



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LAÍS MONTEIRO BARBOSA

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS IMPACTOS DE DIFERENTES USOS DO SOLO
SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NA PRODUÇÃO DE CARGAS
DIFUSAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

VITÓRIA - ES
2019

LAÍS MONTEIRO BARBOSA

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS IMPACTOS DE DIFERENTES USOS DO SOLO
SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NA PRODUÇÃO DE CARGAS
DIFUSAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Projeto de pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. D. Sc. José Antônio Tosta dos Reis.

VITÓRIA - ES

2019

LAÍS MONTEIRO BARBOSA

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS IMPACTOS DE DIFERENTES USOS DO SOLO
SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E NA PRODUÇÃO DE CARGAS
DIFUSAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Projeto de pesquisa apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. D. Sc. José Antônio Tosta dos Reis
Orientador – DEA/CT/UFES

Prof. D. Sc. Daniel Rigo
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

M.Sc. Brunella Pianna Veronez
Examinador Externo – Vale S.A.

B.^{el} João Linhares Ayres Filho
Examinador Externo – Vale S.A

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tantas maravilhas e vitórias que para mim foram preparadas, grata por seu amor incondicional e pelas lutas que por mim batalhou.

Aos meus pais que me incentivaram durante todos esses anos, muito obrigada pelo exemplo, pela força e por dedicarem todo o tempo que fora necessário para que eu obtivesse êxito nessa caminhada.

Aos meus familiares e amigos, antes de agradecer, peço desculpas pelas ausências, mas sacrifícios foram necessários nessa jornada. Agradeço pelo incentivo, paciência e amor, vocês foram fundamentais no meu amadurecimento.

Ao meu orientador, Prof. D. Sc. José Antônio Tosta dos Reis, por todo ensino e dedicação. “Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.” (Isaac Newton).

Aos membros da banca examinadora, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esse projeto de graduação.

À Selena Lopes pelo auxílio durante a caminhada. Obrigada pela tutoria, dedicação e incentivo.

Aos meus companheiros durante esses anos de graduação, minha eterna gratidão. Vocês fizeram meus dias mais leves e divertidos. Muito obrigada por cada abraço e cada sorriso.

Agradeço ao meu amor, Pedro Moreira, por todo cuidado. Por ter segurado minha mão durante todos esses dias, até mesmo quando a distância nos separava.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

O processo de urbanização desordenado, aliado à remoção da cobertura vegetal da bacia e a impermeabilização de grandes áreas, contribui para os impactos negativos sobre os recursos hídricos. A poluição difusa constitui importante vetor para a deterioração dos cursos d'água e conseqüentemente para a violação dos padrões de classe estabelecidos pela legislação ambiental. Suas particulares características a tornam complexa e sua quantificação problemática. Neste contexto, este estudo buscou realizar uma avaliação preliminar do volume de escoamento superficial e das cargas difusas de poluentes associados a ele. Para tanto, foi utilizado o The Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA), modelo hidrológico que faz uso do popular método Soil Conservation Service e de uma abordagem baseada na Concentração Média do Evento (CME) para estimar cargas poluentes. A bacia do rio Jucu, curso d'água de domínio do estado do Espírito Santo, foi escolhida como área de estudo por sua relevância para a região, pelo processo de desenvolvimento da área e pela variedade de usos e ocupações do solo observados. Os resultados indicaram que a integração do modelo L-THIA com o ambiente SIG representa relevante vantagem operacional, uma vez que tornou mais fácil e rápida a integração dos dados. As simulações realizadas indicaram a relação direta entre os valores assumidos para precipitação, o volume de escoamento superficial e carga difusa produzida no evento de precipitação. Os diferentes cenários de uso e ocupação do solo simulados permitiram concluir que as recomendações propostas para um cenário futuro de recomposição de vegetação, se implementadas, poderão permitir reduções dos picos de escoamento e de geração de cargas difusas. Adicionalmente, os resultados obtidos demonstraram que estas reduções seriam mais significativas para a unidade de planejamento Formate/Marinho e Costeira, região de maior adensamento urbano na bacia.

ABSTRACT

The disorderly urbanization process, associated with the removal of vegetation from the basin and the sealing of large areas, contributes to the negative impacts on water resources. Diffuse pollution is an important vector for the deterioration of watercourses and consequently for the violation of class standards established by environmental legislation. Its particular characteristics make it complex and its quantification problematic. In this context, this study sought to perform a preliminary assessment of the surface runoff volume and the associated pollutant diffuse loads. The Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA), a hydrological model that uses the popular Soil Conservation Service method and an Event Mean Concentration (EMC) approach, was used to estimate pollutant loads. The Jucu River basin, a watercourse dominated by the state of Espírito Santo, was chosen as a study area because of its relevance to the region, the process of development of the area and the variety of land uses and occupations. The results indicated that the integration of the L-THIA model with the GIS environment represents a significant operational advantage, since it made data integration easier and faster. The simulations performed indicated the direct relation between the assumed values for precipitation, the surface runoff volume and the diffuse charge produced in the precipitation event. The different simulated land use and occupation scenarios led to the conclusion that the proposed recommendations for a future vegetation recomposition scenario, if implemented, could allow for reductions in runoff peaks and diffuse load generation. Additionally, the results showed that these reductions would be more significant for the Formate / Marine and Coastal planning unit, the region with the highest urban density in the basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Polutograma e hidrograma.....	30
Figura 2 - Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada.....	32
Figura 3 - Fluxograma da metodologia proposta.....	43
Figura 4 - Mapa de Localização da sub-bacia do Rio Jucu.....	44
Figura 5 - Mapa de Hidrografia Principal da Bacia do Rio Jucu – ES.....	45
Figura 6 - Mapa de Unidades de Planejamento dos recursos hídricos da Bacia do Rio Jucu – ES.....	47
Figura 7 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Jucu – ES.....	49
Figura 8 – Mapa de Declividades da Bacia do Rio Jucu – ES.....	50
Figura 9 - Mapa de Pedologia da Bacia do Rio Jucu – ES.....	52
Figura 10 – Mapa de Grupo Hidrológico de Solos da Bacia do Rio Jucu – ES.....	54
Figura 11 – Mapa de Uso e ocupação do solo (2012 - 2015) da Bacia do Rio Jucu - ES.....	55
Figura 12 - Mapa de localização das Estações Pluviométricas.....	57
Figura 13 - Mapa de Uso e ocupação do solo (2007 - 2008) da Bacia do Rio Jucu - ES.....	62
Figura 14 - Mapa de Uso e ocupação do solo (Cenário Base) da Bacia do Rio Jucu - ES.....	63
Figura 15 - Mapa de Uso e ocupação do solo (Cenário Futuro) da Bacia do Rio Jucu - ES.....	65
Figura 16 - Fluxograma do modelo L-THIA.....	71
Figura 17 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 1 ano.....	76
Figura 18 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 2 anos.....	76
Figura 19 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 20 anos.....	77
Figura 20 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 100 anos.....	77
Figura 21 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 1 ano...	115
Figura 22 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 2 anos.	115

Figura 23 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 10 anos.	116
Figura 24 -Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 100 anos.	116
Figura 25 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 1 ano...117	
Figura 26 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 2 anos. 117	
Figura 27 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 10 anos.	118
Figura 28 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 100 anos.	118
Figura 29 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 1 ano...119	
Figura 30 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 2 anos. 119	
Figura 31 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 10 anos.	120
Figura 32 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 100 anos.	120
Figura 33 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 1 ano...121	
Figura 34 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 2 anos. 121	
Figura 35 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 10 anos.	122
Figura 36 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 100 anos.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de uso e ocupação do solo e seus principais contaminantes	33
Tabela 2 - Condições de umidade antecedente	38
Tabela 3 - Valores de CN II para bacias urbanas e suburbanas.....	39
Tabela 4 - Dados físicos das sub-bacias do Rio Jucu.....	48
Tabela 5 - Tempos de concentração obtidos para as sub-bacias do Rio Jucu - ES .	51
Tabela 6 - Classificação de Grupos Hidrológicos de Solos.....	53
Tabela 7 - Percentual de Grupos Hidrológicos do Solo em cada Unidade de Planejamento	54
Tabela 8 - Informações sobre estações pluviométricas utilizadas no trabalho.....	57
Tabela 9 - Caracterização do regime pluviométrico na bacia no período de 1972 a 2016	58
Tabela 10 - Relação entre as alturas pluviométricas para precipitações de mesma frequência e diferentes durações.	59
Tabela 11 - Cenários de Simulação utilizados nas diferentes etapas no estudo.....	61
Tabela 12 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Alto Jucu.....	66
Tabela 13 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Médio Jucu.....	67
Tabela 14 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Rio Jucu Braço Sul	68
Tabela 15 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Baixo Jucu.....	69
Tabela 16 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Formate/Marinho e Costeira.....	70
Tabela 17 - Concentração média no evento para diferentes poluentes e usos e ocupações do solo.	74
Tabela 18 - Equações Intensidade Duração e Frequência estabelecidas.....	75
Tabela 19 - Alturas pluviométricas obtidas para cada período de retorno estabelecido	78
Tabela 20 - CN Ponderado, Retenção Potencial Média e Abstração Inicial Média obtidos para os Cenários 1 a 4.....	79

Tabela 21 - Volumes de escoamento superficial obtidos na Primeira Etapa de Simulação.....	80
Tabela 22 - Variação percentual do volume escoado entre os cenários da Primeira Etapa de Simulação.	81
Tabela 23 - Cargas de Sólidos Suspensos Totais referentes à Primeira Etapa de simulação	83
Tabela 24 - Cargas de Fosforo Total referentes à Primeira Etapa de simulação	84
Tabela 25 - Cargas de Nitrogênio Total referentes à Primeira Etapa de simulação ..	85
Tabela 26 - Cargas de Sólidos Dissolvidos Totais referentes à Primeira Etapa de simulação	86
Tabela 27 - Cargas de Demanda Bioquímica de Oxigênio referentes à Primeira Etapa de simulação	87
Tabela 28 - Cargas de Demanda Química de Oxigênio referentes à Primeira Etapa de simulação.	88
Tabela 29 - CN Ponderado obtido para os Cenários 5 a 8.....	90
Tabela 30 - Retenção Potencial do Solo obtida para os Cenários 5 a 8.	91
Tabela 31 - Abstração Inicial obtida para os Cenários 5 a 8.	91
Tabela 32 - Volumes de escoamento superficial obtidos na Segunda Etapa de Simulação.....	91
Tabela 33 - Variação percentual do volume escoado entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.	93
Tabela 34 - Resultados de Sólidos Suspensos Totais referentes à Segunda Etapa de simulação.	95
Tabela 35 - Comparativo percentual do parâmetro Sólidos Suspensos Totais entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.....	96
Tabela 36 - Resultados de Fósforo Total referentes à Segunda Etapa de simulação.	97
Tabela 37 - Comparativo percentual do parâmetro Fósforo Total entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.	98
Tabela 38 - Resultados de Nitrogênio Total referentes à Segunda Etapa de simulação.	99
Tabela 39 - Comparativo percentual do parâmetro Nitrogênio Total entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.	99

Tabela 40 - Resultados de Sólidos Dissolvidos Totais referentes à Segunda Etapa de simulação.....	100
Tabela 41 - Comparativo percentual do parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.....	101
Tabela 42 - Resultados de Demanda Bioquímica de Oxigênio referentes à Segunda Etapa de simulação.....	102
Tabela 43 - Comparativo percentual do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.....	103
Tabela 44 - Resultados de Demanda Química de Oxigênio referentes à Segunda Etapa de simulação.....	104
Tabela 45 - Comparativo percentual do parâmetro Demanda Química de Oxigênio entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.....	105

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVO	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 POLUIÇÃO HÍDRICA	23
3.1.1 Poluição Pontual.....	24
3.1.2 Poluição Difusa.....	24
3.2 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS.....	26
3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	27
3.4 PRIMEIRA CARGA DE LAVAGEM (FIRST FLUSH).....	30
3.5 INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA PRODUÇÃO DE CARGAS DIFUSAS.....	31
3.6 MODELOS HIDOLÓGICOS PARA SIMULAÇÃO DE CARGA DIFUSA.....	33
3.6.1 Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA)	34
3.6.2 O método do Soil Conservation Service	36
3.6.3 Concentração Média do Evento (CME)	39
3.7 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	41
4. METODOLOGIA	43
4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM AMBIENTE SIG	46
4.2.1 Caracterização das Unidades de Planejamento (UP).....	46
4.2.2 Hipsometria.....	48
4.2.3 Declividade	49
4.2.4 Tempo de Concentração	50
4.2.5 Pedologia e Classificação Hidrológica de Solos	51

4.2.6	Uso e Ocupação do Solo.....	55
4.3	DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	56
4.4	DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS.....	60
4.4.1	Primeira Etapa.....	61
4.4.2	Segunda Etapa.....	62
4.5	SIMULAÇÃO COM L-THIA.....	70
4.5.1	Obtenção do mapa de CN-SCS.....	71
4.5.2	Quantificação das Cargas Difusas.....	72
5.	RESULTADOS.....	75
5.1	HIETOGRAMAS.....	75
5.2	PRIMEIRA ETAPA DA SIMULAÇÃO.....	78
5.2.1	Escoamento Superficial.....	79
5.2.2	Produção de Cargas Difusas.....	82
5.3	SEGUNDA ETAPA DE SIMULAÇÃO.....	90
5.3.1	Escoamento Superficial.....	91
5.3.2	Produção de Cargas Difusas.....	94
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	107
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
8.	APÊNDICE A.....	115

1. INTRODUÇÃO

A relação entre o crescimento populacional e o uso dos recursos naturais apresenta-se como tema de fundamental importância na atualidade. O aumento das atividades antrópicas aliado aos impactos sobre os recursos hídricos tem feito com que temas relacionados à poluição dos corpos d'água sejam cada vez mais discutidos em âmbito mundial.

A poluição de recursos hídricos pode ser classificada quanto à origem de suas fontes, sendo pontual quando se conhece a localização da fonte e difusa (ou não pontual) quando a origem desta não pode ser associada a uma localização específica. Lançamentos de esgoto doméstico e efluentes industriais em corpos d'água são exemplos de poluição pontual, enquanto que a poluição difusa possui origem no ciclo hidrológico, uma vez que a precipitação promove uma "lavagem" na bacia hidrográfica, carreando os poluentes presentes na atmosfera e no solo, transportando estas substâncias por meio do escoamento superficial até os corpos d'água. (PRODANOFF, 2005; PORTO, 1995; CARVALHO, 2011; WONG, *et al.*, 2006).

Hranova (2006) observa que a poluição não pontual se deve ao escoamento superficial poluído e, como tal, possui uma grande variação em termos de quantidade e qualidade. É um fenômeno proporcional à área da bacia hidrográfica, sendo uma função do tipo de solo, dos usos e ocupação do solo, características físicas da bacia hidrográfica, do volume precipitado e de características da precipitação (DUNCAN, 1999; PORTO, 1995; PRODANOFF, 2005; NOVOTNY, 2002).

Neste contexto, desde o final dos anos noventa, diversas medidas têm sido tomadas para combater as principais fontes de poluição pontual em bacias hidrográficas, especialmente após a implementação da CONAMA 430/2011, que dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes. No entanto, ainda hoje, no contexto nacional, é possível observar a insuficiência de estudos que abordam a temática da poluição difusa em ambientes urbanos, visto que é uma poluição de complexa mensuração e caracterização (MOURA; LIMA 2018). Sodre (2012) também ressalta a pouca disponibilidade de informação sobre a importância de fontes difusas de poluição no Brasil embora, de acordo com o autor, certamente representem uma importante contribuição para poluição de corpos d'água.

Novotny (2000) discute a importância da poluição difusa em estudos de modelagem *in stream* e sobre as diferenças nas contribuições de ambas as fontes de acordo com a sazonalidade, afirmando que em períodos de seca as fontes pontuais são as principais contribuições, mas em períodos chuvosos seriam as fontes difusas de poluição as principais responsáveis pela degradação da qualidade de água.

No contexto do gerenciamento da qualidade da água, Moruzzi *et al.* (2012) indica os modelos matemáticos como alternativa para se estimar as cargas de poluição existentes nas bacias hidrográficas. A utilização dessas ferramentas proporciona, além da simulação de eventos, a simulação das condições futuras e alternativas propostas para o corpo d'água, auxiliando no processo de tomada de decisões e no planejamento ambiental em curto, médio e longo prazo (GASTALDINI; GIORGETTI, 1983).

Uma exigência comum entre os modelos hidrológicos discretos e de poluição difusa está associada à entrada de dados, uma vez que estes necessitam caracterização física da área estudada em diferentes aspectos como, por exemplo, área, topografia, rede de drenagem, tipos de solo, uso e ocupação destes e, em alguns casos, dados de densidade demográfica. A evolução da computação, juntamente com a crescente disponibilização de dados especializados, têm auxiliado no levantamento destas informações por meio da utilização de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) (LIBOS; ROTUNNO FILHO; ZEILHOFER, 2003).

Diante disso, este projeto tem como principal perspectiva avaliar a influência dos diferentes usos do solo na produção de cargas difusas de poluição em bacias hidrográficas, empregando como ferramenta de análise a modelagem matemática associada às técnicas de geoprocessamento.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do uso e da ocupação do solo na geração de escoamento superficial e de cargas de poluição difusa em bacias hidrográficas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar cargas de poluição difusa em bacia hidrográfica por meio de modelagem matemática associada às técnicas de geoprocessamento;
- Avaliar o impacto de eventos de precipitação com diferentes períodos de retorno no escoamento superficial e na produção de cargas difusas;
- Avaliar o impacto de diferentes usos do solo no escoamento superficial e na produção de cargas difusas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 POLUIÇÃO HÍDRICA

A Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, define poluição como “degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; Criem condições adversas às atividades sócias e econômicas; afetem a biota e/ou as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (BRASIL, 1981).

Segundo Von Sperling (2005), a poluição hídrica é a introdução de substâncias ou energia no ambiente, que modifiquem a natureza do corpo hídrico, seja de forma direta ou indireta, ocasionando um efeito negativo no seu equilíbrio, podendo vir a prejudicar os diversos usos da água. No Brasil, o uso e ocupação da bacia hidrográficas sem um planejamento adequado, que implica muitas vezes no desrespeito à legislação ambiental, é um fator que agrava a questão da poluição das águas.

Carvalho (2011) sugere que a poluição pode ser diferenciada sob diferentes critérios, tais como quanto à sua natureza (física, química e biológica), quanto ao setor produtivo (industrial, comercial, rural e urbana) e quanto à fonte (difusa ou pontual). No que se diz respeito às fontes de poluição, é importante ressaltar que o despejo de esgotos domésticos não representa necessariamente a única, ou a principal, fonte de poluição nos corpos d’água. Segundo Lamb (1980), *apud* Jordão e Pessoa (2017), contituem fontes de poluição:

- fontes naturais,
- águas provenientes de áreas agrícolas;
- águas servidas ou esgotos;
- fontes diversas.

As diferentes fontes de poluição hídrica são observadas com maior ou menor incidência de acordo com as características locais, incluindo a geografia, a topografia,

o uso e ocupação do solo, a cultura, as condições socioeconômicas, e os recursos tecnológicos disponíveis para controle da poluição (JORDÃO; PESSOA, 2017).

3.1.1 Poluição Pontual

Constitui poluição pontual a decorrente de ações modificadoras localizadas, ou seja, em que os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. É o caso, por exemplo, do lançamento de esgoto doméstico ou de efluentes industriais em um rio (PRODANOFF, 2005; VON SPERLING, 2005).

As fontes pontuais possuem facilidade de identificação e quantificação de volume, visto que, normalmente, são provenientes de tubos identificáveis e reconhecíveis, emissários de esgoto, difusores submarinos e canais de descarga. Apesar de ainda representarem um desafio mundial, durante as últimas décadas, os esforços para controle das fontes pontuais se intensificaram e bilhões foram gastos na instalação de estações de tratamento que reduziram significativamente as cargas de poluição e melhoraram a qualidade da água dos corpos d'água (CAMPBELL *et al.*, 2005).

3.1.2 Poluição Difusa

Em 1972, a Lei das Águas Limpas dos Estados Unidos estabeleceu o conceito de poluição difusa, definindo-a como a poluição do solo diferente daquela proveniente do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais (NOVOTNY, 2003). São ditas de origem difusa, as cargas de poluentes que não possuem um ponto de lançamento específico ou que não advém de um ponto preciso de geração. É uma poluição decorrente de atividades que depositam poluentes, de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica (NOVOTNY, 1991 *apud* PORTO, 1995).

O transporte dos poluentes difusos pode acontecer por meio do ar (deposição atmosférica), do escoamento superficial, do escoamento subterrâneo, ou ainda, através dos sistemas de drenagem urbana (NOVOTNY, 2003). Novotny (1991), *apud* Porto (1995), apresenta cinco condições características das fontes difusas de poluição:

- lançamento intermitente e relacionado com o evento pluviométrico;
- os poluentes são transportados por áreas extensas;
- as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, visto que o mesmo é desconhecido;
- o controle da poluição difusa deve ser voltado para ações sobre a área geradora, visando também o gerenciamento do escoamento superficial e não somente o controle do efluente lançado;
- existe uma dificuldade no estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora varia com a intensidade e duração do evento meteorológico e da extensão da área de produção.

Portanto, a correlação vazão versus carga poluidora é praticamente impossível de ser estabelecida. A produção de cargas difusas é influenciada principalmente pela extensão da área da bacia, uso e ocupação do solo e por características da precipitação, enquanto que, o seu transporte está relacionado com sistemas de profundidade do solo, sendo dividido em solos profundos, rasos e áreas impermeáveis. (PRODANOFF, 2005; EPA, 2007; EPA, 2008; WONG *et al.*, 2006; CARVALHO, 2011).

Prodanoff (2005) ressalta a importância do entendimento das fontes potenciais de poluentes ao avaliar os impactos gerados pelo lançamento dos deflúvios. O acúmulo de poluentes dentro da área da bacia hidrográfica pode ser proveniente de diversas fontes, cujos efeitos individuais são de difícil separação. No entanto, o conhecimento qualitativo das possíveis fontes possibilita ao investigador se concentrar nas áreas problemáticas e avaliar dispositivos de controle que podem ser usados para desviar cargas adversas antes que atinjam o sistema de drenagem.

A relevância das cargas difusas no problema da poluição dos corpos d'água é evidente; todavia, a preocupação com essa classe de poluição é mais perceptível em países desenvolvidos, onde o problema da poluição pontual já não é mais uma grande preocupação. No Brasil ainda há muito a se fazer em termos de controle de poluição por fontes pontuais, visto que o lançamento de esgoto não tratado ainda representa a principal fonte de poluição hídrica (JORDÃO; PESSOA, 2017). No entanto, é importante salientar que as duas formas de poluição ocorrem de maneira simultânea na natureza, tornando-se necessário considerá-las de forma conjunta na gestão dos

recursos hídricos, dado que com a criação de políticas de despoluição dos corpos d'água de maneira integrada, seriam evitados maiores transtornos no futuro.

Um importante aspecto a ser ressaltado é a relação entre a produção de cargas difusas com eventos climáticos, visto que estes poluentes têm no escoamento superficial seu principal meio de transporte, sobretudo em áreas impermeáveis e de solos rasos (PORTO, 1995; WONG *et al.*, 2010). Portanto, a fim de compreender o comportamento da poluição difusa nas áreas de estudo, se faz necessário conhecer os aspectos afins aos eventos de precipitação e ao escoamento superficial gerado por estes (PRODANOFF, 2005).

3.2 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

Na Hidrologia, a precipitação é compreendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Na natureza são encontradas diversas formas de precipitação (granizo, neve, geada etc.), sendo a chuva sua representação na forma líquida. Dentre as principais características dos eventos de precipitação podem ser citados o total precipitado, a duração, a distribuição temporal e espacial. Sabe-se ainda que o total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração (BERTONI; TUCCI, 2013).

A ocorrência da precipitação é um fenômeno aleatório, que não possibilita uma previsão determinística com muita antecedência. Os estudos estatísticos permitem caracterizar as chuvas de uma região, verificar sua frequência de ocorrência, bem como determinar sua magnitude e estimar sua probabilidade de ocorrência (TUCCI, 1993; BERTONI; TUCCI, 2013).

Zahed e Marcellini (1995) referem-se a precipitações máximas ou chuvas intensas como aquelas chuvas em que as intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo. Bertoni e Tucci (2013) apresentam a precipitação máxima como a ocorrência extrema com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica e que pode atuar sobre a erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas, dentre outros.

As curvas intensidade-duração-frequência (IDF) são comumente utilizadas para caracterização de precipitação máximas. Elas relacionam a duração e intensidade a uma probabilidade das precipitações serem igualadas ou superadas (BERTONI; TUCCI, 2013).

Para se obter as equações IDF são necessários registros pluviográficos ou pluviométricos, sendo eles suficientemente extensos e representativos do local de interesse (ALMEIDA, 2015; BERTONI; TUCCI, 2013; ZAHED; MARCELLINI, 1995). Genovez e Zuffo (2000) ressaltam que series históricas de estações pluviográficas são mais recomendadas por apresentarem validade regional.

No Brasil, a obtenção da relação intensidade-duração-frequência por meio de registros pluviográficos representa um grande desafio. Esta condição ocorre em função da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do usualmente curto período de observações disponível (ALMEIDA, 2015, apud SILVA *et al.*, 2000; MARTINEZ JÚNIOR, 1999; COSTA; BRITO, 1999).

Nesse contexto, em consequência da limitada disponibilidade de registros pluviográficos, métodos expeditos têm sido desenvolvidos para a determinação de equações IDF. Dentre os métodos expeditos, Almeida *et al.* (2016) apresentam os métodos de Chow-Gumbel e Bell como alternativas que possibilitam a apropriação de chuvas de diferentes durações e frequências a partir de eventos de máximas anuais de um dia de duração.

3.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento gerado após o evento de precipitação pode ser dividido em escoamento subterrâneo ou de base e escoamento superficial direto (*surface runoff*). O escoamento de base é produzido a partir do fluxo de água do aquífero livre e possui importante função ecológica, visto que mantém o fluxo mínimo de água na bacia durante as estações secas. O escoamento superficial direto, por sua vez, é a parcela excedente da precipitação total que escoar pela superfície do solo, concentrando-se

em enxurradas e, posteriormente, em corpos hídricos maiores e mais definidos (PORTO, 1995; SANTOS, 2010).

A produção do escoamento superficial é determinada por variáveis e atributos físicos, destacando-se as características do evento de precipitação e a capacidade de infiltração da água no solo. De acordo com Pruski *et al.* (2003), tanto a cobertura quanto o uso do solo na bacia hidrográfica exercem importante influência nas condições de infiltração e interceptação da água advinda da chuva. Quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal e a rugosidade da superfície do solo, maiores serão as taxas de infiltração de água na bacia durante o evento de precipitação e, conseqüentemente, menores serão as perdas por escoamento superficial. A inclinação do terreno é outro fator que influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, maiores serão o volume e a velocidade do escoamento superficial. Conseqüentemente, menor será o tempo de concentração da bacia e a infiltração de água no solo.

O início do escoamento superficial ocorre quando a intensidade de precipitação supera a velocidade de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno tiver sido ultrapassada, sendo considerado o principal responsável pelo rápido aumento da vazão após a ocorrência da precipitação. Associados ao escoamento, podem ocorrer erosão, transporte e deposição de partículas do solo (GRIEBELER *et al.*, 2001; TUCCI, 2001).

De acordo com Santos (2010), o escoamento superficial e a sua formação são temas complexos da Hidrologia porque envolvem fatores relacionados à precipitação e às diversas características da bacia hidrográfica. Os modelos aplicados no escoamento urbano, assim como muitos modelos hidrológicos convencionais, simulam a resposta da bacia a um ou mais eventos de precipitação. Prodanoff (2005) apresenta uma revisão de trabalhos que aplicaram modelos empíricos de transporte a fim de estudar a poluição presente no escoamento superficial. O autor também indica que esses modelos retratam o problema basicamente em três fases: acumulação, lavagem e transporte.

O acúmulo da poluição acontece nos períodos secos, ou seja, entre chuvas. Os poluentes acumulam-se na bacia e a etapa de lavagem é representada por um decaimento na carga de poluentes disponíveis associada geralmente a eventos de precipitação (PRODANOFF, 2005). Os diferentes usos do solo e as drenagens naturais e artificiais da bacia influenciam na fase de transporte. Carvalho (2011) ressalta que, em ambientes urbanizados, a rede de drenagem artificial é um dos principais meios de transporte de poluentes.

EPA *et al.* (2006) apontam que grandes tempestades contribuem apenas com pequenas porções das descargas médias anuais, sendo as pequenas tempestades responsáveis pela maioria das quantidades anuais de descargas de escoamento urbano na América do Norte. Porto (2001) diferencia as precipitações utilizadas como referência para dimensionamento de estruturas de controle da poluição daquelas utilizadas para o controle de inundações. A autora ressalta que, buscando-se reduzir o volume de água escoado, o dimensionamento deve ser baseado em eventos raros de precipitação, ou seja, que produzem grandes volumes de escoamento. Já para o controle da qualidade das águas pluviais se faz necessário o tratamento dos fluxos associados a pequenas tempestades, que descarregam cargas de poluição com uma frequência maior nos corpos hídricos.

Um fenômeno relevante para a discussão acerca da poluição difusa é a ocorrência da primeira carga de lavagem (*first flush*), ou seja, a remoção inicial dos poluentes acumulados no período entre chuvas. A ocorrência desse fenômeno pode estar relacionada com as perdas iniciais no escoamento superficial. Fatores como rugosidade e estado de conservação do solo podem aumentar essas perdas, possibilitando a retenção de parte dos poluentes junto com a parcela de água assim acumulada. Além disso, dependendo do volume total escoado e da altura da lâmina formada sobre a superfície da bacia hidrográfica, esta perda poderá ser mais ou menos representativa (PORTO, 1995; PRODANOFF, 2005).

3.4 PRIMEIRA CARGA DE LAVAGEM (*FIRST FLUSH*)

Tal como as vazões, as concentrações de poluentes variam ao longo do evento de precipitação. O gráfico que representa essa variação é denominado polutograma (Figura 1), sendo este com a mesma forma genérica do hidrograma correspondente (PORTO, 1995).

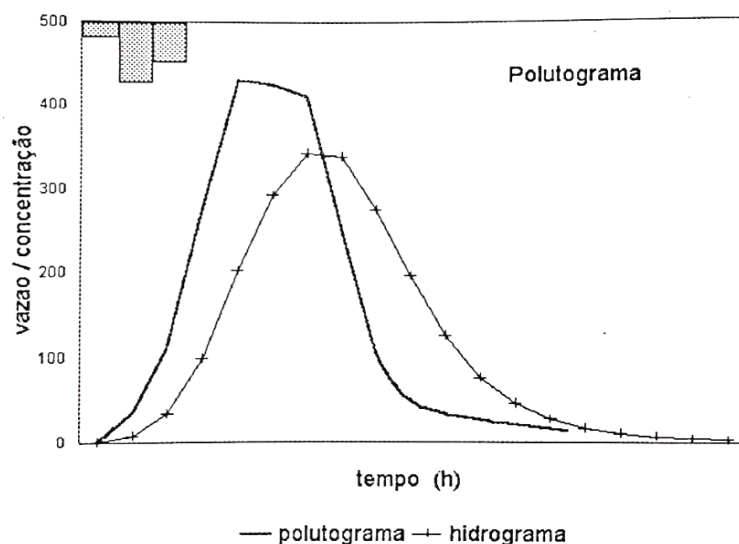


Figura 1 - Polutograma e hidrograma.

Fonte: PORTO (1995).

A primeira carga de lavagem (*first flush*) é um fenômeno muito discutido, que consiste basicamente na remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas. Ou seja, o material que estava acumulado sobre o solo e/ou no interior das canalizações desde o último evento chuvoso é removido nos primeiros instantes da precipitação. Portanto, tem-se que os primeiros momentos do evento apresentam uma concentração maior de poluentes. Essa definição possibilita, pelo menos de maneira parcial, a previsão do polutograma (PORTO, 1995; PRODANOFF, 2005; CARVALHO, 2011).

De acordo com essa definição, o pico do polutograma ocorreria antes do pico do hidrograma; entretanto, nem sempre esse fenômeno é observado, sendo ocorrência mais frequente em bacias menores (PORTO; 1995).

O *first flush* torna-se importante no controle de poluição difusa, visto que, em alguns casos, a redução das concentrações de poluentes nela contidos já representaria

avanços na melhoria da qualidade ambiental da bacia. Sendo assim, caso seja verificada a ocorrência desse fenômeno, é recomendado que sejam projetadas técnicas de controle para esse volume inicial (PORTO, 1995; CARVALHO, 2011).

3.5 INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA PRODUÇÃO DE CARGAS DIFUSAS

A ação humana sobre as paisagens naturais tem causado um impacto mundial nos ecossistemas, fazendo com que o processo de avaliação do uso e cobertura da terra seja essencial para indicar o estado da área de interesse (CARVALHO, 2011). No contexto do gerenciamento de recursos hídricos, Von Sperling (2005) destaca que a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem, ou seja, é função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Os diversos usos do solo influenciam de maneira direta na quantidade e qualidade do escoamento superficial. Por exemplo, áreas residenciais mais densas e conseqüentemente mais impermeabilizadas, produzem escoamentos com grande força de arrasto. Ademais, a impermeabilização das áreas reduz a infiltração da água no solo, alterando o ciclo hidrológico. Como consequência, observa-se o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, o aumento da vazão de pico e a redução do tempo de pico e do escoamento de base (GARCIA, 2005). Tais aspectos podem ser visualizados na Figura 2, que compara hidrograma de bacias naturais e antropizadas.

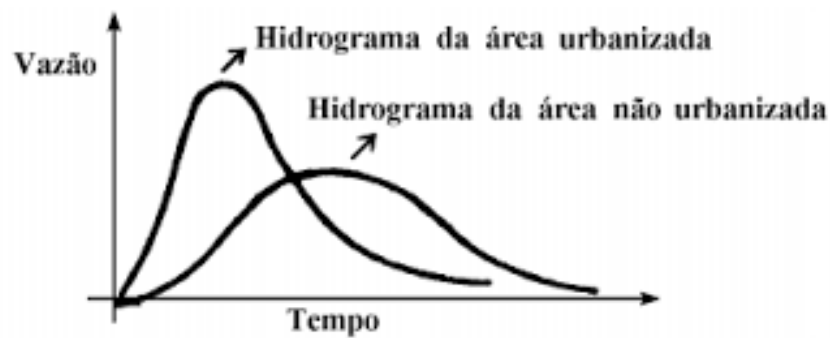


Figura 2 - Hidrograma de área urbanizada e não urbanizada.

Fonte: TUCCI (2008).

O uso e o manejo das terras agrícolas possuem forte influência nas concentrações de nutrientes nos corpos hídricos, por exemplo, nitrogênio e fósforo (NGOYE; MACHIWA, 2004; WOLI *et al.*, 2004; BU *et al.*, 2014). Já em áreas predominantemente urbanas e industriais, observa-se maior contribuição de poluição orgânica, bem como metais pesados e nutrientes (LI *et al.*, 2009; KANG *et al.*, 2010).

A origem da poluição difusa é bastante diversificada, sendo que, para ela, podem contribuir a deposição atmosférica, o desgaste da pavimentação pelos veículos, os restos de vegetação, os resíduos sólidos, os dejetos de animais, derramamentos de produtos químicos, erosão, nutrientes de origem agrícola, dentre outros (TUCCI, 2005; PINHARA; SIMAS, 2010; PORTO, 1995). A Tabela 1 apresenta um resumo das mais comuns fontes de produção de cargas difusas e seus respectivos poluentes.

Tabela 1 - Classes de uso e ocupação do solo e seus principais contaminantes

Fonte Contaminante	Contaminante						
	Sólidos	Nutrientes	Micro-organismos	OD	Metais	Óleos	Orgânicos Sinéticos
Erosão do Solo	X	X		X	x		
Solo Exposto	X	X	x				
Fertilizantes		X			x		
Resíduos Humanos	X	X	x	X			
Resíduos Animais	X	X	x	X	x		
Veículos e Combustíveis	X		x	X	x		
Desgastes de Veículos	X				x		
Produtos Químicos Domésticos e Industriais	X	X			x	X	x
Pintura e Conservantes					x	X	
Pesticidas						X	x
Instalações de Drenagem	X	X	x	X	x		

Fonte: Adaptado de Wong *et al.* (2006).

3.6 MODELOS HIDROLÓGICOS PARA SIMULAÇÃO DE CARGA DIFUSA

Os modelos hidrológicos englobam um sistema de equações compostas por variáveis e parâmetros que estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, tanto para ajudar a entender o impacto das mudanças no uso da terra, quanto para prever alterações futuras nos ecossistemas (SILVA, 2007)

A modelagem hidrológica é uma ferramenta essencial para que se entenda a dinâmica de uma bacia hidrográfica, seja no âmbito do uso racional e consciente dos recursos hídricos desta bacia ou no combate às catástrofes naturais relacionadas com as inundações (MAIDMENT, 2002; TUCCI, 1998).

Fayal (2008) ressalta que os grandes avanços relacionados a modelagem hidrológica começaram, de fato, a partir de 1930. Em 1932, Sherman desenvolveu a teoria da hidrógrafa unitária, que considera a relação chuva-vazão linear, sem considerar a infiltração. Entretanto, expressivos avanços ocorreram e a Hidrologia deixou de ter

apenas um caráter descritivo, como era predominante, e passou a dar a mesma importância ao aspecto quantitativo, assumindo um grau maior de complexidade, buscando melhor representar, temporalmente e espacialmente, os diversos fenômenos contidos no ciclo hidrológico.

Em termos de controle de cargas difusas, o mapeamento do grau de urbanização e as informações relativas às fontes de poluição são um importante recurso para evidenciar os padrões de uso e ocupação, seus problemas decorrentes. Tais informações podem atuar como importante instrumento de planejamento ambiental urbano.

Os modelos de simulação da carga difusa são ferramentas que também auxiliam no planejamento do manejo de águas pluviais e no controle de poluentes. Em escala de bacias hidrográficas, parte dos modelos hidrológicos pode possuir um alto nível de detalhamento ao simular os fenômenos ambientais e cenários de poluição, enquanto outros modelos utilizam de técnicas mais simplificadas de avaliação dos mesmos (EPA, 1998). O nível de aplicação de um determinado modelo pode variar de acordo com os objetivos da análise. Logo, para se escolher o modelo mais adequado para o estudo determinado, recomenda-se a análise prévia de fatores como as características dos processos físicos e a variação espacial utilizada para simulação do escoamento superficial.

3.6.1 Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA)

O modelo L-Thia (*Long-Term Hydrologic Impact Assessment*) foi desenvolvido pelos professores Kyoung Jae Lim e Bernard Engel, da Universidade de Purdue em Indiana, Estados Unidos. É um modelo integrado com o Sistema de Informações Geográficas Arcview® que se destina a avaliar as alterações no escoamento superficial e na produção de cargas difusas de poluição, decorrentes das mudanças no uso e ocupação do solo.

Resumidamente, o modelo L-THIA é composto por dois módulos, sendo um hidrológico que visa estimar o escoamento superficial baseando-se no método *Soil*

Conservation Service (SCS), e um qualitativo que objetiva estimar a carga de poluentes pelo método da Concentração Média do Evento (CME) (LIM *et al.*, 2006).

O modelo L-THIA faz uso de técnicas simples de cálculo, pois objetiva superar as principais limitações encontradas no uso de modelos hidrológicos tradicionais, que demandam grande quantidade de dados de entrada. Além disso, possibilita aos usuários não especializados uma técnica de triagem, permitindo a análise da real necessidade do uso de modelos mais complexos para determinados estudos.

A fim de manter o modelo simples e acessível, foram consideradas algumas simplificações metodológicas, como a desconsideração das nevascas e do congelamento do solo, que podem aumentar o escoamento superficial em certos períodos do ano. O L-THIA também não leva em consideração o escoamento de base, nem as perdas por evaporação (ENGEL,2005).

Pandey *et al.* (2000) aplicaram o modelo na bacia hidrográfica de Wildcat Creek em Indiana e evidenciaram o aumento do escoamento superficial e das cargas de poluição difusa geradas pelas mudanças significativas no uso e ocupação do solo na área de estudo.

Felizardo (2016) concluiu que as simulações realizadas na bacia do Córrego do Mineirinho com o modelo L-THIA se mostraram promissoras. Mesmo com poucos dados de entrada e um pré-processamento relativamente simples, foi possível obter informações sobre como alterações antrópicas no meio ambiente podem influenciar no volume de escoamento em bacias hidrográficas.

Liu *et al.* (2015) utilizaram o L-THIA para avaliar o desempenho das melhores práticas de manejo, Best Management Practice (BMP), e das ações de desenvolvimento urbano de baixo Impacto, Low Impact Development (LID). O estudo fez uso de uma série histórica com 30 anos de dados diários de precipitação e, baseou-se em quatro classes de uso da terra (residencial de baixa densidade, residencial de alta densidade, industrial e comercial). Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de outros estudos já publicados. As simulações mostraram que reduções no volume de escoamento e das cargas poluentes após a implementação de BMP e LID, individualmente e em série, foram comparáveis aos resultados já disponíveis na literatura. Os autores descrevem o L-THIA como uma ferramenta capaz de ajudar os

tomadores de decisão a avaliar os impactos ambientais de BMPs e práticas de LID, otimizando a tomada de decisão no âmbito da gestão de águas pluviais.

Nejadhashemi, Woznicki e Douglas-Mankin (2011) compararam a utilidade e os resultados de quatro modelos de bacias hidrográficas que incluem componentes de qualidade da água: Spreadsheet Tool for Estimating Pollutant Load (STEPL), GIS Pollutant Load (PLOAD), Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) e ArcView Soil and Water Assessment Tool (ArcSWAT). A vazão e a produção de sedimentos, nitrogênio e fósforo foram medidas ao longo de 16 anos na bacia do lago Pomona, no nordeste do Kansas. Os autores puderam concluir que, apesar da ampla variação nos resultados dos modelos, praticamente todos os modelos identificaram as mesmas áreas como áreas com maior potencial de geração de cargas difusas. Os resultados deste estudo também indicaram que, na busca por alocar recursos de forma eficiente, os estados devem reconhecer que análises mais simples geralmente podem apoiar a tomada de decisão e que estudos mais elaborados de modelagem devem ser realizados apenas se justificado pela complexidade do problema analítico.

3.6.2 O método do Soil Conservation Service

O método *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, é hoje uma das ferramentas mais aplicadas para determinação da precipitação excedente (MISHRA; SINGH, 2006; AJMAL *et al.* 2015), devido principalmente à sua simplicidade de aplicação e facilidade de entendimento. Além disso, exige poucas informações iniciais e considera vários fatores em um único parâmetro (CN). O método, apresentado de forma detalhada por Tucci (2005) e Porto (1995), possibilita a estimativa do escoamento superficial causado por uma determinada chuva em uma bacia hidrográfica. A estimativa do escoamento superficial é conduzida a partir da aplicação da equação (1).

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}, P > 0,2S \quad (1)$$

Na equação (1):

- Pe - Escoamento direto, ou precipitação efetiva, em mm;

- P - Precipitação total em mm;
- S - Retenção potencial do solo (diferença entre P e Q, no início da chuva), em mm.

A retenção potencial do solo (S), também denominada índice de armazenamento ou perdas máximas potenciais, se refere às perdas por infiltração contínua na bacia hidrográfica. A parcela $0,2S$ corresponde a uma estimativa de perdas iniciais, denominada como abstração inicial (I_a). Ocorre, majoritariamente, em razão de armazenamentos em depressões, interceptação e infiltração incipiente, podendo ser entendida como a quantidade de chuva necessária ao início do escoamento direto. O valor de S varia de acordo com o uso e ocupação do solo, podendo ser determinado por meio da equação (2).

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

Na última expressão, o parâmetro CN é chamado de “Curva Número” e varia de 0 a 100. Este parâmetro é função do tipo do solo presente bacia hidrográfica, de suas condições de uso e ocupação e de sua umidade antecedente.

De acordo com Tucci (2004), os valores dos parâmetros de CN para bacias rurais e bacias urbanas e suburbanas são definidos de acordo com o tipo de uso e com as classes de solo, assim divididos:

- solo A: solos arenosos profundos com pouco silte e argila. Possuem baixo potencial de escoamento e altas taxas de infiltração;
- solo B: solos arenosos moderadamente profundos e com permeabilidade superior à média. Possuem taxa de infiltração moderada e são menos permeáveis do que o tipo A;
- solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo;
- solo D: solos que contém argilas expansivas e pouco profundas com muito baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial.

Adicionalmente, no método SCS são consideradas três condições de umidade antecedente do solo. São elas:

- condição I: Situação na qual os solos da bacia estão secos, isto é, com baixa umidade;
- condição II: Situação média do solo na época das cheias;
- condição III: Representa a condição de solo úmido, ou seja, quase saturado.

No modelo L-THIA as condições de umidade do solo são baseadas em 5 dias antecedentes da precipitação e nas estações de crescimento ou dormência, sendo a estação de crescimento geralmente representada como primavera – verão e a estação de dormência representada como outono – inverno. Na Tabela 2 estão sumarizados os critérios para definição das condições de umidade antecedente, com a variável P5 representando a soma do precipitado antecedente de 5 dias. Esse ajuste é relevante, principalmente, em regiões de clima temperado.

Tabela 2 - Condições de umidade antecedente

Condição Antecedente	Descrição	Precipitado antecedente de 5 dias	
		Estação de Crescimento	Estação de Dormência
I	Solo Seco	$P5 < 35 \text{ mm}$	$P5 < 12 \text{ mm}$
II	-	$35 \text{ mm} < P5 < 53 \text{ mm}$	$12 \text{ mm} < P5 < 28 \text{ mm}$
III	Solo Úmido	$53 \text{ mm} < P5$	$28 \text{ mm} < P5$

Fonte: Adaptado de Park, (2013).

Uma vez definido a condição de umidade antecedente, o CN pode ser ajustado para as condições I (CN I) e III (CN III) pelas Equações (3) e (4), respectivamente. O ajuste do parâmetro CN é opcional no modelo L-THIA; se a condição de umidade antecedente não for aplicada, o escoamento diário é calculado com o CN II.

$$CN I = \frac{CN II}{2,281 - 0,0128 \times CN II} \quad (3)$$

$$CN III = \frac{CN II}{0,427 + 0,0057 \times CN II} \quad (4)$$

Atualmente, muitas tabelas que apresentam os valores de CN II (condições de média umidade antecedente do solo) estão disponíveis na literatura para vários perfis de solos agrícolas e urbanos. Esses valores estão divididos de acordo com seu grupo de solo, tipo de vegetação e área impermeabilizada e condições hidrológicas da superfície (SCS, 1972; TUCCI, 1993; CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988; PRUSKI *et al.*, 2004). A Tabela 3 constitui exemplo das tabelas que permitem a determinação do CN para a condição II.

Tabela 3 - Valores de CN II para bacias urbanas e suburbanas.

Utilização ou Cobertura do Solo	Tipos de Solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios: em más condições	68	79	86	89
boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: Cobertura ruim	45	66	77	83
Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios (em boas condições):				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva em 50 a 75% da área	49	69	79	84
Estacionamentos pavimentados, viadutos, telhados, etc. Ruas e estradas:				
Asfaltadas, com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Pavimentadas com paralelepípedos	98	98	98	98
De terra	76	85	89	91
	72	82	87	89

Fonte: Adaptado de TUCCI (2004).

3.6.3 Concentração Média do Evento (CME)

Dentre os modelos de quantificação da poluição difusa, a Concentração Média do Evento (CME) se destaca por ser um dos métodos mais usados em função da sua simplicidade de manuseio. Diferentes estudos (HARPER, 1998; LINE, D. E. *et al.*, 2002; PITT *et al.*, 2004; PRODANOFF, 2005; LIN, 2004; BAIRD; JENNINGS, 1996)

apresentam valores da CME para diferentes eventos de chuva e, principalmente, diferentes tipos de solo. A CME resume a relação entre a massa de poluente transportada por um volume de escoamento superficial, ou seja, representa a concentração ponderada de um poluente em um evento de enxurrada. Acredita-se que o tipo de uso do solo seja o fator mais importante que diferencie concentrações médias nos eventos (PRODANOFF, 2005).

Para obtenção da CME emprega-se equação (5):

$$CME = \frac{L}{R} \quad (5)$$

Na equação (5):

- CME - Concentração média do evento de determinado poluente em mg/l;
- L - Massa total (carga) do poluente no evento em mg;
- R - Volume total escoado no evento em Litros.

Obtém-se a carga total do poluente produzida durante um evento por meio da coleta de diversas amostras, ao longo do tempo de duração do escoamento, juntamente com o levantamento do hidrograma. Portanto a massa total de poluente e o volume total escoado são estimadas por meio das equações (6) e (7), respectivamente.:

$$L = \sum_{i=1}^n Q_i C_i \quad (6)$$

$$R = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (7)$$

Nas equações (6) e (7):

- Q_i - Ordenadas do hidrograma em l/s;
- C_i - Concentrações correspondentes no “polutograma” em mg/l.

Novotny (1992) aponta algumas vantagens da utilização da CME como parâmetro indicador do potencial poluidor de cada evento. De acordo com o referido autor, para um mesmo local, as CME's apresentam distribuição log-normal, ou seja, podem ser associadas probabilidades e frequências de ocorrência. A fácil comparação entre

diferentes eventos e diferentes locais, bem como a representação de um conjunto de dados muito variável, também são descritos como pontos positivos do método.

A grande disponibilidade de dados na literatura também é vista como uma vantagem do emprego da CME; entretanto, por serem dados empiricamente determinados por amostragem locais, é desejável que estes sejam calibrados e ou amostrados nas localidades de interesse (CARVALHO, 2011; PRODANOFF, 2005; NOVOTNY, 2003).

Tucci (2001) desenvolveu um experimento em duas bacias urbanas diferentes e os resultados indicaram que a massa de poluentes na bacia aumentou com a precipitação total, precipitação média e volume escoado. Verificou-se ainda que a carga de lavagem apresentou diferentes comportamentos para diferentes eventos de precipitação. A CME foi maior durante o período chuvoso.

O modelo L-THIA faz uso do método da Concentração média do Evento para realizar a estimativa das cargas difusas de poluentes. Os valores de referência utilizadas pelo modelo estão dispostos em Baird e Jennings (1996), que compilaram concentrações médias do evento existentes para dezoito poluentes no total. Tais concentrações foram obtidas por meio de monitoramento do escoamento proveniente de áreas ocupadas por categorias de uso do solo homogêneas (residencial, urbano, industrial/comercial, vias, agricultura, campos e pastagens, áreas abertas pouco desenvolvidas e marinas).

3.7 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Os Sistemas de informações geográficas (SIG) vêm se tornando cada vez mais difundidos nas diversas áreas de estudo. O SIG é uma ferramenta capaz de relacionar dados tabulares a entidades geométricas vetoriais (pontos, linhas e superfícies) ou imagens (*rasters*). Esses dados são trabalhados a partir de camadas de informações disponibilizados na forma de mapas georreferenciados (ALMEIDA, 2006).

Na área ambiental e no gerenciamento de recursos hídricos, o uso de SIG em modelos hidrológicos e de qualidade de água tem sido cada vez mais intensificado e difundido,

uma vez que pode auxiliar na identificação da variabilidade espacial das características da bacia hidrográfica (MOLINARI, 2015).

Atualmente, os modelos distribuídos de qualidade de água são baseados em sistemas de informação geográfica (SIG) que permitem a simulação da contribuição de fontes pontuais e não-pontuais. Nesse tipo de modelo, a bacia pode ser discretizada em sub-bacias ou células, tornando possível a simulação das alterações e da variabilidade espaço-temporal. Em alguns casos, cada unidade discretizada é tratada de forma pontual, constituindo assim, um modelo semi-distribuído (LARENTIS, 2004).

De acordo com Santos *et al.* (2006) e Mendes Filho *et al.* (2000), os Sistemas de Informação Geográfica têm sido utilizados para produzir um banco de dados que funcionam como parâmetros de entrada para os modelos hidrológicos, possibilitando, por meio dessa integração, a manipulação de dados espaciais. Além disso, essas informações podem ser utilizadas como uma relevante ferramenta para a tomada de decisões relacionadas com o planejamento e o ordenamento do território.

4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada para a condução do presente estudo seguiu as etapas relacionadas no fluxograma apresentado na Figura 3. Na sequência do texto, cada etapa apresentada será detalhada, buscando-se facilitar a exposição e o entendimento dos resultados obtidos.

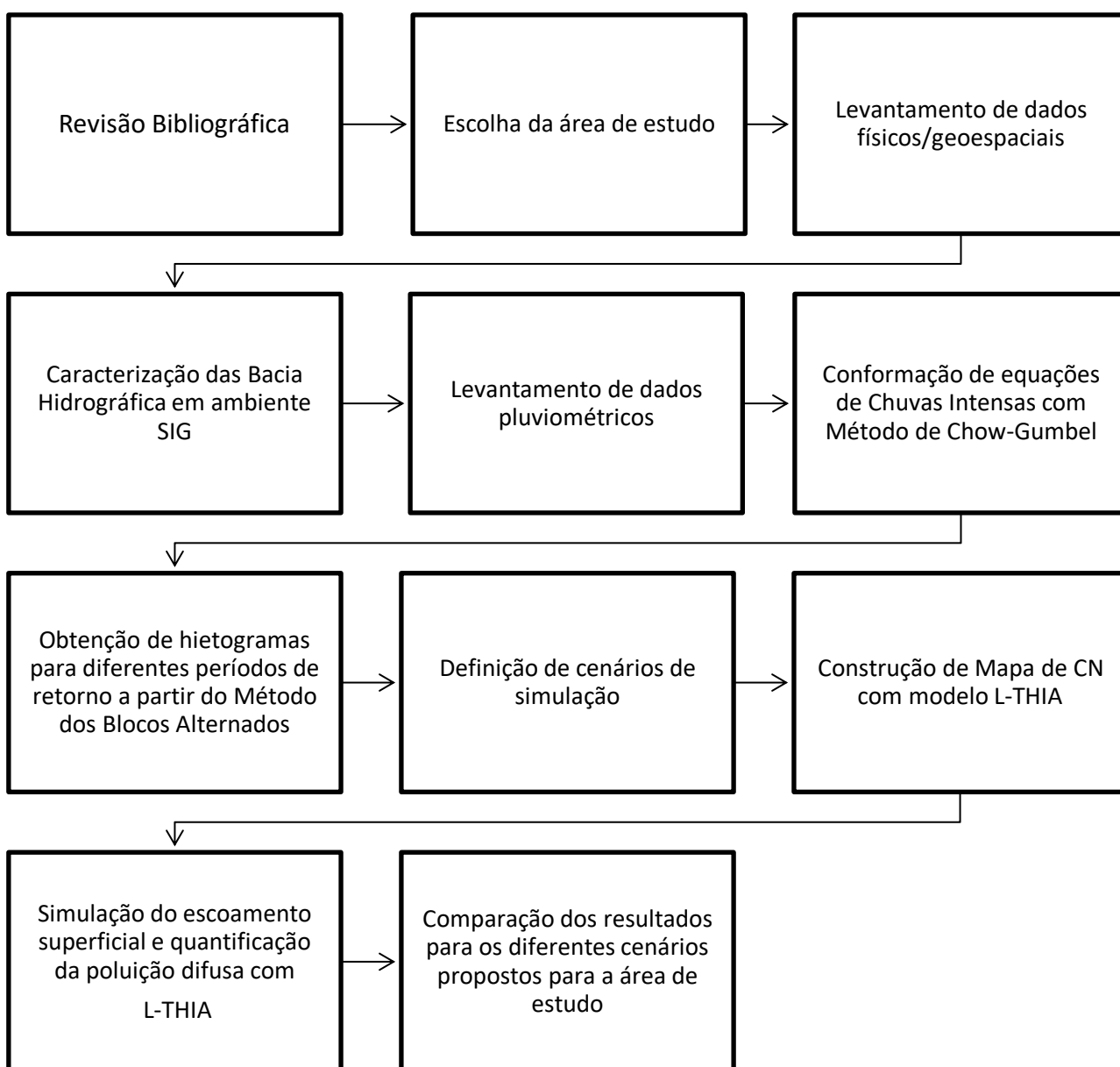


Figura 3 - Fluxograma da metodologia proposta.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo assumiu como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Jucu (Figura 5). A bacia do Rio Jucu possui uma área de drenagem aproximada de 2.220 km², na qual estão situados os municípios de Domingos Martins e Marechal Floriano e parte dos municípios de Viana, Vila Velha, Cariacica e Guarapari.

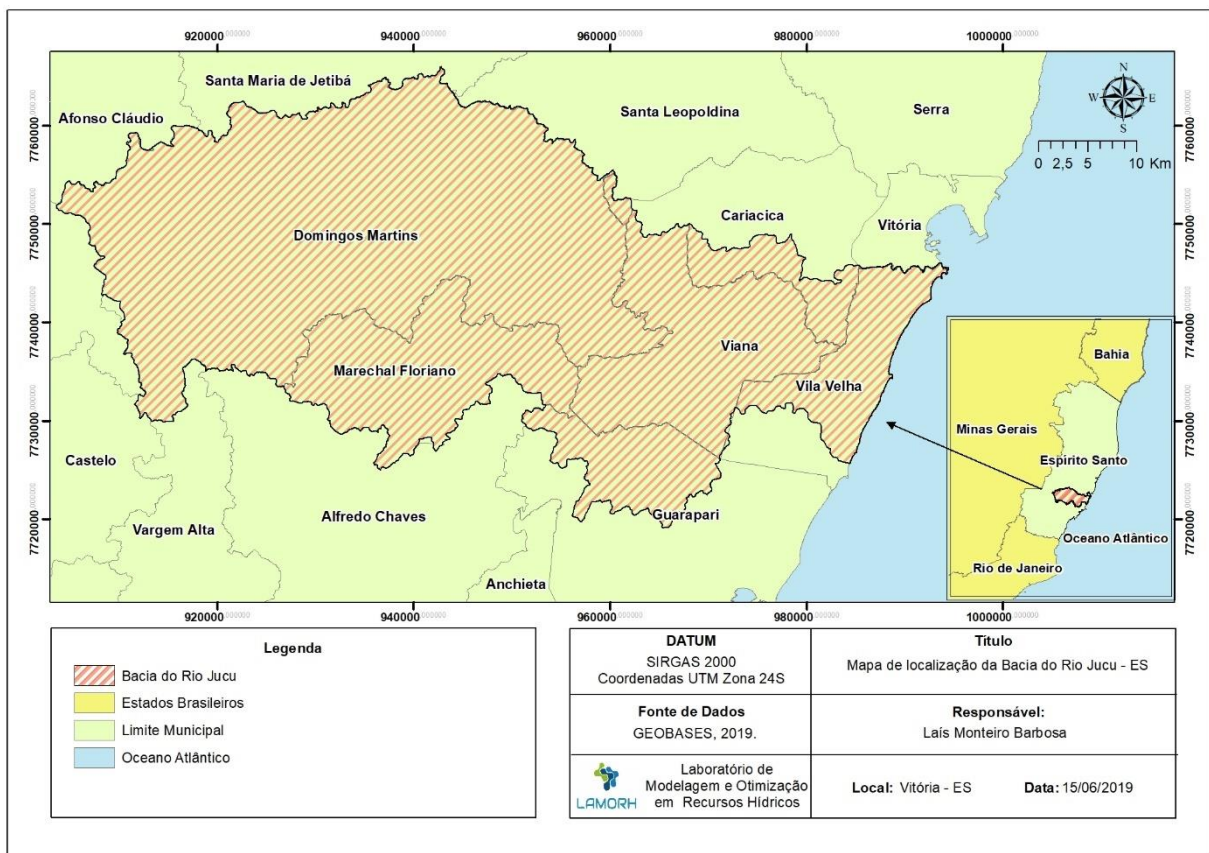


Figura 4 - Mapa de Localização da sub-bacia do Rio Jucu.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Com aproximadamente 169 km de extensão, o rio Jucu é formado pela confluência do Rio Jucu Braço Norte e do Rio Jucu Braço Sul (Figura 5), que ocorre próximo à divisa dos municípios de Domingos Martins e Viana. Suas nascentes estão localizadas no município de Domingos Martins, na região serrana do Estado do Espírito Santo, e sua foz acha-se no município de Vila Velha, na Barra do Jucu.

Como detalhado em seu Plano de Bacia e de Enquadramento dos Corpos de Água em Classes de Uso, a bacia hidrográfica do rio Jucu é um dos principais mananciais de abastecimento de água para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e municípios serranos que a compõem, fornecendo ainda parte da energia elétrica produzida no estado do Espírito Santo. Apesar de sua grande importância, o rio Jucu vêm sofrendo grandes impactos com o lançamento diário de resíduos domésticos, industriais, agrícolas, com o assoreamento, além da retirada de cobertura vegetal (CONSÓRCIO NIP & PROFILL, 2016).

Além da relevância da bacia do Rio Jucu, essa área de estudo foi escolhida pelo fato de possuir as informações necessárias para composição dos dados de entrada do modelo L-THIA. Levou-se também em consideração o processo de desenvolvimento da área e os diversos usos e ocupações do solo observados.

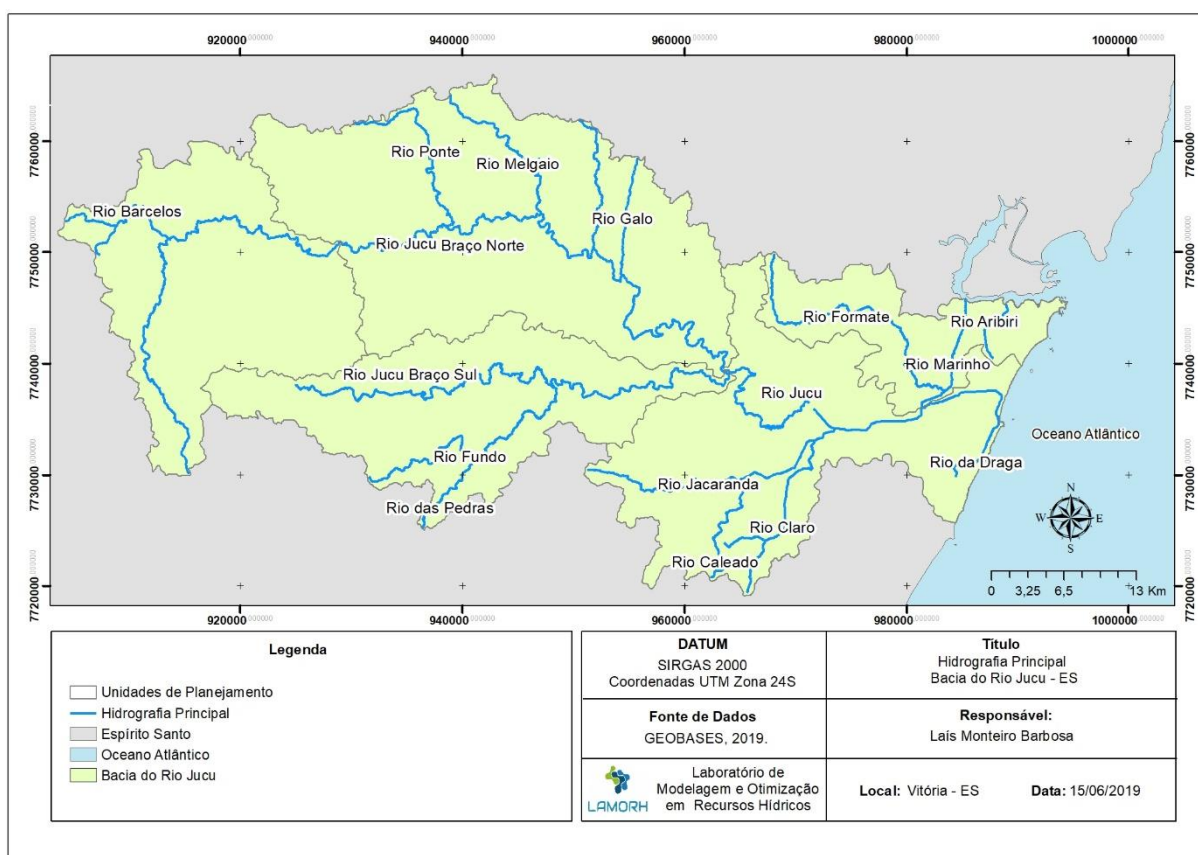


Figura 5 - Mapa de Hidrografia Principal da Bacia do Rio Jucu – ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM AMBIENTE SIG

A fim de caracterizar a área de estudo iniciou-se uma busca pelos dados de órgãos governamentais e outras fontes de informação, dentre os quais se destaca o HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA), ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e o Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES).

Dados hidrológicos referentes à área de estudo foram obtidos no HidroWeb; já os dados físicos foram levantados com base nos arquivos dispostos no portal GEOBASES. Os programas Excel (Office 365 da Microsoft Corporation) e o Sistema de Informações Geográficas ArcGIS (Esri) foram empregados para diferentes tratamentos sobre os referidos dados.

As técnicas de geoprocessamento foram aplicadas com intuito de tratar e obter as entradas necessárias ao modelo de quantificação da poluição difusa utilizado neste trabalho. Conseqüentemente, mapas temáticos de declividade, pedologia, uso e ocupação do solo foram gerados para facilitar a modelagem destas fontes e ilustrar os resultados obtidos no processamento de informações espaciais. Os mapas apresentados nesse trabalho foram elaborados de acordo com sistema geodésico de referência vigente (Sirgas 2000).

4.2.1 Caracterização das Unidades de Planejamento (UP)

Visando possibilitar a análise comparativa da resposta hidrológica de bacias com diferentes características aos cenários de simulação, optou-se por adotar uma subdivisão da Bacia do Rio Jucu em regiões hidrográficas menores.

Para tanto, adotou-se a subdivisão apresentada no Plano de Bacias dos rios Jucu e Santa Maria, visando garantir a adoção limites compatíveis com os que são utilizados para o planejamento dos recursos hídricos no estado do Espírito Santo e produzir informações que possam ter correspondência com as Unidades de Planejamento estudadas.

É importante salientar que a criação de Unidades de Planejamento no Plano de Bacias objetivou abranger uma noção de identidade, com vistas à mobilização social, considerando a dimensão espacial em questão. Portanto, destaca-se que foi sugerido pelo Comitê de Bacia Hidrográfica Jucu que a unidade Interbacia rio Aribiri (ou Costeira) fosse agregada à unidade Formate/Marinho (CONSÓRCIO NIP & PROFILL, 2016).

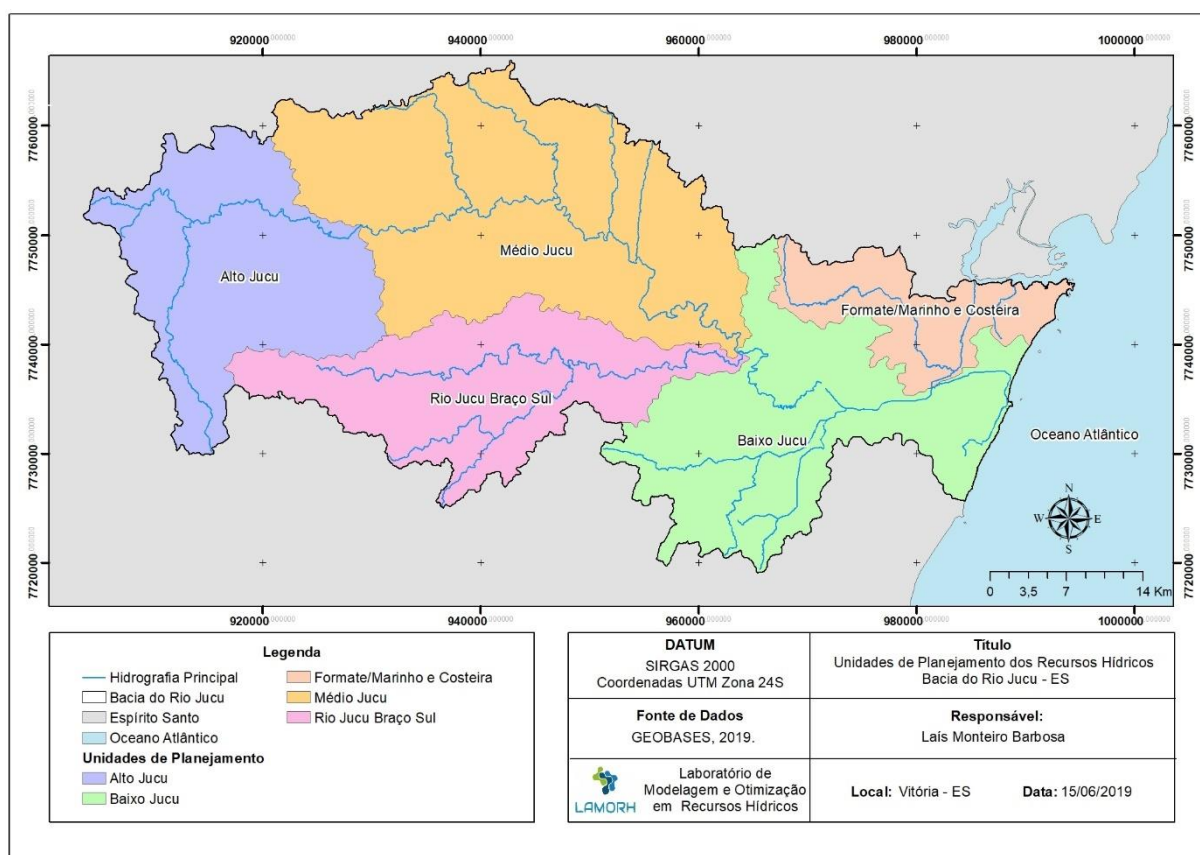


Figura 6 - Mapa de Unidades de Planejamento dos recursos hídricos da Bacia do Rio Jucu – ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os dados fisiográficos de cada sub-bacia foram obtidos por meio de ferramentas de geoprocessamento e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados físicos das sub-bacias do Rio Jucu

Sub-bacia	Área (Km ²)	Extensão do talvegue (km)	Declividade média do talvegue (m/m)
Alto Jucu	425,02	54,40	0,0084
Médio Jucu	713,48	72,70	0,0091
Rio Jucu Braço Sul	389,11	66,33	0,0137
Baixo Jucu	479,21	41,86	0,0011
Formate/Marinho e Costeira	172,62	32,30	0,0187

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.2.2 Hipsometria

Com base no mapa hipsométrico da bacia do Rio Jucu (Figura 7) foi possível realizar uma análise mais detalhada de seu relevo, sendo este constituído por cotas altimétricas que variam de 0 a aproximadamente 1.910 metros. Conforme mencionado em seção anterior, tanto o Rio Jucu Braço Norte, quanto o Rio Jucu Braço Sul nascem na região serrana da bacia, cujas altitudes são da ordem de 1.000 e 1.400 metros.

A maior parte do percurso de ambos os braços do rio Jucu segue o sentido geral Oeste-Leste, cortando grande parte da região serrana em cotas altimétricas que variam, entre 500 a 1.000 metros, aproximadamente. Observa-se ainda, as altitudes do relevo na bacia decrescendo de forma progressiva no sentido Leste, estando a confluência entre os rios Jucu Braço Sul e Jucu Braço Norte situada em uma cota de aproximadamente 50 metros. Do ponto da referida confluência do Jucu até a sua desembocadura no oceano, as cotas variam de forma progressiva e decrescente.

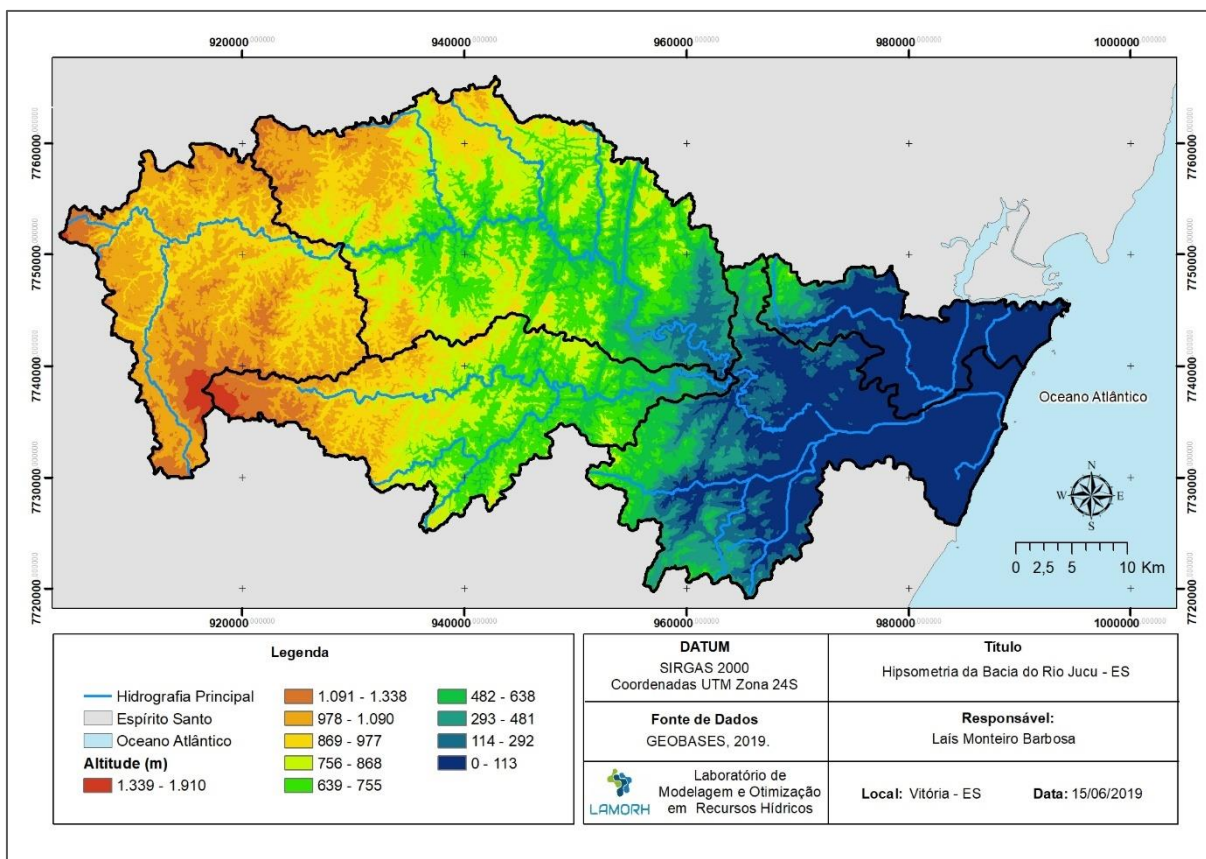


Figura 7 - Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Jucu – ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2.3 Declividade

A declividade média de uma bacia e dos cursos d'água são características que influenciam diretamente no tempo de viagem da água ao longo da drenagem. O aumento da declividade da área produz uma diminuição do tempo de concentração de uma bacia (VEIGA et. al., 2011). A velocidade do escoamento também varia em função das características topográficas da bacia. Desta forma, bacias que apresentem altas declividades, a princípio, apresentarão um maior potencial para geração de carga difusa do que bacias que, sob as mesmas condições de ocupação e impermeabilização do solo, apresentem um terreno mais plano (SILVA, 2014).

A partir dos Modelos Digitais do Terreno foram gerados mapas de declividades. Para tanto, utilizou-se a ferramenta estatística *Slope*, presente no módulo de Análise Espacial do Arcgis.

O relevo da área de estudo foi subdividido em classes de declividades discriminadas em seis intervalos sugeridos pela EMBRAPA (2013): 0-3% (relevo plano), 3-8% (relevo suavemente ondulado), 8-20% (relevo ondulado), 20-45% (relevo fortemente ondulado), 45-75% (relevo montanhoso) e maior que 75% (relevo fortemente montanhoso). A distribuição das referidas classes de declividades na bacia do Rio Jucu pode ser observada na Figura 8.

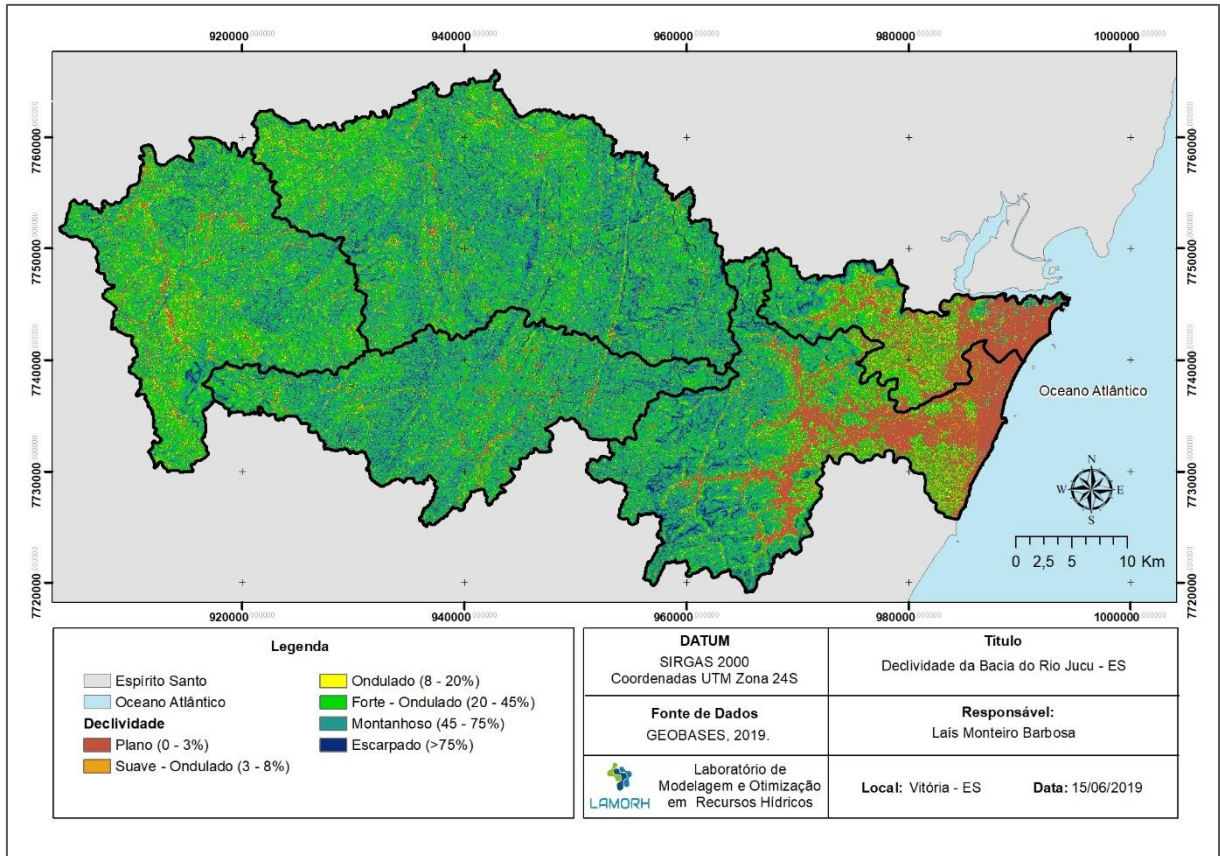


Figura 8 – Mapa de Declividades da Bacia do Rio Jucu – ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2.4 Tempo de Concentração

O Tempo de Concentração (T_c) foi obtido por meio da equação de Johnstone, representada por meio da equação (8).

$$T_c = 20,17 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,5} \quad (8)$$

Na expressão anterior:

- Tc - tempo de concentração em min;
- S - declividade do talvegue em m/m;
- L - extensão do talvegue em km.

Conforme observa Franco (2004), a equação de Johnstone é recomendada para bacias hidrográficas grandes, com área de 65 a 4.200 km², aspecto que justifica a escolha desta equação para apropriação dos tempos de concentração associados a área de estudo. Os valores obtidos para Tc estão reunidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempos de concentração obtidos para as sub-bacias do Rio Jucu - ES

Sub-bacia	Tempo de concentração (min)
Alto Jucu	491,94
Médio Jucu	556,08
Rio Jucu Braço Sul	479,96
Baixo Jucu	720,68
Formate/Marinho e Costeira	309,88

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.2.5 Pedologia e Classificação Hidrológica de Solos

O mapeamento dos tipos de solo presentes na bacia hidrográfica do rio Jucu, obtido no portal GEOBASES, contém a taxonomia e características pedológicas que são disponibilizadas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), coordenado pela EMBRAPA (EMBRAPA, 2013).

Na Figura 9 é possível observar que os tipos de solos predominantes na área da bacia do rio Jucu são Latossolo Amarelo, Cambissolo Háplico e Argissolo Amarelo. Também são verificados, em menores proporções, as classes de solo Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênicos, Neossolo Flúvico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho e Nitossolo Vermelho, respectivamente em ordem de maior para menor abrangência.

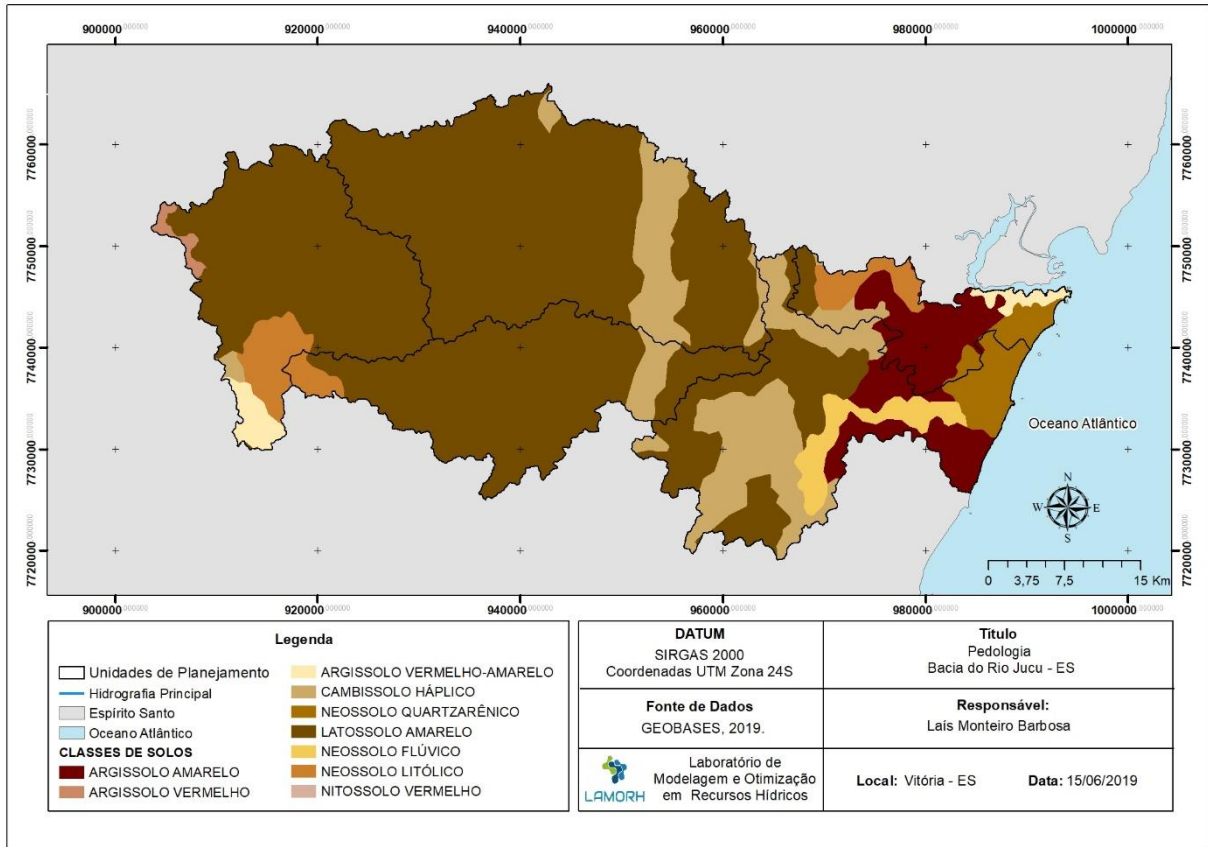


Figura 9 - Mapa de Pedologia da Bacia do Rio Jucu – ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De acordo com Sartori *et al.* (2005), a definição dos grupos hidrológicos do solo segundo a classificação proposta por Lombardi Neto *et al.* (1989) apresenta-se com maior clareza para as condições dos solos do Brasil, diferente da classificação original do SCS, que induz muitos usuários do método a considerar apenas a textura superficial dos solos. Com o objetivo de facilitar a aplicação desta metodologia, Sartori *et al.* (2005) propuseram uma extensão da classificação hidrológica de Lombardi Neto *et al.* (1989), utilizando a nova nomenclatura do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). Essa classificação pode ser verificada na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação de Grupos Hidrológicos de Solos

Grupo Hidrológico A
Características:
Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; Solos de textura média; Solos bem drenados ou excessivamente drenados; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil;
Tipos de Solos:
LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
Grupo Hidrológico B
Características:
Solos profundos (100 a 200 cm); Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; Solos porosos; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil;
Tipos de Solos:
LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMA-RELO de textura arenosa/ média, média /argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
Grupo Hidrológico C
Características:
Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm); Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; Comumente apresentam mudança textural abrupta; A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e média/argilosa com mudança textural abrupta, arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
Tipos de solos:
ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.
Grupo Hidrológico D
Características:
Solos rasos (prof. < 50 cm); Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão; Solos pouco profundos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade;
Tipos de solos:
NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: Adaptado de Sartori *et al.* (2005).

Com auxílio da Tabela 6, foi possível enquadrar os diferentes tipos de solos presente na bacia do Rio Jucu em seus respectivos grupos hidrológicos (Figura 10).

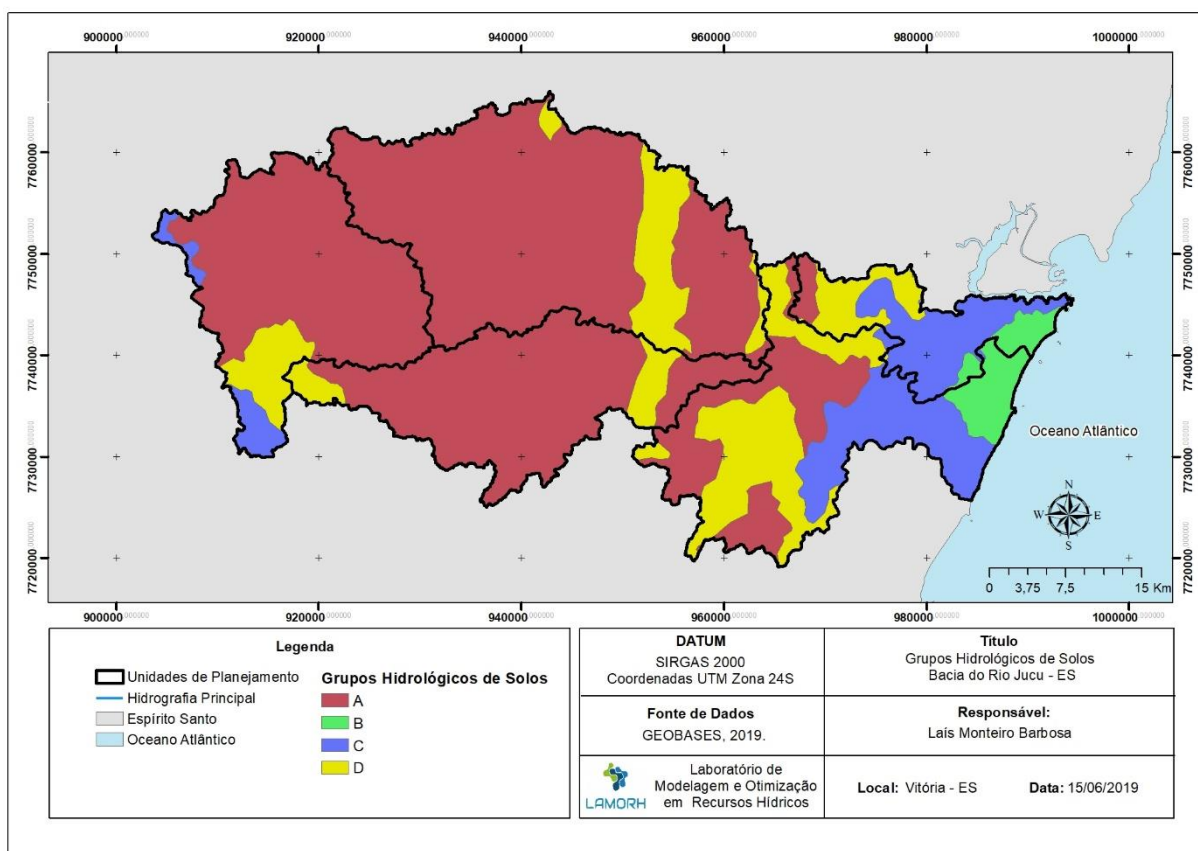


Figura 10 – Mapa de Grupo Hidrológico de Solos da Bacia do Rio Jucu – ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Adicionalmente, a Tabela 7 reúne os percentuais de grupos hidrológicos do solo encontrados em cada UP.

Tabela 7 - Percentual de Grupos Hidrológicos do Solo em cada Unidade de Planejamento

Grupos Hidrológicos do Solo	Unidades de Planejamento				Formate/ Marinho e Costeira
	Alto Jucu	Médio Jucu	Rio Jucu Braço Sul	Baixo Jucu	
A	81,77%	87,32%	90,21%	31,07%	7,26%
B	-	-	-	9,05%	13,97%
C	7,10%	-	-	26,17%	53,68%
D	11,12%	12,68%	9,79%	33,70%	25,08%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.2.6 Uso e Ocupação do Solo

O mapeamento mais recente dos diversos usos do solo é referente ao período de 2012 – 2015 e foi obtido no portal GEOBASES. As informações são produtos de um levantamento realizado pela Hiparc Geotecnologia, empresa especializada contratada pelo governo do estado do Espírito Santo.

Os diferentes usos presentes na bacia do Rio Jucu foram enquadrados em 15 categorias. São elas: Afloramento Rochoso, Brejo, Campo Rupestre/Altitude, Cultivo Agrícola, Extração Mineração, Macega, Mangue, Massas d'água, Mata Nativa, Pastagem, Reflorestamento, Restinga, Solo Exposto, Área Edificada e Outros.

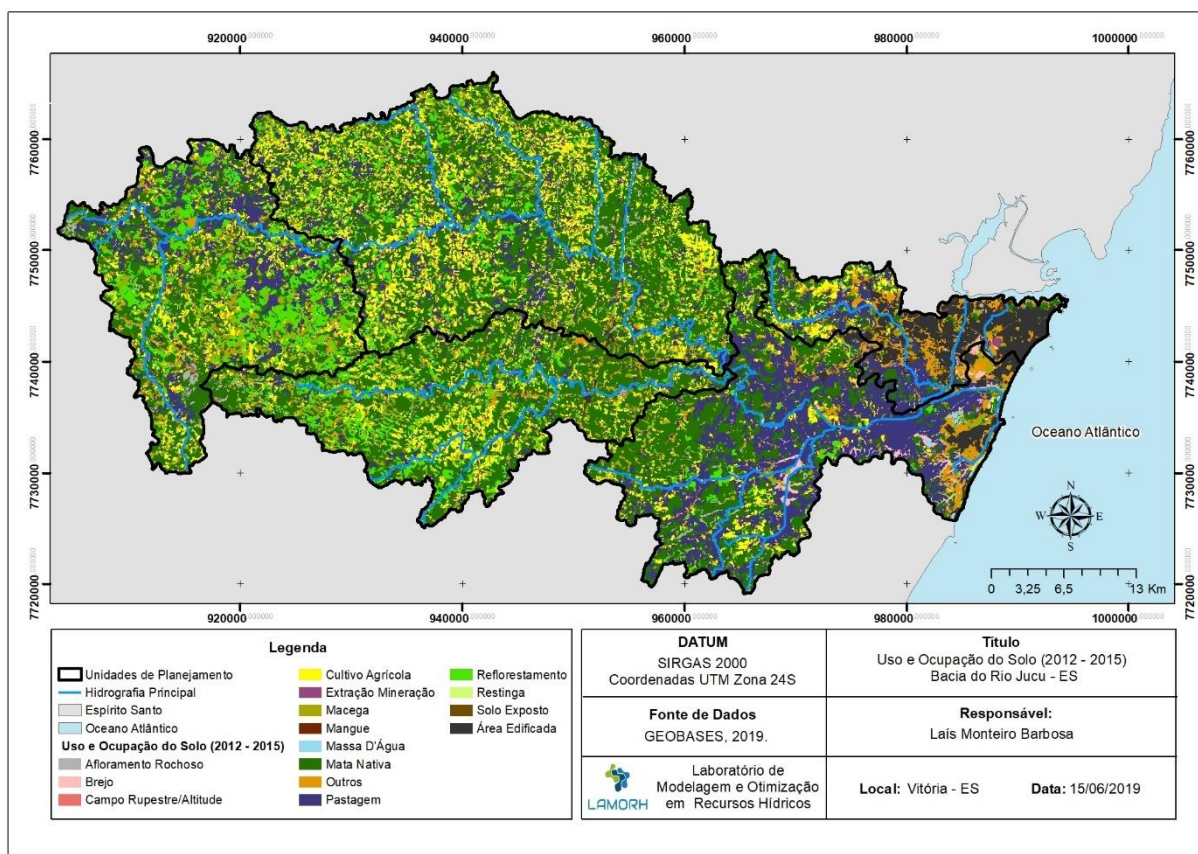


Figura 11 – Mapa de Uso e ocupação do solo (2012 - 2015) da Bacia do Rio Jucu - ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Na Unidade de Planejamento Alto Jucu, é possível observar o predomínio de áreas florestais (ou seja, matas nativas e reflorestadas), seguido de pastagens e cultivo agrícola. A Unidade Médio Jucu possui maiores percentuais de área de florestas

seguida cultura agrícola. Na sub-bacia Baixo Jucu, destacam-se maiores áreas de pastagens, enquanto que na unidade do Rio Jucu Braço Sul, a área florestal tem destaque. A UP Formate/ Marinho e Costeira se diferencia das demais UPs, por possuir maior área urbanizada e pastagem. Além disso, essa UP possui menor área florestal frente às demais.

4.3 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Visando avaliar o potencial de produção de cargas difusas na área de estudo, bem como o comportamento do escoamento superficial, foram selecionadas cinco estações pluviométricas instaladas na área de estudo ou no seu entorno. Na Figura 12 pode-se observar a localização das estações escolhidas e, na Tabela 8, informações sobre localização (municípios e coordenadas geográficas), altitude e entidade responsável pela operação das estações.

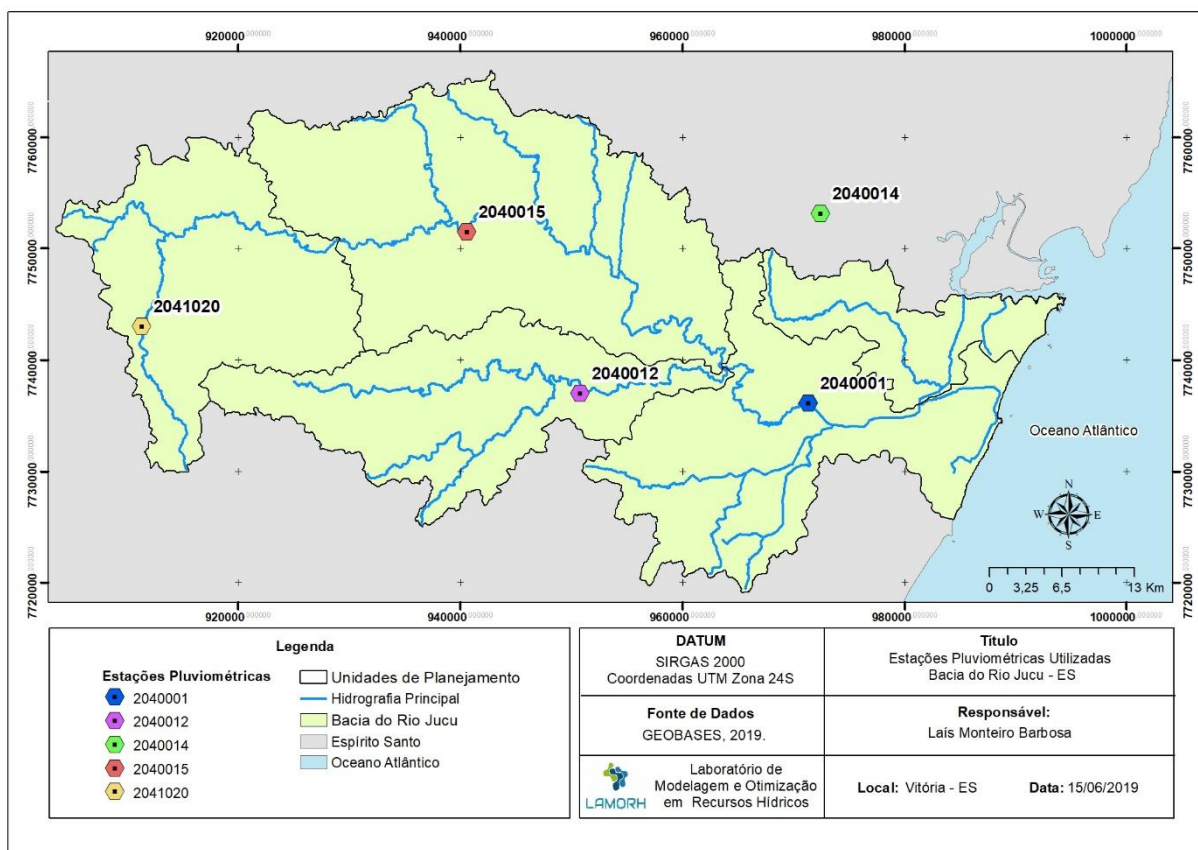


Figura 12 - Mapa de localização das Estações Pluviométricas.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Tabela 8 - Informações sobre estações pluviométricas utilizadas no trabalho

Código	Estação	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)
2041020	Aracê (Fazenda Modelo)	Domingos Martins	ANA	7741857	345015	80
2040015	Perobinha	Domingos Martins	ANA	7741989	324496	544
2040012	Marechal Floriano	Domingos Martins	ANA	7758886	345519	200
2040001	Fazenda Jucuruaba	Viana	ANA	7746595	284865	1075
2040014	Duas Bocas	Cariacica	ANA	7756225	313860	640

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Ressalta-se que os registros pluviométricos estão disponíveis na base de dados HydroWeb, gerenciada pela ANA. A manipulação das séries históricas disponíveis foi realizada por meio do programa HIDRO, software livre produzido e disponibilizado pela ANA. A Tabela 9 sumariza o regime pluviométrico na bacia no período compreendido entre os anos de 1972 e 2016. São apresentados a média dos totais

anuais precipitados nos 44 anos de monitoramento, bem como com a máxima média anual do período para cada posto pluviométrico selecionado.

Tabela 9 - Caracterização do regime pluviométrico na bacia no período de 1972 a 2016

Estações	Série Histórica	Máxima Média Anual (mm)	Precipitação Média Anual (mm)
2040001	1972 – 2016	90,17	1.297,7
2040012	1972 – 2016	85,92	1.556,2
2040014	1972 – 2016	98,90	1.520,3
2041020	1972 – 2016	80,67	1.344,1
2040015	1972 – 2016	74,83	1.242,1

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O Método de Chow-Gumbel foi empregado para se estabelecer equações de Intensidade-Duração-Frequência para cada estação pluviométrica selecionada. Apresentado e detalhadamente discutido por Cetesb (1986), a aplicação do método de Chow-Gumbel envolveu as seguintes etapas:

- seleção das precipitações máximas anuais com duração de 1 dia;
- análise das frequências dos totais precipitados realizando-se o ajuste da distribuição probabilística de Gumbel, a série histórica de máximas precipitações anuais de 1 dia. Com isso, podem ser estimadas as máximas precipitações anuais de 1 dia associados a diferentes períodos de retorno;
- consecução, a partir dos totais precipitados de 1 dia, das precipitações para duração de 24 horas. É sugerido por Occhipinti e Santos (1966) que a relação entre as chuvas máximas de 24 horas e 1 dia flutua num valor próximo a 1,14, sendo este o fator de conversão alterado de acordo com o período de retorno determinado;

- determinação, a partir da avaliação da chuva com duração de 24 horas, de chuvas com mesma frequência, porém com menores durações. Nessa etapa, foram utilizados fatores de correção reunidos na Tabela 10;

Tabela 10 - Relação entre as alturas pluviométricas para precipitações de mesma frequência e diferentes durações.

Relação entre as alturas pluviométricas	Coefficientes de Conversão
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1h / 24 h	0,42
6h / 24 h	0,72

Fonte: Pfafstetter (1967).

- obtenção das intensidades utilizando uma relação entre as alturas pluviométricas associadas a diferentes períodos de retorno (previamente estabelecidas) e as durações;
- definição de equações de chuvas intensas, conforme modelo proposto pela Equação (9):

$$i = \frac{(K \cdot T^a)}{(t + b)^c} \quad (9)$$

Na equação (9):

- i - Intensidade máxima (mm/minuto),
- T - Período de retorno (anos),
- t - Duração (minutos) e
- K, a, b e c - Parâmetros que se deseja determinar.

Conforme procedimento empregado por Almeida *et al.* (2016), o ajuste do modelo estabelecido por meio da (9) foi realizado com auxílio da Programação Não Linear (PNL), aplicada com o suplemento *Solver*, disponível na Planilha Microsoft Excel.

Com auxílio das equações intensidade-duração-frequência obtidas e com o método dos blocos alternados apresentado em Tomaz (2002) foi possível produzir, para cada sub-bacia, os hietogramas para diferentes períodos de retorno. Utilizou-se como duração dos eventos os tempos de concentração calculados para cada unidade de planejamento.

4.4 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

O presente estudo foi dividido em duas etapas de análise, sendo que na Primeira Etapa realizou-se a estimativa do escoamento superficial e da produção de cargas difusas para precipitações de diferentes períodos de retorno para um mesmo uso e ocupação do solo. Nesta etapa de análise foram escolhidos, como dados de entrada, precipitações com períodos de retorno de 1, 2, 10 e 100 anos e o cenário de uso e ocupação do solo mais atual da área de estudo (2012-2015).

Já na Segunda Etapa estimou-se o escoamento superficial e a produção de cargas difusas para precipitações com período de retorno de 2 anos em diferentes cenários de uso e ocupação do solo da área de estudo. A Tabela 11 apresenta, de forma sucinta, os diferentes cenários de simulação avaliados.

Tabela 11 - Cenários de Simulação utilizados nas diferentes etapas no estudo

Etapa de Simulação	Cenário	Uso e Ocupação do Solo	Período de Retorno da Precipitação
Primeira Etapa	Cenário 1	Uso e Ocupação do Solo 2012 – 2015	Tr = 1 ano
	Cenário 2	Uso e Ocupação do Solo 2012 – 2015	Tr = 2 anos
	Cenário 3	Uso e Ocupação do Solo 2012 – 2015	Tr = 10 anos
	Cenário 4	Uso e Ocupação do Solo 2012 – 2015	Tr = 100 anos
Segunda Etapa	Cenário 5	Uso e Ocupação do Solo – Base	Tr = 2 anos
	Cenário 6	Uso e Ocupação do Solo 2007 – 2008	Tr = 2 anos
	Cenário 7	Uso e Ocupação do Solo 2012 – 2015	Tr = 2 anos
	Cenário 8	Uso e Ocupação do Solo – Futuro	Tr = 2 anos

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os itens subsequentes discutem de maneira detalhada as diferentes etapas de análise e seus respectivos cenários de simulação.

4.4.1 Primeira Etapa

A fim de analisar os efeitos do escoamento superficial produzido por tormentas com diferentes períodos de retorno sobre a área de estudo, foram selecionados pequenos períodos de retorno (1 e 2 anos) que, por serem mais frequentes, representam a maior parte das descargas anuais, e períodos de retorno maiores (10 e 100 anos), permitindo-se a avaliação dos efeitos de precipitações com menores recorrências. Ressalta-se ainda que os diferentes eventos de precipitação foram simulados para condição de uso e ocupação do solo referente ao período de 2012-2015, uma vez que esse é o levantamento mais recente disponibilizado no portal GEOBASES.

4.4.2 Segunda Etapa

Com intuito de avaliar a influência dos diferentes cenários de uso e ocupação do solo, tanto sobre o escoamento superficial quanto sobre a produção de cargas difusas, foram considerados quatro condições de uso e ocupação do solo, sendo elas:

- **Uso e Ocupação do Solo (2007 - 2008):** Para simulação desse cenário foi utilizado o arquivo *shapfile* de mapeamento do uso da terra resultante do levantamento aerofotogramétrico do estado do Espírito Santo. Esse levantamento foi realizado pela empresa Hiparc Geotecnologia nos anos de 2007 e 2008, a serviço do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) (IEMA, 2015).

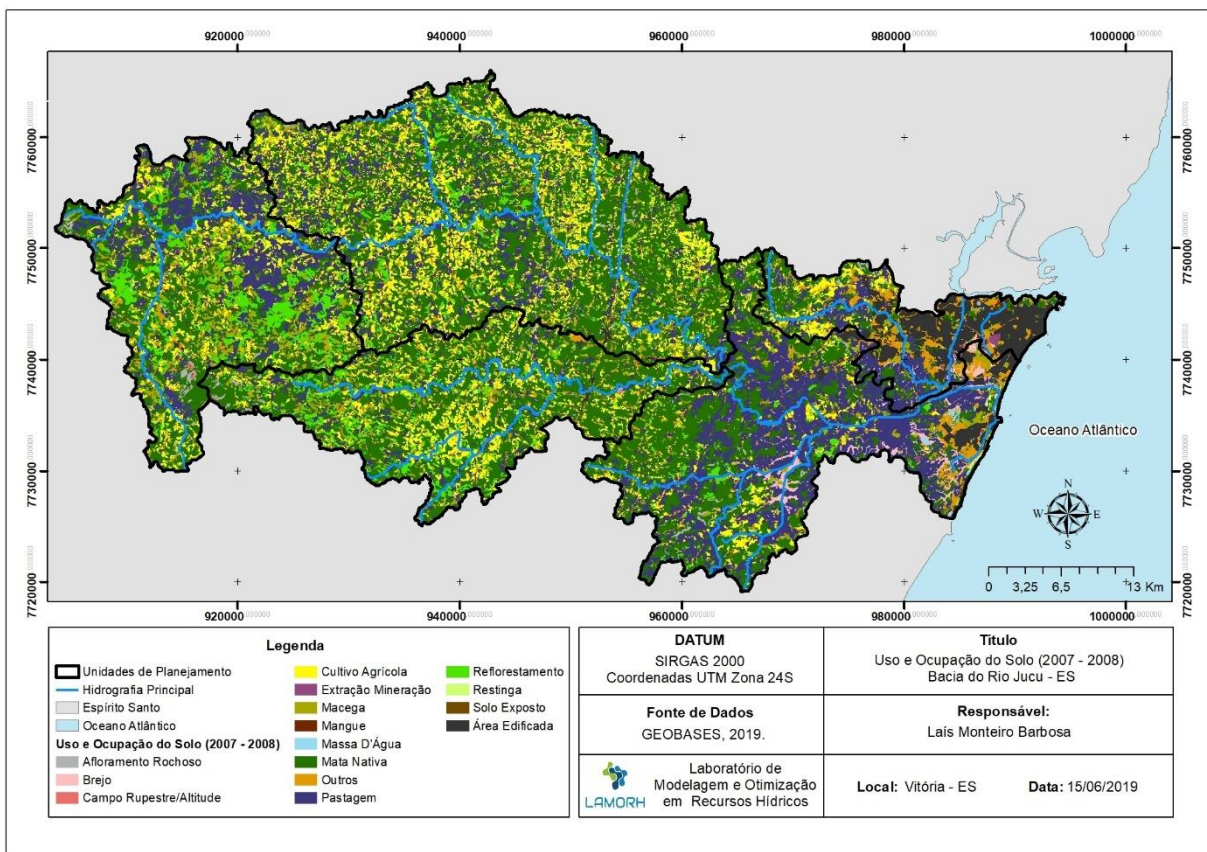


Figura 13 - Mapa de Uso e ocupação do solo (2007 - 2008) da Bacia do Rio Jucu - ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

- Uso e Ocupação do Solo (2012 - 2015): De forma análoga ao cenário anterior, foi utilizado o arquivo *shapefile* referente ao mapeamento realizado em também pela empresa Hiparc Geotecnologia nos anos de 2012 e 2015. O mapa de uso e ocupação do solo desse cenário pode ser observado na Figura 11 apresentada no item 4.2.6 (IEMA, 2015).
- Uso e Ocupação do Solo - Base: Neste cenário buscou-se representar, no limite, o que seria a condição natural da bacia hidrográfica, a fim de avaliar os impactos de ações humanas na área. Para tanto, as classes de usos antrópicos (Pastagem, Cultivo Agrícola, Área Edificada, Solo Exposto, Macega, Reflorestamento, Extração Mineração e Outros) foram transformadas na classe de uso de Mata Nativa.

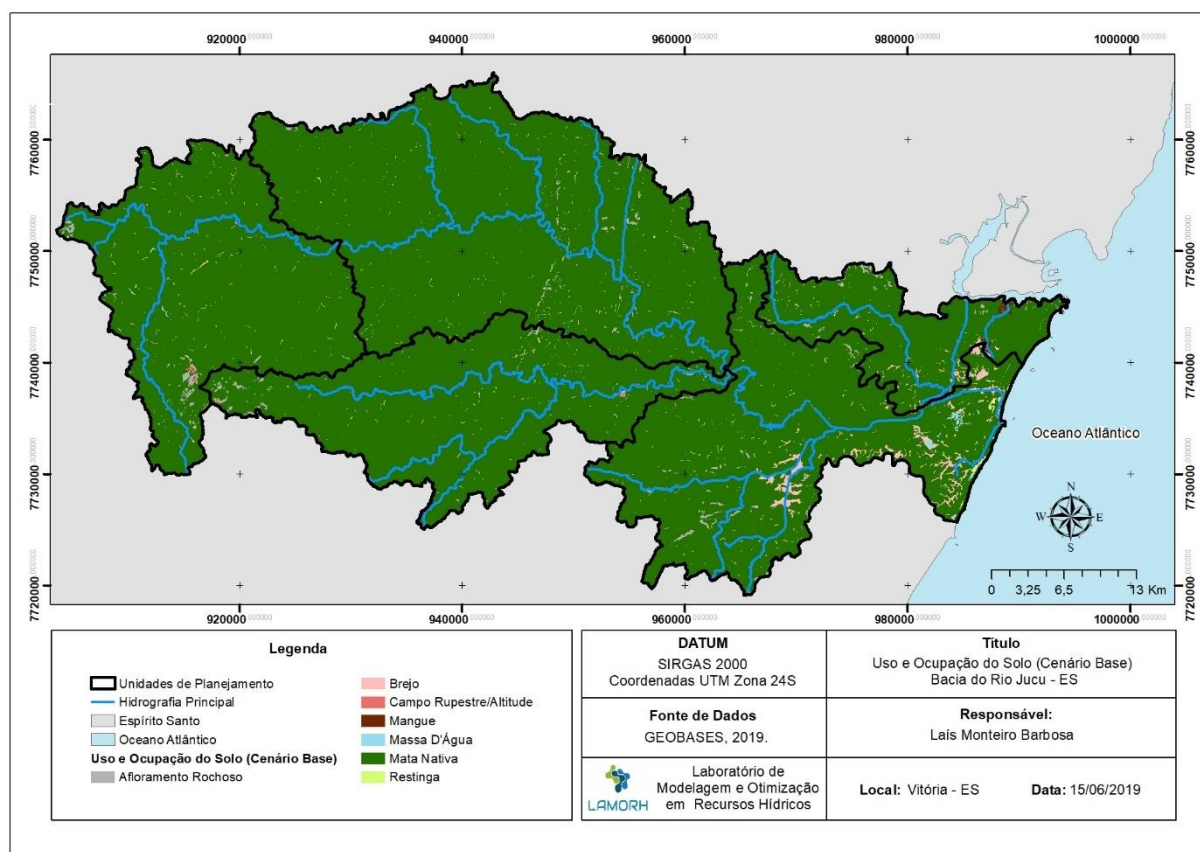


Figura 14 - Mapa de Uso e ocupação do solo (Cenário Base) da Bacia do Rio Jucu - ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

- Uso e Ocupação do Solo – Futuro: Neste cenário foi proposto o incremento sob as áreas de mata nativa com base nas diretrizes do Código Florestal, Lei nº 12.727, de outubro de 2012. Estas áreas referem-se a todas as APP de entorno de cursos d'água principais, em uma faixa com largura de 30 metros, além de 50 metros ao redor das nascentes.

É relevante ressaltar que a o incremento proposto nesse cenário supera, em termos percentuais, a meta do Programa Estadual de Ampliação da Cobertura Florestal (Programa Reflorestar), programa que pretende alcançar 50,3% de cobertura florestal remanescente para a bacia do Rio Jucu (SEAMA – ES, 2017). O Programa Reflorestar é uma iniciativa governamental, fruto do alinhamento da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA) e da Secretaria Estadual de Agricultura, Aqüicultura e Pesca (SEAG). O programa objetivou a ampliação da área de Mata Atlântica no Espírito Santo em 80 mil hectares até 2018, de acordo com as metas estabelecidas pelo Governo do Estado no Planejamento Estratégico 2015/2018.

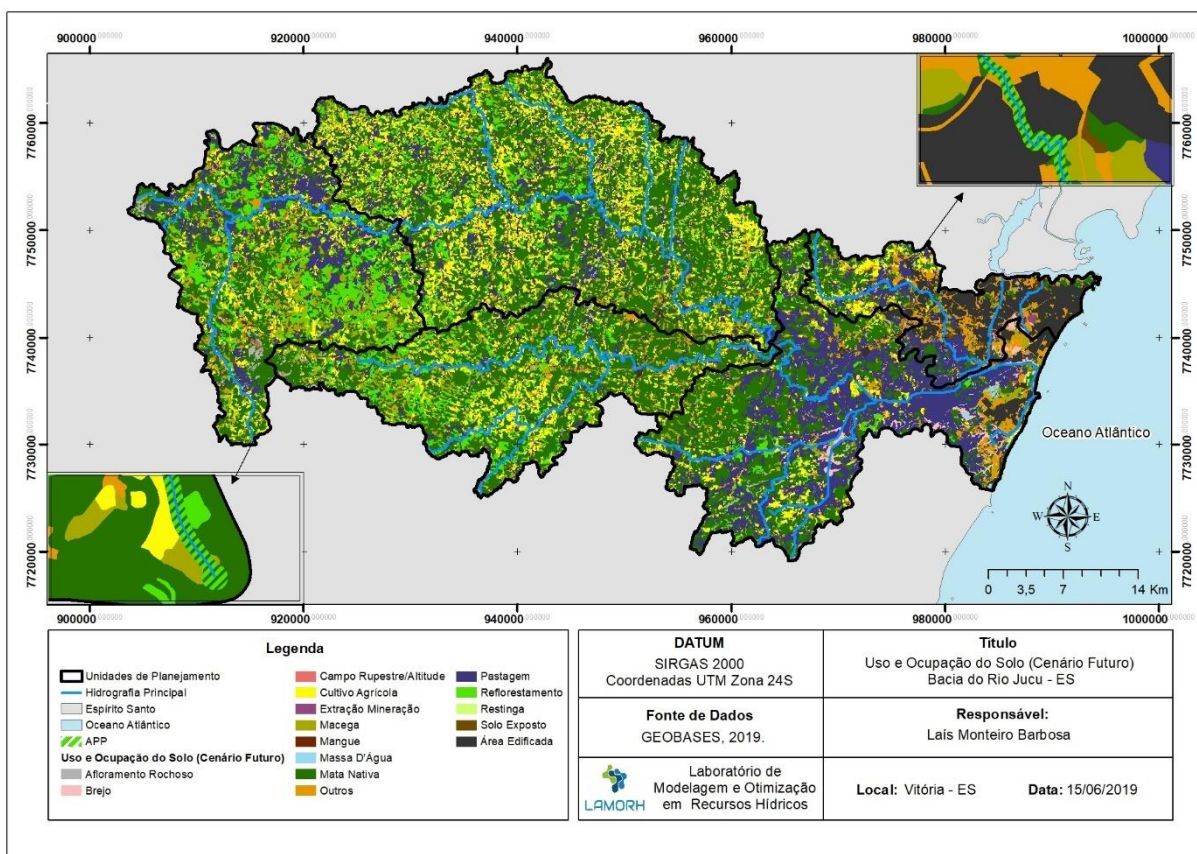


Figura 15 - Mapa de Uso e ocupação do solo (Cenário Futuro) da Bacia do Rio Jucu - ES.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Ressalta-se que ambos mapeamentos citados (2007-2008 e 2012-2015) possuem as mesmas categorias de enquadramento dos usos da terra. Os dados e as referências técnicas sobre os levantamentos aerofotogramétrico foram retirados do portal GEOBASES.

Visando analisar de forma isolada as mudanças nos percentuais de uso e ocupação do solo, em cada sub-bacia, escolheu-se o evento de precipitação com período de retorno de 2 anos para simulação.

Os diferentes percentuais de uso do solo para cada condição de uso e ocupação do solo podem ser avaliados nas Tabela 12 a Tabela 16.

Tabela 12 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Alto Jucu

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Alto Jucu			
	Uso e Ocupação do Solo (%)			
	Cenário Base	Cenário 2008	Cenário 2012	Cenário Futuro
Mata Nativa	98,33	35,84	34,93	35,62
Afloramento Rochoso	0,90	0,90	1,05	1,05
Reflorestamento	-	11,60	16,69	16,65
Cultivo Agrícola	-	11,82	10,24	10,15
Pastagem	-	23,35	18,90	18,55
Massa D'Água	0,25	0,25	0,29	0,29
Área Edificada	-	0,09	0,09	0,09
Outros	-	3,21	4,32	4,21
Mangue	-	0,00	0,00	0,00
Restinga	-	0,00	0,00	0,00
Brejo	0,42	0,42	0,39	0,38
Solo Exposto	-	1,80	2,05	2,03
Macega	-	10,58	10,91	10,86
Campo Rupestre/Altitude	0,11	0,11	0,10	0,10
Extração Mineração	-	0,04	0,04	0,04
Área Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 13 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Médio Jucu

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Médio Jucu			
	Uso e Ocupação do Solo (%)			
	Cenário Base	Cenário 2008	Cenário 2012	Cenário Futuro
Mata Nativa	98,77	46,54	46,85	47,59
Afloramento Rochoso	0,77	0,77	0,76	0,76
Reflorestamento	-	4,21	7,53	7,51
Cultivo Agrícola	-	19,85	19,89	19,70
Pastagem	-	16,37	12,37	12,11
Massa D'Água	0,30	0,30	0,38	0,38
Área Edificada	-	0,28	0,25	0,24
Outros	-	2,62	4,21	4,06
Mangue	-	0,00	0,00	0,00
Restinga	-	0,00	0,00	0,00
Brejo	0,16	0,16	0,19	0,18
Solo Exposto	-	1,18	0,99	0,98
Macega	-	7,71	6,55	6,46
Campo Rupestre/Altitude	0,00	0,00	0,00	0,00
Extração Mineração	-	0,01	0,03	0,03
Área Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 14 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Rio Jucu Braço Sul

Rio Jucu Braço Sul				
Classes de Uso e Ocupação do Solo	Uso e Ocupação do Solo (%)			
	Cenário Base	Cenário 2008	Cenário 2012	Cenário Futuro
Mata Nativa	98,61	53,67	53,53	54,43
Afloramento Rochoso	0,87	0,87	0,80	0,79
Reflorestamento	-	8,21	11,67	11,58
Cultivo Agrícola	-	15,03	12,48	12,34
Pastagem	-	9,24	6,42	6,17
Massa D'Água	0,29	0,29	0,33	0,33
Área Edificada	-	0,36	0,34	0,33
Outros	-	4,47	6,58	6,27
Mangue	-	0,00	0,00	0,00
Restinga	-	0,00	0,00	0,00
Brejo	0,18	0,18	0,16	0,16
Solo Exposto	-	0,90	0,83	0,82
Macega	-	6,71	6,78	6,72
Campo Rupestre/Altitude	0,04	0,04	0,05	0,05
Extração Mineração	-	0,03	0,03	0,03
Área Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 15 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Baixo Jucu

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Baixo Jucu			
	Uso e Ocupação do Solo (%)			
	Cenário Base	Cenário 2008	Cenário 2012	Cenário Futuro
Mata Nativa	94,37	35,90	35,50	36,47
Afloramento Rochoso	1,24	1,24	1,21	1,20
Reflorestamento	-	1,90	2,59	2,56
Cultivo Agrícola	-	5,44	5,49	5,41
Pastagem	-	37,75	37,10	36,57
Massa D'Água	0,72	0,72	0,83	0,82
Área Edificada	-	3,52	3,57	3,54
Outros	-	5,20	6,76	6,64
Mangue	0,03	0,03	0,03	0,03
Restinga	0,26	0,26	0,25	0,25
Brejo	3,37	3,37	2,66	2,55
Solo Exposto	-	0,33	0,40	0,40
Macega	-	4,23	3,53	3,47
Campo Rupestre/Altitude	-	0,00	0,00	0,00
Extração Mineração	-	0,11	0,09	0,09
Área Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 16 - Percentuais de classes de uso do solo em cada cenário na bacia do Formate/Marinho e Costeira

Formate/Marinho e Costeira				
Classes de Uso e Ocupação do Solo	Uso e Ocupação do Solo (%)			
	Cenário Base	Cenário 2008	Cenário 2012	Cenário Futuro
Mata Nativa	95,29	20,48	19,37	20,76
Afloramento Rochoso	1,77	1,77	1,64	1,64
Reflorestamento	-	0,30	0,75	0,73
Cultivo Agrícola	-	6,80	6,25	6,16
Pastagem	-	19,65	19,98	19,54
Massa D'Água	0,66	0,66	0,71	0,71
Área Edificada	-	30,38	29,60	29,27
Outros	-	12,11	14,94	14,56
Mangue	0,83	0,83	0,84	0,84
Restinga	0,03	0,03	0,03	0,03
Brejo	1,41	1,41	1,10	1,06
Solo Exposto	-	0,14	1,18	1,18
Macega	-	4,80	3,13	3,05
Campo Rupestre/Altitude	-	0,00	0,00	0,00
Extração Mineração	-	0,64	0,47	0,47
Área Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.5 SIMULAÇÃO COM L-THIA

Conforma já citado, para a estimativa do escoamento superficial e quantificação das cargas de poluição difusa nas áreas de estudo foi utilizado o modelo L-THIA, modelo de domínio público e de utilização substancialmente mais simples que modelos com objetivos similares. A Figura 16 apresenta um fluxograma dos processos envolvidos para obtenção dos resultados de interesse.

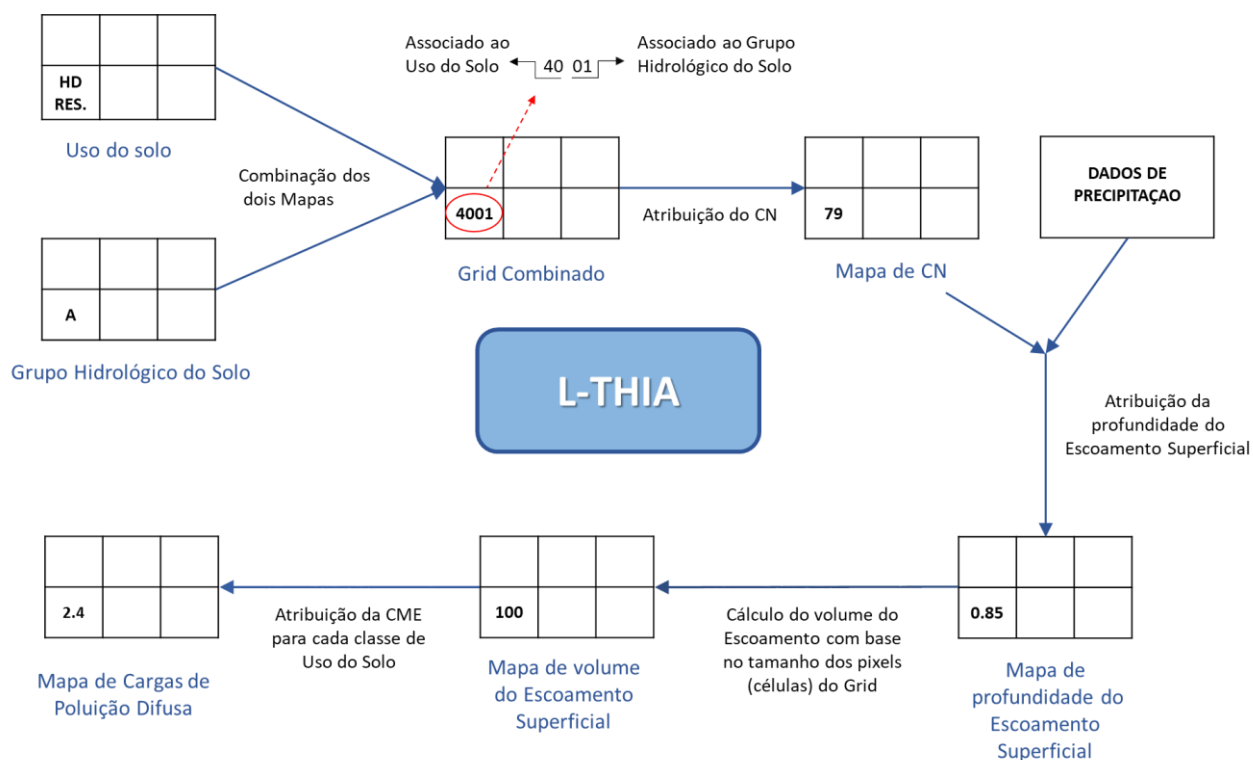


Figura 16 - Fluxograma do modelo L-THIA.

Fonte: Park, (2013).

4.5.1 Obtenção do mapa de CN-SCS

Para obtenção do mapa de CN – SCS são necessários os mapas de grupos hidrológicos do solo e os mapas de uso e ocupação do solo para cada cenário de simulação. Ressalta-se que cada uso do solo presente na bacia recebe um código de referência (*Gridcode*) de acordo com a tabela base do modelo L-THIA.

O modelo recebe como entrada as informações de pedologia e uso e ocupação da área no formato *raster*, com a mesma projeção cartográfica e em metros. Portanto, as informações dos grupos hidrológicos de solo e dos diferentes cenários de uso da terra, que a priori estavam no formato *shapefile*, foram transformados para o formato recomendado.

Com todos os dados de entrada disponíveis, no formato adequado para simulação, foi possível rodar a primeira etapa de modelo, na qual é feita a construção do mapa de CN para os diferentes cenários simulados para a área de estudo.

Para cada mapa de CN gerado também foi obtida uma planilha com os valores de CN e de CME para os poluentes simulados neste trabalho.

4.5.2 Quantificação das Cargas Difusas

A fim de estimar o volume de escoamento superficial, o modelo L-THIA permite que o usuário simule eventos únicos de precipitação definindo-se uma lâmina média de chuva para bacia. Outra possibilidade é a simulação com dados diários de precipitação, sendo recomendado uma série histórica de pelo menos 30 anos. As simulações utilizadas para estimativa do escoamento superficial foram conduzidas assumindo-se perspectiva de evento único de precipitação e a adoção da Condição II de umidade antecedente do solo.

Para avaliar os impactos da poluição difusa na bacia de estudo o modelo fez-se o uso do método das Concentrações Médias no Evento (CME). Para tanto, foram utilizados os valores de CME para seis poluentes - Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (FT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO).

O modelo L-THIA utiliza os valores de CME apresentados em Baird e Jennings (1996). Os autores monitoraram a concentração desses poluentes através do escoamento advindo de áreas ocupadas por categorias de uso e ocupação do solo, sendo elas residencial, comercial (urbano), industrial, transportes, misto, agricultura, montanhoso (campos e pastagens).

Conforme indicam Baird e Jennings (1996), para a CME, a categoria “comercial/urbano” inclui os distritos comerciais, empreendimentos comerciais e unidades institucionais como escolas, hospitais, etc. Portanto, dentre as classes de uso do solo presentes na Bacia do Rio Jucu, foi enquadrada nessa categoria a classe Áreas Edificadas.

Ainda de acordo com os referidos autores, a categoria definida como “montanhoso” compreende as áreas onde há criação extensiva de gado, e a composição vegetal restringe-se a gramíneas e arbustos. Nessa categoria foram enquadradas as classes Pastagem, Brejo e Campo Rupestre/Altitude.

Além dessas, devido à restrição de dados disponíveis na literatura, para os usos e ocupações do solo referentes à vegetação (nativa ou reflorestada) também foram adotados valores de CME da classe pastagem. Ressalta-se que Aprígio (2012) e Schimidt (2018) realizaram a mesma consideração e obtiveram resultados satisfatórios.

A classe de cultivo agrícola foi enquadrada na própria categoria “agrícola”, ou seja, terras destinadas principalmente à agricultura. Já à classe Outros foram atribuídos os valores de CME para categoria de uso “misto”, visto que essa é definida como compilado dos demais usos urbanos.

Baird e Jennings (1996) descrevem “espaços abertos e pouco desenvolvidos” como superfícies com cobertura vegetal esparsa, solos rasos e/ou afloramentos rochosos, de capacidade limitada para suportar formas de vida. Segundo os autores, essa categoria inclui praias, destroços, pedreiras, áreas destinadas a mineração e áreas de transição que, apesar de limpas, ainda não foram recompostas. No presente trabalho, as classes Solo Exposto, Extração Mineração, Afloramento Rochoso e Macega foram enquadradas nessa categoria.

Por fim, ressalta-se que não foi possível obter informações em relação as características de escoamento para as classes de uso da terra de Mangue e Restinga. Salienta-se ainda que essas categorias são insignificantes para a bacia. Portanto, para tais usos, nenhum valor de CME para foi adotado.

A Tabela 17 apresenta os valores de CME utilizados para os diferentes usos encontrados na bacia do Rio Jucu.

Tabela 17 - Concentração média no evento para diferentes poluentes e usos e ocupações do solo.

Uso e Ocupação do Solo	Poluentes (mg / L)					
	Sólidos Suspensos Totais	Fósforo Total	Nitrogênio Total	Sólidos Dissolvidos Totais	DBO	DQO
Comercial/Urbano	55,50	0,32	1,34	185,00	23,00	116,00
Misto	57,90	0,35	1,57	157,00	17,20	67,50
Agrícola	107,00	1,30	4,40	1.225,00	4,00	--
Pasto	1,00	0,01	0,70	245,00	0,50	--
Espaço Aberto Não Desenvolvido	70,00	0,12	1,50	--	--	40,00

Fonte: Adaptado de Baird e Jennings (1996).

Nota: -- Dados não disponíveis no estudo.

5. RESULTADOS

5.1 HIETOGRAMAS

De acordo com a metodologia descrita no item 4.3, foram estabelecidas as equações de intensidade – duração – frequência para cada estação pluviométrica selecionada, conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 - Equações Intensidade Duração e Frequência estabelecidas

Código	Estações Pluviométricas	Equação IDF
2041020	Aracê (Fazenda Modelo)	$i = \frac{(14,480 \cdot T^{0,162})}{(t + 10,906)^{0,748}}$
2040015	Perobinha	$i = \frac{(13,595 \cdot T^{0,160})}{(t + 11,063)^{0,749}}$
2040012	Marechal Floriano	$i = \frac{(15,498 \cdot T^{0,161})}{(t + 10,994)^{0,748}}$
2040001	Fazenda Jucuruaba	$i = \frac{(16,091 \cdot T^{0,162})}{(t + 10,865)^{0,746}}$
2040014	Duas Bocas	$i = \frac{(18,500 \cdot T^{0,197})}{(t + 11,440)^{0,752}}$

Nota: i em mm/minuto, t em minutos e T em anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As equações obtidas subsidiaram a aplicação do Método dos Blocos Alternados para obtenção dos Hietogramas de cada UP. Conforme estabelecido na seção reservada para a metodologia, foram assumidos os tempos de concentração das unidades de planejamento como duração dos eventos de precipitação. Portanto, o tempo simulado foi suficiente para que todo o escoamento da bacia chegasse ao exutório.

A Figura 17 a Figura 20 apresentam os hietogramas referentes à estação Aracê, estação localizada na sub-bacia Alto Jucu. Os hietogramas produzidos para as demais estações pluviométricas da área de estudo estão reunidos no Apêndices A.

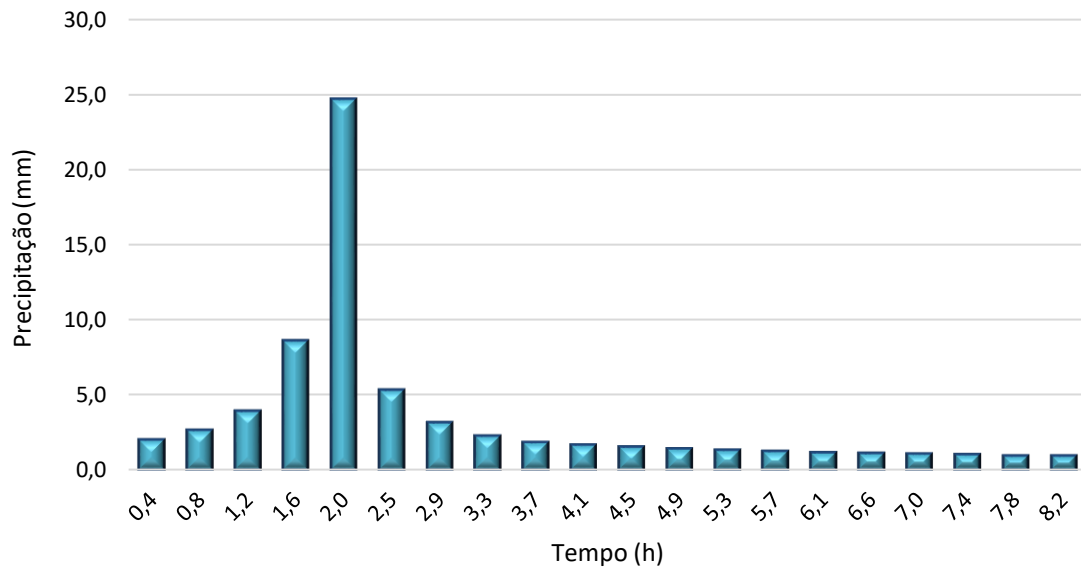


Figura 17 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

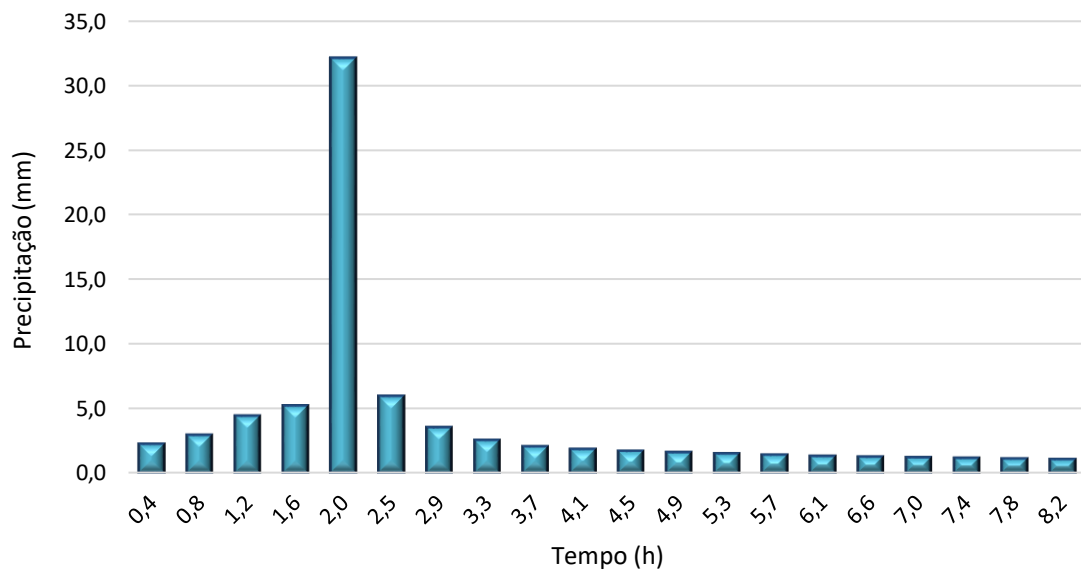


Figura 18 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 2 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

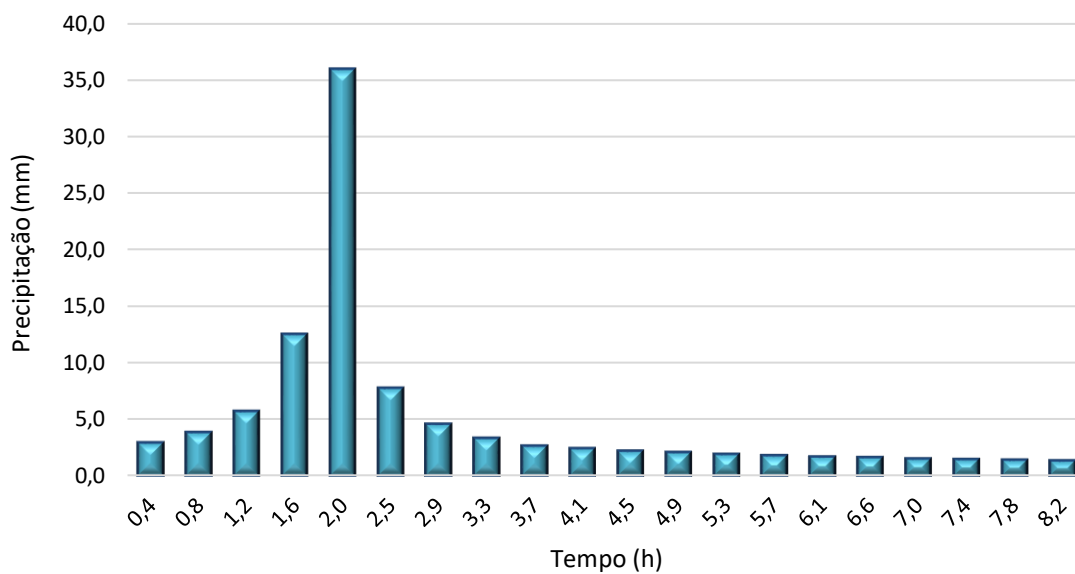


Figura 19 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 20 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

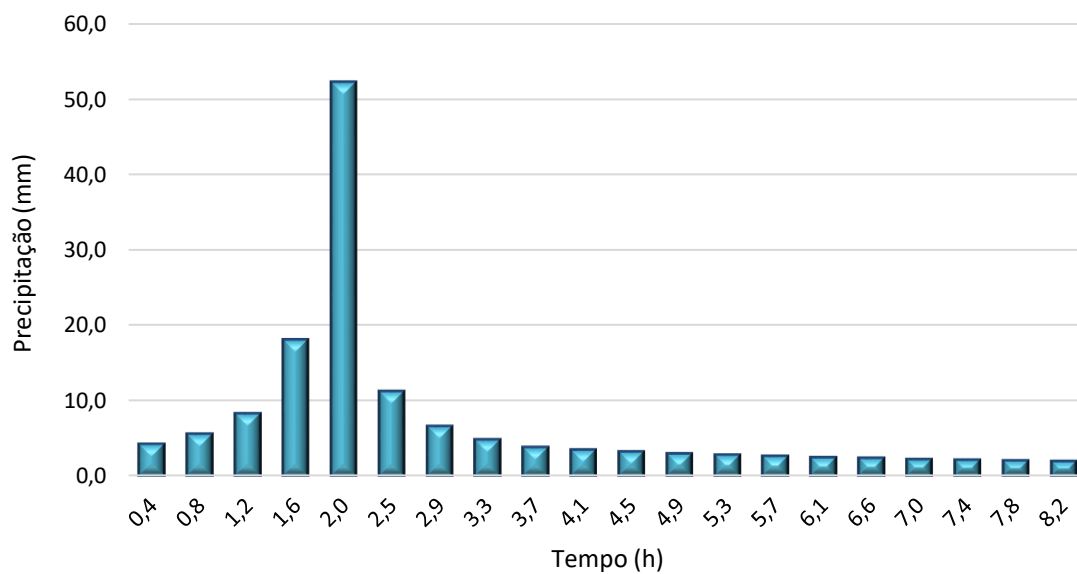


Figura 20 - Hietograma da estação Aracê (02041020) para período de retorno de 100 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os parâmetros que influenciam o escoamento na lavagem do solo, erosão e transporte (i.e.: altura total, intensidade e duração) podem ser traduzidos por meio dos hietogramas obtidos. De maneira complementar, a Tabela 19 apresenta, para cada estação pluviométrica, os totais precipitados (mm) obtidos por meio das equações IDF para os períodos de retorno considerados.

Tabela 19 - Alturas pluviométricas obtidas para cada período de retorno estabelecido

Estações Pluviométricas	Altura Pluviométrica (mm)			
	Tr = 1 anos	Tr = 2 anos	Tr = 10 anos	Tr = 100 anos
Aracê (Fazenda Modelo)	68	76	99	144
Perobinha	66	73	95	137
Marechal Floriano	72	81	105	152
Fazenda Jucuruaba	85	95	123	178
Duas Bocas	75	86	117	185

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

5.2 PRIMEIRA ETAPA DA SIMULAÇÃO

Esta subseção, que apresenta os resultados obtidos durante a Primeira Etapa de simulação, está estruturada da seguinte forma: no item 5.2.1 são apresentados e discutidos os volumes de escoamento superficial produzidos nas subunidades de estudo, bem como as variações observadas entre os cenários estabelecidos. Em seguida, no item 5.2.2, trata-se da produção de cada poluente nas sub-bacias do Rio Jucu em cada cenário simulado.

Nesta etapa do trabalho, buscou-se avaliar o comportamento do escoamento superficial produzido por chuvas com diferentes períodos de retorno, bem como a produção de cargas difusas proveniente desses eventos. Os cenários de 1 a 4 referem-se ao retrato do uso e ocupação do solo para o período compreendido entre os anos de 2012 e 2015, sendo esse simulado sob influência de eventos de precipitação com períodos de retorno de 1, 2, 10 e 100 anos, respectivamente.

A Tabela 20 apresenta, para cada sub-bacia, os valores de CN ponderado, retenção potencial do solo média e abstração inicial média. Esses parâmetros foram empregados nas simulações dos Cenários 1 a 4.

Tabela 20 - CN Ponderado, Retenção Potencial Média e Abstração Inicial Média obtidos para os Cenários 1 a 4

Unidades de Planejamento	Cenários 1 a 4		
	CN Ponderado	Retenção Potencial do Solo (mm)	Abstração Inicial (mm)
Alto Jucu	60	192,3	38,5
Médio Jucu	58	207,2	41,4
Rio Jucu Braço Sul	55	233,9	46,8
Baixo Jucu	74	100,9	20,9
Formate/Marinho e Costeira	81	60,0	12,0

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

É relevante observar que as unidades de planejamento com menores valores de Retenção Potencial do Solo possuem um menor armazenamento superficial de parte do volume precipitado sendo, portanto, mais suscetíveis a enxurradas.

5.2.1 Escoamento Superficial

A Tabela 21 apresenta os volumes de escoamento superficial simulados para cada Unidade de Planejamento na Primeira Etapa do trabalho. Destaca-se que os resultados apresentados não representam o comportamento dinâmico dos escoamentos, apenas os volumes produzidos nos diferentes cenários simulados.

Tabela 21 - Volumes de escoamento superficial obtidos na Primeira Etapa de Simulação

Unidades de Planejamento	Q (m ³ /km ²)			
	Cenário 1 (Tr = 1 ano)	Cenário 2 (Tr = 2 anos)	Cenário 3 (Tr = 10 anos)	Cenário 4 (Tr = 100 anos)
Alto Jucu	10.148,65	12.950,66	22.733,15	47.368,93
Médio Jucu	7.859,17	9.908,50	18.003,03	38.738,45
Rio Jucu Braço Sul	7.243,91	9.654,55	17.982,52	40.374,80
Baixo Jucu	34.809,81	43.630,15	62.408,87	106.779,58
Formate/Marinho e Costeira	37.293,95	48.658,45	71.744,61	132.148,35
Total na Bacia do Rio Jucu	97.355,49	124.802,30	192.872,17	365.410,11

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De maneira geral, as Unidades de Planejamento apresentaram resultados esperados para os escoamentos superficiais associados aos diferentes períodos de retorno. A unidade de Formate/Marinho e Costeira apresentou, em todos cenários, os maiores volumes de escoamento, uma vez que detém as maiores áreas urbanizadas (30%) e de pastagem (20%), além de apresentar a menor área florestal (20%) dentre as UP's.

A UP Baixo Jucu também apresentou altos volumes de escoamento, com valores próximos aos verificados em Formate/Marinho e Costeira. A sub-bacia é caracterizada por um alto percentual de pastagens, em torno de 37% da área. Essas áreas comumente apresentam condições ruins de manejo, possuindo características de compactação do solo, que dificultam a infiltração e aumentam o escoamento superficial.

Os menores volumes produzidos foram observados na UP Rio Jucu Braço Sul, UP que, dentre as demais, possui o maior percentual de área com vegetação nativa (54%) e reflorestada (12%). Por possuir a maior área permeável, com altas taxas de infiltração, a bacia apresenta maior retenção do volume escoado e, conseqüentemente, menor pico do escoamento superficial da bacia, quando comparada a bacias com áreas mais impermeáveis.

Em função do natural aumento das intensidades pluviométricas com o aumento do período de retorno, é possível observar a tendência clara de incremento do volume do escoamento produzido, com a diminuição da frequência de ocorrência dos eventos de precipitação.

A Tabela 22 apresenta o aumento percentual dos volumes escoados entre os diferentes cenários simulados.

Tabela 22 - Variação percentual do volume escoado entre os cenários da Primeira Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Aumento percentual entre cenários (%)					
	Cenários 1 e 2	Cenários 1 e 3	Cenários 1 e 4	Cenários 2 e 3	Cenários 2 e 4	Cenários 3 e 4
Alto Jucu	28%	124%	367%	76%	266%	108%
Médio Jucu	26%	129%	393%	82%	291%	115%
Rio Jucu Braço Sul	33%	148%	457%	86%	318%	125%
Baixo Jucu	25%	79%	207%	43%	145%	71%
Formate/Marinho e Costeira	30%	92%	254%	47%	172%	84%
Total na Bacia do Rio Jucu	28%	98%	275%	55%	193%	89%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As sub-bacias Formate/Marinho e Costeira e a Baixo Jucu apresentaram as menores variações entre os cenários apresentados, resultado que foi influenciado pelo fato de possuírem os menores percentuais de cobertura vegetal em suas áreas, se comparadas as demais bacias. A característica hidrológica do solo é outro aspecto relevante a ser avaliado, visto que, diferente das outras unidades, verifica-se um percentual maior de solos com características dos grupos hidrológicos C e D em Formate/Marinho e Costeira e Baixo Jucu (Figura 10), ou seja, solos pouco profundos e com baixas taxas de infiltração (conforme indicado na Tabela 20, essas subunidades possuem os menores valores CN e Retenção Potencial do Solo).

Nunes *et al.* (2011) realizaram a estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba, bacia que abarca o município de Curitiba e outros municípios da região metropolitana (Pinhais, Colombo e Almirante Tamandaré). A metodologia utilizada envolveu a aplicação do método do Soil Conservation Service (SCS) atrelado à utilização de técnicas de tratamento de dados e confecção de mapas temáticos em ambiente SIG. Os referidos autores condicionaram a baixa variação no coeficiente de escoamento superficial tanto à umidade antecedente de solos próximos à saturação, quanto ao processo de urbanização e impermeabilização do solo.

Observa-se ainda que a UP Rio Jucu Braço Sul apresentou as maiores variações entre os cenários apresentados. Essa condição decorre, muito provavelmente, do fato da UP Rio Jucu Braço Sul possuir, em mais de 60% de sua área, vegetação nativa e áreas reflorestadas (condição diversa daquela encontrada nas UPs Formate/Marinho e Costeira e a Baixo Jucu). Além disso, a UP apresenta a maior Retenção Potencial do Solo, se comparada com as demais unidades estudadas (Tabela 20).

Peng *et al.* (2019) avaliaram os efeitos das práticas do Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) sobre o escoamento superficial urbano gerado por precipitações de diferentes características. O estudo de caso foi realizado em uma bacia de alta densidade residencial na China. O modelo PCSWMM foi aplicado para simular a quantidade e a qualidade do escoamento superficial produzido, em sete cenários de uso da terra com as práticas de LID sob diferentes períodos de retorno, durações e intensidade de chuvas. Os autores verificaram que, em todos os cenários simulados, os controles de inundações foram mais eficazes durante precipitações com períodos de retorno menores e eventos de longa duração.

5.2.2 Produção de Cargas Difusas

Neste item são apresentados e discutidos os resultados da produção estimada de cargas difusas referentes aos cenários 1 a 4, para os seis poluentes avaliados no presente estudo.

- Sólidos Suspensos Totais

A Tabela 23 apresenta os resultados obtidos com a simulação da produção de cargas difusas de Sólidos Suspensos Totais (SST) para os Cenários de 1 a 4.

Tabela 23 - Cargas de Sólidos Suspensos Totais referentes à Primeira Etapa de simulação

Unidades de Planejamento	Sólidos Suspensos Totais (Kg/ Km ²)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Alto Jucu	378,57	477,65	802,14	1.555,54
Médio Jucu	352,14	446,86	795,46	1.614,22
Rio Jucu Braço Sul	313,69	411,58	717,12	1.448,10
Baixo Jucu	622,50	810,76	1.102,88	1.865,20
Formate/Marinho e Costeira	1.517,52	1.987,81	2.861,37	5.180,32
Total na Bacia do Rio Jucu	3.184,44	4.134,66	6.278,96	11.663,37

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De forma análoga ao verificado na produção de escoamento, para os SST verificou-se a maior produção proveniente da sub-bacia do rio Formate/Marinho e Costeira. Possuindo como uso principal Áreas Edificadas, a bacia possui maior percentual de área impermeável, influenciando diretamente na produção de cargas difusas de sólidos. Além disso, é importante salientar que a bacia também possui aproximadamente 20% de sua área com uso misto, uso ao qual estão associadas relevantes contribuições para a produção de SST.

De acordo com o Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu, as unidades de planejamento Alto Jucu, Médio Jucu e Rio Jucu Braço Sul são caracterizadas como predominantemente rurais. Conforme esperado, em todos os cenários, essas unidades apresentaram cargas inferiores às verificadas nas unidades a jusante. Esse resultado reflete o cenário de uso do solo mais atual da bacia (2012 – 2015), onde as áreas próximas à foz (Formate/Marinho e Costeira e Baixo Jucu) são majoritariamente impactadas por intervenções antrópicas.

É importante ressaltar que, de acordo com a simulação, para uma chuva recorrente, com período de retorno de 1 ano (Cenário de Menor Produção), na bacia do Rio Jucu Braço Sul, por exemplo, são carregados em torno de 314 kg/km² de SST. Caso não haja nenhuma forma de intervenção, esses poluentes serão carregados para um corpo d'água, provocando assoreamento e alteração da qualidade hídrica. Destaca-se também que os SST podem fornecer transporte para outros poluentes, incluindo compostos orgânicos e metais. Além disso, esse poluente também é frequentemente relacionado à quantidade de erosão que ocorre em bacias hidrográficas.

Em estudos na região amazônica, Silva et. al. (2008) avaliaram a influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus (AM). Observaram que o uso do solo, juntamente com o regime de precipitação, parecem ser os fatores principais que determinam a qualidade da água nos pontos de amostragem. Nas áreas com elevado grau de antropização, os autores acreditam que os altos valores de sólidos suspensos são resultados diretos do fenômeno de “lavagem” realizado pelo escoamento superficial.

- Fósforo Total

Na Tabela 24 estão reunidos os resultados obtidos com a simulação da produção cargas difusas de Fósforo Total (FT) para os Cenários de 1 a 4.

Tabela 24 - Cargas de Fosforo Total referentes à Primeira Etapa de simulação

Unidades de Planejamento	Fósforo Total (Kg/Km ²)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Alto Jucu	2,28	2,94	5,11	10,40
Médio Jucu	2,97	3,82	7,04	14,76
Rio Jucu Braço Sul	2,21	3,03	5,58	11,72
Baixo Jucu	4,22	5,47	7,74	13,31
Formate/Marinho e Costeira	9,44	12,36	18,13	33,02
Total na Bacia do Rio Jucu	21,12	27,62	43,59	83,21

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Observando-se os resultados para o parâmetro de FT é possível notar que novamente, as UP's Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira apresentaram as maiores contribuições de cargas difusas. As sub-bacias a montante da confluência do Rio Jucu Braço Sul e Braço Norte apresentaram resultados próximos para este parâmetro. Entretanto, entre essas sub-bacias, a maior contribuição foi verificada na Médio Jucu, visto que cerca de 20% de sua área é dedicada ao uso agrícola, sendo esse a maior fonte difusa de nutrientes.

Tratando-se de FT, é relevante ressaltar a existência das formas dissolvida e suspensa em produtos orgânicos e inorgânicos. Os ortofosfatos estão associados principalmente a fertilizantes. Fosfatos orgânicos são formados, na maioria das vezes, por processos biológicos. Nos casos em que o fosfato é um nutriente limitante do

crescimento, a descarga de fosfatos em um estuário ou outro corpo de água pode estimular o crescimento demasiado de algas ou outros organismos em quantidades inadequadas para o equilíbrio do ambiente aquático. (BAIRD; JENNINGS, 1996).

- Nitrogênio Total

A Tabela 25 sumariza os resultados obtidos com a simulação da produção cargas difusas de Nitrogênio Total (NT) para os Cenários de 1 a 4.

Tabela 25 - Cargas de Nitrogênio Total referentes à Primeira Etapa de simulação

Unidades de Planejamento	Nitrogênio Total (Kg/ Km ²)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Alto Jucu	14,92	19,01	33,06	67,08
Médio Jucu	14,58	18,60	33,89	71,34
Rio Jucu Braço Sul	12,36	16,40	29,97	64,07
Baixo Jucu	36,79	46,41	66,09	113,21
Formate/Marinho e Costeira	50,75	66,43	97,96	180,52
Total na Bacia do Rio Jucu	129,39	166,85	260,96	496,21

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Ainda se tratando de nutrientes, o parâmetro de NT apresentou suas maiores contribuições nas sub-bacias com maiores intervenções antrópicas. As classes de uso do solo com maiores contribuições de NT são Cultivo Agrícola, Residencial e Outros.

As sub-bacias Alto Jucu e Médio Jucu apresentaram valores próximos para produção de cargas difusas do referido poluente, possivelmente por possuírem percentuais consideráveis de uso agrícola e de áreas com macega, sendo tais classes de uso fontes potenciais para contribuição de NT.

- Sólidos Dissolvidos Totais

A Tabela 26 apresenta, para os Cenários de 1 a 4, os resultados obtidos de cargas difusas de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

Tabela 26 - Cargas de Sólidos Dissolvidos Totais referentes à Primeira Etapa de simulação

Unidades de Planejamento	Sólidos Dissolvidos Totais (Kg/ Km ²)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Alto Jucu	3.069,49	3.976,30	7.123,72	14.985,74
Médio Jucu	3.459,43	4.465,37	8.339,88	17.951,31
Rio Jucu Braço Sul	2.675,28	3.642,44	6.882,52	15.293,68
Baixo Jucu	9.433,95	11.700,35	17.093,75	29.443,88
Formate/Marinho e Costeira	9.260,86	11.954,96	18.094,35	33.666,17
Total na Bacia do Rio Jucu	27.899,01	35.739,43	57.534,22	111.340,78

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As Unidades mais antropizadas (Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira) apresentaram valores muito próximos de produção de SDT. Verificou-se uma variação pequena, em todos os cenários, de aproximadamente 4% na produção difusa entre as referidas unidades. Apesar da UP Baixo Jucu apresentar um percentual significativamente maior de vegetação nativa se comparada a Formate/Marinho e Costeira, também são verificados altos índices de Pastagem na área, uso que constitui uma relevante fonte de produção de SDT. Adicionalmente, é importante ressaltar que as unidades citadas possuem um percentual maior de solos pertencentes aos grupos hidrológicos C e D (Tabela 7), aspecto que influencia no aumento do volume escoado e, conseqüentemente, nas maiores contribuições de cargas difusas provenientes da lavagem das áreas.

Entre as UP's Alto Jucu e Médio Jucu, independente do cenário de simulação avaliado, observou-se uma variação média de 13% na contribuição de SDT. Na UP Rio Jucu Braço Sul, por possuir 65% de mata nativa em sua área, foram verificados os menores valores de produção difusa em todos os cenários de simulação.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Tabela 27 apresenta os resultados obtidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) nos Cenários de 1 a 4.

Tabela 27 - Cargas de Demanda Bioquímica de Oxigênio referentes à Primeira Etapa de simulação

Unidades de Planejamento	DBO (Kg/ Km ²)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Alto Jucu	15,20	19,58	34,73	72,89
Médio Jucu	15,78	20,15	37,14	79,74
Rio Jucu Braço Sul	16,47	22,13	41,12	91,08
Baixo Jucu	95,32	133,36	170,49	290,44
Formate/Marinho e Costeira	420,99	559,06	786,89	1.414,46
Total na Bacia do Rio Jucu	563,77	754,27	1.070,37	1.948,60

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

No presente estudo, as classes de uso com maiores fontes potenciais de DBO são Áreas Edificadas e Outros. Portanto, os maiores valores de produção difusa de matéria orgânica foram observados nas unidades predominantemente urbanas. É relevante observar que a carga difusa associada a UP Formate/Marinho e Costeira foi aproximadamente 4 vezes maior que a estimada para a UP Baixo Jucu; esse resultado é, provavelmente, atribuído ao fato da UP Formate/Marinho e Costeira possuir 26% a mais de Área Edificada do que a UP Baixo Jucu.

Com relação as sub-bacias rurais, verificou-se a maior contribuição de DBO na UP Rio Jucu Braço Sul. Apesar de possuir a maior cobertura vegetal nativa, essa UP possui o maior percentual de Área Edificada, quando comparada as demais unidades rurais.

Dentre as demais UP's, a Alto Jucu possui menor aporte potencial de substâncias orgânicas biodegradáveis. Sobre o uso do solo nesta UP, tem-se que a classe de uso do solo Áreas Edificadas representa menos que 1% da área total da sub-bacia, justificando o resultado obtido.

- Demanda Química de Oxigênio

Na Tabela 28 estão reunidos os resultados de Demanda Química de Oxigênio (DQO) obtidos com a simulação dos Cenários de 1 a 4.

Tabela 28 - Cargas de Demanda Química de Oxigênio referentes à Primeira Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	DQO (Kg/ Km ²)			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Alto Jucu	145,36	180,37	294,70	559,37
Médio Jucu	91,52	111,33	183,40	351,04
Rio Jucu Braço Sul	114,11	144,84	241,35	474,57
Baixo Jucu	446,40	623,90	776,05	1.293,07
Formate/Marinho e Costeira	2.091,63	2.766,12	3.865,73	6.890,69
Total na Bacia do Rio Jucu	2.889,02	3.826,56	5.361,21	9.568,74

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De maneira análoga à DBO, os maiores potenciais de contribuição de DQO por aporte difuso foram verificados nas bacias urbanas, com destaque para Formate/Marinho e Costeira que apresentou valores aproximadamente 4 vezes maiores que a média de produção na bacia do Rio Jucu.

Já os menores níveis de DQO foram verificados na UP Médio Jucu que, além de possuir apenas 0,25% de Áreas Edificadas e 4,21% de Outros, classes com maiores potenciais de produção de DQO, a bacia possui em torno de 54% da cobertura do seu solo composta por Mata Nativa e Reflorestada.

Para todos os poluentes estimados na Primeira Etapa de simulação, observou-se o aumento das cargas médias de poluentes com o aumento do período de retorno da precipitação e, conseqüentemente, do volume escoado.

Martins (2017) utilizou o modelo L-THIA para avaliar a como a CME influencia a estimativa de cargas difusas, quando utilizada como parâmetro de entrada para modelos hidrológicos. Ao ajustar o modelo hidrológico às características locais, a autora verificou um aumento na estimativa da poluição difusa quando foram utilizados dados locais de CME, e não valores de CME obtidos a partir da literatura técnica corrente. Tal como os resultados obtidos no presente trabalho, a autora também constatou que, quanto maior a precipitação inserida no modelo maior será a carga de poluentes gerada na área de estudo (bacia hidrográfica do Mineirinho no município de São Carlos, São Paulo). Ou seja, no modelo L-THIA o volume precipitado é um fator determinante na geração da massa de poluente; conseqüentemente, quanto maior a

precipitação inserida para o cálculo do volume maior será a carga difusa produzida no evento.

Vaze e Chiew (2002), ao estudarem a superfície de uma estrada urbana em Melbourne, na Austrália, verificaram que eventos típicos de precipitação removem apenas uma pequena porção dos poluentes depositados sobre as superfícies e que a carga de poluentes presente na superfície é sempre maior do que aquela observada nesses eventos. Esse total de poluentes é carregado por eventos chuvosos de grande porte, como por exemplo, uma precipitação com período de retorno de 25. Desta forma, os autores reforçam a perspectiva de que o carreamento dos poluentes depende, principalmente, das características da precipitação e do escoamento. Portanto, esses fatores tornam-se fundamentais para o dimensionamento de medidas de controle da poluição difusa, sejam elas estruturais ou não.

Camelo (2019) avaliou o processo de poluição difusa no sistema de macrodrenagem da Bacia Hidrográfica Riacho do Prado (Paraíba, Brasil) através do monitoramento e modelagem matemática utilizando o programa Storm Water Management Model (SWMM). A autora observou, por meio da análise de períodos hidrológicos, que o número de dias antecedentes sem chuva e o volume precipitado se mostraram importantes para a análise do processo de acúmulo e lavagem da carga poluente. Na bacia de estudo, de aproximadamente 24 km² e predominantemente urbana, Camelo (2019) verificou que para um evento de precipitação com período de retorno de 10 anos com 3 dias secos antecedentes, a carga orgânica de DBO, DQO e Fósforo total foram respectivamente de 18.299 kg, 39.771 kg e 77 kg.

Carvalho (2011) avaliou por meio de medições in situ, informações de satélite e técnicas geoespaciais, a produção de poluição difusa na bacia do Córrego Quitandinha (Rio de Janeiro, Brasil), que possui área de aproximadamente 3 km². A autora estimou que, para um evento de precipitação com período de retorno de 100 anos, a carga de Sólidos Suspensos Totais lavada pelo escoamento superficial seria de 33.777 kg.

5.3 SEGUNDA ETAPA DE SIMULAÇÃO

Nesta subseção são discutidos os resultados referentes à Segunda Etapa de simulação, onde objetivou-se avaliar a influência de diferentes cenários de uso e ocupação do solo no escoamento superficial e na produção de cargas difusas. Os cenários de 5 a 8 referem-se aos diferentes contextos de uso e ocupação do solo, apresentados no item 4.4.2, simulados para eventos de precipitação com períodos de retorno de 2 anos.

Nas Tabela 29, Tabela 30 e Tabela 31 estão apresentados, para cada sub-bacia, os valores de CN ponderado, retenção potencial do solo média e abstração inicial média, associados aos cenários de simulações avaliados nesta etapa do trabalho.

Tabela 29 - CN Ponderado obtido para os Cenários 5 a 8.

Unidades de Planejamento	CN Ponderado			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	52	61	60	60
Médio Jucu	50	59	58	58
Rio Jucu Braço Sul	49	56	55	55
Baixo Jucu	68	75	74	74
Formate/Marinho e Costeira	73	82	81	81

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 30 - Retenção Potencial do Solo obtida para os Cenários 5 a 8.

Unidades de Planejamento	Retenção Potencial do Solo (mm)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	263,5	183,6	192,3	193,2
Médio Jucu	274,9	198,4	207,2	208,5
Rio Jucu Braço Sul	282,4	225,2	233,9	235,2
Baixo Jucu	143,6	100,0	100,9	101,8
Formate/Marinho e Costeira	95,8	59,4	60,0	60,8

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Tabela 31 - Abstração Inicial obtida para os Cenários 5 a 8.

Unidades de Planejamento	Abstração Inicial (mm)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	52,7	36,7	38,5	38,7
Médio Jucu	55,0	39,7	41,4	41,7
Rio Jucu Braço Sul	56,5	45,0	46,8	47,0
Baixo Jucu	28,7	20,0	20,2	20,4
Formate/Marinho e Costeira	19,2	11,9	12,0	12,2

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

5.3.1 Escoamento Superficial

A Tabela 32 apresenta os volumes de escoamento superficial, simulados para cada Unidade de Planejamento na Segunda Etapa de Simulação

Tabela 32 - Volumes de escoamento superficial obtidos na Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Q (m ³ / Km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	6.700,30	13.578,11	12.950,66	12.871,19
Médio Jucu	5.078,88	10.658,06	9.908,50	9.861,25
Rio Jucu Braço Sul	5.457,01	10.488,26	9.654,55	9.574,43
Baixo Jucu	31.618,76	43.964,23	43.630,15	43.538,11
Formate/Marinho e Costeira	31.194,21	48.855,64	48.658,45	45.835,05
Total na Bacia do Rio Jucu	80.049,16	127.544,30	124.802,30	121.680,03

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De modo geral, as respostas hidrológicas obtidas se mostraram coerentes às condições de contorno previamente estabelecidas. O Cenário 5 apresentou os menores volumes escoados, uma vez que permitiu analisar a produção do escoamento sob condições anteriores à urbanização, ou seja, nas condições “naturais” das sub-bacias.

Em todos os cenários simulados, os maiores volumes de escoamento foram verificados nas unidades de planejamento Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira. Esses resultados podem ter sido influenciados pelos seus maiores percentuais de solos pertencentes às classes hidrológicas C e D, solos caracterizados como menos impermeáveis (Tabela 7). A Tabela 33 apresenta as variações percentuais entre os cenários simulados.

Tabela 33 - Variação percentual do volume escoado entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	102,65%	-4,62%	-0,61%
Médio Jucu	109,85%	-7,03%	-0,48%
Rio Jucu Braço Sul	92,20%	-7,95%	-0,83%
Baixo Jucu	39,04%	-0,76%	-0,21%
Formate/Marinho e Costeira	56,62%	-0,40%	-5,80%
Total na Bacia do Rio Jucu	59,33%	-2,15%	-2,50%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O Cenário 6 representa o contexto de uso e ocupação do solo no período compreendido entre os anos de 2007 e 2008. Quando comparado com o Cenário 5, é possível observar o impacto causado pela antropização da Bacia do Jucu sobre o volume do escoamento superficial gerado para uma chuva com período de retorno de 2 anos.

A comparação entre os Cenários 6 e 7 permite observar o impacto das modificações no uso do solo nas unidades de planejamento no período compreendido entre os anos de 2007 e 2008 e entre os anos de 2012 e 2015. Em todas as UP's foram identificados percentuais de redução do volume escoado, sendo que as maiores reduções foram alcançadas nas bacias Rio Jucu Braço Sul e Médio Jucu. Tal resultado pode estar relacionado com a recomposição vegetal (aumento do uso Reflorestamento), com uma subsequente redução relativa das áreas edificadas nas UP's da área de estudo.

As variações verificadas entre os Cenários 7 e 8 representam os efeitos dos incrementos das áreas de APP de entorno de cursos d'água principais, em uma faixa com largura de 30 metros, além de 50 metros ao redor das nascentes. Ressalta-se que os valores propostos para esta recomposição vegetal se basearam nas diretrizes do Código Florestal, Lei nº 12.727, de outubro de 2012.

Comparando-se os percentuais de redução dos volumes escoados superficialmente nos Cenários 7 e 8, observa-se que somente a UP Formate/Marinho e Costeira apresentou uma redução maior entre o cenário atual (cenário 7, 2012-2015) e o cenário futuro proposto (cenário 8). Para as demais sub-bacias, a recomposição

florestal proposta não foi considerada relevante para a redução do volume de escoamento superficial (as reduções estimadas oscilaram entre aproximadamente 0,2% e 0,8%). É relevante registrar que, em toda Bacia do Rio Jucu, o percentual de aumento na mata nativa e áreas de reflorestamento obtidos entre os anos de 2008 e 2015 foi de aproximadamente 5,3%, enquanto que o aumento verificado com a proposição do Cenário Futuro foi de 1,8%.

Convém ressaltar que as áreas de APP no entorno dos rios são fundamentais para o equilíbrio ambiental, proporcionando à estabilidade dos taludes dos rios, protegendo a biodiversidade e o solo. Zhao *et al.* (2013), em estudos com zonas ripárias da bacia do rio Liuxihe em Guangzhou na China, destacam a importância das APP's em armazenar carbono, servir como habitats de vida selvagem, prover um micro-clima específico, reter sedimentos e produtos químicos e serem eficazes para mitigar o impacto da poluição na qualidade da água. Estes benefícios advindos das APP's de entorno de cursos d'água superam largamente o impacto da pequena redução das vazões médias.

5.3.2 Produção de Cargas Difusas

Os resultados da produção estimada de cargas difusas, referentes aos cenários 5 a 8, para os poluentes avaliados no presente estudo, serão apresentados e discutidos neste item.

- Sólidos Suspensos Totais

Na Tabela 34 estão reunidas as cargas de Sólidos Suspensos Totais obtidas com simulação dos Cenários de 5 a 8.

Tabela 34 - Resultados de Sólidos Suspensos Totais referentes à Segunda Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	Sólidos Suspensos Totais (Kg/Km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	49,90	483,77	477,65	473,25
Médio Jucu	40,48	453,66	446,86	440,22
Rio Jucu Braço Sul	50,35	450,90	411,58	407,11
Baixo Jucu	108,16	794,81	810,76	801,24
Formate/Marinho e Costeira	127,28	2.012,29	1.987,81	1.837,86
Total na Bacia do Rio Jucu	376,16	4.195,43	4.134,66	3.959,68

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A produção de SST seguiu a mesma tendência verificada na simulação do escoamento superficial, apresentando as maiores produções em Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira. É interessante apontar que para o cenário base foram verificados valores próximos de produção nessas bacias; entretanto, para os demais cenários simulados, a produção do poluente em Formate/Marinho e Costeira foi aproximadamente 2,5 vezes maior do que a verificada em Baixo Jucu.

Como o cenário base representa a bacia em suas condições “naturais”, as características do solo podem ter sido o diferencial no volume escoado e, conseqüentemente, na produção de cargas difusas. Portanto, por possuírem solos com características semelhantes, Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira apresentaram resultados próximos para o cenário 5. Para os demais cenários, a variedade do uso do solo foi entendida como fator determinante para obtenção dos valores de produção de SST. Desta forma, os altos percentuais de áreas urbanas observados em Formate/Marinho e Costeira refletem nos resultados obtidos para a unidade de planejamento. A Tabela 35 apresenta a variação percentual dos volumes de escoamento superficial entre os cenários simulados.

Tabela 35 - Comparativo percentual do parâmetro Sólidos Suspensos Totais entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	869,40%	-1,26%	-0,92%
Médio Jucu	1020,77%	-1,50%	-1,49%
Rio Jucu Braço Sul	795,61%	-8,72%	-1,09%
Baixo Jucu	634,87%	2,01%	-1,17%
Formate/Marinho e Costeira	1481,04%	-1,22%	-7,54%
Total na Bacia do Rio Jucu	1015,33%	-1,45%	-4,23%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Comparando-se os Cenários 5 e 6, percebe-se as maiores variações nas UP's Médio Jucu e Formate/Marinho e Costeira. Para UP Formate/Marinho e Costeira tal fato pode estar atrelado à grande redução de mata nativa e ao relevante processo de urbanização da bacia, conforme pode ser verificado na Tabela 16. Já para a UP Médio Jucu ressalta-se a redução da mata nativa, com o subsequente aumento das atividades agrícolas na área (Tabela 13), uso que possui o maior potencial de contribuição de cargas difusas de SST, conforme indicado na Tabela 17.

Entre os Cenários 6 e 7 observa-se a maior redução de carga de SST na UP Rio Jucu Braço Sul, unidade que apresentou o maior percentual de reflorestamento da área de estudo, no período de 2008 a 2015. Já a UP Baixo Jucu apresentou aumento percentual na produção de SST em decorrência do aumento percentual nas classes de uso do solo Áreas Edificadas, Solo Exposto, Cultivo Agrícola e Outros, conforme observado na Tabela 15.

Em relação a comparação entre os cenários 7 e 8, é possível observar um percentual de redução na produção de SST em todas as unidades de planejamento da Bacia do Rio Jucu, condição possivelmente associada à recomposição das áreas de preservação permanente com base no Código Florestal.

- Fósforo Total

A Tabela 36 apresenta, para os Cenários de 5 a 8, os resultados obtidos de cargas difusas de Fósforo Total.

Tabela 36 - Resultados de Fósforo Total referentes à Segunda Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	Fósforo Total (Kg/Km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	0,14	3,18	2,94	2,89
Médio Jucu	0,11	3,76	3,82	3,77
Rio Jucu Braço Sul	0,13	3,60	3,03	2,98
Baixo Jucu	0,42	5,24	5,47	5,40
Formate/Marinho e Costeira	0,46	12,60	12,36	11,53
Total na Bacia do Rio Jucu	1,26	28,38	27,62	26,58

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Conforme citado anteriormente, sabe-se que para o nutriente FT as áreas agrícolas são fontes com maior potencial de produção das cargas difusas. É importante destacar que no cenário 5 as bacias, novamente, tiveram as características do solo como fator determinante para o resultado das sub-bacias. Apesar de todas as unidades possuírem características de uso e ocupação semelhantes neste cenário, nas bacias que possuem menor Retenção Potencial do Solo e menor Abstração Inicial do Solo, o volume de escoamento gerado é maior e, conseqüentemente, é verificado um carreamento maior de poluentes.

Para os demais cenários, além do fator citado acima, verifica-se de forma mais marcante a influência do uso e ocupação do solo entre as bacias na produção das cargas difusas. Por exemplo, Baixo Jucu e Formate, que no Cenário 5 apresentaram resultados próximos de produção difusa, nos demais cenários apresentaram uma diferença entre 6 e 7 kg/km², aproximadamente. Esse resultado pode ser justificado pelo fato da UP Formate/Marinho e Costeira possuir um percentual de Cultivo Agrícola superior ao verificado em Baixo Jucu. Além disso, a primeira possui também um percentual da classe de uso Áreas Edificadas 8 vezes maior do que a segunda (Tabela 15 e Tabela 16). A Tabela 37 apresenta o comparativo percentual entre os cenários simulados.

Tabela 37 - Comparativo percentual do parâmetro Fósforo Total entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	2150,00%	-7,41%	-1,60%
Médio Jucu	3256,46%	1,44%	-1,24%
Rio Jucu Braço Sul	2700,00%	-15,71%	-1,69%
Baixo Jucu	1156,11%	4,30%	-1,20%
Formate/Marinho e Costeira	2618,55%	-1,86%	-6,76%
Total na Bacia do Rio Jucu	2147,69%	-2,66%	-3,79%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As maiores variações entre os cenários 5 e 6 foram verificadas nas unidades Médio Jucu e Rio Jucu Braço Sul. A redução da mata nativa e o aumento das atividades agrícolas ao longo dos anos nas sub-bacias podem justificar essa variação. Ressalta-se ainda que essas unidades apresentam os maiores percentuais da classe Cultivo Agrícola em suas áreas.

Comparando-se os Cenários 6 e 7, observa-se a maior redução na bacia Rio Jucu Braço Sul. O impacto da redução produção de FT pode-se justificar pelo fato de grande parte da área, anteriormente agrícola, ter sido substituída por área reflorestada. Assim como observado na produção de SS, a UP Baixo Jucu teve um aumento percentual na produção de FT, visto que, durante o período de 2008 a 2012, teve um aumento percentual nas classes de uso do solo Áreas Edificadas, Solo Exposto, Cultivo Agrícola e Outros (Tabela 15). Também na UP Médio Jucu foi possível verificar um aumento na produção difusa do poluente, justificada pelo aumento das classes Cultivo Agrícola e Outros entre os cenários.

Entre os cenários 7 e 8 é possível observar uma redução percentual na produção de FT em todas as unidades de planejamento da bacia do Rio Jucu. Com destaque para a unidade Formate/Marinho e Costeira que apresentou o maior percentual de redução das cargas difusas (6,76%) após a recomposição das áreas de preservação permanente com base no Código Florestal.

- Nitrogênio Total

Na Tabela 38 estão dispostos os resultados obtidos com a simulação da produção cargas difusas de Nitrogênio Total para os Cenários de 5 a 8.

Tabela 38 - Resultados de Nitrogênio Total referentes à Segunda Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	Nitrogênio Total (Kg/km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	5,15	20,14	19,01	18,94
Médio Jucu	3,97	19,04	18,60	18,40
Rio Jucu Braço Sul	4,34	18,35	16,40	16,29
Baixo Jucu	23,00	46,06	46,41	46,14
Formate/Marinho e Costeira	22,94	67,08	66,43	62,33
Total na Bacia do Rio Jucu	59,40	170,67	166,85	162,11

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Do mesmo modo que o Fósforo, o Nitrogênio é um importante nutriente para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas. Além disso, ambos parâmetros possuem Cultivo Agrícola, Outros e Residencial como classes de uso do solo com maior potencial de produção de cargas difusas. Portanto, apesar de possuírem diferentes CME, o comportamento de produção nos cenários de NT assemelhou-se ao do parâmetro FT. A Tabela 39 apresenta o comparativo percentual entre os cenários simulados.

Tabela 39 - Comparativo percentual do parâmetro Nitrogênio Total entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	290,87%	-5,61%	-0,37%
Médio Jucu	379,92%	-2,30%	-1,05%
Rio Jucu Braço Sul	322,49%	-10,64%	-0,63%
Baixo Jucu	100,30%	0,76%	-0,59%
Formate/Marinho e Costeira	192,39%	-0,97%	-6,17%
Total na Bacia do Rio Jucu	187,32%	-2,24%	-2,84%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De forma análoga ao parâmetro FT, entre os cenários 5 e 6 as maiores variações foram verificadas nas unidades Médio Jucu e Rio Jucu Braço Sul. Já a menor variação foi registrada em Baixo Jucu, que apresentou no cenário de 2008 apenas 5,44% de Cultivo Agrícola, sendo esse o menor percentual verificado nas sub-bacias do Rio Jucu.

Com relação à variação entre os cenários 6 e 7, observa-se um aumento percentual somente na UP Baixo Jucu, refletindo um ligeiro aumento das atividades agrícolas na região. Já no comparativo dos cenários 7 e 8, verificou-se uma redução percentual na produção do poluente em todas as unidades de planejamento da bacia do Rio Jucu. Merece destaque, novamente, a unidade Formate/Marinho e Costeira que apresentou o maior percentual de redução das cargas difusas (6,17%) na simulação do cenário 8.

- Sólidos Dissolvidos Totais

A Tabela 40 apresenta os resultados da produção cargas difusas de Sólidos Dissolvidos Totais para os Cenários de 5 a 8.

Tabela 40 - Resultados de Sólidos Dissolvidos Totais referentes à Segunda Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	Sólidos Dissolvidos Totais (Kg/Km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	1.488,30	4.449,91	3.976,30	3.946,23
Médio Jucu	1.118,65	4.559,72	4.465,37	4.425,50
Rio Jucu Braço Sul	1.177,51	4.239,31	3.642,44	3.610,85
Baixo Jucu	7.474,77	11.714,51	11.700,35	11.660,70
Formate/Marinho e Costeira	7.301,31	12.286,32	11.954,96	11.447,01
Total na Bacia do Rio Jucu	18.560,54	37.249,77	35.739,43	35.090,30

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Para o parâmetro SDT tem-se o uso agrícola seguido do pasto como principais contribuintes para a produção do poluente. Observando-se os resultados obtidos, percebe-se que, em todos os cenários simulados, houve pouca variação entre a produção difusa das unidades Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira. Esse resultado pode estar atrelado ao fato de que, conforme já citado, mesmo com a UP

Baixo Jucu apresentando um percentual significativamente maior de vegetação nativa se comparada a Formate/Marinho e Costeira, também são verificados altos índices de Pastagem na área, sendo essa uma fonte de grande contribuição na produção de sólidos dissolvidos. A Tabela 41 apresenta a variação percentual na produção de SDT entre os cenários simulados.

Tabela 41 - Comparativo percentual do parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	198,99%	-10,64%	-0,76%
Médio Jucu	307,61%	-2,07%	-0,89%
Rio Jucu Braço Sul	260,02%	-14,08%	-0,87%
Baixo Jucu	56,72%	-0,12%	-0,34%
Formate/Marinho e Costeira	68,28%	-2,70%	-4,25%
Total na Bacia do Rio Jucu	100,69%	-4,05%	-1,82%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Comparando-se os Cenários 5 e 6 percebe-se as maiores variações nas bacias Médio Jucu e Rio Jucu Braço Sul, visto que no período de 2007-2008, retratado no cenário 6, essas unidades de planejamento possuíam os maiores percentuais de uso agrícola se comparadas as demais sub-bacias da área de estudo. Com relação a menor variação, está é verificada em Baixo Jucu, onde no cenário 6 têm-se o menor percentual da classe Cultivo Agrícola. Ressalta-se que esses resultados se assemelham aos observados nas simulações dos nutrientes NT e FT, uma vez que se têm as atividades agrícolas também como principais fontes de cargas difusas desses poluentes.

Avaliando-se a variação entre os Cenários 6 e 7, observa-se redução na produção do poluente em todas as Unidades de Planejamento. Destaca-se que as maiores reduções são registradas na bacia Rio Jucu Braço Sul e Alto Jucu. Esse resultado pode estar atrelado ao fato de que, nessas unidades, são verificadas as maiores recomposições florestais entre os anos de 2008 e 2012, bom como as maiores reduções nos percentuais de usos agrícolas.

Para o poluente sólidos dissolvidos, a recomposição das áreas de preservação permanente com base no Código Florestal, representada no cenário 8, resultou em uma redução percentual na produção de cargas difusas em todas as unidades de planejamento da bacia do Rio Jucu, sendo mais expressiva na UP Formate/Marinho e Costeira.

- Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Tabela 42 apresenta, para os Cenários de 5 a 8, os resultados obtidos de cargas difusas de Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Tabela 42 - Resultados de Demanda Bioquímica de Oxigênio referentes à Segunda Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	DBO (Kg/Km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	3,01	18,99	19,58	19,25
Médio Jucu	2,28	18,75	20,15	19,58
Rio Jucu Braço Sul	2,42	21,61	22,13	21,56
Baixo Jucu	15,28	122,04	133,36	132,17
Formate/Marinho e Costeira	14,89	553,48	559,06	508,60
Total na Bacia do Rio Jucu	37,88	734,87	754,27	701,15

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Conforme sinalizado na Primeira Etapa de Simulação, para DBO, as classes de uso com maiores potenciais de produção do poluente são Áreas Edificadas e Outros. Portanto, como já previsto, os maiores valores de produção difusa foram observados nas unidades predominantemente urbanas.

Observa-se novamente, no cenário base, as características do solo como diferencial na produção de cargas difusas, visto que nesse cenário tem-se representada a bacia em suas condições “naturais”. Nos demais cenários verifica-se a evolução e a diferenciação das condições de uso do solo na bacia influenciando diretamente na produção difusa. Nesse sentido destaca-se que, no cenário 5, as bacias que possuem os maiores percentuais de solo C e D, Formate/Marinho e Costeira e Baixo Jucu,

apresentaram resultados próximos de produção do poluente. Já nos cenários 6, 7 e 8, a carga difusa de DBO observada em Formate/Marinho e Costeira foi aproximadamente 4 vezes maior que a observada em Baixo Jucu. Esse resultado é atribuído, provavelmente, ao fato da UP Formate/Marinho e Costeira possuir em torno de 8 vezes mais Área Edificada do que a Baixo Jucu. A Tabela 43 apresenta o comparativo percentual entre os cenários simulados.

Tabela 43 - Comparativo percentual do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	530,47%	3,10%	-1,68%
Médio Jucu	720,53%	7,49%	-2,83%
Rio Jucu Braço Sul	794,68%	2,38%	-2,56%
Baixo Jucu	698,96%	9,28%	-0,90%
Formate/Marinho e Costeira	3617,51%	1,01%	-9,03%
Total na Bacia do Rio Jucu	1840,21%	2,64%	-7,04%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Comparando os Cenários 5 e 6, destaca-se a variação mais expressiva na bacia Formate/Marinho e Costeira, uma vez que, no período de 2007-2008, essa unidade de planejamento possuía cerca de 30% de uso urbano, representado pela classe Área Edificada. Com relação a menor variação, está é verificada em Alto Jucu, onde no cenário 6 foi observado o menor percentual de área edificada, cerca de 0,09%.

Com relação a variação entre os cenários 6 e 7, observa-se um aumento percentual da produção de DBO proveniente de fontes difusas em todas as sub-bacias. Apesar de observar-se uma ligeira redução nos percentuais de Áreas Edificadas entre os anos de 2008 e 2012, verifica-se em todas as bacias um pequeno aumento nas áreas de uso misto, representada pela classe Outros, sendo esse um fator determinante para a obtenção do referido resultado.

No comparativo dos cenários 7 e 8, nota-se uma redução percentual no resultado de DBO em todas as unidades de planejamento da bacia do Rio Jucu. Novamente, com

a recomposição florestal proposta para o cenário futuro, a unidade Formate/Marinho e Costeira apresentou o maior percentual de redução das cargas difusas (9,03%).

- Demanda Química de Oxigênio

Na Tabela 44 estão reunidos os resultados da produção de Demanda Química de Oxigênio nos Cenários de Simulação 5 a 8.

Tabela 44 - Resultados de Demanda Química de Oxigênio referentes à Segunda Etapa de simulação.

Unidades de Planejamento	DQO (Kg/Km ²)			
	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Alto Jucu	25,03	163,76	180,37	178,42
Médio Jucu	20,52	114,75	111,33	108,78
Rio Jucu Braço Sul	26,03	137,98	144,84	142,17
Baixo Jucu	44,41	591,87	623,90	617,52
Formate/Marinho e Costeira	55,73	2.767,00	2.766,12	2.517,33
Total na Bacia do Rio Jucu	171,72	3.775,37	3.826,56	3.564,21

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Assim como para DBO, tem-se a classe de uso Áreas Edificadas seguida da classe Outros como principais contribuintes para a produção difusa de DQO. Analisando-se o cenário 5 de simulação, percebe-se os maiores valores de produção nas unidades próximas à foz, Formate/Marinho e Costeira e Baixo Jucu, que possuem os maiores percentuais de solos com baixa capacidade de infiltração.

Já nos demais cenários, a carga difusa de DQO observada em Formate/Marinho e Costeira foi consideravelmente superior a produção observada nas demais unidades. A sub-bacia Médio Jucu apresentou as menores contribuições de cargas difusas do parâmetro em todos os cenários simulados, visto que esta UP possui em sua área os menores percentuais de uso urbano do solo (Áreas edificadas e Outros). A Tabela 45 apresenta o comparativo percentual entre os cenários simulados

Tabela 45 - Comparativo percentual do parâmetro Demanda Química de Oxigênio entre os cenários da Segunda Etapa de Simulação.

Unidades de Planejamento	Comparação percentual entre cenários (%)		
	Cenário 5 e 6	Cenário 6 e 7	Cenário 7 e 8
Alto Jucu	554,14%	10,14%	-1,08%
Médio Jucu	459,08%	-2,97%	-2,28%
Rio Jucu Braço Sul	430,01%	4,97%	-1,85%
Baixo Jucu	1232,85%	5,41%	-1,02%
Formate/Marinho e Costeira	4864,99%	-0,03%	-8,99%
Total na Bacia do Rio Jucu	2098,49%	1,36%	-6,86%

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De forma análoga ao parâmetro DBO, entre os cenários 5 e 6 a maior variação foi verificada na unidade Formate/Marinho e Costeira, demonstrando que essa sub-bacia foi a mais impactada com as atividades antrópicas no período 2007-2008. Já a menor variação foi observada na UP Jucu Braço Sul, unidade que sofreu a menor alteração entre seu cenário base e o cenário 6.

Com relação a variação entre os cenários 6 e 7, observa-se uma redução percentual somente nas unidades Médio Jucu e Formate/Marinho e Costeira, refletindo uma redução das Áreas Edificadas na região. Além disso, na UP Médio Jucu tal redução está atrelada a um aumento das áreas reflorestadas. Já com a comparação dos cenários 7 e 8, verificou-se uma redução percentual na produção do poluente em todas as unidades de planejamento da bacia do Rio Jucu. Novamente, a unidade Formate/Marinho e Costeira foi a que apresentou o maior percentual de redução das cargas difusas (8,99%) na simulação do cenário 8. Observa-se que, de maneira geral, o cenário futuro proposto (Cenário 8) surtiu resultados de forma mais relevante na unidade Formate/Marinho e Costeira, aspecto que constitui, portanto, um direcionador da priorização de ações e recursos, tanto para controle de inundações, como para controle da poluição difusa.

De forma semelhante ao presente trabalho, Oliveira e Sardinha (2014) avaliaram a produção de cargas difusas na bacia hidrográfica do Córrego da Ariranha (ESTADO, Brasil). Os resultados indicaram que, sobre condições hidrológicas médias na bacia,

os corpos d'água recebem aportes diários de sólidos em suspensão (262,54 kg), coliformes totais (40,357 kg), demanda bioquímica de oxigênio (15,535 kg), nitrogênio (5,522 kg) e fósforo (0,349 kg). Os autores salientam que medidas de manejo poderiam ser adotadas para reduzir os possíveis impactos na bacia do Córrego da Ariranha. Podem ser citadas como exemplos medidas que objetivem o cumprimento da legislação para a conservação da vegetação ciliar, a recuperação de áreas degradadas, a expansão urbana controlada e planejada, seguida de uma fiscalização mais eficiente.

É relevante salientar que a literatura corrente brasileira ainda possui poucas aplicações com o modelo L-THIA, bem como trabalhos semelhantes ao realizado, impossibilitando maiores e mais detalhadas comparações com os resultados obtidos no presente estudo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram realizadas simulações com a aplicação do modelo L-THIA com o objetivo de analisar o escoamento superficial e as cargas de poluição difusa produzidas sob diferentes cenários de uso e ocupação do solo. Escolheu-se como área de estudo a bacia do rio Jucu (curso d'água de domínio do estado do Espírito Santo) e foi considerada a discretização de sub-bacias apresentada no Plano de Bacias dos rios Jucu e Santa Maria, visando garantir a adoção de limites físicos compatíveis com os que são utilizados para o planejamento dos recursos hídricos no estado do Espírito Santo.

De modo geral, simulações realizadas com o modelo L-THIA se mostraram promissoras. A integração do modelo com o ambiente SIG representa relevante vantagem em seu uso, visto que tornou mais fácil e rápida a integração dos dados de entrada utilizados. Além disso, o modelo faz uso de dados básicos que, na maioria dos casos, estão prontamente disponíveis para auxiliar nas estimativas gerais de impactos hidrológicos devido a mudanças no uso do solo. Outra característica relevante é a possibilidade de ser utilizado em bacias com pouco ou nenhum monitoramento, onde as séries de dados necessárias podem ser obtidas por sensoriamento remoto, fazendo do L-THIA uma interessante ferramenta para auxiliar na gestão e no planejamento urbano.

No entanto, ressalta-se que a baixa exigência de informações iniciais resulta em limitações nas respostas oferecidas pelo modelo, principalmente se comparadas com aquelas decorrentes de análises mais sofisticadas que requerem coleta e entrada de dados complexos. Portanto, os valores de escoamento superficial e de cargas difusas simulados no presente estudo devem ser considerados com cautela, uma vez que não foi possível realizar a calibração do modelo.

Com as simulações hidrológicas realizadas, utilizando o modelo L-THIA, foi possível observar que o volume precipitado constitui um fator determinante na produção da massa de poluentes que aportarão os corpos hídricos. Percebeu-se durante as simulações que, quanto maior a precipitação inserida para o cálculo do volume de

escoamento superficial, maior foi a carga difusa produzida no evento. É importante ressaltar que a modelagem em diferentes cenários de precipitação é fundamental para conduzir o processo de dimensionamento, tanto de estruturas de controle da poluição quanto daquelas utilizadas para o controle de inundações.

Quanto as simulações realizadas em diferentes cenários de uso e ocupação do solo, foi possível concluir que as recomendações propostas para um Cenário Futuro, se implementadas, poderão permitir reduções dos picos de escoamento e da geração de cargas difusas e, conseqüentemente, eventuais melhorias da qualidade da água na bacia do Rio Jucu. Adicionalmente, os resultados obtidos demonstraram que estas reduções seriam mais significativas para a sub-bacia Formate/Marinho e Costeira, região de maior adensamento urbano na bacia.

Outro ponto observado foi a efetividade das ações de recomposição vegetal, bem como as demais alterações de uso do solo na bacia do rio Jucu entre os períodos de 2008 e 2015. A sub-bacia Rio Jucu Braço Sul, foi a unidade que apresentou as maiores reduções nos picos de escoamento e na produção de cargas difusas de poluentes.

Recomenda-se que, em trabalhos futuros na bacia do rio Jucu, seja realizada a calibração do modelo. Adicionalmente, sugere-se uma análise integrada das cargas de poluentes que aportam os corpos hídricos da bacia, considerando também as fontes pontuais presentes na área de estudo, como por exemplo lançamentos de efluentes domésticos e industriais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJMAL, M. *et al.* **Improved runoff estimation using event-based rainfall-runoff models.** Water Resources Management, v. 29, n. 6, p. 1995-2010, 2015.

APRÍGIO, P.O. **Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas.** 131 f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

BAIRD, C.; JENNINGS, M. **Characterization of Nonpoint Sources and Loadings to the Corpus Christi Bay National Estuary Program Study Area,** Corpus Christi: Texas Natural Resource Conservation Commission, 1996.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Brasília, 1981.

CARVALHO, S. L. **Avaliação Da Poluição Urbana Difusa Na Bacia Do Córrego Quitandinha No Município De Petrópolis, RJ.** Dissertação de Mestrado. 2011. 139p. Programas De Pós-Graduação De Engenharia Da Universidade Federal Do Rio De Janeiro-UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

CONSÓRCIO NIP & PROFILL. **Elaboração de Projeto Executivo para Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Relatório Síntese.** Espírito Santo, 180 p., 2016.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S.; ROSSKOFF, J.L.C. **Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, n.1, p.46-54, 2010.

DUNCAN, H. P, 1999. **URBANSTORMWATER QUALITY: A Statistical Overview.** Disponível em: <<https://ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical199903.pdf>>

Acessado em: 05 de setembro de 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ENGEL, B. **L-THIA NPS: Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non Point Source Pollutant Model**. Versão 2.1. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2005.

EPA, 1998 - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The Quality of Our Nation's Waters A Summary of the National Water Quality Inventory: 1998 Report to Congress**. Disponível em: <http://www.epa.gov/>. Acessado em 13 de setembro de 2019.

EPA, 2007 - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Hydromodification**. Disponível em: <http://www.epa.gov/>. Acessado em 28 de maio de 2019.

EPA, 2008 - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **TMDLS TO STORMWATER PERMITS HANDBOOK**. Disponível em: <http://www.epa.gov/>. Acessado em 14 de setembro de 2019.

FRANCO, J. E. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. 2004. 155 f. Dissertação (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GASTALDINI, M. C. C.; GIORGETTI, M. F. Utilização de modelo de qualidade da água na análise da autodepuração do Rio Jacaré-Guaçu. In: Simpósio luso-brasileiro sobre simulação e modelação em hidráulica, 1983, Camboriú. **Anais: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Camboriú, SC.: ABRH, p. 205-226, 1983.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A.C. **Chuvas intensas no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v .5, n. 3, p. 45-58, 2000.

HARPER, H.H. **Stormwater Chemistry and Water Quality: Estimating Pollutant Loadings and Evaluation of Best Management Practices for Water Quality Improvements**. In: Proceedings 6th Biennial Stormwater Research and Watershed

Management Conference. September 14-17. Southwest Florida Water Management District, Tampa, FL, 1999.

HRANOVA, R. **Diffuse pollution – principles, definitions and regulatory aspects.** in R. Hranova, editor. Diffuse Pollution of Water Resources, Principles and Case Studies in the Southern African Region, Taylor and Francis Group, Philadelphia, USA, p. 1-24. 2006.

IEMA, 2015 - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Referência técnica detalhada dos produtos do Mapeamento ES 2012-2015.** Disponível em: https://www2.geobases.es.gov.br/ftppublico/MapES_2012-2015/IEMA_MAPEAMENTO_ES_2012_2015_REFERENCIA_TECNICA.pdf. Acessado em 13 de maio de 2019.

LIBOS, M.; ROTUNNO FILHO, O.C.; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 113 -135, 2003.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 8º Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

LINE D. E., WHITE, N. M., OSMOND, D. L., JENNINGS, G. D., and MOJONNIER, C. B. **“Pollutant export from various land uses in the Upper Neuse River Basin,”** Water Environment Research v. 74, p. 100-108, 2002.

MAIDMENT, D. **ArcHydro GIS for Water Resources.** ESRI Press, Redlands, CA. 2002.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. **A relook at NEH- 4 curve number data and antecedent moisture condition criteria.** Hydrological processes, v. 20, n. 13, p. 2755-2768, 2006.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Relação Entre Intensidade, Duração e Frequência de Chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 9, n. 13, p. 59-68, 2009.

MOURA, B. M. D.; LIMA, E. B. N. R. Estudo Sistemático sobre Poluição por Cargas Difusas em Bacias Urbanas. **Revista Engineering and Science**, v. 2, n. 7, p. 20 -26, 2018.

NEJADHASHEMI, A.P.; WOZNICKI, S.A.; DOUGLAS-MANKIN, K.R. **Comparison of Four Models (STEPL, PLOAD, L-THIA, and SWAT) in Simulating Sediment, Nitrogen, and Phosphorus Loads and Pollutant Source Areas**. Transactions of the ASABE. V. 54, n. 3, p 875-890, 2011.

NOVOTNY, V. **Water quality: Diffuse pollution and watershed management**. Segunda edição. New York: John Wiley & Sons, 2003. 864p.

NOVOTNY, V. **“Unit pollutant loads: their fit in abatement strategies”** Water Environment & Technology, v. 4, n. 1, Janeiro, p. 40-43., 1992.

PORTO, M. F.A. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. Drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. p. 387-428, 1995.

PORTO, R. L. L. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

PITT, R. Maestre A., MORQUECHO, R. **“The National Stormwater Quality Database (NSQD, version 1.1)”**. Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Alabama, February 2004.

PRODANOFF, A. J. H. **Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 266, 2005.

PRUSKI, F.F. *et al.* **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV. 88p., 2003.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.05-18, 2005.

SEAMA – ES. **Avaliação das oportunidades da restauração de paisagens e florestas para o Estado do Espírito Santo, Brasil**. 88p., 2017.

SILVA, L. P. E. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

SHERMAN, L. W., 1932, “**Streamflow from Rainfall by the Unit-Graph Method**”, Engineering News-Record, 108.

SODRÉ, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. **Artigos Temáticos Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental (AQQUA)**, v.1, p. 9-16, 2012.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, C. E. M.. “**Gerenciamento da Drenagem Urbana**” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, p. 5-27. 2001.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. cap. 2, p. 253-28, 2004.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 428 p., 1995.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS. 678 p., 2005.

VAZE, J.; CHIEW, F.H.S. **Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface**. Urban Water, 4. ed., p. 379–389, 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.

WONG, *et al.*, 2006. Australian Runoff Quality: A Guide To Water Sensitive Urban Design. Crows. Nest, N.S.W.: Engineers Media, 2006. na Internet via [www.url: http://catalogue.nla.gov.au/Record/3766612](http://catalogue.nla.gov.au/Record/3766612). Arquivo capturado em 10/02/2018.

ZHAO, P. *et al.* **A spatial multi-criteria planning scheme for evaluating riparian buffer restoration priorities**. Ecological Engineering, v. 54, p. 155–164, 2013.

8. APÊNDICE A

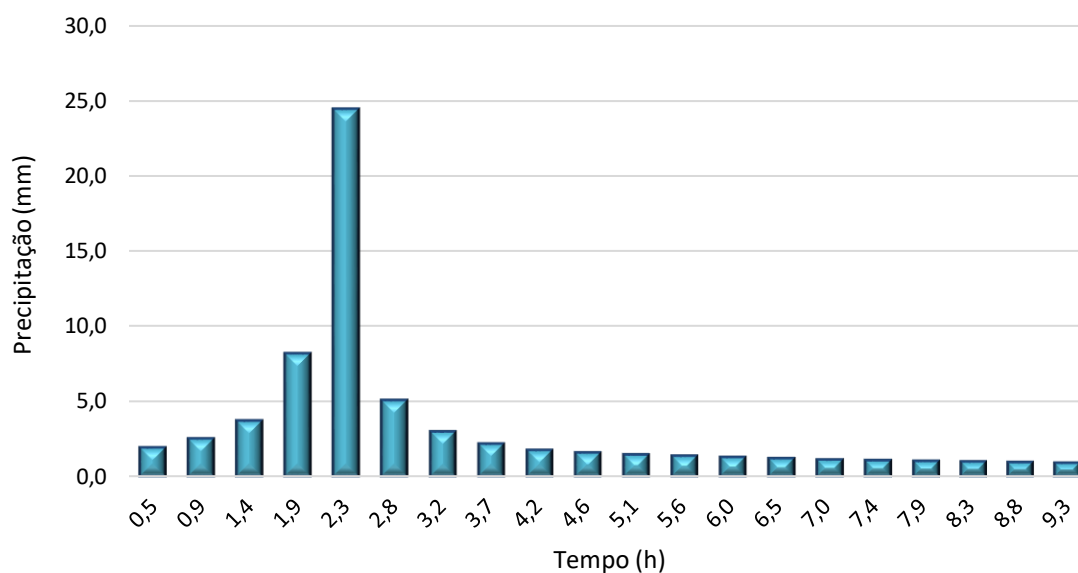


Figura 21 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

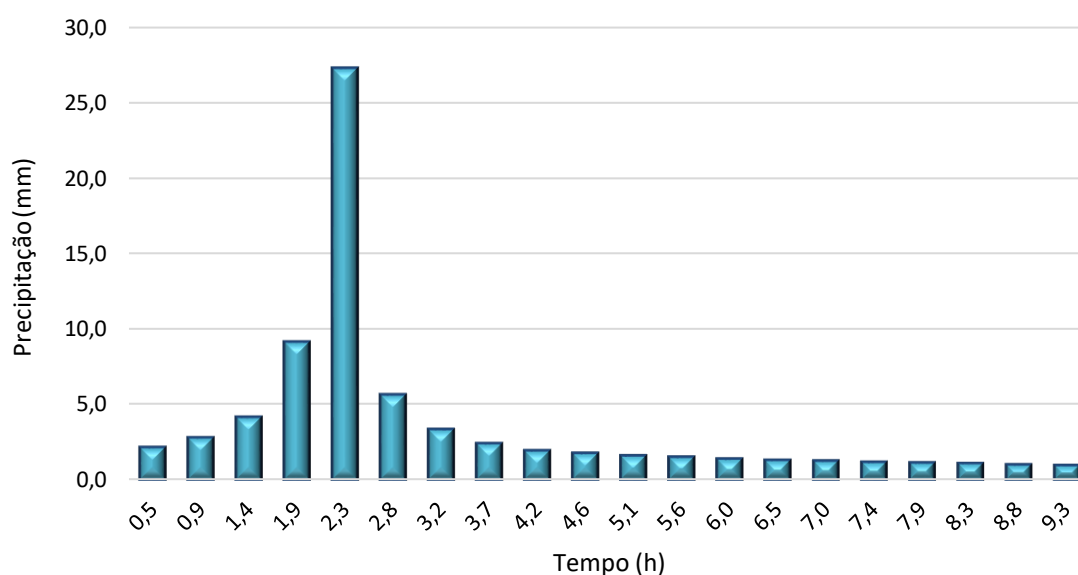


Figura 22 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 2 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

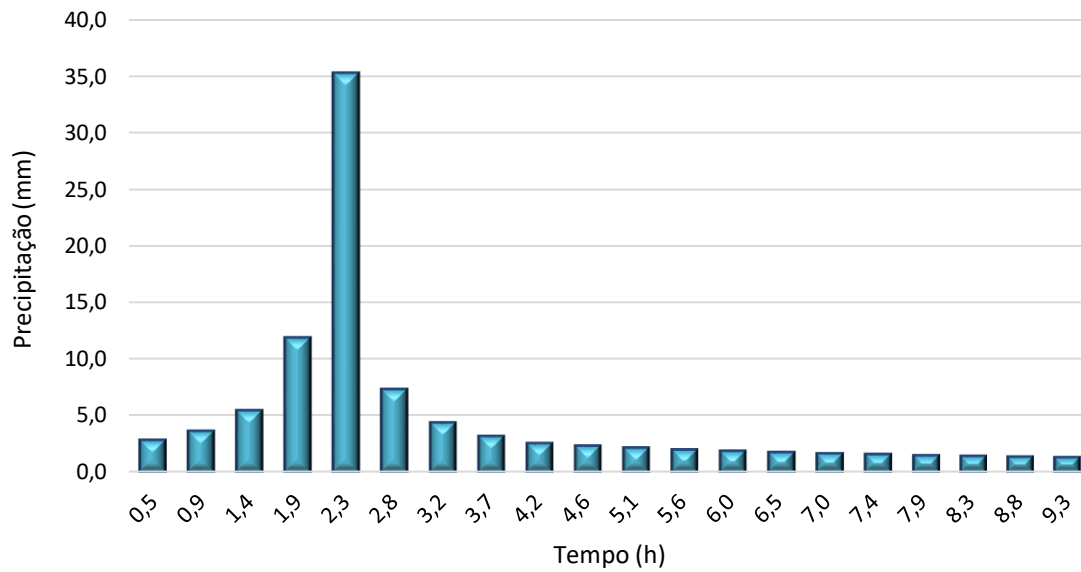


Figura 23 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 10 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

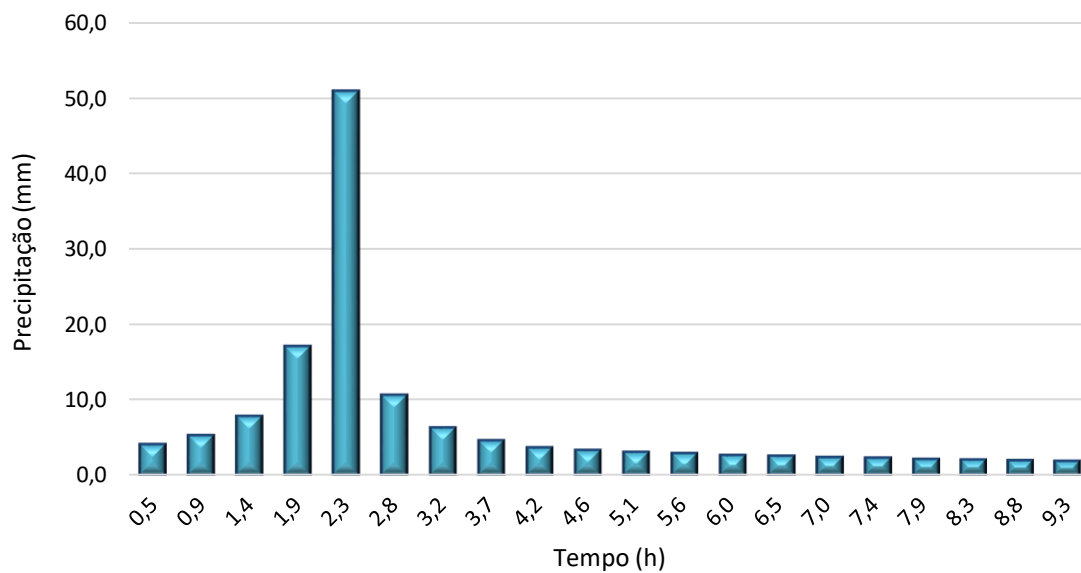


Figura 24 - Hietograma da estação 02040015 para período de retorno de 100 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

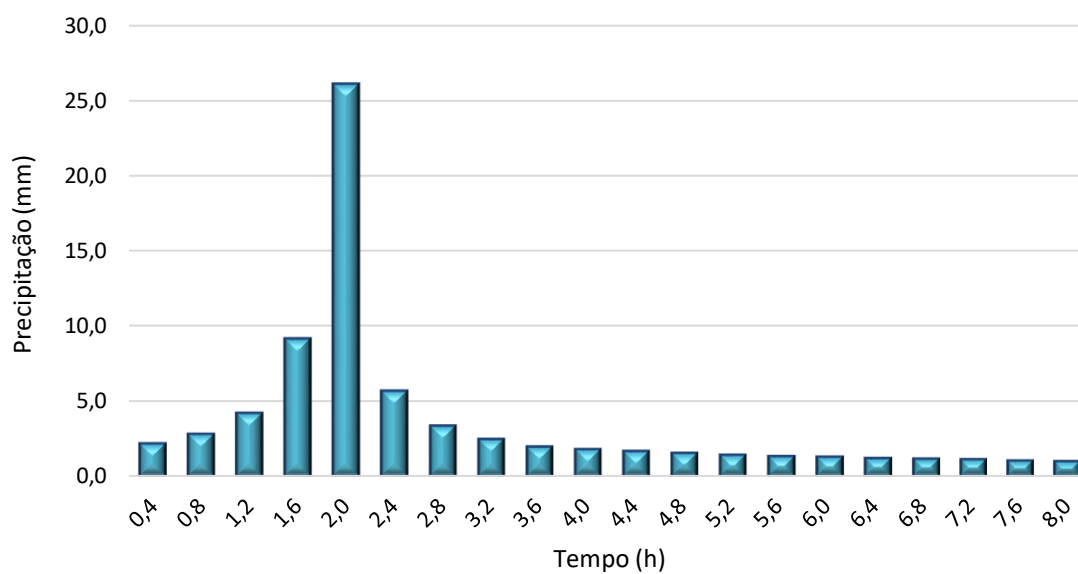


Figura 25 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

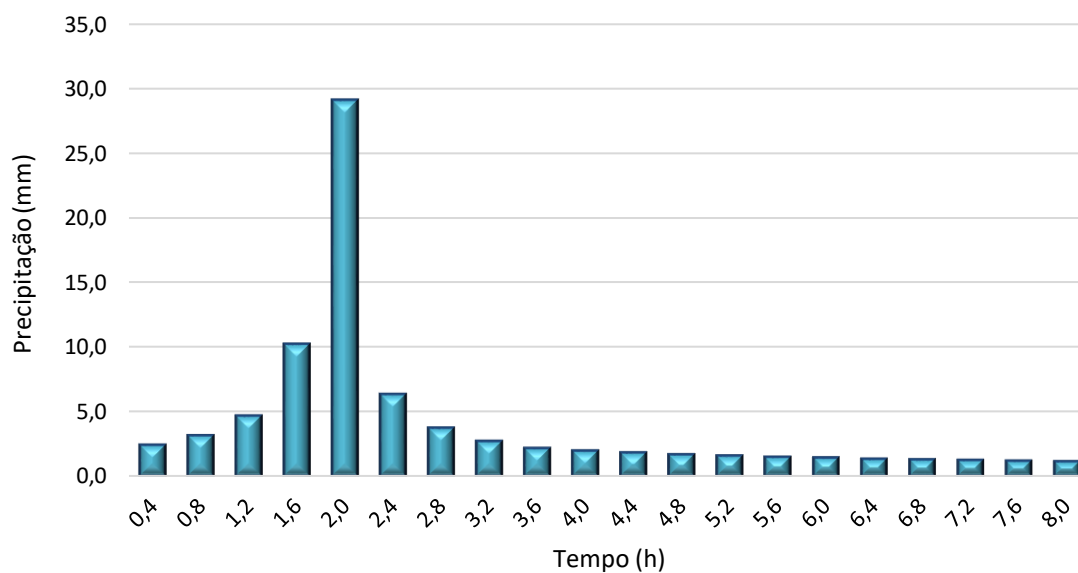


Figura 26 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 2 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

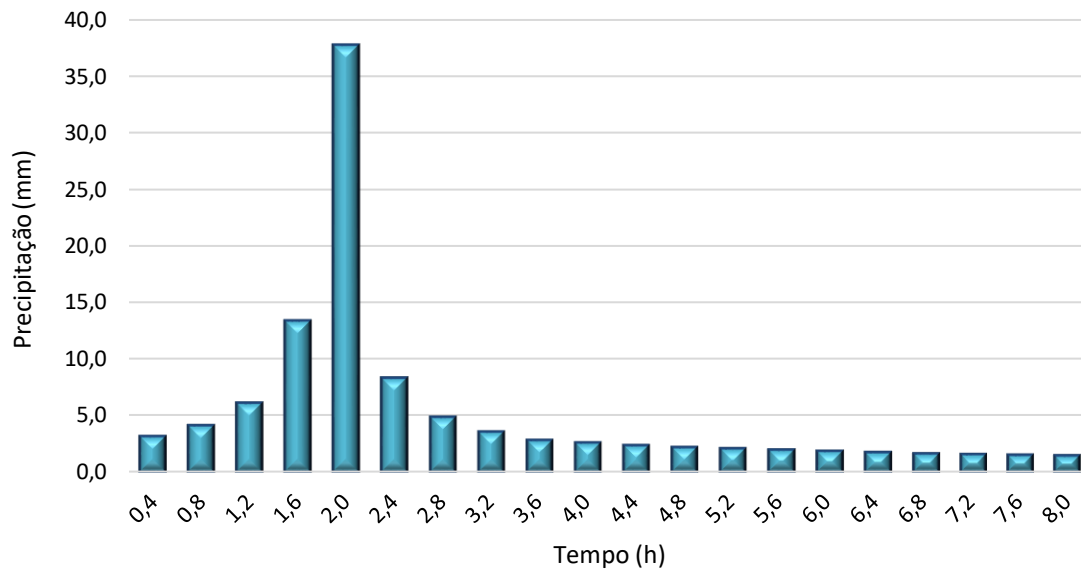


Figura 27 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 10 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

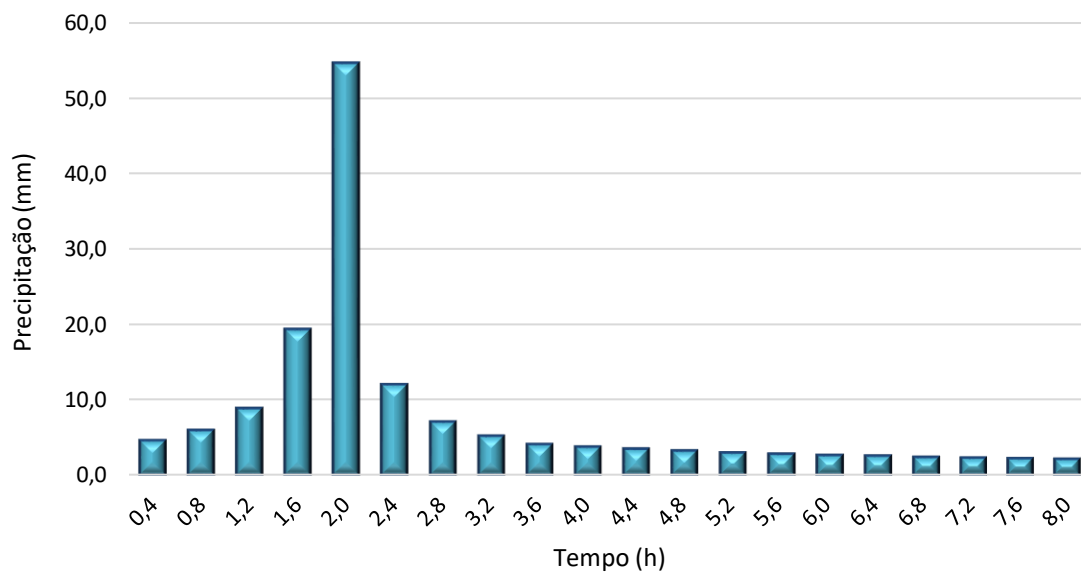


Figura 28 - Hietograma da estação 02040012 para período de retorno de 100 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

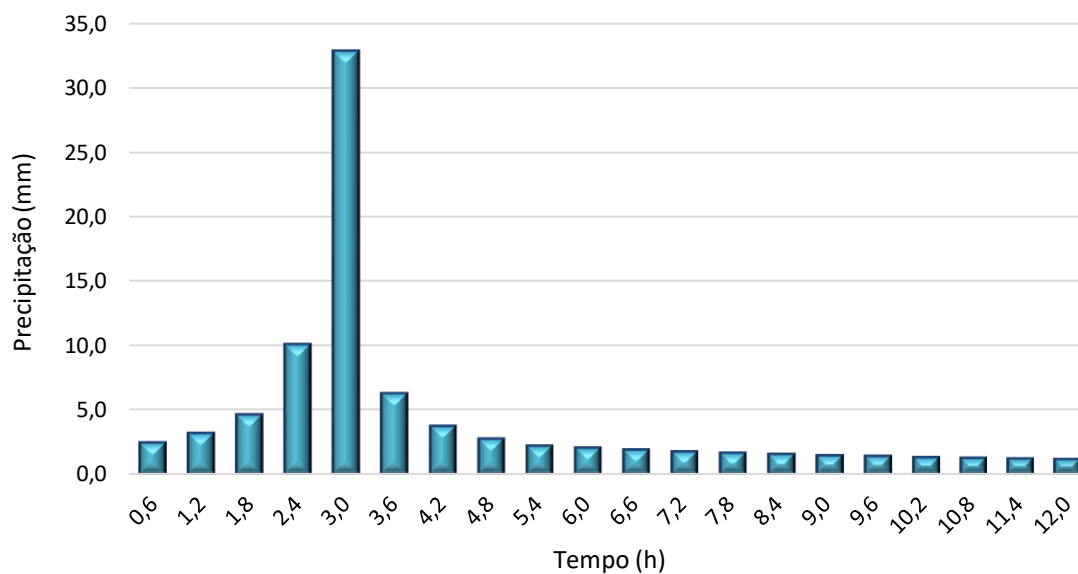


Figura 29 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

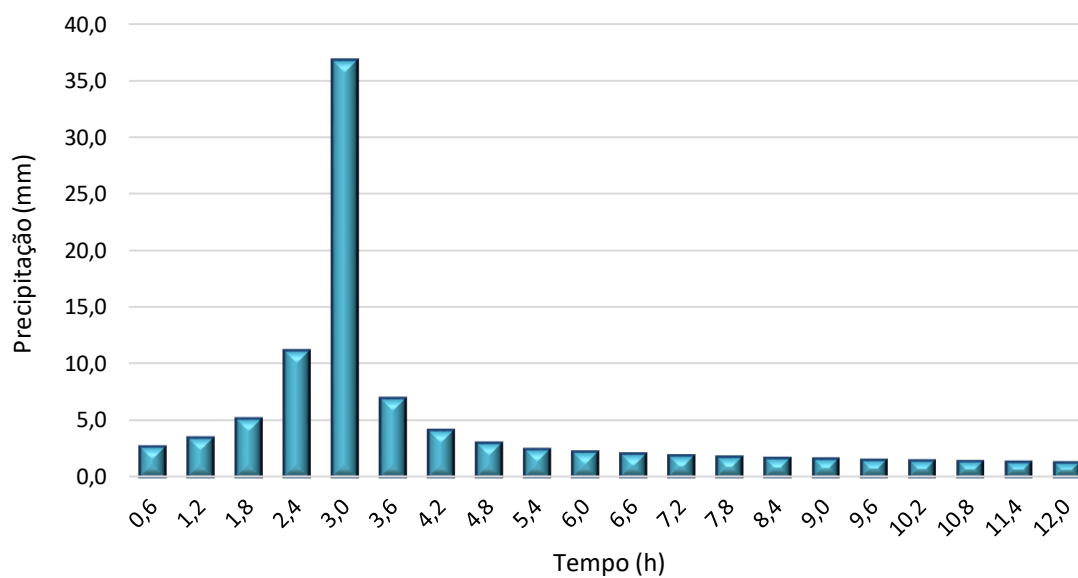


Figura 30 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 2 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

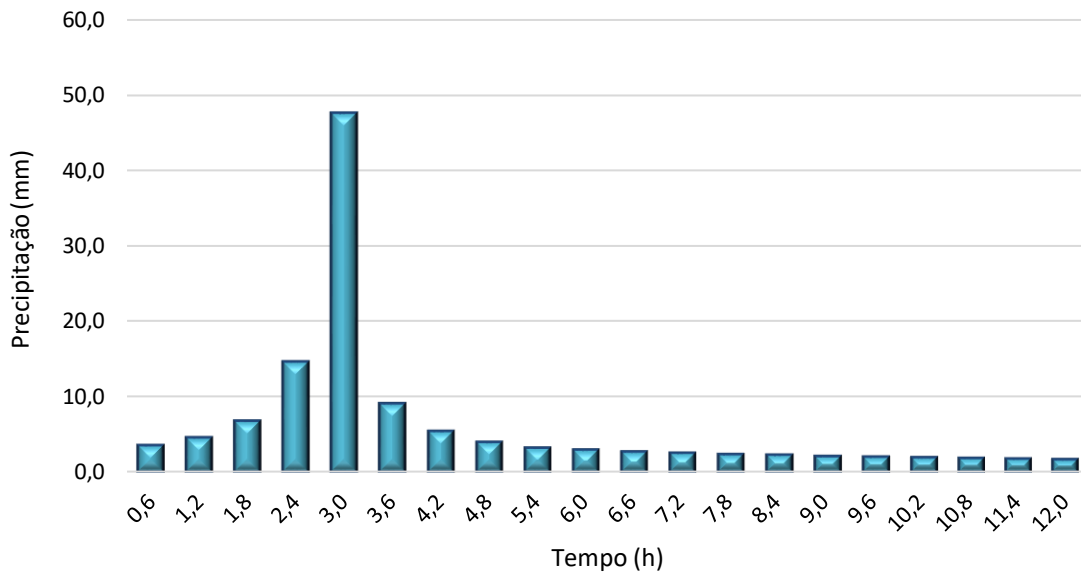


Figura 31 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 10 anos.
 Fonte: Elaborado pela autora (2019).

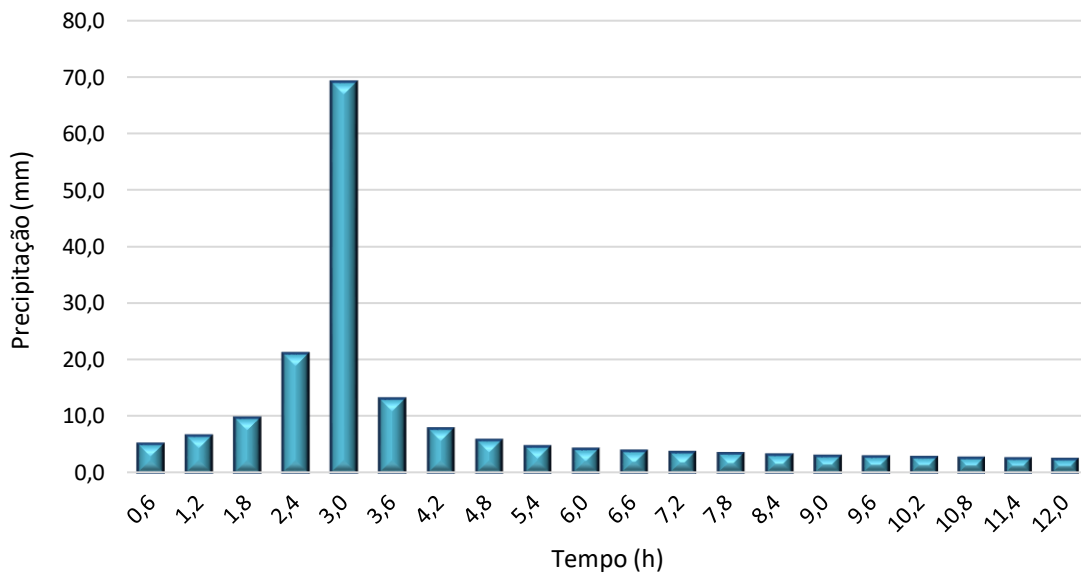


Figura 32 - Hietograma da estação 02040001 para período de retorno de 100 anos.
 Fonte: Elaborado pela autora (2019).

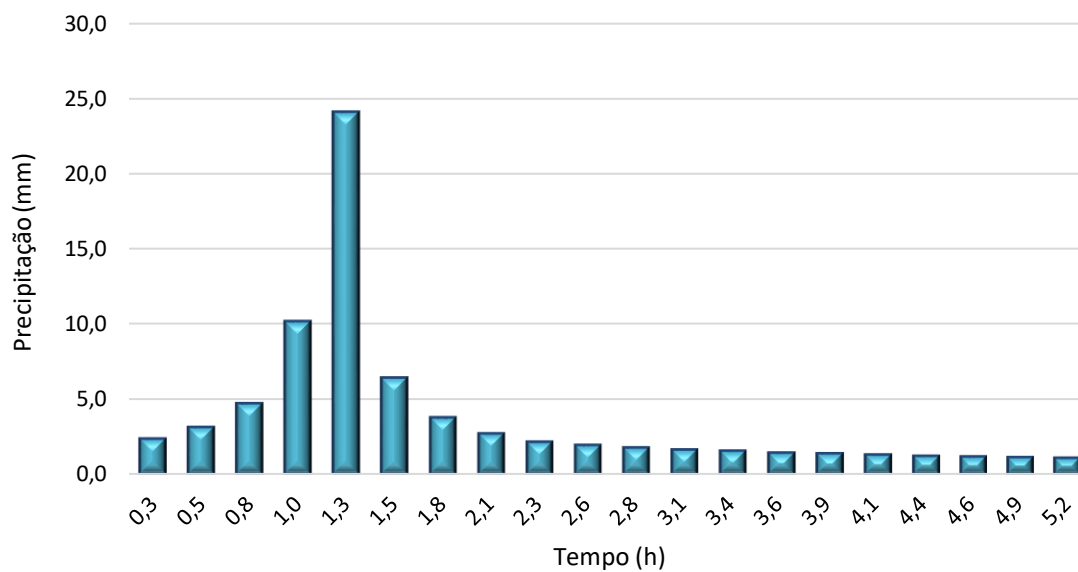


Figura 33 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 1 ano.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

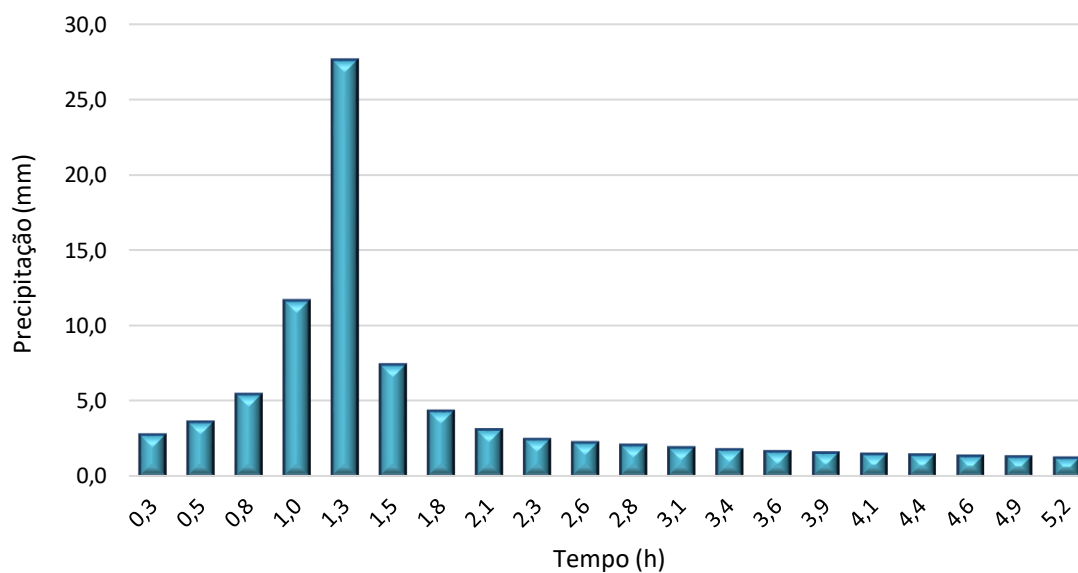


Figura 34 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 2 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

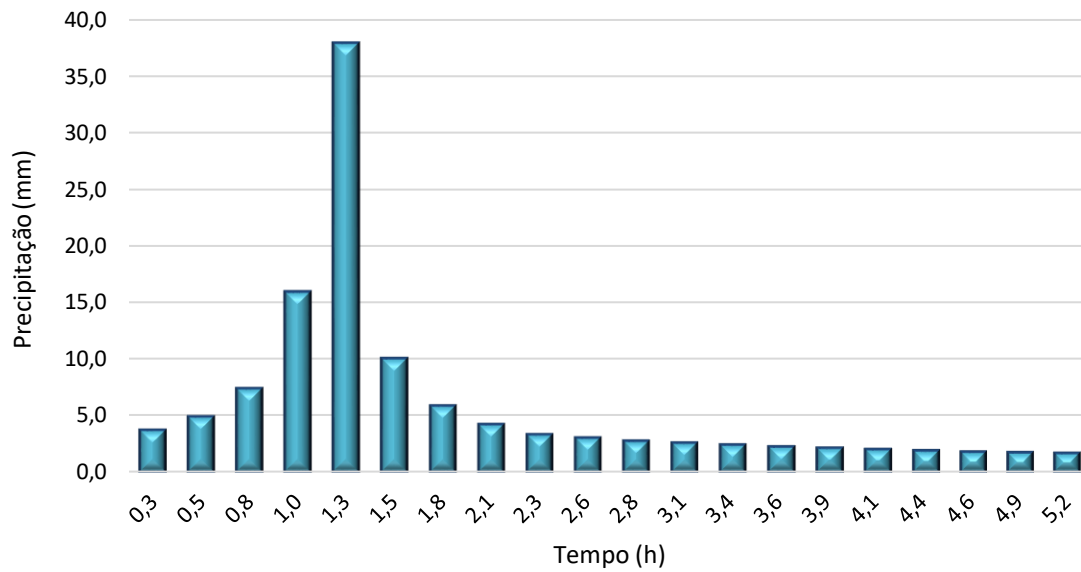


Figura 35 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 10 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

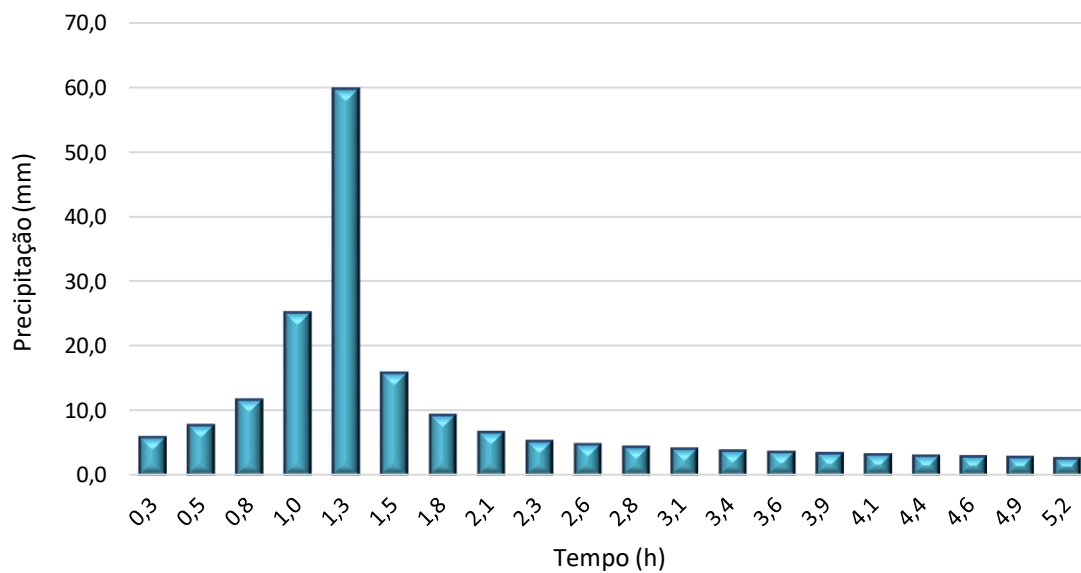


Figura 36 - Hietograma da estação 02040014 para período de retorno de 100 anos.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).