



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO**  
**SUSTENTÁVEL**

**SIMULAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS DE DRENAGEM**  
**COM USO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA EM**  
**LOTES URBANOS – ESTUDO DE CASO NA BACIA DO**  
**CANAL GUARANHUNS – VILA VELHA/ES**

**INFORMAÇÕES DO CANDIDATO**

Nome: Filipe Cardoso Marvila  
Formação: Engenheiro Ambiental  
Ingresso do curso: 2015/2  
Nº do telefone: 27 998476847  
E-mail: fcmarvila@gmail.com

**ORIENTAÇÃO CIENTÍFICA**

Orientador: Daniel Rigo  
Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos: Drenagem Urbana

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Cândida e Sérgio, pelo estímulo ao aprendizado e pela ajuda durante todo o caminho.

À minha companheira, Silvia, de quem o amor e apoio deixou essa jornada muito mais gostosa.

Ao meu Orientador, Daniel Rigo, por confiar no meu trabalho e aliviar com tranquilidade os nós que apareceram pelo caminho.

À Fernanda Passamani e Filipe Tesch, por me antecipar sobre os erros e passar a experiência que eu precisava.

À equipe Foco Ambiente, pela companhia diária e pela compreensão em momentos de ausência e de cansaço.

Aos professores Ricardo Franci e José Antônio, por aceitar contribuir com o meu trabalho e pelo estímulo na sala de aula ao longo de toda a jornada.

Muito grato!

Dedicado à vida que virá.  
Ao que nos move com toda energia.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>ASPECTOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Chuvas intensas .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Tempo de concentração.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS EM AMBIENTES URBANIZADOS..</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>CONTROLE DE ÁGUAS PLUVAIS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Medidas não estruturais.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Medidas estruturais .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>DRENAGEM NA GESTÃO URBANA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Planos diretores brasileiros .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Plano Diretor do Município de Vila Velha - Zoneamento .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5</b>	<b>MODELAGEM HIDROLÓGICA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Executando a Modelagem Hidrológica.....</b>	<b>39</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>DADOS TOPOGRÁFICOS.....</b>	<b>51</b>
<b>4.3</b>	<b>DELIMITAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>DELIMITAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E PEDOLOGIA....</b>	<b>55</b>
<b>4.5</b>	<b>ZONEAMENTO DEFINIDO NO PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE VILA VELHA.....</b>	<b>59</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Análise sobre o zoneamento da nova proposta do PDM de Vila Velha.</b>	<b>62</b>
<b>4.6</b>	<b>CHUVA DE PROJETO .....</b>	<b>65</b>

<b>4.7</b>	<b>PRÉ TRATAMENTO DOS DADOS .....</b>	<b>66</b>
<b>4.8</b>	<b>DADOS DE ENTRADA .....</b>	<b>68</b>
<b>4.9</b>	<b>CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>4.9.1</b>	<b>Condições de simulação .....</b>	<b>71</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>VALORES DE USO DO SOLO.....</b>	<b>81</b>
<b>5.2</b>	<b>HIETOGRAMA COM RESERVATÓRIO.....</b>	<b>82</b>
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA.....</b>	<b>86</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>98</b>
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de reservatório de armazenamento de água de chuva (RAAC) com duas saídas. Fonte: DRUMOND; COELHA; MOURA, 2014. ....	25
Figura 2: Localização da bacia de drenagem do Canal Guaranhuns .....	47
Figura 3: Ponte restringindo o escoamento (à esquerda) e vegetação ciliar e habitações dividindo espaço nas margens do canal (à direita). ....	48
Figura 4: Travessia que restringe o canal Secundário (à esquerda) e vegetação posicionada ao longo do canal do Dique (à direita).....	49
Figura 5: Mancha de inundação Cenário Proposto (polders na região 9 e 10), chuva de projeto com período de retorno de 50 anos. Fonte: DA SILVA, 2017.....	50
Figura 6: Comporta que liga o Canal de Guaranhuns ao Rio Jucu. Fonte: VILA VELHA, 2011. ....	50
Figura 7: Mapa de identificação do MDT das bacias urbanas consideradas no estudo. ....	52
Figura 8: Mapa de delimitação da bacia do Canal de Guaranhuns.....	54
Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Canal de Guaranhuns. ....	56
Figura 10: Mapa de uso e ocupação do solo da região ao norte da bacia do Canal de Guaranhuns. ....	57
Figura 11: Mapa de pedologia das bacias consideradas no estudo. ....	58
Figura 12: Mapa de zoneamento urbano da bacia do Canal de Guaranhuns – PDM, 2007. ...	60
Figura 13: Proposta do novo zoneamento urbano da bacia do Canal de Guaranhuns. ....	61
Figura 14: Variação da taxa de permeabilidade. Comparação com a nova proposta de PDM.	63
Figura 15: Variação da taxa de ocupação máxima. Comparação com a nova proposta de PDM. ....	64
Figura 16: Gráfico de intensidade de chuva para diferentes períodos de retorno. ....	66
Figura 17: Discretização da bacia do Canal de Guaranhuns.....	67
Figura 18: Fluxograma de simulação dos hidrogramas das bacias do Canal de Guaranhuns..	68
Figura 19: Cenários Propostos .....	70

Figura 20: Esquema da delimitação das porcentagens das áreas da microbacia no Cenário 02. .....	73
Figura 21: Esquema da delimitação das porcentagens das áreas da microbacia no Cenário 03. .....	75
Figura 22: Exemplo de hietograma considerando o milímetro de chuva captado – Cenários 04. .....	78
Figura 23: Exemplo de hietograma considerando o milímetro de chuva captado – Cenário 07. .....	79
Figura 24: Microbacias mais urbanizadas no Cenário 01. ....	93
Figura 25: Comparação dos cenários com reservatório e o Cenário 01. Média das variações observadas nas microbacias urbanizadas. ....	94
Figura 26: Comparação dos cenários com reservatório e o Cenário 01. Média das variações observadas nas microbacias com cobertura vegetal expressiva. ....	95
Figura 27: Comparação dos cenários com reservatório e o Cenário 02. Média da variação encontradas nas microbacias.....	96

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Equações de tempo de concentração elaboradas empiricamente em trabalhos anteriores. ....	16
Quadro 2: Lista de Medidas de controle básicas.....	21
Quadro 3: Coeficientes de <i>runoff</i> médios. ....	26
Quadro 4: Parâmetros urbanísticos das zonas de interesse do estudo. ....	35
Quadro 5: Parâmetros urbanísticos das zonas de interesse do estudo, segundo a nova proposta do PDM. ....	38
Quadro 6: Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração (Método do SCS). ....	41
Quadro 7: Relação dos valores de CN, comparando as classificações dos arquivos de uso e ocupação do solo e as classificações utilizadas em literatura. ....	42
Quadro 8: Considerações de cálculos para estimar a porcentagem de área verde. ....	72
Quadro 9: Condições do uso e ocupação do solo para o Cenário 02. ....	74
Quadro 10: Condições do uso e ocupação do solo para o Cenário 03. ....	75



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de entrada da modelagem hidrológica em cada microbacia. ....	69
Tabela 2: Valores de CN e porcentagem de área impermeável considerados na modelagem hidrológica em cada cenário. ....	81
Tabela 3: Comparação entre os valores de CN de cada cenário.....	82
Tabela 4: Contribuição da captação nos hietogramas do Cenário 04.....	84
Tabela 5: Volumes captados em cada cenário.....	85
Tabela 6: Picos de vazão (m <sup>3</sup> /s) nos cenários 01, 02 e 03. ....	87
Tabela 7: Picos de vazão (m <sup>3</sup> /s) nos cenários 04, 05 e 06. ....	87
Tabela 8: Picos de vazão (m <sup>3</sup> /s) nos cenários 07, 08 e 09. ....	88
Tabela 9: Variações de picos de vazão comparando os cenários 01, 02 e 03.....	89
Tabela 10: Variações de picos de vazão comparando os cenários 02, 04, 05 e 06. ....	90
Tabela 11: Variações de picos de vazão comparando os cenários 02, 07, 08 e 09. ....	91
Tabela 12: Variações de picos de vazão comparando os cenários 01, 04, 05 e 06. ....	92
Tabela 13: Variações de picos de vazão comparando os cenários 01, 07, 08 e 09. ....	92

## LISTA DE SIGLAS

BMP - *Best Management Practices*  
CLUE-S - *The Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent*  
CN - *Curve Number*  
Hec-HMS - *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*  
Hec-RAS - *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*  
IDF - Intensidade-Curva-Frequência.  
IEMA - Instituto Estadual do Meio Ambiente  
IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano  
LID - *Low-Impact Development*  
MDT - Modelo digital de Terreno  
ND - Núcleo de Desenvolvimento  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
ONU - Organização das nações Unidas  
PD - Plano Diretor  
PDD - Plano Diretor de Drenagem  
PDDUS - Plano Diretor de Drenagem Urbana Sustentável  
PDM - Plano Diretor Municipal  
RAAC - Reservatório de Armazenamento de Água de Chuva  
RADAM BRASIL - Projeto Radar da Amazônia  
RMGV - Região Metropolitana da Grande Vitória  
SCS - Soil Conservation Service  
SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*  
USACE - *United States Army Corps of Engineers*  
ZEIA - Zona de Especial Interesse Ambiental  
ZEIE - Zona de Especial Interesse Econômico  
ZEIP - Zona de Especial Interesse Público  
ZEIS - Zona de Especial Interesse Social  
ZEIU - Zona de Especial Interesse Urbanístico  
ZOP - Zona de Ocupação Prioritária  
ZOR - Zona de Ocupação Restrita

## RESUMO

O crescimento das cidades apresenta como consequência o espraiamento da malha urbana em direção a espaços com predomínio de cobertura vegetal localizado às margens da região urbana. Gradativamente, áreas permeáveis tornam-se impermeáveis, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a recarga hídrica do lençol freático em eventos pluviométricos.

Esses impactos hidrológicos podem ser mitigados por meio de um planejamento urbano que inclua um gerenciamento adequado do manejo águas pluviais preferencialmente antecedentes à consolidação da área urbana. A integração de medidas estruturais e não estruturais devem ser analisadas de maneira macro de acordo com as necessidades e possibilidades de cada bacia de drenagem urbana. A participação pública tem um papel importante em consolidar esses dados e torná-los um auxílio na tomada de decisão de cunho legislativo sobre a drenagem urbana.

Os reservatórios de armazenamento de água de chuva (RAAC) são uma das práticas alternativas de retenção na fonte utilizadas para mitigar os picos de chuva em áreas urbanas. Em algumas cidades, essa prática é exigida em lotes com pré-requisitos específicos por orientação de documentos legislativos.

Nesse trabalho são apresentados os resultados da simulação da bacia do Canal de Guaranhuns, localizado em Vila Velha, Espírito Santo, utilizando RAAC em uma situação em que a zona urbana apresenta a estrutura orientada pelo Plano Diretor Municipal.

Na simulação, foi utilizado o método de transformação de chuva-vazão SCS por meio do *software* Hec-HMS. Após a representação dos volumes de armazenamento nos hietogramas de chuva, os mesmos foram inseridos no modelo a fim de estimar os picos de vazão em cada microbacia. Na análise dos resultados, observou-se que os reservatórios não apresentam capacidade para reduzir os picos de escoamento aos níveis hidrológicos de pré-ocupação. No entanto, em situações mais realistas, podem reduzir os picos de vazão em cerca de 10% para retornos pluviométricos com períodos de retorno de 5 anos, viabilizando seu uso junto às demais práticas de mitigação de impactos hidrológicos.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional nas zonas urbanas, o aumento dos serviços e da infraestrutura ocorre de acordo com a demanda da região. Os sistemas viários são implantados em áreas de maior valor econômico com morfologia plana e principalmente próximas as várzeas dos rios, chamando-os de “vias de fundo de vale”. Pouco a pouco, nota-se a presença de comércios, residências e estruturas próximas aos rios que, por sua vez, passaram a ser canalizados, intensificando o processo de impermeabilização e o aumento nos picos de vazão (CANHOLI, 2005). Desde então, a impermeabilização do solo e o crescimento populacional ao longo das margens dos rios vêm produzindo adversidades associadas aos eventos hídricos extremos como alagamentos e inundações, impactando as cidades continuamente.

Yin (2015) menciona que a vulnerabilidade social e funcional associada à alagamentos urbanos ainda não é conhecida adequadamente, não sendo comumente publicada na literatura técnica. Esse fato está ligado à dificuldade de se mensurar a relação direta e indireta entre a vulnerabilidade das comunidades ribeirinhas sujeitas a inundações e alagamentos urbanos.

É necessário que o planejamento urbano dos municípios esteja integrado às demandas de escoamento pluvial da região onde se localiza. Para contemplar as restrições e alterações das atividades urbanas, de modo a minimizar os impactos causados pelos eventos de chuvas intensas, é preciso utilizar metodologias que promovam o entendimento do comportamento hidrológico da região. Dessa forma, pode-se introduzir a problemática da drenagem urbana na gestão de ocupação das cidades.

Normalmente, a gestão urbana e o parcelamento do solo estão associados à organização territorial estabelecida pelo Plano Diretor Municipal, o qual define a finalidade das áreas contidas dentro do perímetro urbano do município. Nas zonas de expansão urbana, o planejamento no ordenamento se torna importante para garantir uma ocupação adequada que reduza os impactos associados à impermeabilização e à supressão de áreas ribeirinhas. Ferramentas como parâmetros urbanos e orientações na utilização de reservatórios de armazenamento de água de chuva (RAAC) estão presente nesses planos de forma a auxiliar na redução do impacto associados aos picos de chuva.

Na gestão do sistema de drenagem urbana são necessários dados consistentes que representem o comportamento hidrológico. Por meio de tais dados, são estabelecidos os picos de vazão ocasionados pela precipitação excedente que, quando definidos, podem auxiliar na geração de dados úteis à tomada de decisão de acordo com os principais impactos encontrados.

A inexistência de dados fluviométricos por meio de campanhas sistemáticas em áreas urbanas, instiga práticas indiretas de estimativa de vazões como pelo modelo matemático de transformação de chuva em vazão (CANHOLI, 2005; FENDRICH, 2008). Esses modelos de chuva-vazão são baseados no cálculo da chuva excedente para estimar o escoamento superficial que contribuirá com a vazão dos corpos d'água. A relação entre a intensidade da chuva e vazão é dada em função da característica da bacia hidrográfica com tipo de solo, declividade, área da bacia o tipo de ocupação do solo.

O *software* Hec-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) foi utilizado no desenvolvimento do trabalho, a fim de realizar a transformação de chuva em vazão em uma bacia hidrográfica. Com essa ferramenta, pretende-se representar os eventos hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Canal Guaranhuns, localizada no município de Vila Velha, Espírito Santo, Brasil. Essa região apresenta sensibilidade a inundações, visto a influência de fatores hidrológicos e estruturais, como o sistema de comporta e dique, que delimita o escoamento a bacia ao rio Jucu, além da impermeabilização atual e a tendência do espraiamento da mancha urbana.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a capacidade de amortecimento dos reservatórios de armazenamento de água de chuva em uma zona urbana, considerando a influência das atividades estabelecidas pelo parcelamento urbano e uso e ocupação do solo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Representar o comportamento hidrológico das microbacias hidrográficas da bacia do Canal de Guaranhuns a partir do modelo de chuva-vazão.
- Comparar os picos da microbacias hidrográficas, identificando os fatores mais relevantes para a diferenciação entre eles.
- Analisar o impacto hidrológico dos picos de vazão com a utilização de reservatórios de armazenamento de água de chuva, seguindo as orientações de uso do solo apresentada no Plano Diretor Municipal do município em estudo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

No estudo apresentado, serão mencionadas algumas características hidrológicas de evidente importância na interpretação dos dados hidrológicos em bacias hidrográficas urbanas.

##### 3.1.1 Chuvas intensas

As chuvas ou precipitações intensas ocorrem quando o nível de chuva atinge um valor elevado por unidade de tempo (mm/h ou m/h). Em estudos estatísticos, os índices pluviométricos são associados a um período de retorno, significando o período provável em que dado valor é superado ou igualado. Esses dados são utilizados em metodologias de obtenção de vazão fluvial, sendo que, no método indireto, as vazões de projeto de um sistema de drenagem urbana são estimadas por meio de modelos de transformação chuva-vazão (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Os pluviômetros e pluviógrafos são os equipamentos utilizados na geração dos dados pluviométricos, com princípio de medir o volume de chuva por área unitária e unidade de tempo. O pluviômetro permite registrar o volume de chuva de um dia e o pluviógrafo registra a variação de chuva ao longo do tempo, representando de forma mais realista os eventos de chuva.

Existem alguns métodos disponíveis em literaturas consagradas para se construir uma equação de chuva intensa a partir dos dados obtidos por pluviômetros, tais como, o método de Chow-Gumbel, que ajusta uma distribuição probabilística de Gumbel a partir da média aritmética e do desvio-padrão de uma série anual de precipitações máximas diárias.

Segundo Tucci & Marques (2000), a determinação da quantidade de chuva pode ser dada pela relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Com o auxílio dos dados gerados por pluviógrafos, são elaboradas séries históricas dos maiores eventos pluviométricos anuais para diferentes durações de chuva. Essas informações são distribuídas estatisticamente possibilitando a determinação das curvas IDF, que podem ser ajustadas pela Equação 01.

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(td+c)^d} \quad (01)$$

Em que  $i$ , intensidade de chuva (em que será representado por mm/h), está relacionado a  $Tr$ , período de retorno (anos), e a  $td$ , duração de chuva (min), por meio das constantes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ .

Para a Grande Vitória, foi elaborada uma relação de Intensidade-Duração e Frequência por meio de dados coletados em um pluviógrafo utilizado no trabalho de Sarmento, 1974. Em 1985, a equação foi atualizada pelo autor, chegando a Equação 02.

$$i = \frac{973,47 \cdot Tr^{0,19}}{(td+20)^{0,77}} \quad (02)$$

### 3.1.2 Tempo de concentração

Considera-se como tempo de concentração a duração necessária para que toda a bacia de drenagem passa a contribuir com a vazão do exutório, a partir do instante de início da precipitação (TUCCI, 1998). Isso significa que o parâmetro é contabilizado até o momento em que a precipitação com maior tempo de escoamento superficial alcance a seção do corpo d'água no limite de jusante da bacia.

Bacias com trechos de rios muito longos apresentam tempos de concentração maiores, e em bacias muito declivosas, onde a velocidade apresenta valores intensificados, observa-se tempos de concentração menores.

Trabalhos anteriores apresentam equações de tempo de concentração originadas empiricamente (Quadro 1), Sendo  $S$  a declividade média da bacia (m/m) e  $L$  o comprimento do talvegue (m). Os valores foram gerados por meio de dados de campo de bacias com características em comum. Para escolher as equações mais adequadas, é necessário comparar as características levantadas em cada estudo, a fim de escolher a que mais se assemelhe a bacia estudada.



Quadro 1: Equações de tempo de concentração elaboradas empiricamente em trabalhos anteriores.

<b>Autor</b>	<b>Equação</b>	<b>Origem e Aplicabilidade</b>
Corps Engineers	$T_c = 11,46L^{0,76}S^{-0,19}$	Bacias rurais com até 12.000 Km <sup>2</sup> , declividades médias inferiores a 14% e comprimento do talvegue máximo de 257 Km (Silveira, 2005).
Carter	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$	Bacias urbanizadas com áreas entre 16 e 21 Km <sup>2</sup> e baixas declividades do talvegue (McCuen, Wong e Rawls, 1984).
Picking	$T_c = 5,298L^{0,667}S^{-0,333}$	Desconhecidas (Silveira, 2005).
DNOS	$T_c = 25,14k^{-1}A^{0,3}L^{0,2}S^{-0,4}$	Desconhecidas (Silveira, 2005).
Ven te Chow	$T_c = 9,60L^{0,64}S^{-0,32}$	Bacias rurais, com áreas de 1 a 19 Km <sup>2</sup> (Silveira, 2005).
Kirpich	$T_c = 3,989L^{0,77}S^{-0,385}$	O valor de Tc deve ser multiplicado por 0,2 ou 0,4, conforme sejam canais de betão ou asfaltados, respectivamente; para bacias rurais (0,50 - 45,3 ha) com canais bem definidos e de declives entre 3 a 10%. (Porto, 1995).
Bransby Willians	$T_c = 14,6LS^{-0,2}A^{-0,1}$	Especialmente a bacias rurais (Moth, 1998).
Johnstone	$T_c = 20,17\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,5}$	Bacias com área de 65 a 4200 Km <sup>2</sup> (Pinto, et al. 1976).
SCS – Lag fórmula	$T_c = 3,42L^{0,8}S^{-0,5}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}$	Para bacias homogêneas com área menos que 2000 ha (SCS, 1986).

Como no *software* Hec-HMS o tempo de concentração será utilizado para calcular o valor do Lag time. Conforme Ponce (1989), o Lag time é equivalente a 60 % do tempo de concentração.

### 3.2 ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS EM AMBIENTES URBANIZADOS

A literatura sugere que o escoamento superficial proveniente das chuvas aumenta com o desenvolvimento urbano e na proporção da impermeabilização das áreas urbanas; essa relação, no entanto, não é necessariamente linear. Simulações apresentam a compactação do solo como uma das causas do aumento nos picos de vazão, no entanto a magnitude dessa influência varia entre os estudos. Em bacias menores, onde o tempo de resposta é menor, a restrição na infiltração das águas pluviais tem maior efeito sobre o pico de vazão (ALAOUI et al, 2017).

Segundo Tucci (2002), é possível observar um aumento das vazões máximas (até sete vezes mais) e da frequência de eventos críticos à medida que a cidade se urbaniza, devido a redução da capacidade de infiltração o aumento no escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies. Em estudo realizado em Charlote, North Carolina, Bell et al (2016) também apresentam, em um estudo com 16 bacias urbanas, a correlação da taxa de impermeabilização do solo com o aumento do pico de vazão ao longo dos anos de registro.

Em um estudo realizado na região metropolitana de Seoul, Lee et al (2010) analisaram a alteração no ciclo hidrológico da bacia de drenagem de Goonja, utilizando dados de áreas impermeáveis dos períodos de 1975 e 2005. A variação de 43 para 84% de área impermeável, resultou no decréscimo da 74% na recarga do lençol freático e 29% da evapotranspiração, e aumentou o escoamento superficial em 41%.

No experimento elaborado por Barbassa e Campos (2010), observou-se um aumento médio de mais de 6 vezes da precipitação excedente quando a impermeabilidade do lote, antes permeável, alcança uma taxa de 75% de impermeabilidade.

Em um estudo realizado em Bélem, Pará, Targa et al (2012), analisaram a impermeabilização urbana da bacia hidrográfica Igarapé Tucunduba. Utilizando o método SCS de transformação de chuva-vazão observou-se um aumento de 127% da precipitação efetiva associado ao deslocamento do valor do *Curve Number* (CN) de 77,04 para 95,90 (24,58%) causado pela urbanização ocorrida no período de 1972 a 2006.

Na sub-bacia urbana de Chennai, Índia, chamada Thirusoolam, foi comparado o comportamento hidrológico com a cobertura de uso do solo dos anos de 1976 e 2005. Os dados foram processados utilizando o modelo SCS por meio dos *softwares* Hec-HMS e no Hec-RAS. Os resultados em hidrogramas mostraram um aumento no pico de vazão de 25% para um

período de retorno de 100 anos (384 para 482 m<sup>3</sup>/s), associado a um incremento de 23 para 39% e área urbana construída (SURIYA; MUDGAL, 2012).

Mathias, Cunha e Moruzzi (2013) observaram que em vazões provenientes de chuvas com duração de 60 minutos para um período de retorno de 2 anos, em condições de pré-ocupação, foram multiplicadas por 10 quando submetida à condição de 84% da taxa de ocupação da região. Os dados foram extraídos dos estudos realizados no córrego Tucunzinho, localizado no município de São Pedro, do estado de São Paulo.

Com dados de área urbanizada e o escoamento superficial total dos anos de 1985 e 2008, Zhou et al (2013) utilizaram dois *softwares* para simular o comportamento hidrológico do delta do rio Yangtze, o SWAT e o CLUE-S. Observaram um aumento de 5,7% na da vazão total no delta do rio enquanto que a taxa urbanizada na bacia de contribuição foi alterada 8,0 para 39,3%. Os autores perceberam que o acréscimo de área urbanizada apresenta mais influência sobre os picos de vazão do que sobre os volumes de inundação.

Semadeni-Davies et al. (2008) realizaram estudos em Helsingborg investigando os impactos da mudança climática e da urbanização no sistema de drenagem. Concluíram que ambos aspectos, urbanização e mudança climática (referente à ocorrência de chuvas), apresentam incremento nos picos de vazões máximas após tempestades. As medidas de controle seriam insuficientes na mitigação dos impactos, não sendo capazes de eliminar os impactos causados por ambas as alterações do meio.

### 3.3 CONTROLE DE ÁGUAS PLUVIAIS

Graças à elevada taxa de urbanização atualmente encontrada, inundações ocorrem dada a opção utilizada para resolver o problema do escoamento pluvial. A visão pontual de engenheiros tende a elevar a velocidade de escoamento, drenando a área em questão e, como consequência, acabam transpondo o problema para jusante da bacia (TUCCI; MELLER, 2007; TUCCI; BERTONI, 2003).

Mesmo em ambientes urbanos com histórico de danos por eventos de cheias, é possível minimizar os impactos por meio de medidas de controle de águas pluviais. Com estudos do escoamento das águas em conjunto com o armazenamento de depressões, lagos, baixadas, canais e várzeas dentro do ambiente urbano, pode-se garantir o bem-estar da população afetada ao reduzir esses impactos (WALESH, 1989).

As medidas de controle de águas pluviais estão classificadas de acordo com a natureza da intervenção. Dividem-se em medidas estruturais e não estruturais. O uso dessas medidas pode reduzir os transtornos nas áreas ribeirinhas. O estudo que viabiliza a combinação das medidas faz parte do planejamento de drenagem urbana (TUCCI, 2001; CANHOLI, 2005). Nos itens a seguir serão descritas as medidas de controle.

### **3.3.1 Medidas não estruturais**

As medidas não-estruturais são caracterizadas por ações de planejamento, mesmo vinculada a algumas obras em suas ações. Dessa forma, assume um caráter preventivo e informativo, pois ao contrário das medidas estruturais, são mais fáceis de implantar ou definir em localidades onde a urbanização ainda não tomou grandes proporções. Devido à natureza dessas medidas, é necessário menos tempo e recurso para serem implantadas, podendo ser realizadas por indivíduos ou unidades privadas (TUCCI, 2002; WALESH, 1989; CANHOLI, 2005).

Canholi (2005) apresenta uma divisão entre as medidas não estruturais mais adotadas, agrupando-as em quatro grupos: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, da erosão e do lixo; seguro-enchente; e sistemas de alerta de cheias.

À medida que se mapeia as áreas inundáveis em função do risco, é possível criar um zoneamento urbano de forma a definir o uso e ocupação de acordo com os eventos de cheias. Dessa forma, impede-se a ocupação em áreas ribeirinhas, transformando-as em ambientes coletivos, regulamentando construções ou eventuais obras de proteção individual como comportas, portas estanques e outras. Ghanbarpour, Savari e Salimi (2014) acrescentam a necessidade de determinar essas áreas junto das populações afetadas pelas inundações, a fim de conscientizá-las e, ao mesmo tempo, complementar os estudos de padrão de escoamento com relatos da população afetada.

Em um estudo na bacia Hidrográfica do Riacho do Prado localizado em Campina Grande, Paraíba, Santos, Rufino e Barros Filho (2017) observaram problemas de alagamento recorrentes em uma zona de recuperação urbana definida pelo Plano Diretor no Município. Destacaram sobre a impermeabilização de áreas vulneráveis em função do relevo e enfatizaram a necessidade de revisar o sistema de microdrenagem em algumas áreas com estagnação de escoamento.

O conhecimento dos riscos locais também pode auxiliar na estimativa do seguro-enchente de uma determinada região, além de direcionar o enfoque da informação apresentada à população sujeita aos riscos. Esses riscos podem ser definidos por meio de modelos hidrológicos e hidráulicos, conhecendo as áreas inundáveis estimadas de acordo com a vazão associada ao período de retorno (BASHIRI-ATRABI et al, 2015; CROKE et al, 2014; ZOPE et al, 2015).

O sistema de alerta e previsão visa prevenir a localidade possivelmente afetada nos eventos de inundação, reduzindo o número de vítimas fatais e grandes prejuízos pelo alagamento das vias, aprisionamento de veículos, inundação de edificação e equipamentos.

Em um planejamento eficaz na melhoria do controle de sistema de drenagem pluvial, é ideal o uso em conjunto das medidas estruturais e não estruturais. Em situações em que os custos das medidas de controle inviabilizam o planejamento adequado, o sistema de alerta se apresenta como uma medida de baixo custo com redução de danos esperados a curto prazo.

A literatura apresenta alguns estudos que utilizam a técnica LID (*Low-Impact Development*) abordando em sua linha cerne o planejamento urbano associado a drenagem. Em uma linha verde e de medidas descentralizadas, busca preservar o comportamento hidrológico pré-urbanizado por meio de controle das águas pluviais na fonte, incluindo a permeabilização e a contenção do escoamento de forma difusa na bacia de drenagem (ZHANG, 2016; BAEK, 2015).

### **3.3.2 Medidas estruturais**

As medidas estruturais correspondem às intervenções por meio de execução de grandes obras e manutenção como, por exemplo, bacias de detenção ou retenção que visem a sedimentação de sólidos ou a retenção de resíduos sólidos. Essas obras podem ser utilizadas para o controle quantitativo e qualitativo do escoamento das águas pluviais. As medidas estruturais são conhecidas pelo alto custo de implantação e operação, pois além do custo de mão de obra e materiais, são comumente realizadas em ambientes com urbanizados consolidada, corrigindo problemas ao invés de preveni-los (WALESH, 1989)

As medidas estruturais podem ser caracterizadas como medidas intensivas e medidas extensivas, de acordo com a sua abordagem.

As medidas intensivas se dividem em quatro grupos de obras em função do seu objetivo: aceleração do escoamento como canalização e obras correlatas; retardamento de fluxo por reservatórios (bacias de detenção/retenção) e restauração de calhas naturais; desvios de

escoamento como túneis de derivação ou canais de desvio; e obras que englobem a introdução de ações individuais visando tornar as edificações à prova de enchentes (CANHOLI, 2005).

Um exemplo de intervenção intensiva foi implantado em Recife, Pernambuco, em uma área com influência de maré. Comparando dois eventos similares, observou-se que a presença do reservatório de detenção reduziu o volume de inundação em cerca de 38% e o tempo de duração da mesma em 30,25% (DA SILVA JUNIOR; SILVA; CABRAL, 2017).

As medidas extensivas estão mais próximas das medidas não-estruturais, pois apresentam algum nível de planejamento integrado da bacia hidrográfica, uma vez que suas ações são disseminadas ao longo da bacia. Em seus exemplos estão o armazenamento de águas pluviais, a recomposição da cobertura vegetal e o controle da erosão do solo, sempre de maneira a atender para os pontos críticos da bacia. Dependendo do autor, as obras que visem tornar edificações à prova de enchentes podem ser caracterizadas como medidas extensivas ou não-estruturais (TUCCI, 2001; WALESH, 1989; CANHOLI, 2005).

Walesh (1989) também menciona os sistemas de infiltração como uma medida de controle que podem ser vistos como medidas extensivas quando distribuídos pela bacia hidrográfica em questão.

Vale destacar que as medidas estruturais podem não apresentar resultados efetivos quando não estão associados a medidas não estruturais que contemplem uma visão geral da bacia de drenagem ou instrumentos legais e de parcelamento e uso do solo para contribuir com a execução de medidas estruturais, que muitas vezes apresentam caráter pontual.

No intuito de reestabelecer uma condição de pré-urbanização nas cidades já urbanizadas, devem se identificar abordagens que garantam a qualidade de água e o controle de volumes, velocidades e vazões no sistema de drenagem. Os princípios básicos de armazenamento e/ou infiltração de águas pluviais podem ser atendidos por meio do emprego de bacias de detenção, bacias de retenção, banhados ou zonas de úmidas, pavimentos permeáveis, cisternas, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras e poços de infiltração (POLETO et al, 2015), dentre outros, como mencionado no Quadro 2.

Quadro 2: Lista de Medidas de controle básicas.

<b>Obra</b>	<b>Característica Principal</b>	<b>Função</b>	<b>Efeito</b>
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas

Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
Microrreservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Bacia de detenção	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia de retenção	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Condutos de armazenamento	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: Silveira (2002).

Os pavimentos porosos, além da função de armazenamento e retardo do escoamento como apresentado no Quadro 2, também apresentam a possibilidade de fornecer condições para depuração das águas pluviais em alguns parâmetros como sólidos totais, turbidez, fósforo total e nitrogênio total. Estudos apresentam reduções de nitrogênio total e fósforo total na faixa de 40 a 80%, dependendo da vegetação utilizada no pavimento poroso, redução de sólidos suspensos em até 76% e de turbidez de até 58% (SCHULER et al, 2009, apud MOURA et al, 2015).

A estruturação da seção do rio pode ser estabelecida em diferentes patamares. Um patamar principal para vazões com maior frequência e um secundário para suportar as vazões responsáveis por inundações na região, funcionando como uma pequena bacia de detenção, revestido de vegetação lindeira para retardar o escoamento e facilitar o processo de infiltração. Estudos no trecho entre o Rio Ródano e Lippe, na Alemanha, preveem seções mistas para suportar vazões de enchente com o principal objetivo de garantir que a água pluvial não entre

em contato com o sistema de esgoto localizado nas vias urbanas (LONDONG e BECKER, 1994, apud CANHOLI, 2005).

Seguindo a adoção de tecnologias de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID – *Low-Impact Development*), Palanisamy e Chui (2015) simularam por meio do *software* SWMM os canais da área urbana de Singapura com cobertura vegetal. Eles simularam a alteração no pico de chuva por meio da alteração de canais de concreto por canais com cobertura vegetal com sistema de infiltração. Os resultados mostraram que a alteração sugerida em 0,07% da área da bacia de contribuição poderia reduzir o pico de escoamento de 6 a 14%, dependendo da magnitude do evento pluviométrico.

Em Sidney, na Austrália, canais retilíneos revestidos em concreto foram reconstruídos por canais sinuosos e revestidos com grama, a fim de reduzir o impacto a jusante, principalmente pelo aumento da perda de carga devido aos obstáculos e à presença de revestimento vegetal, aumentando a capacidade de arraste do canal (FROST, 2002). Em paralelo com a coleta de esgoto na bacia de drenagem, a baixa velocidade de escoamento dos cursos d'água estimula a proliferação de organismos naturais ao ecossistema hídrico com potencial de depuração da matéria orgânica e, portanto, contribuindo com a qualidade da água do manancial (SEMADS, 2001).

Além de apresentarem um papel importante na infiltração do solo e controle do escoamento superficial, as áreas verdes podem ser tratadas como uma ferramenta política e econômica. Zhang et al (2012) observaram que o volume de água armazenado nas áreas verdes de Beijing no ano de 2009 foi de 2494 m<sup>3</sup>/ha. Levado em consideração o custo do tratamento de água utilizada nessa região, poderiam ser economizados o equivalente a 3,18 mil dólares por hectare de espaço verde, alertando órgãos públicos sobre a utilização de políticas de prevenção e criação desses espaços.

### **3.3.2.1 Reservatórios de armazenamento de água de chuva (RAAC)**

Segundo Silveira (2002), os microrreservatórios, RAAC's, tem o objetivo de retardar e/ou reduzir o escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas. Desta forma, torna-se um dispositivo para auxiliar na redução do escoamento a níveis encontrados em uma situação pré-urbanizada, como apresentado por Tucci, Porto e Barros (1995).

Esses reservatórios chamados por Baptista et al (2015) de reservatórios individuais ou microrreservatórios individuais, apresentam evacuação preferencial por infiltração no solo ou



por conexões de controle até o exutório, sendo normalmente ligado à rede de drenagem (BAPTISTA et al, 2015), no intuito de aumentar a recarga hídrica do lençol freático e reduzir o escoamento superficial gerado pela área atendida.

Baptista et al (2015) menciona o uso da água captada para fins como irrigação, lavagem de automóveis, instalações sanitárias, etc. Em outros casos, a água de pias, de torneiras de áreas comuns e da máquina de lavar roupa chamadas de águas servidas, também são armazenadas com a água da chuva para garantir o reuso das mesmas (TOMAZ, 2011).

O principal problema desses dispositivos está relacionado a dificuldade em garantir a manutenção periódica de todos os dispositivos da bacia visto a localização difusa na bacia e a localização em áreas privadas. A manutenção precária pode inviabilizar o sistema podendo causar poluição do lençol quando se trata de reservatório com evacuação por infiltração (BAPTISTA et al, 2015).

Por se localizarem em áreas privadas, é importante avaliar a aceitação da população local na utilização de equipamentos de armazenamento de água de chuva. No caso da Sub-bacia Hidrográfica Urbana da Ponte Seca, em Jaboticabal, São Paulo, Costa Junior e Barbassa (2006) observaram por meio de uma pesquisa amostral nos lotes que 82,8% dos lotes aceitaram a instalação do reservatório de água de chuva, demonstrando a disposição de grande parte da população, não incluindo apenas a parcela da população afetadas pelas inundações.

Em uma simulação em microescala, Palla, Gnecco e La Barbera (2017) analisaram a influência dos sistemas domésticos de captação de água de chuva sobre a variação do comportamento hidrológico em um conjunto de lotes que ao todo somam 0,59 há, com 43% de área verde, localizado em Genova, Itália. Foram registrados os dados de pico de vazão e de volume precipitado em 2125 eventos de chuva. Observaram uma redução média de 33% no pico de chuva e 26% no volume precipitado, com reduções máximas de 65% e 51%, respectivamente.

Sob o aspecto de planejamento financeiro, Tassi e Villanueva (2004) observaram custos mais elevados na implantação de microrreservatórios em lotes quando comparados com os reservatórios convencionais ligados ao curso d'água da bacia. No entanto, o estudo desconsidera a adequação dos condutos a montante e jusante dos reservatórios convencionais. Em contrapartida verificaram que a presença de microrreservatórios podem reduzir a demanda dos macrorreservatórios, diminuindo em até 29% o custo dos mesmos.

- **Estruturas**

Os tanques utilizados são geralmente pré-fabricados, em estrutura de alvenaria, concreto ou de fibra e são alocados dentro ou fora da edificação, enterrados ou a céu aberto sendo conectados ou não ao sistema de drenagem (BAPTISTA et al, 2015).

No percurso da captação até o lançamento em escoamento pluvial, no geral estão presentes os seguintes dispositivos: calhas, tubulações, dispositivos de autolimpeza, tanque de armazenamento e dispositivos de controle de vazão (TOMAZ, 2011). O último é composto por duas saídas. A primeira estabelece a vazão quando o sistema não está totalmente preenchido, sendo o diâmetro ou a vazão em alguns casos definidos pelo órgão público em função da área impermeável do lote. A segunda saída determina o volume máximo de armazenamento, eliminando o excesso, como observado na Figura 1. Em alguns casos a primeira e a segunda saída podem ou não ser agrupadas em uma mesma tubulação (BAPTISTA et al, 2015).

A função da primeira saída de água é atenuar o pico de cheia. No entanto, quando mal construída, pode obter resultados com o pico de vazão variando cerca de 50%, em função do diâmetro e do posicionamento do orifício (DRUMOND; COELHA; MOURA, 2014).

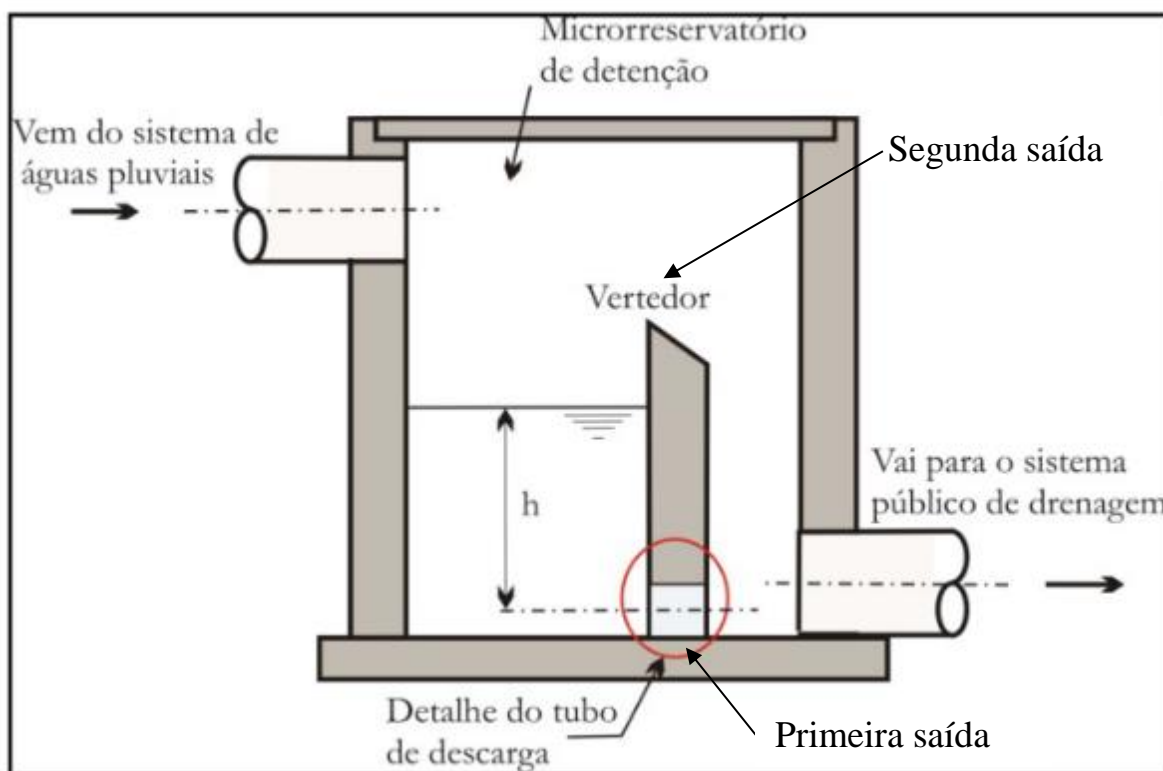


Figura 1: Exemplo de reservatório de armazenamento de água de chuva (RAAC) com duas saídas. Fonte: DRUMOND; COELHA; MOURA, 2014.

Em sistemas mais simples o tanque de armazenamento apenas apresenta vazão de saída quando alcança o limite máximo de armazenamento. Esses sistemas, por preencherem mais rápido,

amortecem a chuva em um tempo reduzido. Esses sistemas, análogo aos armazenamentos de grande porte, tem como objetivo reduzir os picos de cheia por meio do retardo do escoamento (CANHOLI, 2005). A água armazenada poderá ou não ter finalidades ligadas à utilização em algumas atividades do empreendimento (BAPTISTA et al, 2015).

Outro exemplo de retenção de águas pluviais é exigido pelo Plano Diretor de Goiânia, chamadas pelo mesmo de caixas de recarga. Com a mesma intenção de diminuir o impacto causado pela impermeabilização, esses dispositivos também apresentam como objetivo a reposição do lençol freático da área urbana. Diferente das bacias de retenção, a água armazenada não é utilizada em utilidades domésticas (GOIÂNIA, 2007).

- **Dimensionamento**

Dentre os métodos utilizados para o dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva, Tomaz (2011) sugere o Método de Rippl e o Método de Monte Carlo. Ambos utilizam a relação entre a oferta anual de água pluvial e o consumo de água não potável para calcular o volume do reservatório.

Ambos métodos citados acima utilizam o coeficiente de *runoff* para considerar as perdas no escoamento, sendo um valor estabelecido de acordo com a composição da área de captação como apresentado no 3. No entanto, de maneira generalizada, Tomaz (2011) orienta a utilização de 95% para esse coeficiente.

Quadro 3: Coeficientes de *runoff* médios.

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de <i>runoff</i></b>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2011).

A fim de facilitar o dimensionamento desses dispositivos, normas e legislações apresentam sugestões simplificadas de modo a difundir a utilização dos mesmos. Em alguns casos a utilização desses equipamentos é obrigatória em condições predefinidas por órgãos públicos.

### 3.4 DRENAGEM NA GESTÃO URBANA

A Constituição Federal de 1988 obriga a Câmara Municipal a elaborar o Plano Diretor Municipal para as cidades com mais de vinte mil habitantes, com principal objetivo de auxiliar na busca do bem-estar da população e no pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade. No Estatuto das Cidades, esse plano é apresentado como um dos instrumentos de orientação das políticas de desenvolvimento na ordenação e expansão do uso do solo de áreas urbanas.

SCHEEREN et al. (2007) frisam a importância do Plano Diretor em orientar a solução de problemas em áreas marginais. Os autores destacam a necessidade de envolver mais esforços no ponto de vista da drenagem devido à preocupação sobre os transtornos e riscos à saúde da população causados pela má gestão dos cursos d'água urbanos.

Caracterizando os Planos Diretores como uma medida preventiva na drenagem urbana, Cruz e Tucci (2008) compararam os custos em 27 bacias hidrográficas de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, em um cenário com apenas medidas corretivas e outro cenário que inclui medidas preventivas. Os dados apresentam uma economia de 1,9 bilhões (-61%) de reais no cenário que inclui medidas preventivas em relação ao gasto de 3,1 bilhões do outro cenário. Seguindo com medidas preventivas até 2025 (desde 2008), foi levantada uma economia de 487 milhões (-63%) de reais contra 776 milhões que seriam gastos apenas com medidas corretivas.

Usando metodologia de desenvolvimento de baixo impacto (LID), Tavanti e Barbassa (2012) simularam a microbacia urbana na área no Campus da Universidade Federal de São Carlos, na sub-bacia do Rio do Monjolinho, no município de São Carlos, São Paulo. Foi considerado o aumento das áreas permeáveis como parques e áreas verdes, estruturas impermeáveis (vias e telhados) conectados a reservatórios de retenção ou infiltração, preservação da cobertura vegetal, entre outras. Por meio de indicadores hidrológicos foi possível chegar a níveis de preocupação. Usando a mesma metodologia (LID), Hu et al (2017) apresentou uma redução de 2 a 17% do total de inundações e uma redução de 6 a 80% as áreas com inundações de alto risco em uma bacia urbana de Nanjing, na China, e Ahiablame e Shakya (2016) demonstrou a redução de 3 a 47% do escoamento em uma bacia urbana no centro de Illinois, nos Estados Unidos.

Utilizando a metodologia de boas práticas de gestão (BMP – Best Management Practices) em uma bacia urbana localizada na área urbana de Roma, Itália, Recanatesi et al (2017) observaram que seria possível eliminar completamente os riscos de inundação em 90% das circunstâncias, e apenas reduzir o risco de inundação em 10% das circunstâncias. O que reforça a necessidade

de gerenciar o escoamento das águas pluviais de maneira integrada e extensiva as práticas que visam a redução dos impactos causados pelas cheias em zonas urbanas.

Sabendo que os estudos de capacidade de escoamento de bacias de drenagem levam em consideração as especificidades do terreno, as análises futuras de drenagem urbana devem contemplar as características definidas em cada zona apresentada pelo plano diretor. É importante saber, sob a ótica do município, quais as atividades que impactarão na capacidade de escoamento e de infiltração em cada região do perímetro urbano, no intuito de estimar cenários mais próximos da realidade.

### **3.4.1 Planos diretores brasileiros**

Os Planos Diretores (PD) tem como objetivo auxiliar no desenvolvimento adequado das áreas urbanas, orientando por exemplo, o aproveitamento de áreas particulares inutilizadas e definindo índices de ocupação urbana. Sobre a drenagem, os planos diretores do país apresentam diretrizes em comum, porém apresentam orientações peculiaridades. Nesse capítulo serão apresentados pontos relevantes a drenagem dos planos diretores da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e de algumas capitais do país.

Foram observadas três formas de abordar a drenagem urbana nos PD's: como orientações/diretrizes que garantem a macrodrenagem do município; intervenções na fonte como os RAAC's; e na definição da taxa de permeabilidade em função do uso e a ocupação do solo. No ambiente urbano comum, são exigidos planos de saneamento que incluem a solução dos problemas de drenagem urbana, detalhando as necessidades da macrodrenagem em um plano específico dependendo das peculiaridades da bacia de drenagem urbana.

Nos lotes, a intervenção na fonte começa na definição da taxa de permeabilidade a fim de garantir a infiltração das águas pluviais, reduzindo as vazões de pico da macrodrenagem. O armazenamento das águas pluviais apresenta a mesma função, no entanto, também complementam os usos de águas não potáveis em lotes especificados definidos de acordo com o PD.

A seguir serão apresentadas as notas tiradas de alguns dos Planos Diretores a fim de contribuir com a discussão do estudo.

O manejo de áreas sujeitas à inundação e alagadiços, torna-se indispensável para manter a qualidade e quantidade do recurso hídrico e não causar danos as populações ribeirinhas. Nos

PD's dos municípios de Vitória, Fundão, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Florianópolis, Rio Branco e Brasília decreta-se como proibido o parcelamento do solo nesses terrenos antes de serem submetidos a avaliação técnica e as correções adequadas (VITÓRIA, 2006; RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO), 2011; PORTO ALEGRE, 2011; FLORIANÓPOLIS, 2014; RIO BRANCO, 2006; BRASÍLIA, 2009; FUNDÃO, 2007).

No município de São Paulo e Rio Branco, o PD orienta a priorização de parques lineares de caráter socioambiental e de interesse público em regiões determinadas como APP compatíveis com regime de inundação das várzeas (SÃO PAULO, 2002; RIO BRANCO, 2006).

Foi observado nos PD's de Vitória, Vila Velha, Viana, Florianópolis e Teresina a orientação de intervir na drenagem urbana quando associada ao licenciamento lote a lote, ou empreendimento a empreendimento. O documento exige estudos (Estudos de Impacto de Vizinhança - EIV) que incluem o impacto na drenagem urbana, avaliados pelo órgão a fim de autorizar o licenciamento do empreendimento. Para o município de Vila Velha, o PD dá poder ao órgão licenciador de exigir adequações dos empreendimentos quanto a redução de desperdício na captação de água de chuva (VITÓRIA, 2006; VILA VELHA, 2007; VIANA, 2006; FLORIANÓPOLIS, 2014; TERESINA, 2006).

O atendimento da taxa de permeabilidade do lote para garantir a infiltração do solo é obrigatório no processo de licença de alguns empreendimentos. Na maioria dos casos são exigidos de 10 a 20% de área impermeável no lote. Quando associados a zonas de interesse público ou necessidade a preservação ambiental, essa taxa pode chegar 40% de área permeável (CURITIBA, 2015; RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO), 2004).

No PD do município de Vitória, Rio Branco e de Serra, os empreendimentos que não atendem a taxa de permeabilidade definida no documento, são orientados a implantar o sistema de captação e armazenamento de água de chuva a fim de compensar os impactos causados pelo não cumprimento da taxa. Dessa maneira, a parte do lote onde a água pluvial fosse diretamente para o sistema de macrodrenagem, antes é armazenada, reduzindo o impacto a partir do amortecimento do pico de chuva por meio de armazenamento em RAAC's. Em Belo Horizonte, ambas as determinações podem ser exigidas em locais urbanos ambientalmente fragilizados (BELO HORIZONTE, 2010; VITÓRIA, 2006; RIO BRANCO, 2006; SERRA, 2012).

Como forma de estimular práticas de preservação e conservação do meio ambiente, o PD do município de Curitiba estabelece incentivo referente a desconto IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) para imóveis que promovam retenção do escoamento superficial, incluindo

o uso de sistema de captação e utilização de águas pluviais (CURITIBA, 2015). Nessa prática, Lengler, Leuck e Mendes (2014), demonstrou em estudo de caso a viabilidade na criação de um incentivo tributário para a implantação de RAAC. Foi possível amortizar o custo de implantação do equipamento por meio da isenção total do imposto durante três anos.

Seguindo o conceito de regular o regime fluvial mantendo a vazão pluvial de pré-urbanização em cada lote (TUCCI, 2001) o PD do município do Rio de Janeiro orienta a elaboração de um projeto executivo para estabelecer o limite da vazão de águas pluviais como parâmetros urbanísticos como já é trabalhado com a taxa de permeabilidade. Para o mesmo município também foi definido uma cota de soleira mínima nas baixadas inundáveis para implantação de edificações. A cota de soleira também foi exigida no PD de Goiânia, São Luís e Porto Alegre (GOIÂNIA, 2007; SÃO LUIS, 2006; PORTO ALEGRE, 2011).

Em algumas situações pode-se solicitar a utilização de RAAC's apenas para empreendimentos com área impermeáveis acima de dado limite, como realizado no Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO), 2004). Os empreendimentos com mais de 500 m<sup>2</sup> de área impermeável tem obrigação de utilizar esses reservatórios para reter o escoamento lançado na macrodrenagem.

Em uma abordagem similar ao município do Rio de Janeiro, o PD de Goiânia, além da bacia de retenção de águas pluviais, os novos parcelamentos têm a opção de caixas de recarga de lençol freático segundo a necessidade de cada sub-bacia. As caixas de recarga de lençol freático devem ser dimensionadas com 1 m<sup>3</sup> a cada 200 m<sup>2</sup> de terreno disponível (GOIÂNIA, 2007).

No PD de alguns municípios são apresentadas orientações para o dimensionamento do RAAC, apresentando equações e parâmetros para facilitar a execução adequada dessas estruturas. As equações possuem algumas diferenças dependendo do município, mas são basicamente baseados na área impermeabilizada do terreno. A orientação de dimensionamento dos municípios de Brasília, São Paulo e Vitória segue a Equação 03, calculada em função da área impermeável e coeficientes fixos definidos no PD (BRASÍLIA, 2009; SÃO PAULO, 2007; VITÓRIA, 2010)

$$V = 0,15 \cdot AI_{lote} \cdot IP \cdot T \quad (03)$$

Sendo,

V = volume do reservatório (m<sup>3</sup>),

AI = Área impermeável do empreendimento (m<sup>2</sup>),

IP = Intensidade de Chuva (m/h) e

T = tempo de duração da chuva (h)

O tempo de duração é determinado como sendo de 1 hora e a intensidade de chuva é definida em 0,06m/h, para os municípios de Brasília e de São Paulo e 40 mm/h, para o município de Vitória.

No PD de Curitiba (CURITIBA, 2007) dispõe sobre as orientações na escolha do tamanho do reservatório em função da Equação 04. O documento também orienta o tipo de orifício para garantir uma vazão de águas pluviais a fim de atender a vazão de pré-urbanização.

$$V = K \times I \times A \quad (04)$$

Onde:

$V$  = volume do reservatório (m<sup>3</sup>)

$K$  = constante dimensional = 0,20

$I$  = intensidade da chuva = 0,080 m/h

$A$  = áreas impermeáveis segundo considerações do decreto específico (m<sup>2</sup>).

Para Vila Velha, o volume do reservatório é definido pelo Código de Edificações Gerais do Município por meio da Equação 05 (VILA VELHA, 2016).

$$V = 18 \times A \quad (05)$$

Onde:

$V$  = volume do reservatório (litros)

$A$  = área impermeável (m<sup>2</sup>).

De maneira geral, os lotes obrigados a utilizar os reservatórios de água de chuva devem estar enquadrados em condições relacionadas ao tamanho da área impermeável, demandas elevadas de consumo de água ou localização em zonas restritivas (VILA VELHA, 2016; VITÓRIA, 2006; GOIÂNIA, 2007; BRASÍLIA, 2009).

Em uma abordagem macro, os PD's orientam a elaboração do Planos Diretores de Drenagem (PDD). Alguns deles também apresentam contribuições no desenvolvimento de medidas de contenção na fonte. Além de apresentar sugestões na mitigação de cheias no âmbito de bacias ou sub-bacias, esses documentos orientam o dimensionamento de medidas na fonte de maneira mais detalhada, descritos em forma de manuais.



Os PDD elaborados para Porto Alegre, Curitiba apresentam orientações sobre o dimensionamento dos volumes de armazenamento e os orifícios de saída do reservatório de água de chuva para o sistema público de drenagem de acordo com a área impermeável e o tamanho do lote. (PORTO ALEGRE, 2005; CURITIBA, 2002; DISTRITO FEDERAL, 2009).

Ao fim da compilação das informações, as notas extraídas desses documentos de planejamento urbano oferecem um panorama simplificado da drenagem urbana a nível de Plano Diretor. Uma quantidade pequena de Planos Diretores estão envolvidos em melhorar a condição do escoamento das águas pluviais no município por meio de contenção na fonte. No entanto, os municípios que atendem a essa demanda apresentam abordagens simples que podem ser replicadas em outros municípios.

Algumas abordagens ligadas a intervenção na macrodrenagem são interessantes para reduzir o impacto dos picos de vazão. No entanto, a maioria dos PD's apresentam um apanhado genérico dessas orientações que por vezes podem ser insuficientes para amortizar problemas associados à drenagem urbana.

De maneira resumida, o Quadro 4 apresenta as práticas referentes a drenagem urbana abordadas nos PD's referenciados nesse estudo.

Quadro 4: Resumo da abordagem da drenagem nos municípios estudados.

	RMGV					Capitais brasileiras											
	Fundão	Serra	Viana	Vila Velha	Vitória	Belo Horizonte	Brasília	Curitiba	Florianópolis	Fundão	Goânia	Porto Alegre	Rio branco	Rio de Janeiro	São Luis	São Paulo	Teresina
Análise obrigatória em parcelamento do solo em zonas inundáveis																	
Priorização de parques em regiões de inundações de várzeas																	
Abordar drenagem em EIV																	
Taxa específica a zonas de interesse ambiental																	
Orientação ao uso de reservatório quando não atendem a TP																	
Isenção do IPTU em lotes com intervenções na fonte																	
Exigência de caixa de recarga de lençol freático																	
Formulação de volumes de reservação																	
Apresentam PDD com orientações explícitas a construções de RAAC's																	

### 3.4.2 Plano Diretor do Município de Vila Velha - Zoneamento

O direcionamento estratégico do Plano Diretor do Município de Vila Velha (VILA VELHA, 2007) envolve a delimitação de áreas de acordo com a aplicação de interesse de cada região do município. Cada zona possui orientações que auxiliam no controle e na gestão do seu desenvolvimento, apresentando poder de restringir ou incentivar instalações futuras de acordo com o planejamento urbano. Algumas dessas orientações são estipuladas por meio de taxas ou porcentagens que são associadas a cada zona de interesse.

Para garantir um melhor desenvolvimento urbano, o Plano Diretor do Município de Vila Velha, instituído pela Lei Municipal nº4.575, de 26 de novembro 2007, apresenta os seguintes princípios (VILA VELHA, 2007):

- “I - direito à cidade sustentável;
- II - função social da cidade;
- III - função social da propriedade urbana;
- IV - sustentabilidade urbana e ambiental;
- V - gestão democrática e participativa. ”

No intuito de ordenar a área urbana, o instrumento divide o perímetro urbano em para adequar as atividades das áreas já existentes ou nortear o desenvolvimento das áreas em etapa inicial de urbanização. Essa divisão delimita o perímetro urbano, em basicamente, em cinco zonas específicas: Zonas de Ocupação (prioritária, controlada ou restrita); Zonas de Preservação do Ambiente Cultural; Zonas de Equipamentos Especiais; Eixos de Dinamização Urbana e; Zonas Especiais de Interesse ambiental, econômico, urbanístico ou social (VILA VELHA, 2007).

Dentre as zonas delimitadas na Lei nº4.575, de 26 de novembro de 2007 (VILA VELHA, 2007), são citadas abaixo as zonas mais relevantes para o estudo.

#### “ZONA DE OCUPAÇÃO PRIORITÁRIA – ZOP

Art. 72 A Zona de Ocupação Prioritária corresponde à parcela do território municipal melhor infraestruturada, onde deve ocorrer o incentivo ao adensamento e à renovação urbana, com predominância do uso residencial e prevenção de impactos gerados por usos e atividades econômicas potencialmente geradoras de impacto urbano e ambiental.

[...]

#### ZONA DE ESPECIAL INTERESSE AMBIENTAL - ZEIA

Art. 102 As Zonas de Especial Interesse Ambiental são parcelas do território municipal, de domínio público ou privado, onde é fundamental a proteção e a conservação dos recursos naturais, com sua adequada utilização visando a preservação do meio ambiente.

[...]

#### ZONA DE ESPECIAL INTERESSE URBANÍSTICO - ZEIU

Art. 107 As Zonas de Especial Interesse Urbanístico ZEIU são parcelas do território municipal, de domínio público ou privado, prioritárias para a implantação de intervenções dirigidas para a ocupação urbanística ordenada e melhoria dos espaços públicos.

[...]

#### ZONA DE ESPECIAL INTERESSE ECONÔMICO – ZEIE

Art. 110 As Zonas de Especial Interesse Econômico ZEIE são parcelas do território municipal, de domínio público ou privado, destinadas à implantação de atividades econômicas, funcionais ou industriais de grande e médio porte, visando ao fortalecimento econômico do Município nas suas várias especializações, compatíveis com as estratégias estabelecidas para as Macrozonas. ”

No intuito de garantir a permeabilidade do solo nas zonas listadas no Plano, são definidas taxas de permeabilidade para garantir uma porcentagem dos lotes com infiltração. Cada zona apresenta um valor de acordo com o objetivo urbano da zona. No Quadro 5 são apresentadas as taxas de ocupação máxima para cada zona instituída pelo Plano Diretor do Município de Vila Velha.

As taxas de permeabilidade das ZEIA's não são estipuladas nesse documento pois não são zonas delimitadas para loteamento.

A nível de cálculo, a taxa de ocupação máxima do lote representará a maior área possível de telhado apresentada pelo terreno, podendo considerar como áreas de captação água de chuva. No Quadro 5 são apresentadas as taxas de ocupação máxima para cada zona instituída pelo Plano Diretor do Município de Vila Velha.

Quadro 5: Parâmetros urbanísticos das zonas de interesse do estudo.

ZONEAMENTO DO PDM DE VILA VELHA	TAXA DE PERMEABILIDADE (%)	TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA (%)
ZOP3	10	60
ZOP4	10	60
ZOP5	15	60
ZEIU Vale encantado	10	60
ZEIU Estruturação e Integração II	10	60
ZEIE Empresarial e Retroportuário	20	40

Sobre o armazenamento e reutilização das águas pluviais, o PDM do município de Vila Velha apresenta uma das diretrizes para a promoção do saneamento ambiental que diz:

“Incentivar a construção de reservatórios residenciais, comerciais e industriais para captação, armazenamento e reutilização das águas pluviais, buscando não sobrecarregar o sistema de drenagem na cidade e diminuir o consumo de água tratada. ”

No Código de Edificações Gerais apresenta as condições para que um lote seja obrigado apresentar um reservatório de armazenamento de água de chuva seguindo a Equação 05. No

entanto esse estudo considerou que, em alguns cenários, todos os lotes tenham esse reservatório seguindo a mesma equação.

#### *3.4.2.1 Proposta do novo Plano Diretor do Município de Vila Velha - Zoneamento*

Sobre o caráter ambiental a nova proposta apresenta avanços positivos sob a ótica do desenvolvimento sustentável visto a valorização das Zona Especiais de Interesse Ambiental em locais vulneráveis como é o caso das margens de canais e rios.

A proposta, descrita na 5ª Minuta apresentada no dia 23 de novembro de 2017, apresenta a região de estudo com maiores detalhes sob o caráter urbano. Observa-se uma Zona Especial de Interesse Social (ZEIS) na área de estudo e a subdivisão de áreas de interesse urbano como ZOP, ZEIU em outras subdivisões, evidenciando a importância no planejamento urbano da região. A seguir são apresentadas as novas zonas de interesse para esse estudo.

##### **“ZONA DE OCUPAÇÃO RESTRITA – ZOR**

Art. 84. A Zona de Ocupação Restrita constitui-se pelos vazios urbanos ou áreas próximas a remanescentes ambientais, áreas de interesse ambiental, orla municipal ou áreas com baixa infraestrutura existente e sem potencial para sua qualificação, observando-se as condições ambientais a serem protegidas.

[...]

##### **ZONA DE ESPECIAL INTERESSE PÚBLICO - ZEIP**

Art. 100. As Zonas de Especial Interesse Público são áreas do território municipal, de propriedade ou interesse público, onde é fundamental a manutenção e qualificação dos espaços livres de uso público ou voltados à implantação de equipamentos públicos.

[...]

##### **ZONA DE ESPECIAL INTERESSE SOCIAL - ZEIS**

As Zonas Especial de Interesse Social - ZEIS são porções do território municipal ocupadas por população de baixa renda ou destinadas prioritariamente à regularização fundiária, à urbanização e à produção de Habitação de Interesse Social (HIS).

[...]

##### **NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO - ND**

Art. 106. Os Núcleos de Desenvolvimento são parcelas do Município que se situam em áreas identificadas como potenciais norteadoras para o desenvolvimento da cidade de forma equilibrada e sustentável. Para cada núcleo serão definidos índices e parâmetros urbanísticos específicos, assim como

instrumentos do Estatuto da Cidade compatíveis com o cumprimento dos seus objetivos.

[...]

As ZEIA's pequenas localizadas ao longo da malha urbana foram suprimidas ou substituídas por ZEIP, no entanto parte da região próxima ao rio Jucu e as margens dos córregos presentes na bacia apresentam ZEIA segundo a nova proposta. A nova divisão se baseia e áreas de proteção que já são legalmente instituídas e áreas que não foram legalmente instituídas.

Os parâmetros urbanísticos também apresentaram mudanças. A princípio percebe-se a presença de valores maiores na taxa de permeabilidade em algumas zonas urbanas de interesse para esse estudo. No Quadro 6 são apresentados os parâmetros urbanísticos da nova proposta envolvidos nesse estudo. As ZEIA's e ZEIP's não apresentam parâmetros definidos previamente na proposta analisada, cabendo ao Conselho Municipal da Cidade, definir após análise e parecer apresentado pelo setor de meio ambiente da Secretaria Municipal, para as ZEIA's e pela Administração Pública, para as ZEIP's.

Quadro 6: Parâmetros urbanísticos das zonas de interesse do estudo, segundo a nova proposta do PDM.

ZONEAMENTO DO PDM DE VILA VELHA EM PROPOSTA	TAXA DE PERMEABILIDADE (%)	TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA (%)
ND - G	20	50
ND - H	35	45
ZEIE - B	15	60
ZEIS	15	60
ZOP - B	15	60
ZOP - C	20	50
ZOR - B	35	50
ZOR - F	15	60

A proposta apresenta um artigo que estabelece a implantação de sistema de armazenamento de água de chuva para equipamentos públicos e empreendimentos habitacionais realizados com recurso público. Entretanto não foi sugerida outra equação para determinação de volume de armazenamento de água de chuva.

### 3.5 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Devido às dificuldades de encontrar longas séries históricas de vazões sem falhas ou mesmo por não possuir estações fluviométricas na área estudada, a quantificação de vazão pode ser feita por meio da metodologia de transformação chuva-vazão. Segundo Genovez (2001), para essa metodologia são comumente utilizados o método racional; de Ven Te Chow; o hidrograma unitário sintético regionalizado; o hidrograma unitário sintético de Snyder; o hidrograma unitário sintético triangular do *Soil Conservation Service*; e o método do hidrograma unitário de Clark. Os três últimos estão presentes no *software* HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System*).

Todo modelo é definido como uma representação simplificada do mundo real ou de algum de seus aspectos, de modo que seja possível reconstruir a realidade e prever comportamentos, transformações ou evoluções. Vale destacar que a elaboração de um modelo para representar um sistema ambiental expressa uma hipótese científica, a qual necessita ser avaliada (CHRISFOLETTI, 1999). Em contrapartida, os modelos e *softwares* vem aprimorando as análises dos comportamentos hidrológicos devido a inclusão de múltiplos processos que examinam a relação entre mudanças nas condições urbanas e mudanças nas condições

hidrológicas. Além de uma interface mais preparada para trabalhar com dados de sensoriamento remoto (JACOBSON, 2011)

A tomada de decisão com auxílio de modelagem e a apuração de diferentes cenários é fundamental para atender a ação estudada de acordo com a disponibilidade dos recursos e dos comportamentos naturais envolvidos.

Entretanto, deve-se ressaltar que não se deve entender o modelo como uma interpretação fiel dos comportamentos do ecossistema, mas a representação das principais atividades do sistema modelado para estimar o comportamento do sistema (ODUM, 1988).

### **3.5.1 Executando a Modelagem Hidrológica**

No empenho de entender o sistema hidrológico, consideram-se fenômenos como precipitação, evaporação, infiltração e escoamento dos rios, os quais podem ser representados nos modelos com funções matemáticas (TUCCI, 2001).

As considerações do modelo devem estar de acordo com os objetivos almejados. As simplificações na representação espacial das variáveis e fenômenos, entre outros fatores, são determinantes para decidir o modelo que será utilizado.

Singh (1995) considera como um modelo consistente aquele que possui cinco componentes: a geometria do sistema, os dados de entrada, as leis vigentes, as condições iniciais e de contorno e os resultados; sendo combinados de acordo com o modelo e suas características.

Singh (1995) também caracteriza modelos hidrológicos como concentrados e distribuídos. Os concentrados abordam a característica da bacia de forma homogênea, sem definir a variação espacial da vegetação, solos, precipitação, geologia ou topografia, estabelecendo um valor médio para a bacia estudada. Os modelos distribuídos contemplam a caracterização espacial dos componentes da bacia; no entanto, a dificuldade na obtenção dos dados com bom detalhamento impede a representação adequada em níveis elevados de detalhamento, transformando os modelos distribuídos em “quase distribuídos”



### 3.5.1.1 O Modelo SCS Curve Number

O modelo SCS (1986), foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Esse modelo consiste na determinação da precipitação efetiva, ou precipitação excedente, correspondente à parte da chuva que gera o escoamento superficial.

Esse método, baseado em mais de 3 mil tipos de solos e coberturas de vegetação, estabeleceu uma relação empírica que visa correlacionar a capacidade de armazenamento pela bacia a um índice denominado como CN, ou *Curve Number* (CANHOLI, 2005). A estimativa de precipitação efetiva é apresentada pelas Equações 04, 05 e 06.

$$S_D = \frac{25.400 - 254CN}{CN} \quad (04)$$

$$I_a = 0,2 \cdot S_D \quad (05)$$

$$P_E = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S_D}; P > I_a \quad (06)$$

Onde:

$S_D$  = Potencial de retenção do solo, após o início do escoamento superficial (mm);

$CN$  = Índice *Curve Number*;

$I_a$  = Perdas iniciais por retenção da chuva na bacia (mm);

$P_E$  = Precipitação efetiva (mm);

$P$  = Precipitação total (mm).

O potencial de retenção da bacia está relacionado à determinação do índice CN. Esse valor é baseado no tipo de uso e ocupação do solo, no tipo hidrológico do solo e na umidade antecedente. O valor de CN varia entre 0 e 100. Quanto maior o valor, menor é a capacidade de armazenamento pluvial da bacia, logo, maior a contribuição sobre o escoamento superficial da mesma.

No desenvolvimento do método, os solos são classificados em quatro tipos, que variam de acordo com a capacidade de infiltração do solo predominante na bacia. O Quadro 7 apresenta a descrição de cada tipo de solo considerado pelo método.

Quadro 7: Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração (Método do SCS).

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Capacidade de Infiltração (cm/h)</b>
A	Areias e cascalhos profundos ( $h > 1,50$ m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%	1,20 - 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ( $h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila de até 10%	0,80 - 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas sub-superficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)	0,40 - 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis	0,15 - 0,00

Fonte: Canholi (2005).

As condições de umidade antecedente utilizadas pelo método se baseiam na quantidade de chuva acumulada nos últimos 5 dias. São elas:

Condição I: Solos secos, ou com precipitações acumulada menores que 15 mm nos últimos 5 dias.

Condição II: Situação média dos solos na época de cheias, com precipitações acumuladas entre 15 a 40 mm. Essa condição é normalmente utilizada para determinar os hidrogramas de escoamento superficial em vazões de projeto.

Condição III: Solos úmidos, em que as precipitações acumuladas nos últimos 5 dias ultrapassam o valor de 40 mm de chuva.

O Quadro 8 apresenta a classificação do arquivo *shapefile* de uso e ocupação do solo utilizado no estudo e a classificação que se assumiu como correspondente na tabela do SCS e nos estudos realizados por TUCCI (2001). Os valores de CN relativos as classificações, correspondem à condição II de umidade, podendo ser convertida para as demais condições de umidade pelas Equações 07 e 08.

Quadro 8: Relação dos valores de CN, comparando as classificações dos arquivos de uso e ocupação do solo e as classificações utilizadas em literatura.

CLASSE - SHAPEFILE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	GRUPO HIDROLÓGICO				CLASSIFICAÇÃO (SCS)	CLASSIFICAÇÃO TUCCI (2001)
	A	B	C	D		
Afloramento Rochoso	-	-	-	-	Afloramentos rochosos	
Área Edificada - 500	77	85	90	92		Área Edificada - Lotes até 500 m <sup>2</sup>
Área Edificada - 1000	61	75	83	87		Área Edificada - Lotes até 1000 m <sup>2</sup>
Área Edificada - 1350	57	72	81	86		Área Edificada - Lotes até 1350 m <sup>2</sup>
Área Edificada - 2000	54	70	80	85		Área Edificada - Lotes até 2000 m <sup>2</sup>
Área Edificada - 8000	46	65	77	82		Área Edificada - Lotes até 8000 m <sup>2</sup>
Área Edificada - Com. e Neg.	89	92	94	95		Área Edificada - Com. e Neg.
Área Edificada - Industrial	81	88	91	93		Área Edificada - Industrial
Brejo	-	-	-	-	Brejo	
Cultivo Agrícola - Banana	43	65	76	82	Cultivos de árvores frutíferas ou similares (condições hidrológicas normais)	
Cultivo Agrícola - Outros Cultivos Permanentes	43	65	76	82	Cultivos de árvores frutíferas ou similares (condições hidrológicas normais)	
Extração Mineração	77	86	91	94	Solo exposto	
Gramado	49	69	79	84	Pasto em condições normais	Espaços Abertos (condição satisfatória)
Macega	35	56	70	77	Campos (condições hidrológicas normais)	
Mangue	30	55	70	77	Áreas florestadas (condições hidrológicas boas)	Florestas
Massa D'Água	-	-	-	-	Área impermeável	
Mata Nativa	30	55	70	77	Áreas florestadas (condições hidrológicas boas)	Florestas
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração	36	60	73	79	Áreas florestadas (condições hidrológicas normais)	
Pastagem	49	69	79	84	Pasto em condições normais	Espaços Abertos (condição satisfatória)
Restinga	30	55	70	77	Áreas florestadas (condições hidrológicas boas)	Florestas
Solo Exposto	77	86	91	94	Solo exposto	
Tanque	-	-	-	-	Área impermeável	
Vias	98	98	98	98		Estacionamentos e superfícies pavimentadas

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - (0,058 \cdot CN(II))} \quad (07)$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + (0,13 \cdot CN(II))} \quad (08)$$

Onde CN(I), CN(II) e CN(III) são as condições de umidade nas três condições supracitadas. Dessa forma, é necessário definir a condição e a umidade da bacia analisada, e com auxílio das equações citadas alterar o valor de CN para a situação definida. Ao final, é calculado o valor do escoamento superficial em função do CN encontrado.

Em situações que não se encontram as mesmas condições de uso e de ocupação do solo, de umidade e de tipo hidrológico de solo, é necessário que seja realizada uma média ponderada dos valores de CN em função das áreas delimitadas com características em comum.

#### *3.5.1.2 Hidrograma unitário do SCS.*

O método Hidrograma unitário do SCS (SCS, 1985) consiste em elaborar um hidrograma adimensional para cada centímetro da suposta chuva excedente que, considerando os princípios de proporcionalidade e superposição, geram as vazões em função da chuva excedente (CANHOLI, 2005).

No princípio da proporcionalidade, quando conhecido o hidrograma gerado por uma chuva unitária (correspondente a 1 cm) é possível gerar o hidrograma de qualquer chuva apenas multiplicando as vazões do hidrograma unitário pelo índice pluviométrico desejado (em centímetros). No entanto, a duração da chuva excedente será o mesmo para qualquer índice pluviométrico utilizado (CANHOLI, 2005).

No intuito de considerar o tempo de duração da chuva excedente, o princípio da superposição sugere que a precipitação seja discretizada em intervalos de tempo, gerando diferentes hidrogramas sobrepostos no mesmo gráfico. Os hidrogramas formados em cada intervalo são somados em cada instante de tempo, superpondo-se e formando um único hidrograma (CANHOLI, 2005).

#### *3.5.1.3 Software HEC-HMS*

O *software* HEC-HMS, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE – *U.S. Army Corps of Engineers*), é utilizado para modelar processos de chuva-vazão em bacias hidrográficas. Por meio da simulação do comportamento hidrológico da bacia, o modelo gera hidrogramas e informações quanto ao volume de deflúvio, vazão de pico e tempo de escoamento, que podem ser usados

para diversos fins: disponibilidade hídrica, drenagem urbana, previsão de vazões, impacto sobre a urbanização, mitigação de prejuízos ligados a inundações, dimensionamento de vertedores em barragens, etc (USACE, 2010a).

A saída de dados do modelo gera hidrogramas representando o volume de deflúvio, vazão de pico e tempo de escoamento com base na modelagem dos processos hidrológicos, os quais são representados por características da bacia inseridas no modelo (USACE, 2010a).

Para executar o *software* HEC-HMS, são necessários quatro componentes básicos: i) módulos de dados de séries temporais; ii) módulo de bacia hidrográfica; iii) módulo meteorológico; e iv) especificações de controle. Os demais componentes são necessários em aplicações específicas.

O componente fundamental é o módulo de bacia hidrográfica, no qual são inseridos os parâmetros referentes à característica da bacia. Neste componente do *software*, também são definidos os métodos utilizados para calcular a perda por infiltração, a transformação de escoamento superficial em vazão, decomposição do escoamento de base e propagação da onda de cheia (USACE, 2010a).

Cada bacia pode ser dividida em sub-bacias, discretizando o elemento estudado. À medida que os segmentos da bacia são separados é possível definir parâmetros diferentes para cada sub-bacia, representando melhor bacia e seus detalhes. Outra vantagem está na geração de hidrogramas para cada sub-bacia analisada. Discretizando a bacia em vários sub-elementos, é possível analisar as etapas do escoamento ao longo da bacia direcionando intervenções na bacia de forma distribuída.

No trabalho realizado por Oleyiblo e Li (2010), o modelo Hec-HMS foi calibrado para as bacias de Misai e Wan'na, China, com o intuito de prever inundações. A bacia de Misai apresenta 797 Km<sup>2</sup> e a de Wan'na, 869 Km<sup>2</sup>. Os autores verificaram uma descarga de pico tomando como referência os níveis associados à picos de vazões históricas, facilitando a previsão de novos eventos.

Em Mumbai, na Índia, Zope et al (2014) elaboraram um estudo com o foco em avaliar a variação temporal e espacial do uso e da cobertura do solo na maior bacia hidrográfica costeira da cidade de Mumbai, correspondente ao rio Mithi River. Os dados de vazão do rio e os dados de maré da região foram trabalhados por meio dos modelos Hec-HMS e Hec-RAS, obtendo resultados efetivos no mapeamento de zonas de risco de alagamento. Os estudos apontam um aumento na taxa de escoamento superficial devido ao aumento da área construída e à redução de áreas

abertas. Os autores mencionam que os mapas de alagamento gerados no estudo podem ser utilizados para reduzir os danos causados pelas enchentes na região da Bacia.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

A zona de estudo considerada nesse trabalho foi a bacia de drenagem do Canal Guaranhuns, localizada ao sul do município de Vila Velha, pertencente a Região Metropolitana da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil. Como apresentado na Figura 2, o manancial apresenta função de escoar as águas pluviais dos bairros de Pontal das Garças, Darly Santos, Araças, Novo México, parte do Vale Encantado, Guaranhuns, Jardim Guaranhuns, Vila Guaranhuns, Itaparica, Jockey de Itaparica, Nova Itaparica, Praia das Gaivotas, Ilha dos Bentos, Vila nova, Novo México, Jardim Colorado, Brisamar e Santa Mônica.

O Município conta com um clima quente e pouca variação de temperatura média ao longo do ano. A região apresenta predominância de terrenos planos. De modo geral, o solo é composto por uma associação de areias quartzosas marinhas distróficas (INCAPER, 2011). Predomina o ecossistema Mata Atlântica em paralelo com outros ecossistemas como campos, pastagens, manguezais, herbáceas aluviais e macrófitas, além de ecossistemas insulares e exemplares de paisagem urbana (VILA VELHA, 2004).

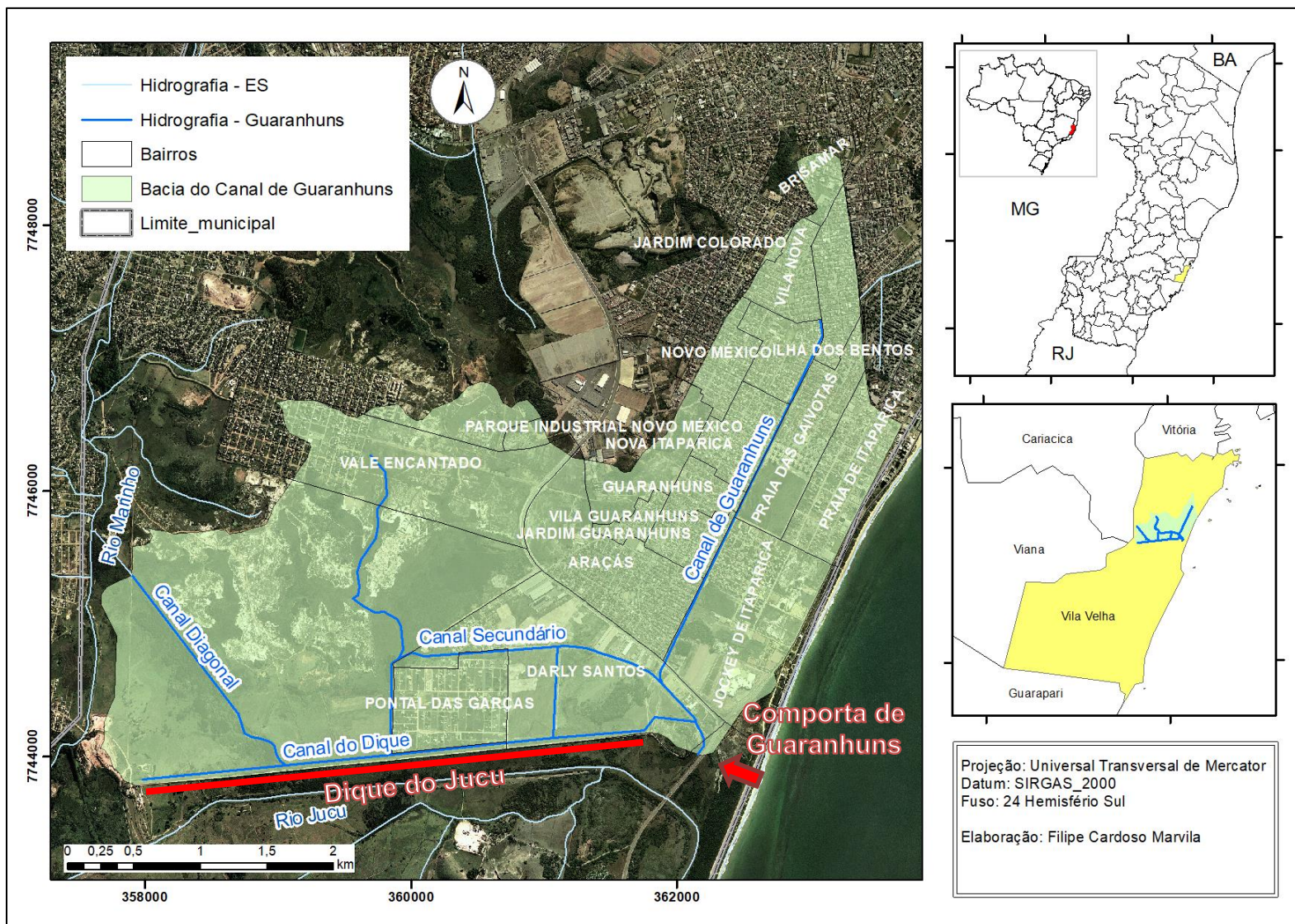


Figura 2: Localização da bacia de drenagem do Canal Guaranhuns



A bacia do canal de Guaranhuns possui uma área de 14,03 km<sup>2</sup> com predominância de regiões planas, com canais retificados em sua maioria. Ao se observar a bacia (Figura 2), é possível notar uma diferença no aspecto urbano em dois dos seus segmentos. O primeiro encontra-se à direita, paralelo à costa, com rios canalizados em uma área urbanizada e plana. O segundo segmento, paralelo ao rio Jucu, também apresenta alguns canais retificados e uma área plana, no entanto, parte das áreas apresenta cobertura vegetal.

No segmento mais urbanizado, nota-se o canal de Guaranhuns retificado e paralelo à linha de costa. Ao longo do trecho, foram observadas restrições na seção de escoamento, como na Figura 3, com bueiros que reduzem sua seção. Nota-se vegetação ciliar em grande parte dos contornos ribeirinhos, onde também se observa a presença de habitações localizadas nas margens do canal (Figura 3).



Figura 3: Ponte restringindo o escoamento (à esquerda) e vegetação ciliar e habitações dividindo espaço nas margens do canal (à direita).

Na segunda parte da bacia, a oeste, apresenta leve expansão urbana com predominante cobertura vegetal. Como observado na Figura 2, os principais trechos dessa região são o canal Secundário, entre os bairros Darly Santos e Pontal das Garças, o canal do Dique, localizado rente ao dique do Jucu, e o canal Diagonal, desaguando no canal do Dique.

Além de apresentar vazões reduzidas devido à predominância de terrenos planos, a vazão da bacia de drenagem no segmento oeste é prejudicada por alguns fatores, como travessias que reduzem a seção do escoamento (presente no canal Secundário) e relevante vegetação presente na calha do canal do Dique, como observado na Figura 4.



Figura 4: Travessia que restringe o canal Secundário (à esquerda) e vegetação posicionada ao longo do canal do Dique (à direita).

Nos estudos apresentados pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana Sustentável (PDDUS) de Vila Velha foram realizadas simulações para compreender o comportamento hidráulico da região. Observou-se que, na calha principal localizada na região mais urbanizada, o nível de água no período de retorno de 10 anos ultrapassa o limite da calha em alguns trechos, sendo que para um período de retorno de 25 anos, o mesmo trecho localizado no canal não suporta a vazão de projeto em toda a sua extensão. No cenário futuro com período de retorno de 25 anos é possível notar ocorrência de cotas 2 m acima da altura média do canal. O Plano propõe a implantação de três reservatórios de retenção para diminuir as vazões nos canais da bacia. O primeiro reservatório receberia o escoamento do canal de Guaranhuns, o segundo estaria ligado ao canal do Dique e o terceiro seria instalado na junção dos dois canais (VILA VELHA, 2011).

Na modelagem realizada por Da Silva (2017), em que foram utilizados os mesmos valores de cobertura do solo e topografia utilizados nesse estudo, foi possível observar áreas de inundação em vários pontos da bacia em uma chuva associada a um período de retorno de 50 anos, como apresentado na Figura 5. Como referência geográfica, nota-se o dique do rio Jucu, ao sul da inundação, na parte inferior da imagem. No mesmo trabalho, é mencionada a consideração da vazão do rio Marinho na simulação para o mesmo período de retorno.

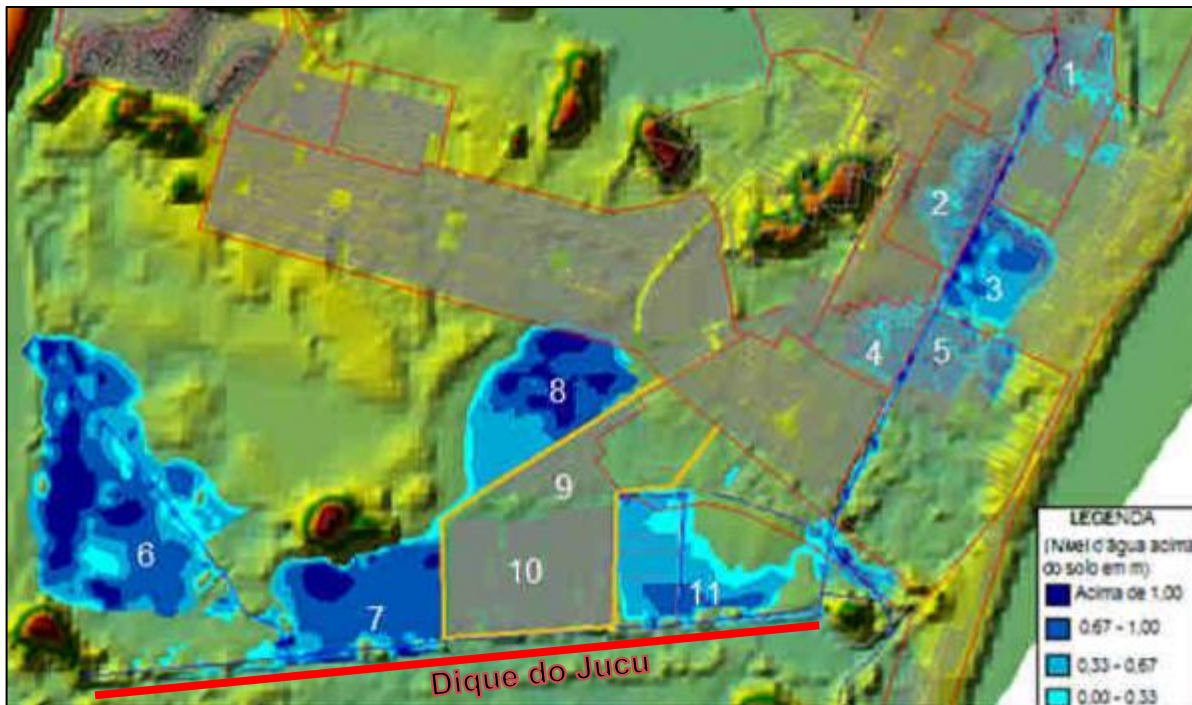


Figura 5: Mancha de inundação Cenário Proposto (polders na região 9 e 10), chuva de projeto com período de retorno de 50 anos. Fonte: DA SILVA, 2017.

O escoamento da bacia de drenagem do Canal de Guaranhuns aflui na região estuarina do rio Jucu, distante cerca de 3 km da sua foz, tornando a dinâmica costeira, mesmo que indiretamente, um aspecto importante nas condições de escoamento do córrego Guaranhuns.

A onda de maré do rio Jucu influencia a bacia do Canal de Guaranhuns por uma comporta (Figura 6), localizada na Figura 2. Por acionamento mecânico, a comporta fica fechada quando a cota de jusante é maior que a de montante e, quando ocorre o contrário, o escoamento ocorre no sentido de montante para jusante, drenando a bacia.



Figura 6: Comporta que liga o Canal de Guaranhuns ao Rio Jucu. Fonte: VILA VELHA, 2011.

## 4.2 DADOS TOPOGRÁFICOS

Os dados físicos e geométricos do município de Vila Velha disponíveis para essa pesquisa foram obtidos a partir de levantamento topográfico realizado em um projeto executado pela SEDURB (2014). Foram utilizados pontos posicionados de forma difusa na região da Bacia de Guaranhuns e pontos que representam o perfil batimétrico em algumas seções transversais do talvegue, ambos referenciados nos marcos implantados pelo IBGE.

A ferramenta *topo to raster*, oferecida pelo ARCGIS 10.1, foi utilizada para gerar o Modelo Digital de Terreno (MDT), a partir dos pontos cotados, considerando a batimetria dos talvegues. Por meio de arquivos *shapefiles*, como de hidrografia, de uso e ocupação do solo e imagens disponibilizadas no ortofotomosaico, foi possível observar incoerências nos pontos medidos a fim de corrigir os dados do MDT originalmente produzido. As informações geradas foram utilizadas na determinação dos valores de áreas de sub-bacias, comprimento do talvegue, declividade de talvegue e perfis batimétricos.

A bacia do Canal de Guaranhuns se encontra em uma planície com cotas próximas ao nível do mar com pontos de cotas negativas presentes no leito dos talvegues. Na bacia do Canal de Guaranhuns, a cota máxima é de 52 m e a cota mínima de -1,82 m. Como observado na Figura 7, as áreas de maior altitude se localizam ao norte da bacia, em direção à área mais urbanizada do entorno, e a leste, rente ao litoral.

A zona de cotas mais baixas, no extremo sul da Bacia, estende-se por toda a extensão do canal do Dique e em partes do canal Diagonal, canal Secundário e do canal de Guaranhuns. Em eventos de bloqueio da comporta, essas regiões apresentam-se mais vulneráveis a alagamentos devido às cotas inferiores às demais áreas da Bacia.

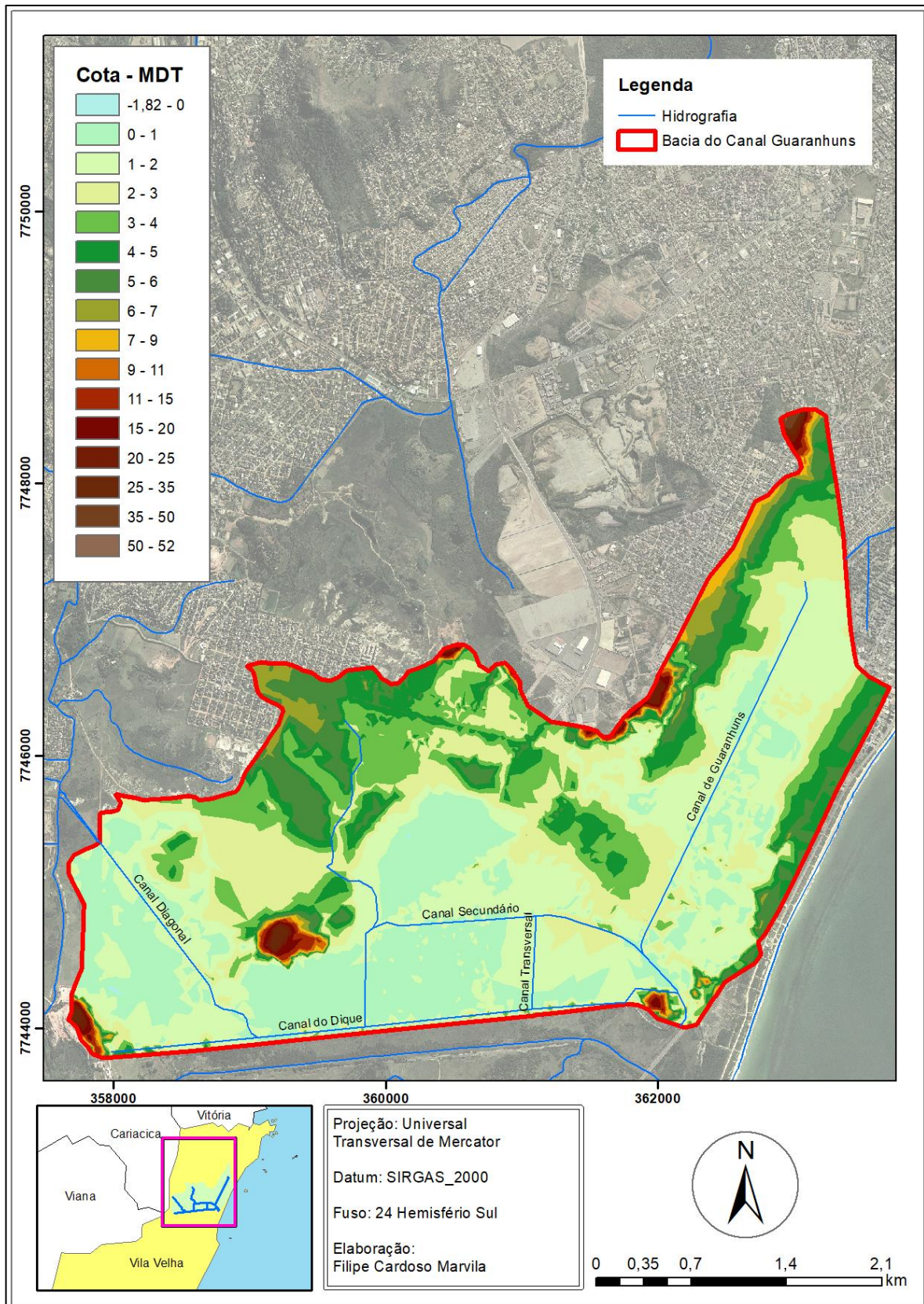


Figura 7: Mapa de identificação do MDT das bacias urbanas consideradas no estudo.

### 4.3 DELIMITAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM

A partir da delimitação de bacias de drenagem fornecidas no GEOBASES, e dos estudos do PDDUS de Vila Velha (VILA VELHA, 2011), foi possível detalhar a delimitação das sub-bacias e microbacias a fim de discretizar melhor a região. A definição dos limites do escoamento pluvial foi definida por meio da interpretação de dados topográficos, das estruturas de drenagem observadas e do uso do solo da região. Assim, as microbacias que apresentavam características distintas foram separadas para representar melhor as peculiaridades relevantes de cada segmento.

Como se observa na Figura 8, a bacia do Canal de Guaranhuns foi dividida em 12 microbacias, organizadas em 3 sub-bacias. A sub-bacia GUA01 está paralela ao litoral representando a porção mais urbanizada, enquanto as sub-bacias GUA02 e GUA03 estão associadas à área localizada na porção oeste da bacia, com poucas porções urbanizadas, como observado na Figura 9.

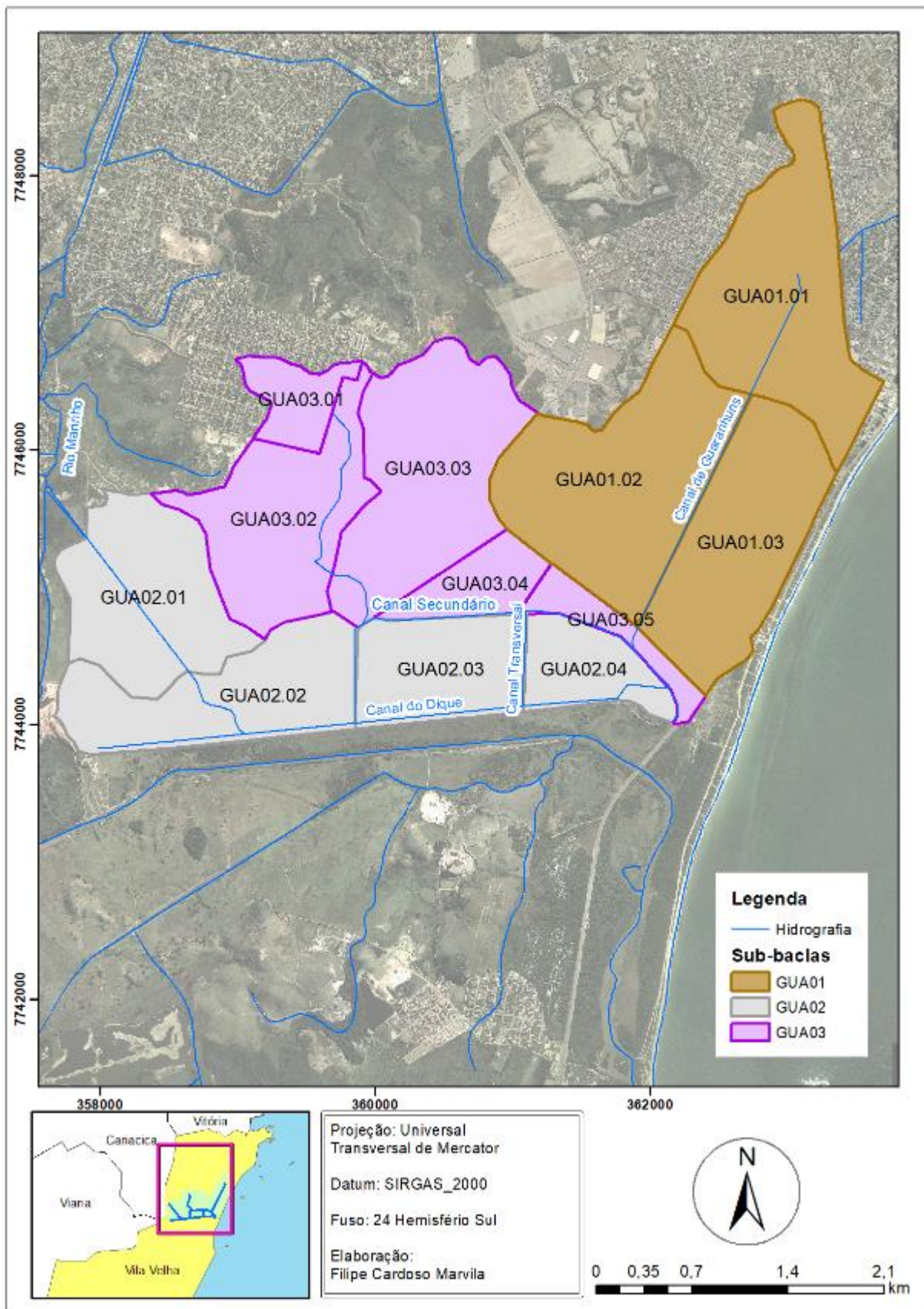


Figura 8: Mapa de delimitação da bacia do Canal de Guaranhuns.

#### 4.4 DELIMITAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E PEDOLOGIA.

As características de uso e ocupação do solo e o tipo de solo foram obtidas por meio de arquivos mais atuais em *shapefiles* gerados em meados do ano de 2007, disponibilizados pelo GEOBASES e pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA). Os arquivos foram processados no programa ArcGIS 10.1, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI).

Os dados de uso do solo foram atualizados por meio das fotos aéreas obtidas nos registros de satélites apresentados pelo aplicativo Google Earth, e pelos dados do ortofotomosaico mais atualizado (IEMA, 2012-2015).

Observando o uso e a ocupação da bacia do Canal de Guaranhuns (Figura 9), fica clara a predominância de uma zona em nível avançado de urbanização na porção leste da Bacia, correspondente à sub-bacia GUA01. O mesmo comportamento ainda se encontra em processo na porção oeste, correspondente às sub-bacias GUA02 e GUA03, onde é possível notar a presença de poucas áreas edificadas e de algumas vias isoladas. Ainda na porção oeste, é possível observar áreas de macega, solo exposto, vegetação nativa em estado de regeneração, pastagem e brejo.

Quando observamos a região do entorno (Figura 10), ao norte da Bacia do Canal de Guaranhuns, nota-se o predomínio de áreas edificadas, representando níveis elevados de urbanização. Poucas áreas apresentam usos relacionados à cobertura vegetal ou com pouca urbanizada como na porção sul da bacia do Canal de Guaranhuns, apresentando uma tendência de expansão urbana em direção à Bacia.

Na sequência, a Figura 11 apresenta o mapa de pedologia. A delimitação foi realizada utilizando o *shapefile* com as informações do RADAM BRASIL e do IEMA. Deve-se levar em consideração a limitação das áreas delimitadas pelo RADAM BRASIL, podendo assumir erros em estudos de micro escala como o estudo ora apresentado.

Na Figura 11, observa-se, de forma geral, a delimitação entre os tipos de solos predominantes na bacia estudada. Em Vila Velha, predomina a classificação Podzol Hidromórfico e Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico, enquadradas no grupo hidrológico C e A segundo modelo SCS (Sartori et al, 2005).



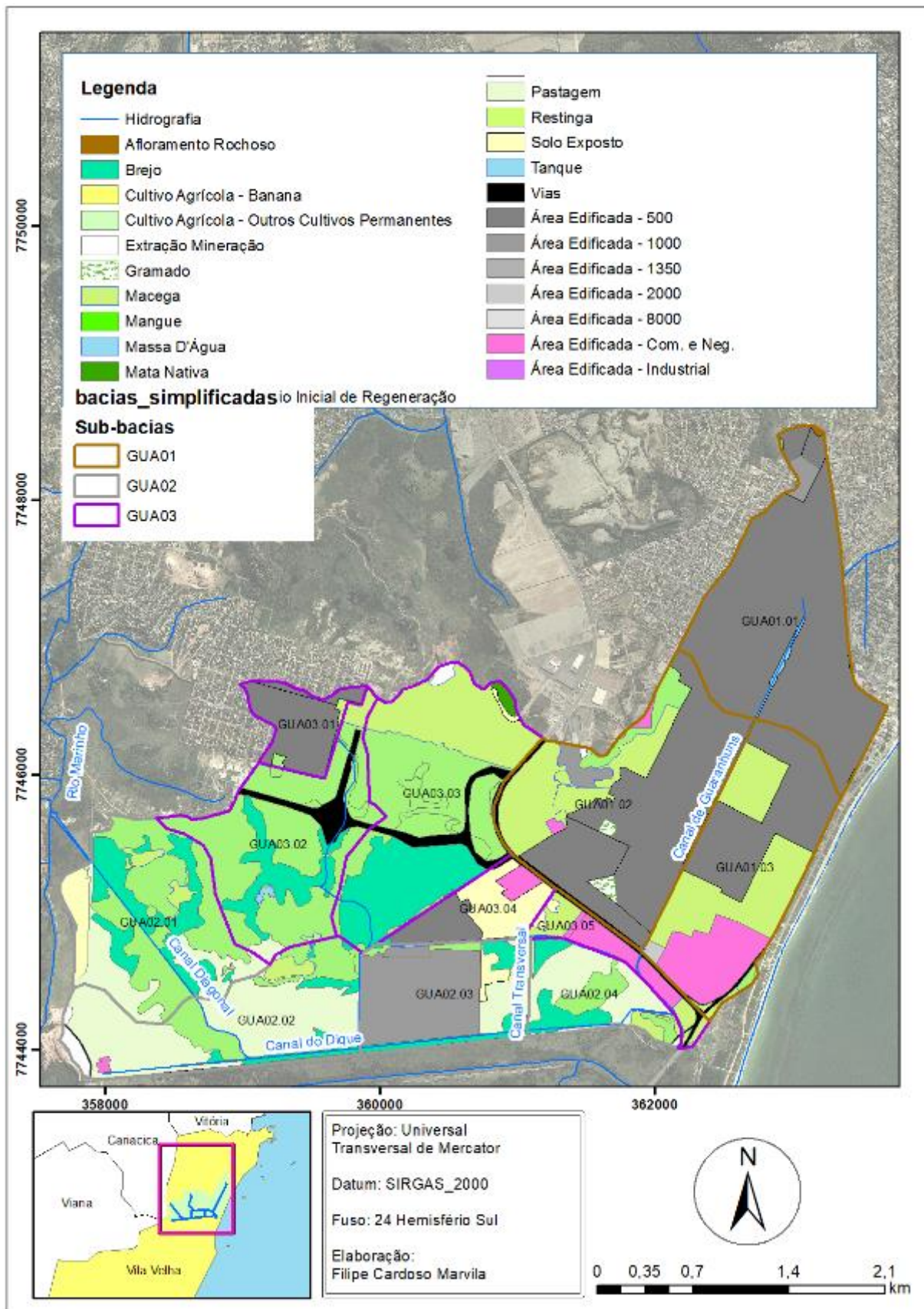


Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Canal de Guaranhuns.

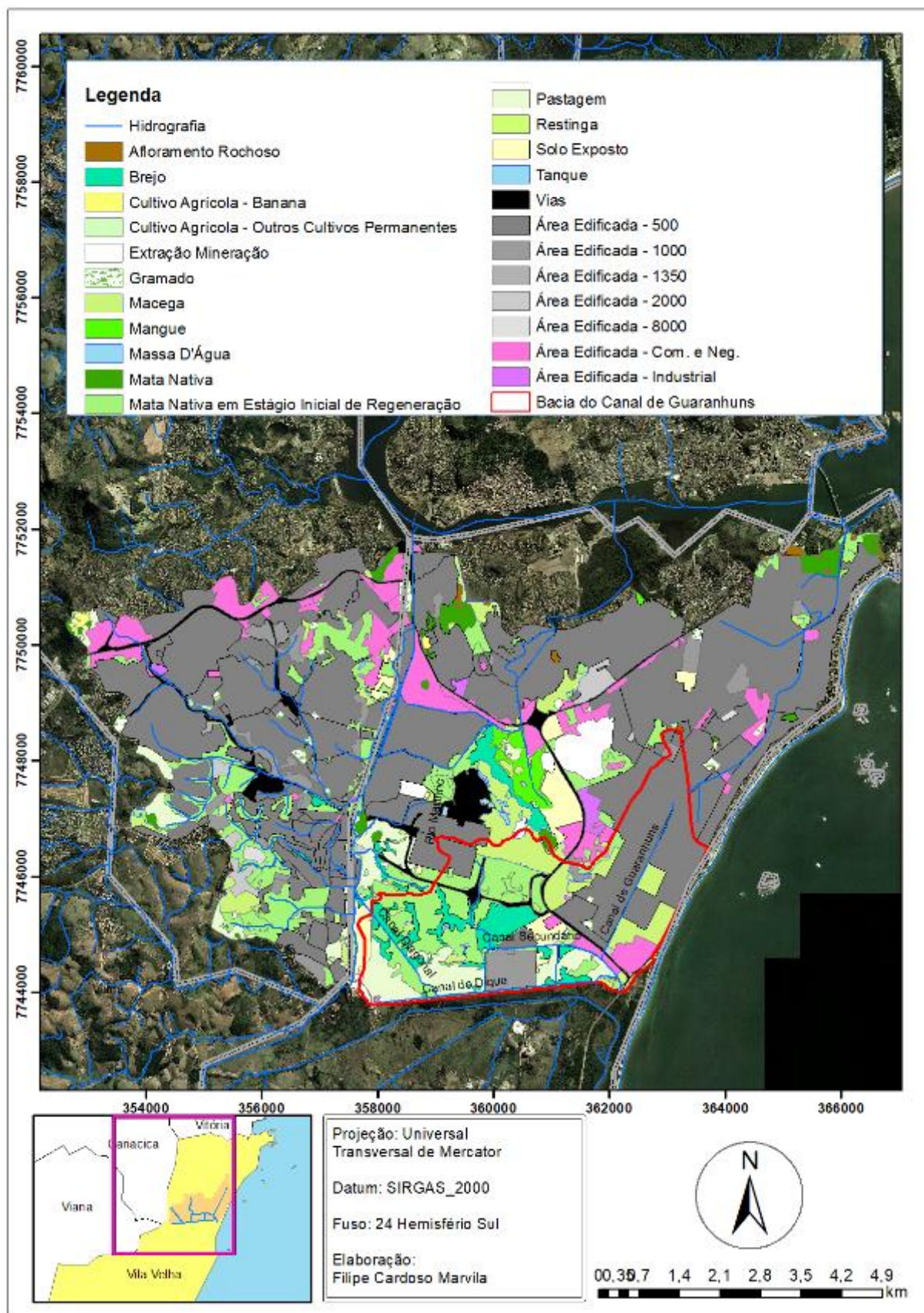


Figura 10: Mapa de uso e ocupação do solo da região ao norte da bacia do Canal de Guaranhuns.

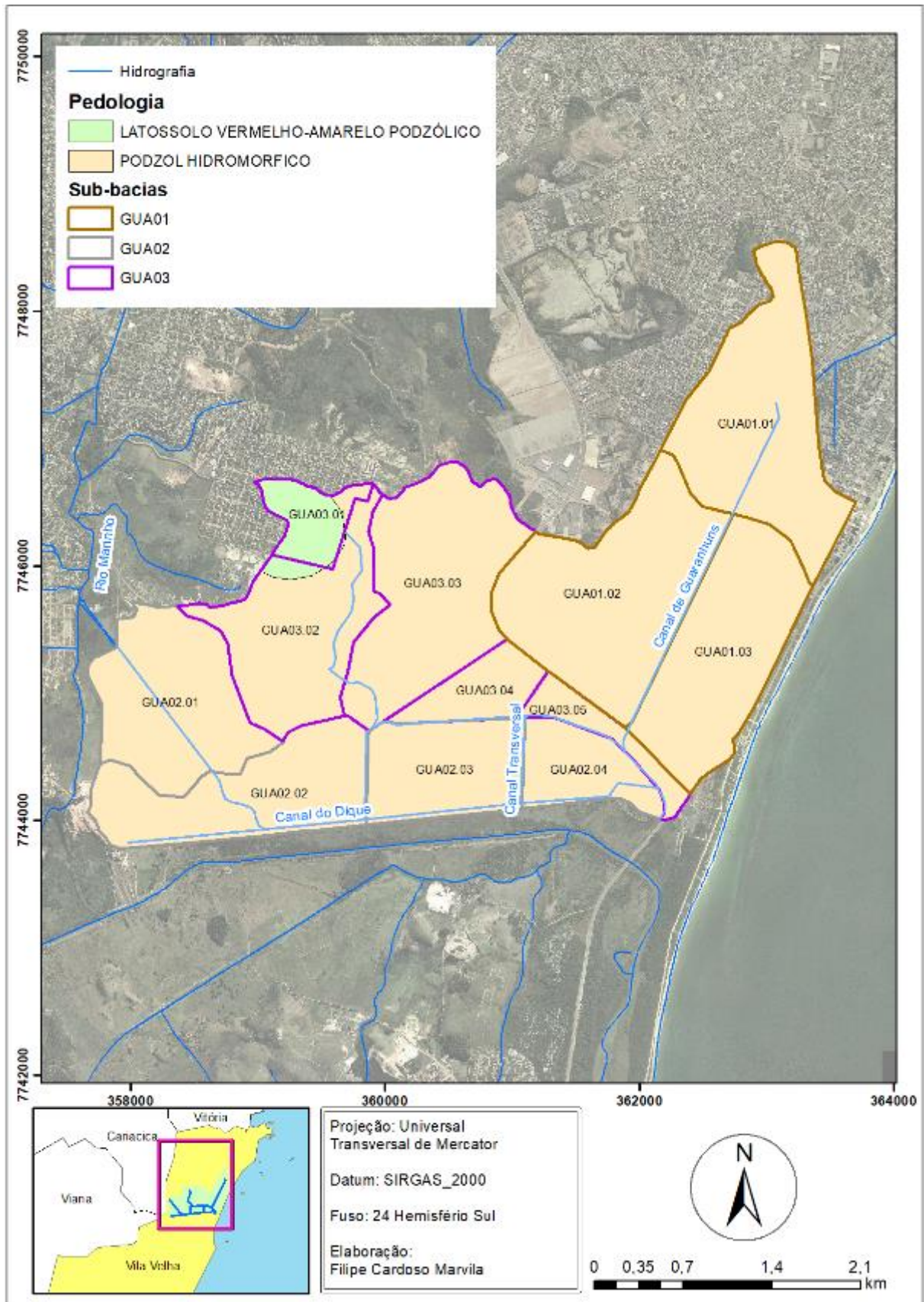


Figura 11: Mapa de pedologia das bacias consideradas no estudo.

#### 4.5 ZONEAMENTO DEFINIDO NO PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE VILA VELHA.

A Figura 12 apresenta a delimitação do atual zoneamento urbano definido pela Lei nº4.575, de 26 de novembro de 2007 (VILA VELHA, 2007) e da sua atualização dada pela Lei nº 5.441, de 9 de setembro de 2013 (VILA VELHA, 2013).

Analisando as zonas do Plano Diretor de Vila Velha de 2007 na Figura 12, nota-se a delimitação de ZOP's nas zonas já consolidadas, como na sub-bacia GUA01 e parte da sub-bacia GUA03. As zonas de caráter urbano ainda em fase de desenvolvimento, como a ZEIU e a ZEIE, são predominantes nas sub-bacias GUA02 e GUA03, identificando o interesse do município em estimular o crescimento urbano nessa porção da bacia. Dentre as ZEIA's delimitadas, destaca-se a ZEIA Alagados, oriunda da observação do histórico de alagamentos e correspondência com uma zona caracterizada com brejo.

A Figura 13 apresenta a delimitação do zoneamento definido na proposta do Plano Diretor Municipal do município de Vila Velha, apresentada no dia 23 de novembro de 2017.

Nessa nova proposta, a sub-bacia GUA01 mantém o caráter urbano. As pequenas ZEIA's ao longo da mancha urbana são propostas com ZEIP's e o canal de Guaranhuns passaria a apresentar uma ZEIA ao longo de sua margem. Nas sub-bacias GUA02 e GUA03, as zonas foram melhor distribuídas e uma ZEIA mais significativa é inserida na bacia de drenagem.

A nova proposta classifica as ZEIA's localizadas na bacia do Canal de Guaranhuns como ZEIA B, caracterizando-as como áreas que não são legalmente instituídas como áreas de preservação.

Considerando que cada microbacia apresenta uma combinação ímpar de zonas e parâmetros urbanísticos, cada uma delas apresentará um volume total de armazenamento de água de chuva de acordo com a combinação desses fatores. A simulação dos reservatórios de armazenamento de água de chuva foi norteadada de acordo com desenvolvimento urbano sugerido no Plano Diretor Municipal de 2007.

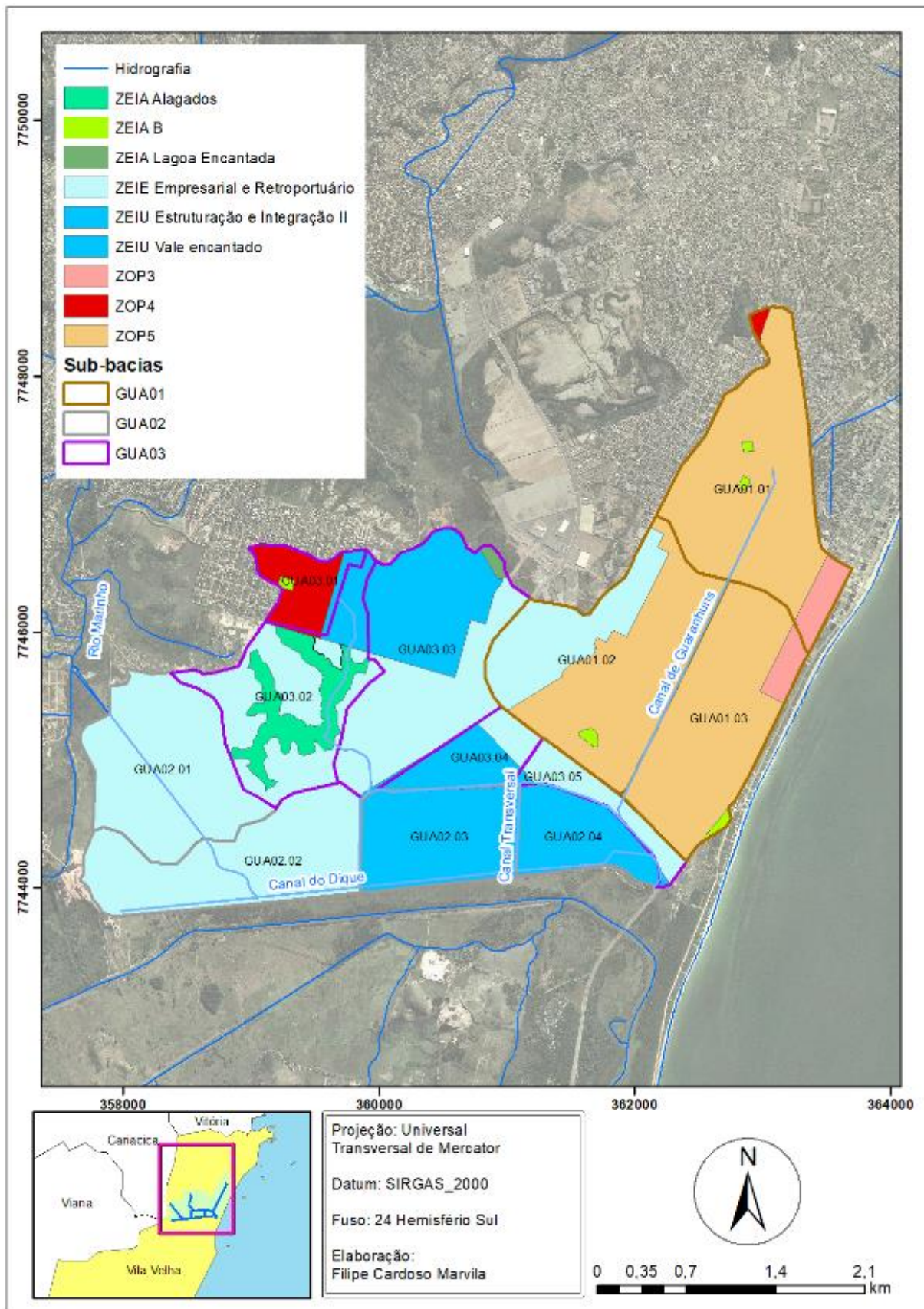


Figura 12: Mapa de zoneamento urbano da bacia do Canal de Guaranhuns – PDM, 2007.

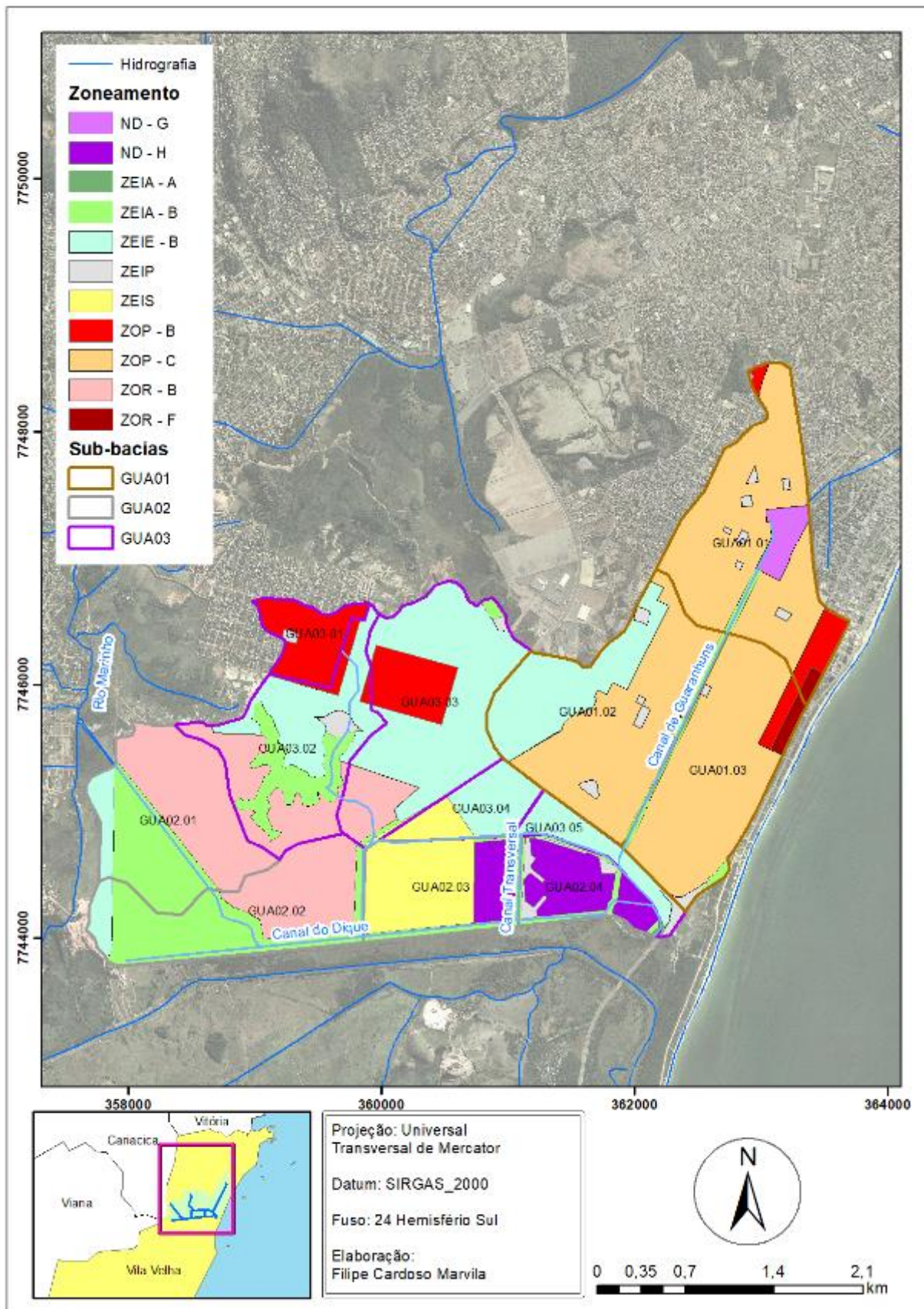


Figura 13: Proposta do novo zoneamento urbano (PDM de 2017) da bacia do Canal de Guaranhuns.

#### **4.5.1 Análise sobre o zoneamento da nova proposta do PDM de Vila Velha.**

As análises a seguir serão pautadas na alteração dos parâmetros urbanísticos na bacia do Canal de Guaranhuns. As variações da taxa de permeabilidade e da taxa de ocupação máxima entre o PDM atual e a proposta do novo documento são apresentadas por meio de mapas nas figuras Figura 14 e Figura 15.

Na Figura 14, observa-se uma predominância da variação positiva da taxa de permeabilidade e o incremento de área verde. Observa-se um aumento de 15 a 25 unidades na taxa de permeabilidade em parte da zona ainda não ocupada, além da definição de uma ZEIA na porção oeste da bacia, próxima ao dique do Jucu, evidenciando a intenção de estabelecer padrões de um desenvolvimento sustentável na região. No entanto, os parâmetros das ZEIA's são apresentados como em aberto, cabendo ao órgão público a definição dessas orientações.

Para as zonas já urbanizadas, foram apresentados incrementos menores da taxa de permeabilidade, vista a dificuldade em alterar a estrutura urbana após sua consolidação. Na ZEIE (Empresarial e Portuária) ocorreu o inverso, pois houve uma redução no valor do parâmetro em uma área com poucos sinais de urbanização.

Outro lado positivo está associado à delimitação de áreas verdes nas regiões ciliares, auxiliando na amortizando os picos de vazão, como nos exemplos citados por Frost (2002) e Palanisamy e Chui (2015).

Na Figura 15, a ZEIE apresenta o maior aumento da taxa de ocupação máxima, intensificando o impacto sobre o escoamento superficial, necessitando de volumes maiores de armazenamento de água de chuva. No restante da área do estudo, foi perceptível uma mudança bem equilibrada nessa taxa.

Vale frisar que a modelagem apresentada nesse estudo foi simulada de acordo com o Plano atual (aprovado em 2007) visto que a proposta apresentada em 2017 não havia sido implementada até o momento desse estudo.

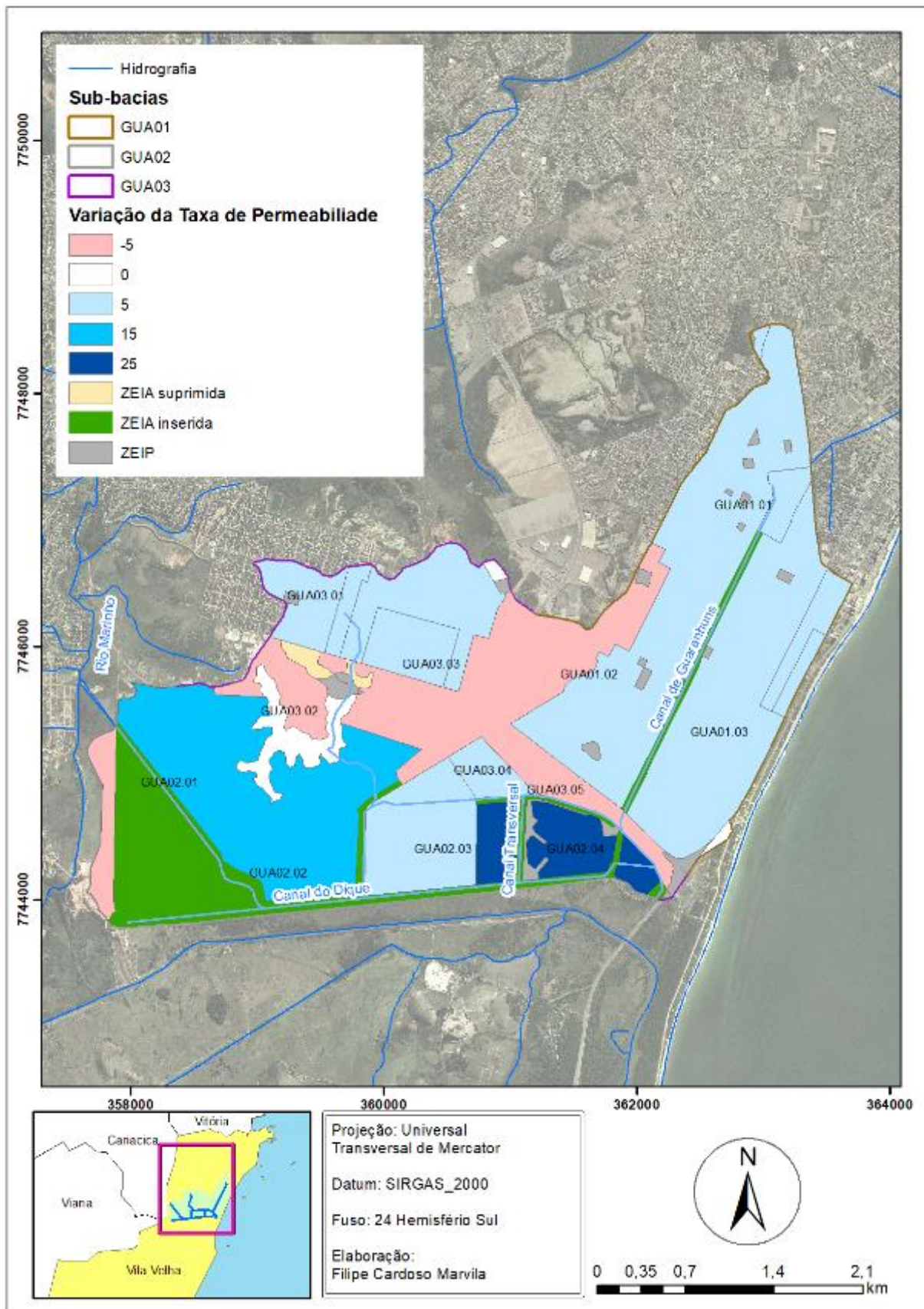


Figura 14: Variação da taxa de permeabilidade. Comparação com a nova proposta de PDM.



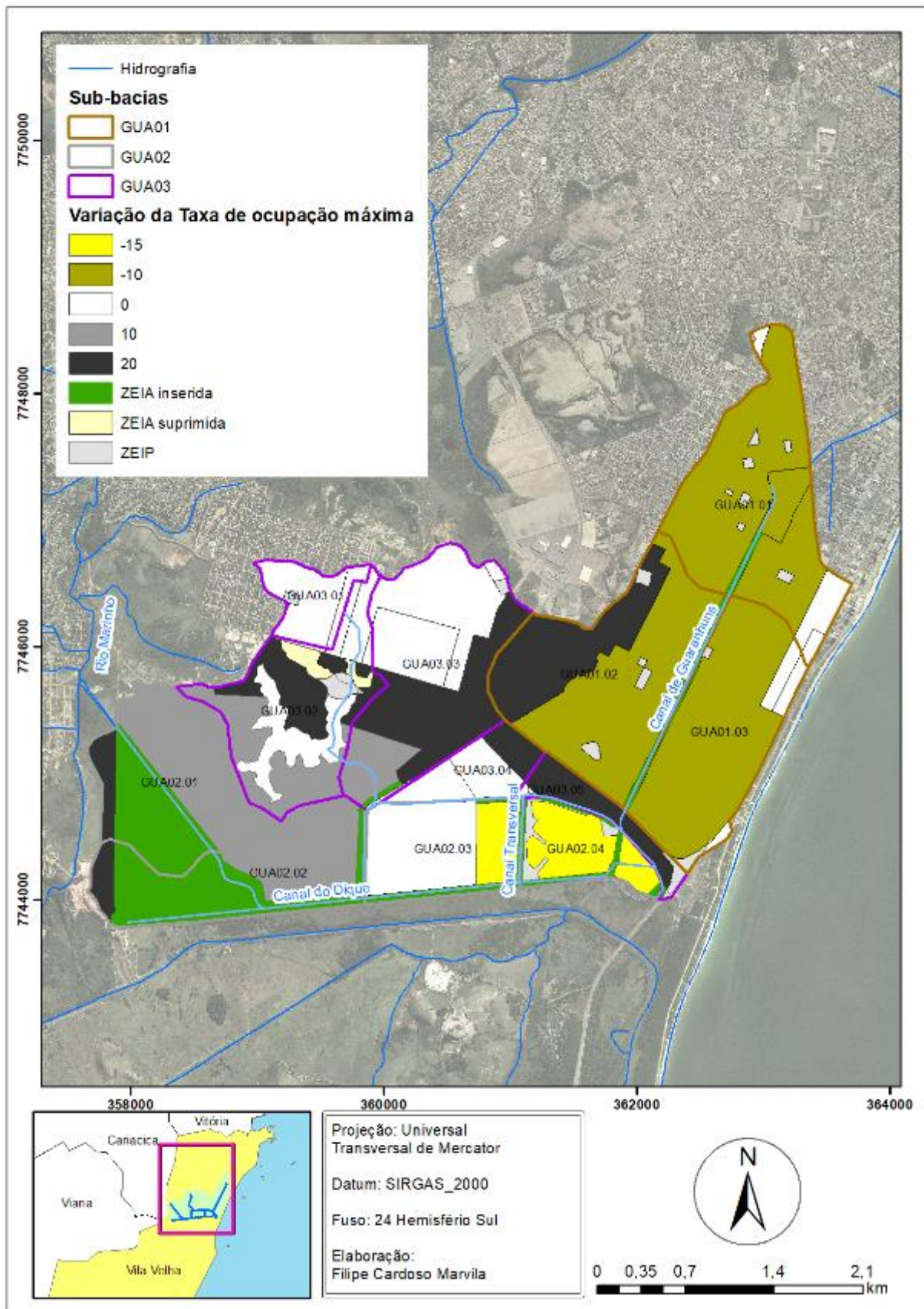


Figura 15: Variação da taxa de ocupação máxima. Comparação com a nova proposta de PDM.

#### 4.6 CHUVA DE PROJETO

Antes de simular os eventos hidrológicos, as intensidades de chuva da região estudada devem ser previamente definidas. Para simular as chuvas da bacia do Canal de Guaranhuns, foi considerado a equação IDF desenvolvido por Sarmiento (1974), para estimar as intensidades de chuvas de Vila Velha.

O tempo de duração das chuvas foi baseado no tempo de concentração da bacia do Canal de Guaranhuns. Silveira (2005) reuniu 23 métodos utilizados para estimar o tempo de concentração da bacia de drenagem. Cada método é recomendado de acordo com parâmetros de área, declividade e comprimento do talvegue. Ao observar os parâmetros da bacia do Canal de Guaranhuns e os requisitos de cada métodos apresentado no estudo de Silveira (2005), nota-se que o método de Carter seria o mais adequado para a bacia do Canal de Guaranhuns. O tempo de concentração encontrado para a bacia foi de 290 min, sendo definido como o tempo de duração da chuva de projeto. O método de Carter também foi representativo para as demais bacias.

Foi utilizado o Método de Blocos Alternados na geração do hietograma de chuva. Tucci (2001) destaca que os métodos de Chicago e dos Blocos alternados apresentam uma tendência de maiores picos de precipitação, garantindo resultados conservadores sobre a capacidade de escoamento na fase final da avaliação.

Foram estimadas chuvas de projeto referentes aos períodos de retorno de 5, 25 e 50 anos, e uma duração de chuva semelhante ao tempo de concentração da bacia. Os hietogramas gerados são apresentados a seguir, na Figura 16. Considerando a equação de IDF utilizada e o método de blocos alternados em uma discretização de 5 min, os picos de chuva variam entre 9,24 e 14,31 mm, com pluviosidade total variando de 77,09 a 119,41 mm ( $Tr = 5$  e 50 anos).

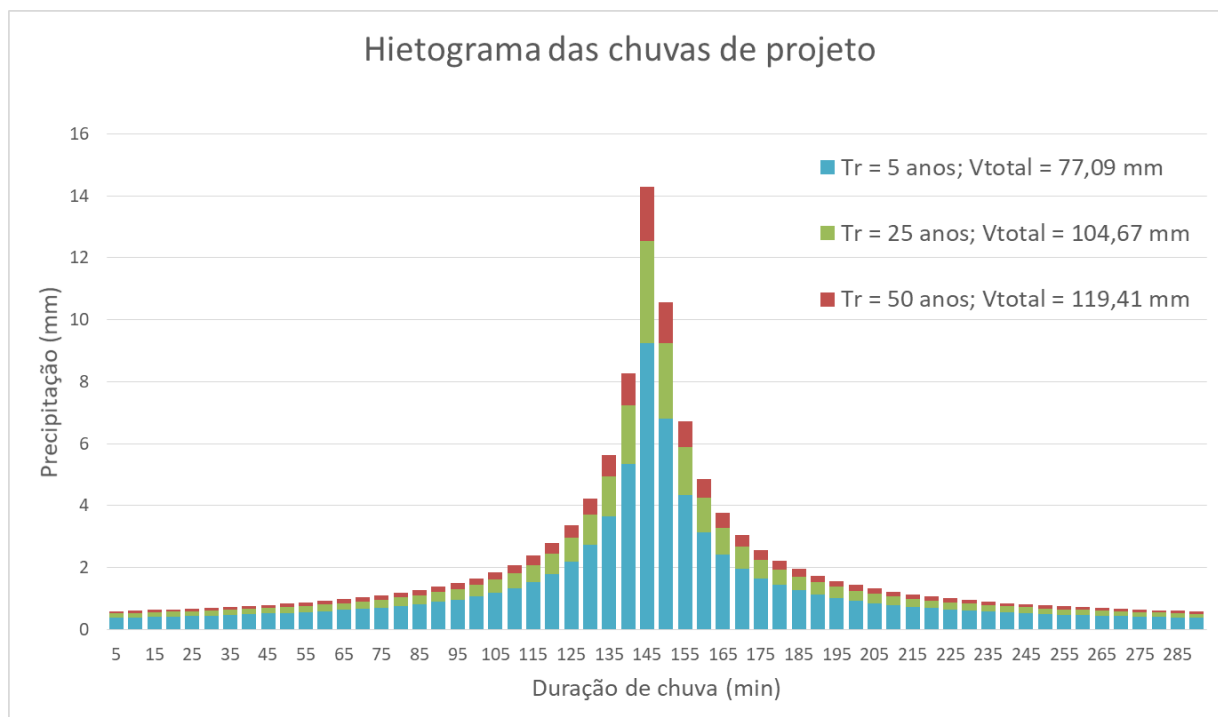


Figura 16: Gráfico de intensidade de chuva para diferentes períodos de retorno.

#### 4.7 PRÉ TRATAMENTO DOS DADOS

A simulação hidrológica foi realizada no *software* Hec-HMS de maneira discretizada, ou seja, áreas com diferentes características hidrológicas foram calculadas separadamente, para, ao fim, representar as peculiaridades de cada sub-bacia, como observado na Figura 17; no entanto, todas utilizaram do mesmo hietograma de chuva em cada período de retorno.

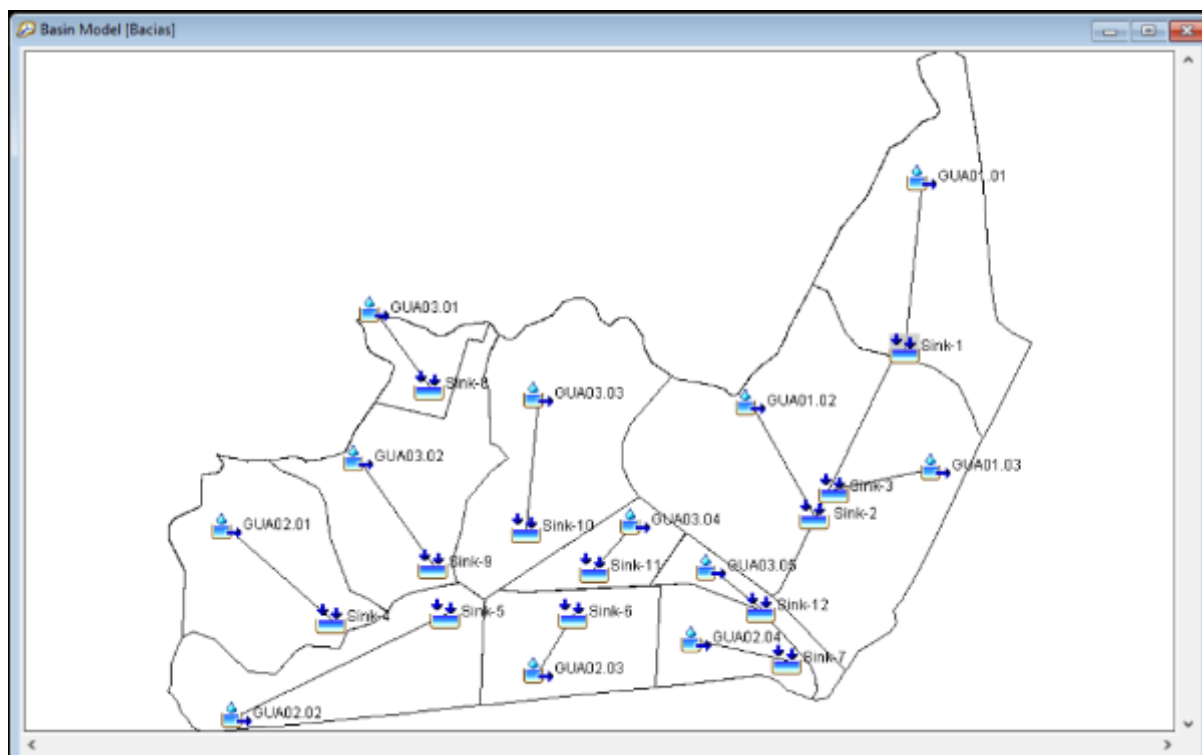


Figura 17: Discretização da bacia do Canal de Guaranhuns.

Por meio do MDT, foram traçadas sub-bacias de drenagem que passaram a representar segmentos da bacia do Canal de Guaranhuns. Em cada sub-bacia o modelo SCS (*Curve Number*) foi utilizado para estimar a chuva excedente que, associado ao método Hidrograma Unitário Triangular do SCS, resultará nos dados de escoamento superficial.

Definindo o método da Hidrógrafa Unitária SCS, utilizou-se o lag time em função do tempo de concentração de cada sub-bacia.

Como supracitado no item 4.2, os dados de entrada no *software* Hec-HMS, como áreas de sub-bacias, declividade da bacia, comprimento do talvegue e sua diferença de cotas e o *Curve Number* da bacia de drenagem, serão gerados em plataforma de informações georreferenciadas por meio dos *shapes* de MDT, mapa de solo e mapa de uso do solo.

Ao inserir os dados físicos e as chuvas de projeto, é possível iniciar a rotina de simulação do *software*. Na Figura 18, é possível observar as etapas principais da modelagem hidrológica proposta nesse trabalho.

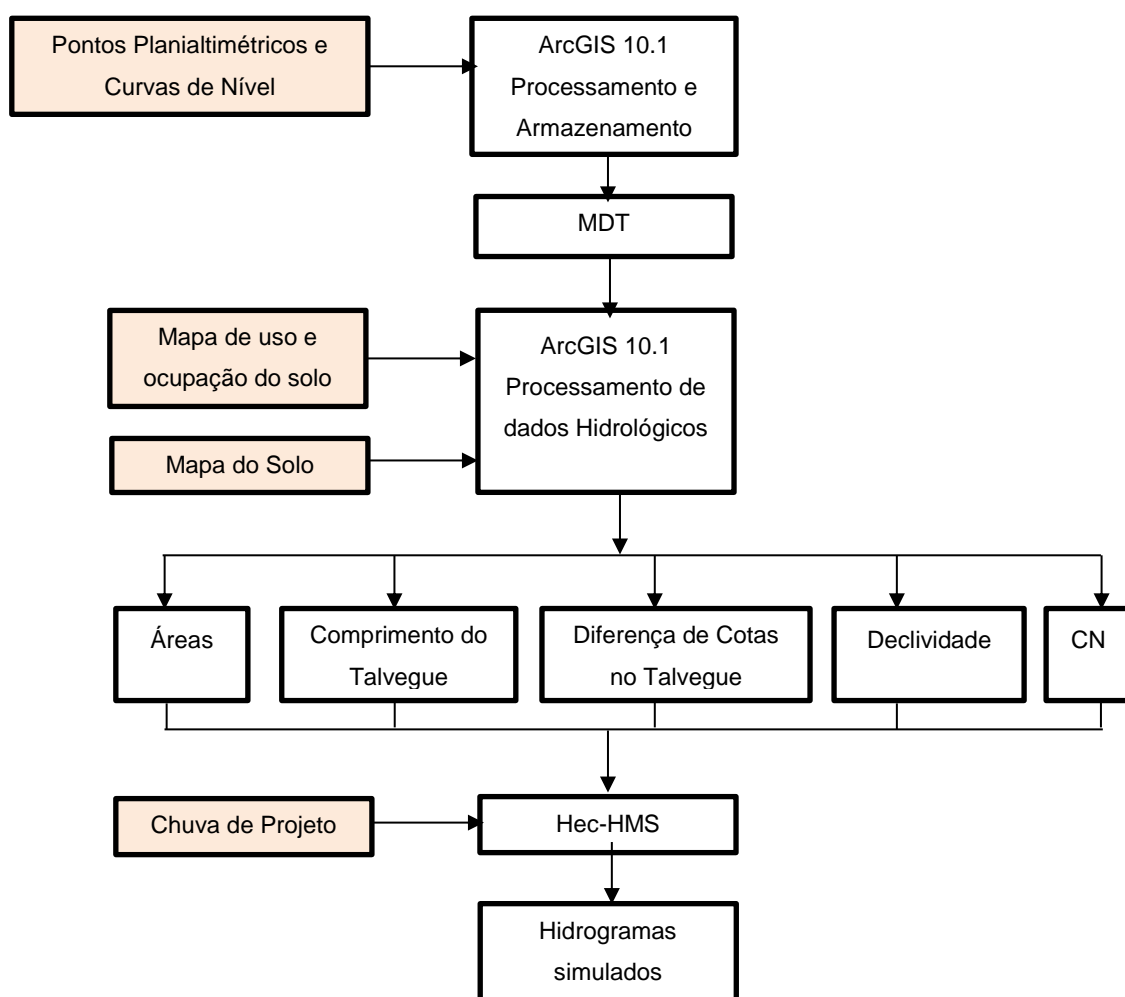


Figura 18: Fluxograma de simulação dos hidrogramas das bacias do Canal de Guaranhuns

#### 4.8 DADOS DE ENTRADA

A Tabela 1 apresenta os valores da representação física da bacia ora estudada que foram utilizados como dados de entrada na simulação hidrológica. Tratando-se de uma região majoritariamente plana, onde predominam valores baixos de declividade, as bacias com maiores comprimentos de talvegue apresentam os maiores tempos de concentração. No entanto, a microbacia GUA02.03 apresenta tempo de concentração de 48,4 minutos, mesmo não sendo a bacia com maior talvegue, evidenciando sua baixa declividade entre as demais.

Tabela 1: Dados de entrada da modelagem hidrológica em cada microbacia.

<b>CÓDIGO</b>	<b>ÁREA (KM<sup>2</sup>)</b>	<b>COMPRIMENTO DO TALVEGUE (M)</b>	<b>DIFERENÇA DE COTA NO TALVEGUE (M)</b>	<b>DECLIVIDADE (M/M)</b>	<b>TEMPO CONCENTRAÇÃO (MIN)</b>	<b>LAG TIME (MIN)</b>
<b>GUA01.01</b>	1,88	<u>1521</u>	5,21	0,0034	43,5	26,1
<b>GUA01.02</b>	2,02	<u>1354</u>	2,75	0,0020	47,5	28,5
<b>GUA01.03</b>	1,58	684	3,67	0,0054	23,6	14,1
<b>GUA02.01</b>	1,41	1221	1,05	0,0009	57,8	34,7
<b>GUA02.02</b>	1,35	<u>1342</u>	27	0,0201	23,7	14,2
<b>GUA02.03</b>	0,92	1086	1,33	0,0012	48,4	29,0
<b>GUA02.04</b>	0,57	886	1,35	0,0015	40,1	24,1
<b>GUA03.01</b>	0,36	791	2,2	0,0028	31,3	18,8
<b>GUA03.02</b>	1,39	1178	2,2	0,0019	44,8	26,9
<b>GUA03.03</b>	1,81	1131	3,01	0,0027	39,3	23,6
<b>GUA03.04</b>	0,42	381	1,03	0,0027	20,4	12,2
<b>GUA03.05</b>	0,31	185	1,6	0,0086	9,3	5,6

#### 4.9 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

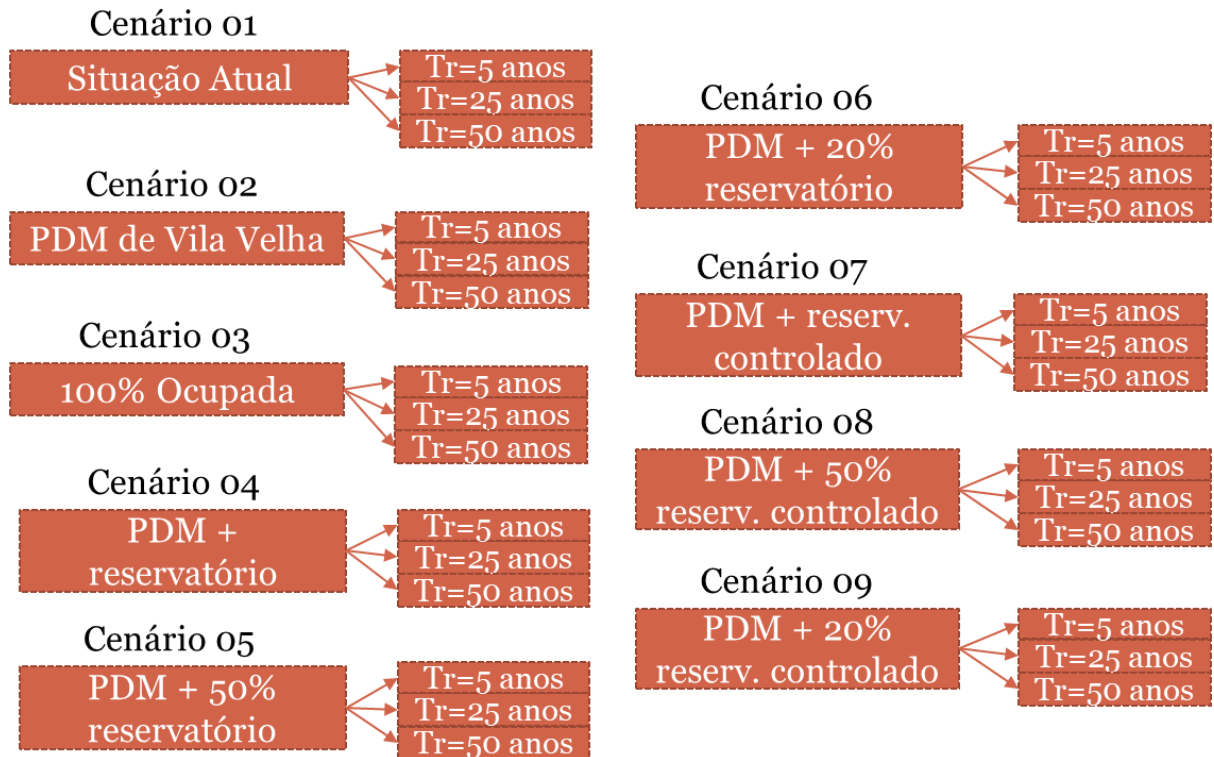
A construção dos cenários foi baseada no objetivo de se entender a capacidade de escoamento da bacia estudada em diferentes situações de ocupação e níveis de intensidade-duração-frequência. Como proposta inicial, os cenários serão apresentados baseando-se nas definições do Plano Diretor da área de estudo. Na Figura 15, é possível observar em forma esquemática, os cenários ora apresentados que serão detalhados nos itens seguintes.

Primeiramente nota-se que os cenários com RAAC's foram divididos em 100, 50 e 20% de lotes com o sistema instalado e divididos em reservatórios utilizados desde o início e durante o pico de chuva (reservatório comum ou controlado).

Os cenários com porcentagem de armazenamento de 100, 50 e 20% foram adicionadas para observar um comportamento como de uma curva, facilitando a análise em gráficos.

Os cenários com reservatório controlado foram adicionados para comparar com o impacto do reservatório comum caso funcionassem no pico da chuva. Nessa situação é possível notar o impacto na retenção de pequenos volumes quando ocorre nos instantes de pico do hietograma.

Figura 19: Cenários Propostos



#### **4.9.1 Condições de simulação**

Os cenários definidos foram simulados para um período de 12h, sendo a chuva de projeto com 290 min de duração, com início após 60 min do tempo simulado. Na transformação de chuva em vazão, os dados de chuva serão discretizados de 5 em 5 minutos, com saída de 15 em 15 min.

Na geração do CN de cada cenário, dividiram-se as áreas com o mesmo conjunto de informações referentes a pedologia, uso e ocupação do solo, sub-bacia e zoneamento urbano. A separação dessas áreas foi realizada utilizando ferramenta *interesect*, fornecida pelo aplicativo ArcGIS 10.1. A tabela gerada nessa ferramenta foi tratada em uma matriz utilizando funções de condições “SE”, no programa Excel, oferecido pelo pacote de programas da Microsoft Office, podendo calcular o CN médio de cada bacia em função do uso do solo, zoneamento ou pedologia.

##### **4.9.1.1 CENÁRIO 01**

No primeiro cenário, foi considerada apenas a condição de pedologia e uso do solo dos dados mais recentes para representar o cenário atual. Nesse caso, a ocupação urbana é dividida, basicamente, em áreas urbanizadas, áreas verdes, brejos e alagados.

##### **4.9.1.2 CENÁRIO 02**

A cobertura de uso e ocupação do solo em cada microbacia foi dividida de acordo com o zoneamento para representar as determinações do Plano Diretor Municipal de Vila Velha (VILA VELHA, 2007). A princípio, as zonas foram separadas de acordo com a taxa de permeabilidade. Parâmetros como porcentagem de vias e áreas verdes (ou livres) também foram considerados nesse cenário para estimar o valor de CN.

A fim de considerar as parcelas de vias, Mascaró (1987) menciona que o tecido urbano apresenta uma parcela entre 20 a 25% destinada ao sistema viário e Baptista (2011) afirma que as áreas destinadas ao sistema viário podem chegar a 30% da área urbana. Para esse cenário, foi considerado um sistema viário em 20% da área urbana, aumentando a oportunidade de avaliar o efeito em um cenário com mais lotes, e, por consequência, um maior número de reservatórios.



Para considerar a porcentagem de área verde para uma região estudada, propõe-se o uso do índice estipulado pela OMS e pela ONU, que delimita o mínimo de 12 m<sup>2</sup> de área verde por habitante. Cavalheiro e Del Picchia (1992) passaram a considerar esse índice como um índice de área mínima de lazer ao ar livre, visto que essa área por habitante se trata de uma área mínima para auxiliar o planejamento urbanos sobre a demanda de parques dentro da malha urbana de livre acesso à população. Vale lembrar que o PDM de Vila Velha de 2007 não considera esse parâmetro de área verde.

Para representar melhor a porcentagem de área verde na cidade de Vila Velha em uma situação de ambiente urbano consolidado, foi considerada a densidade demográfica dos 8 (oito) bairros mais populosos do município de Vila Velha. Os bairros escolhidos foram: Praia Da Costa, Itapoã, Coqueiral De Itaparica, Barramares, Praia de Itaparica, Rio Marinho, Aribiri e Vale Encantado (IBGE, 2017). O Quadro 9 representa o cálculo para representar a relação mais próxima entre as de áreas livres e a totalidade do perímetro urbano desse cenário.

Quadro 9: Considerações de cálculos para estimar a porcentagem de área verde.

Bairro	Habitantes 2010	Área (m <sup>2</sup> )	Área verde recomendada – 12m <sup>2</sup> /hab (m <sup>2</sup> )	Porcentagem de área verde (%)
Praia da Costa	31083	2501206.75	372996.0	14.91%
Itapoã	22808	1270776.51	273696.0	21.54%
Coqueiral de Itaparica	13696	715155.36	164352.0	22.98%
Barramares	12405	3153931.54	148860.0	4.72%
Praia de Itaparica	11648	1529411.38	139776.0	9.14%
Rio Marinho	11377	1576021.52	136524.0	8.66%
Aribiri	10222	797233.34	122664.0	15.39%
Vale Encantado	10047	1668390.60	120564.0	7.23%
			<b>MÉDIA</b>	<b>13.07%</b>

Fonte: IBGE, 2017.

De acordo com a estimativa apresentada no Quadro 9, estima-se que a bacia do Canal de Guaranhuns teria 13,07% de área verde na situação de ambiente urbano consolidado.

Considerando as ZEIA's da Bacia correspondem a 3,53 % da área verde, as ZOP, ZEIU e ZEIE devem conter 9,54 % (= 13,07 – 3,53) de áreas verdes com livre acesso à população para atender a recomendação da ONU. As ZEIA's e áreas verdes foram classificadas com CN's diferentes, distinguindo suas funções no ambiente urbano. As ZEIA's foram consideradas com "Mata nativa em estado inicial de regeneração" e as áreas livres foram consideradas com "Gramados".

Para a área de estudo, nesse cenário não serão consideradas as atuais áreas verdes nas locais com potenciais de urbanização, visto que metade da bacia apresenta indícios e orientações no plano diretor que induzem o crescimento urbano nessa região, principalmente na sub-bacia GUA02 e GUA03. Dessa forma, as áreas urbanizadas foram consideradas quanto ao zoneamento e ao nível de urbanização, sendo que o último parâmetro foi levantado com relação ao tamanho dos lotes da região e representado com o CN mais adequado.

As áreas que não foram consideradas como áreas livres e vias serão consideradas como lotes. Nesse caso os lotes apresentariam comportamento semelhante ao longo da sub-bacia de forma a garantir uma uniformidade no escoamento pluvial. Assim, toda área de lotes foi tratada como um único lote, dividido de acordo com zoneamento urbano para representar os parâmetros urbanísticos adequados.

Na simulação das zonas urbanizadas (ZOP, ZEIU e ZEIE), as áreas correspondentes aos lotes apresentarão uma porcentagem de área permeável, representando o atendimento da taxa de permeabilidade em toda a bacia.

A delimitação das áreas e definição do uso do solo de cada parcela da área da sub-bacia são apresentadas em detalhes na Figura 20 e no Quadro 10.

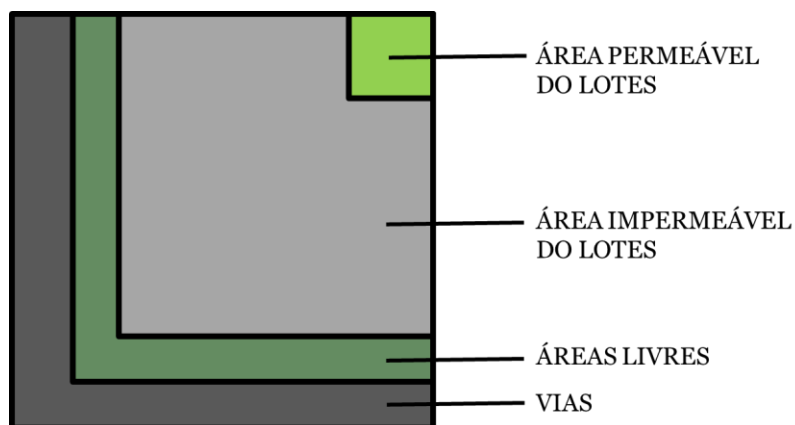


Figura 20: Esquema da delimitação das porcentagens das áreas da microbacia no Cenário 02.

Quadro 10: Condições do uso e ocupação do solo para o Cenário 02.

	ZEIA	Sistema viário	Áreas livres	Área permeável nos lotes	Área impermeável nos lotes	
					ZEIE	ZEIU, ZOP e ZEIE
ZOP3 e ZOP4	-	20%	9,54%	10% da área de lotes	-	90% da área de lotes
ZOP5	-	20%	9,54%	15% da área de lotes	-	85% da área de lotes
ZEIU Vale Encantado; ZEIU Estruturação e Integração II	-	20%	9,54%	10% da área de lotes	-	90% da área de lotes
ZEIE Empresarial e Retroportuário	-	20%	9,54%	20% da área de lotes	80% da área de lotes	-
ZEIA	100%	-	-	-	-	-

<b>Uso e ocupação do solo</b>	"Mata nativa em estágio inicial de regeneração"	"Vias"	"Gramado"	"Gramado"	"Área Edificada - Industrial"	"Área Edificada - 500"
-------------------------------	---	--------	-----------	-----------	-------------------------------	------------------------

#### 4.9.1.3 CENÁRIO 03

Em um cenário mais crítico, visando a comparação entre os demais cenários, foi simulada uma situação considerando a ocupação de áreas livres, das ZEIA's e o não atendimento da taxa de permeabilidade nos lotes, reduzindo o potencial de infiltração da Bacia. As áreas destinadas ao sistema viário serão iguais ao Cenário 02 (20%), bem como a consideração das zonas definidas no PDM de Vila Velha, representadas pelo mesmo uso do solo apresentado no Cenário 02, como apresentados na Quadro 11. As áreas de ZEIA foram consideradas com usos diferentes de acordo com o zoneamento predominante no seu entorno.

A Figura 21 apresenta um esquema simplificado das considerações tomadas e o Quadro 11 apresenta os detalhes de segmentação da área e os usos considerados em cada área.

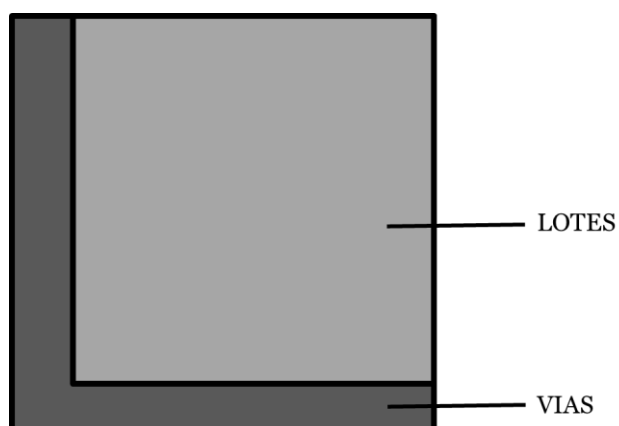


Figura 21: Esquema da delimitação das porcentagens das áreas da microbacia no Cenário 03.

Quadro 11: Condições do uso e ocupação do solo para o Cenário 03.

	Sistema viário	Área de Lotes	
		ZEIE	ZEIU, ZOP e ZEIE
ZOP3 e ZOP4	20%	-	Porcentagem restante
ZOP5	20%	-	Porcentagem restante
ZEIU Vale Encantado; ZEIU Estruturação e Integração II	20%	-	Porcentagem restante
ZEIE Empresarial e Retroportuário	20%	Porcentagem restante	-
ZEIA Alagados	20%	Porcentagem restante	-
ZEIA B	20%	-	Porcentagem restante

Uso e ocupação do solo	"Vias"	"Área Edificada - Industrial"	"Área Edificada - 500"
------------------------	--------	-------------------------------	------------------------

#### 4.9.1.4 CENÁRIO 04

Nas anotações sobre os Planos Diretores Urbanos e nos Planos Diretores de Drenagem, percebe-se uma tendência na orientação de medidas com intervenção na fonte. Medidas que interrompem o escoamento antes de alcançar a microdrenagem, sendo abordadas de formas diferentes em cada município. Os requisitos são definidos a partir das áreas do lote no intuito de dimensionar seção ou vazão de saída, volume de reservatórios de água de chuva ou caixa de recarga de lençol freático.

Em uma análise sobre o efeito de intervenções na fonte, será usada como proposta a utilização de RAAC nos lotes da bacia do Canal de Guaranhuns, considerando a situação de ocupação sugerida pelo PDM do município de Vila Velha (cobertura igual ao Cenário 02).

O reservatório simulado será de funcionamento simplificado, em que o sistema é alimentado pela água da chuva que acessa o telhado. Em seguida, o *overflow* é acionado após o preenchimento completo do volume, admitindo-se que o reservatório esteja vazio no início da chuva e que não há orifício de saída em funcionamento durante o preenchimento do mesmo.

O armazenamento foi representado por uma redução no hietograma de chuva intensa, como mostra um exemplo na Figura 22. Em cada sub-bacia, a redução no hietograma foi realizado na mesma proporção da área de captação da sub-bacia. A redução do hidrograma é interrompido no momento em que volumes armazenados nos lotes é alcançado.

Ao estimar a variação dos hietogramas de chuvas para representar a presença de RAAC's, os cálculos seguiram as seguintes considerações:

- 1- A área de captação de água de chuva foi calculada em função da taxa de ocupação máxima definida em cada zona do PDM de Vila Velha.
- 2- Será utilizada a equação de volume de armazenamento recomendado no Código de Edificações Gerais de Vila Velha (Equação 05).
- 3- A área impermeável utilizada para calcular o volume de armazenamento será a área do lote, desconsiderando a área definida pela taxa de permeabilidade.
- 4- A área estimada de lotes será definida em função da porcentagem de vias e áreas verdes considerada em estudos anteriores.
- 5- Os lotes, áreas livre/verdes e vias estão distribuídos de forma homogênea na área de cada sub-bacia.
- 6- Todos RAAC's encontram-se vazios no início da simulação.

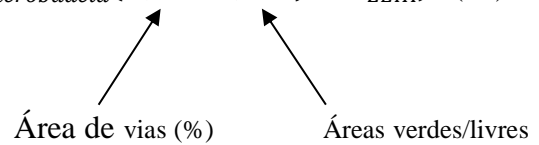
### **Cálculo**

Análoga à utilização do parâmetro urbanístico “taxa de permeabilidade”, foi utilizado o parâmetro “taxa de ocupação máxima” para estimar a maior área para captação de água de chuva nos lotes. Cada microbacia apresenta uma área referente à taxa de ocupação máxima de acordo com zoneamento definido para o município.

No cálculo da área máxima de captação, foram consideradas a área total da bacia ( $A_{SubBacia}$ ), as áreas de vias, as áreas verdes/livres, as áreas de ZEIA ( $A_{ZEIA}$ ) para definir a área de lotes em cada microbacia (Equação 06). A taxa de ocupação máxima em cada zona urbana

apresentada no PDM de Vila Velha foi utilizada para calcular a área de captação máxima na área de lotes, como observado na Equação 07.

$$\text{Área com Lotes (m}^2\text{)} = (A_{\text{microbacia}} - A_{\text{microbaacia}}(0,20 + 0,095) - A_{\text{ZEIA}}) \quad (06)$$



(%)

$$\text{Área Máxima de Captação (m}^2\text{)} = \text{Área com Lotes (m}^2\text{)} \cdot \text{Tx}_{\text{ocup.máx}} \quad (07)$$

Lembrando que na Equação 07 a taxa de ocupação máxima é uma média ponderada do parâmetro urbanístico em função do tamanho das zonas nas microbacias.

Considerando que a chuva se distribua de maneira homogênea sobre a bacia, é possível estimar a porcentagem de pluviosidade que não é captada, apresentada na Equação 08, e o volume captado, apresentado na Equação 09. Para essa etapa, considerou-se o *runoff* de 0,95, reduzindo em 5% a quantidade de captação direcionada para os reservatórios.

$$P_{i_c} = P_i \cdot \left(1 - \frac{\text{Área Máxima de Captação (m}^2\text{)} \cdot 0,95}{\text{Área da microbacia (m}^2\text{)}}\right) \quad (08)$$

$$V_i = \frac{\text{Área Máxima de Captação (m}^2\text{)} \cdot 0,95}{\text{Área da microbacia (m}^2\text{)}} \cdot \frac{P_i \cdot \text{Área da microbacia (m}^2\text{)}}{1000} \quad (09)$$

Sendo,

$P_{i_c}$  = Precipitação efetiva, corrigida pelo armazenamento no RAAC no instante  $i$  (mm).

$P_i$  = Precipitação do instante  $i$  (mm).

$V_i$  = Volume captado no instante  $i$  (m<sup>3</sup>).

Sabendo o volume de armazenamento em cada microbacia (Equação 09) e o volume armazenado em cada instante, é possível calcular o período em que o hietograma é subtraído, do início da chuva até o volume captado preencher o volume referente aos reservatórios.

No último instante de captação de água de chuva, quando o milímetro de chuva captado representaria um volume além do necessário para preencher o reservatório, utiliza-se a Equação 10 para calcular o volume captado e a Equação 11 para calcular a precipitação corrigida, considerando apenas o volume que preencherá o reservatório.

$$V_i = V_r - V_a \quad (10)$$

$$P_{i_c} = P_i \cdot \left( 1 - \frac{\overbrace{V_r - V_a}^{\text{(Volume restante nos reservatórios)}}}{\underbrace{\frac{P_i \cdot \text{Área da microbacia (m}^2\text{)}}{1000}}_{\text{(Volume gerado no instante } i\text{)}}} \right) \quad (11)$$

Sendo,

$V_r$  = Volume de armazenamento referente a Equação 05 (m<sup>3</sup>).

$V_a$  = Volume captado nos instantes anteriores (m<sup>3</sup>).

De maneira resumida, a precipitação corrigida apresenta três momentos. Quando ocorre a captação de água de chuva, em que o milímetro de chuva é reduzido de acordo com a área de captação (0 a 140 min da Figura 22). Outro momento representando o último instante de captação de água de chuva em que a redução do milímetro de chuva é proporcional à quantidade restante para preencher o volume reservado (140 a 145 min da Figura 22). E o momento em que não ocorre captação, sem alterar o hidrograma (145 a 290 min da Figura 22).

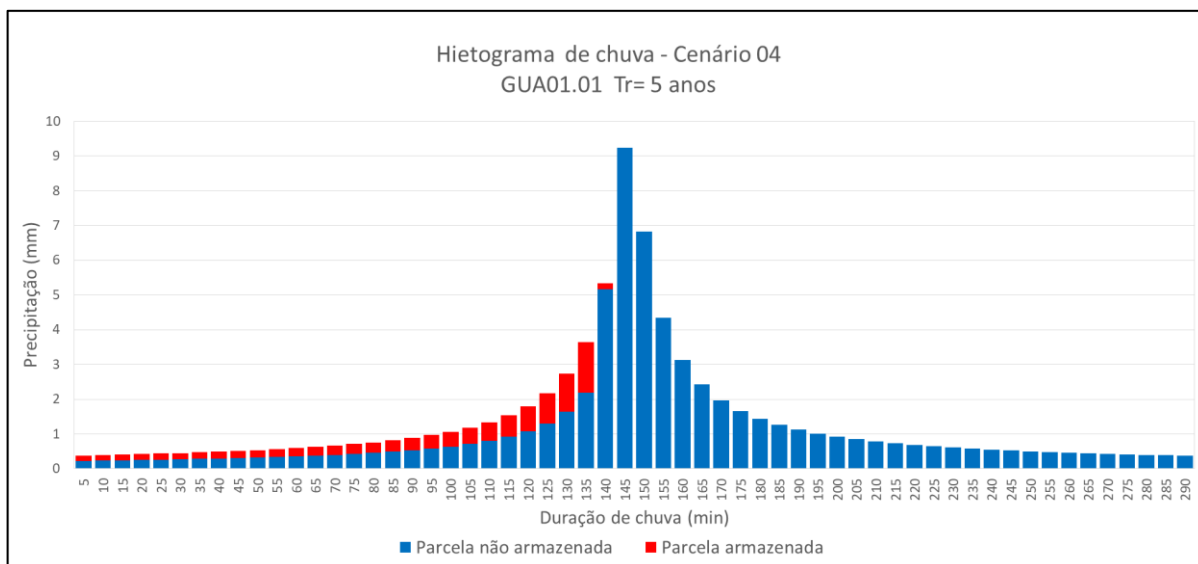


Figura 22: Exemplo de hietograma considerando o milímetro de chuva captado – Cenários 04.

#### 4.9.1.5 CENÁRIO 05

O Cenário 05 segue com os mesmos cálculos e considerações do Cenário 04, no entanto foi considerado 50% do volume total de armazenamento da água de chuva.

#### 4.9.1.6 CENÁRIO 06

O Cenário 06 segue com os mesmos cálculos e considerações do Cenário 04, no entanto foi considerado 20% do volume total de armazenamento da água de chuva.

#### 4.9.1.7 CENÁRIO 07

O Cenário 07 segue com os mesmos cálculos e considerações do Cenário 04, no entanto a simulação iniciou a captação no instante de 3:10, sendo 2:15 após o início da chuva e um instante anterior ao pico de chuva. Dessa forma, o hietograma seria alterado de outra maneira, como apresentado na Figura 23.

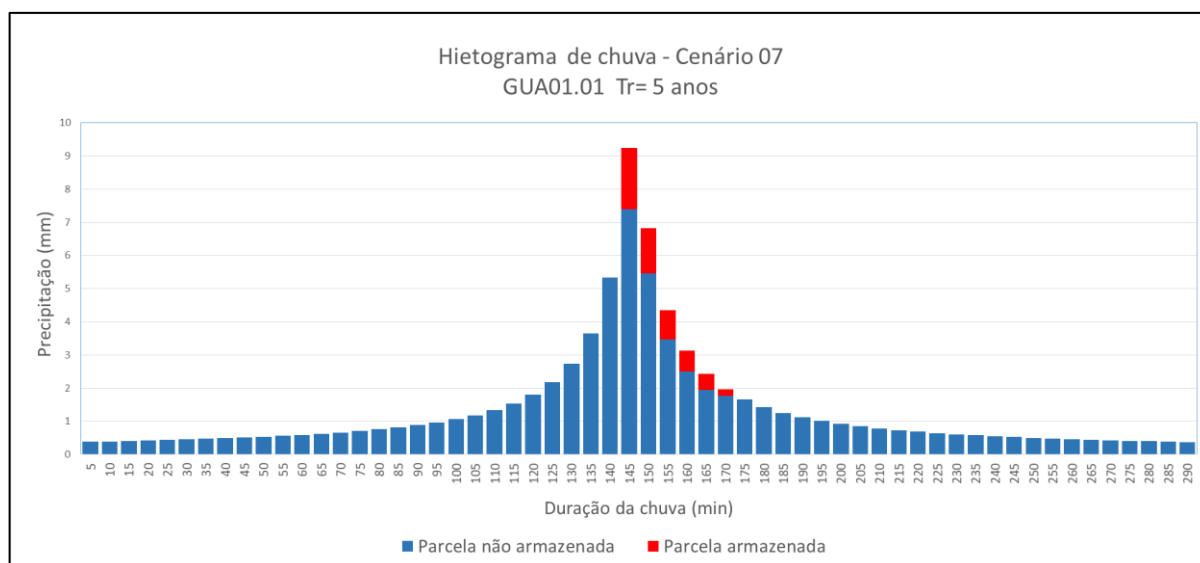


Figura 23: Exemplo de hietograma considerando o milímetro de chuva captado – Cenário 07.

#### 4.9.1.8 CENÁRIO 08

O Cenário 08 segue com os mesmos cálculos e considerações do Cenário 07, no entanto foi considerado 50% do volume total de armazenamento da água de chuva.



#### *4.9.1.9 CENÁRIO 09*

O Cenário 09 segue com os mesmos cálculos e considerações do Cenário 07, no entanto foi considerado 20% do volume total de armazenamento da água de chuva.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 VALORES DE USO DO SOLO

Os valores de CN e a porcentagem de área impermeável em cada bacia são apresentados na Tabela 2, distinguindo-os por cenário e microbacia.

Na Tabela 2, observa-se que para o Cenário 02 (incluindo-se os cenários 04, 05, 06, 07, 08 e 09), predominaram valores de CN um pouco maiores que 89, com exceção das microbacias com permeabilidade elevada e presença de ZEIA (GUA03.01 e GUA03.02). No Cenário 03, os valores CN um pouco maiores que 91 em sua maioria, com exceção da GUA03.01 com valor de CN igual a 82,6 também devido a permeabilidade, caracterizado por infiltração mais elevada por apresentar Latossolo Vermelho-Amarelo.

A quantidade de área impermeável foi elevada em alguns elementos hidrológicos no Cenário 01 devido a consideração de brejos e afloramentos rochosos na zona menos urbanizada. Nos demais cenários, a porcentagem de área impermeável foi considerada apenas nas massas de água do córrego principal. As demais áreas, como brejos e afloramentos, foram consideradas com os valores de CN mais representativos de acordo com cada cenário, de acordo com a definição do PDM de Vila Velha.

Tabela 2: Valores de CN e porcentagem de área impermeável considerados na modelagem hidrológica em cada cenário.

Elemento hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	CENÁRIO 01		CENÁRIO 02, 04, 05, 06, 07, 08 e 09		CENÁRIO 03	
		CN	Área Impermeável (%)	CN	Área Impermeável (%)	CN	Área Impermeável (%)
GUA01.01	1,88	89,8	1,31	89,3	1,10	91,6	1,10
GUA01.02	2,02	84,6	0,90	89,3	0,90	91,9	0,90
GUA01.03	1,58	83,3	0,55	89,2	0,55	91,6	0,55
GUA02.01	1,41	76,4	25,82	89,6	0,00	92,4	0,00
GUA02.02	1,35	78,4	7,82	89,6	0,00	92,4	0,00
GUA02.03	0,92	82,5	13,00	89,8	0,65	91,6	0,65
GUA02.04	0,57	77,0	23,53	89,8	2,08	91,6	2,08
GUA03.01	0,36	76,7	0,00	77,2	0,00	82,6	0,00
GUA03.02	1,39	73,6	17,33	83,6	0,58	91,9	0,58
GUA03.03	1,81	74,4	27,06	89,4	0,00	92,0	0,00
GUA03.04	0,42	91,1	2,01	89,7	1,11	91,8	1,11
GUA03.05	0,31	86,2	5,59	89,6	5,59	92,3	5,59

Considerando as áreas impermeáveis com um valor de CN igual a 100, é possível analisar os cenários apenas por um parâmetro de cobertura do solo. Dessa forma, as áreas impermeáveis da Tabela 2, substituídas por áreas com CN=100, entraram na conta do CN total. Na Tabela 3, são apresentadas as variações absolutas e relativas dos valores de CN, considerando as áreas impermeáveis com CN igual a 100.

Na Tabela 3, as variações entre os Cenários 01 e 02 e conseqüentemente aos Cenários 04 a 09, apresentam variações menores quando comparamos a variação entre os Cenários 01 e 03, como era esperado pela consideração do uso do solo. Para o Cenário 02, as zonas já consolidadas, como a GUA01.01, a GUA03.01, GUA03.04, GUA03.05 não apresentaram grandes variações, chegando a valores negativos e pouco significantes.

Tabela 3: Comparação entre os valores de CN de cada cenário.

Elemento hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	CENÁRIO 01	CENÁRIOS 02, 04, 05, 06, 07, 08 e 09			CENÁRIO 03		
		CN	Comparação com o Cenário 01			Comparação com o Cenário 01		
			CN	Dif. absoluta	Dif. (%)	CN	Dif. absoluta	Dif. (%)
<b>GUA01.01</b>	1,881	90,0	89,4	-0,5	-0,59%	91,7	1,7	1,92%
<b>GUA01.02</b>	2,022	84,8	89,4	4,7	5,50%	92,0	7,2	8,47%
<b>GUA01.03</b>	1,583	83,4	89,3	5,9	7,12%	91,6	8,3	9,94%
<b>GUA02.01</b>	1,412	82,5	89,6	7,1	8,61%	92,4	9,9	12,05%
<b>GUA02.02</b>	1,353	80,1	89,6	9,5	11,82%	92,4	12,3	15,36%
<b>GUA02.03</b>	0,917	84,8	89,8	5,0	5,93%	91,7	6,8	8,06%
<b>GUA02.04</b>	0,569	82,4	90,0	7,6	9,24%	91,8	9,4	11,41%
<b>GUA03.01</b>	0,357	76,7	77,2	0,5	0,66%	82,6	5,9	7,64%
<b>GUA03.02</b>	1,391	78,2	83,7	5,5	7,05%	92,0	13,8	17,60%
<b>GUA03.03</b>	1,812	81,3	89,4	8,1	9,95%	92,0	10,7	13,16%
<b>GUA03.04</b>	0,424	91,3	89,8	-1,4	-1,57%	91,9	0,6	0,71%
<b>GUA03.05</b>	0,306	87,0	90,2	3,2	3,62%	92,8	5,8	6,61%

## 5.2 HIETOGRAMA COM RESERVATÓRIO

Como mencionado na metodologia, a redução no hietograma dos cenários com captação de água de chuva depende da porcentagem de área de telhado, ou área de captação, e da soma do volume dos reservatórios dos lotes. A Tabela 4 apresenta parte do desenvolvimento desses hietogramas em cada período de retorno.

Primeiramente, nota-se que os valores de volume reservado, porcentagem de área de captação e o volume armazenado por quilometro quadrado (Colunas 7, 8 e 9) estão associados às zonas urbanas do PDM do Município de Vila Velha e seus parâmetros urbanísticos.

Analisando-se a porcentagem da área máxima de captação, áreas definidas em sua totalidade como ZOP ou ZEIU apresentam parcelas elevadas de captação (até 42,28%), devido taxa de ocupação máxima (TO) dos lotes de 60%. As sub-bacias totalmente definidas como ZEIE apresentam parcelas baixas de captação, associada a TO baixo (40%). No entanto, a sub-bacia com menor porcentagem de captação é a GUA03.02, devido a presença da ZEIA Alagados, cuja delimitação não apresenta lotes nos cenários que simulam reservatório de água de chuva.

O volume armazenado em lotes (Col.8 da Tabela 4) apresenta forte relação com a área de cada microbacia. No entanto, analisando a relação de volume armazenado pela área da bacia (Col. 9 da Tabela 4), pode-se notar uma semelhança entre os dados, em que a maioria dos valores estão entre 10,15 e 11,42 dam<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, com destaque para a sub-bacia GUA03.02, pois 30% da sua área está definida como ZEIA, eliminando a presença de lotes e, conseqüentemente, de reservatórios de armazenamento de água de chuva.

O maior armazenamento por km<sup>2</sup> (11,42 dam<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>) está associado às áreas definidas como ZEIU, ZOP3 e ZOP4, com área permeável de 10% a 15%, contribuindo para uma área impermeável maior (maior reservatório). Do contrário, o armazenamento das microbacias com áreas definidas como ZEIE é menor (10,15 dam<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>), devido a uma área permeável de 20%, contribuindo para uma área impermeável menor (menor reservatório).

A coluna 10 indica a porcentagem impermeável da microbacia, incluindo as vias e áreas impermeáveis dos lotes.

Tabela 4: Contribuição da captação nos hietogramas do cenário com 100% dos lotes com RAAC,s ( Cenários 04 e 07.

Col.1	Col.2	Col.3	Col.4	Col.5	Col.6	Col.7	Col.8	Col.9	Col.10
Elemento Hidrológico	Área Total (km <sup>2</sup> )	Área ZEIA	Área ZEIE	Área ZEIU, ZOP3 e ZOP4	Área ZOP5	Porcentagem de área máxima de captação	Volume reservado em lotes (1000 m <sup>3</sup> )	Volume armazenado para cada km <sup>2</sup> de bacia (1000m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	Porcentagem de área impermeável Cenário 02
		TP: -	TP: 20%	TP: 10%	TP: 15%				
		TO: -	TO: 40%	TO: 60%	TO: 60%				
<b>GUA01.01</b>	1,88	0,68%	0,00%	8,84%	90,47%	41,99%	20,25	10,76	79,66%
<b>GUA01.02</b>	2,02	0,69%	34,47%	-	64,84%	37,13%	21,20	10,49	78,13%
<b>GUA01.03</b>	1,58	1,11%	-	6,82%	92,07%	41,81%	16,95	10,70	79,25%
<b>GUA02.01</b>	1,41	-	100,00%	-	-	28,18%	14,33	10,15	76,37%
<b>GUA02.02</b>	1,35	-	99,58%	0,42%	-	28,24%	13,74	10,15	76,40%
<b>GUA02.03</b>	0,92	-	-	100,00%	-	42,28%	10,47	11,42	83,42%
<b>GUA02.04</b>	0,57	-	-	99,98%	-	42,27%	6,49	11,42	83,41%
<b>GUA03.01</b>	0,36	2,71%	-	97,29%	-	41,13%	3,96	11,11	81,15%
<b>GUA03.02</b>	1,39	29,73%	57,96%	12,31%	-	21,54%	10,14	7,29	54,53%
<b>GUA03.03</b>	1,81	1,53%	52,07%	46,40%	-	34,29%	19,17	10,58	78,47%
<b>GUA03.04</b>	0,42	-	27,61%	72,39%	-	38,39%	4,69	11,07	81,47%
<b>GUA03.05</b>	0,31	-	88,35%	8,95%	2,70%	29,83%	3,15	10,28	77,10%

TP = taxa de permeabilidade; TO = taxa de ocupação máxima

Na Tabela 5 é possível observar os volumes de precipitação que foram subtraídos do Cenário 02 para representar a captação da água de chuva em cada cenário. O volume apresentado na coluna 4 é referente a Equação 05, calculado em função da área impermeável dos lotes, apresentada na Coluna 3. Como observado, todos as subtrações estão coerentes com o volume de captação, alterando de acordo com a definição de cada cenário, sendo 100% do volume para os cenários 04 e 07, 50% para os cenários 05 e 08 e 20% para os cenários 07 e 09.

Tabela 5: Volumes captados em cada cenário.

Elemento Hidrológico	Coluna 2 Área Total (km <sup>2</sup> )	Coluna 3 Área impermeável dos lotes (km <sup>2</sup> )	Coluna 4 Volume reservado pelos lotes (m <sup>3</sup> ) -100% (V=18.Ai)	VOLUME SUBTRAÍDO DO HIETOGRAMA DO CENÁRIO 02 (m <sup>3</sup> )								
				Cenário 4			Cenário 5			Cenário 6		
				5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
GUA01.01	1,88	1,125	20247	20247	20247	20247	10123	10123	10123	4049	4049	4049
GUA01.02	2,02	1,178	21205	21205	21205	21205	10602	10602	10602	4241	4241	4241
GUA01.03	1,58	0,942	16948	16948	16948	16948	8474	8474	8474	3390	3390	3390
GUA02.01	1,41	0,796	14329	14329	14329	14329	7164	7164	7164	2866	2866	2866
GUA02.02	1,35	0,763	13739	13739	13739	13739	6869	6869	6869	2748	2748	2748
GUA02.03	0,92	0,582	10469	10469	10469	10469	5234	5234	5234	2094	2094	2094
GUA02.04	0,57	0,361	6492	6492	6492	6492	3246	3246	3246	1298	1298	1298
GUA03.01	0,36	0,220	3958	3958	3958	3958	1979	1979	1979	792	792	792
GUA03.02	1,39	0,563	10138	10138	10138	10138	5069	5069	5069	2028	2028	2028
GUA03.03	1,81	1,065	19169	19169	19169	19169	9585	9585	9585	3834	3834	3834
GUA03.04	0,42	0,260	4687	4687	4687	4687	2343	2343	2343	937	937	937
GUA03.05	0,31	0,175	3149	3149	3149	3149	1574	1574	1574	630	630	630

Elemento Hidrológico	Área Total (km <sup>2</sup> )	Área impermeável dos lotes (km <sup>2</sup> )	Volume reservado pelos lotes (m <sup>3</sup> ) - 100% (V=18.Ai)	VOLUME SUBTRAÍDO DO HIETOGRAMA DO CENÁRIO 02 (m <sup>3</sup> )								
				Cenário 7			Cenário 8			Cenário 9		
				5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
GUA01.01	1,88	1,125	20247	20247	20247	20247	10123	10123	10123	4049	4049	4049
GUA01.02	2,02	1,178	21205	21205	21205	21205	10602	10602	10602	4241	4241	4241
GUA01.03	1,58	0,942	16948	16948	16948	16948	8474	8474	8474	3390	3390	3390
GUA02.01	1,41	0,796	14329	14329	14329	14329	7164	7164	7164	2866	2866	2866
GUA02.02	1,35	0,763	13739	13739	13739	13739	6869	6869	6869	2748	2748	2748
GUA02.03	0,92	0,582	10469	10469	10469	10469	5234	5234	5234	2094	2094	2094
GUA02.04	0,57	0,361	6492	6492	6492	6492	3246	3246	3246	1298	1298	1298
GUA03.01	0,36	0,220	3958	3958	3958	3958	1979	1979	1979	792	792	792
GUA03.02	1,39	0,563	10138	10138	10138	10138	5069	5069	5069	2028	2028	2028
GUA03.03	1,81	1,065	19169	19169	19169	19169	9585	9585	9585	3834	3834	3834
GUA03.04	0,42	0,260	4687	4687	4687	4687	2343	2343	2343	937	937	937
GUA03.05	0,31	0,175	3149	3149	3149	3149	1574	1574	1574	630	630	630

Sabe-se que nos instantes em que há captação de água de chuva a pluviosidade considerada no hietograma cobre uma área com cobertura do solo diferente, onde não são consideradas as áreas de captação. Dessa forma, o valor de CN deveria ser menor que o considerado anteriormente apenas no período de captação.

No entanto, o modelo de chuva-vazão SCS não possibilita o uso de dois valores de CN para a mesma modelagem ao longo do tempo de simulação, inviabilizando a consideração.

### 5.3 RESULTADOS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Os resultados em hidrogramas de cheia são apresentados no ANEXO 1, separados de acordo com as microbacias e o período de retorno. Ao longo desse item serão apresentadas as tabelas com os dados de pico de vazão de cada cenário. Na Tabela 6, na Tabela 7 e na Tabela 8 estão os picos de vazão de cada simulação e na Tabela 9, na Tabela 10, na Tabela 11, na Tabela 12 e na Tabela 13 apresentam-se as comparações entre os mesmos.

Na Tabela 6, na Tabela 7 e na Tabela 8, observam-se os picos de vazão e a área de cada sub-bacia, apresentando coerência nos resultados encontrados. À medida que aumenta o período de retorno e o tamanho da microbacia, aumenta o pico de vazão.

Em uma análise geral, no Cenário 01, percebe-se que áreas com relevante presença de “Macega”, “Mangue”, “Mata nativa” e “Mata nativa em estágio de regeneração” apresentam picos de vazão reduzidos.

As sub-bacia GUA01 apresenta os maiores picos de vazão devido ao tamanho das áreas de drenagem e aos usos do solo considerados. A microbacia GUA03.01 apresenta os menores valores, mesmo apresentando níveis de urbanização elevado; no entanto, possui uma área de drenagem pequena com cobertura de Latossolo Vermelho-Amarelo.

Tabela 6: Picos de vazão (m³/s) nos cenários 01, 02 e 03.

Elemento Hidrológico	Área (km²)	DESCARGA DE PICO (m³/s)								
		Cenário 01 - Situação Atual			Cenário 02 - Plano Diretor			Cenário 03 - Ocupação desordenada		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	20,8	31,1	36,5	20,4	30,6	36,1	22,3	32,6	38,0
<b>GUA01.02</b>	2,02	17,0	27,1	32,7	21,0	31,6	37,4	23,3	34,0	39,8
<b>GUA01.03</b>	1,58	16,9	27,5	33,4	22,2	33,3	39,3	24,4	35,6	41,6
<b>GUA02.01</b>	1,41	9,7	15,5	18,7	13,4	20,0	23,6	14,9	21,7	25,3
<b>GUA02.02</b>	1,35	12,1	20,5	25,3	19,2	28,7	33,8	21,4	30,9	36,0
<b>GUA02.03</b>	0,92	7,6	12,0	14,5	9,6	14,4	17,0	10,3	15,2	17,7
<b>GUA02.04</b>	0,57	4,6	7,4	9,0	6,6	9,8	11,6	7,0	10,3	12,1
<b>GUA03.01</b>	0,36	2,4	4,2	5,3	2,5	4,3	5,4	3,3	5,4	6,6
<b>GUA03.02</b>	1,39	8,7	14,8	18,3	11,5	18,6	22,5	16,5	24,0	28,0
<b>GUA03.03</b>	1,81	14,2	22,9	27,9	20,6	31,1	36,7	22,9	33,4	39,0
<b>GUA03.04</b>	0,42	6,7	9,8	11,4	6,3	9,4	11,1	6,8	9,9	11,6
<b>GUA03.05</b>	0,31	5,0	7,7	9,2	5,7	8,5	10,0	6,3	9,1	10,5

Tabela 7: Picos de vazão (m³/s) nos cenários 04, 05 e 06.

Elemento Hidrológico	Área (km²)	DESCARGA DE PICO (m³/s)								
		Cenário 04 - PDM + reservatório			Cenário 05 - PDM + 50% dos reservatórios			Cenário 06 - PDM + 20% dos reservatórios		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	16,6	27,7	33,5	18,6	29,3	34,9	19,7	30,1	35,6
<b>GUA01.02</b>	2,02	17,1	28,3	34,4	19,0	30,0	36,0	20,2	31,0	36,8
<b>GUA01.03</b>	1,58	18,1	30,4	36,8	20,3	32,0	38,2	21,5	32,9	38,9
<b>GUA02.01</b>	1,41	10,7	17,8	21,7	12,0	18,9	22,7	12,8	19,6	23,2
<b>GUA02.02</b>	1,35	15,1	25,9	31,5	17,1	27,4	32,8	18,4	28,2	33,4
<b>GUA02.03</b>	0,92	7,7	12,8	15,5	8,7	13,6	16,3	9,2	14,1	16,7
<b>GUA02.04</b>	0,57	5,3	8,8	10,7	5,9	9,3	11,1	6,3	9,6	11,4
<b>GUA03.01</b>	0,36	1,6	3,5	4,6	2,1	4,0	5,0	2,3	4,2	5,3
<b>GUA03.02</b>	1,39	9,5	16,7	20,8	10,4	17,7	21,7	11,0	18,2	22,2
<b>GUA03.03</b>	1,81	16,6	27,8	33,8	18,5	29,5	35,4	19,8	30,5	36,2
<b>GUA03.04</b>	0,42	5,3	8,7	10,5	5,8	9,1	10,8	6,1	9,3	11,0
<b>GUA03.05</b>	0,31	4,5	7,9	9,5	5,1	8,2	9,8	5,5	8,4	9,9



Tabela 8: Picos de vazão (m³/s) nos cenários 07, 08 e 09.

Elemento Hidrológico	Área (km²)	DESCARGA DE PICO (m³/s)								
		Cenário 07 - PDM + reserv. controlados			Cenário 08 - PDM + 50% dos reserv. controlados			Cenário 09 - PDM + 20% dos reserv. controlados		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	14,1	23,0	28,3	17,1	26,8	32,2	19,1	29,1	34,5
<b>GUA01.02</b>	2,02	15,2	24,3	29,7	18,1	27,9	33,5	19,8	30,1	35,8
<b>GUA01.03</b>	1,58	14,9	23,3	28,6	18,5	28,3	34,0	20,7	31,3	37,2
<b>GUA02.01</b>	1,41	10,6	16,2	19,5	11,9	18,1	21,5	12,8	19,2	22,8
<b>GUA02.02</b>	1,35	14,9	22,6	26,7	17,0	25,6	30,2	18,3	27,5	32,4
<b>GUA02.03</b>	0,92	6,7	10,8	13,2	8,1	12,6	15,1	9,0	13,7	16,2
<b>GUA02.04</b>	0,57	4,5	7,2	8,8	5,5	8,5	10,2	6,1	9,3	11,0
<b>GUA03.01</b>	0,36	1,5	2,9	3,9	1,9	3,6	4,6	2,2	4,0	5,1
<b>GUA03.02</b>	1,39	9,4	15,5	19,1	10,4	17,0	20,8	11,0	17,9	21,8
<b>GUA03.03</b>	1,81	15,3	23,6	28,7	17,9	27,3	32,7	19,6	29,6	35,1
<b>GUA03.04</b>	0,42	4,5	6,8	8,1	5,3	8,1	9,5	5,9	8,8	10,4
<b>GUA03.05</b>	0,31	4,3	6,4	7,5	5,0	7,4	8,7	5,4	8,1	9,5

A Tabela 9 apresenta a alteração no pico de vazão dos cenários sem reservatório, comparando o Cenário 01 com os cenários 02 e 03. As porcentagens positivas indicam o aumento do pico de vazão em relação ao Cenário 01, já as negativas indicam a redução do pico.

Representando o extremo da urbanização, o Cenário 03 apresentou picos de vazão elevados devido as suas condições de contorno, chegando a variar em 76,86% em relação ao Cenário 01, na microbacia GUA02.02, enquanto que a mesma microbacia apresentou uma variação, que foi de 58,68% no Cenário 02.

As microbacias GUA01.01 e a GUA03.04 apresentam variações negativas quando comparados os cenários 01 e 02 e variações pequenas quando comparados os Cenários 01 e 03, justificado pela presença de brejos e consideração do estágio de urbanização desenvolvida no Cenário 01, elevando os valores de CN. Dessa forma, a consideração de impermeabilização no Cenário 02 e no Cenários 03 não promovem variações significativas.

Nas últimas três colunas da Tabela 9, a comparação entre os picos de vazão dos Cenário 02 e 03 está entre 5 e 15% em sua maioria, exceto nas microbacias com atual presença de ZEIA e cobertura de solo em Latossolo Vermelho-Amarelo.

Tabela 9: Variações de picos de vazão comparando os cenários 01, 02 e 03 – Sem RAAC.

Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	VARIAÇÃO ENTRE CENÁRIOS								
		Variação do Cenário 01 para o Cenário 02			Variação do Cenário 01 para o Cenário 03			Variação do Cenário 02 para o Cenário 03		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	-1,92%	-1,61%	-1,10%	7,21%	4,82%	4,11%	9,31%	6,54%	5,26%
<b>GUA01.02</b>	2,02	23,53%	16,61%	14,37%	37,06%	25,46%	21,71%	10,95%	7,59%	6,42%
<b>GUA01.03</b>	1,58	31,36%	21,09%	17,66%	44,38%	29,45%	24,55%	9,91%	6,91%	5,85%
<b>GUA02.01</b>	1,41	38,14%	29,03%	26,20%	53,61%	40,00%	35,29%	11,19%	8,50%	7,20%
<b>GUA02.02</b>	1,35	58,68%	40,00%	33,60%	76,86%	50,73%	42,29%	11,46%	7,67%	6,51%
<b>GUA02.03</b>	0,92	26,32%	20,00%	17,24%	35,53%	26,67%	22,07%	7,29%	5,56%	4,12%
<b>GUA02.04</b>	0,57	43,48%	32,43%	28,89%	52,17%	39,19%	34,44%	6,06%	5,10%	4,31%
<b>GUA03.01</b>	0,36	4,17%	2,38%	1,89%	37,50%	28,57%	24,53%	32,00%	25,58%	22,22%
<b>GUA03.02</b>	1,39	32,18%	25,68%	22,95%	89,66%	62,16%	53,01%	43,48%	29,03%	24,44%
<b>GUA03.03</b>	1,81	45,07%	35,81%	31,54%	61,27%	45,85%	39,78%	11,17%	7,40%	6,27%
<b>GUA03.04</b>	0,42	-5,97%	-4,08%	-2,63%	1,49%	1,02%	1,75%	7,94%	5,32%	4,50%
<b>GUA03.05</b>	0,31	14,00%	10,39%	8,70%	26,00%	18,18%	14,13%	10,53%	7,06%	5,00%

Na Tabela 10 e na Tabela 11 são apresentadas as variações dos cenários 04, 05, 06, 07, 08 e 09 em relação ao Cenário 02, representando a comparação entre os cenários com reservatório e o Cenário 02. As porcentagens positivas indicam o aumento do pico de vazão em relação ao Cenário 02, já as negativas indicam a redução do pico.

Certifica-se a coerência, visto que todas as relações são negativas, implicando na redução de pico em todas as simulações com reservatório em relação ao cenário com o mesmo uso do solo sem a utilização de reservatório.

Mathias, Cunha e Moruzzi (2013) observaram valores 10 vezes maiores em comparação às condições pré-urbanizadas para uma taxa de urbanização de 84%. Barbassa e Campos (2010) indicam um aumento médio maior que 6 vezes da precipitação excedente quando a porção impermeável do lote cresce de 0 a 75%. Tucci (2002) apresenta um acréscimo de 7 vezes o valor das vazões máximas quando comparado aos valores no momento de pré-urbanização.

Esses valores de 10, 6 e 7 vezes maiores no pico de vazão foram maiores que os encontrados no estudo ora apresentado. Em uma microbacia com caso extremo de impermeabilização (GUA03.02 no Cenário 03), foi observado um pico de até 86% maior que a condição pré-urbanizadas. Vale lembrar que as comparações com os estudos anteriores não consideraram a morfologia e a pedologia de cada local. Na mesma situação, o acréscimo no pico de vazão foi em média de 14%.

Targa et al (2012) observou em seu estudo um acréscimo de 127% da precipitação efetiva quando alterado o valor do CN de 77,04 para 95,90 (24,58%). Nesse estudo, a microbacia GUA03.02 apresentou um acréscimo de 89,6% no pico de vazão em um momento de acréscimo do valor do CN de 78,2 para 92,0 (17,6%), correspondente à variação no Cenário 03.

Lee et al (2010), observou um aumento de 41% no escoamento superficial quando a parcela de áreas impermeáveis da bacia aumentou de 43% para 84%. Suriya e Mudgal (2012), encontraram um incremento de 25% no pico de vazão para uma alteração de área urbana construída de 23 para 39% da sub-bacia. De acordo com os resultados levantados na comparação entre o cenário 02 e 03, é possível observar que a ocupação de 54 a 100% de área impermeável pode acrescentar em 43,48% os picos de vazão, assemelhando-se à ordem de grandeza dos estudos anteriores citados nesse parágrafo.

Algumas das variações encontradas na relação incremento de área impermeável e variação nos picos de vazão não apresentam uma relação direta. A trabalho de revisão realizado por ALOUI et al (2017) apresenta que a magnitude dessa influência varia entre os estudos de simulação hidrológica.

De forma clara, é possível identificar que as variações em relação ao Cenário 02 nos cenários 04, 05 e 06 (Tabela 10) são sempre menores que as encontradas nas variações em relação cenários 07, 08 e 09 (Tabela 11). Ou seja, o uso de reservatório no início da chuva tem menos impacto que o reservatório utilizado no pico da chuva.

Tabela 10: Variações de picos de vazão comparando os cenários 02, 04, 05 e 06.

Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	VARIAÇÃO ENTRE CENÁRIOS								
		Variação do Cenário 02 para o Cenário 04			Variação do Cenário 02 para o Cenário 05			Variação do Cenário 02 para o Cenário 06		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	-18,63%	-9,48%	-7,20%	-8,82%	-4,25%	-3,32%	-3,43%	-1,63%	-1,39%
<b>GUA01.02</b>	2,02	-18,57%	-10,44%	-8,02%	-9,52%	-5,06%	-3,74%	-3,81%	-1,90%	-1,60%
<b>GUA01.03</b>	1,58	-18,47%	-8,71%	-6,36%	-8,56%	-3,90%	-2,80%	-3,15%	-1,20%	-1,02%
<b>GUA02.01</b>	1,41	-20,15%	-11,00%	-8,05%	-10,45%	-5,50%	-3,81%	-4,48%	-2,00%	-1,69%
<b>GUA02.02</b>	1,35	-21,35%	-9,76%	-6,80%	-10,94%	-4,53%	-2,96%	-4,17%	-1,74%	-1,18%
<b>GUA02.03</b>	0,92	-19,79%	-11,11%	-8,82%	-9,38%	-5,56%	-4,12%	-4,17%	-2,08%	-1,76%
<b>GUA02.04</b>	0,57	-19,70%	-10,20%	-7,76%	-10,61%	-5,10%	-4,31%	-4,55%	-2,04%	-1,72%
<b>GUA03.01</b>	0,36	-36,00%	-18,60%	-14,81%	-16,00%	-6,98%	-7,41%	-8,00%	-2,33%	-1,85%
<b>GUA03.02</b>	1,39	-17,39%	-10,22%	-7,56%	-9,57%	-4,84%	-3,56%	-4,35%	-2,15%	-1,33%
<b>GUA03.03</b>	1,81	-19,42%	-10,61%	-7,90%	-10,19%	-5,14%	-3,54%	-3,88%	-1,93%	-1,36%
<b>GUA03.04</b>	0,42	-15,87%	-7,45%	-5,41%	-7,94%	-3,19%	-2,70%	-3,17%	-1,06%	-0,90%
<b>GUA03.05</b>	0,31	-21,05%	-7,06%	-5,00%	-10,53%	-3,53%	-2,00%	-3,51%	-1,18%	-1,00%

Tabela 11: Variações de picos de vazão comparando os cenários 02, 07, 08 e 09.

Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	VARIAÇÃO ENTRE CENÁRIOS								
		Variação do Cenário 02 para o Cenário 07			Variação do Cenário 02 para o Cenário 08			Variação do Cenário 02 para o Cenário 09		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	-30,88%	-24,84%	-21,61%	-16,18%	-12,42%	-10,80%	-6,37%	-4,90%	-4,43%
<b>GUA01.02</b>	2,02	-27,62%	-23,10%	-20,59%	-13,81%	-11,71%	-10,43%	-5,71%	-4,75%	-4,28%
<b>GUA01.03</b>	1,58	-32,88%	-30,03%	-27,23%	-16,67%	-15,02%	-13,49%	-6,76%	-6,01%	-5,34%
<b>GUA02.01</b>	1,41	-20,90%	-19,00%	-17,37%	-11,19%	-9,50%	-8,90%	-4,48%	-4,00%	-3,39%
<b>GUA02.02</b>	1,35	-22,40%	-21,25%	-21,01%	-11,46%	-10,80%	-10,65%	-4,69%	-4,18%	-4,14%
<b>GUA02.03</b>	0,92	-30,21%	-25,00%	-22,35%	-15,63%	-12,50%	-11,18%	-6,25%	-4,86%	-4,71%
<b>GUA02.04</b>	0,57	-31,82%	-26,53%	-24,14%	-16,67%	-13,27%	-12,07%	-7,58%	-5,10%	-5,17%
<b>GUA03.01</b>	0,36	-40,00%	-32,56%	-27,78%	-24,00%	-16,28%	-14,81%	-12,00%	-6,98%	-5,56%
<b>GUA03.02</b>	1,39	-18,26%	-16,67%	-15,11%	-9,57%	-8,60%	-7,56%	-4,35%	-3,76%	-3,11%
<b>GUA03.03</b>	1,81	-25,73%	-24,12%	-21,80%	-13,11%	-12,22%	-10,90%	-4,85%	-4,82%	-4,36%
<b>GUA03.04</b>	0,42	-28,57%	-27,66%	-27,03%	-15,87%	-13,83%	-14,41%	-6,35%	-6,38%	-6,31%
<b>GUA03.05</b>	0,31	-24,56%	-24,71%	-25,00%	-12,28%	-12,94%	-13,00%	-5,26%	-4,71%	-5,00%

Na Tabela 12 e na Tabela 13 são apresentadas as variações dos cenários 04, 05, 06, 07, 08 e 09 em relação ao Cenário 01, representando a comparação entre os cenários com reservatório e o cenário atual (Cenário 01). As porcentagens positivas indicam o aumento do pico de vazão em relação ao Cenário 01, já as negativas indicam a redução do pico.

A princípio destaca-se o valor negativo para as microbacias GUA01.01 e GUA03.04, sendo um dado coerente com a comparação negativa entre os valores de CN entre os cenários 01 e 02.

Além dessas duas microbacias, a microbacia GUA03.01 apresentou iguais ou menores que zero em todos os cenários. As demais microbacias com sinais mais relevantes de urbanização (GUA01.02, GUA01.03, GUA02.03, GUA02.04, GUA03.05) também apresentaram picos menores que o Cenário 01, principalmente no Cenário 07.

Tabela 12: Variações de picos de vazão comparando os cenários 01, 04, 05 e 06.

Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	VARIACÃO ENTRE CENÁRIOS								
		Variação do Cenário 01 para o Cenário 04			Variação do Cenário 01 para o Cenário 05			Variação do Cenário 01 para o Cenário 06		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	-20,19%	-10,93%	-8,22%	-10,58%	-5,79%	-4,38%	-5,29%	-3,22%	-2,47%
<b>GUA01.02</b>	2,02	0,59%	4,43%	5,20%	11,76%	10,70%	10,09%	18,82%	14,39%	12,54%
<b>GUA01.03</b>	1,58	7,10%	10,55%	10,18%	20,12%	16,36%	14,37%	27,22%	19,64%	16,47%
<b>GUA02.01</b>	1,41	10,31%	14,84%	16,04%	23,71%	21,94%	21,39%	31,96%	26,45%	24,06%
<b>GUA02.02</b>	1,35	24,79%	26,34%	24,51%	41,32%	33,66%	29,64%	52,07%	37,56%	32,02%
<b>GUA02.03</b>	0,92	1,32%	6,67%	6,90%	14,47%	13,33%	12,41%	21,05%	17,50%	15,17%
<b>GUA02.04</b>	0,57	15,22%	18,92%	18,89%	28,26%	25,68%	23,33%	36,96%	29,73%	26,67%
<b>GUA03.01</b>	0,36	-33,33%	-16,67%	-13,21%	-12,50%	-4,76%	-5,66%	-4,17%	0,00%	0,00%
<b>GUA03.02</b>	1,39	9,20%	12,84%	13,66%	19,54%	19,59%	18,58%	26,44%	22,97%	21,31%
<b>GUA03.03</b>	1,81	16,90%	21,40%	21,15%	30,28%	28,82%	26,88%	39,44%	33,19%	29,75%
<b>GUA03.04</b>	0,42	-20,90%	-11,22%	-7,89%	-13,43%	-7,14%	-5,26%	-8,96%	-5,10%	-3,51%
<b>GUA03.05</b>	0,31	-10,00%	2,60%	3,26%	2,00%	6,49%	6,52%	10,00%	9,09%	7,61%

Tabela 13: Variações de picos de vazão comparando os cenários 01, 07, 08 e 09.

Elemento Hidrológico	Área (km <sup>2</sup> )	VARIACÃO ENTRE CENÁRIOS								
		Variação do Cenário 01 para o Cenário 07			Variação do Cenário 01 para o Cenário 08			Variação do Cenário 01 para o Cenário 09		
		5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos	5 anos	25 anos	50 anos
<b>GUA01.01</b>	1,88	-32,21%	-26,05%	-22,47%	-17,79%	-13,83%	-11,78%	-8,17%	-6,43%	-5,48%
<b>GUA01.02</b>	2,02	-10,59%	-10,33%	-9,17%	6,47%	2,95%	2,45%	16,47%	11,07%	9,48%
<b>GUA01.03</b>	1,58	-11,83%	-15,27%	-14,37%	9,47%	2,91%	1,80%	22,49%	13,82%	11,38%
<b>GUA02.01</b>	1,41	9,28%	4,52%	4,28%	22,68%	16,77%	14,97%	31,96%	23,87%	21,93%
<b>GUA02.02</b>	1,35	23,14%	10,24%	5,53%	40,50%	24,88%	19,37%	51,24%	34,15%	28,06%
<b>GUA02.03</b>	0,92	-11,84%	-10,00%	-8,97%	6,58%	5,00%	4,14%	18,42%	14,17%	11,72%
<b>GUA02.04</b>	0,57	-2,17%	-2,70%	-2,22%	19,57%	14,86%	13,33%	32,61%	25,68%	22,22%
<b>GUA03.01</b>	0,36	-37,50%	-30,95%	-26,42%	-20,83%	-14,29%	-13,21%	-8,33%	-4,76%	-3,77%
<b>GUA03.02</b>	1,39	8,05%	4,73%	4,37%	19,54%	14,86%	13,66%	26,44%	20,95%	19,13%
<b>GUA03.03</b>	1,81	7,75%	3,06%	2,87%	26,06%	19,21%	17,20%	38,03%	29,26%	25,81%
<b>GUA03.04</b>	0,42	-32,84%	-30,61%	-28,95%	-20,90%	-17,35%	-16,67%	-11,94%	-10,20%	-8,77%
<b>GUA03.05</b>	0,31	-14,00%	-16,88%	-18,48%	0,00%	-3,90%	-5,43%	8,00%	5,19%	3,26%

Essas microbacias com sinais significativos de urbanização no Cenário 01 foram separadas das demais, formando 2 grupos como podemos observar na Figura 26. As microbacias em hachura são referentes a níveis de urbanização mais desenvolvido e o grupo sem hachura apresenta cobertura vegetal mais expressiva e nível de urbanização menos desenvolvido.

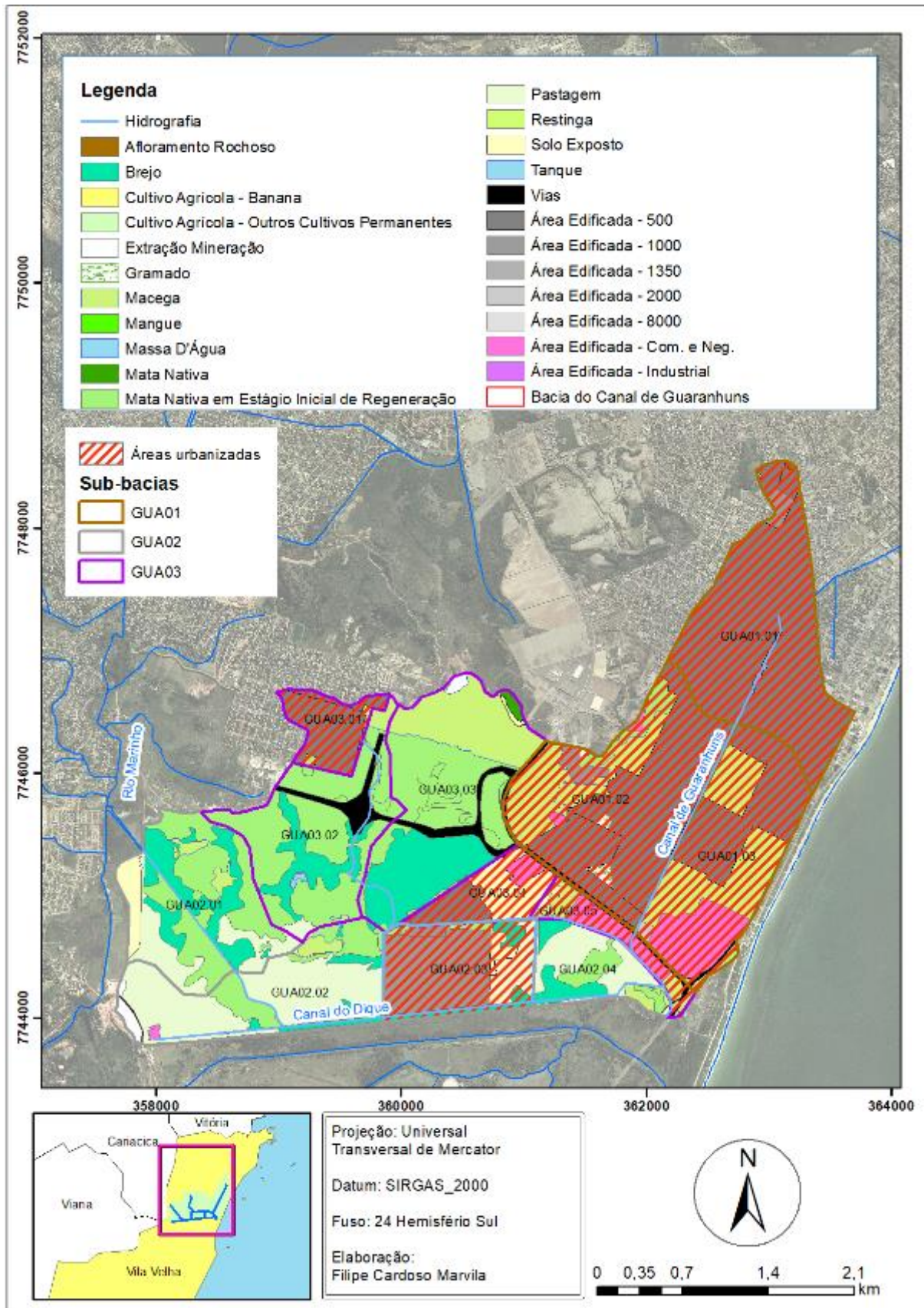


Figura 24: Microbacias mais urbanizadas no Cenário 01.

Sabendo que os valores de porcentagens nos gráficos da Figura 25 e da Figura 26 são a média das comparações de todas as microbacias em relação ao Cenário 01, quanto maior o valor, maior é a distância entre o cenário atual. As porcentagens negativas indicam que a média da redução nas microbacias foi menor que o valor de pico do Cenário 01.

As microbacias que atualmente não apresentam urbanização expressiva, se distanciam mais dos cenários com armazenamento de água de chuva. Dessa forma, não são suficientes para alcançar os níveis de pré-urbanização. Na Figura 25, as bacias sem urbanização expressiva apresentaram que, em média, nenhum dos cenários com utilização de RAAC's apresenta valores abaixo (com porcentagem negativa) dos valores encontrados no Cenário 01.

Observa-se que as bacias já urbanizadas no Cenário 01 (Figura 26) apresentam picos próximos do cenário atual quando implantados os reservatórios de água de chuva. Os Cenários 04, 07 e 08 destacam-se com valores menores que o cenário atual para esse grupo de microbacias.

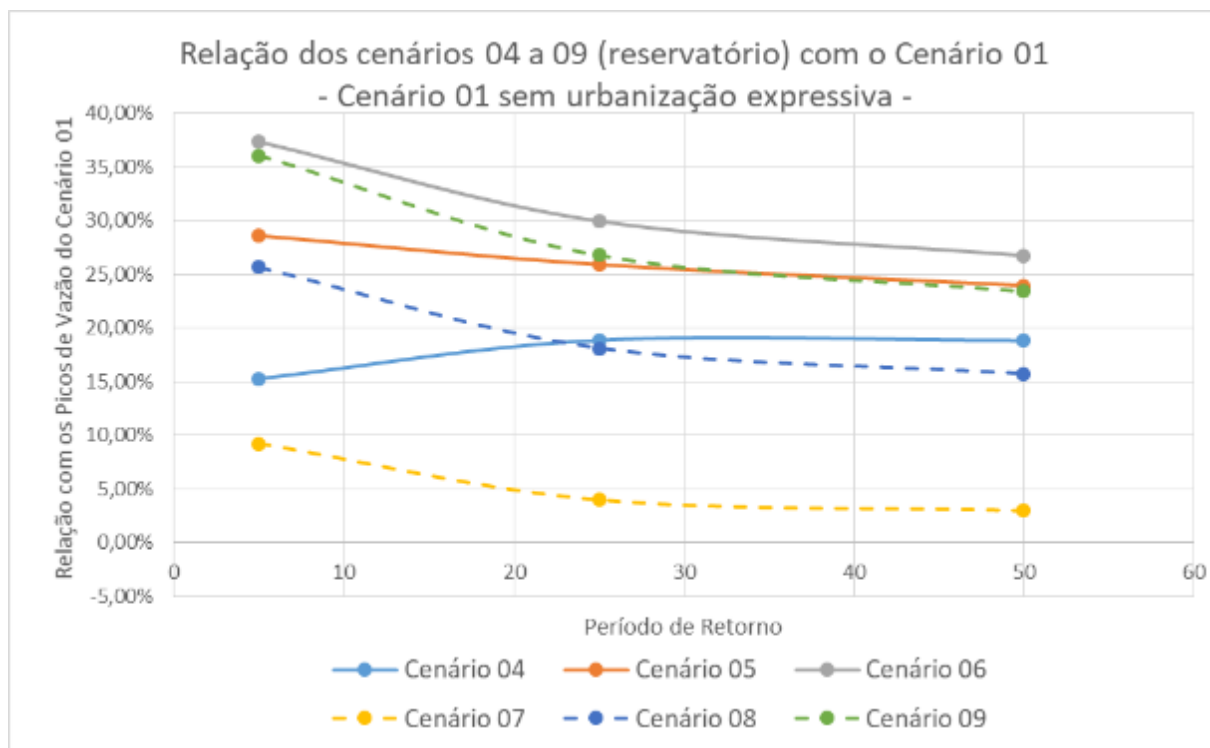


Figura 25: Comparação dos cenários com reservatório com o Cenário 01. Média das variações observadas nas microbacias urbanizadas.

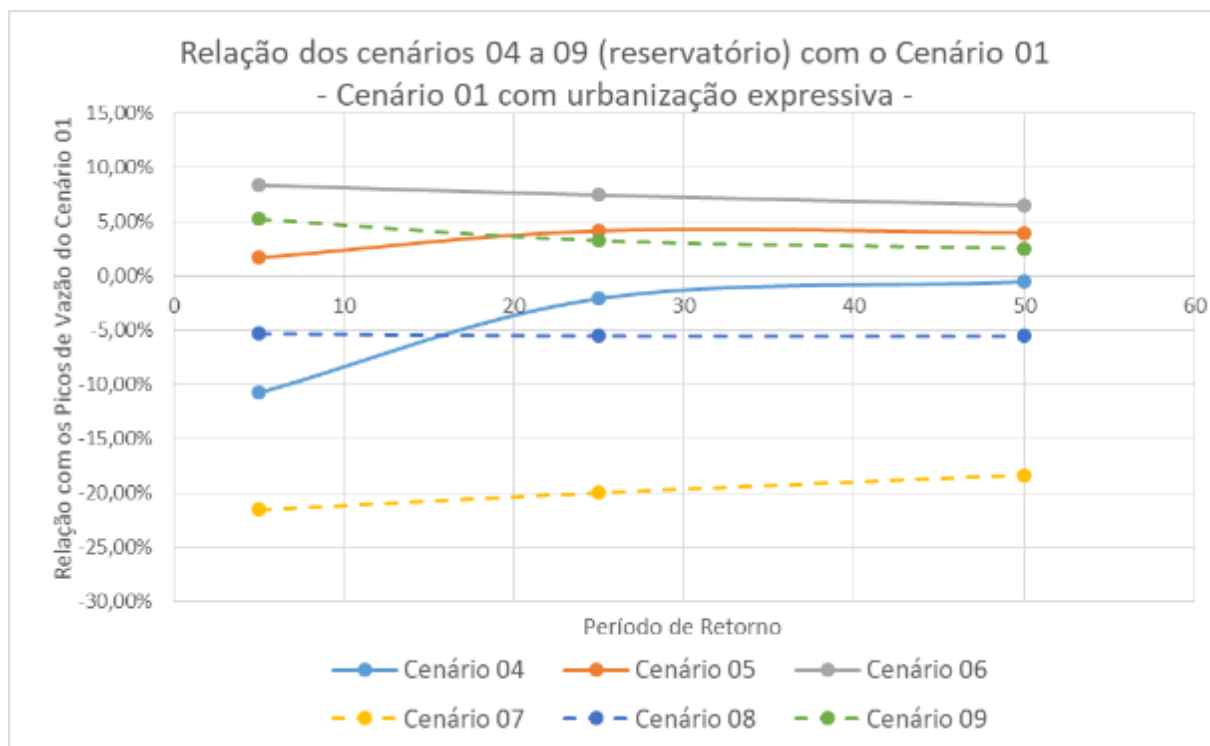


Figura 26: Comparação dos cenários com reservatório e o Cenário 01. Média das variações observadas nas microbacias com cobertura vegetal expressiva.

A partir dos resultados encontrados, os reservatórios de armazenamento de água de chuva nas condições estabelecidas não foram satisfatórios para alcançar níveis hidrológicos similares ao Cenário 01. Analisando separadamente as microbacias sem urbanização expressiva, o Cenário 07 chega a níveis mais próximos à situação de pré-urbanização. Entretanto, trata-se de um cenário hipotético, o qual tenta representar a maior alteração possível dos RAAC's sobre o hietograma de chuva. Dessa forma, não foi possível observar cenários com picos de chuvas iguais ou inferiores ao cenário atual, concluindo a incapacidade dos reservatórios em alcançar picos de chuva semelhantes aos anteriores a urbanização.

As únicas microbacias que alcançaram picos menores que no cenário atual foram as que já apresentavam sinais evidentes de urbanização. Nessa situação, destacaram-se cenários 07 e 04 em que 100% dos lotes utilizam reservatórios além do cenário 08 com 50% dos lotes, em uma situação pouco realista já que o acionamento é iniciado no pico do hietograma. As microbacias com pouco sinais de urbanização também apresentaram os melhores resultados nestes cenários.

Na Figura 27, são apresentadas as relações dos cenários que simulam os reservatórios com a situação futura, considerando o Plano Diretor do Município (Cenário 02). As curvas para cada



cenário se basearam na média das relações das 12 microbacias. Quanto mais negativo o valor no gráfico, maior é a redução média em relação aos picos encontrados no Cenário 02

Nessa comparação, os valores de relação entre cenários apresentaram números menores que zero, alcançando uma média de -27,82% em um período de retorno de 5 anos no Cenário 07 e -20,53% para o Cenário 04 no mesmo períodos de retorno. Nos outros cenários, também se observa uma maior influência dos reservatórios em menores períodos de retorno.

Em uma análise mais realista, devemos observar os cenários 05 e 06, por representar cenários em que apenas uma parcela dos lotes usariam esse equipamento (COSTA JUNIOR; BARBASSA, 2006). Nesses casos, a redução do pico de vazão é em média de -10,21% a -1,40%, apresentando melhores resultados em menores períodos de retorno. Dessa forma, sob o aspecto de impactos hidrológicos, o dispositivo apresenta utilidade em amortecer os impactos hidrológicos, principalmente em eventos de menor proporção.

Nos estudos de Palla, Gnecco e La Barbera (2017), a redução média no pico de vazão quando utilizados os reservatórios de água de chuva foi de 33%, na mesma ordem de grandeza do estudo apresentado, porém maiores que a média de todos os cenários apresentados. Isso inclui o Cenários 07 com período de retorno de 5 anos, com redução média de 27,8% no pico de vazão.

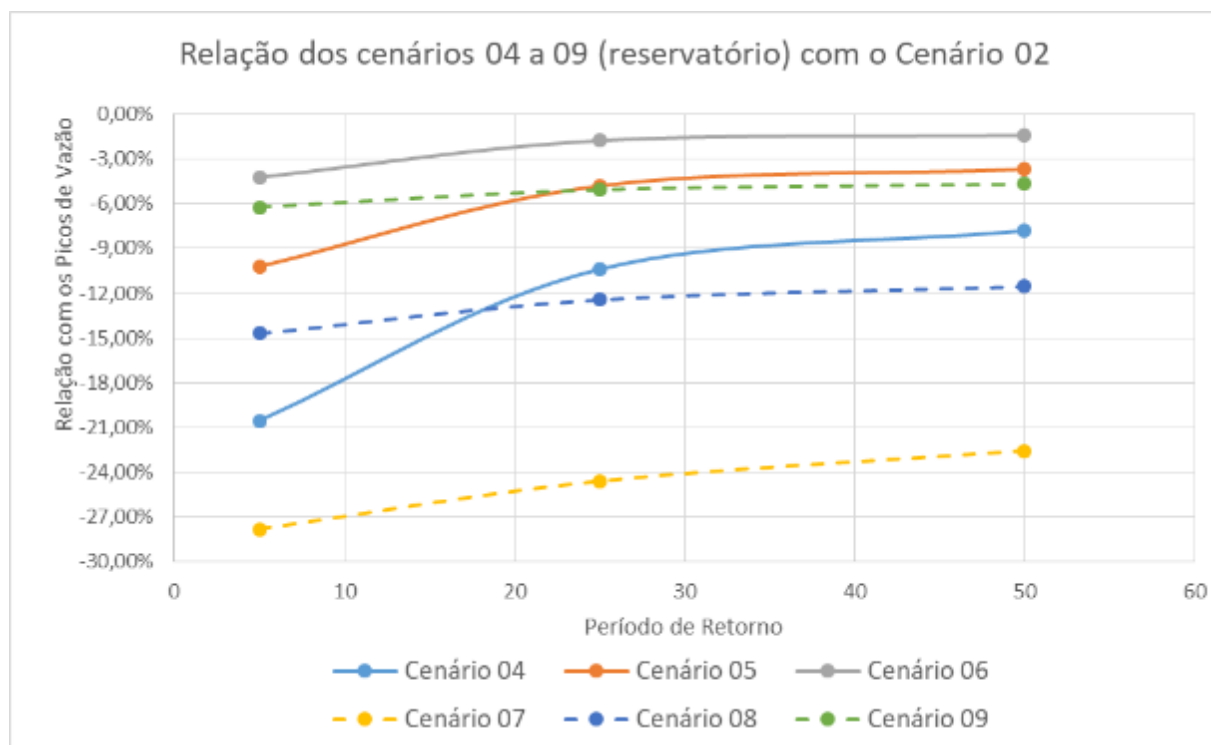


Figura 27: Comparação dos cenários com reservatório e o Cenário 02. Média da variação encontradas nas microbacias.

Walesh (1989) apresenta alternativas estruturais para auxiliar no amortecimento das cheias que podem ser somadas à utilização de reservatórios de água de chuva em um planejamento urbano. Essas medidas podem ser implantadas como medidas estruturais extensivas, sendo pensadas de maneira integrada e dispostas estrategicamente ao longo de toda a bacia anterior à expansão urbana.

Levando em consideração a vulnerabilidade da área de estudos à inundação, como apresentado no trabalho de DA SILVA (2017), vale ressaltar a importância de se trabalhar a combinação de dispositivos que garantam a redução do impacto na região, sendo coerente o desenvolvimento da infraestrutura urbana considerando a inclusão de medidas preventivas de diferentes frentes afim de minimizar os danos causados por eventos hidrológicos extremos (TASSI; VILLANUEVA, 2004, CRUZ; TUCCI, 2008).

## 6. CONCLUSÕES

Ao longo da elaboração e levantamento do estudo, o *software* e os programas utilizados foram satisfatórios para realizar o tratamento de dados e estimar o efeito de RAAC's por meio de métodos de transformação chuva-vazão consagrados.

Analisando os cenários simulados sem os reservatórios, fica clara a importância da definição de parâmetros urbanísticos, como a taxa de permeabilidade e a determinação de áreas verdes no comportamento hidrológico da bacia urbana. Essas determinações apresentam influência sobre pico de vazão, podendo minimizar os impactos recorrentes em eventos hidrológicos.

Como observado nos resultados apresentados, os RAAC's não apresentam capacidade em reparar os picos de cheia a níveis de pré-urbanização. Entretanto, contribuem na redução do pico de vazão de modo a amortizar os eventos hidrológicos, principalmente em chuvas associadas a períodos de retorno menores. Dessa forma, o mais adequado, seguindo estudos anteriores, é o planejamento urbano em paralelo com o planejamento da bacia de drenagem, analisando as práticas mais favoráveis e promovendo a integração entre elas.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Mesmo se tratando de um tema importante, algumas capitais brasileiras não possuem ferramentas de planejamento urbano voltadas para minimizar os efeitos das cheias. Em levantamentos bibliográficos, foi observado um grupo pequeno de Municípios que apresenta documentos públicos que orientam de maneira prática a utilização dos sistemas de armazenamento de água de chuva, dificultando de práticas objetivando um desenvolvimento urbano sustentável.

Ficou claro que a utilização de sistemas de reservatórios de armazenamento de água de chuva não apresentam capacidade de suprir os problemas de drenagem urbana de geração na fonte no caso de estudo apresentado. Entretanto cabe destacar a importância da abordagem integrada do planejamento urbano e a solução dos problemas voltados para a drenagem urbana e seus problemas.

Sabendo da proposta de alteração do PDM do município de Vila Velha no ano dessa dissertação, cabe entender qual seria o impacto sobre carga de drenagem urbana do município quando se utiliza as condições de zonas e dos parâmetros urbanísticos apresentados na proposta de atualização do PDM.

## REFERÊNCIAS

- AHIABLAME, L., SHAKYA, R.. **Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale.** Journal of Environmental Management. v171, p81-91, 2016.
- ALAOUI, A., ROGGER, M., PETH, S., BLÖSCHL, G., **Does soil compaction increase floods? A review,** Journal of Hydrology (2017), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.052>
- BAEK, S-S.; CHOI, D-H.; JUNG, J-W.; LEE, H-J.; LEE, H.; YOON, K-S.; CHO, K-H.. **Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in urban area, Korea: Experimental and modeling approach.** Water Research, v86, p122-131, 2015.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 2ª ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.
- BARBASSA, A. P.; CAMPOS, J. B. N.. **Comportamento Hidrológico de Áreas Urbanas Impermeabilizadas Diretamente Conectadas e Total.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v15(4), p69-79, 2010.
- BASHIRI-ATRABI, H., QADERI, K., RHEINHEIMER, D. E., SHARIFI, E.. **Application of Harmony Search Algorithm to Reservoir Operation Optimization.** Water Resources Management v29, p5729–5748. 2015.
- BELL, C. D.; MCMILLAN, S. K.; CLINTON, S. M.; JEFFERSON, A. J.. **Hydrologic response to stormwater control measures in urban watersheds.** Journal of Hydrology, v541, p1488–1500, 2016.
- BELO HORIZONTE. Lei nº 9.959, de 20 de julho de 2010. **Altera as leis nº 7.165/96 - que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte - e nº 7.166/96 - que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município -, estabelece normas e condições para a urbanização e a regularização fundiária das Zonas de Especial Interesse Social, dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas Áreas de Especial Interesse Social, e dá outras providências.** Belo Horizonte, MG, 2010.
- BRASÍLIA. Lei complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. **Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT e dá outras providências.** Brasília, DF, 2009.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CAVALHEIRO, F., DEL PICCHIA, P. C. D. **Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento.** In: Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, 4, 1992, Vitória/ES. Anais. vol.I. Vitória: 1992.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Modelagem de sistemas Ambientais.** 1ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COSTA JUNIOR, L. L.; BARBASSA, A. P.. **Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas.** Eng Sanit Ambient, v11(1), p46-54, 2006.

CROKE, J., REINFELDS, I., THOMPSON, C., ROPER, E.. **Macrochannels and their significance for flood-risk minimization:** examples from southeast Queensland and New South Wales. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment v28, p99–112. 2014.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.. **Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v13(3), p 59-71, 2008.

CURITIBA. **Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçi na Região Metropolitana de Curitiba.** Volume 2. Curitiba: CH2MHILL. 2002.

CURITIBA. Decreto nº176, de 20 de março de 2007. **Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias.** Curitiba, PR, 2007.

CURITIBA. Lei nº 14.771, de 17 de dezembro de 2015. **Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Curitiba de acordo com o disposto no art. 40, § 3º, do Estatuto da Cidade, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do Município.** Curitiba, PR, 2015.

DA SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; CABRAL, J. J. S. P.. **Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife – PE.** RBRH, Porto Alegre, v 22, 2017

DA SILVA, A. **Análise da macrodrenagem da bacia hidrográfica do Guaranhuns (Vila Velha - ES).** Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, orientado pelo professor Daniel Rigo. Espírito Santo, 2017.

DISTRITO FEDERREAL, Secretaria de Estado de Obras. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal. Manual Técnico 2 e 3– Manual Técnico de Drenagem Urbana.** Brasília: Concremat Engenharia, 2009.

DRUMOND, P. P.; COELHA, M. M. L. P.; MOURA, P. M.. **Investigação Experimental dos Valores de Coeficiente de Descarga em Tubos de Saída de Microrreservatórios.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v19(2), p267-279, 2014.

FENDRICH, R. **Canais de Drenagem em Pequenas Bacias Hidrográficas**. Curitiba: O Autor, 2008.

FLORIANÓPOLIS. Lei Complementar nº482, de 17 de janeiro de 2014. **Institui o Plano Diretor de Urbanismo do Município do Florianópolis que dispõe sobre a política de desenvolvimento Urbano, o Plano de Uso e Ocupação, os Instrumentos Urbanísticos e o Sistema de Gestão**. Florianópolis, SC, 2014.

FROST, S.; DE SILVA, N. **Restoring the water Project: from vision to reality**. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 9. Global Solution for Urban Drainage. Protland, Oregon, set, 2002.

FUNDÃO. Lei nº 458, de 27 de março de 2007. **Dispõe sobre o desenvolvimento de fundão e institui o Plano Diretor Municipal e dá outras providências**. Fundão, ES, 2007.

GENOVEZ, A. M.; Vazões Máximas. In: FINEP. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

GHANBARPOUR, M. R., SAVARI, M. M., SALIMI, S.. **Floodplain Inundation Analysis Combined with Contingent Valuation: Implications for Sustainable Flood Risk Management**. Water Resources Management v28, p2491–2505. 2014.

GOIÂNIA. Lei complementar nº 171, de 29 de maio de 2007. **Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências**. Goiânia, GO, 2007.

HU, M.; SAYAMA, T.; ZHANG, X.; TANAKA, K.; TAKARA, K.; YANG, H.. **Evaluation of low impact development approach for mitigating flood inundation at a watershed scale in China**. Journal of Environmental Management, v193, p430-438, 2017

HUANG, S.; CHENG, S.; WEN, J.; LEE, J.. **Identifying peak-imperviousness-recurrence relationships on a growing-impervious watershed, Taiwan**. Journal of Hydrology, v362, p320-336, 2008.

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural 2011-2013**. Marilândia, 2011. Disponível em: <[http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Centro\\_cerrano/Vila\\_Velha.pdf](http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Centro_cerrano/Vila_Velha.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vila-velha/panorama>> . Acesso em 09 de agosto de 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS (IEMA) VitóriaES. **Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação, Restituição da Hidrografia, geração do Modelo Digital de Elevação, geração do Modelo Digital de Terreno, Restituição da Altimetria, elaboração Ortofotomosaicos e Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa e do Uso das Terras, em escala igual, ou melhor, a 1/25.000, do Estado do Espírito Santo.** Ortofotomosaico (RGB/ RGBIr). Pixel 0,25x 0,25 m, UTM, Datum SIRGAS2000, Zona 24s.1:10.000 PEC "A".2012-2015

JACOBSON, C. R. **Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review.** Journal of Environmental Management. v92, p1438-1448, 2011.

LEE, J.; PAK, G.; YOO, C.; KIM, S.; YOON, J.. **Effects of land use change and water reuse options on urban water cycle.** Journal of Environmental Sciences, v22(6), p923–928, 2010.

LENGLER, C.; LEUCK, M. F.; MENDES, C. A. B.. **Modelo para Criação de Incentivo Fiscal ao Amortecimento de Vazão em Lote: Simulação para o Município de Porto Alegre, RS.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v19(3), p295-307. 2014

MASCARÓ, J. L.. **Desenho urbano e custos de urbanização.** Brasília, MHU/SAM, 1987.

MATHIAS, D. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B.. **Implicações Geomorfológicas das Alterações do Escoamento Superficial pela Urbanização: Análise dos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tucunzinho (São Pedro - SP).** Revista Brasileira de Recursos hídricos, Porto Alegre, v18, n. 4, p.101-113, dez. 2013.

McCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W.J. **Estimating urban time of concentration,** Journal of Hydraulic Engineering, v110(7), p887-904, 1984

MOTH. **Hydraulics manual.** Columbia: Ministry of Transportation and Highways (MOTH), Engineering Branch. Province of British, 1998.

MOURA, N. C. B., PELLEGRINO, P. R. M., MARTINS, J. R. S.. **Biorremediação: tecnologia ambiental urbana para uma drenagem sustentável.** In: Águas Pluviais – Volume 1. Porto Alegre, ABRH, v1, p.23-45. 2015

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro :Guanabara Koogan, 1988

OLEYIBLO, J. O.; LI, Z. **Application of HEC\_HMS for flood forecasting in Misai and Wan'na cachments in China.** Water Science and Engineering. v3(1), p. 14-22, 2010.

PALANISAMY, B.; CHUI, T. F. M.. **Rehabilitation of concrete canals in urban catchments using low impact development techniques.** Journal of Hydrology, v523, p309–319, 2015.



PALLA, A.; GNECCO, I.; LA BARBERA, P.. **The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale.** Journal of Environmental Management, v191, p297-305, 2017.

PINTO, Nelson L. de Spuzza et al. **Hidrologia Básica.** São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

POLETO, C.. SILVEIRA, A. L. L. da. CARDOSO, A. R.. GOLDENFUM, J. A. . DORNELLES, F. . TASSI, R. . MOURA, P. M.. **Águas Pluviais:** v1. Porto Alegre: ABRH, 2015.

PONCE, V.M. **Engineering hydrology, principles and practices.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.

PORTO ALEGRE. DEP - Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Manual de Drenagem Urbana: Plano Diretor de Drenagem Urbana. Volume VI.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 667, de 3 de janeiro de 2011. **Altera a redação do § 7º e inclui § 7º-A no art. 52 da Lei Complementar nº 434, de 1º de dezembro de 1999, e alterações posteriores, dispondo acerca das edificações da Macrozona 1, em caso de aquisição de Índices Adensáveis (IA) oriundos da Transferência de Potencial Construtivo ou de aquisição de Solo Criado.** Porto Alegre, RS, 2011.

PORTO, R. L. L. **Escoamento Superficial Direto.** In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. P. (org.). Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 5, Ed. da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

RECANATESI, F.; PETROSELLI, A.; RIPA, M. N.; LEONE, A. **Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy).** Journal of Environmental Management, v201, p6-18, 2017.

RIO BRANCO. Lei nº 1611, de 27 de outubro de 2006. **Aprova e institui o novo Plano Diretor do Município de Rio Branco e dá outras providências.** Rio Branco, AC, 2006.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Decreto nº 23.940, de 03 de janeiro de 2004. **Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.** Rio de Janeiro, RJ, 2004.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011. **Dispõe sobre a Política Urbana e Ambiental do Município, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro e dá outras providências.** Rio de Janeiro, RJ, 2011.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M.. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB.** Eng. Sanit. Ambiental, v22(5), p943-952, 2017.

SÃO LUIS. LEI Nº 4.669 DE 11 DE OUTUBRO DE 2006. **Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de São Luís e dá outras providências.** São Luís, MA, 2006.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). Lei nº 13.430, de 13 de setembro de 2002. **Instituiu o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo.** São Paulo, SP, 2002.

SÃO PAULO. Lei nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007. **Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais.** São Paulo, SP, 2007.

SARMENTO, R., LYRIO, A. A. . **Equação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Intensas na Grande Vitória.** In: SBPC, 1974, Recife. ANAIS SBPC, 1974.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos.** Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v10, n.4, p.05-18, 2005.

SCHEEREN, M. H., IDE, C. N., PEREIRA, J. S., RIBEIRO, M. L.. **A utilização do Plano Diretor Municipal como ferramenta de gestão ambiental: o caso das inundações urbanas em Campo Grande, MS.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, São Paulo, 2007.

SCS, 1972 - (Soil Conservation Service). **National Engineering Handbook**, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. SCS. Urban hydrology for small watersheds. Washington, DC: Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS), 1986.

SCS. SOIL CONSERVATION SERVICE. **National engineering handbook.** Section 4 - hydrology. Washington, DC, 1985.

SEDURB - Secretaria de Saneamento Habitação e Desenvolvimento Urbano do Espírito Santo. Relatório Técnico. **Estudo Hidrológico e Hidráulico da Bacia do Guaranhuns de 2014**, 2014

SEMADENI-DAVIES, A.; HERNEBRING, C.; SVENSSON, G.; GUSTAFSSON, L-G. **The impacts of climate change and urbanization on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater.** Journal Of Hydrology, v350, n. 1-2, p.114-125, fev. 2008.

SEMADS (SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO). PROJETO PLANÁGUA. **Revitalização de rios** – Orientação Técnica. Rio de Janeiro, 2001.

SERRA. Lei nº 3.820, de 11 de janeiro de 2012. **Dispõe sobre a organização do espaço territorial do município da serra, conforme determina o disposto no art. 182, da Constituição Federal, e os Arts. 39 40, 41, 42 do estatuto da cidade - lei nº 10.257, de 2001.** Serra, ES, 2012.

SILVEIRA, A. L. L. Apostila: **Drenagem Urbana: aspectos de gestão.** 1. Ed. Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v10, p.5-23, 2005.

SINGH, V. P.. **Computer Models of Watershed Hydrology.** Highlands Ranch: Water Resources Publications, 1995.

SURIYA, S.; MUDGAL, B.V.. **Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study.** v412–413, p210–219, 2012.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil.** Ambi-Agua, Taubaté, v7(2), p120-142, 2012.

TASSI, R.; VILLANUEVA, A. O. N. **Análise do Impacto dos Microrreservatórios de Lote nos Custos de Uma Rede de Drenagem Urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos , v9(3), p89-98, 2004.

TAVANTI, D. R.; BARBASSA, A. P.. **Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v17(4), p 17-28, 2012.

TERESINA. LEI Nº 3.558, DE 20 DE OUTUBRO DE 2006. **Reinstitui o Plano Diretor de Teresina, denominado Plano de Desenvolvimento Sustentável – Teresina Agenda 2015, e dá outras providências.** Teresina, PI, 2006.

TOMAZ, P.. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Guarulhos, SP. Plínio Tomaz, 2011.

TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. L., BARROS, M. T.. **Drenagem Urbana.** 1ª Ed, Porto Alegre, Universidade/UFRGS/Associação Brasileiro de Recursos Hídricos, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** Porto Alegre: UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.

TUCCI, C. E. M., MARQUES, D. M. L. M., **Avaliação de controle da drenagem urbana.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

TUCCI, C. E. M.. **Gerenciamento da Drenagem Urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v7, n. 1, p.5-27, Jan/Mar 2002.

TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Alegre, Universidade/UFRGS/Associação Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M., MELLER, A. **Regulação das águas pluviais urbanas**. Revista gestão de água da América Latina, v4, p.75-89, 2007.

USACE - US Army Corps of Engineers. **Hydrologic Engineering Center**. HEC - HMS Hydrologic Modeling System: User's Manual. Davis: HEC, 2010a

VIANA. Lei nº. 1.876, de 18 de dezembro de 2006. **Cria o Plano Diretor Municipal de Viana. Viana**. Viana, ES, 2006.

VILA VELHA (Município). **Agenda XXI – Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável – Vila Velha (2002 – 2015)**. Vila Velha, 2004.

VILA VELHA. Lei nº 4.575, de 26 de novembro de 2007. **Institui o Plano Diretor Municipal (PDM) e dá outras providências**. Vila Velha, ES, 2007

VILA VELHA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana Sustentável**. Vila Velha, Volume 1. 2011.

VILA VELHA. Lei nº 5.441, de 9 de setembro de 2013. **Estabelece parâmetros urbanísticos, índices construtivos e demais elementos que menciona, e dá outras providências**. Vila Velha, ES, 2013.

VILA VELHA. Lei Complementar nº46, de 04 de julho de 2016. **Institui o código de Edificações gerais do Município de Vila Velha, Estado do Espírito Santo**. Vila Velha, 2016

VITÓRIA. Lei nº 6.705, de 13 de outubro de 2006. **Institui o Plano Diretor Urbano do Município de Vitória e dá outras providências**. Vitória, ES, 2006.

VITÓRIA. Lei nº 8.062, de 31 de dezembro de 2010. **Dispõe sobre os parâmetros de dimensionamento do sistema de captação, armazenamento e destinação de águas pluviais, estabelecido pelo Art. 154 da Lei nº 6.705, de 13 de outubro de 2006**. Vitória, ES, 2010.

WALESH, S. G.. **Urban Surface Water Management**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 518 p. 1989.

YIN, J., YE, M., XU, S.. **A review of advances in urban flood risk analysis over China**. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment v29, p1063–1070.2015.

ZHANG, B.; XIE, G.; ZHANG, G.; ZHANG, J.. **The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China**. Journal of Environmental Management, v100, p65-71, 2012.

ZHANG, K.; CHUI, T. F. M.. **A comprehensive review of spatial allocation of LID-BMP-GI practices: strategies and optimization tools.** Science of the Total Environment, v621, p915–929, 2016.

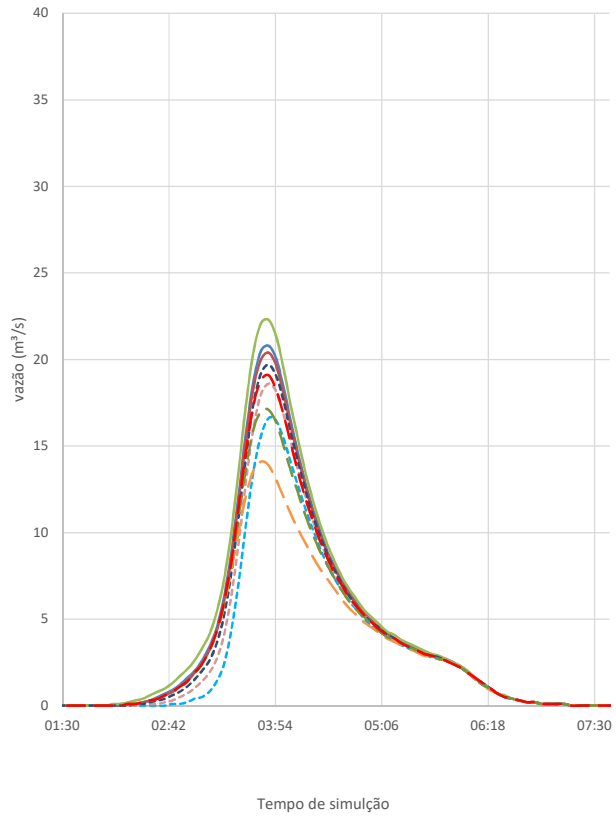
ZHOU, F.; XU, Y.; CHEN, Y.; XU, C.-Y.; GAO, Y.; DUA, J.. **Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta region.** Journal of Hydrology, v485, p113–125, 2013.

ZOPE, P.CROKE E., ELDHO,T. I., JOTHIPRAKASH, V.. **Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India.** Natural Hazards v75: p887-908. 2015.

## ANEXO I

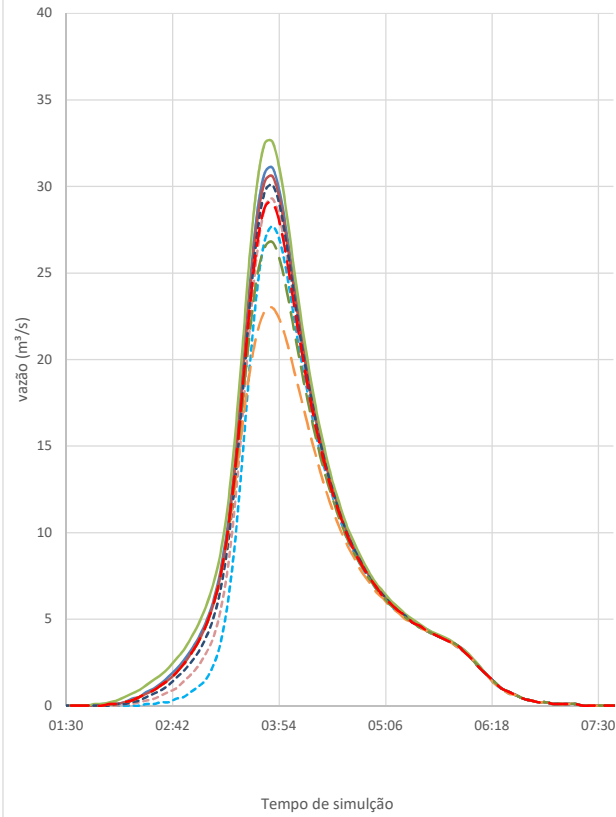
HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA01.01

Hidrograma da sub-bacia GUA01.01 (Tr=5 anos)



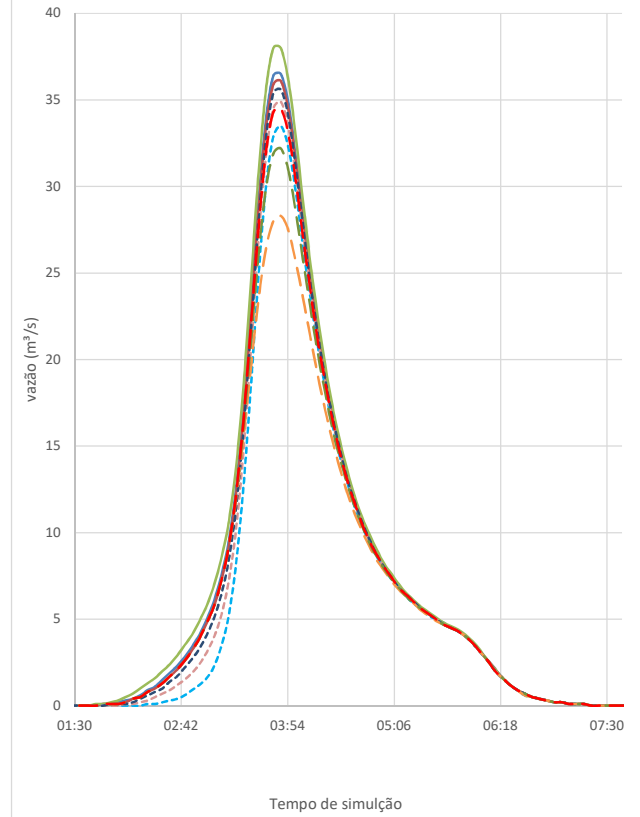
- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| — C1 5anos   | — C2 5anos   | — C3 5anos   |
| - - C4 5anos | - - C5 5anos | - - C6 5anos |
| - - C7 5anos | - - C8 5anos | - - C9 5anos |

Hidrograma da sub-bacia GUA01.01 (Tr=25 anos)



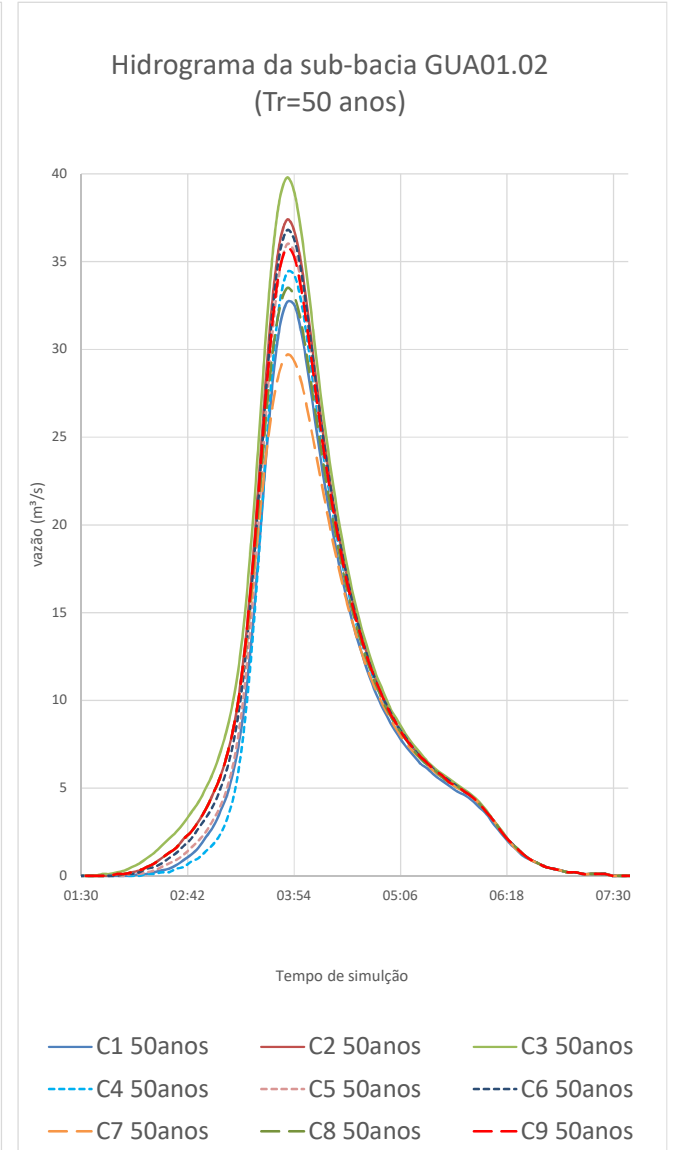
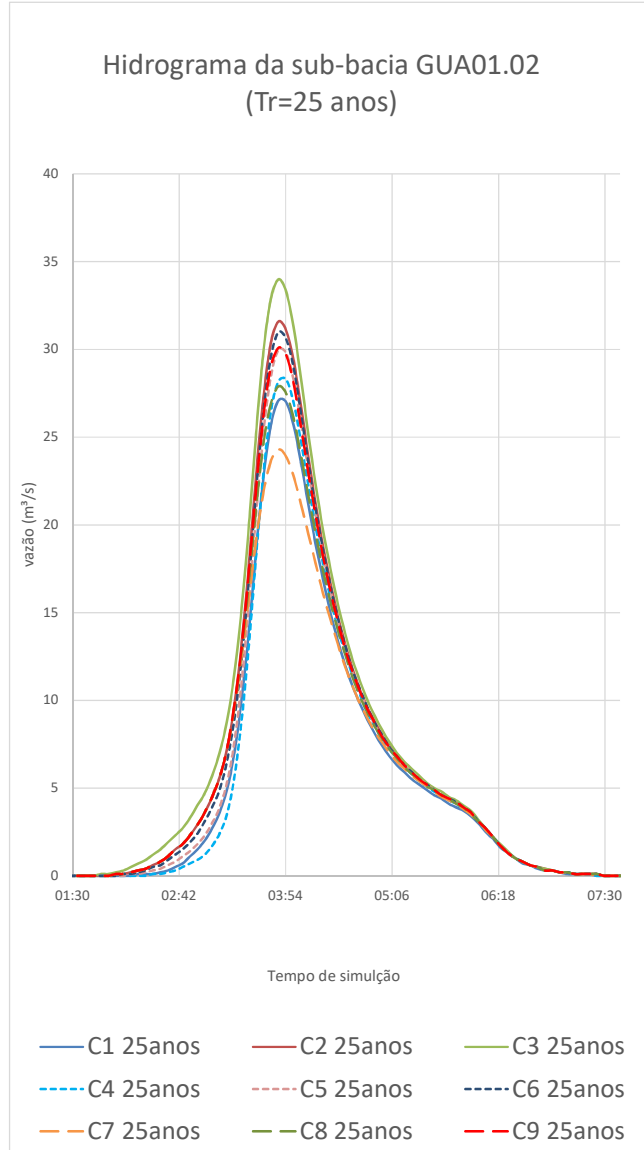
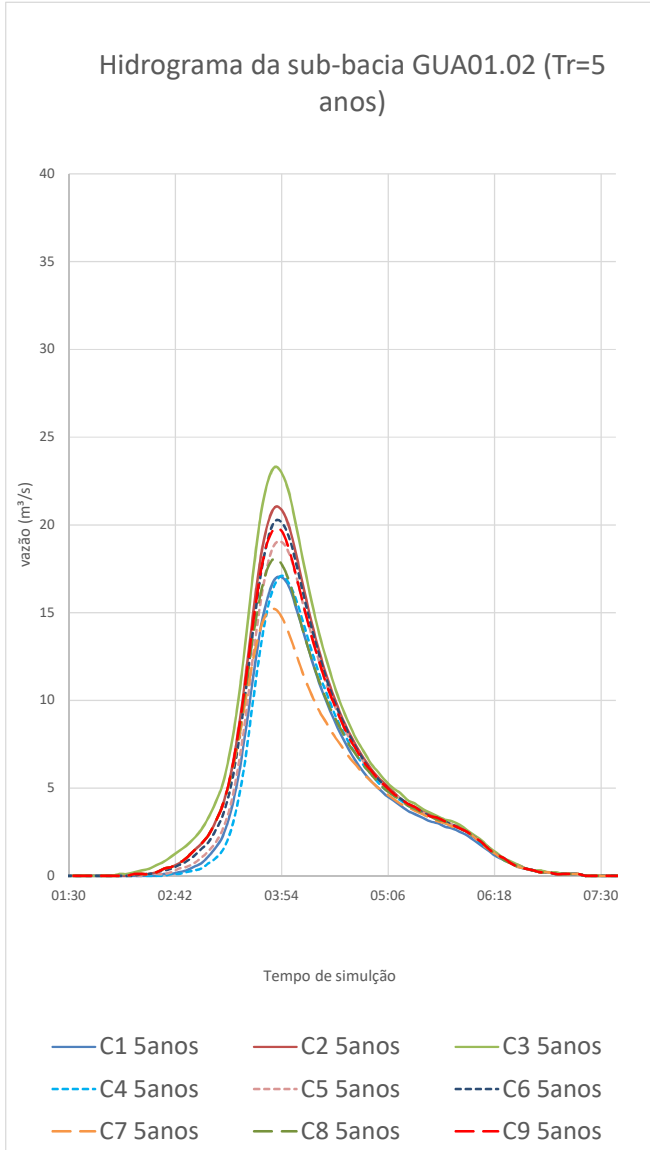
- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 25anos   | — C2 25anos   | — C3 25anos   |
| - - C4 25anos | - - C5 25anos | - - C6 25anos |
| - - C7 25anos | - - C8 25anos | - - C9 25anos |

Hidrograma da sub-bacia GUA01.01 (Tr=50 anos)



- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 50anos   | — C2 50anos   | — C3 50anos   |
| - - C4 50anos | - - C5 50anos | - - C6 50anos |
| - - C7 50anos | - - C8 50anos | - - C9 50anos |

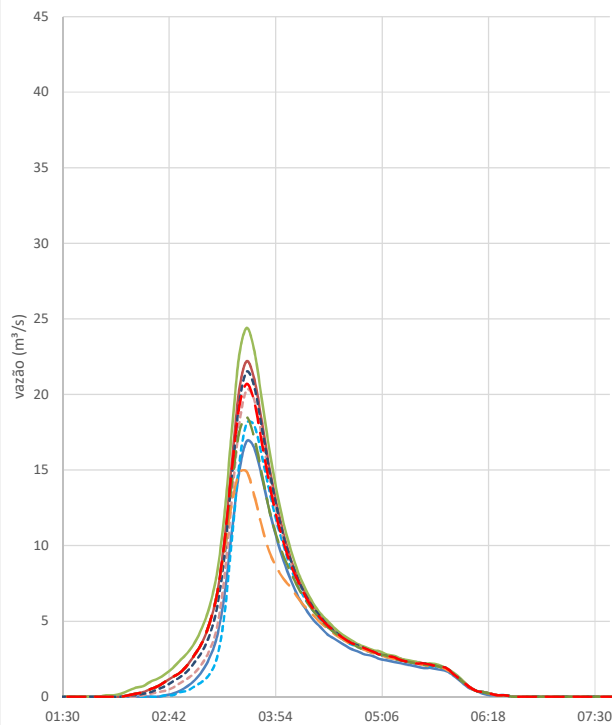
HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA01.02





HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA01.03

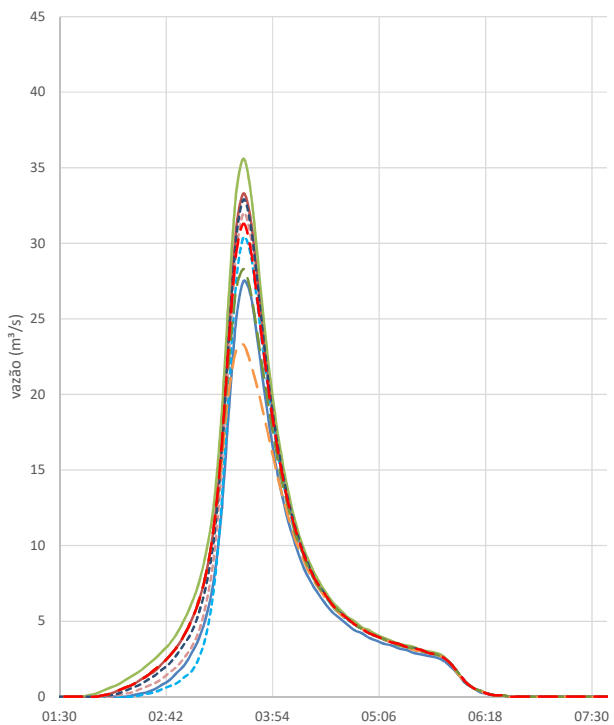
Hidrograma da sub-bacia GUA01.03 (Tr=5 anos)



Tempo de simulação

- |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| — C1 5anos     | — C2 5anos     | — C3 5anos     |
| - - - C4 5anos | - - - C5 5anos | - - - C6 5anos |
| - - - C7 5anos | - - - C8 5anos | - - - C9 5anos |

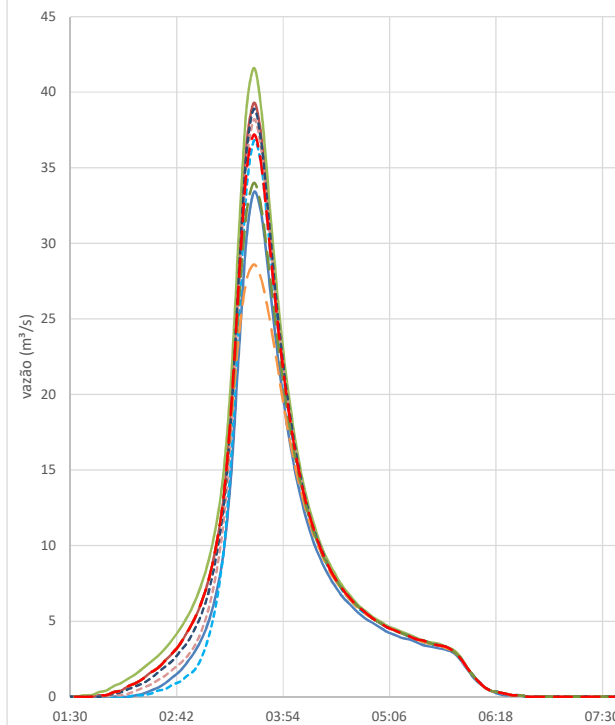
Hidrograma da sub-bacia GUA01.03 (Tr=25 anos)



Tempo de simulação

- |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| — C1 25anos     | — C2 25anos     | — C3 25anos     |
| - - - C4 25anos | - - - C5 25anos | - - - C6 25anos |
| - - - C7 25anos | - - - C8 25anos | - - - C9 25anos |

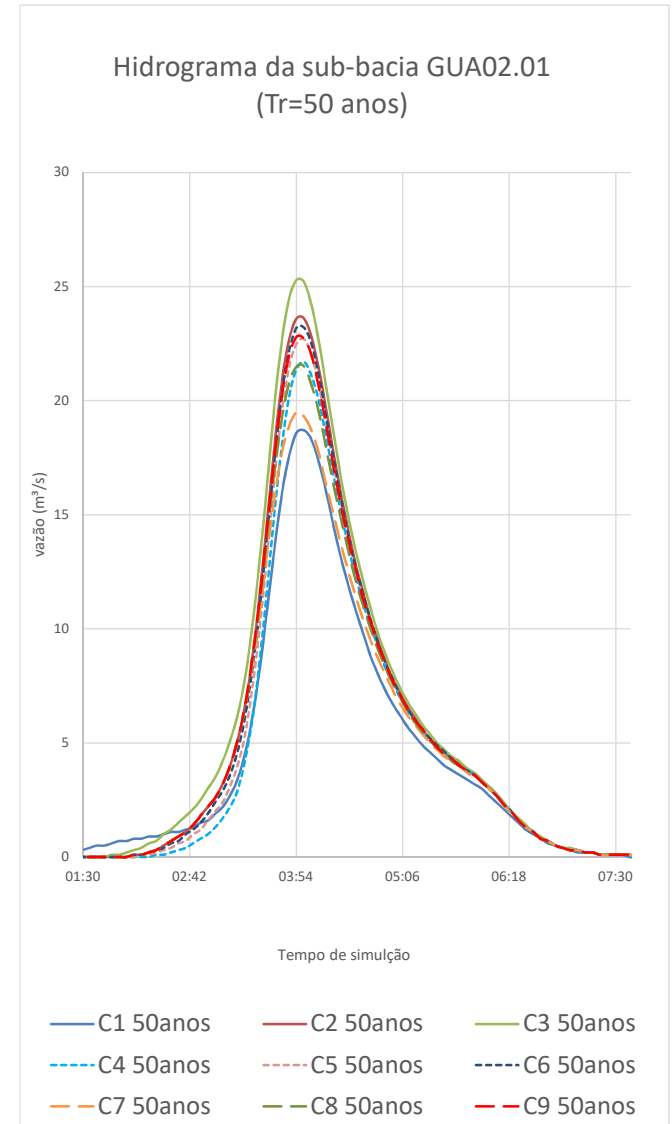
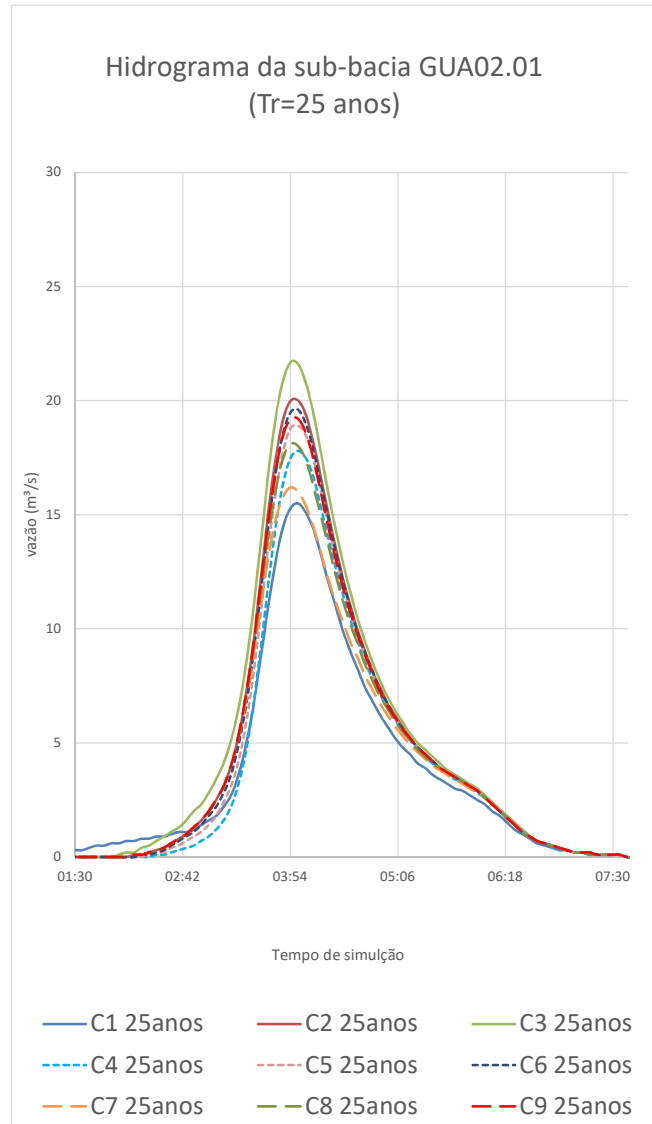
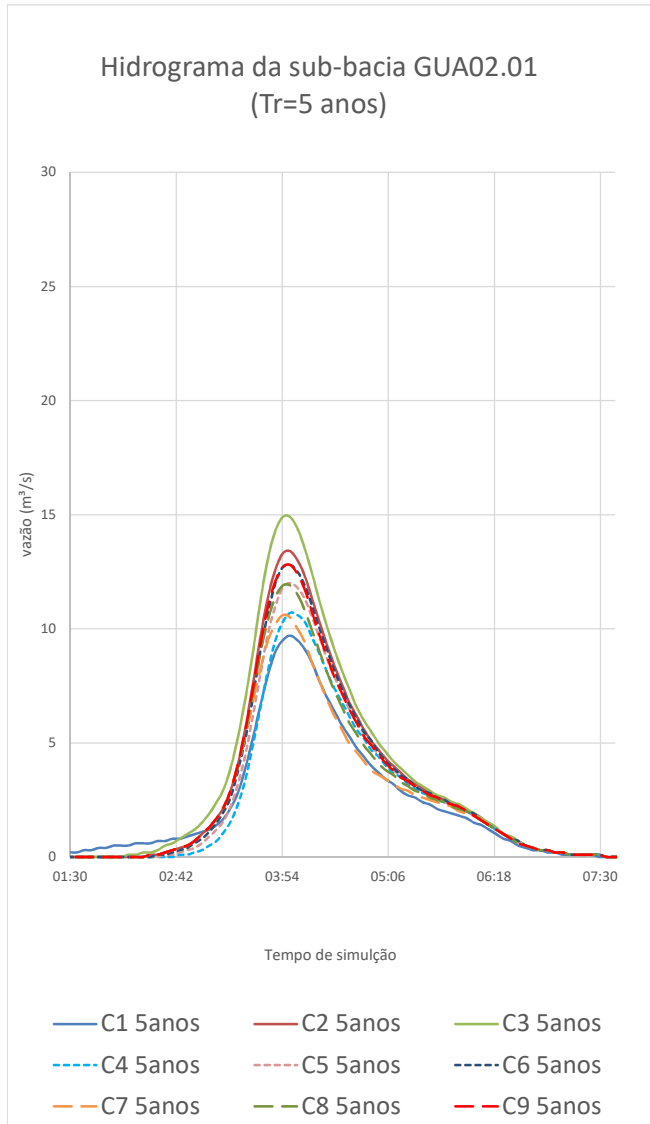
Hidrograma da sub-bacia GUA01.03 (Tr=50 anos)



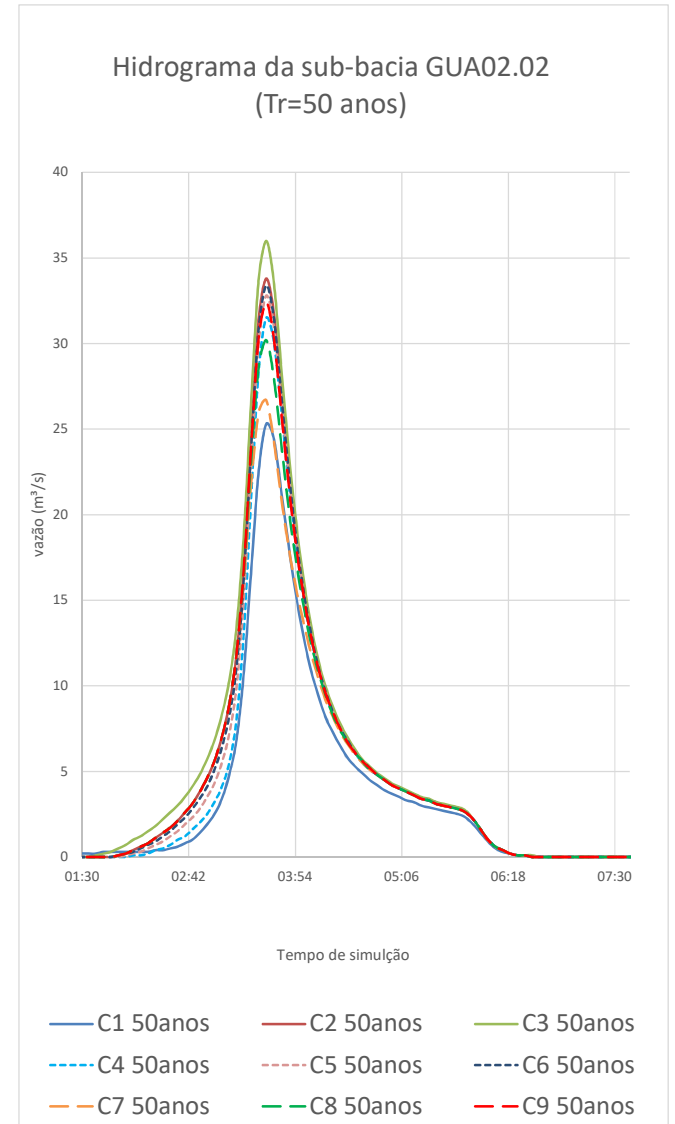
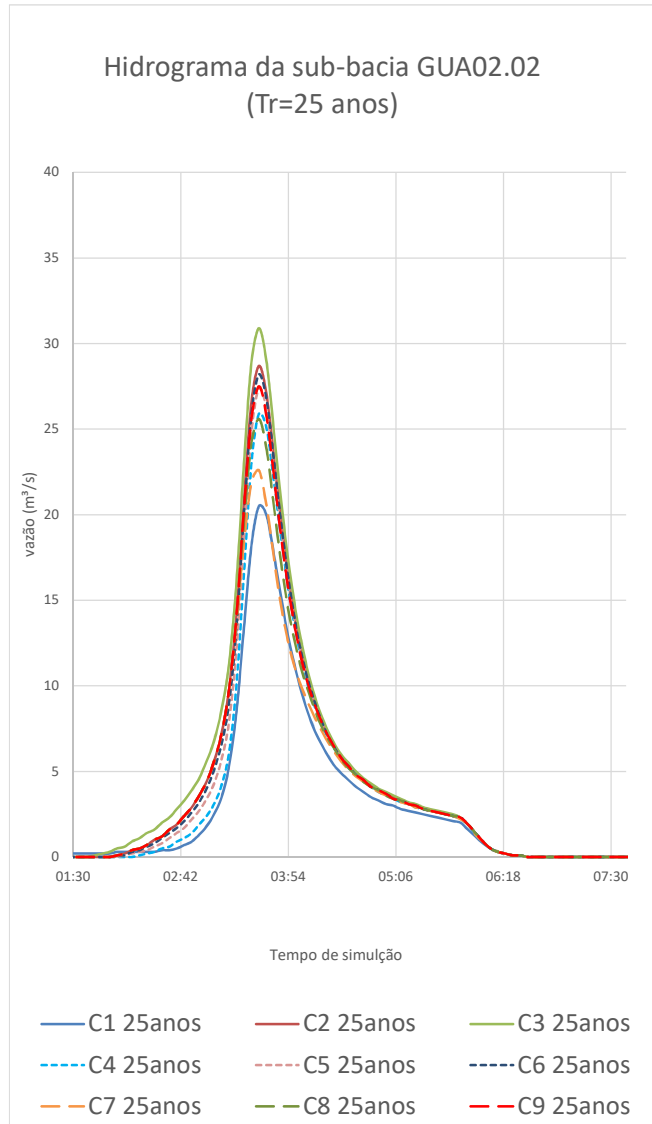
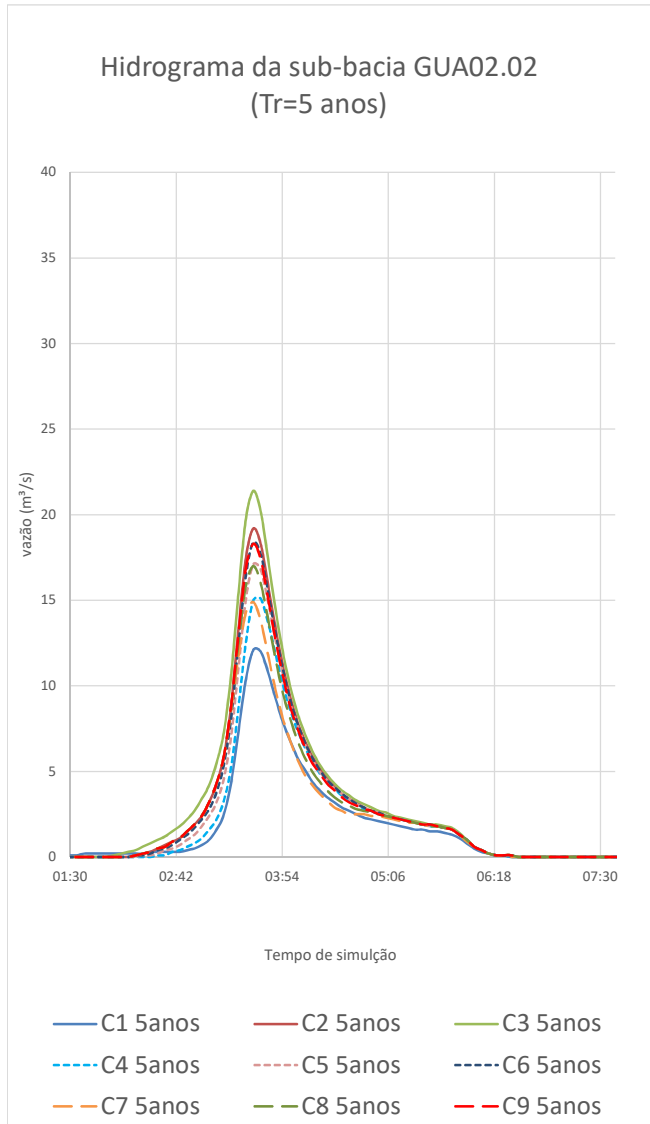
Tempo de simulação

- |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| — C1 50anos     | — C2 50anos     | — C3 50anos     |
| - - - C4 50anos | - - - C5 50anos | - - - C6 50anos |
| - - - C7 50anos | - - - C8 50anos | - - - C9 50anos |

HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA02.01

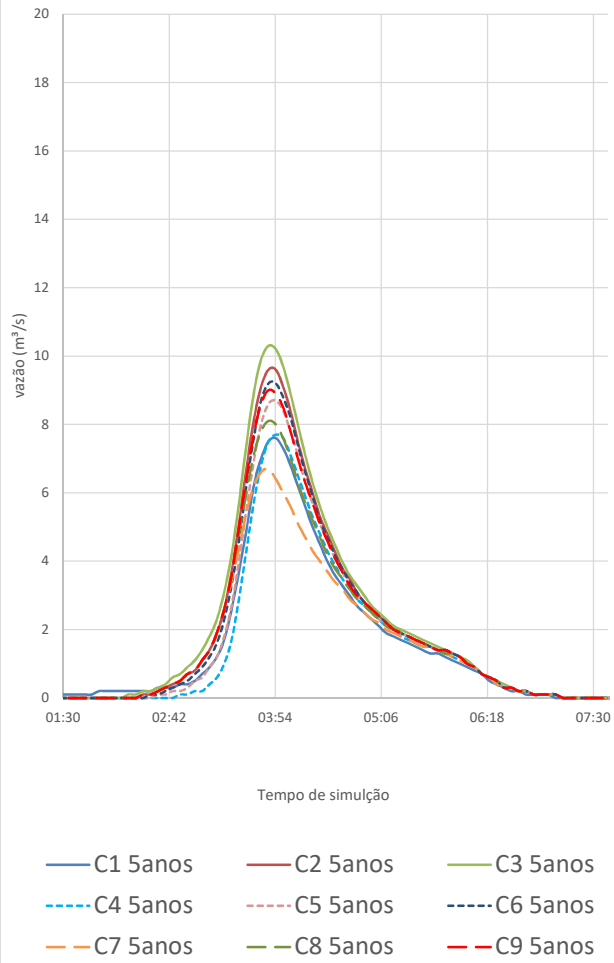


HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA02.02

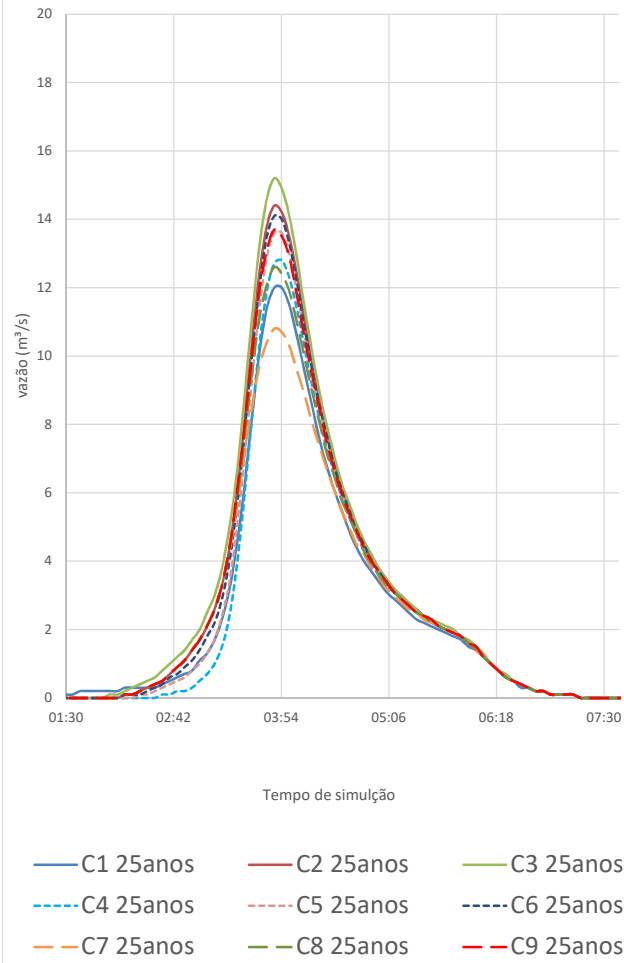


HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA02.03

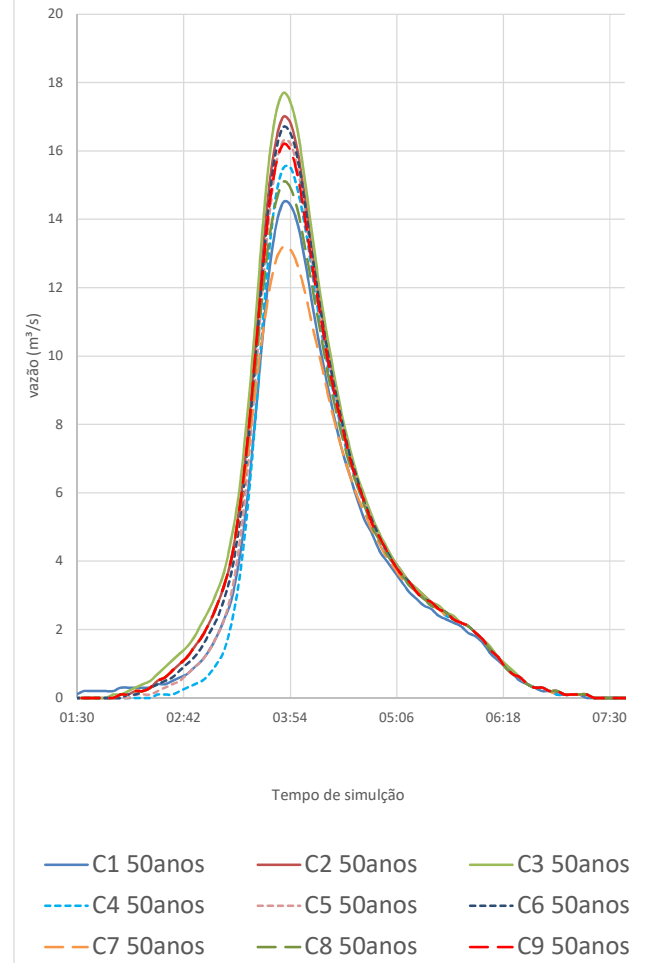
Hidrograma da sub-bacia GUA02.03  
(Tr=5 anos)



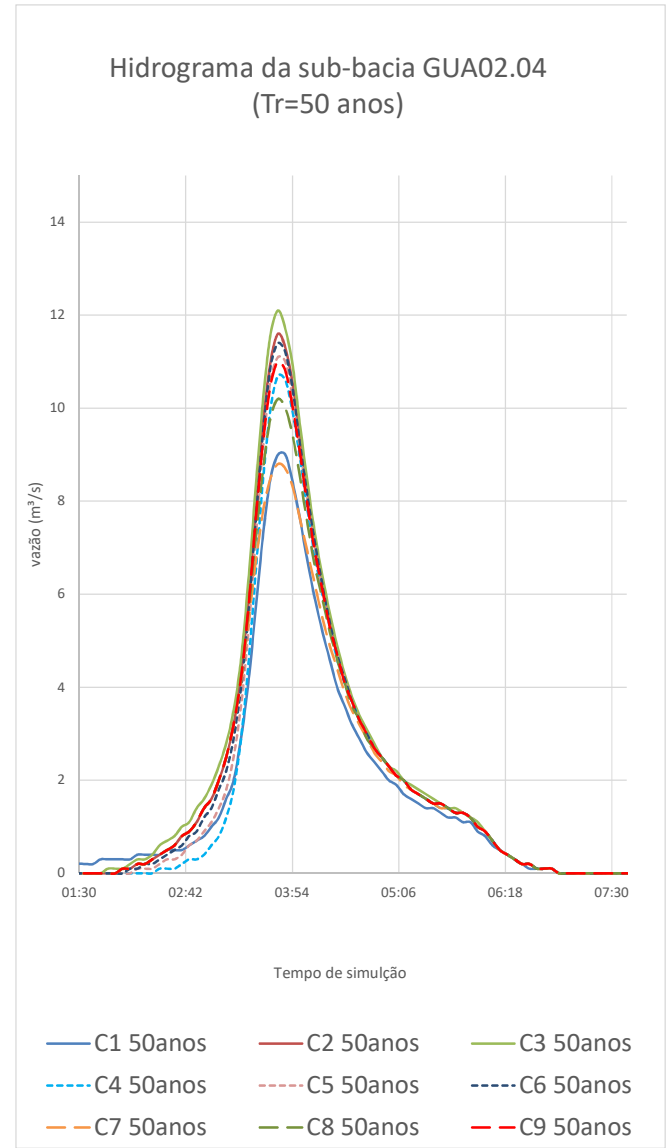
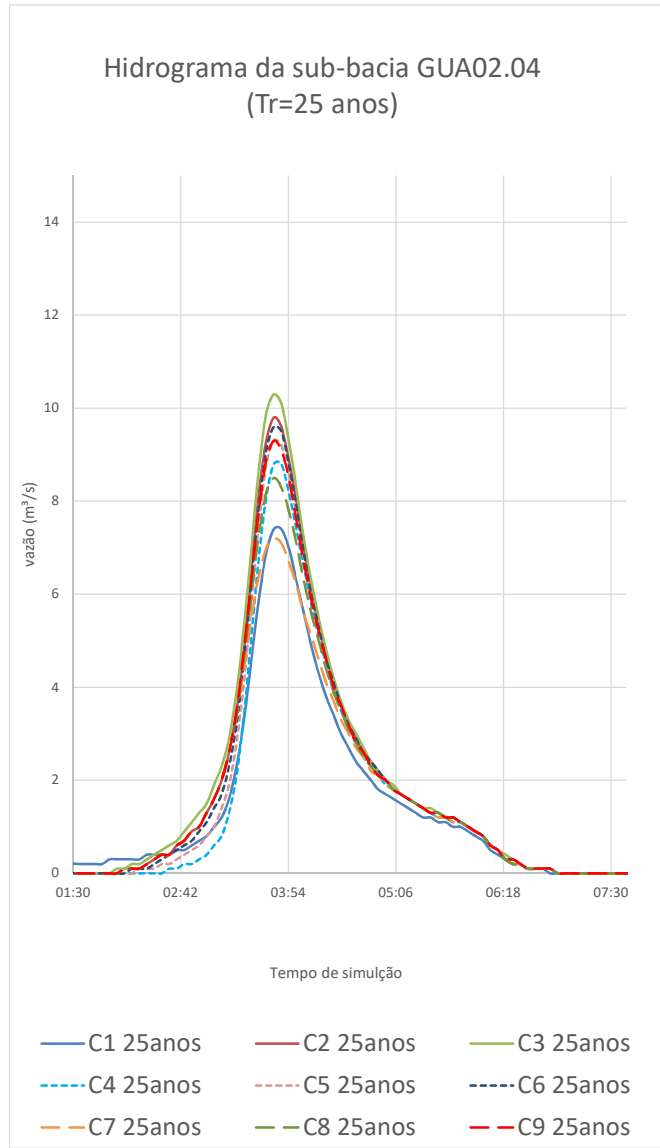
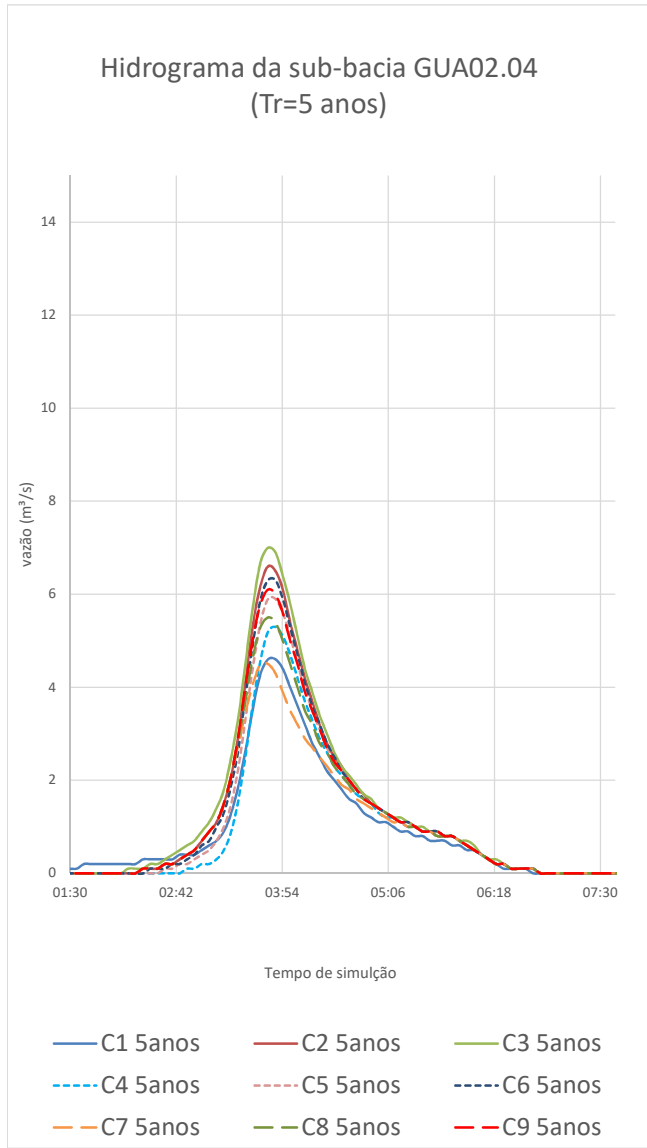
Hidrograma da sub-bacia GUA02.03  
(Tr=25 anos)



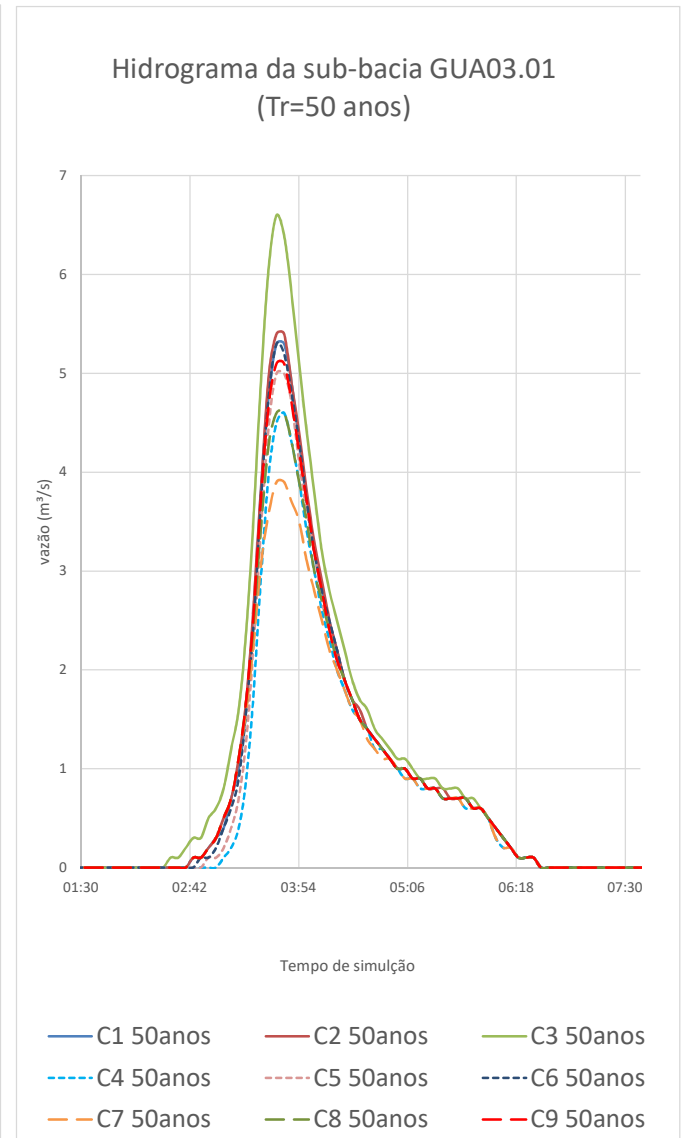
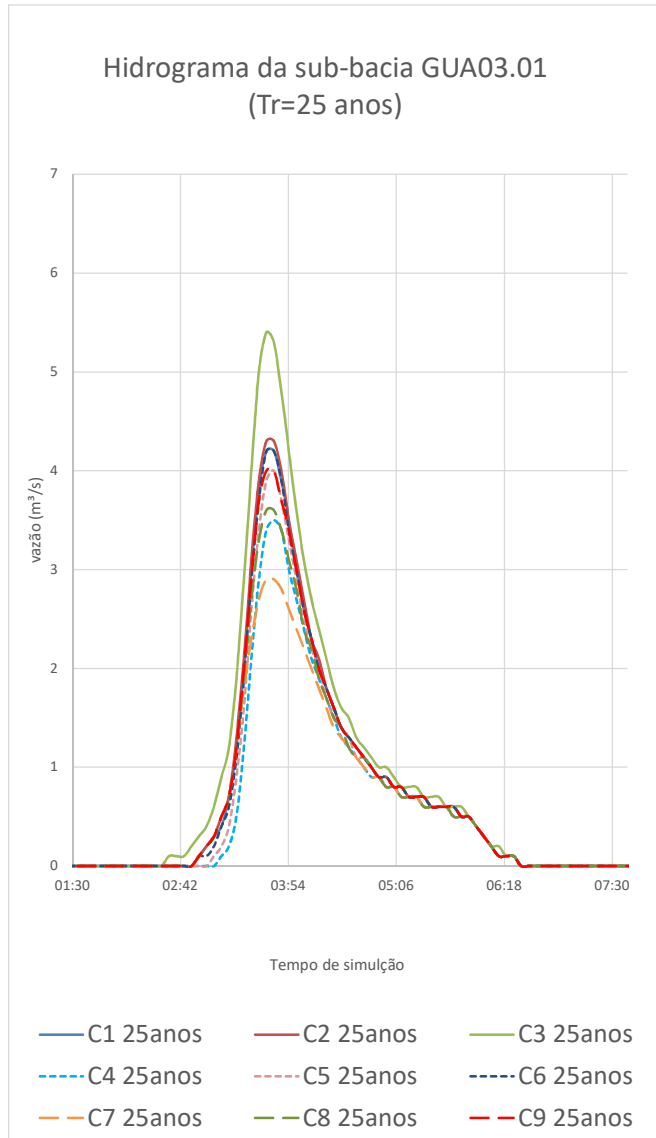
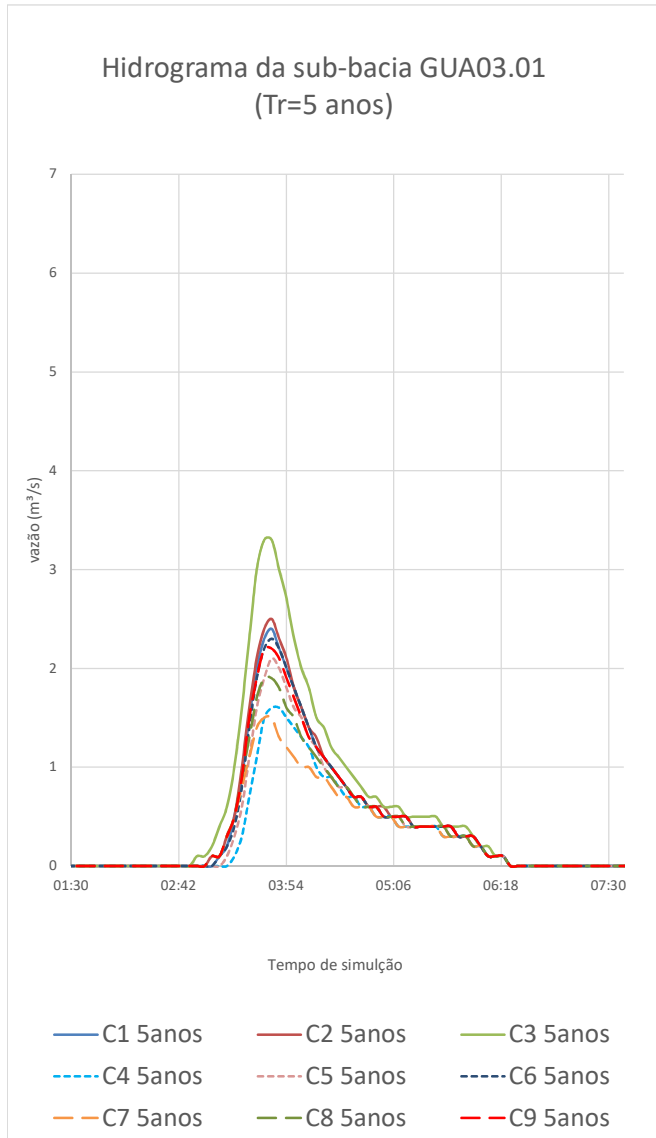
Hidrograma da sub-bacia GUA02.03  
(Tr=50 anos)



HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA02.04

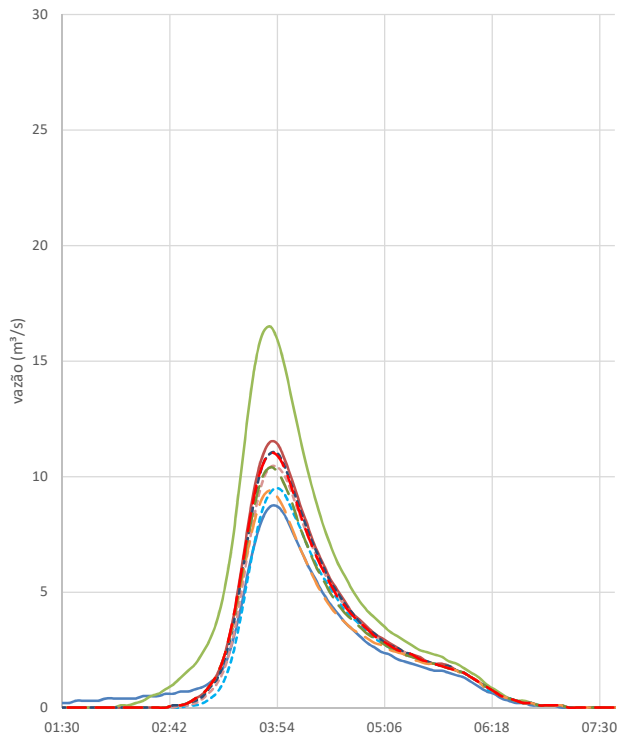


HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA03.01



HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA03.02

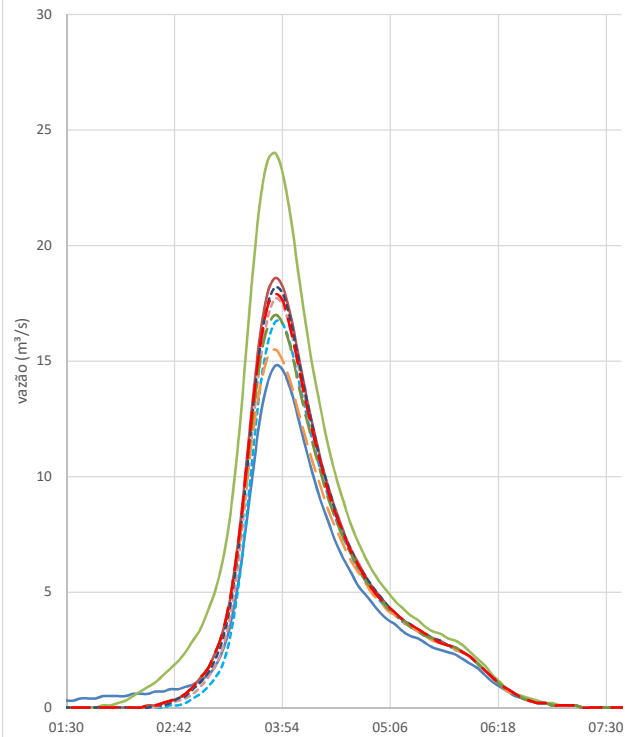
Hidrograma da sub-bacia GUA03.02  
(Tr=5 anos)



Tempo de simulação

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| — C1 5anos   | — C2 5anos   | — C3 5anos   |
| - - C4 5anos | - - C5 5anos | - - C6 5anos |
| - - C7 5anos | - - C8 5anos | - - C9 5anos |

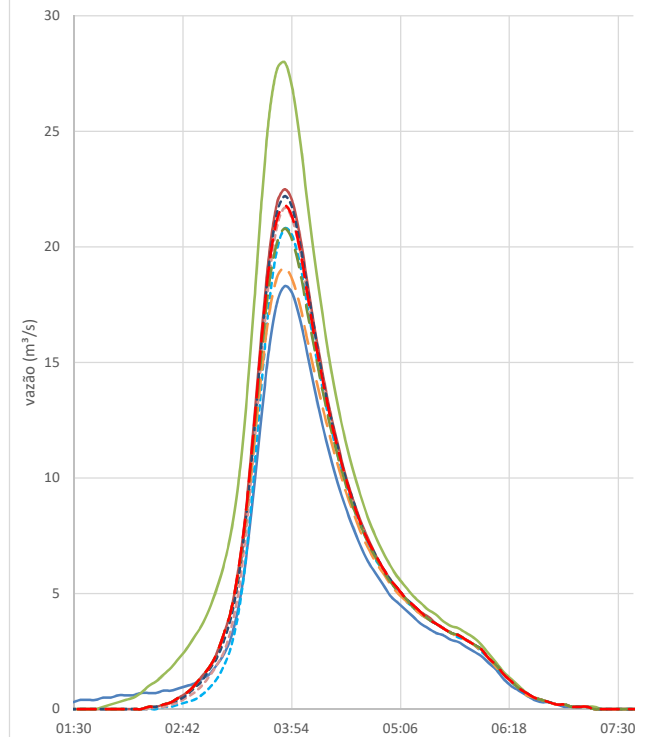
Hidrograma da sub-bacia GUA03.02  
(Tr=25 anos)



Tempo de simulação

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 25anos   | — C2 25anos   | — C3 25anos   |
| - - C4 25anos | - - C5 25anos | - - C6 25anos |
| - - C7 25anos | - - C8 25anos | - - C9 25anos |

Hidrograma da sub-bacia GUA03.02  
(Tr=50 anos)

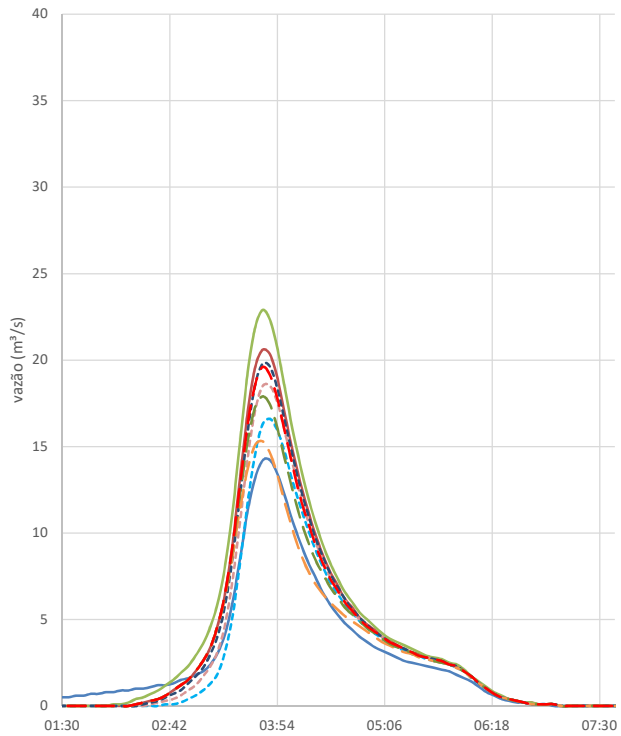


Tempo de simulação

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 50anos   | — C2 50anos   | — C3 50anos   |
| - - C4 50anos | - - C5 50anos | - - C6 50anos |
| - - C7 50anos | - - C8 50anos | - - C9 50anos |

HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA03.03

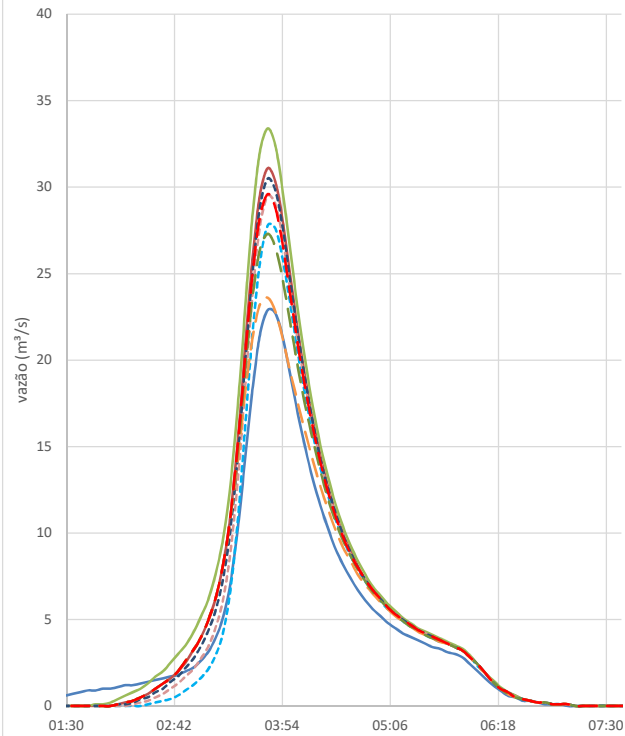
Hidrograma da sub-bacia GUA03.03  
(Tr=5 anos)



Tempo de simulação

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| — C1 5anos   | — C2 5anos   | — C3 5anos   |
| - - C4 5anos | - - C5 5anos | - - C6 5anos |
| — C7 5anos   | — C8 5anos   | — C9 5anos   |

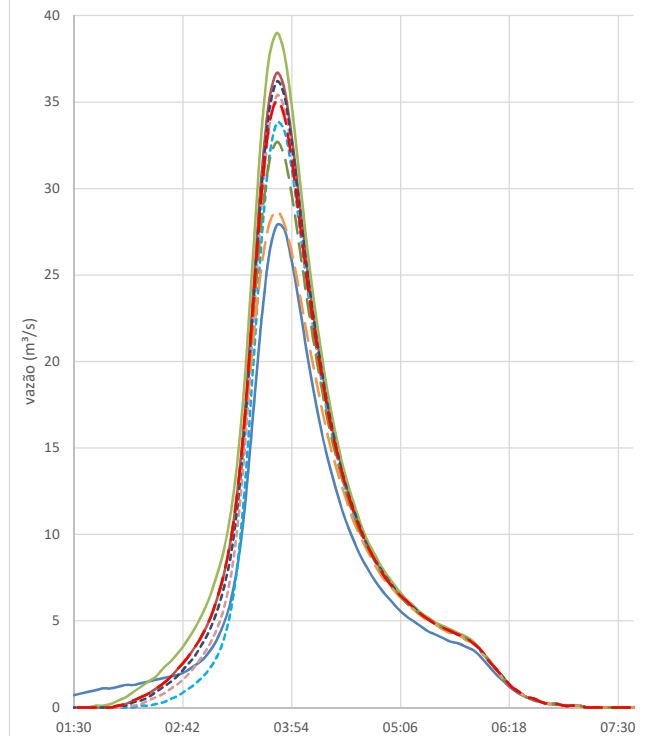
Hidrograma da sub-bacia GUA03.03  
(Tr=25 anos)



Tempo de simulação

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 25anos   | — C2 25anos   | — C3 25anos   |
| - - C4 25anos | - - C5 25anos | - - C6 25anos |
| — C7 25anos   | — C8 25anos   | — C9 25anos   |

Hidrograma da sub-bacia GUA03.03  
(Tr=50 anos)

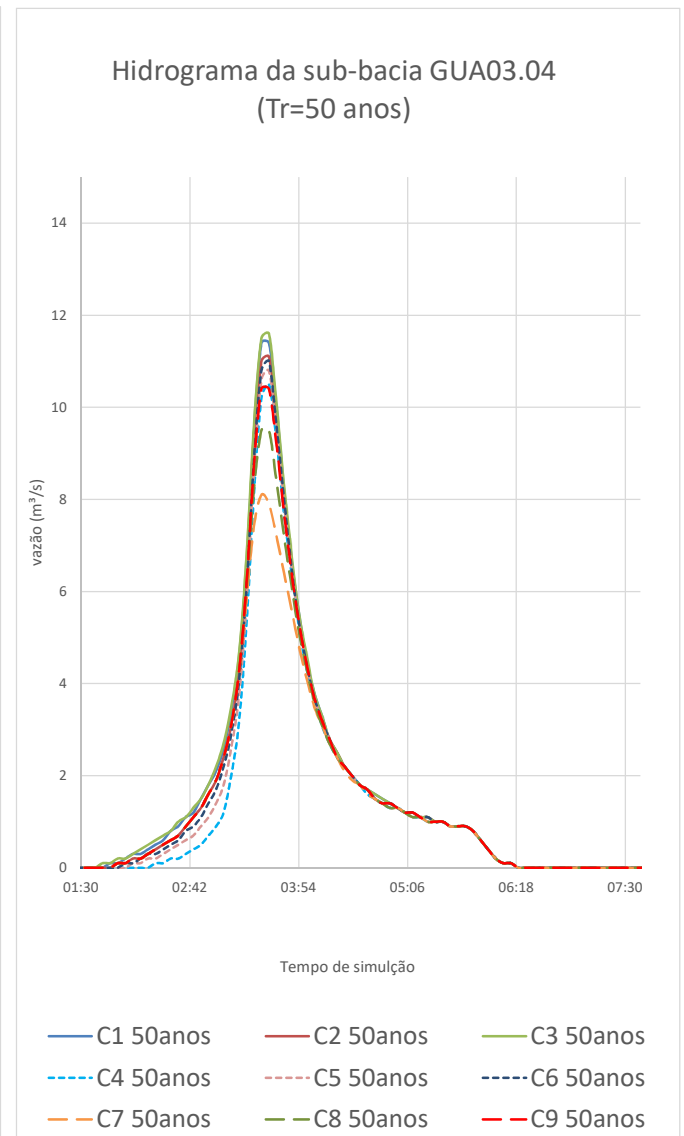
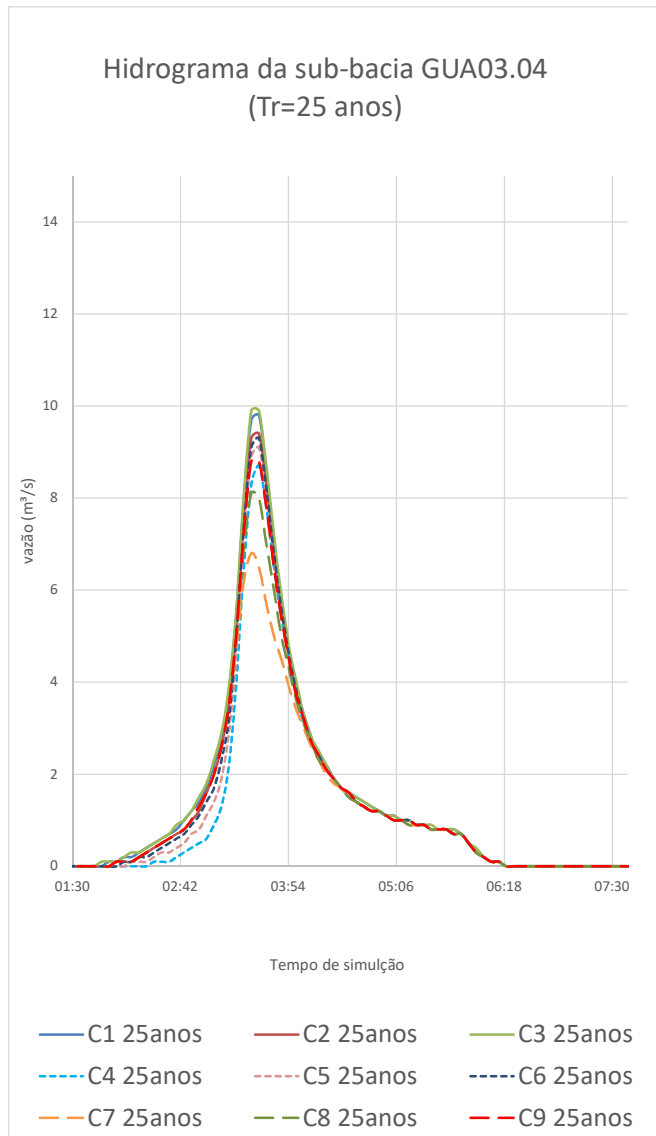
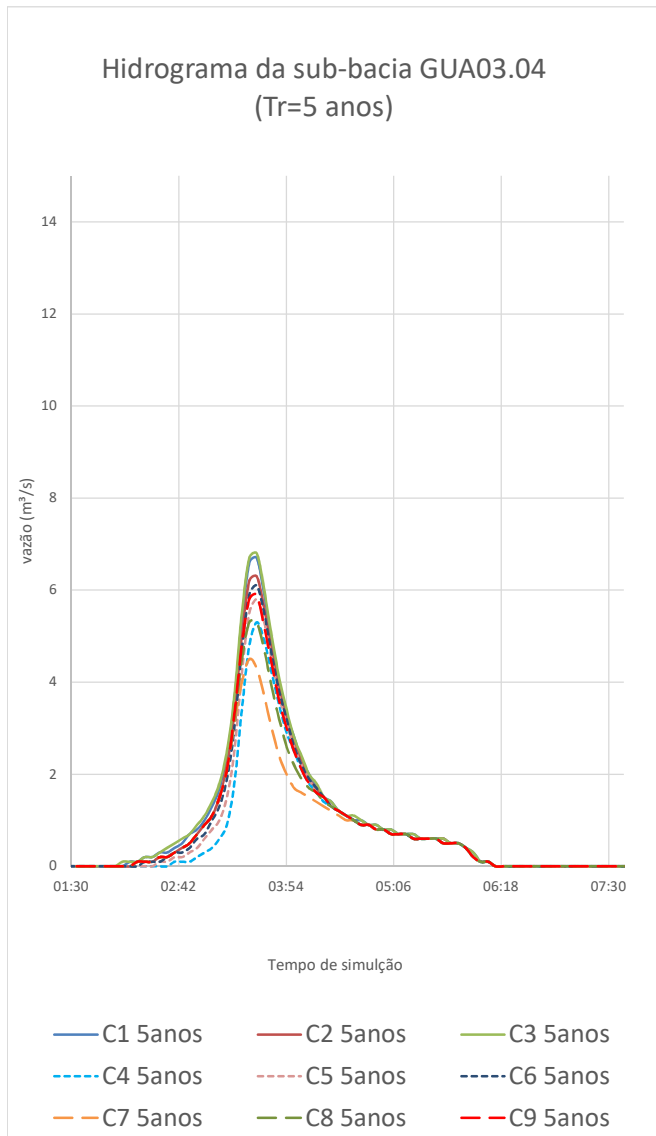


Tempo de simulação

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 50anos   | — C2 50anos   | — C3 50anos   |
| - - C4 50anos | - - C5 50anos | - - C6 50anos |
| — C7 50anos   | — C8 50anos   | — C9 50anos   |

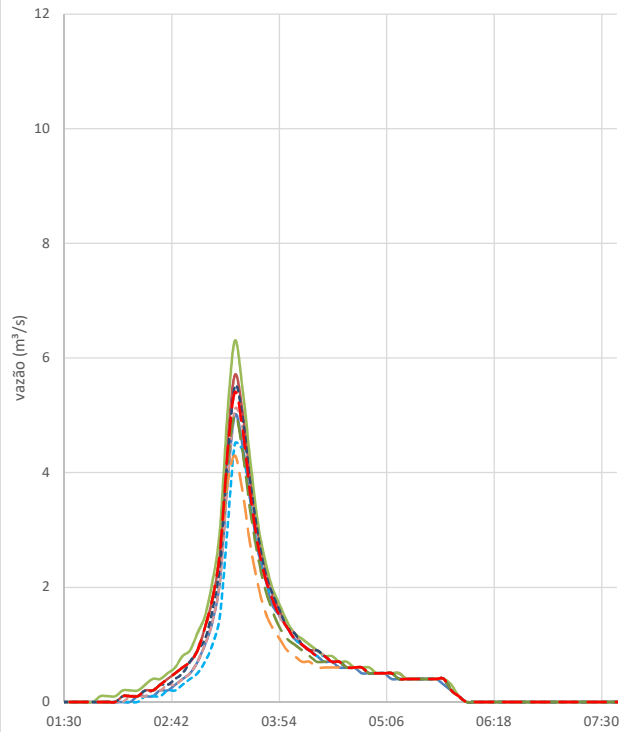


HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA03.04



HIDROGRAMAS DAS SUB-BACIA DE DRENAGEM - GUA03.05

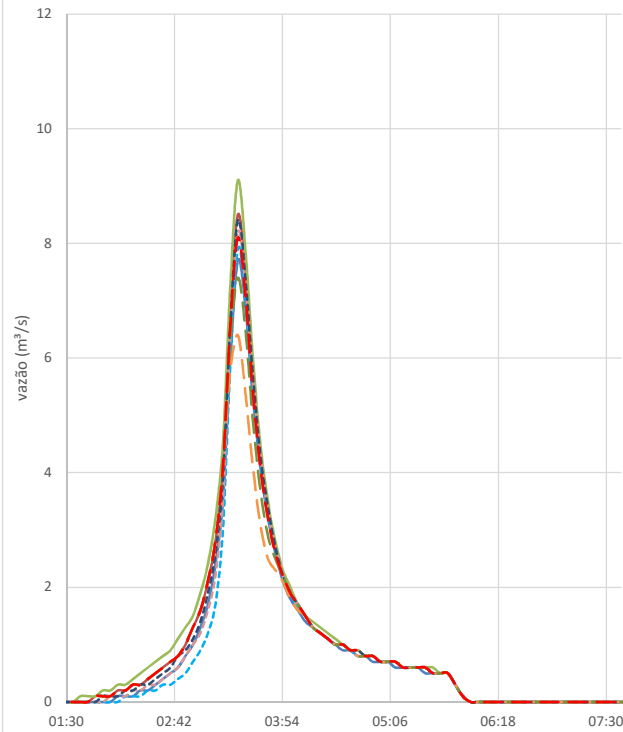
Hidrograma da sub-bacia GUA03.04  
(Tr=5 anos)



Tempo de simulação

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| — C1 5anos   | — C2 5anos   | — C3 5anos   |
| - - C4 5anos | - - C5 5anos | - - C6 5anos |
| - - C7 5anos | - - C8 5anos | - - C9 5anos |

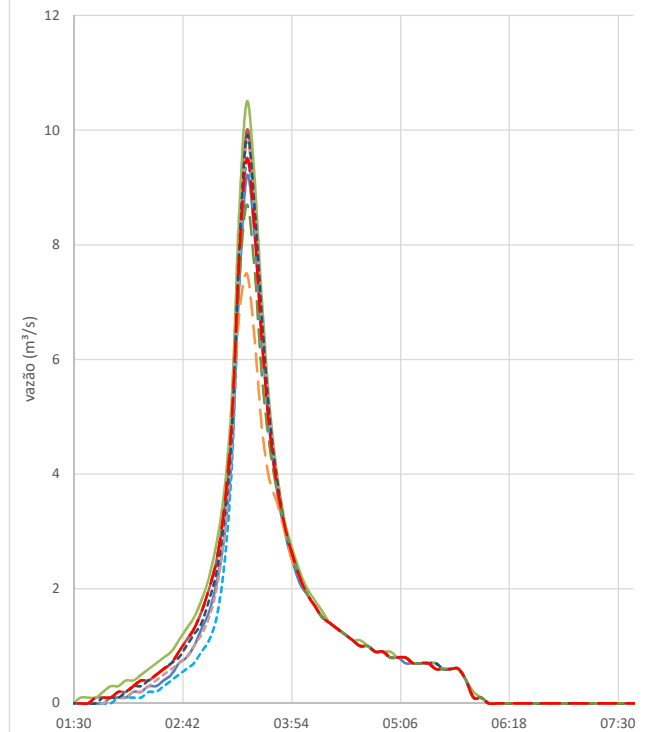
Hidrograma da sub-bacia GUA03.04  
(Tr=25 anos)



Tempo de simulação

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 25anos   | — C2 25anos   | — C3 25anos   |
| - - C4 25anos | - - C5 25anos | - - C6 25anos |
| - - C7 25anos | - - C8 25anos | - - C9 25anos |

Hidrograma da sub-bacia GUA03.04  
(Tr=50 anos)



Tempo de simulação

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| — C1 50anos   | — C2 50anos   | — C3 50anos   |
| - - C4 50anos | - - C5 50anos | - - C6 50anos |
| - - C7 50anos | - - C8 50anos | - - C9 50anos |