemurbana.pdf>>. Acesso em: agosto de 2021.

CUNHA, S.F.; Silva, F.E.O.; Mota, T.U.; et al. **Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para Cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. DOI: 10.21168/rbrh.v20n4.p837-848. Porto Alegre. v. 20, n.4, p. 837 – 848, out. /dez., 2015. Disponível em: <https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/156/3b19fed36cf52712e217179a3483b424_fdc662cf56145d1962c8b009e5280268.pdf>. Acesso em: 27 de junho de 2022.

GOMES, V. U. **Estudo comparativo dos modelos da onda cinemática e da onda difusiva na análise de propagação de cheias, em função dos parâmetros hidráulicos da bacia.** 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17012/1/2006_dis_vugomes.pdf>. Acesso em: junho de 2022.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal 2017 Crateús.** Fortaleza: IPECE, 2018b. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Crateus_2017.pdf>. Acesso em: agosto de 2021.

JUSTINO, E. A. et al. **Análise do Efeito da Impermeabilização dos Solos Urbanos Na Drenagem De Água Pluvial do Município de Uberlândia-MG.** Espaço em Revista, Goiânia, v. 13, n. 2, 2012. DOI: 10.5216/er.v13i2.16884. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/16884>>. Acesso em: março de 2022.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP. p. 1-11. São Paulo. 2012.

MESQUITA, J. B. F; et al. **Impacto da impermeabilização na hidrologia de uma bacia urbana.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, XIII., 19 e 20 out. 2020, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS, III., 21 e 22 out. 2020. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Anais online [...] Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2020. Formato online.

MESQUITA, J. B. F; et al. **Modelagem da drenagem urbana e avaliação das cargas bacteriológicas na Vertente Marítima de Fortaleza, Ceará.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, 205-216, jan./fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020189161>. Acesso em: agosto de 2021.

MOURA, N. C. B. **Transição em Infraestruturas Urbanas e Controle Pluvial: Uma Estratégia Paisagística de Adaptação às Mudanças Climáticas.** Paisagem e ambiente: ensaios. n. 34. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i34p107-128>. p. 107 – 128. São Paulo. 2014.

MORAES, I. C; et al. **Interferência do Uso da Terra nas Inundações da Área Urbana do Córrego da Servidão, Rio Claro (SP).** Revista Brasileira de Geomorfologia - v.13, n.2, (Abr-Jun) p.187-200, nº 1, 2012. Disponível em: <

<https://pdfs.semanticscholar.org/cab4/c7177501f6d40ea9a011a605ab9c051e851b.pdf>>.
Acesso em: agosto de 2021.

MORAES, G. F. et al. **Avaliação da Fragilidade do Sistema de Drenagem Pluvial Urbana: o Caso Da Bacia Hidrográfica do Córrego Quarta-Feira em Cuiabá – MT.** Congresso ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. FENASAN Feira Nacional do Saneamento e Meio Ambiente. 2017. Disponível em: <<https://abesnacional.com.br/XP/XPEasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/IX-106.pdf>>. Acesso em: agosto de 2021.

QUINTO JUNIOR, L. P. **Nova legislação urbana e os velhos fantasmas.** ESTUDOS AVANÇADOS 17. p. 47. São Paulo. 2003.

RIBEIRO, C. C. B. **Aplicabilidade Do Modelo Swmm No Planejamento Da Drenagem De Bacias Urbanas Brasileiras.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 12, Vol. 07, pp. 100-112. ISSN:2448-0959. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/bacias-urbanas-brasileiras. 2018.

ROSSMAN, L. A., e HUBER, W. C. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology.** Cincinnati (EUA): USEPA (United States Environment Protection Agency). 2016.

SANTOS, L. L. **MODELOS HIDRÁULICOS-HIDROLÓGICOS: Conceitos e Aplicações RBGF-** Revista Brasileira de Geografia Física. Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19. Recife-PE. Disponível em: < <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/232624/26638>>. Acesso em: agosto de 2021

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará. **Curso de educadores ambientais - Módulo 5 - Mudanças Climáticas e Ambientais.** Soluções Ambientais, Ambientagro. Edição revisada e ampliada. Fortaleza – CE. 2017.

SOUZA, V. C. B. **Gestão da drenagem urbana no brasil: desafios para a sustentabilidade.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). v.1. n.1. p. 057-072. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v1i1.7105>. Alagoas. 2013.

SLEIGH, P A; GOODWILL I M. **The St Venant Equations.** Notas: School of Civil Engineering University of Leeds. 2000. Disponível em: < <http://www.efm.leeds.ac.uk/%E2%80%A6/stvenant.pdf> >. Acesso em: junho de 2022.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas.** Estudos Avançados 22 (63), 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana.** Escritório no Brasil/IPEA. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p. Brasília, DF: CEPAL. 2012.

VILLANUEVA, A. O. N; et al. **Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação.** REGA – Vol. 8, no. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011. Disponível em: <https://abrh.s3.amazonaws.com/Sumarios/77/73df4ffae7c67637fed63d1dc71dc43e_834c8074f62eefde b0e9f8057c372154.pdf>. Acesso em: agosto de 2021.