



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA DE JESUS DELMIRO ROCHA

APLICAÇÃO DO SWMM PARA MODELAGEM HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA
EM UMA GRANDE BACIA DE UM RIO COSTEIRO

FORTALEZA

2019

MARIA DE JESUS DELMIRO ROCHA

APLICAÇÃO DO SWMM PARA MODELAGEM HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA EM
UMA GRANDE BACIA DE UM RIO COSTEIRO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto
Coorientador: Dr. Silvano Porto Pereira

FORTALEZA

2019

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)

- R574a Rocha, Maria de Jesus Delmiro.
Aplicação do SWMM para Modelagem Hidrológico-Hidráulica em uma Grande Bacia de um Rio Costeiro / Maria de Jesus Delmiro Rocha. – 2019.
62 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto.
Coorientação: Prof. Dr. Silvano Porto Pereira.
1. Rio Cocó. 2. Macrodrenagem urbana. 3. SIG. 4. Modelo semi-distribuído. 5. Influência de maré. I. Título.

CDD 620

MARIA DE JESUS DELMIRO ROCHA

APLICAÇÃO DO SWMM PARA MODELAGEM HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA EM
UMA GRANDE BACIA DE UM RIO COSTEIRO

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal do
Ceará como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 21 / 11 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a Ana Bárbara de Araújo Nunes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Iran Eduardo Lima Neto, pela dedicada orientação durante todo o tempo em que trabalhamos juntos. Pela sensibilidade em compreender os desafios que apareceram e prontidão em ajudar-me a resolvê-los. Pelo entusiasmo contagiante e motivador diante de cada pequeno progresso que obtivemos e pelo incentivo contínuo em potencializar o valor e o retorno do trabalho realizado.

Ao meu coorientador, Silvano Porto Pereira, por ter sido um gerente e orientador excepcionais, por ter desenvolvido junto comigo este trabalho em muitas tardes de discussão, pelo direcionamento otimizado para atingir mais rápido os resultados e por sempre ter me instigado a buscar a máxima performance e com excelência.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará pela oportunidade de estágio proporcionada em que foi possível desenvolver este trabalho e pela enriquecedora experiência profissional. Agradeço também a todos seus colaboradores por estarem sempre muito solícitos e dispostos a compartilhar seu conhecimento e a disponibilizar todos os dados necessários para a realização deste trabalho.

A todos os colaboradores da Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Cagece em particular, pessoas admiráveis, competentes e atenciosas com as quais pude conviver e me desenvolver pessoal e profissionalmente.

Aos meus grandes amigos Francisco Gustavo Viana Leitão, pelos conhecimentos em oceanografia que muito agregaram a este trabalho, Diego Alves Tabosa, pela ajuda no aperfeiçoamento do modelo, e Matheus Ferreira da Rocha, por sempre buscar auxiliar-me com ferramentas de programação e otimizar meu trabalho.

RESUMO

A influência dos parâmetros físicos e hidrológicos envolvidos na transformação chuva-vazão em uma bacia hidrográfica torna esse processo complexo e dinâmico. O presente trabalho avaliou a resposta hidrológica para a bacia do rio Cocó, bacia esta com características rurais e urbanas, por meio do software Storm Water Management Model – SWMM. A bacia foi modelada sob condição de precipitação moderada e influência da maré em seu exutório, reconstruída a partir do método harmônico. Realizou-se a discretização da área em estudo em sub-bacias de drenagem, desenvolveu-se um modelo de escoamento, um mapa de uso e ocupação do solo por meio de ferramentas baseadas em Sistemas de Informações Geográficas – SIG e estimou-se os parâmetros físicos e espaciais de cada sub-bacia e trechos da drenagem. Os resultados mostraram que o SWMM simulou as vazões nos trechos de drenagem das sub-bacias rurais com desvio médio em torno de 8,6% das vazões medidas em campo. Para os trechos sob influência marinha, próximos à foz do rio Cocó, os resultados mostraram que o que o SWMM foi capaz de simular com boa precisão o efeito da maré ao descrever a oscilação completa de maré nos trechos da zona estuarina. Ademais, para estes trechos, o ajuste entre as vazões medidas e modeladas resultou em coeficientes de Nash-Sutcliffe em torno de 0,6, os quais foram considerados satisfatórios. Em resumo, os resultados obtidos e o modelo proposto têm potencial para auxiliar na gestão integrada de águas rurais, urbanas e costeiras.

Palavras-Chave: Rio Cocó. Macrodrenagem urbana. SIG. Modelo semi-distribuído. Influência de maré.

ABSTRACT

The influence of physical and hydrological parameters involved in the rainfall-runoff transformation in a river basin makes this process complex and dynamic. The present work evaluated the hydrological response for the Cocó river basin which has rural and urban characteristics through Storm Water Management Model – SWMM software. The basin was modelled under moderate precipitation conditions and under tidal influence in its outlet by using the harmonic method. The study area was subdivided into small drainage sub-basins, and drainage flow and land use and occupation models were developed based on Geographic Information Systems – GIS. Finally, the physical and spatial parameters of each sub-basin and drainage stretches were estimated. The hydrological-hydraulic simulation was then performed in the SWMM software for a period of one month. The results showed that SWMM simulated the flows in the drainage sections of the rural sub-basins with average deviation around 8,6% of the measured flow in the field. For stretches under tidal influence, near the Cocó river mouth, the results showed that what SWMM was able to simulate with good precision the effect of the tide describing a complete tidal oscillation in the estuarine stretches. Moreover, for these stretches, the fit between the measured and modelled flows led to Nash-Sutcliffe coefficients around 0.6, which were considered satisfactory. In summary, the results obtained and the proposed model have potential to assist in the integrated management of rural, urban and coastal waters

Keywords: Cocó river. Urban macro-drainage. GIS. Semi-distributed model. Tidal effect.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemáticas dos elementos da drenagem urbana.....	16
Figura 2 - Balanço hidrológico em uma bacia rural e em uma bacia urbana.	17
Figura 3 - Variáveis das Equações da continuidade e da quantidade de movimento.....	19
Figura 4 - Representação do modelo do reservatório não-linear em uma sub-bacia.....	20
Figura 5 - Representação do grau de discretização das bacias por tipo de modelo.....	22
Figura 6 - Detalhamento dos autores e trabalhos anteriores realizados sobre o Rio Cocó.....	26
Figura 7 - Fluxograma da metodologia empregada.....	27
Figura 8 - Localização da bacia do rio Cocó, no Estado do Ceará, Brasil.	28
Figura 9 - Condições de fluxo analisados pelo método da onda dinâmica.....	30
Figura 10 - Dados necessários para representar uma seção natural de rio.	36
Figura 11 - Seções de calibração e validação (a) nos trechos sob influência marinha e (b) nos trechos em regime permanente.	39
Figura 12 - Macrodrenagem delimitada e uso e ocupação do solo da bacia do rio Cocó.	40
Figura 13 - Percentual de impermeabilidade das sub-bacias.....	41
Figura 14 – Detalhamento dos trechos da região estuarina do rio Cocó.	43
Figura 15 - Detalhamento do rio principal entre a barragem do Cocó e a BR-116.....	44
Figura 16 - Detalhamento do reservatório Gavião e da ETA Gavião no modelo do SWMM.	45
Figura 17 - Localização dos postos pluviométricos na bacia.	46
Figura 18 - Precipitação acumulada diária nos postos pluviométricos da bacia do Cocó e no posto pluviométrico do Pici.	47
Figura 19 - Curva de maré reconstruída com dados do porto do Mucuripe, Fortaleza-CE.	47
Figura 20 - Curva de vazão média residual de lavagem dos filtros da ETA - Gavião e padrão temporal desenvolvido.....	48
Figura 21 – Distribuição dos Coeficientes de rugosidade de Manning dos trechos da bacia...51	
Figura 22 - Coeficiente n de Manning para alguns trechos da drenagem.	52
Figura 23 - Vazões medida e modelada na seção de calibração.....	53
Figura 24 - Vazões medida e modelada na seção de validação.....	54
Figura 25 - Vazão modelada mensal e precipitação para a seção árvore.	55
Figura 26 - Vazões medida e modelada nas seções à jusante da ETA Gavião (a) 2 e (b) 1.....	56
Figura 27 - Seções topográfica atuais e do período de medição para os trechos da (a) barraca (b) árvore (c) Murilo Borges e (d) Sebastião de Abreu.	57

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Cobertura do solo adotada para a bacia com respectivas classes hidrológica e Curve Number conforme NRCS	33
Tabela 2 - Uso do solo e coeficiente de rugosidade adotado segundo manual do SWMM	35
Tabela 3 - Estatísticas dos principais parâmetros das sub-bacias.....	49
Quadro 1 - Variáveis e classificação do escoamento de fluidos.....	18
Quadro 2 - Parâmetros de calibração do modelo.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Objetivos	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	Sistemas de Drenagem Urbana	14
2.1.1	<i>Drenagem de Águas Residuárias</i>	14
2.1.2	<i>Drenagem de Águas Pluviais</i>	14
2.1.2.1	<i>Macrodrenagem e microdrenagem</i>	15
2.2	Impactos Antrópicos na Macrodrenagem	16
2.3	Modelagem de Sistemas de Drenagem Urbana	17
2.3.1	<i>Conceitos fundamentais sobre escoamento</i>	17
2.3.2	<i>Modelagem hidrológico-hidráulica</i>	20
2.3.2.1	<i>Modelo Chuva-Vazão</i>	20
2.3.2.2	<i>Modelos Hidrológicos Concentrados e Distribuídos</i>	21
2.3.3	<i>Softwares para simulação hidrológico-hidráulica</i>	22
2.3.3.1	<i>Sistemas de Informações Geográficas</i>	23
2.4	Sistemas Estuarinos e Influência Oceânica	23
2.4.1	<i>Escoamento e efeito da maré no nível d'água em canais estuarinos</i>	24
2.4.2	<i>Componentes de maré e previsão</i>	24
2.5	Trabalhos Regionais Desenvolvidos sobre o Rio Cocó	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Etapas metodológicas desenvolvidas	27
3.2	Delimitação da área em estudo	27
3.3	Levantamento de dados e preparação do Modelo	29
3.3.1	<i>Descrição do uso e ocupação do solo da bacia</i>	29
3.3.2	<i>Preparação do Modelo Digital de Elevação</i>	29
3.3.3	<i>Método de análise adotado</i>	30
3.4	Base de dados e condições para a simulação	31
3.4.1	<i>Série de precipitação</i>	31
3.4.2	<i>Caracterização do exutório</i>	31
3.4.3	<i>Caracterização de vazão permanente lançada no sistema</i>	32
3.4.4	<i>Caracterização dos nós da rede</i>	32

3.4.5	<i>Delimitação e caracterização do sistema de drenagem</i>	32
3.4.5.1	<i>Algoritmo D8 para Delimitação automática das sub-bacias e condutos</i>	32
3.4.5.2	<i>Uso do solo e Infiltração das sub-bacias</i>	33
3.4.5.3	<i>Parâmetros de impermeabilização das sub-bacias</i>	34
3.4.5.4	<i>Parâmetros de impermeabilização dos condutos</i>	35
3.4.5.5	<i>Caracterização das seções transversais naturais</i>	35
3.5	Calibração e validação	37
3.5.1	<i>Calibração do módulo Runnof</i>	37
3.5.2	<i>Simulação e validação</i>	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Delimitação das sub-bacias, dos trechos da macrodrenagem e caracterização do uso do solo da bacia	40
4.2	Modelo de drenagem exportado para o SWMM	41
4.3	Precipitação e vazões afluentes ao sistema	46
4.4	Análise dos parâmetros do módulo <i>Runoff</i> e dos resultados da calibração	48
4.4.1	<i>Parametrização das sub-bacias</i>	48
4.4.2	<i>Parâmetros calibrados dos condutos</i>	50
4.4.3	<i>Ajuste entre as vazões medidas e modeladas</i>	53
4.5	Validação do modelo hidrológico-hidráulico	54
4.5.1	<i>Seções sob influência marinha</i>	54
4.5.2	<i>Seções em regime permanente</i>	55
4.6	Limitações do modelo	57
5	CONCLUSÕES	58
5.1	Recomendações	58
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

As características da bacia hidrográfica, seja cobertura vegetal, condições climáticas, ações antrópicas, processos atuantes no relevo, dentre outras, repercutem direta ou indiretamente no sistema de drenagem existente. Essa repercussão pode ser percebida no volume de água conduzido, na velocidade do escoamento, na variação das descargas, na probabilidade de ocorrência de eventos extremos além das próprias mudanças morfológicas na calha principal dos rios, como resultado da conformação à situação encontrada. Resumidamente, expressivas intervenções ou mudanças na bacia hidrográfica refletem em seus rios e estuários (RODRIGUES; ADADI, 2005).

Em regiões urbanas consolidadas, as ações antrópicas, principalmente os processos de impermeabilização e mudança dos caminhos preferenciais da drenagem natural, modificam significativamente o volume e o comportamento da água escoada (CARDOSO *et al.*, 2014). A relação chuva e escoamento nessas regiões apresentam-se através de hidrogramas de vazão cujos picos são alcançados em menor tempo e maior volume, ocasionando uma série de problemas de caráter social e econômico. Devido aos custos associados aos sistemas de drenagem, sua dinâmica de funcionamento e o estresse relacionado às suas falhas, faz-se necessário a antecipação desses desafios (BABOVIC *et al.* 2018).

A cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, possui como maiores elementos da macrodrenagem natural os rios Maranguapinho, Ceará e Cocó. O rio Cocó em particular, devido a extensão da sua bacia hidrográfica, é um rio que percorre zonas rurais e urbanas além de incidir sobre a zona costeira de Fortaleza. Assim, desde áreas de vegetação mais densa na nascente, a regiões mediana e densamente urbanizadas, além de diversas ocupações irregulares suscetíveis a alagamentos e enchentes nos entornos da sua foz, observa-se diferentes e significativas mudanças de uso e ocupação do solo ao longo de seu percurso.

Ressalta-se ainda que, como peculiaridade para os rios costeiros, a existência de uma região estuarina exprime no escoamento dos canais ou trechos da drenagem submetidos a influência oceânica características particulares, como a periódica variabilidade no nível da água, no volume e no sentido do fluxo de escoamento (CHEN, W.; SWART, 2018; DRONKERS, 2017; MOHANTY, 2019; YIN *et al.*, 2018).

1.1 Justificativa

Os elevados impactos provocados pela urbanização acelerada e o desequilíbrio entre esse crescimento e a preservação do meio natural são inegavelmente percebidos na quantidade e qualidade da água dos rios urbanos, especialmente em regiões densamente habitadas. Dentre os diversos cursos d'água de Fortaleza e região metropolitana, intermitentes ou perenes, naturais ou artificiais, o rio Cocó desponta como o rio perene de maior extensão e relevância para essa região, com aproximadamente 50 km de extensão, atravessando dezoito bairros da cidade e responsável por cerca de 60% de toda a drenagem da capital (CEARÁ, 2010).

A aplicação de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos visando fundamentar a análise e interpretação do fenômeno de escoamento através da transformação chuva-vazão, mediante a complexidade e a quantidade de variáveis envolvidas neste processo, é ferramenta indispensável por permitir a integração de informações espacialmente dispersas, o entendimento da dinâmica do ambiente e possibilitar a simulação de cenários futuros (GIRÃO *et al.*, 2017).

A modelagem da propagação da água escoada pela drenagem urbana natural e artificial constitui-se como uma ferramenta estratégica de planejamento operacional urbano, onde a discretização de toda a área de interesse em sub-bacias, unidade de contribuição específica a um trecho de drenagem, providencia um melhor gerenciamento de riscos e falhas nos sistemas, uma vez que avaliando a interação entre as sub-bacias de captação pode-se melhor simular o desempenho do sistema (MAKSIMOVIC *et al.*, 2009).

O *Storm Water Management Model* (SWMM), desenvolvido pela *US Environmental Protection Agency's*, é um modelo de simulação chuva-vazão amplamente utilizado para a modelagem hidrológica urbana, seja através de eventos pontuais ou de séries de precipitação. Sua utilização, porém, consoante com Niemi *et al.*, (2019), demanda detalhamento espacial e caracterização física individual acurada das áreas de contribuição, principalmente quanto aos parâmetros de uso e ocupação do solo.

Embora a aplicação do SWMM tenha sido amplamente utilizada em estudos anteriores para modelagem dos sistemas de drenagem, estes estudos abrangeram principalmente a simulação da microdrenagem ou de pequenas bacias densamente urbanas (BATISTA e BOLDRIN, 2018; JÚNIOR *et al.*, 2016; KREBS *et al.*, 2013). A aplicação do SWMM em uma grande bacia, com características urbanas e rurais, de um rio costeiro, sujeito à influência marítima em sua foz, configura-se como ferramenta de significativa relevância para áreas

urbanas que possuem um núcleo mais urbanizado e uma região periférica em processo de transição, situação esta comum à maioria das cidades litorâneas do semiárido nordestino (BEZERRA e SILVA, 2018; MIRANDA e GOMES-JÚNIOR, 2017).

O rio Cocó já foi objeto amplo de estudo principalmente em sua área estuarina. Estudos englobando a modelagem hidrodinâmica bidimensional dos efeitos da maré, dos transientes hidráulicos na calha principal do rio e também avaliação da dragagem da calha menor do rio com o objetivo de reduzir problemas com enchentes nas regiões ribeirinhas foram previamente desenvolvidos. Entretanto o desenvolvimento de um modelo amplo do rio e seus tributários integrando as características físicas do uso do solo e a hidrologia local como ferramenta para a simulação das vazões propagadas no rio Cocó e até a foz sob efeito da maré ainda não foi proposto. Este modelo pode ainda ser utilizado como ferramenta de análise integrada dos impactos ocasionados por intervenções físicas e climatológicas na bacia e os cenários resultantes.

1.2 Objetivos

O presente trabalho se propõe a avaliar, através de simulação com modelo de comportamento semi-distribuído e utilizando ferramentas de geoprocessamento, as vazões propagadas do sistema de macrodrenagem superficial da bacia do rio Cocó

Como meios para se alcançar essa perspectiva, pretende-se:

- a) Discretizar e delimitar as sub-bacias de drenagem contribuintes ao Rio Cocó;
- b) Mapear as características físicas das sub-bacias do sistema;
- c) Mapear as características físicas dos trechos da drenagem resultantes;
- d) Levantar dados meteorológicos da bacia em estudo;
- e) Levantar as características do exutório da bacia;
- f) Simular através do *software Storm Water Management Model* o escoamento superficial gerado nas sub-bacias, nos tributários contribuintes e no rio Cocó;
- g) Validar o escoamento superficial gerado em alguns trechos a partir de valores medidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistemas de Drenagem Urbana

O gerenciamento das águas urbanas é um desafio criticamente importante devido ao acelerado e desordenado crescimento das cidades em todo o mundo, onde a infraestrutura urbana, em muitas destas cidades, não acompanhou espacialmente essa evolução, trazendo assim diversos transtornos e impactos aos humanos e aos ecossistemas aquáticos (FLETCHER *et al.*, 2014).

De acordo com Butler e Davies (2011), pode-se subdividir a drenagem urbana em dois sistemas: a drenagem de águas residuárias e a drenagem de águas pluviais.

2.1.1 Drenagem de Águas Residuárias

A drenagem de águas residuárias, mais popularmente conhecida como sistema de esgotamento sanitário, consiste da infraestrutura urbana básica do conjunto de condutos, instalações e equipamentos cujo objetivo é coletar, transportar, condicionar e encaminhar o esgoto sanitário a uma disposição final apropriada, de modo ininterrupto e higienicamente seguro. A preocupação com o destino adequado do esgoto produzido pelas residências e estruturas urbanas como um todo advém dos possíveis negativos deste na saúde pública, urbanismo e meio ambiente (CUNNINGHAM; GHARIPOUR, 2018).

2.1.2 Drenagem de Águas Pluviais

A drenagem de águas pluviais consiste no gerenciamento das águas precipitadas em meio urbano através da manutenção e aproveitamento de estruturas naturais de escoamento existentes e no desenvolvimento de estruturas artificiais auxiliares para o mesmo fim. Objetiva-se, assim, remover e encaminhar o mais rápido possível a água para fora da área urbana para, então, minimizar o risco de inundações e os impactos provocados pela água da chuva escoada. De acordo com Goulden *et al.*, (2018), esta abordagem tradicional torna-se ultrapassada à medida que o gerenciamento sustentável das águas pluviais emerge com uma visão das águas pluviais como recursos a serem aproveitados.

A chuva é a maior contribuinte para a geração de escoamentos superficiais no nordeste brasileiro. Tais escoamentos podem ser totalmente benéficos quando a região sob a qual ocorrem consiste majoritariamente de ambientes pouco antropizados, com vegetação, cursos d'água naturais para prover o escoamento ou solos não impermeabilizados com boa taxa

de infiltração. Nessas situações eles funcionam com natural propósito de recarregar os aquíferos subterrâneos e promover o crescimento da vegetação local.

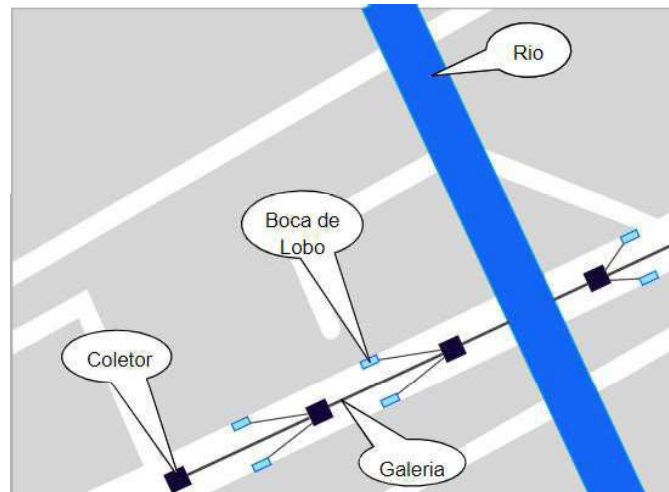
Em regiões urbanas, com grande percentual de superfícies impermeabilizadas, seja por telhados, calçadas ou rodovias pavimentadas, o escoamento gerado pode tomar proporções vultosas quanto ao volume e velocidade, podendo causar assim diversos transtornos e perdas (GIRÃO *et al.*, 2017). Aliado a essas características físicas específicas das regiões urbanizadas, a modificação nos sistemas naturais de drenagem previamente existentes, como rios e riachos, e, em muitas situações, o excesso de resíduos sólidos e poluentes em geral dispostos nas ruas ou acumulados, obstruindo as estruturas de drenagem artificiais construídas, são importantes aspectos intensificadores dos impactos negativos causados pelo escoamento das águas pluviais (DALTOÉ *et al.*, 2016).

2.1.2.1 Macrodrenagem e microdrenagem

De acordo com as dimensões das estruturas de drenagem pluvial, estas classificam-se em sistemas de microdrenagem e sistemas de macrodrenagem ou drenagem principal. A microdrenagem configura-se nas estruturas urbanas projetadas para coletar as águas da chuva, em uma rede primária urbana, formada por sarjetas, bueiros, bocas de lobo e tubulações secundárias de menor diâmetro. As águas captadas por essas estruturas destinam-se ao sistema de macrodrenagem.

A macrodrenagem, por sua vez, constitui-se de galerias de grande porte, rios e riachos naturais ou artificializados. Destina-se ao escoamento final das águas escoadas superficialmente, inclusive as captadas pelas estruturas de microdrenagem, configurando-se assim em estruturas de grande vulto, dimensionadas para elevadas vazões e com maiores velocidades de escoamento (TUCCI, 2004). A Figura 1 mostra uma representação esquemática em uma região urbana dos elementos de microdrenagem integrado ao elemento de macrodrenagem.

Figura 1 - Representação esquemática dos elementos da drenagem urbana.



Fonte: elaborado pela autora.

Devido ao crescimento das cidades, aumento nas mudanças de uso do solo que tem como característica aumento nas velocidades e volume escoados aos rios, aliado ainda ao estrangulamento das calhas destes por ocupações dos mais variados tipos ou a intervenções drásticas como a canalização dos cursos d'água, percebe-se notadamente as falhas associadas a esses fatores, seja nas inundações, alagamentos de menor porte ou ainda danos às estruturas urbanas como casas e rodovias.

2.2 Impactos Antrópicos na Macrodrenagem

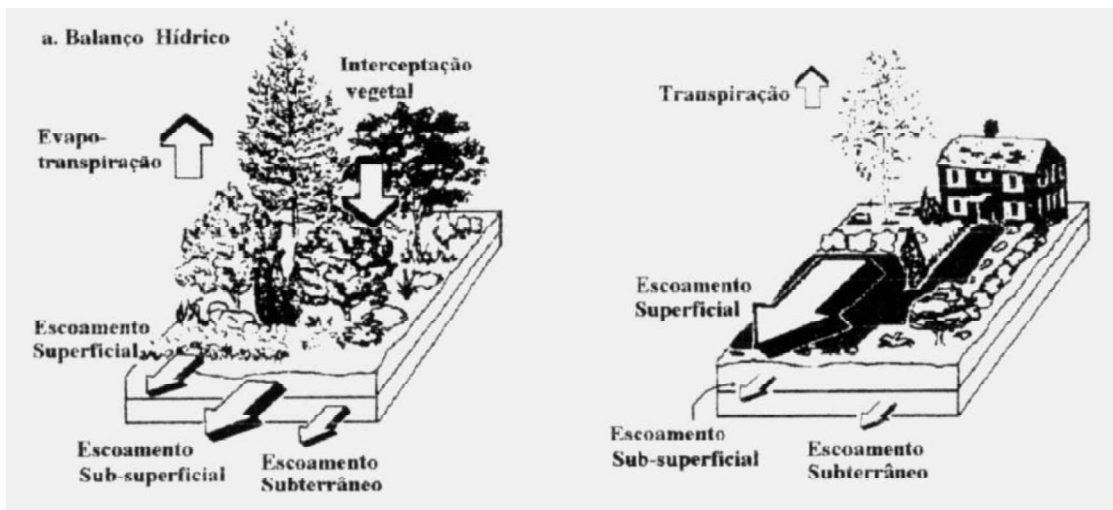
As concepções tradicionais sobre os sistemas de drenagem urbana levaram as políticas públicas a adotarem, na maioria das cidades, uma postura de drástica intervenção na macrodrenagem (DHAKAL; CHEVALIER, 2016). Ocupação e aterramento das áreas de várzea, retificação ou canalização do curso d'água, disposição inadequada de resíduos sólidos ou efluentes brutos e estrangulamento da calha dos rios são algumas das principais e mais impactantes intervenções observadas em diversos rios urbanos. Uma vez expandida nas proximidades dos rios, muitos destes, após inúmeras intervenções, tornam-se ocultos e depreciados na paisagem urbana (LOURENÇO *et al.*, 2015). Novas abordagens, principalmente desenvolvidas após muito tempo de avaliação dos impactos causados por essas intervenções, buscam-se direcionar para uma visão sustentável da drenagem urbana (SCHOLZ, 2015).

Analisando também além da ótica urbanística e das intervenções diretas aos rios, a alteração da cobertura vegetal nas bacias urbanas provocam vários efeitos que alteram o ciclo hidrológico natural existente em uma bacia rural. Em uma bacia rural, o processo de retenção

do volume de água precipitado pela vegetação existente, com posterior infiltração ou evaporação, junto ao escoamento gradativo devido também à presença de cobertura vegetal leva a uma variação mais lenta nas vazões propagadas. Em bacias urbanas, a ineficácia dos processos de retenção e infiltração devido a maior impermeabilização das superfícies aliado ainda à inexistência ou ineficiência dos sistemas de microdrenagem levam a uma maior quantidade de água que escorre com liberdade aumentando assim o volume escoado e os riscos associados.

A Figura 2 apresenta o balanço hidrológico em uma bacia rural e em uma bacia urbana e os processos particulares envolvidos em cada.

Figura 2 - Balanço hidrológico em uma bacia rural e em uma bacia urbana.



Fonte: Tucci e Bertoni (2003).

2.3 Modelagem de Sistemas de Drenagem Urbana

2.3.1 Conceitos fundamentais sobre escoamento

De acordo com Von Sperling (2007) o escoamento de fluidos pode ser classificado segundo condições e variáveis apresentadas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Variáveis e classificação do escoamento de fluidos.

Variável	Classificação	Descrição
<i>Tempo</i>	Permanente	As características do escoamento não variam com o tempo
	Não permanente	As características do escoamento variam com o tempo
<i>Direção da trajetória</i>	Laminar	A trajetória das partículas não varia com o deslocamento
	Turbulento	A trajetória varia com o deslocamento
<i>Variação na trajetória</i>	Uniforme	O vetor velocidade é constante em módulo, direção e sentido em todos os pontos
	Variado	O vetor velocidade é variável
<i>Rotação</i>	Rotacional	As partículas podem apresentar rotação em relação a um eixo qualquer
	Irrotacional	As partículas não apresentam rotação em relação a um eixo qualquer
<i>Massa específica</i>	Compressível	Quando não há variação da massa específica
	Incompressível	Quando há variação da massa específica
<i>Número de coordenadas</i>	Unidimensional	Considera apenas uma coordenada principal
	Bidimensional	Considera duas coordenadas principais
	Tridimensional	Considera três coordenadas principais

Fonte: elaborado pela autora.

Em rios, a prevalência de uma coordenada sobre as demais, a variação das vazões no tempo e a variação da profundidade ao longo do rio levam à representação não-permanente unidimensional longitudinal como a forma mais consistente de representar o escoamento e permitir descrever grande parte das situações. As principais equações utilizadas para representar este escoamento são as equações de escoamento não-permanente unidimensional. A primeira equação é da continuidade e a segunda é a de quantidade de movimento.

No *Storm Water Management Model* o método de análise da onda dinâmica resolve a forma completa dessas equações e, assim, objetiva produzir resultados teoricamente mais precisos. As principais hipóteses nas quais essas equações fundamentam-se são: fluxo unidimensional, pressão hidrostática, o cosseno do ângulo de inclinação do leito do canal está próximo da unidade e o atrito limite pode ser representado da mesma maneira que para o fluxo constante.

As equações da continuidade e da quantidade de movimento são apresentadas, respectivamente, nas Equações (1) e (2) a seguir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

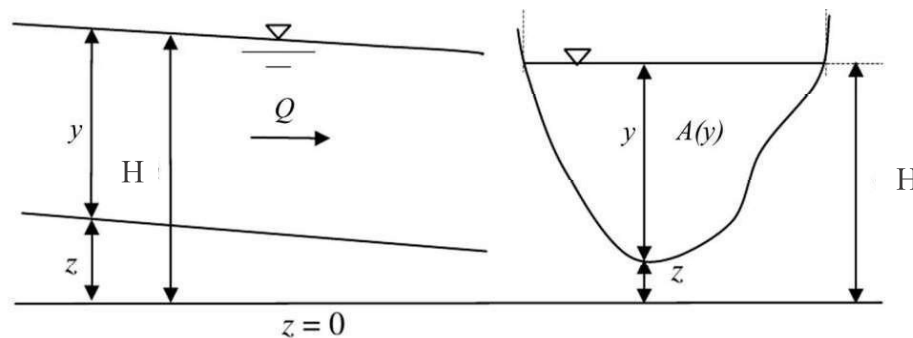
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + g.A. \frac{\partial H}{\partial x} + g.A.S_f = 0 \quad (2)$$

$$S_f = n^2 \frac{Q \cdot |U|}{A \cdot R^{4/3}} \quad (3)$$

Onde: x = distância (m); t = tempo (s); A = área da seção transversal do fluxo (m^2); Q = Vazão (m^3/s); $H = (z + y)$ elevação hidráulica da linha d'água no conduto (m); z = cota de fundo do conduto (m); y = elevação da água no conduto (m); S_f = inclinação da linha de energia; g = aceleração da gravidade (m/s^2); n = coeficiente de rugosidade de Manning ($s/m^{1/3}$); R = raio hidráulico da seção transversal (m) e U = velocidade do fluxo (m/s).

A Figura 3 a seguir apresenta uma representação esquemática longitudinal e transversal de um conduto e das variáveis previamente descritas.

Figura 3 - Variáveis das Equações da continuidade e da quantidade de movimento.



Fonte: Adaptado de Aricó e Tucciarelli (2007).

2.3.2 Modelagem hidrológico-hidráulica

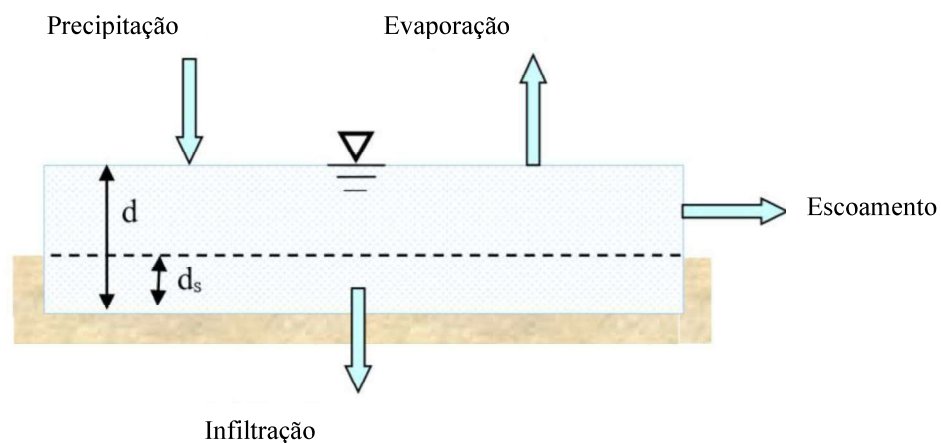
A modelagem hidrológico-hidráulica urbana integrada representa uma estrutura potencial para capturar a interatividade do sistema e otimizar o projeto, operação e engenharia de sistemas urbanos (ZHU *et al.*, 2016). Os modelos hidrológicos, em resumo, buscam descrever o processo de transformação da precipitação em escoamento através de parâmetros como o percentual de áreas impermeáveis e a eficiência do escoamento superficial. Os modelos hidráulicos, por sua vez, são usados para representar o deslocamento da água proveniente da precipitação na bacia e na rede dos coletores (MATIAS, 2016).

2.3.2.1 Modelo Chuva-Vazão

Os modelos de transformação chuva-vazão objetivam estimar o escoamento em um sistema de drenagem a partir de um evento pluviométrico, ou seja, almejam reproduzir os processos do ciclo hidrológico desde a precipitação até o escoamento no ponto de interesse (TUCCI, 1998). Apresentam-se desde modelos bastante simplificados, como o Método Racional, até modelos mais robustos que consideram a variabilidade espaço-temporal da precipitação. Geralmente estes últimos tentam representar a variação espacial das bacias, fazendo balanços hídricos localizados através da determinação de cada parcela do ciclo hidrológico em cada unidade de estudo.

O SWMM utiliza o método do reservatório não-linear para estimar o escoamento superficial produzido pela precipitação. Nesse método é considerada as entradas de fluxo na bacia pela precipitação bem como as perdas por infiltração e evaporação, além do volume que pode ficar retido nas depressões na bacia, conforme apresenta a Figura 4 a seguir

Figura 4 - Representação do modelo do reservatório não-linear em uma sub-bacia.



Fonte: Adaptado do Manual do SWMM.

Matematicamente, as Equações 4 e 5 a seguir representam o processo apresentado na Figura 4.

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (4)$$

$$q = \frac{S^{1/2}}{A \cdot n} W (d - d_s)^{5/3} \quad (5)$$

Onde: i = taxa de precipitação ($m^3/s.m^2$); e = taxa de evaporação ($m^3/s.m^2$); f = taxa de infiltração ($m^3/s.m^2$); q = taxa de escoamento ($m^3/s.m^2$); W = largura característica da sub-bacia; d = altura da lâmina precipitada (m); d_s = altura da lâmina armazenada (m); S = declividade média da sub-bacia (m/m); n = coeficiente de Rugosidade de Manning para a superfície da sub-bacia.

2.3.2.2 Modelos Hidrológicos Concentrados e Distribuídos

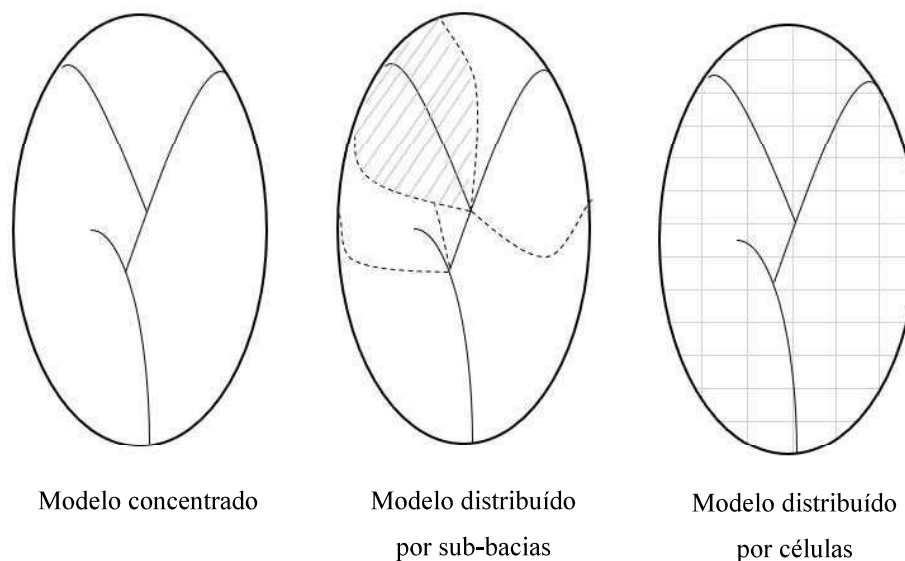
Os modelos hidrológicos buscam representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, através da transformação da precipitação que cai sobre uma bacia em vazão numa determinada seção de um rio. São comumente classificados, dentre outras formas, de acordo com os tipos de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), com os tipos de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), com a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), com a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos) e com a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

Quanto à consideração de variações espaciais nas variáveis, para os modelos concentrados estas são consideradas médias e representativas para toda área estudada. Os modelos distribuídos, por sua vez, consideram a variabilidade espacial existente. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e conseqüentemente cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área

Os modelos distribuídos, capazes de capturar as heterogeneidades nas características das bacias e as forças hidrometeorológicas, são indicados para melhor representar os mecanismos físicos da realidade. Pode-se subdividi-los nos modelos distribuídos por bacias, ou semi-distribuídos, e distribuídos por células. Nesses modelos são separadas as discretizações dos processos de balanço vertical, que engloba chuva, interceptação, evapotranspiração, infiltração, percolação e umidade do solo, e dos processos horizontais (COLLISCHONN; TUCCI, 2001).

Nos modelos distribuídos por células, a bacia é discretizada em uma sensível malha de módulos quadrados denominados “mini-bacias”. Nos modelos distribuídos por sub-bacias, ou semi-distribuídos, por sua vez, a bacia é subdividida considerando sub-bacias de tamanhos menores, onde em cada uma as características são consideradas uniforme. A Figura 5 apresenta uma representação dos modelos.

Figura 5 - Representação do grau de discretização das bacias por tipo de modelo.



Fonte: elaborado pela autora.

A aplicação de modelos distribuídos, porém, demanda a consideração de um número relativamente grande de parâmetros espaciais relacionados aos aspectos topográficos, ao solo e à vegetação. Aliados às novas tecnologias de sensoriamento remoto, que permitem a distribuição de dados das características da superfície da terra, como topografia, tipos de solo e usos da terra, e ao conhecimento das variáveis específicas da região estudada, como precipitação, temperatura e evapotranspiração, esses modelos têm sua utilização mais amplamente possibilitada e seus resultados potencializados (NGUYEN *et al.*, 2016).

2.3.3 *Softwares para simulação hidrológico-hidráulica*

Existem disponíveis diversos *softwares* e modelos computacionais para simulações hidrológica, hidráulica e de qualidade da água. Dentre os *softwares* livres pode-se citar o HEC-RAS e HEC-HMS, do Corpo de Engenheiros do Exército Americano, e o SWMM, da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Os softwares brasileiros que pode-se citar são o IPHS1 e o MGB-IPH. Há ainda muitos outros desenvolvidos por empresas privadas, como o

PCSWMM e o CivilStorm. Cada software possui suas peculiaridades, aplicações e limitações, cabendo ao usuário a escolha do melhor aplicável ao estudo que será desenvolvido.

Avaliando a abordagem do *software* SWMM quanto a representação espacial das variáveis, pode-se adotar neste a abordagem semi-distribuída ou seja, a bacia modelada pode ser discretizada em sub-bacias para, então, ocorrer a simulação do ciclo hidrológico em todas as etapas terrestres, incluindo balanço de água no solo, evapotranspiração, interceptação, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo e escoamento na rede de drenagem.

Os parâmetros das sub-bacias relacionam-se às características físicas da bacia, como topografia, tipo e cobertura vegetal do solo, podem ser obtidos via imagens de satélite, mapas digitalizados e Modelo Digital de Elevação (MDE). Deve-se ressaltar, por fim, que a utilização de modelos com grande número de parâmetros demanda o reconhecimento dos parâmetros mais sensíveis ao modelo, de modo a facilitar a calibração.

2.3.3.1 *Sistemas de Informações Geográficas*

O uso dos Sistemas de Informação Geográficas (SIG's) no processamento de dados espaciais favoreceu uma maior evolução dos modelos hidrológicos através da possibilidade de processar e interpretar uma maior quantidade de variáveis de entrada dos modelos e de atributos físicos das bacias. Em estudos hidrológicos, o Sensoriamento Remoto e os SIG's despontam como fonte de aquisição, manipulação, análises e aplicação de dados distribuídos espacial e temporalmente para modelagens hidrológicas (BHATT *et al.*, 2014; RENNÓ, 2003).

Várias ferramentas baseadas em Sistema de Informações Geográficas foram desenvolvidas para melhor representar e visualizar a topografia da área e extrair informações para modelagem hidrológica. Metodologias clássicas usam Modelos Digitais de Elevação ou imagens vetoriais, *rasters*, e algoritmos de direção de fluxo, como o D8 (O'CALLAGHAN; MARK, 1984), para a extração da drenagem e para o traçado de sub-bacias (SANZANA *et al.*, 2017). Ademais, parâmetros como declividade e direção do fluxo também podem ser obtidos através dessas metodologias.

2.4 **Sistemas Estuarinos e Influência Oceânica**

O limite continental da zona estuarina do rio Cocó, ou seja, o limite da influência da maré no escoamento, alcança, aproximadamente, até a Avenida Murilo Borges, Fortaleza-CE, em uma extensão total próxima de 11 quilômetros partindo da sua foz (NÓBREGA, 1998).

Tal aspecto ressalta a relevância da inclusão dos efeitos da maré para a modelagem apropriada do escoamento nesses trechos do rio.

2.4.1 Escoamento e efeito da maré no nível d'água em canais estuarinos

A descarga de água que chega a um estuário é originada da bacia de drenagem a qual o rio pertence, e sua taxa depende das condições climáticas, da morfologia da bacia e das características do solo, da cobertura vegetal, da evapotranspiração na região de captação, e da ocupação antropogênica (MIRANDA *et al.*, 2002). As contínuas alterações na estrutura da onda de maré conforme ela se propaga em direção ao estuário e para dentro do mesmo, faz com que a maré tenha significativa influência na dinâmica estuarina. Observa-se na região fluvial o predomínio das descargas de água doce enquanto na região marinha preponderam marés astronômicas, marés meteorológicas, de plataforma e ondas de gravidade (PARKER, 1991).

Os movimentos horizontais associados aos ciclos de maré em um estuário são denominados correntes de maré. Essas correntes são condicionadas pela morfologia do sistema estuarino, pela profundidade local e pela vorticidade relativa devido ao atrito com o fundo. As correntes também são afetadas pela força de Coriolis, causada pela rotação da Terra em torno de seu próprio eixo. Esse efeito é melhor percebido em estuários de grande dimensão e em marés diurnas (COELHO, 2016).

2.4.2 Componentes de maré e previsão

De acordo com Alfredini e Arasaki (2009), o método harmônico é amplamente utilizado para prever a altura da maré astronômica. Segundo Coelho (2016), a previsão da maré através do método harmônico pressupõe que a onda de maré é resultante de diversas componentes ou ondas de maré parciais, cada uma correspondente a um movimento astronômico diferente e com período coincidente com o período do ciclo do fenômeno astronômico. Cada componente harmônica de maré possui um período específico, porém, ressaltando que para cada localidade a amplitude e ângulo de fase irão divergir, uma vez que sofrem influência das características da região. As constantes podem ser obtidas a partir das estações maregráficas instaladas nos portos. A Equação 6 a seguir representa o método da análise harmônica para previsão do nível da água originalmente proposto por Godin (1972).

$$h(t_j) = Z_0 + \sum_{i=1}^n f_i(t_0) a_i \cos(V_i(t_0) + \Omega_i(t_j - t_0) + u_i(t_0) - \phi_i) \quad (6)$$

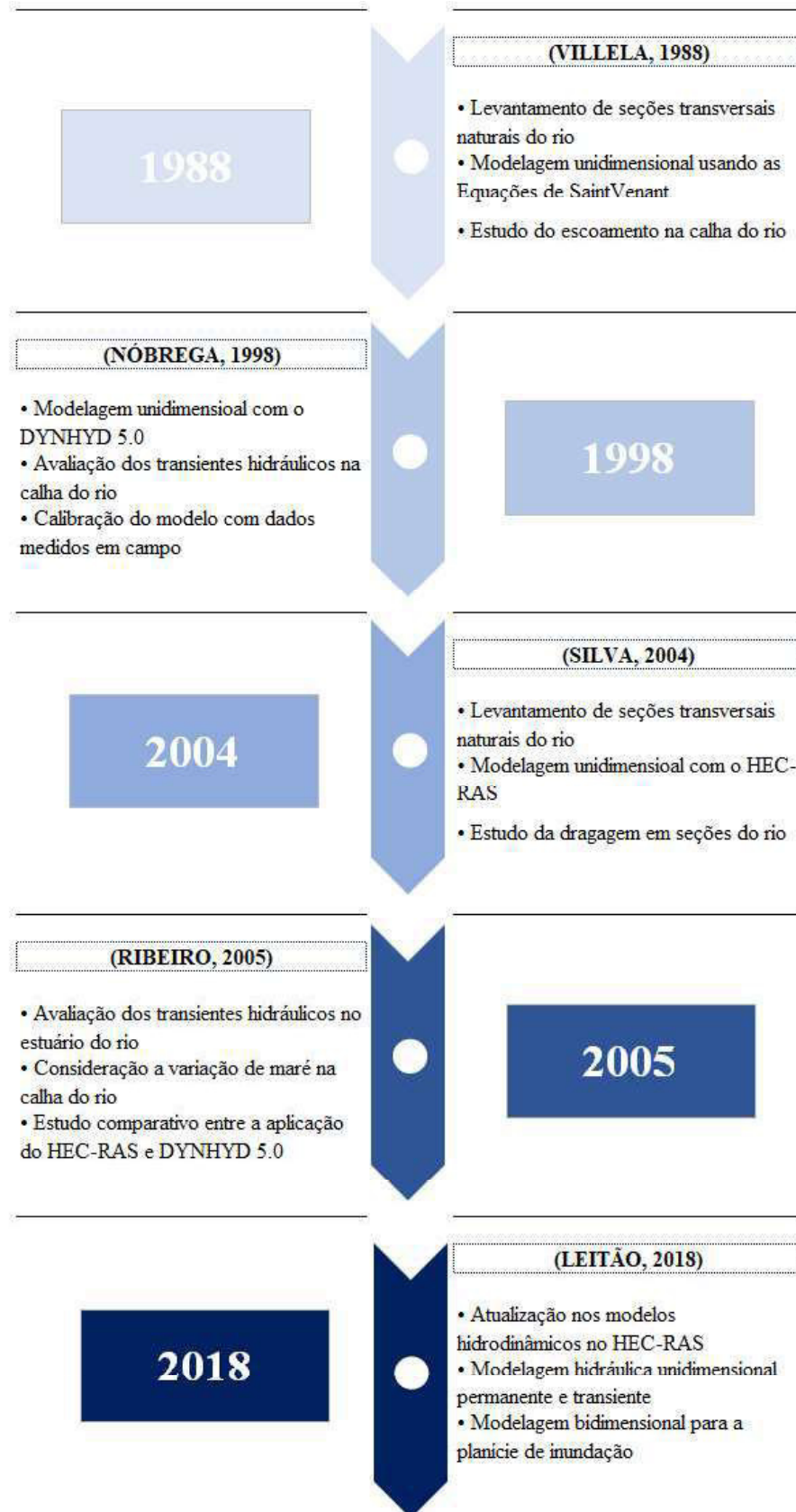
Onde: $h(t_j)$ = nível da água no instante t_j ; Z_0 = nível médio da água em uma referência local; n = número de componentes; f_i = coeficiente de correção da amplitude; u_i = correção de longo período; V_{0i} = argumento astronômico da componente às 0h médias de Greenwich, no dia 1 de Janeiro de cada ano; Ω_i = frequência angular da i -ésima componente; a_i = amplitude da i -ésima componente e ϕ_i = fase da i -ésima componente e t = tempo.

2.5 Trabalhos Regionais Desenvolvidos sobre o Rio Cocó

Ao longo dos anos, o Rio Cocó já foi estudado sob diversos aspectos em estudos anteriores, com ênfase majoritária aos trechos sob influência marítima na região de estuário do rio. De maneira resumida, os estudos realizados já abordaram o comportamento hidrodinâmico do Rio Cocó através de modelos unidimensionais e bidimensionais, avaliação comparativa entre a modelagem em diferentes softwares de simulação e análise de transientes hidráulicos no rio.

Deve-se ressaltar, entretanto, que trabalhos realizados sobre a avaliação das características físicas da bacia e os seus impactos no escoamento da macrodrenagem do rio ainda não foram significativamente explorados. Pode-se observar na Figura 6 a sequência cronológica dos trabalhos realizados anteriormente bem como as características específicas que cada um abordou.

Figura 6 - Detalhamento dos autores e trabalhos anteriores realizados sobre o Rio Cocó.



Fonte: elaborado pela autora.

3 METODOLOGIA

3.1 Etapas metodológicas desenvolvidas

A Figura 7 a seguir apresenta sucintamente as etapas adotadas para a realização deste trabalho. Estas etapas serão melhor detalhadas em seguida.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia empregada



Fonte: elaborado pela autora.

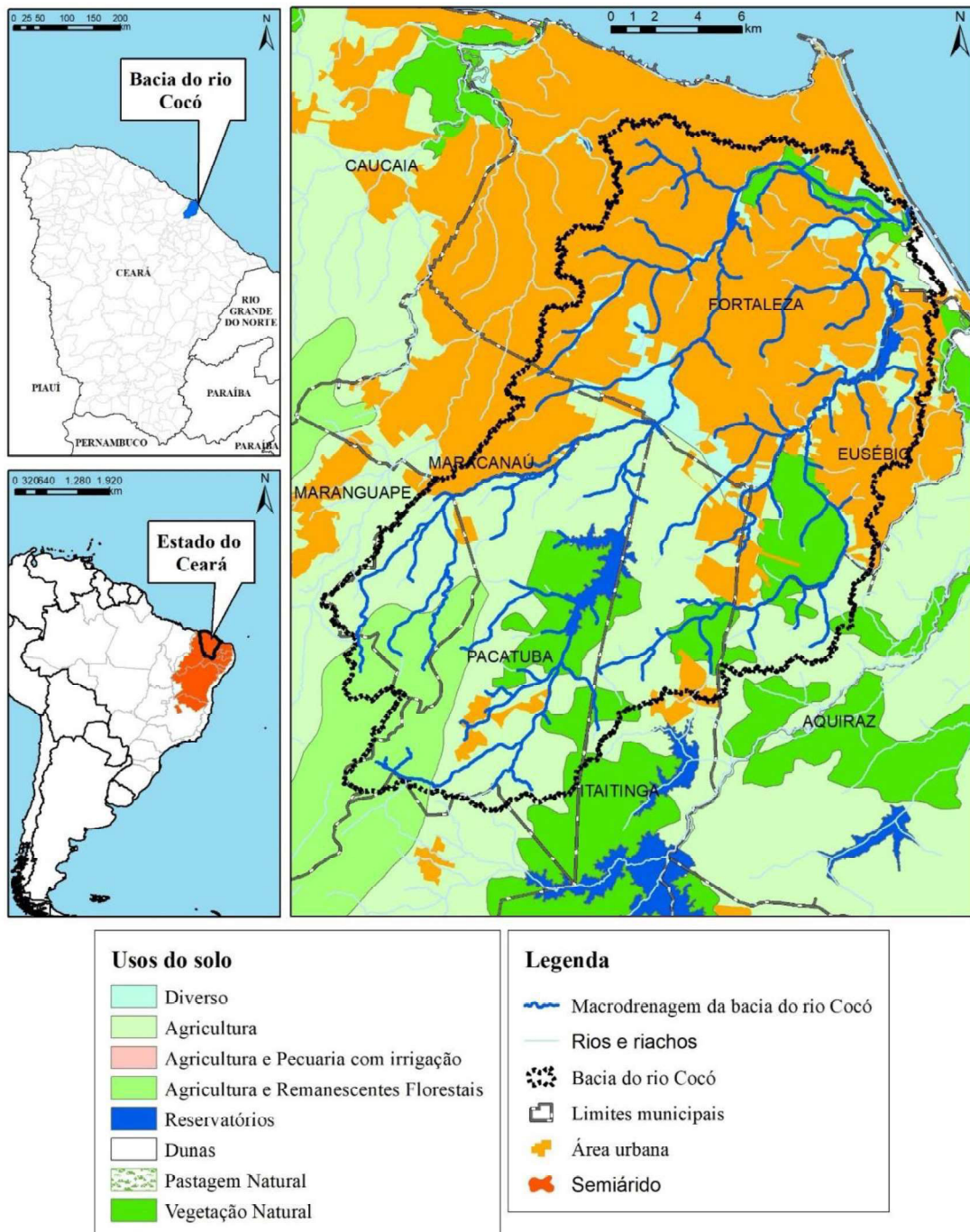
3.2 Delimitação da área em estudo

A área de estudo configura-se a bacia hidrográfica do rio Cocó, abrangendo Fortaleza-CE, Nordeste do Brasil, com aproximadamente 220 km², e parte de sua região metropolitana. A área total aproximada da bacia é de 485 km². O principal rio da área em estudo, rio Cocó, considerado o principal recurso hídrico de Fortaleza, com uma extensão total de 50 km, atravessando dezoito bairros da cidade e responsável por cerca de 60% de toda a drenagem do município.

A bacia do rio Cocó apresenta uma maior densidade urbana principalmente na área de Fortaleza. Nos demais municípios que abrange, a maior densidade residencial e populacional localiza-se em suas sedes urbana. Deste modo, prosseguiu-se a uma classificação da bacia a

partir de suas sub-bacias delimitadas dividindo-as majoritariamente em duas grandes categorias: sub-bacias rurais e sub-bacias urbanas. O principal indicador adotado para esta subdivisão é o percentual de impermeabilidade das sub-bacias. A Figura 8 apresenta a localização da área em estudo.

Figura 8 - Localização da bacia do rio Cocó, no Estado do Ceará, Brasil.



Fonte: elaborado pela autora (Mapa de uso do solo elaborado pela FUNCEME).

3.3 Levantamento de dados e preparação do Modelo

3.3.1 *Descrição do uso e ocupação do solo da bacia*

A descrição do uso e ocupação do solo da bacia é de fundamental relevância uma vez que se adotou o modelo de infiltração Curva-Número. Para obter-se os parâmetros relativos à permeabilidade das sub-bacias é necessário um mapa de uso e ocupação do solo da região conforme os tipos de uso estabelecidos pelo manual do SWMM para compatibilização com os parâmetros utilizados pelo software. Optou-se então por realizar a classificação supervisionada do solo na região com a cena S2B_MSIL1C do satélite Sentinel-2B com 10 metros de resolução espacial de 18 julho de 2018. Ressalta-se que a escolha da cena utilizada baseou-se na data disponível, qualidade e profundidade do pixel da imagem, favorecendo assim uma melhor distinção dos usos a partir das classes amostrais inseridas, e da baixa nebulosidade presente na imagem.

Foram considerados os sete seguintes tipos de uso do solo: Vegetação de baixa densidade, telhado e cobertas, rua pavimentada com meio fio e drenagem, rua em cascalho e solo exposto, dunas, oceano e espelho d'água. Os usos do solo adotados seguiram, com necessárias adequações, os usos propostos pelo manual do SWMM.

3.3.2 *Preparação do Modelo Digital de Elevação*

A primeira etapa para a delimitação automática das sub-bacias consiste na obtenção de um modelo digital de terreno onde seja possível extrair seus principais parâmetros físicos: Área de drenagem (A), largura característica (W), declividade média e cota de fundo dos nós e exutório.

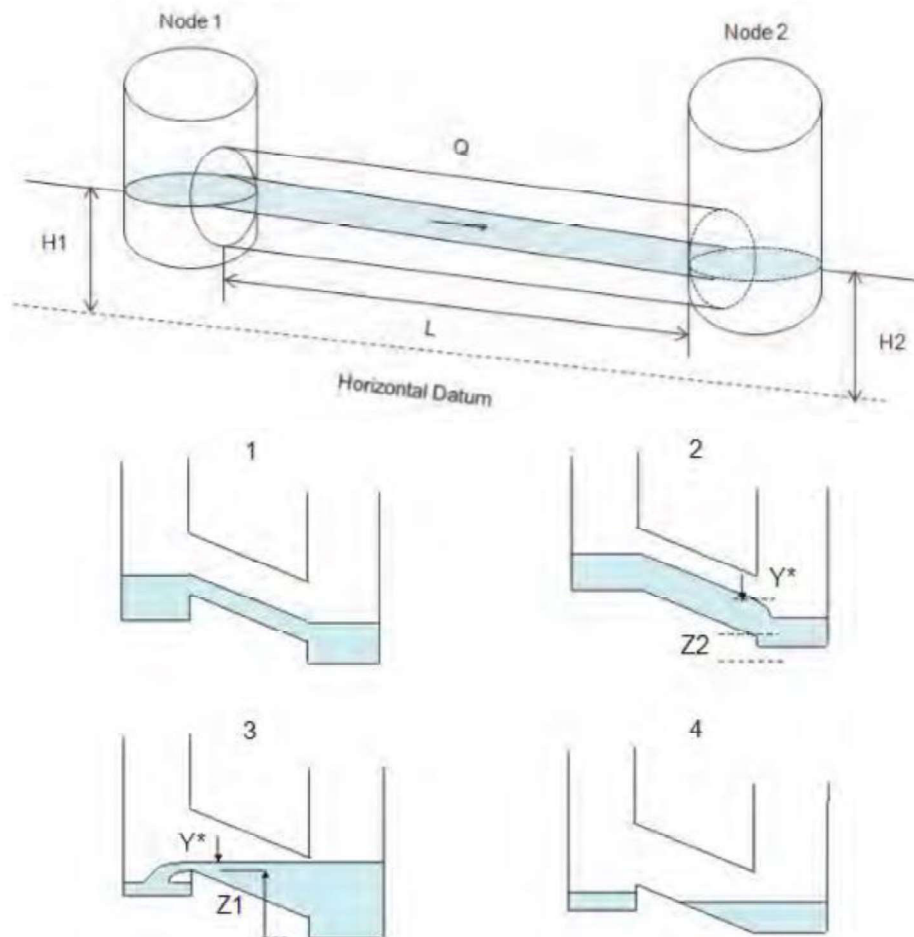
A qualidade do modelo utilizado, especialmente sua resolução espacial, impacta diretamente a delimitação da drenagem natural. Sendo a bacia em estudo, majoritariamente, uma bacia urbana composta de pequenos riachos e tributários, quão melhor a resolução espacial do modelo digital de terreno ou de elevação utilizado, mais precisa e completa é a drenagem delimitada. Por limitações, utilizou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) absoluto gerado a partir de cenas do satélite ALOS, sensor PALSAR, modo FBS com resolução espacial de 12,5 metros, radiometricamente corrigido no solo a partir de MDE da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) e disponibilizado pelo departamento de processamento de dados Alaska Satellite Facility. Foram necessários dois MDE's para cobrir toda a área em estudo, os quais foram pré-processados no software ArcGIS©, unidos para formação de um mosaico, reduzidos

à menor área necessária e reprojitados para o sistema de coordenadas *SIRGAS 2000 UTM ZONE 24 SOUTH*.

3.3.3 Método de análise adotado

O SWMM dispõe de dois métodos de análise para resolver as equações de Saint-Venan: o método da onda cinemática e da onda dinâmica. O método da onda dinâmica utiliza equações completas de fluxo não-permanente e representa as diversas situações de fluxo com o mínimo de simplificações e contemplando todos os efeitos de remanso, conforme ilustra a Figura 9 abaixo. Optou-se, então, por adotar o método de análise da onda dinâmica.

Figura 9 - Condições de fluxo analisados pelo método da onda dinâmica.



Fonte: Manual do SWMM.

3.4 Base de dados e condições para a simulação

3.4.1 *Série de precipitação*

Para a realização das simulações com o modelo chuva-vazão do SWMM é necessário a precipitação como condição inicial para a geração de fluxo. Com o intuito de minimizar erros de continuidade de fluxo, a discretização temporal ideal dessa precipitação é em intervalos de um a cinco minutos, segundo o manual do software.

Os dados meteorológicos foram fornecidos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFC, da Estação meteorológica localizada no campus do Pici da UFC, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Constitui-se de uma série de 30 anos de dados, 1970-1999, discretizados em intervalos de cinco minutos. A utilização dessa estação, ainda que não localizada dentro da bacia, deve-se a disponibilidade do hidrograma discretizado completo referente ao período das medições no passo de tempo demandado pelo SWMM.

De todo modo, com vistas a verificar a representatividade da série de precipitação usada, levantou-se todos os postos pluviométricos monitorados dentro da bacia e com dados para o período desejado, uma vez que não há postos pluviográficos disponíveis na região. Avaliou-se, então, o desvio médio percentual da precipitação total para o mês de agosto modelado de cada posto em relação ao posto do Pici e a proximidade da distribuição temporal diária de cada um com o posto usado.

3.4.2 *Caracterização do exutório*

A zona estuarina do rio Cocó adentra sob influência da maré em uma extensão total a partir da sua foz de, aproximadamente, dez quilômetros (NÓBREGA, 1998), ressaltando a relevância da inclusão dos efeitos da maré na modelagem apropriada do escoamento nesses trechos do rio. Então, para a simulação, definiu-se o nó da foz do rio como influenciado pela maré e adicionou-se uma curva de maré para o mês de agosto de 1996 reconstruída usando o método harmônico a partir das constantes de maré extraídas dos dados monitorados pelo marégrafo instalado no porto do Mucuripe, Fortaleza, Brasil segundo metodologia abordada por Pereira *et al.*, (2015).

3.4.3 Caracterização de vazão permanente lançada no sistema

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará opera a estação de tratamento de Água do Açude Gavião, essencial para o abastecimento de Fortaleza e região metropolitana. A água utilizada na lavagem dos dezesseis filtros da estação era lançada integralmente no rio Cocó e, por muito tempo constituiu-se como uma vazão permanente aportada neste rio. Mais recentemente, a partir de setembro de 2016, grande parte desta vazão de lavagem passou a ser reutilizada, retornando para a estação em vez de ser lançada no rio. Mas, ainda assim, alguma vazão ainda continua a ser encaminhada para este. Assim, buscou-se levantar os dados da vazão utilizada na lavagem dos filtros da ETA Gavião, os quais foram gentilmente fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará, para integrar ao modelo essa vazão permanente aportada. Obteve-se a série histórica das vazões produzidas e reaproveitadas na lavagem dos filtros a partir de 2010.

Para simular uma vazão permanente externa aportada a um nó e, posteriormente, a um conduto no SWMM optou-se por utilizar um padrão temporal mensal, elaborado a partir dos dados de vazão tomando-se a razão entre a vazão média anual e a vazão no respectivo mês, e um valor base, referente à média das vazões lançadas pela ETA.

3.4.4 Caracterização dos nós da rede

Definiu-se como nó da rede todos os pontos de intercessão entre dois trechos de drenagem ou os pontos intermediários em um mesmo trecho quando há mudança de seção transversal. A todos os nós da rede, com o auxílio do software ArcGIS®, obteve-se a elevação, ou seja, a cota altimétrica a partir do Modelo Digital de Elevação. Esse parâmetro é de extrema importância uma vez que define o sentido do escoamento no trecho, por padrão escoando da cota mais alta para a mais baixa, e a declividade do segmento.

3.4.5 Delimitação e caracterização do sistema de drenagem

3.4.5.1 Algoritmo D8 para Delimitação automática das sub-bacias e condutos

Optou-se pela delimitação automática da drenagem e sub-bacias no *software* BASINS, *Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources*, também da *Environmental Protection Agency's*, devido a integração existente entre este e o SWMM de modo a permitir mais facilmente a exportação dos elementos delimitados. Para esta delimitação são necessários previamente o Modelo Digital de Elevação, o grau de detalhamento da

delimitação para método dos limiares, *Trheshold method*, e uma linha de drenagem basilar, *Stream polyline*. Este último não é necessário, porém, melhora a qualidade da delimitação em MDE's de resolução espacial insuficiente. Adotou-se para o método dos limiares um detalhamento de aproximadamente 0,3% e, para a linha basilar, a drenagem levantada pela Agência Nacional de Águas na Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias Hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental. O valor adotado para o método dos limiares foi definido após sucessivas simulações e comparação de similaridade entre número de sub-bacias obtidas e o grau detalhamento e adequação destas e da rede de drenagem em comparação à rede de referência da ANA.

3.4.5.2 *Uso do solo e Infiltração das sub-bacias*

Adotou-se no SWMM o modelo de infiltração do *Soil Conservation Service*, para o qual é necessário obter o parâmetro Curve Number (CN) para cada sub-bacia. O CN depende do uso e cobertura do solo, do grupo hidrológico do solo e de sua condição de umidade antecedente. Uma vez com o mapa de uso e ocupação do solo construído, considerou-se classe II para umidade antecedente do solo, sendo realizada a verificação da condição de precipitação antecedente na área de interesse através dos dados de precipitação fornecidos pela FUNCEME e adotou-se a classe hidrológica dos solos e o CN do National Research Conservation Service (NRCS) segundo apresentado na Tabela 1. O CN de cada sub-bacia foi então calculado através da média ponderada do CN de cada categoria de uso e a respectiva área de cobertura do solo, onde a área referente a cada tipo de uso do solo por sub-bacia pode ser extraída no ArcGIS®.

Tabela 1 - Cobertura do solo adotada para a bacia com respectivas classes hidrológica e Curve Number conforme NRCS.

Tipo de solo	Vegetação de baixa densidade	Telhado e cobertas	Rua pavimentada com meio fio e drenagem	Rua em cascalho e solo exposto	Espelho d'água	Dunas	Oceano
Classes Hidrológica	C	D	D	A	D	A	D
CN	77	98	98	76	100	25	100

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.5.3 Parâmetros de impermeabilização das sub-bacias

Para cada sub-bacia é necessário obter os parâmetros: largura e declividade médias da sub-bacia, percentual de impermeabilidade (PcntImperv), coeficiente de rugosidade de Manning para área permeável (N_{perv}) e para área impermeável (N_{Imperv}), profundidade do armazenamento em depressão para área permeável (S_{Perv}) e para área impermeável (S_{Imperv}), e percentual da área impermeável sem armazenamento em depressão (PcntZero). Para a drenagem é necessário obter o coeficiente de rugosidade de Manning em cada trecho.

O percentual de impermeabilidade para cada sub-bacia foi determinado da seguinte forma: (i) caracterização do uso e cobertura do solo da bacia conforme já descrito; (ii) Determinação de um percentual de impermeabilidade para cada tipo de uso do solo, de acordo com o manual do SWMM e (iii) cálculo do percentual de impermeabilização através da média ponderada dos coeficientes de todas as categorias de uso e da área do respectivo solo, por sub-bacia.

O coeficiente de rugosidade de Manning representativo para as áreas permeáveis e impermeáveis de cada sub-bacia foi obtido de acordo com a Equação 7. Para obter o coeficiente de Manning médio para a superfície permeável utiliza-se a mesma equação substituindo o percentual de impermeabilidade pelo percentual de permeabilidade.

$$N_{Imperv_{S_j}} = \frac{\sum_{i=1}^7 [Pcnt_{Imperv_i} * A_i * N_i]}{\sum_{i=1}^7 [Pcnt_{Imperv_i} * A_i]} \quad (7)$$

Onde: $N_{Imperv_{S_j}}$ = coeficiente de rugosidade para a superfície impermeável médio de Manning para a sub-bacia S_j ; $Pcnt_{Imperv_i}$ = percentual de impermeabilidade do uso do solo; A_i = área de uso do solo i na sub – bacia S_j ; N_i = N de Manning para o uso do solo; e $\sum_{i=1}^7 [Pcnt_{Imperv_i} * A_i]$ = Área total impermeável da sub-bacia S_j

O valor do coeficiente de rugosidade de Manning para cada tipo de uso do solo adotado e usado como variável na Equação 1 é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Uso do solo e coeficiente de rugosidade adotado segundo manual do SWMM.

Tipo de solo	Espelho d'água	Rua pavimentada com meio fio e drenagem	Rua em cascalho e solo exposto	Telhado e laje impermeabilizada	Vegetação de baixa densidade	Dunas	Oceano
N de Manning	0	0,011	0,02	0,015	0,15	0,13	0

Fonte: elaborado pela autora.

Quanto aos parâmetros de profundidade do armazenamento em depressão para áreas permeável e impermeável, será tomado um valor médio ponderado pela área de cada uso conforme sugerido pelo manual do SWMM, sendo para o solo exposto e dunas considerado o valor referente a gramado, para vegetação o valor de pastagem e para rua pavimentada, espelho d'água e oceano tomou-se o valor médio para superfícies impermeáveis. Calcula-se então uma média ponderada para tais parâmetros em cada sub-bacia. Para os parâmetros largura e declividade médias das sub-bacias, o primeiro obtém-se pela relação entre a área da bacia e seu maior comprimento e o segundo obtém-se durante o processo de geração das sub-bacias a partir do Modelo Digital de Elevação utilizado. Por fim, para o parâmetro percentual da área impermeável sem armazenamento em depressão, emprega-se o percentual de 25%, para casos em que não há informações suficientes.

3.4.5.4 Parâmetros de impermeabilização dos condutos

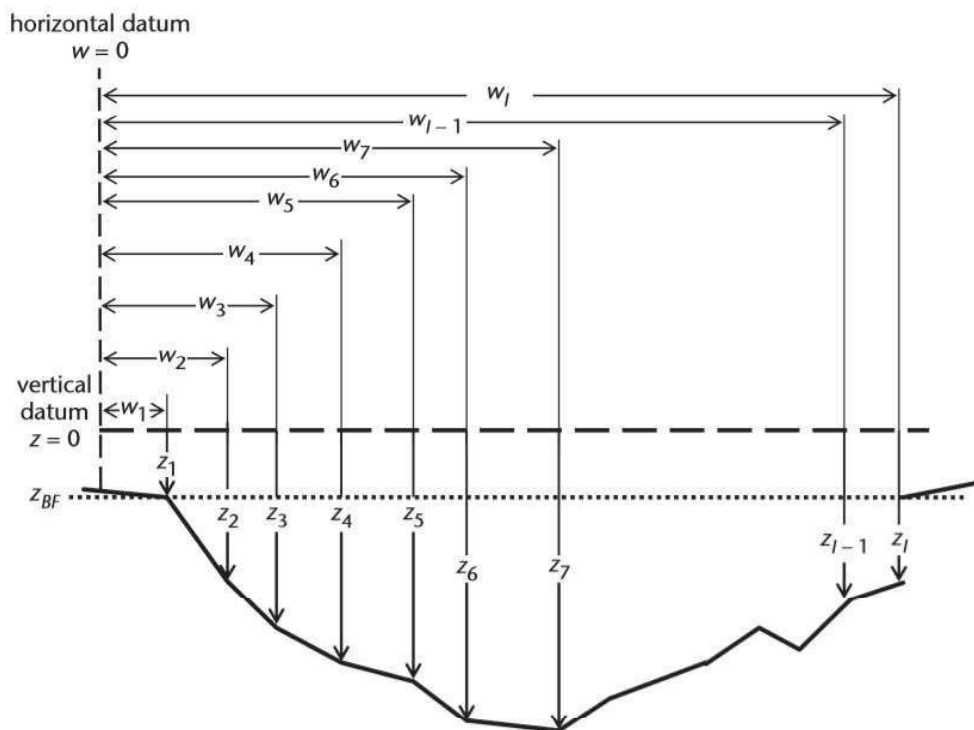
Para obter o coeficiente de rugosidade de Manning dos trechos da drenagem e realizar uma primeira simulação antes da calibração dos parâmetros, avaliou-se a superposição dos arquivos vetoriais da drenagem natural delimitada com a drenagem artificial obtida da prefeitura de Fortaleza. Para os trechos onde notificou-se superposição dos condutos adotou-se o coeficiente de Manning para canais abertos de concreto segundo o manual do SWMM e para os demais trechos adotou-se o valor do coeficiente para canais naturais de seção irregular segundo mesmo manual.

3.4.5.5 Caracterização das seções transversais naturais

Dispõe-se de levantamento topográfico atualizado de seções transversais ao longo do rio Cocó realizado para a Prefeitura de Fortaleza e disponibilizado para a Companhia de Água e Esgoto do Ceará. As seções levantadas partem da foz do rio, nos trechos sob influência marítima, até a BR-116, com distanciamento entre as seções variando de 400 e 600 metros,

totalizando 29 seções. A partir da BR-116 as seções estendem-se até a barragem do rio Cocó com espaçamento de, aproximadamente, 20 metros. Foram inseridas, assim, todas as 29 seções transversais naturais, representando 29 trechos, da foz até a região BR-116. Das demais seções, foi usado o ponto central de cada uma de forma a caracterizar os limites dos trechos e permitir delimitar o comprimento e sinuosidade do rio de forma mais precisa. O SWMM requer os dados da seção transversal na forma de distância e elevação, partindo da esquerda para a direita dos extremos da seção direcionando-se para sentido de jusante do rio, conforme representa a Figura 10 a seguir.

Figura 10 - Dados necessários para representar uma seção natural de rio.



Fonte: Digman (2009).

Ademais, dispõe-se de dados de vazão medidos em campo para dois trechos de, aproximadamente, 400 metros de distância, localizados imediatamente à jusante do açude gavião. Esses dois condutos também foram discretizados no modelo de forma a poder avaliar os resultados com os dados disponíveis.

3.5 Calibração e validação

3.5.1 Calibração do módulo Runnof

O ajuste dos parâmetros de um modelo hidrológico é uma etapa que consiste no maior esforço para seu usuário pois solicita o maior entendimento do comportamento do modelo e dos parâmetros, bem como dos problemas com a qualidade e representatividade dos dados hidrológicos disponíveis. Para o SWWM os principais parâmetros utilizados pelo modelo de escoamento estão resumidamente apresentados no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Parâmetros de calibração do modelo.

Símbolo	Definição	Símbolo	Definição
<i>Sperv</i>	Profundidade do armazenamento em depressão para sub-área permeável	<i>Simp</i>	Profundidade do armazenamento em depressão para sub-área impermeável
<i>Nperv</i>	Coefficiente de rugosidade de Manning para área permeável	<i>Nimp</i>	Coefficiente de rugosidade de Manning para área impermeável
<i>Slope</i>	Declividade média da sub-bacia	<i>%Imperv</i>	Percentual de impermeabilidade da sub-bacia
<i>W</i>	Largura média da sub-bacia	<i>n</i>	Coefficiente de rugosidade de Manning do conduto (fundo e margens)

Fonte: elaborado pela autora.

Os parâmetros que dependem das condições de uso e ocupação do solo ou das condições de topografia não foram submetidos ao processo de calibração uma vez que já foram levantados por métodos específicos e representativos para a bacia em estudo conforme descrito em 3.3.5.3.

Procedeu-se então à calibração manual do coeficiente de rugosidade de Manning para os condutos, realizada trecho a trecho, cujos valores de referência para este coeficiente foram tomados a partir das sugestões de Chow (1973), que apresenta uma série de fotos de canais e rios rotuladas com o valor de *n* de Manning correspondente àquelas condições. Utilizou-se como base para verificação o sistema de drenagem artificial obtido junto à Cagece, para verificar onde a drenagem delimitada coincide com a drenagem artificial em concreto, e as imagens do satélite Sentinel 2 com 10 metros de resolução espacial, disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

O ajuste manual é realizado por tentativa e erro, em repetidas execuções do modelo e análises dos resultados. A cada tentativa observa-se o ajuste de vazões mínimas, a forma do hidrograma calculado, o ajuste dos picos de cheias em termos de valor máximo, volume, forma e tempo de ocorrência.

Devido a inexistência de medição contínua de vazão na área de estudo, adotou-se para verificar o ajuste dos parâmetros do modelo uma única seção de controle próximo à foz da bacia denominada seção barraca, onde os resultados obtidos para cada ajuste dos parâmetros e execução da simulação buscaram otimizar as funções objetivo coeficiente de Nash-Sutcliffe (Equação 8) e a relação entre as vazões calculados e observados (Equação 9).

$$NS = 1 - \frac{\sum (Q_{obs}(t) - Q_{mod}(t))^2}{\sum (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (8)$$

$$\Delta V = \frac{\sum (Q_{mod}(t)) - \sum (Q_{obs}(t))}{\sum (Q_{obs}(t))} \quad (9)$$

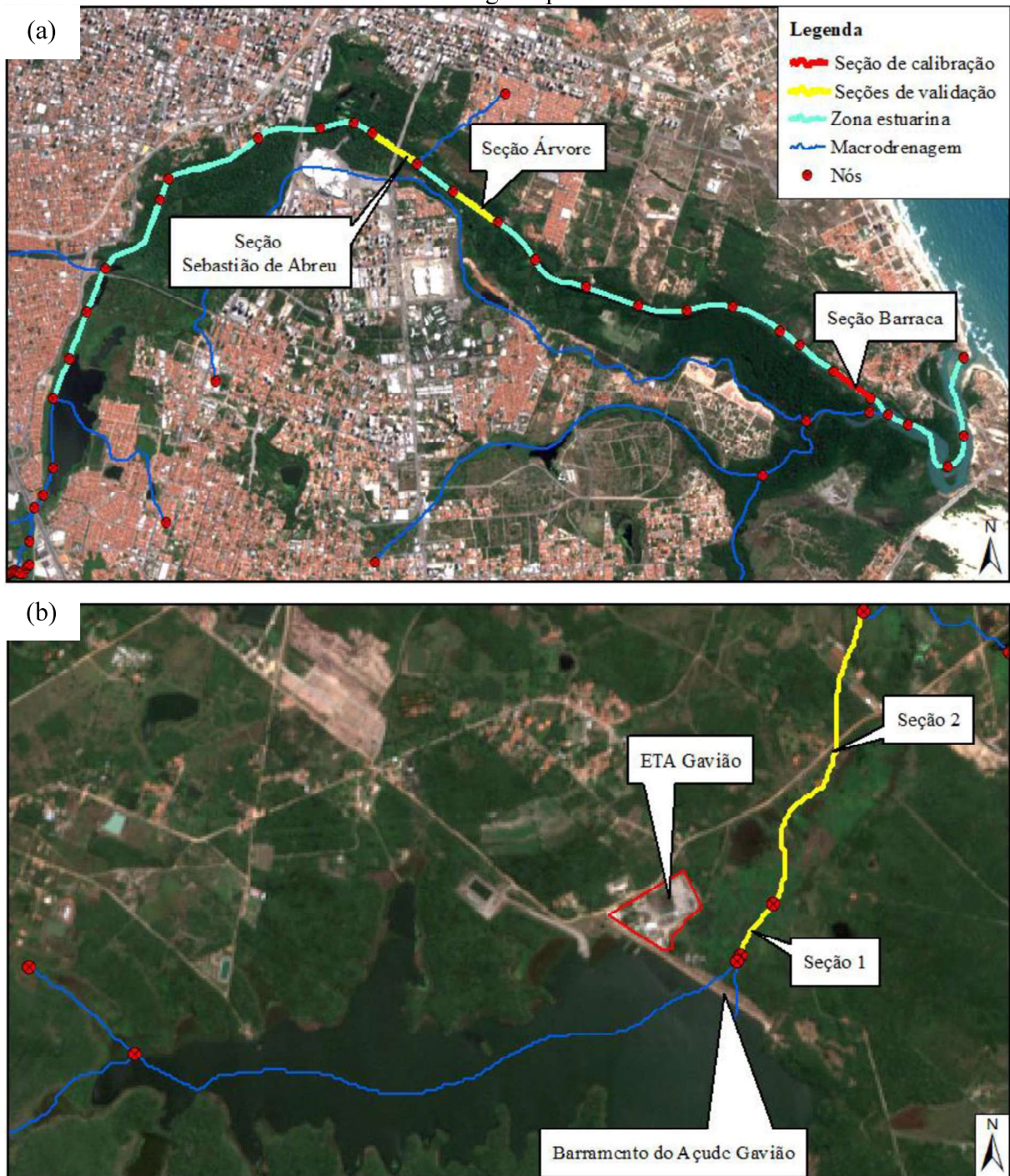
Estas funções procuram avaliar a qualidade do ajuste, sendo que algumas são mais sensíveis aos erros nas vazões máximas (NS) enquanto o erro dos volumes (ΔV) é complementar e avalia o desvio geral do volume total calculado em relação ao observado (TUCCI, 1998).

Os dados de vazão medida disponíveis foram levantados em três dias distintos para o período de agosto de 1996. Utilizou-se, assim, parte dos dados levantados para a calibração, sendo especificamente os dados levantados na seção adotada para este fim, e os dados nas demais seções utilizou-se para uma posterior validação do modelo.

3.5.2 Simulação e validação

Visando a validação do modelo, simulou-se o escoamento em toda a bacia para o período de agosto de 1996, do qual dispõe-se de dados medidos. A validação da simulação foi realizada através do uso das equações 8 e 9 para três trechos ao longo do rio Cocó, sendo dois dos trechos localizados à jusante do reservatório Gavião, seção 01 e 02, na porção mais rural da bacia e submetidos a um regime próximo do permanente e o outro próximo à foz, sob influência marítima, seção árvore, na região mais urbanizada. A Figura 11 a seguir apresenta os trechos usados para validação e o trecho de calibração.

Figura 11 - Seções de calibração e validação (a) nos trechos sob influência marinha e (b) nos trechos em regime permanente.



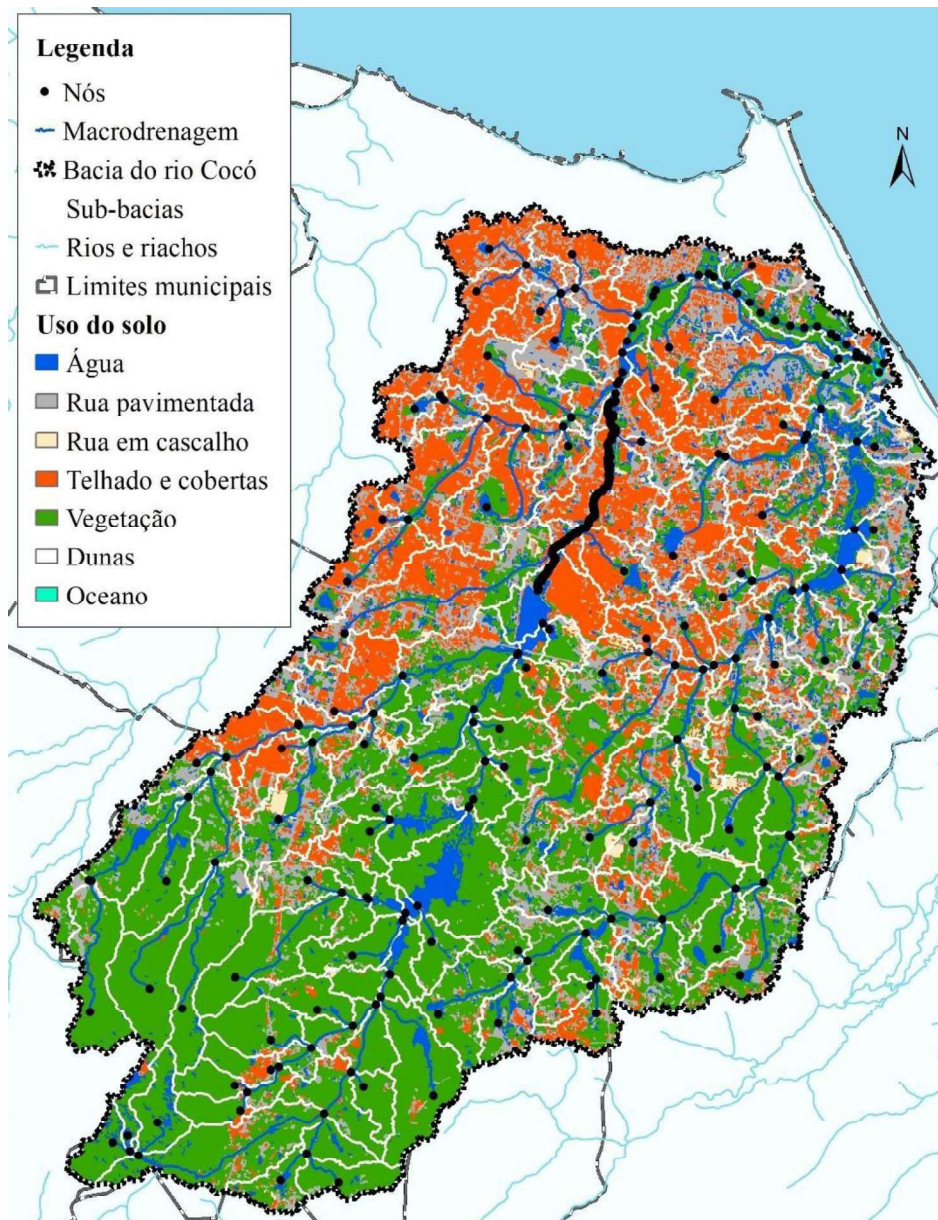
Fonte: elaborado pela autora (Imagens do satélite Sentinel-2B em 18/07/2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Delimitação das sub-bacias, dos trechos da macrodrenagem e caracterização do uso do solo da bacia

Obteve-se a partir da delimitação automática um total de 173 sub-bacias, conforme pode-se observar na Figura 12 a seguir. Ademais, apresenta-se na mesma os trechos da macrodrenagem também obtidos na delimitação automática e a distribuição das classes de usos do solo adotadas. Quanto aos demais elementos, obteve-se um total de 586 nós e de 549 trechos, onde a maior densidade deu-se a partir da barragem do Cocó até a BR-116.

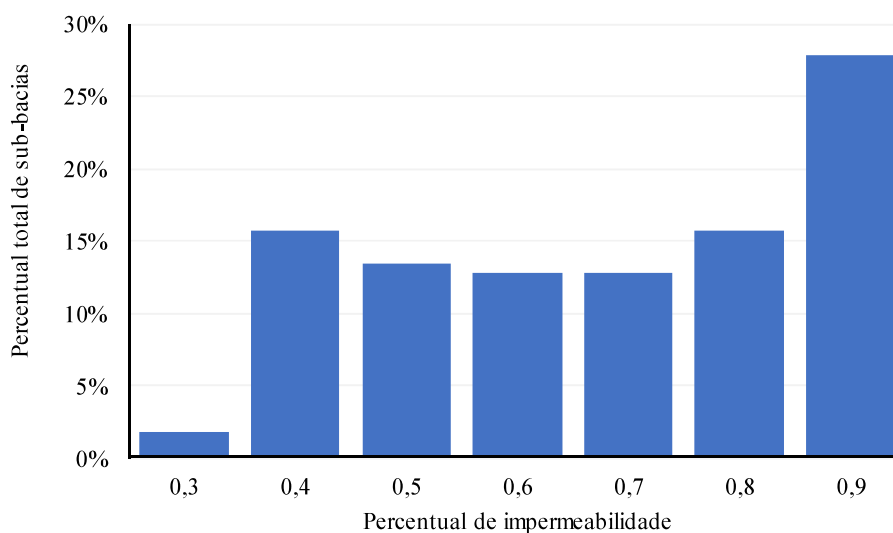
Figura 12 - Macrodrenagem delimitada e uso e ocupação do solo da bacia do rio Cocó.



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 13 apresenta resumidamente o principal resultado da realização da classificação do uso do solo das sub-bacias: o percentual de impermeabilidade. A variação nesse percentual foi de 30% a 95%. Analisando as características das 173 sub-bacias, aproximadamente 120 destas possuem um percentual de impermeabilidade superior a 50% e 76 possuem esse percentual acima de 70%. Avaliando as sub-bacias quanto ao percentual de impermeabilidade, as sub-bacias rurais, com percentual de impermeabilidade inferior a 0,5, representam aproximadamente 31% do total de sub-bacias. Observa assim que a área modelada é majoritariamente urbana.

Figura 13 - Percentual de impermeabilidade das sub-bacias.



Fonte: elaborado pela autora.

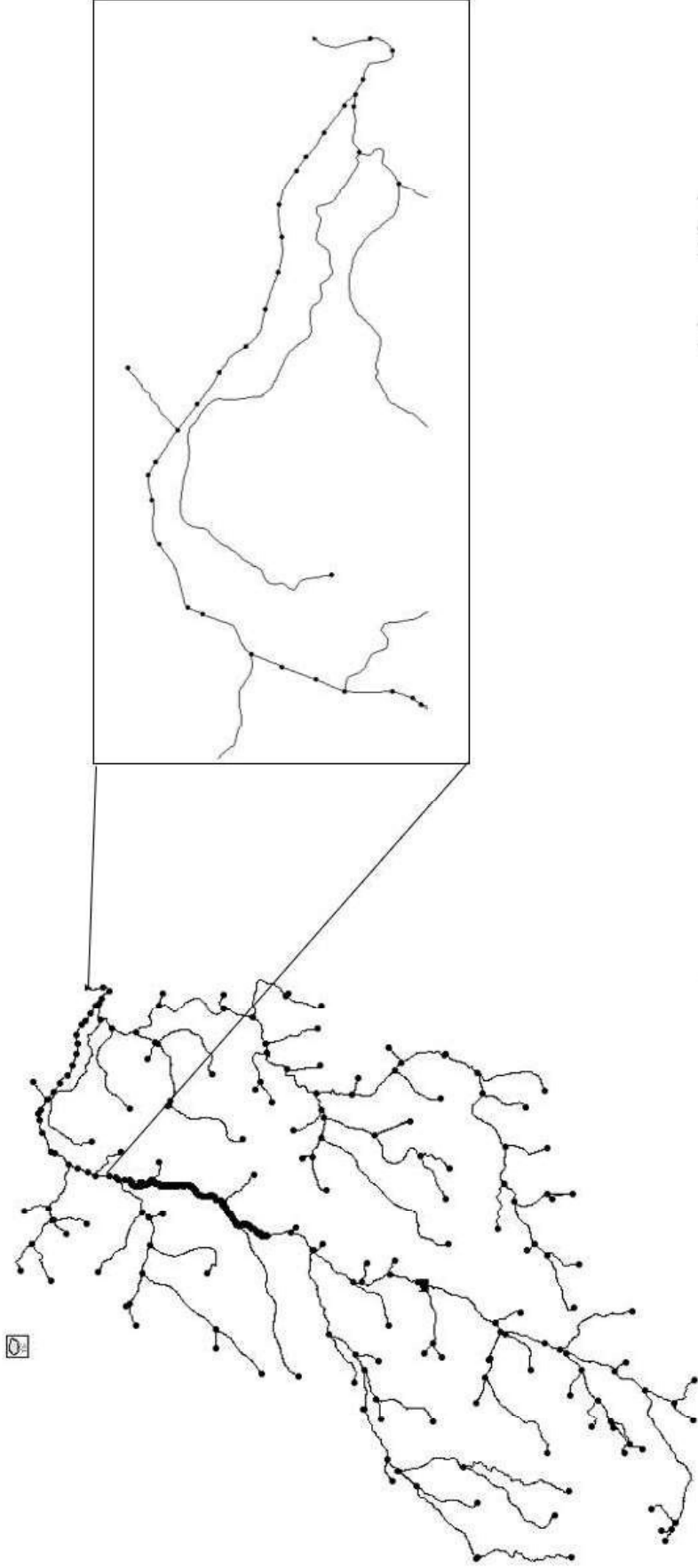
4.2 Modelo de drenagem exportado para o SWMM

Uma vez com as sub-bacias, trechos e nós delimitados, realizou-se a exportação desses arquivos vetoriais para a extensão solicitada pelo SWMM através do software BASINS. No SWMM, então, prosseguiu-se ao melhoramento do modelo e inserção das informações mais precisas para os elementos da drenagem, principalmente os trechos. Realizou-se então o seccionamento dos trechos mais longos através da inserção de nós intermediários e das seções transversais naturais disponíveis para cada segmento. Esse aspecto foi realizado para os trechos mais próximos da foz do rio dentro da região urbana de Fortaleza conforme apresentado na Figura 14. Para os trechos entre a BR-116 e a barragem do rio Cocó, inseriu-se os nós a cada estaca levantada pela topografia de modo a melhor representar o comprimento e a sinuosidade

do rio. Nessa região, segundo pode-se observar na Figura 15, há a maior densidade de trechos e, conseqüentemente, a melhor representação do rio.

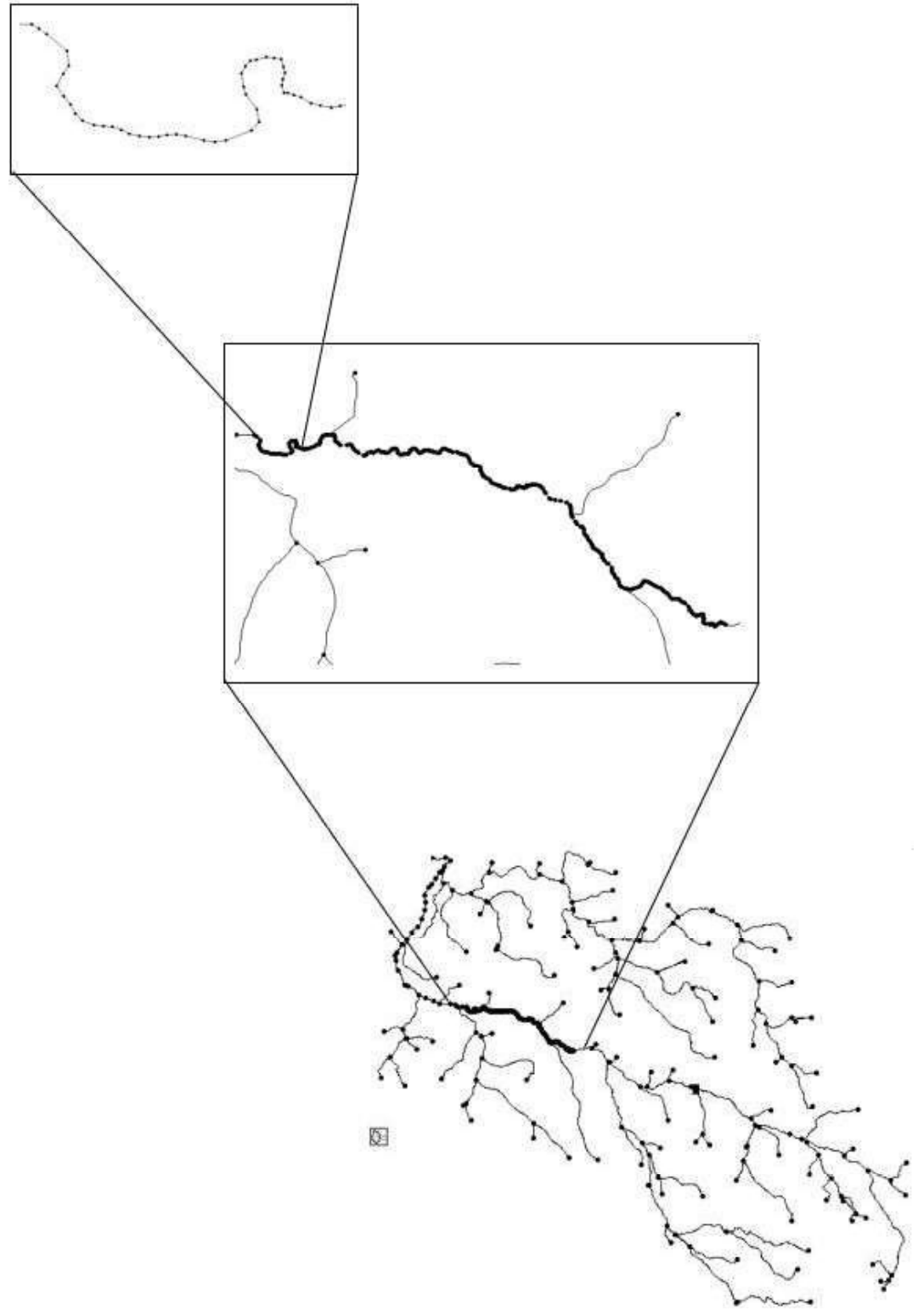
Adicionou-se também ao modelo um nó, à jusante do reservatório Gavião, representativo à ETA Gavião, no qual adicionou-se uma vazão externa permanentemente lançado no sistema, esquematizado na Figura 16.

Figura 14 – Detalhamento dos trechos da região estuarina do rio Cocó.



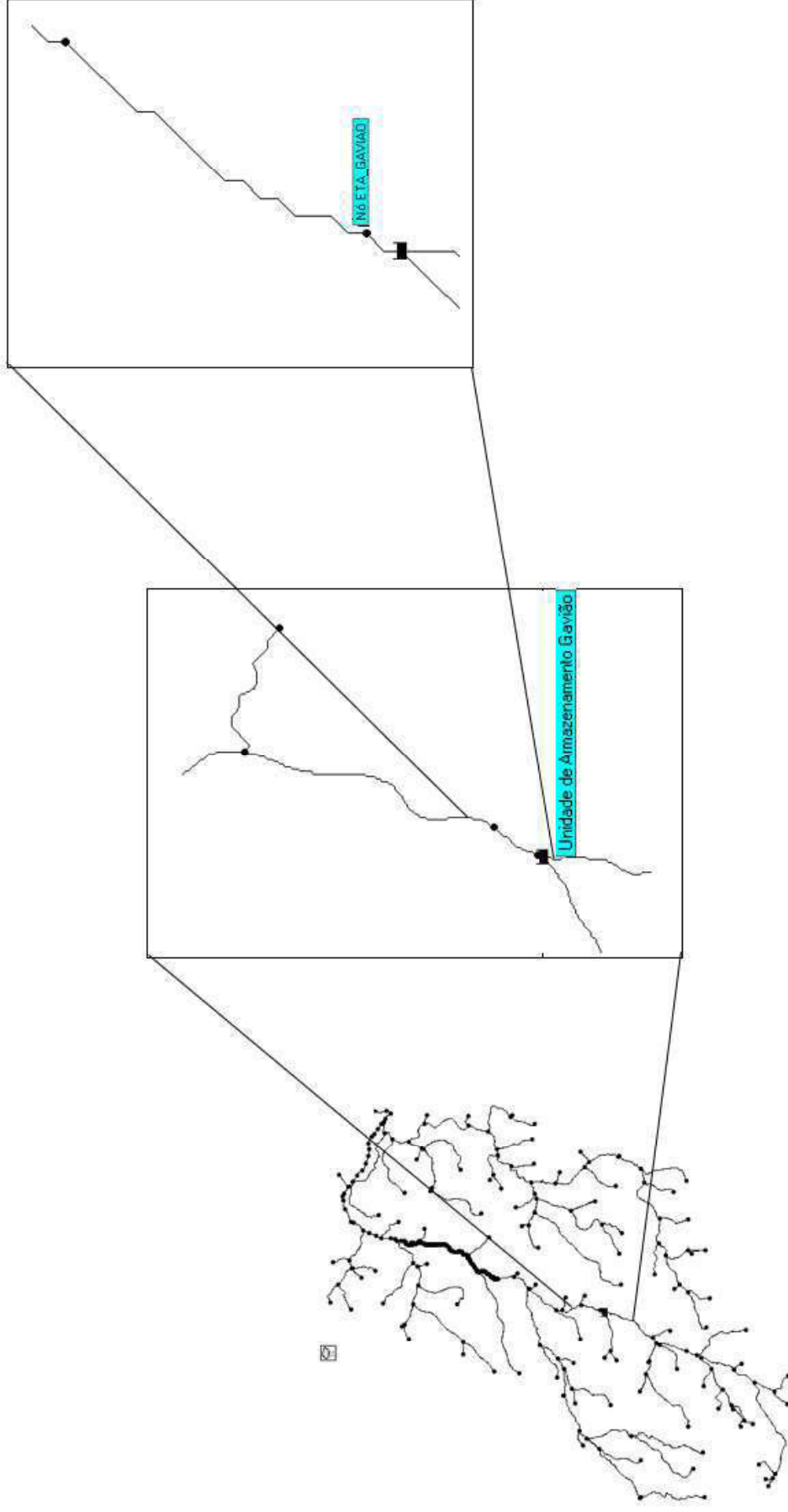
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 15 - Detalhamento do rio principal entre a barragem do Cocó e a BR-116.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 16 - Detalhamento do reservatório Gavião e da ETA Gavião no modelo do SWMM.



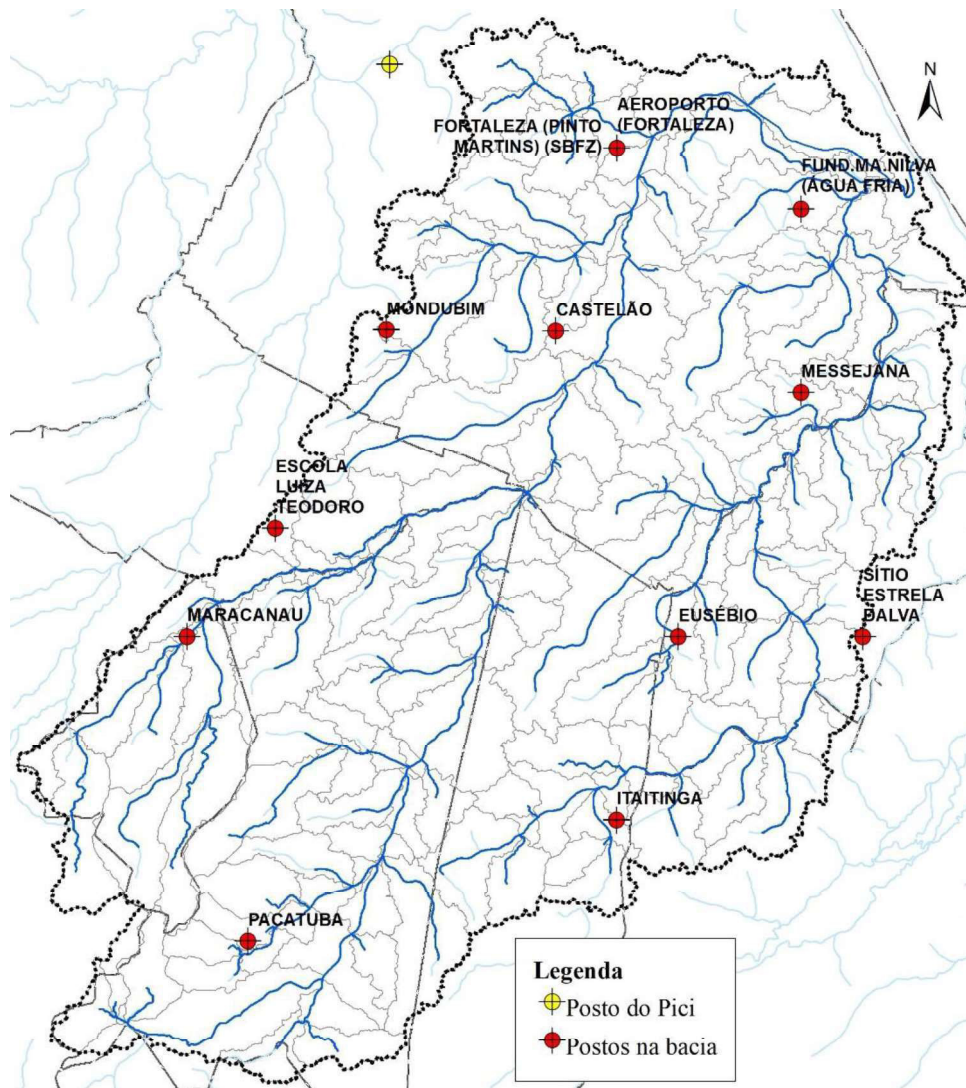
Fonte: elaborado pela autora.

4.3 Precipitação e vazões afluentes ao sistema

A Figura 17 a seguir apresenta a distribuição dos postos pluviométricos localizados na bacia e a Figura 18 apresenta as séries de precipitação total diária de cada posto na bacia e do posto do Pici ao longo do mês modelado. Do total de postos existentes, apenas cinco possuíam dados de precipitação total diária para o mês de agosto de 1996.

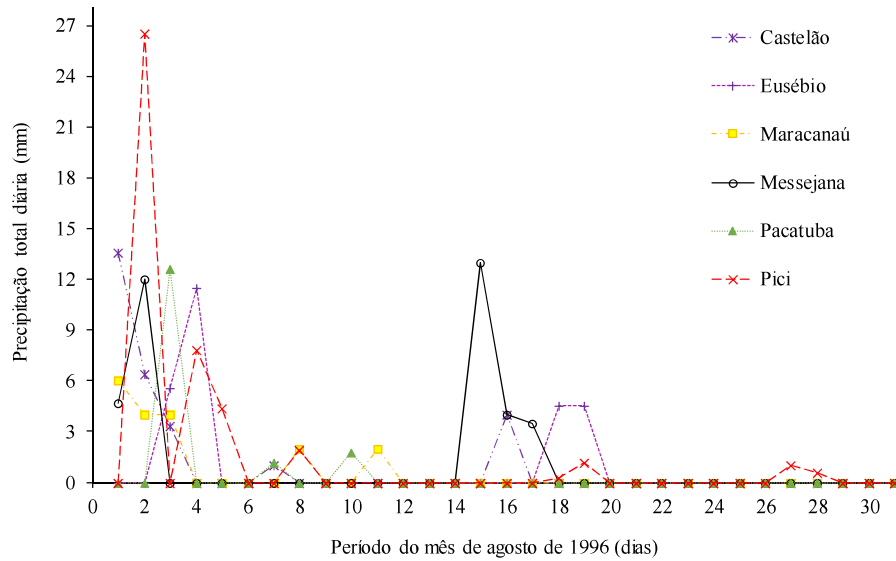
O desvio médio percentual da precipitação total mensal desses postos em relação ao posto do Pici variou de 14,9% a 64,3% sendo para o posto de Messejana 14,9%, Castelão 35,2%, Eusébio 40,3%, Maracanaú 58,8% e Pacatuba 64,3%. Quanto a distribuição temporal, pode-se ainda observar na mesma figura que em todos os postos a precipitação concentrou-se principalmente no início do mês e entre os dias 14 e 19.

Figura 17 - Localização dos postos pluviométricos na bacia.



Fonte: elaborado pela autora.

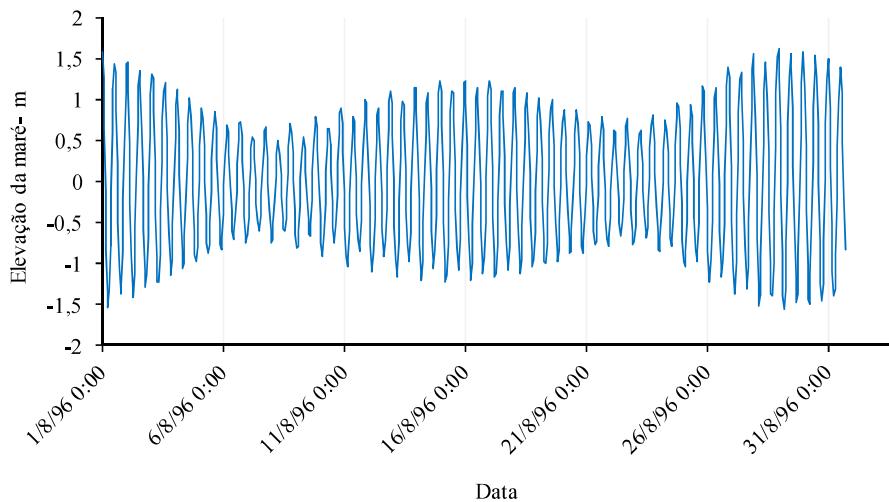
Figura 18 - Precipitação acumulada diária nos postos pluviométricos da bacia do Cocó e no posto pluviométrico do Pici.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 19 encontra-se representada a reconstituição da maré para o porto do Mucuripe para o mês de agosto de 1996 adicionada à foz do rio no modelo. Em geral, as marés são classificadas em três tipos de acordo com a frequência com que ocorrem e simetria de sua curva. São elas as marés semi-diurna, diurna e mista. O tipo de maré mais comum que ocorre é a maré semi-diurna, onde pode-se perceber a ocorrência de duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar de 24 horas e 50 minutos. Conclui-se que a maré na região é semi-diurna, com amplitudes médias na foz do estuário de $\sim 1,5$ m na sizígia e de $\sim 0,5$ m na quadratura, caracterizando um estuário de micromaré.

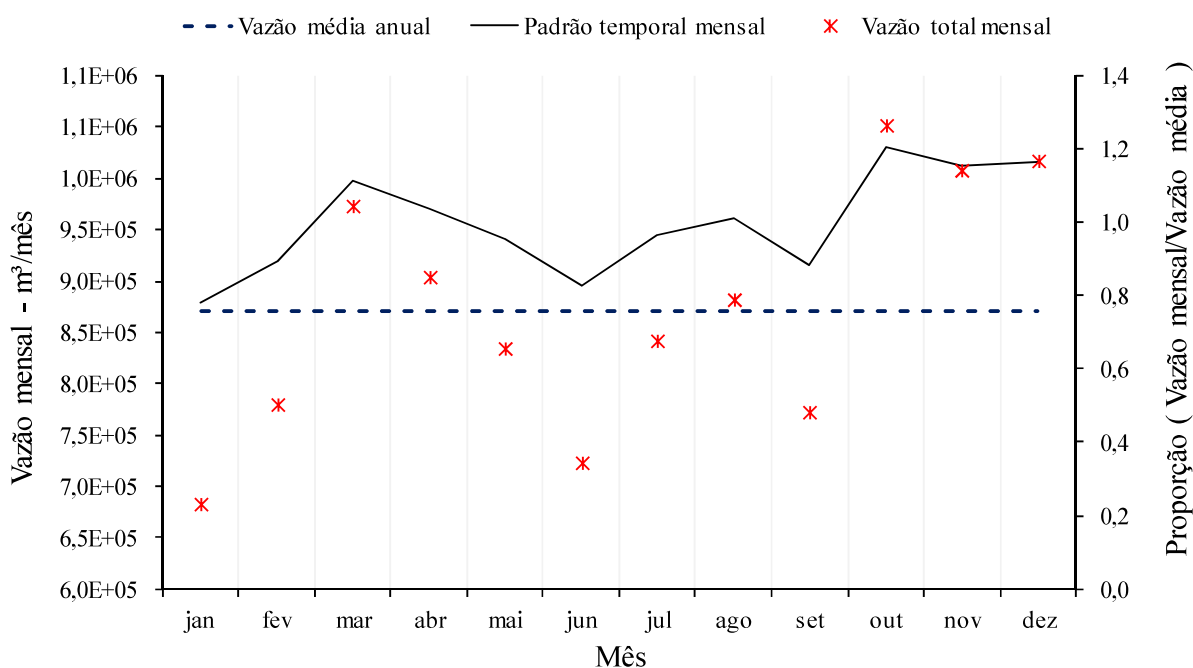
Figura 19 - Curva de maré reconstruída com dados do porto do Mucuripe, Fortaleza-CE.



Fonte: elaborado pela autora.

A vazão média gerada a partir da lavagem dos filtros da ETA Gavião e o padrão temporal mensal desse lançamento estão apresentados na Figura 20. As vazões médias variaram de, aproximadamente, 681 a 1051 dam³/mês, com uma média total anual de 871 dam³/mês. A vazão média e o padrão temporal de lançamento foram inseridos no modelo como uma vazão permanente lançada no sistema.

Figura 20 - Curva de vazão média residual de lavagem dos filtros da ETA - Gavião e padrão temporal desenvolvido.



Fonte: elaborado pela autora.

4.4 Análise dos parâmetros do módulo *Runoff* e dos resultados da calibração

4.4.1 Parametrização das sub-bacias

As estatísticas referentes aos valores mínimos, médio e máximo para os principais parâmetros relacionados à topografia e uso do solo das sub-bacias estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Estatísticas dos principais parâmetros das sub-bacias.

Parâmetros das sub-bacias	Estatísticas					
	Sub-bacias Rurais			Sub-bacias Urbanas		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
A - ha	4,36	310,68	1452,13	0,46	300,68	1489,27
W - m	209,20	1632,24	3810,90	68,30	1572,49	3859,30
Declividade (%)	2,10	4,98	20,70	0,00	2,90	4,20
N_Perv	0,115	0,142	0,150	0,014	0,100	0,150
N_Imperv	0,025	0,070	0,150	0,005	0,017	0,025
S_Perv – mm	4,501	4,933	5,080	1,905	4,032	5,080
S_Imperv - mm	2,186	3,298	5,080	1,905	2,070	2,345

Fonte: elaborado pela autora.

Inicialmente, quanto à área das sub-bacias, observa-se que a área média foi de 310 hectare a uma máxima de 1489 hectare. De acordo com Krebs *et al.*, (2013), que buscou uma metodologia para parametrizar um modelo hidrológico usando o SWMM aplicável a uma área urbana de larga escala não controlada, a área para as suas sub-bacias variou de 6 a 12 hectare. Quanto à largura das maiores sub-bacias no presente trabalho, as maiores são majoritariamente rurais por haver maior homogeneidade espacial. De acordo com Niemi *et al.*, (2019), em seu estudo realizado na bacia de Länsi-Pakila, Finlândia, coberta por mais de 50% com vegetação, onde realizou-se a avaliação da interação entre a forma e o uso do solo da bacia, concluiu-se que unir sub-bacias com homogeneidade no uso do solo simplifica e mantém a performance nos resultados da modelagem.

O parâmetro declividade média apresentado caracteriza as sub-bacias desde plana a forte-montanhoso, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979). As principais classes de declividade encontradas para as sub-bacias em estudo foram: plana, 0 – 3%, suave-ondulado, 3 – 8%, e ondulado, 8 – 20%. Para a área urbana obteve-se uma declividade média de 2,9%, configurando-se uma região mais plana. Já para a área mais rural, obteve-se uma declividade média de 5% com um relevo mais suave-ondulado declividade. Embora a máxima

declividade tenha sido elevada, 20,7%, já um relevo forte ondulado, esta foi identificada em apenas uma sub-bacia localizada próxima da nascente do rio Cocó.

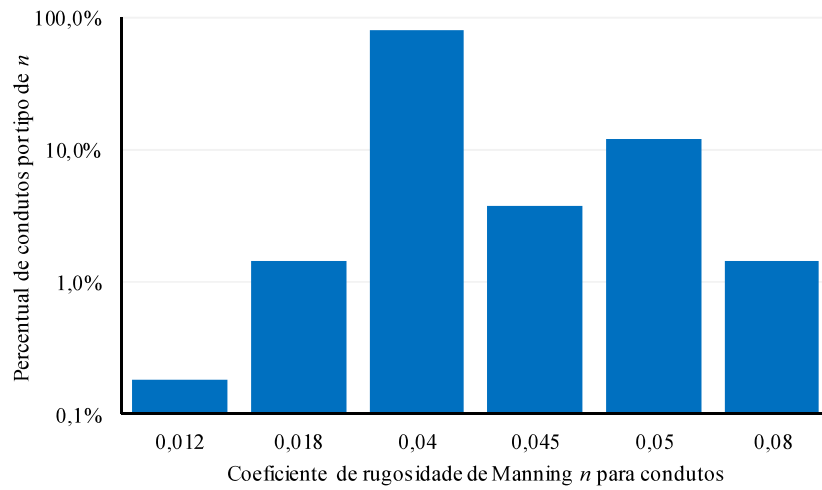
Quanto ao coeficiente de rugosidade n para escoamento à superfície livre nas sub-bacias, segundo o manual do SWMM, os usos do solo com maior coeficiente adotados no presente trabalho são campo natural e grama com n variando de 0,13 a 0,4 respectivamente. Já os usos com menor coeficiente são asfalto liso e concreto liso com n de 0,011 a 0,012 respectivamente. Observa-se que os valores médios obtidos para as superfícies permeáveis e impermeáveis nas sub-bacias rurais e urbanas encontram-se coerentemente próximos as faixas dos valores de referência citados.

Para os parâmetros profundidade de armazenamento em depressões nas áreas permeáveis e impermeáveis, os valores de referência variam de 1,72 mm a 5,08 mm para superfícies impenetráveis e pastagens, respectivamente. Nas sub-bacias rurais obteve-se profundidade média de 4,9 mm para áreas permeáveis e 3,2 mm para áreas impermeáveis. Para as sub-bacias urbanas obteve-se 4 mm e 2 mm para as superfícies permeáveis e impermeáveis, respectivamente.

4.4.2 Parâmetros calibrados dos condutos

O coeficiente de rugosidade Manning para os tributários e rios foi ajustado e seu valor variou de 0.012 a 0.08 conforme distribuição apresentada na Figura 21. O manual do SWMM é bastante simplificado quanto às recomendações para este coeficiente em canais abertos naturais apresentando uma faixa bastante ampla, 0,03 a 0,07, para canais naturais de largura inferior a 30 metros em seção razoavelmente regular. O valor mais representativo obtido para n foi de 0,04 cuja descrição de acordo com Chow (1973) é de um canal em solo argiloso ou argilo-arenoso cujas declividades laterais e de fundo são irregulares com presença de grama nas encostas.

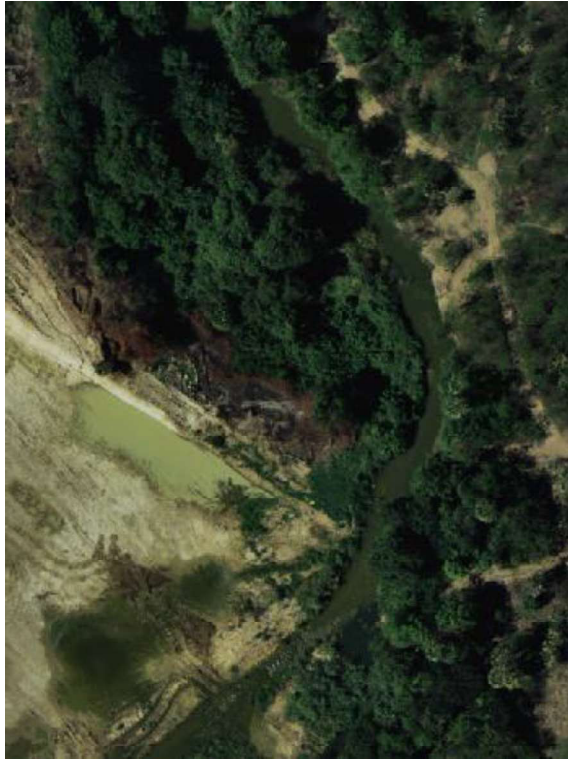
Figura 21 – Distribuição dos Coeficientes de rugosidade de Manning dos trechos da bacia.



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 22 apresenta alguns trechos selecionados e os respectivos coeficientes adotados de modo a exemplificar as características consideradas para cada tipo de n .

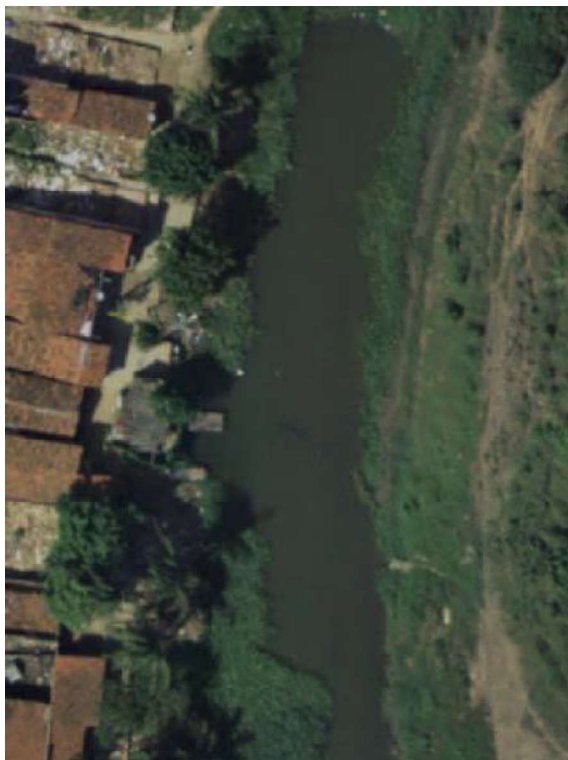
Figura 22 - Coeficiente n de Manning para alguns trechos da drenagem.



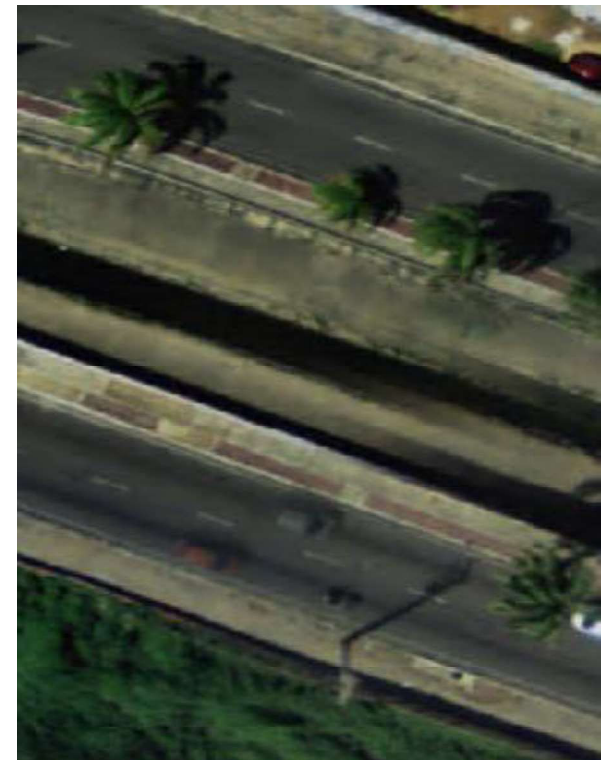
$n = 0,08$



$n = 0,06$



$n = 0,04$



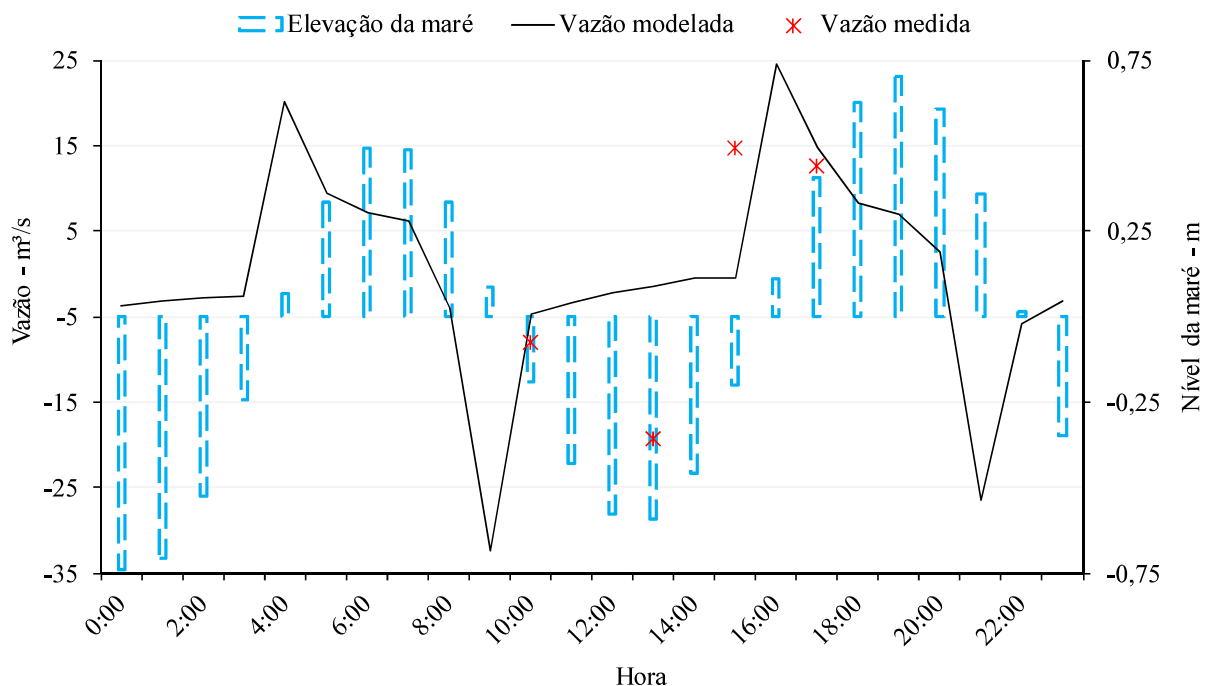
$n = 0,012$

Fonte: elaborado pela autora.

4.4.3 Ajuste entre as vazões medidas e modeladas

A Figura 23 apresenta o resultado entre as vazões medidas e modeladas, na seção barraca, próximo à foz do rio Cocó para o melhor ajuste calibrado. Pode-se observar inicialmente que a seção barraca apresenta uma oscilação completa de maré, havendo porém uma relativa defasagem temporal na vazão modelada em relação às oscilações da maré no exutório. Entretanto, de acordo com Nicolite *et al.*, (2009), as marés oceânicas podem sofrer modificação na fase e distorções em suas amplitudes em sua progressão para águas rasas e ambientes restritos como estuários, onde estas alterações podem ser devidas a fatores como atrito com o fundo, compressão das margens do canal ou à profundidade do canal estuarino. Ribeiro (2005), ao comparar os resultados de modelos hidráulicos e hidrodinâmicos no estuário do rio Cocó identificou uma defasagem existente entre diversas seções ao longo do rio, aspecto que ressalta o processo de evolução da maré ao longo do estuário. Assim, de maneira simplificada, pode-se dizer que o SWMM conseguiu descrever bem a influência marinha na seção ao ser observada a evolução temporal das vazões.

Figura 23 - Vazões medida e modelada na seção de calibração.



Fonte: elaborado pela autora.

Após os ajustes nos parâmetros dos canais e das simulações, a partir da situação mais adequada, obteve-se um coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,5 para esta seção, para os valores de vazão modelada em relação às medidas apresentadas na Figura 23. Os principais

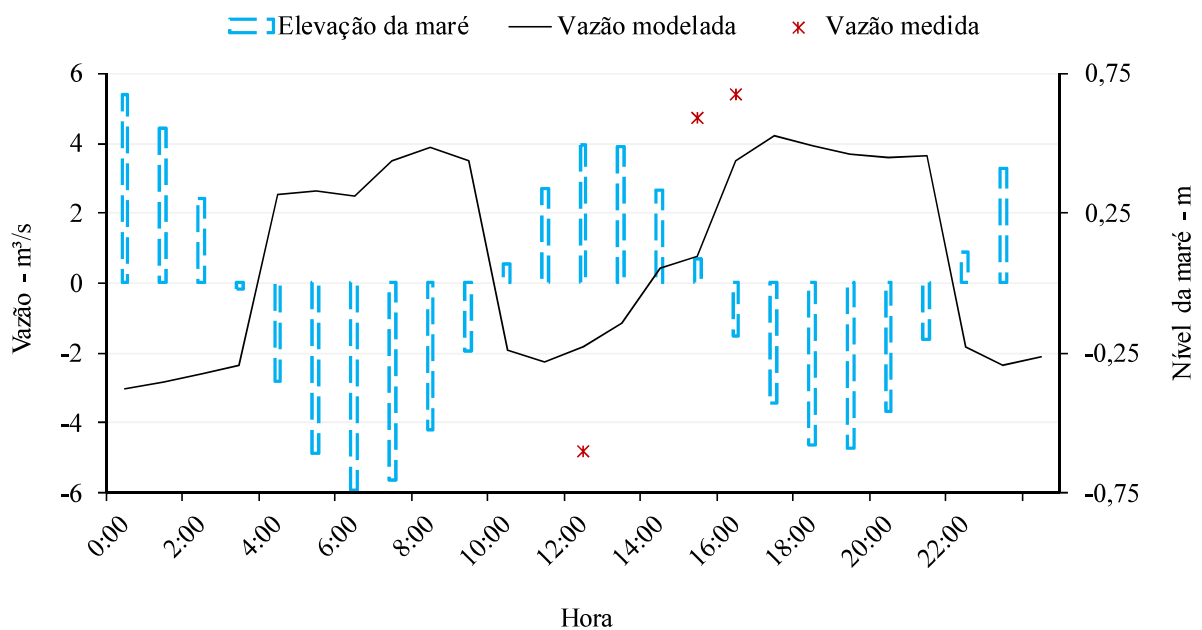
aspectos pelos quais admitiu-se esse coeficiente como significativo foram: o tempo transcorrido desde o período das medições, o qual envolveu mudanças nas seções transversais do rio que serão melhor explicitadas posteriormente, e a preparação do modelo com todos os dados relativos ao uso do solo e às características das sub-bacias para a situação atual, também remetendo às possíveis mudanças ocorridas desde o período das medições.

4.5 Validação do modelo hidrológico-hidráulico

4.5.1 Seções sob influência marinha

A seção árvore, também localizada na região sob influência marinha e com a presença de transientes hidráulicos, foi usada para avaliação dos resultados do modelo calibrado. As vazões foram medidas em três momentos do dia 08/08/1996. A Figura 24 apresenta as vazões medidas e modeladas, junto à curva de maré adicionada ao exutório da bacia.

Figura 24 - Vazões medida e modelada na seção de validação.



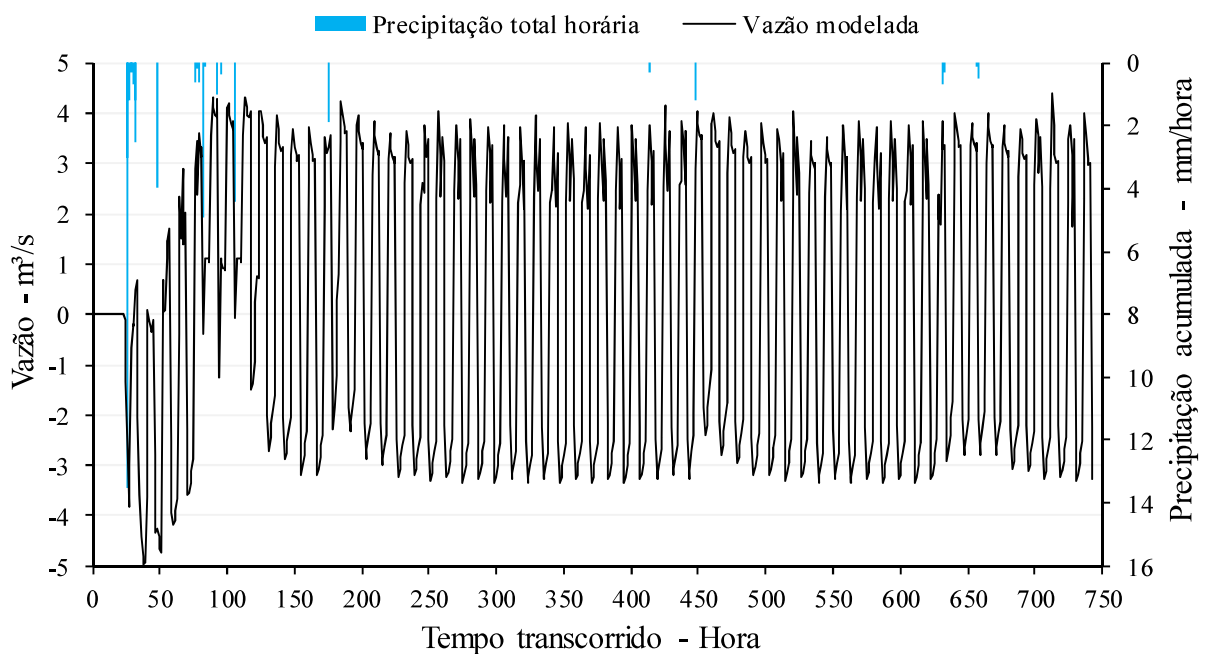
Fonte: elaborado pela autora.

Pode-se observar que há uma boa convergência da forma da vazão modelada em relação às medidas, embora o próprio valor das vazões medidas seja relativamente superior aos valores modelados. O coeficiente de Nash-Sutcliffe obtido para esta seção foi de 0,57 evidenciando, similarmente à seção barraca, uma boa aproximação do modelo em reproduzir

as vazões de campo, contudo com as limitações referentes principalmente a atualidade dos parâmetros usados em relação ao período em que ocorreram as medições.

Os resultados da simulação mostraram ainda que o regime de escoamento nesta seção é majoritariamente influenciado pelo nível da maré, aspecto observado por Leitão (2018) ao realizar a modelagem hidrodinâmica do rio Cocó no HEC-RAS, em que este concluiu que a influência marinha se estende até onze quilômetros a partir da foz. Os efeitos da precipitação, porém, são perceptíveis, conforme mostra a Figura 25, ao gerarem uma mudança no hidrograma de vazão no trecho produzindo um fluxo preferencialmente positivo, ou seja, no sentido da foz do rio para descarga da água advinda da bacia.

Figura 25 - Vazão modelada mensal e precipitação para a seção árvore.

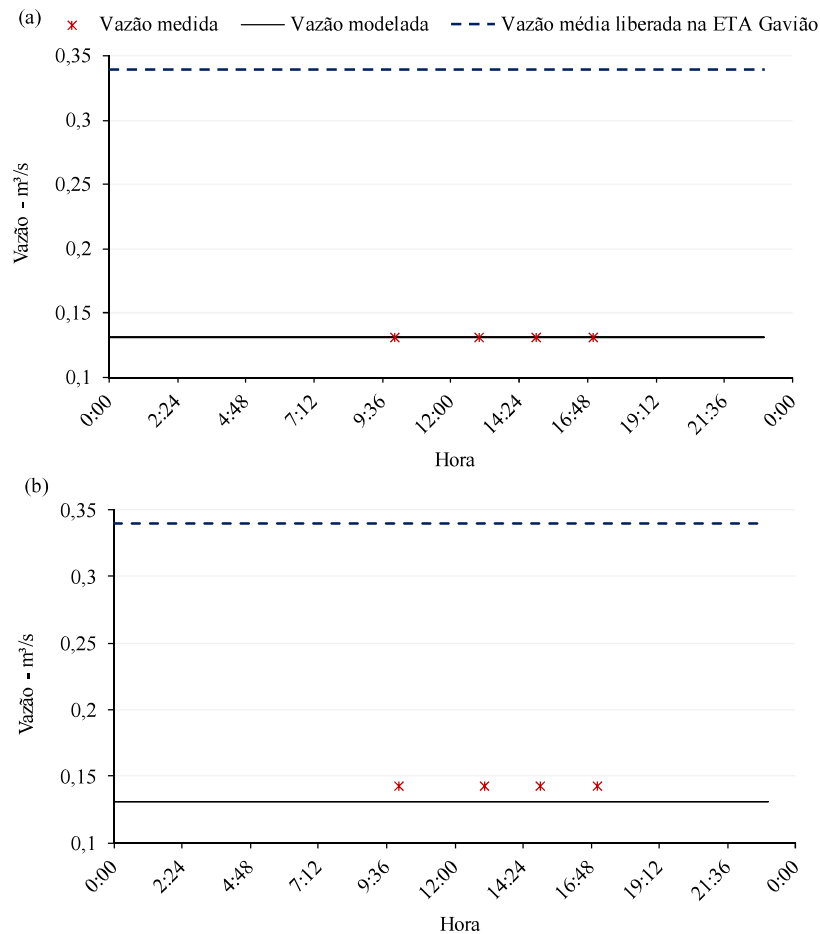


Fonte: elaborado pela autora.

4.5.2 Seções em regime permanente

A Figura 26 apresenta as vazões medidas e modeladas para os trechos 1 e 2, localizados na zona mais rural da bacia fortemente influenciadas pelo aporte permanente da vazão de descarga dos filtros da Estação de Tratamento de Água Gavião. É apresentado também a vazão média liberada por esta para o sistema de drenagem.

Figura 26 - Vazões medida e modelada nas seções à jusante da ETA Gavião (a) 2 e (b) 1.



Fonte: elaborado pela autora.

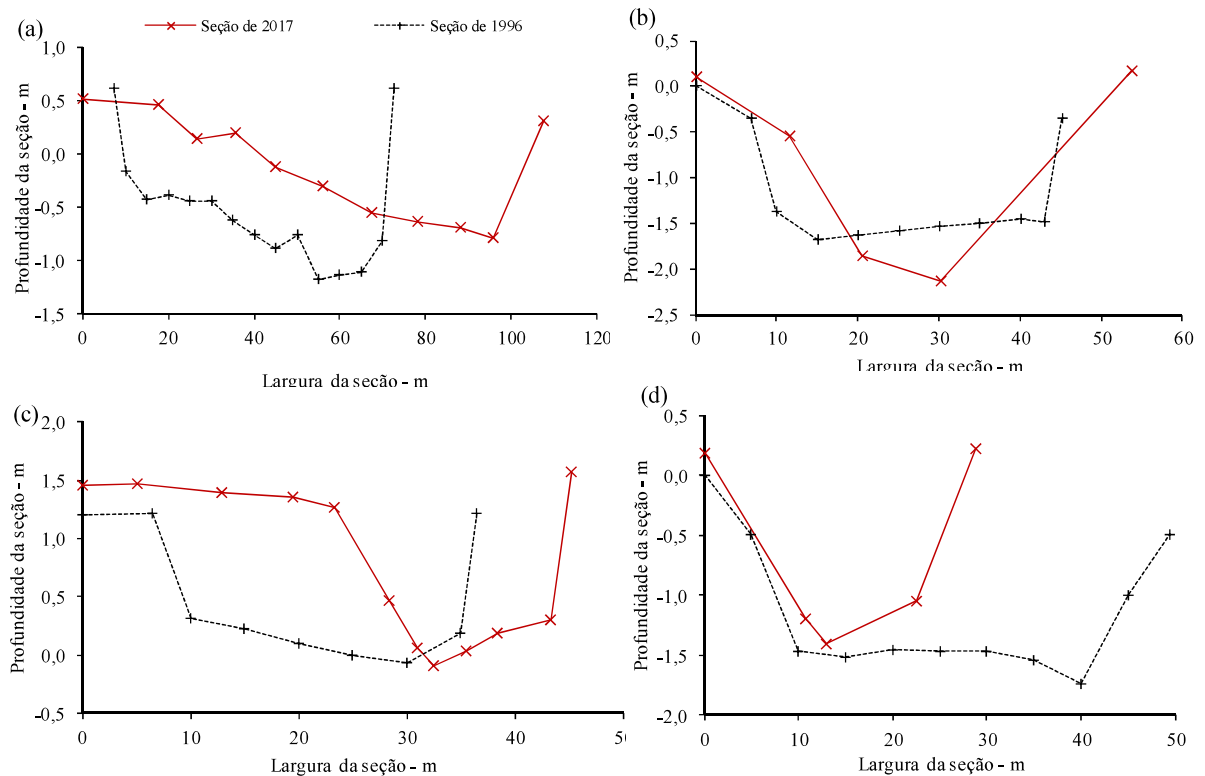
A vazão constante existente no trecho deve-se principalmente à seção localizar-se muito próximo à estação de tratamento, a qual lança permanentemente uma vazão nesse trecho. Ademais, a água que escoar por esses trechos advém em maior volume quando o reservatório Gavião verte, aspecto que não ocorreu durante o período simulado. Em razão da invariabilidade dos valores de vazão observada, utilizou-se o desvio médio entre as vazões medidas e modeladas para avaliar os resultados da simulação nesses trechos. Nóbrega (1998) mediu nos respectivos trechos vazões aproximadamente constantes.

A seção 1 apresentou desvio médio de 8,6% enquanto a seção 2 mostrou desvio de, aproximadamente, 0,2%. Devido a seção mais uniforme em ambos os trechos, a baixa profundidade, e a maior influência ser devida a vazão permanente lançada, obteve-se maior ajuste aos valores medidos nessas seções do que nas seções barraca e árvore.

4.6 Limitações do modelo

A Figura 27 apresenta as seções transversais dos quatro principais trechos em que foram medidas as vazões. Apresenta-se a seção topográfica levantada para o ano de 2017 e para o ano de 1996 por Nóbrega (1998). As diferenças existentes são bastantes significativas para influenciarem nos resultados dos valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe e no desvio médio das vazões no processo de validação, principalmente para os trechos representados pelas seções Murilo Borges e Sebastião de Abreu. Para estas duas últimas seções obteve-se um desvio médio entre as vazões medidas e modeladas em torno de 90%.

Figura 27 - Seções topográfica atuais e do período de medição para os trechos da (a) barraca (b) árvore (c) Murilo Borges e (d) Sebastião de Abreu.



Fonte: elaborado pela autora.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou os resultados da modelagem hidrológico-hidráulica realizada no software SWMM acoplado a ferramentas de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas para a macrodrenagem de uma grande bacia características rurais e urbanas do rio Cocó, influenciada pela maré nos trechos da foz. Realizou-se a discretização da área em estudo em sub-bacias, delimitou-se o sistema de macrodrenagem existente, uso e ocupação do solo, estimou-se os parâmetros físicos e espaciais de cada sub-bacia e trecho, e reconstituiu-se uma curva de maré para o exutório a partir do método harmônico. A modelagem para a bacia em um período de um mês mostrou que o SWMM conseguiu descrever satisfatoriamente a influência marítima nos trechos da região estuarina da bacia e que houve boa convergência entre as vazões medidas e modeladas com coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,57 para seção validada. Ademais, o trecho validado na zona rural da bacia apresentou um regime de vazão aproximadamente constante, devido principalmente à descarga contínua lançada a montante deste, com desvio médio entre as vazões medidas e modeladas de 8,6%. Em síntese, os resultados obtidos indicam que o SWMM pode ser utilizado para acoplamento de modelos hidrológicos e hidráulicos em grandes bacias rurais e urbanas e sob influência de maré. Portanto, pode-se afirmar que o software avaliado e validado neste trabalho tem potencial para auxiliar na gestão integrada de águas rurais, urbanas e costeiras.

5.1 Recomendações

Almejando o melhoramento do modelo desenvolvido algumas sugestões são destacadas para futuros trabalhos:

- a) Realizar medições atuais de vazão no rio Cocó distribuídas em mais trechos;
- b) Acrescentar a drenagem artificial existente referente às galerias e canais para elaboração do sistema completo de drenagem;
- c) Inserir todas as seções transversais do rio Cocó disponíveis;
- d) Inserir reservatório do Cocó como unidade de armazenamento do sistema;
- e) Implementar um modelo de escoamento e contribuição contínua de vazão em tempo seco.

REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Obras e gestão de portos e costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. Ed. São Paulo, 2009. 804 p.
- ARICÒ, C.; TUCCIARELLI, T. A marching in space and time (MAST) solver of the shallow water equations. Part I: The 1D model. [S.l.], **Advances in Water Resources**, v. 30, n. 5, p.1236-1252, maio 2007.
- BABOVIC, F.; MIJIC, A.; MADANI, K. Decision making under deep uncertainty for adapting urban drainage systems to change, [S.l.], **Urban Water Journal**, v. 15, n. 6, p.552-560, jul. 2018.
- BATISTA, J. A. N.; BOLDRIN, A. J. Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas, [S.l.], **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 263–273, Mar. 2018.
- BEZERRA, J. A.; SILVA, C. N. M. Entre o rural e o urbano interiorizado, **Mercator, Fortaleza**, v. 17, e17019, out. 2018.
- BHATT, G.; KUMAR, M.; DUFFY, C. J. A tightly coupled GIS and distributed hydrologic modeling framework, [S.l.], **Environmental Modelling & Software**, v. 62, p.70-84, dez. 2014.
- BUTLER, David; DAVIES, Jonh W. **Urban drainage**. 3 ed. New York, 2011, 652 p.
- CARDOSO, M.; MULLER, S.; DUARTE, A.; LIMA J. Ações de regularização fundiária e de mensuração das desconformidades urbanas: o caso das terras da União sob a tutela da Universidade Federal do Pará na cidade de Belém do Pará, [S.l.], **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 6, n. 3, p. 275-287, dez. 2014.
- CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Relatório de tarefas 2: revisão do plano de gerenciamento das águas da bacia metropolitana e elaboração dos planos de gerenciamento das águas das bacias do Litoral, Acaraú e Coreaú, no estado do Ceará**. Fortaleza, CE, 2010, 314 p.
- CHEN, W.; SWART, H.E. Estuarine residual flow induced by eddy viscosity-shear covariance: Dependence on axial bottom slope, tidal intensity and constituents, [S.l.], **Continental Shelf Research**, v. 167, p.1-13, set. 2018.
- CHOW, Ven .Te. **Open-channel hydraulics**, 2. Ed, New York, 1973, 700 p.
- COELHO, André de Lima. **Método de Previsão de Maré Oceânica Utilizando Análise Harmônica em Séries de 18, 69 anos**. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. (2001). Simulação Hidrológica de Grandes Bacias, [S.l.], **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 95-118, jan/mar 2001.

CUNNINGHAM, C.; GHARIPOUR, M. Pipe Dreams: Urban Wastewater Treatment for Biodiversity Protection, [S.l.], **Urban Science**, v. 2, n. 1, p.10-12, jan. 2018.

DALTOÉ, M. F.; CASTRO, A. S.; CORRÊA, L. B.; LEANDRO, D.; BARCELOS, A. A. Resíduos sólidos na rede de microdrenagem – uma análise qualitativa na cidade de Pelotas/RS, [S.l.], **Revista Monografias Ambientais**, v.15, n. 1, p.175-189, jan. 2016.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. Urban Stormwater Governance: The Need for a Paradigm Shift, [S.l.], **Environmental Management**, v. 57, n. 5, p.1112-1124, fev. 2016.

DINGMAN, Stanley Lawrence, **Fluvial Hydraulics**, London, 2009, 570 p.

DRONKERS, J. Convergence of estuarine channels, [S.l.], **Continental Shelf Research**, v. 144, p.120-133, jul. 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FEMAR. **Fundação de Estudos do Mar**. Acesso em 12/04/2019. Disponível em: < <https://fundacaofemar.org.br/> >

FLETCHER, T. D.; SHUSTR W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R; BUTLER, D.; ARTHUR, S; TROWSDALE, S; BARRAUD, S; DAVIES, A. S.; KRAJEWSKI, J. L. B; MIKKELSEN, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD. The evolution and application of terminology surrounding urban drainage, [S.l.], **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p.525-542, jul. 2014.

GODIN, Gabriel. The analysis of tides. Liverpool, 1972, 264 p.

GOULDEN, S.; PORTMAN, M. E.; CARMON, N. e ALON-MOZES, T. From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges, [S.l.], **Journal of Environmental Management**, v. 219, p.37-45, ago. 2018.

GIRÃO, L.; SIMÕES, N.; MARQUES, J.; LEITÃO, J.; PINA, R. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos, [S.l.], **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p.351-360, jan. 2017.

JUNIOR, M. A. B. S.; SILVA, S. R. E CABRAL, J. J. S. P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife–PE, [S.l.], **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 22, Jan. 2017.

KREBS, G.; KOKKONEN, T.; VALTANEN, M.; SETÄLÄ, H.; KOIVUSALO, H. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling, [S.l.], **Journal of Hydrology**, v. 512, p.482-497, maio 2013.

LEITÃO, Francisco Thibério Pinheiro. **Modelagem hidrodinâmica 1d, 1d/2d e 2d do efeito de maré no rio cocó**. 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento Ambiental), Departamento de engenharia hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

LOURENÇO, I. B.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; BRITTO, A. L. N. P. Rios urbanos e paisagens multifuncionais: estudo de caso – Rio Dona Eugênia, [S.l.], **Paisagem e Ambiente**, [s.l.], n. 36, p.91-115, dez. 2015.

MAKSIMOVIĆ, C.; PRODANOVIĆ, D.; BOONYA-AROONNET, S.; LEITÃO, J.; DJORDJEVIĆ, S.; ALLITT, R. Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding, [S.l.], **Journal of Hydraulic Research**, v. 47, n. 4, p. 512-523, jul. 2009.

MATIAS, Elva Marlene Anastácio. **Avaliação do Impacto dos Órgãos de Entrada no Comportamento dos Sistemas de Drenagem Urbanos**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016

MIRANDA, Luiz Bruner; CASTRO, Belmiro Mendes; KJERFVE, Bjorn. **Princípios de oceanografia física de estuários**. 1 Ed. São Paulo, 2002, p. 417.

MIRANDA, H.; GOMES-JÚNIOR, E. Urbanização reflexa: A emergência de arranjos urbanos intermediários no Brasil pós-1990, [S.l.], **Eure**, v. 43, n.130, p. 207–234, Set. 2017.

MOHANTY, P.K. Flow and its distribution in wide meandering compound channels, [S.l.], **Journal of Hydrology**, v. 575, p.115-130, ago. 2019.

NGUYEN, P.; THORSTENSEN, A.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K.; AGHAKOUCHAK, A.; SANDERS, B.; KOREN, V.; CUI, Z. & SMITH, M. A high resolution coupled hydrologic–hydraulic model (HiResFlood-UCI) for flash flood modeling, [S.l.], **Journal of Hydrology**, v. 541, p.401-420, out. 2016

NICOLITE, M.; TRUCCOLOI, E. C.; SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, C. E. V. Oscilação do nível de água e a co-oscilação da maré astronômica no baixo estuário do rio Paraíba do Sul, RJ, [S.l.], **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 2, jun. 2009.

NIEMI, T. J.; KOKKONEN, T.; SILLANPÄÄ, N.; SETÄLÄ, H.; KOIVUSALO, H. Automated Urban Rainfall–Runoff Model Generation with Detailed Land Cover and Flow Routing, [S.l.], **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 24, n. 5, fev. 2019.

NÓBREGA, Márcio Tavares. **Simulação do comportamento dos transientes hidráulicos na calha do rio Cocó**. 1998. 152 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento Ambiental), Departamento de engenharia hidráulica e ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

O'CALLAGHAN, J. F. & MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data, [S.l.], **Computer Vision, Graphics and Image Processing**. v. 28, n.3, p.323-344. Dez. 1984.

PARKER, B. Bruce. **Tidal hydrodynamics**. 1 ed, New York, 1991, 912 p.

PEREIRA, S. P.; ROSMAN, P. C.; ALVAREZ, C.; SCHETINI, C. A.; SOUZA, R.O.; VIEIRA, R. H. Modeling of coastal water contamination in Fortaleza (Northeastern Brazil), [S.l.], **Water Science and Technology**, v. 72, n. 6, p. 928–936. Jun. 2015.

RENNÓ, Camilo Daleles. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

RIBEIRO, Rômulo Saboya. **Intercomparação de modelos hidrodinâmico e hidráulico no estudo de rio estuarino**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Departamento de Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

RODRIGUES, Cleide; ADADI, Samuel. **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: VENTURI Luis A. B. Praticando a Geografia: técnicas de Campo e Laboratório em geografia e análise ambiental. São Paulo, 2005, pp. 147 -166.

SANZANA, P.; GIRONAS, J.; BRAUD, I.; BRANGER, F.; RODRIGUEZ, F.; VARGAS, X.; HITSCHFELD, N.; MUNOZ, J. F.; VICUNA, S.; MEJÍA, A. & JANKOWFSKY, S. A GIS-based urban and peri-urban landscape representation toolbox for hydrological distributed modeling, [S.l.], **Environmental Modelling & Software**, v. 91, p.168-185, maio 2017.

SCHOLZ, M. Sustainable Drainage Systems, [S.l.], **Water**, v. 7, n. 12, p.2272-2274, maio. 2015.

SILVA, O. E. **Projeto executivo de dragagem do rio cocó**, 2004. Fortaleza.

SWMM. Storm Water Management Model – **User’s Manual**. U. S. Environmental Protection Agency, EPA, Cincinnati, Jul. 2010.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli, BERTONI, Juan Carlos. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1 Ed. Porto Alegre, 2003, 156 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 3 Ed. Porto Alegre, 2004, 943p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Modelos hidrológicos**. 1 Ed, Porto Alegre, 1998, 668 p.

VILLELA, Swami. Marcondes. Estudo do transiente hidráulico do estuário do Rio Cocó. Fortaleza: AGUASOLOS – Consultoria de Engenharia LTDA, 1988, 22 p.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos de Modelagem da Qualidade da água de rios**. 1 Ed. Belo Horizonte, 2007, 588p.

YIN, X.; YANG, Z.; ZHANG, E.; XU, Z.; CAI, Y.; YANG, W. A New Method of Assessing Environmental Flows in Channelized Urban Rivers, [S.l.], **Engineering**, v. 4, n. 5, p.590-596, out. 2018.

ZHU, Z.; OBERG, N.; MORALES, V. M.; QUIJANO, J. C.; LANDRY, B. J.; GARCIA, M. H. Integrated urban hydrologic and hydraulic modelling in Chicago, Illinois, [S.l.], **Environmental Modelling & Software**, v. 77, p.63-70, mar. 2016.

ANEXOS

ANEXO A – CONSTANTES HARMÔNICAS DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA DO PORTO DO MUCURIBE UTILIZADAS PARA O MÉTODO HARMÔNICO

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		MUCURIBE (PORTO) – CE			
Localização :		No Cais do Porto de Fortaleza			
Organ. Responsável :		DHN / INPH			
Latitude :		03° 42,9' S	Longitude : 38° 28,6' W		
Período Analisado :		13/07/77 a 13/08/77	Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		IV H 42 min	Nível Médio (Z ₀):		155 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		282 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		220 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		28 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		90 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	3,9	105
Ssa	-	-	N ₂	19,5	115
Mm	2,5	049	NU ₂	3,8	115
Mf	-	-	M ₂	96,2	132
MTM	-	-	L ₂	1,2	264
Msf	4,0	211	T ₂	1,8	151
Q ₁	2,2	092	S ₂	31,0	151
O ₁	7,3	186	K ₂	8,4	151
M ₁	1,0	176	MO ₃	0,8	222
P ₁	2,6	211	M ₃	0,8	171
K ₁	7,7	211	MK ₃	0,3	257
J ₁	1,3	348	MN ₄	0,5	128
OO ₁	2,5	092	M ₄	0,6	180
MNS ₂	-	-	SN ₄	1,1	098
2N ₂	2,6	097	MS ₄	0,9	096
Referências de Nível: RN-1 situada no cais do porto próxima ao marégrafo. RN - INPH situado no jardim em frente ao prédio da Administração da Companhia Docas do Ceará (CDC) entre os armazéns A2 e A3.					
Obs: Outros Períodos: 01/07/55 a 01/08/55 ; 01/01/60 a 23/12/60; 28/07/60 a 28/08/60; 16/09/78 a 18/11/78 ; 01/02/62 a 29/01/63; 13/09/74 a 13/10/74; 30/04/77 a 14/05/77; 16/02/95 a 26/03/95; 22/01/96 a 07/02/96. O INPH tem outras observações. Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 30340