



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI  
CAMPUS ALTO PARAPEBA – CAP  
ENGENHARIA CIVIL**

ANA PAULA DE AZEVEDO FARIA

**ESTUDO SOBRE ÁREA DE INUNDAÇÃO DO RIO SANTO  
ANTÔNIO NO MUNICÍPIO DE ITAVERAVA - MG**

**Orientador:** Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

OURO BRANCO - MG

2019



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI  
CAMPUS ALTO PARAPEBA – CAP  
ENGENHARIA CIVIL**

**ANA PAULA DE AZEVEDO FARIA**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de São João Del- Rei – Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para obtenção de nota na disciplina: Trabalho de Contextualização e Integração Curricular II.

**Professor Orientador: Emmanuel K. C. Teixeira**

**OURO BRANCO - MG**

**2019**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Praça Monsenhor Isidro, onde está localizada a Matriz de Santo Antônio .....	9
Figura 2 - Cachoeira do Tati .....	10
Figura 3 - Loja de artesanatos feitos por maradores da cidade.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 4 - Praça Monsenhor Isidro, concentração para Caminhada da Fé feita do centro de Itaverava até o distrito de Monsenhor Isidro .....	11
Figura 5 - Fachada Casarão do Padre Taborda .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 6 - Altar de Santo Antônio e “pintura da Anunciação” Matriz de Santo Antônio .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 7 - Integrantes da banda de Congado da cidade durante a Folia de Reis .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 8 - Corporação musical de Santo Antônio.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 9 - Praça José da costa Carvalho onde estão localizados o posto de saúde, a prefeitura, a agência dos correios e algumas residências alagadas após a forte chuva em 15/02/2015 .....	14
Figura 10 - Praça José da costa Carvalho após o nível d’água do rio baixar.....	14
Figura 11 - Viatura policial sendo retirada do Rio Santo Antônio .....	15
Figura 12 - Delimitação geográfica do município. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 13 - Vista das três bacias e os respectivos trechos dos rios Santo Antônio Bananal e logo após o encontro dos dois anteriores.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 14 - Vista das três bacias com seus tipos de cobertura de solo para determinação de CN (Tabelas 2 e 3).....	21
Figura 15 - Trecho inicial do Rio Santo Antônio com as respectivas seções transversais (parte delimitada pela Bacia I) e abaixo o seu perfil de elevação longitudinal .....	22
Figura 16 - Trecho inicial do Rio Bananal com as respectivas seções transversais (parte delimitada pela Bacia II) e abaixo o seu perfil de elevação longitudinal .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 17 - Trecho após o encontro dos dois rios com as respectivas seções transversais (parte delimitada pela Bacia III) e abaixo seu o perfil de elevação longitudinal .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 18 - Relatório Parâmetros da equação de intensidade, duração frequência da precipitação.	25
Figura 19 - Hidrograma Unitário Bacia I .....	26
Figura 20 - Hidrograma Unitário Bacia II.....	27
Figura 21 - Hidrograma Unitário Bacia III.....	27
Figura 22 - Seções 5 e 8 do Rio Santo Antônio. ....	28
Figura 23 - Vista superior com a localização das pontes dos rios .....	29
Figura 24 - Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle .....	30
Figura 25 - Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle .....	30
Figura 26 - Seção Transversal 3 com os quatro períodos de controle. ....	31

Figura 27 - Seção Transversal 4 com os quatro períodos de controle .....	31
Figura 28 - Seção Transversal 5 com os quatro períodos de controle .....	32
Figura 29 - Seção Transversal 6 com os quatro períodos de controle .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 30 - Seção Transversal 7 com os quatro períodos de controle .....	33
Figura 31 - Seção Transversal 8 com os quatro períodos de controle .....	33
Figura 32 - Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle .....	34
Figura 33 - Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle .....	34
Figura 34 - Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle .....	35
Figura 35 - Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle .....	35
Figura 36 - Seção Mapa de inundação $t_r= 2$ e 5 anos .....	36
Figura 37 - Seção Mapa de inundação $t_r= 10$ anos.....	37
Figura 38 - Seção Mapa de inundação $t_r= 25$ anos.....	37

#### LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Velocidades médias de escoamento superficial ( $m s^{-1}$ ) para o cálculo de $t_c$ em canais e em superfícies.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 2 - Valores de CN para diversas situações de cobertura vegetal e tipos de solo .....	18
Tabela 3 - Valores calculados para bacia I.....	23
Tabela 4 - Valores calculados para bacia I.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 5 - Valores calculados para bacia II.....	24
Tabela 6 - Valores calculados para bacia II.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 7 - Valores calculados para bacia III.....	25
Tabela 8 - Dados de projeto para vazões de pico .....	26
Tabela 9 - Dados calculados para Bacia I.....	26
Tabela 10 - Dados calculados para Bacia II .....	27
Tabela 11 - Dados calculados para Bacia III. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 12 - Coeficientes de Manning .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 13 - Vazões máximas ( $m^3/s$ ) calculadas para os períodos de retorno .....	29

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	20
2. OBJETIVO: .....	22
2.1 Objetivo geral: .....	22
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	23
3.1 A cidade de Itaverava: .....	23
3.1.1 História:.....	23



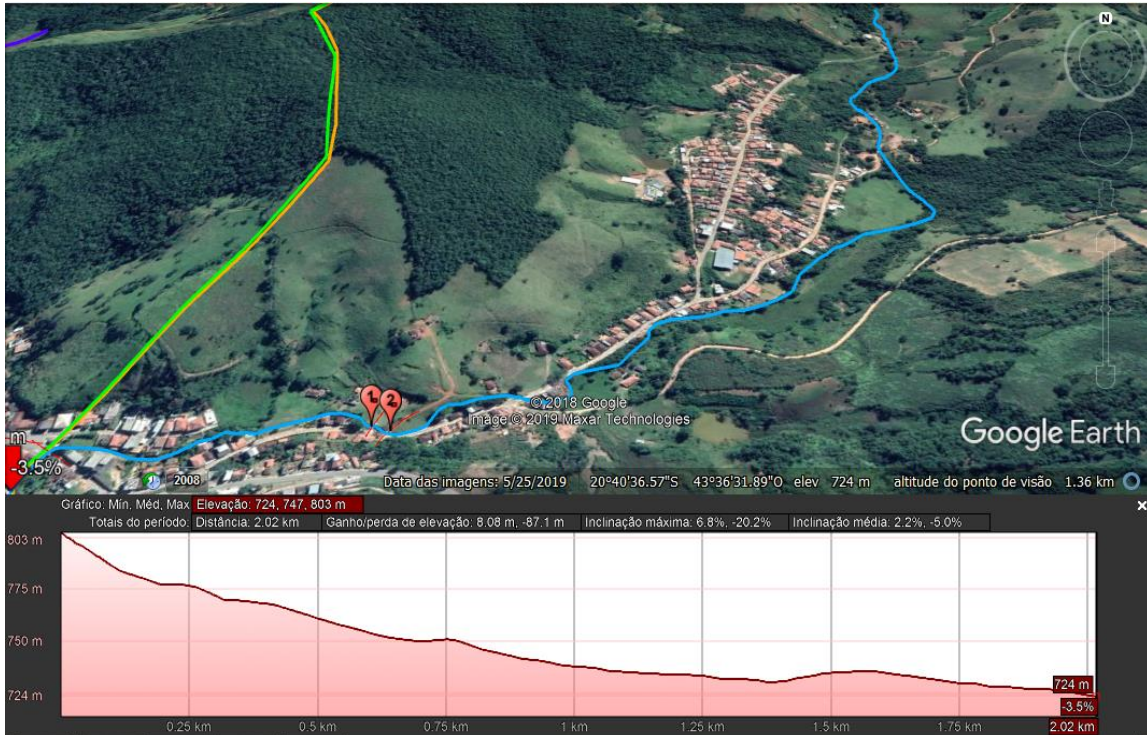
.....	23
3.3 HEC-RAS: .....	29
3.4.1 Declividade média equivalente:.....	30
Onde: .....	30
3.4.2 Tempo de concentração .....	30
3.4.3 Curva de intensidade, duração e frequência (IDF) .....	31
3.4.4 Estudos de escoamento superficial: .....	31

As vazões de projeto foram calculadas a partir de metodologias indiretas de transformação de chuva em vazão, sendo que, para isso, foi utilizado o Método do Hidrograma Unitário Sintético (SCS). Este é um método muito utilizado para estimar o volume de escoamento superficial

resultante de um evento de chuva. Ele foi desenvolvido pelo *National Resources Conservatoin Center* dos EUA (antigo *Soil Conservation Service – SCS*). A formulação adotada pelo método encontra-se a seguir..... 31

**4 MATERIAIS E MÉTODOS**..... 34

**4.1 Topografia**..... 34



..... 36

Comprimento:..... 37

Declividade:..... 37

Velocidade: ..... 37

Tempo de concentração:..... 37

**Tabela 4: Valores calculados para bacia I:** ..... 38

Trecho: ..... 38

Comprimento difuso: ..... 38

(m)..... 38

Declividade difusa: ..... 38

(%)..... 38

Velocidade difusa: ..... 38

(m/s) ..... 38

Tempo de concentração difuso: ..... 38

(s)..... 38

Bacia I ..... 38

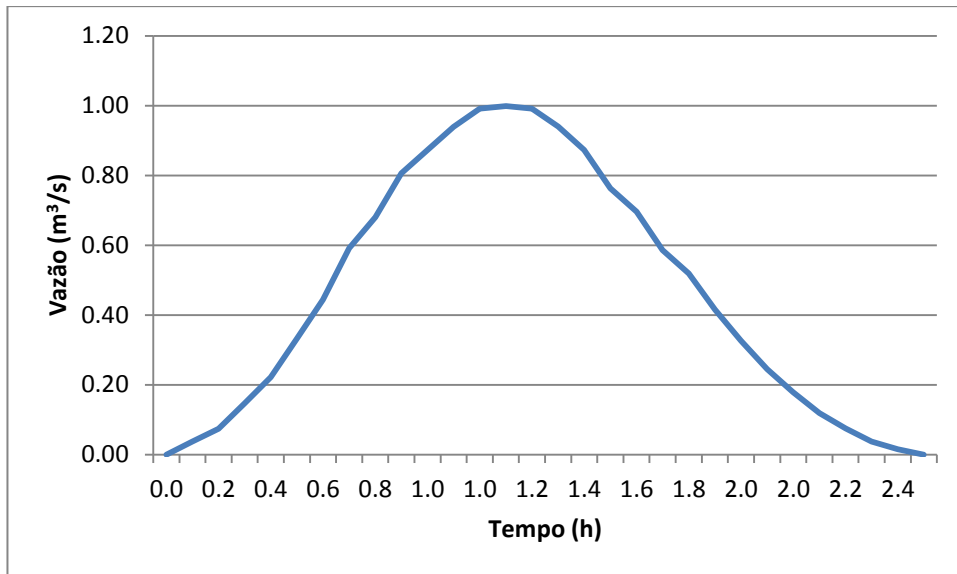
11,0 .....	38
2,0 .....	38
1910,0 .....	38
Total (Tempo de concentração + Tempo de concentração difuso) em minutos: ...	38
386,2 .....	38
<b>Tabela 5: Valores calculados para bacia II:</b> .....	38
Trecho: .....	38
Comprimento:.....	38
(m).....	38
Declividade:.....	38
(%).....	38
Velocidade: .....	38
(m/s).....	38
Tempo de concentração:.....	38
(s).....	38
I.....	38
6,9 .....	38
1,2 .....	38
625,0 .....	38
II.....	38
750,0 .....	38
2,3 .....	38
0,5 .....	38
1500,0 .....	38
III.....	38
520,0 .....	38
2,1 .....	38
0,5 .....	38
1040,0 .....	38
Total: .....	38
2020,0 .....	38
3,1 .....	38
-.....	38
3165,0 .....	38

<b>Tabela 6: Valores calculados para bacia II:</b> .....	38
Trecho: .....	38
Comprimento difuso: .....	38
(m).....	38
Declividade difusa: .....	38
(%).....	38
Velocidade difusa: .....	38
(m/s) .....	38
Tempo de concentração difuso: .....	38
(s) .....	38
Bacia II .....	38
19,0 .....	38
2,3 .....	38
810,87 .....	38
Total (Tempo de concentração + Tempo de concentração difuso) em minutos: ...	38
66,3 .....	38
Na bacia III, para o trecho referente ao encontro dos dois rios, também foi calculada a declividade média equivalente, a sua velocidade, definida de acordo com a Tabela 1, e também o seu tempo de concentração e estão apresentados na Tabela 7. ....	38
<b>Tabela 7: Valores calculados para bacia III:</b> .....	39
Trecho: .....	39
Comprimento difuso: .....	39
(m).....	39
Declividade difusa: .....	39
(%).....	39
Velocidade difusa: .....	39
(m/s) .....	39
Tempo de concentração difuso: .....	39
(s) .....	39
Bacia III .....	39
10,3 .....	39
1,7 .....	39
2247,06 .....	39



Total (Tempo de concentração + Tempo de concentração difuso) em minutos: ...	39
391,8 .....	39
Pelo método do hidrograma unitário sintético (Scs) foi calculada a vazão máxima de cada bacia hidrográfica, obtendo-se os dados apresentados nas tabelas e figuras a seguir.....	
	40
<b>Tabela 9: Dados calculados para Bacia I:</b> .....	40
tb .....	40
(h).....	40
tp .....	40
(h).....	40
tc .....	40
(h).....	40
tr .....	40
(h).....	40
A.....	40
(km <sup>2</sup> ).....	40
P.....	40
(mm).....	40
Qp .....	40
(m <sup>3</sup> /s).....	40
i .....	40
Pef.....	40
Qm .....	40
12,1 .....	40
6,5 .....	40
1,3 .....	40
8,38 .....	40
1,0 .....	40
0,38 .....	40
94 .....	40
16,2 .....	40
9,85 .....	40
47,4 .....	40
13,0 .....	40

<b>Tabela 10: Dados calculados para Bacia II:</b> .....	41
Tb .....	41
(h) .....	41
tp .....	41
(h) .....	41
tc .....	41
(h) .....	41
tr .....	41
(h) .....	41
A .....	41
(km <sup>2</sup> ) .....	41
P .....	41
(mm) .....	41
Qp .....	41
(m <sup>3</sup> /s) .....	41
i .....	41
Pef .....	41
Qm .....	41
1,9 .....	41
1 .....	41
0,2 .....	41
4,35 .....	41
1,0 .....	41
1,29 .....	41
94 .....	41
16,2 .....	41
9,85 .....	41
2,4 .....	41
2,4 .....	41



.....	41
<b>Tabela 11: Dados calculados para Bacia III:</b> .....	41
tb .....	41
(h).....	41
tp .....	41
(h).....	41
tc .....	41
(h).....	41
tr .....	41
(h).....	41
A.....	41
(km²).....	41
P.....	41
(mm).....	41
Qp .....	41
(m³/s).....	41
i .....	41
Pef.....	41
Qm .....	41
1,9 .....	41
1,0 .....	41
0,2 .....	41
0,12 .....	41
1,0 .....	41

0,04 .....	41
94 .....	41
16,2 .....	41
9,85 .....	41
2,4 .....	41
2,1 .....	41
<b>4.3 Simulação hidráulica.....</b>	<b>42</b>
Para modelagem hidráulica no HEC-RAS foi adicionado ao <i>Software</i> medidas coletadas <i>in loco</i> e no Google Earth, das seções transversais e o coeficiente de Manning (n) de acordo com a cobertura do leito do rio: .....	42
<b>Tabela 12: Coeficientes de Manning.....</b>	<b>42</b>
<i>tr</i> .....	43
2 anos .....	43
5 anos .....	43
10 anos .....	43
25 anos .....	43
Rio Santo Antônio: .....	43
6 .....	43
7,6 .....	43
9.1 .....	43
11.4 .....	43
Rio Bananal:.....	43
2,4 .....	43
3,8 .....	43
5.1 .....	43
7.3 .....	43
Encontro:.....	43
0,2 .....	43
0,2 .....	43
0.3 .....	43
0.3 .....	43
Total no encontro: .....	43
8,6 .....	43
11,6 .....	43

14.5 ..... 43

19 ..... 43

**Tabela 13: Vazões máximas (m<sup>3</sup>/s) calculadas para os períodos de retorno. 43**

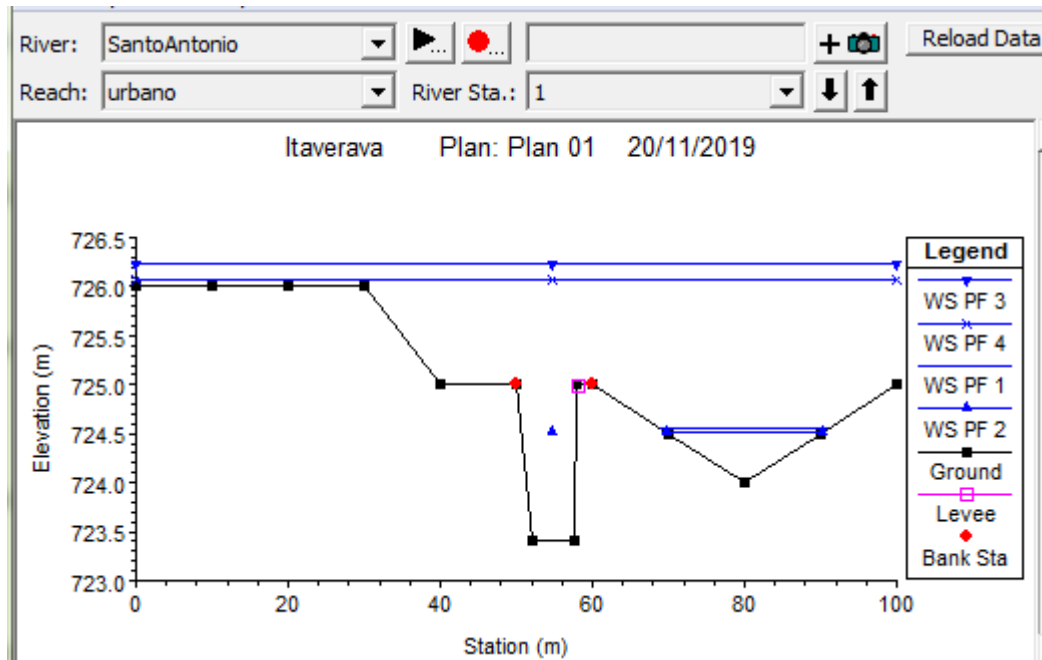


..... 43

**Figura 23: Vista superior com a localização das pontes dos rios. .... 43**

**Fonte: Google Earth. .... 43**

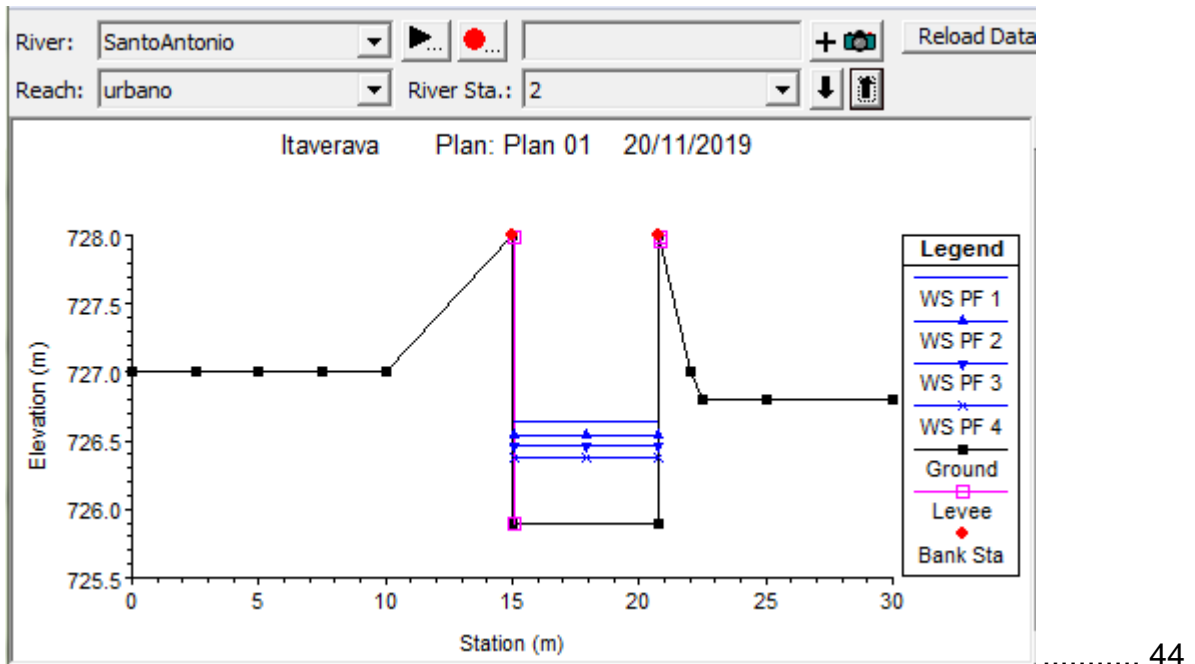
**5.1 Seções de controle Rio Santo Antônio: ..... 43**



..... 44

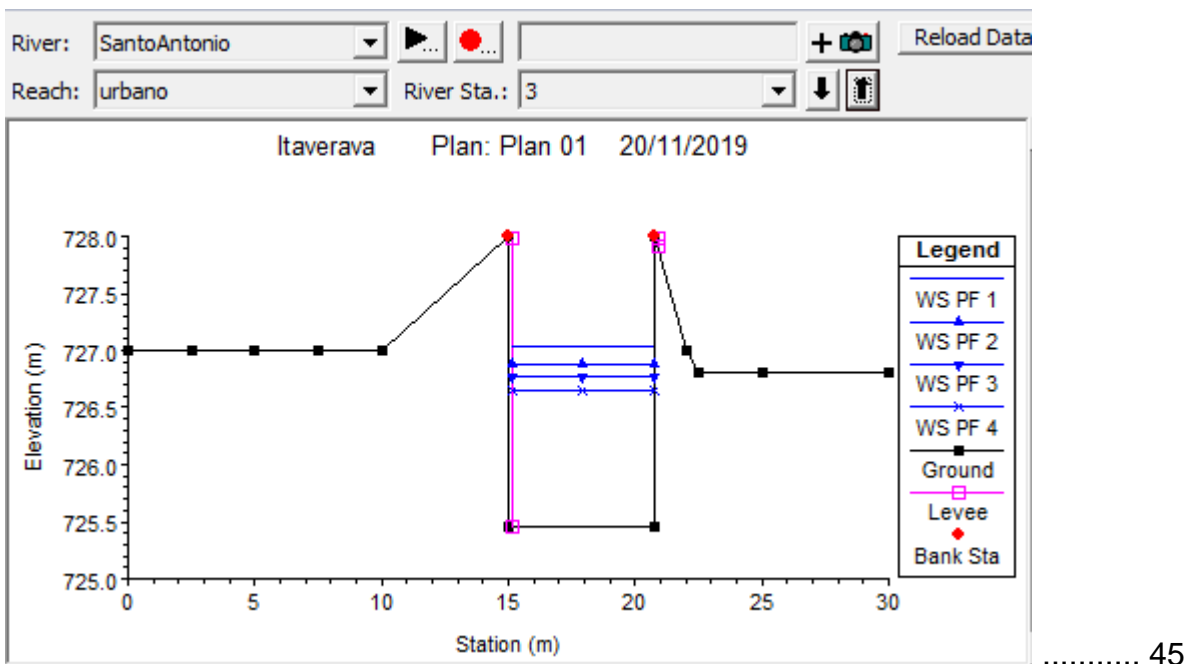
**Figura 24: Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle. .... 44**

**Fonte: Hec-Ras. .... 44**



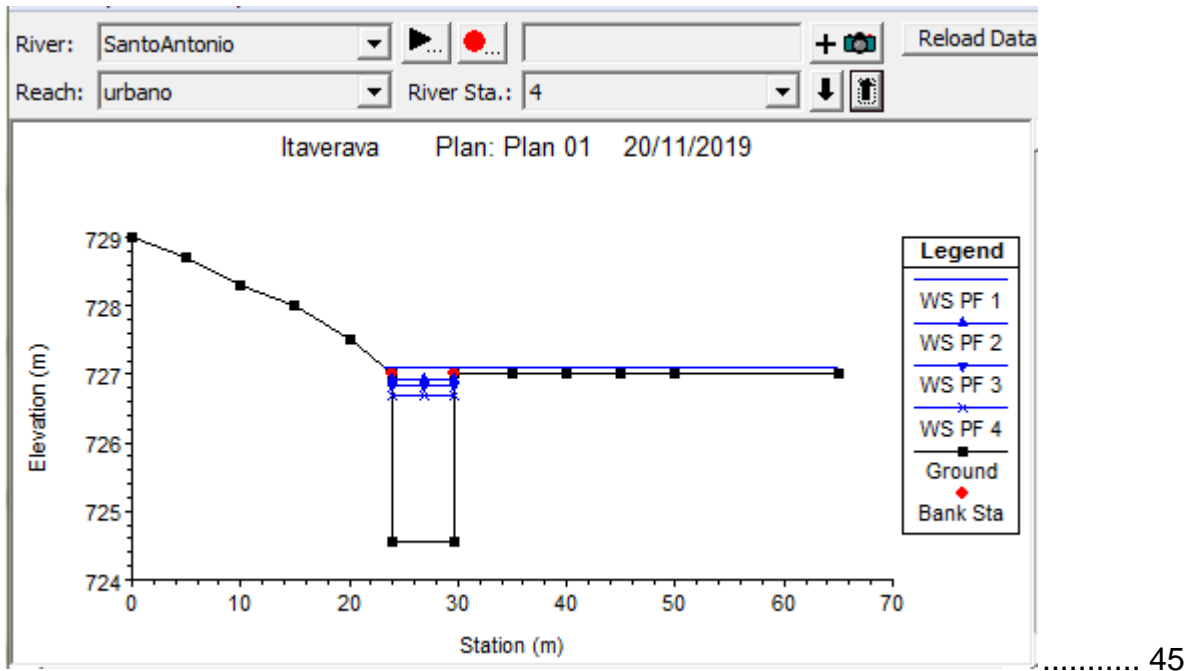
**Figura 25: Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle..... 44**

**Fonte: Hec-Ras..... 44**



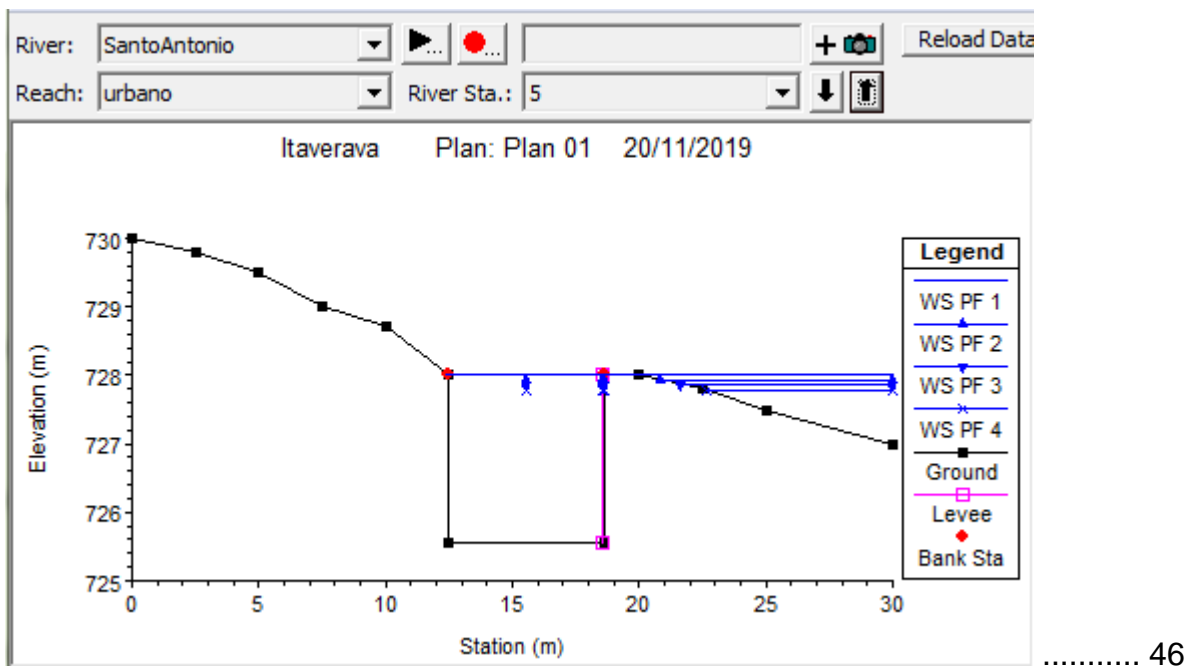
**Figura 26: Seção Transversal 3 com os quatro períodos de controle..... 45**

**Fonte: Hec-Ras..... 45**



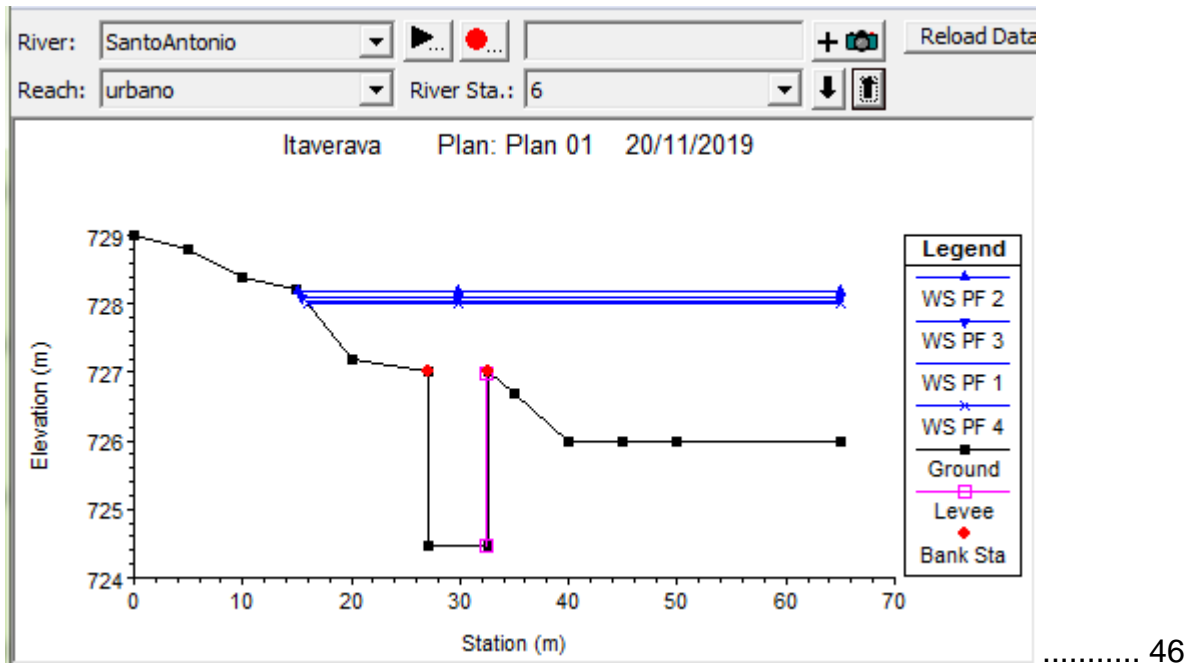
**Figura 27: Seção Transversal 4 com os quatro períodos de controle..... 45**

**Fonte: Hec-Ras..... 45**



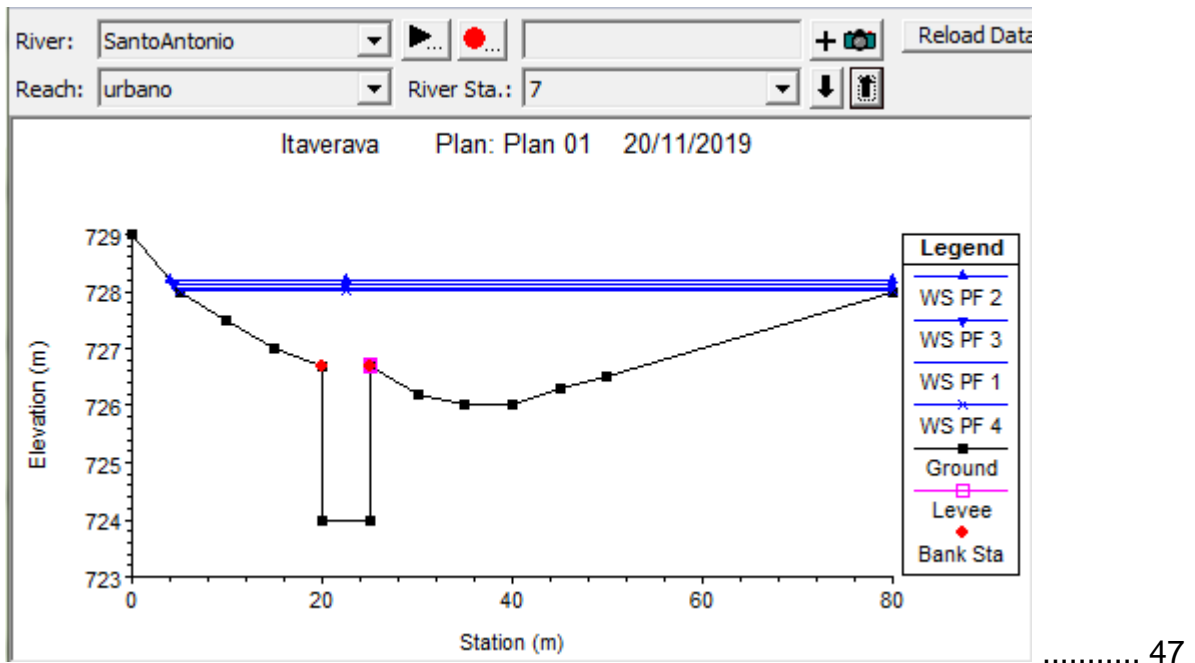
**Figura 28: Seção Transversal 5 com os quatro períodos de controle..... 46**

**Fonte: Hec-Ras..... 46**



**Figura 29: Seção Transversal 6 com os quatro períodos de controle..... 46**

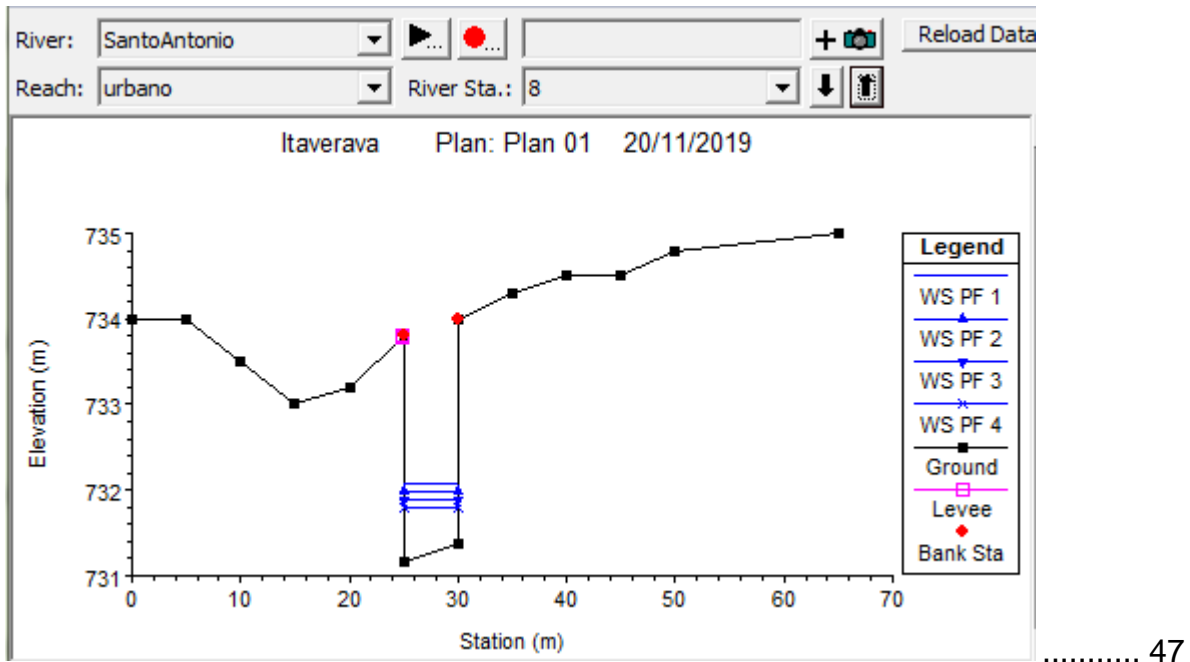
**Fonte: Hec-Ras..... 46**



**Figura 30: Seção Transversal 7 com os quatro períodos de controle..... 47**

**Fonte: Hec-Ras..... 47**

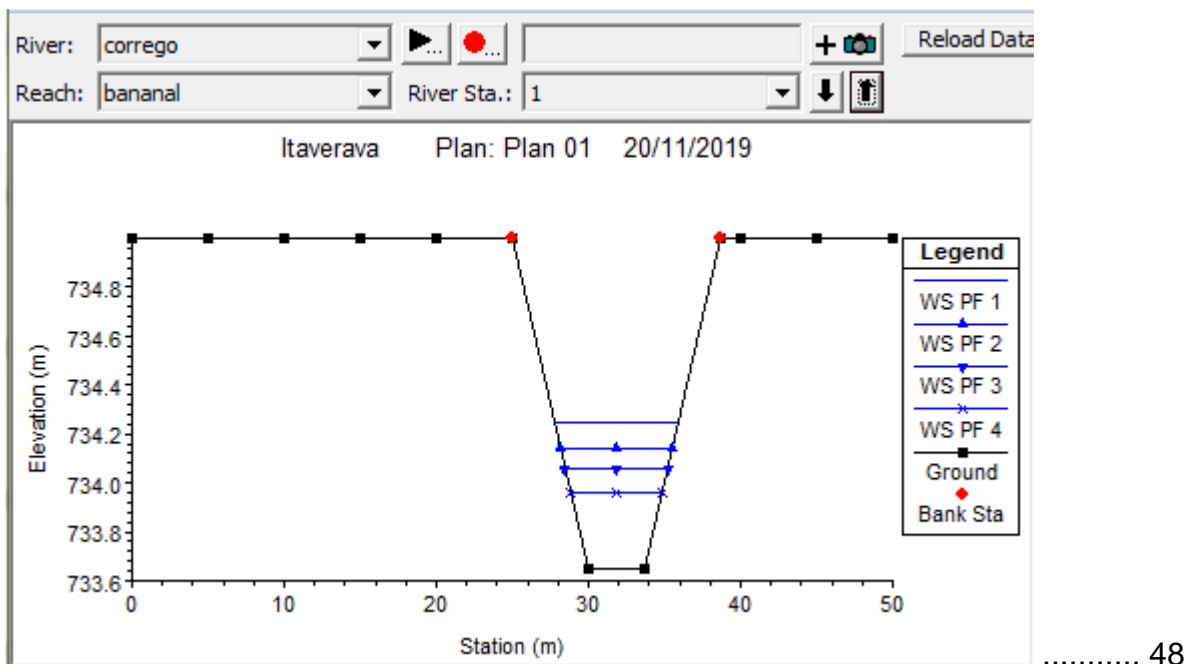




**Figura 31: Seção Transversal 8 com os quatro períodos de controle..... 47**

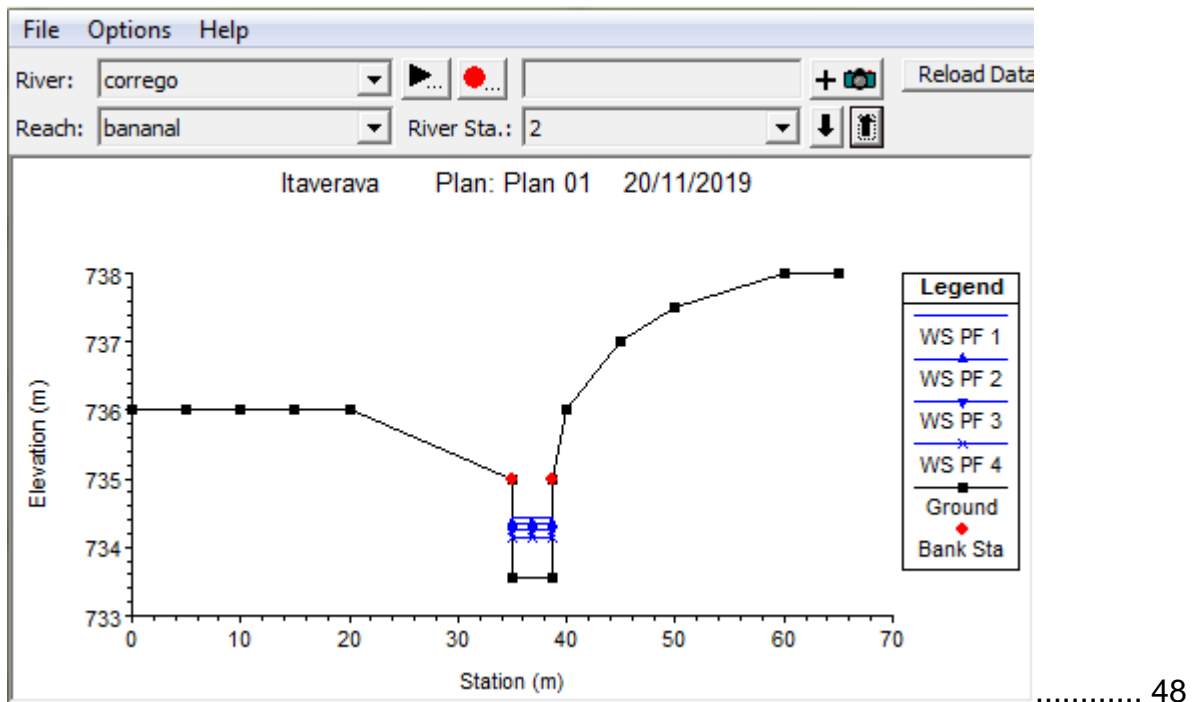
**Fonte: Hec-Ras..... 47**

**5.2 Seções de controle Rio Bananal:..... 48**



**Figura 32: Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle..... 48**

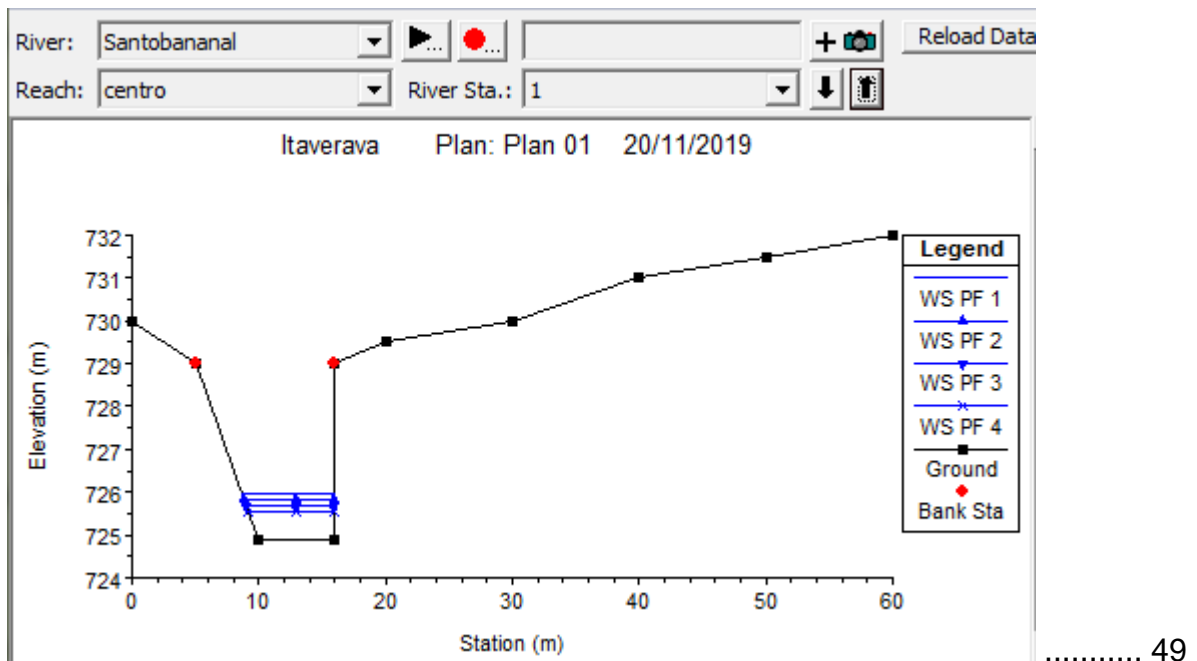
**Fonte: Hec-Ras..... 48**



**Figura 33: Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle..... 48**

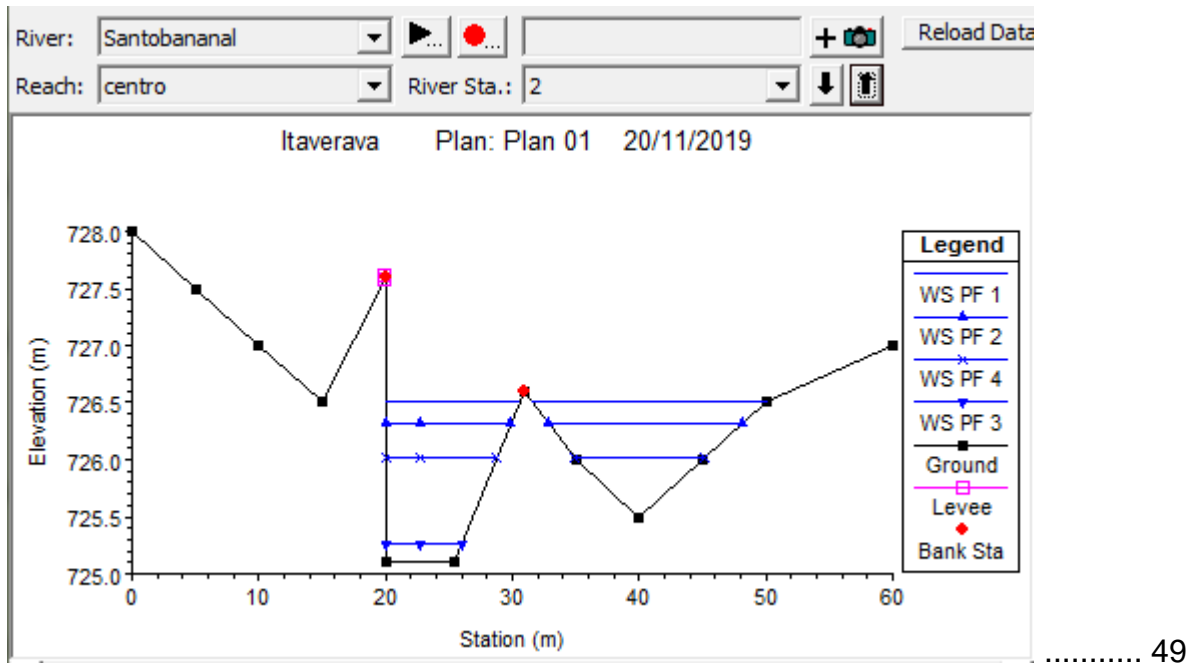
**Fonte: Hec-Ras..... 48**

**5.3 Seções de Controle após o encontro dos rios: ..... 49**



**Figura 34: Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle..... 49**

**Fonte: Hec-Ras..... 49**



**Figura 35: Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle..... 49**

**Fonte: Hec-Ras..... 49**

**5.4 Mapas de inundação:..... 50**



..... 51

**6 CONCLUSÃO..... 52**

**7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 53**

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes: Determinação de intensidade de chuva.

< <a href="http://www1.dnit.gov.br/anexo/Relat%C3%B3rio/Relat%C3%B3rio_edital0484_12-08_0.pdf">http://www1.dnit.gov.br/anexo/Relat%C3%B3rio/Relat%C3%B3rio_edital0484_12-08_0.pdf</a> > Acesso em 09 de dez. de 2019.....	53
Itaverava, Wikipedia < <a href="https://pt.wikipedia.org/wiki/Itaverava">https://pt.wikipedia.org/wiki/Itaverava</a> >. Acesso em 26 de nov. de 2019.....	53
Hec-Ras, Wikipedia < <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/HEC-RAS">https://en.wikipedia.org/wiki/HEC-RAS</a> >. Acesso em 26 de nov. de 2019.....	53

## 1. INTRODUÇÃO

As inundações ocorrem em diversas regiões do país, caracterizadas por situações provocadas geralmente por chuvas intensas e contínuas. O fenômeno é frequente e pode ser o resultado de uma chuva que não foi suficientemente absorvida pelo solo e outras formas de escoamento, causando transbordamentos. Normalmente as maiores proporções de alagamentos ocorrem em áreas urbanas, tornando-se verdadeiras conturbações e problemas nas cidades brasileiras.

Popularmente, usa-se o termo enchentes, que geralmente se trata de uma situação natural de transbordamento de água do seu leito original. Já as inundações, que também podem ser denominadas de alagamentos, estão relacionadas diretamente com a população, causando prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

Devido à urbanização do Brasil, a população vem se concentrando nas regiões urbanas das cidades em busca de melhores condições de vida. Mas o despreparo governamental para com este fenômeno social e a falta de infraestrutura encontrada nas cidades foi crucial para que gerassem problemas de grandes proporções, inclusive a ocupação inadequada de áreas inundáveis.

Nas últimas décadas foram muitas as tragédias relacionadas com desastres naturais, principalmente envolvendo inundações. Por mais intensos que sejam os fenômenos, a falta e as más condições da infraestrutura fazem com que se acentuem e agravem ainda mais os problemas a serem enfrentados pela população.

Praticamente todas as regiões do Brasil já sofreram com as inundações. Fortes precipitações, somadas à realidade dos brasileiros, trazem muitos problemas. Outro problema em questão, é o fato das regiões brasileiras serem estrategicamente vulneráveis a esse tipo de fenômeno, seja por topografia, hidrologia ou clima.

Uma cidade que sofre com inundações é Itaverava,

A cidade de Itaverava, onde se encontra o Rio Santo Antônio, a qual é uma cidade do Estado de Minas Gerais. O município se estende por 284,2 km<sup>2</sup> e contava com 5798 habitantes no último censo, realizado em 2015. A densidade demográfica é de 20,4 habitantes por km<sup>2</sup> no território do município. Vizinha dos municípios de Catas Altas da Noruega, Lamim, Conselheiro Lafaiete, Santana dos Montes, Ouro Branco e Ouro Preto, Itaverava se situa a 120 km a Sul-Leste da capital do estado, Belo Horizonte. Situada a 792,0 m de altitude, Itaverava tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 20° 39' 40" Sul, Longitude: 43° 36' 12" Oeste.

A cidade se encontra rodeada por áreas montanhosas, o que propicia um grande fluxo de águas pluviais que escoam no sentido do centro urbano, que está em uma região de baixa altitude, por onde passa o Rio Santo Antônio. Os principais impactos sobre a população, provocados pelas inundações, são:

- Prejuízos de perdas materiais e humanas;
- Interrupção da atividade econômica das áreas inundadas;
- Contaminação por doenças de veiculação hídrica, como leptospirose, cólera, entre outros.

Tem-se que é possível amenizar os impactos sofridos, precavendo os acontecimentos com a ajuda da tecnologia, preparando a população para agir durante os períodos chuvosos, investindo em informação, treinamento e conscientização nas comunidades. Uma forma estratégica de amenizar os impactos das inundações é a partir de estudos hidrológicos e hidráulicos, os quais se baseiam na caracterização topográfica e climatológica, como, por exemplo, o tamanho da área de drenagem, tipos e ocupação do solo, e também em dados de demanda de irrigação, dados pluviométricos e fluviométricos. Assim, neste trabalho está apresentado o estudo hidráulico-hidrológico realizado para elaboração do mapa de inundação de Itaverava.

## **2. OBJETIVO:**

### **2.1 Objetivo geral:**

O presente estudo objetivou a realização da modelagem numérica do problema de inundação urbana da cidade de Itaverava e, assim, representá-la em forma de mapa de inundação.

### **2.2 Objetivos específicos:**

Os objetivos específicos são descritos a seguir:

- Realizar um estudo hidrológico para o rio Santo Antônio;
- Promover simulações hidráulicas para determinação das inundações na área central da cidade de Itaverava.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A cidade de Itaverava:

##### 3.1.1 História:

Itaverava teve sua colonização no século XVII, sendo um dos primeiros arraiais auríferos da região. No verão de 1694, Manoel de Camargos, seu filho Sebastião de Camargos e alguns negros chegaram a Itaverava, descobrindo ouro na região. Logo depois, Manoel de Camargos é morto pelos índios e os sobreviventes retrocedem.

Depois disso, diversas bandeirantes chegaram a região com o objetivo de encontrar mais minas. Após a formação do arraial de Itaverava, foi edificada a sua primeira igreja, dedicada a Santo Antônio de Lisboa, em 1726, que se transformou em matriz da localidade (FIGURA 1).

No século XVIII, quando ainda pertencia ao Termo de Vila Rica, era comum a grafia Itaberaba. Não há discrepâncias em relação ao significado do topônimo: "pedra brilhante" ou "pedra reluzente" em língua tupi. O município foi criado em 1962, com território desmembrado de Conselheiro Lafaiete (Fonte: Wikipédia).



Figura 1- Praça Monsenhor Isidro, onde está localizada a Matriz de Santo Antônio.  
Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava).

### 3.1.2 Cultura:

Rodeada por montanhas, Itaverava tem como destaques atrativos naturais como cachoeiras (FIGURA 2) e mata nativa, artesanatos (FIGURA 3), turismo religioso (FIGURA 4) e gastronômico.



**Figura 2- Cachoeira do Tati.**

**Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava)**



**Figura 3- Loja de artesanatos feitos por moradores da cidade.**

**Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava)**





**Figura 4- Praça Monsenhor Isidro, concentração para Caminhada da Fé feita do centro de Itaverava até o distrito de Monsenhor Isidro**  
**Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava)**

A cidade também possui um valioso patrimônio histórico tombado pelo IPHAN (Instituto Patrimônio Artístico Nacional). O casarão do Padre Taborda, que passou por reformas emergenciais recentemente, possui pinturas e construção em arte barroca (FIGURA 5). O casarão histórico foi palco da passagem de importantes personagens da história brasileira e mineira e dos principais mestres do barroco mineiro. Segundo o historiador piranguense, Marcos Antônio Gomes, o local serviu de reuniões dos inconfidentes mineiros, tendo em vista a presença nesta histórica cidade do capitão Baltazar João Mayrink, o primeiro maçom e mestre de banquetes, pai da musa da inconfidência mineira, Marília de Dirceu. O capitão está enterrado na Igreja de Santo Antônio, em Itaverava (Fonte: Jornal Correio).



**Figura 5- Fachada Casarão do Padre Taborda.**  
**Fonte: JORNAL CORREIO**

A Matriz de Santo Antônio define bem a época em que foi construída: a época do Ouro no Brasil. Chama a atenção seu altar-mor revestido em ouro e pinturas do mestre Athayde em seu teto (FIGURA 6).



**Figura 6- Altar de Santo Antônio e “pintura da Anunciação” Matriz de Santo Antônio.  
Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava).**

A cidade também apresenta eventos culturais como festivais de congado e Folia de Reis (FIGURA 7), festivais de bandas (FIGURA 8) e circuitos gastronômicas.



**Figura 7- Integrantes da banda de Congado da cidade durante a Folia de Reis.**  
Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava).



**Figura 8- Corporação musical de Santo Antônio**  
Fonte: Rede social (Facebook Conheça Itaverava).

### **3.2 Inundações:**

Nas últimas décadas a cidade vem enfrentado problemas frequentes com inundações, principalmente no entorno do Rio que corta a cidade. Nestas inundações diversos comércios, residências, agência dos correios, terminal rodoviário, delegacia e até o único posto de saúde da cidade são atingidos.

A última inundação mais intensa que ocorreu em 15 de fevereiro de 2015 gerou muitos danos à população (FIGURAS 9 e 10), tendo arrastado dois veículos para dentro do rio, sendo um destes, a viatura da polícia militar (FIGURA 11).



**Figura 9- Praça José da costa Carvalho onde estão localizados o posto de saúde, a prefeitura, a agência dos correios e algumas residências alagadas após a forte chuva em 15/02/2015.  
Fonte: Rede social (Facebook).**



**Figura 10- Praça José da costa Carvalho após o nível d'água do rio baixar.  
Fonte: Jornalista Ricardo Alexandre.**



**Figura 11- Viatura policial sendo retirada do Rio Santo Antônio**  
**Fonte: Jornalista Ricardo Alexandre.**

### **3.3 HEC-RAS:**

O HEC-RAS é um *software* que modela o sistema hidráulico do fluxo de água através de rios naturais e outros canais. O programa foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos para gerenciar rios, portos e outras obras públicas sob sua jurisdição; encontrou ampla aceitação desde seu lançamento público em 1995.

O Centro de Engenharia Hidrológica (HEC) em Davis, Califórnia, desenvolveu o Sistema de Análise de Rio (RAS) para auxiliar engenheiros hidráulicos na análise de fluxo de canal e na determinação de planícies de inundação. Inclui vários recursos de entrada de dados, componentes de análise hidráulica, recursos de armazenamento e gerenciamento de dados e recursos de gráficos e relatórios.

Para este estudo, o *software* foi usado para a estimativa das áreas inundáveis na região central da cidade de Itaverava, a partir de dados coletados *in loco*, como as medidas das seções transversais e pontes existentes no trecho estudado, e por medidas topográficas e áreas das bacias retiradas do Google Earth.

### 3.4 Equações:

As equações utilizadas para modelagem hidrológica foram as seguintes:

#### 3.4.1 Declividade média equivalente:

$$S_e = \left( \frac{\sum_i L_i}{\sum_i \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$S_e$  : é a declividade média equivalente [m/m];

$L_i$  : são os comprimentos medidos ao longo do talvegue [m];

$S_i$  : são as declividades de cada comprimento alimentar  $L_i$  [m/m].

#### 3.4.2 Tempo de concentração

Para o cálculo do tempo de concentração, utilizou-se o método cinemático.

$$t_c = \sum_i \frac{L_i}{v_i} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$t_c$  : Tempo de concentração [s];

$L_i$  : Comprimento do talvegue [m];

$v_i$  : Velocidade média [m/s].

A velocidade média de cada trecho foi estimada com base na Tabela 1.

**Tabela 1: Velocidades médias de escoamento superficial ( $m s^{-1}$ ) para o cálculo de  $t_c$  em canais e em superfícies.**

Escoamento	Cobertura	Declividade (%)			
		0-3	4-7	8-11	>12
Sobre a superfície do terreno	Florestas	0-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	>1,0
	Pastos	0-0,8	0,8-1,1	1,1-1,3	>1,3
	Áreas cultivadas	0-0,9	0,9-1,4	1,4-1,7	>1,7
	Pavimentos	0-2,6	2,6-4,0	4,0-5,2	>5,2
Em canais	Mal definidos	0-0,6	0,6-1,2	1,2-2,1	>2,1
	Bem definidos	Equação de Manning			

### 3.4.3 Curva de intensidade, duração e frequência (IDF)

Para cálculo da intensidade da chuva de projeto a ser utilizada, indicou-se trabalhar com a curva intensidade-duração-frequência para Itaverava, dada pelo *Software Plúvio 2.1*. A Equação 3 demonstra tal curva IDF.

$$I = \frac{3359.207.T^{0.221}}{(t + 25.103)^{1.026}} \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

$t$ : Duração da chuva [min];

$T$  : Período de retorno [anos];

$I$ : Intensidade da chuva [mm/h].

### 3.4.4 Estudos de escoamento superficial:

As vazões de projeto foram calculadas a partir de metodologias indiretas de transformação de chuva em vazão, sendo que, para isso, foi utilizado o Método do Hidrograma Unitário Sintético (SCS). Este é um método muito utilizado para estimar o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva. Ele foi desenvolvido pelo *National Resources Conservatoin Center* dos EUA (antigo *Soil Conservation Service – SCS*). A formulação adotada pelo método encontra-se a seguir.

$$t_p = 0,5t_d + 0,6t_c \text{ (Equação 7)}$$

$$t_b = 2,67t_p \text{ (Equação 8)}$$

$$Q_p = 0,238 \frac{2P_u * A}{t_b} \text{ (Equação 9)}$$

Onde:

$t_d$ : Tempo de duração da chuva [h];

$t_p$ : Tempo de pico [h];

$t_b$ : Tempo base [h];

$Q_p$  : Vazão de pico [m<sup>3</sup>/s];

$P_u$ : Precipitação unitária [1 mm];

A: Área da bacia [km<sup>2</sup>].

Depois de calculada a vazão de pico, determina-se o parâmetro de armazenamento, para posteriormente se encontrar a precipitação efetiva.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ (Equação 10)}$$

Onde:

S: Parâmetro de armazenamento;

CN: Número da curva tabelado (Tabela 2) de acordo com tipo de solo e características da superfície.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \text{ (Equação 11)}$$

Onde:

$P_{ef}$ : Precipitação efetiva;

P: Precipitação acumulada;

S: Parâmetro de armazenamento.



**Tabela 2: Valores de CN para diversas situações de cobertura vegetal e tipos de solo:**

Utilização da terra	Condições de superfície	Tipos de solos de área			
		A	B	C	D
Terrenos cultivados	Com suícos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	73	79	82
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou campos cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	Normais	59	74	82	86
	Más	72	82	87	89
Estradas de terra	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76
Superfícies impermeáveis	Áreas urbanizadas	100	100	100	100

**Fonte: Wilken, 1978.**

Para determinação do Número da Curva, o solo ser agrupado em quatro categorias e três situações diferentes:

Tipo A: possuem alta infiltração e baixo escoamento, com altos teores de areia e pequenos teores de silte e argila. São profundos.

Tipo B: são menos permeáveis que os da categoria A, sendo ainda arenosos, porém menos profundos.

Tipo C: possuem um escoamento superficial maior que o tipo B, tem uma capacidade de infiltração abaixo da média após a pré-saturação. Contém porcentagem considerável de argila e colóide. São pouco profundos.

Tipo D: solos pouco profundos com baixa capacidade de infiltração e presença de argilas expansivas, com maior capacidade para geração do escoamento.

Situação 1: solos secos, com precipitação acumulada nos últimos 5 dias menor que 36 mm para estação de crescimento e em outro período menor que 13 mm.

Situação 2: solos com umidade na capacidade de campo e os valores de CN correspondem aos da Tabela 3;

Situação 3: ocorrem precipitações nos últimos 5 dias, com o solo saturado, considerando total precipitado maior que 53 mm para época de crescimento, e em outro período, maior que 28 mm.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Topografia

Itaverava é um município onde sua área urbanizada é rodeada por cadeias de montanhas. A definição do trecho estudado, área central do município, foi realizada levando-se em consideração o fato da área ser constantemente atingida por inundações e também por ser a região de maior concentração de habitantes.

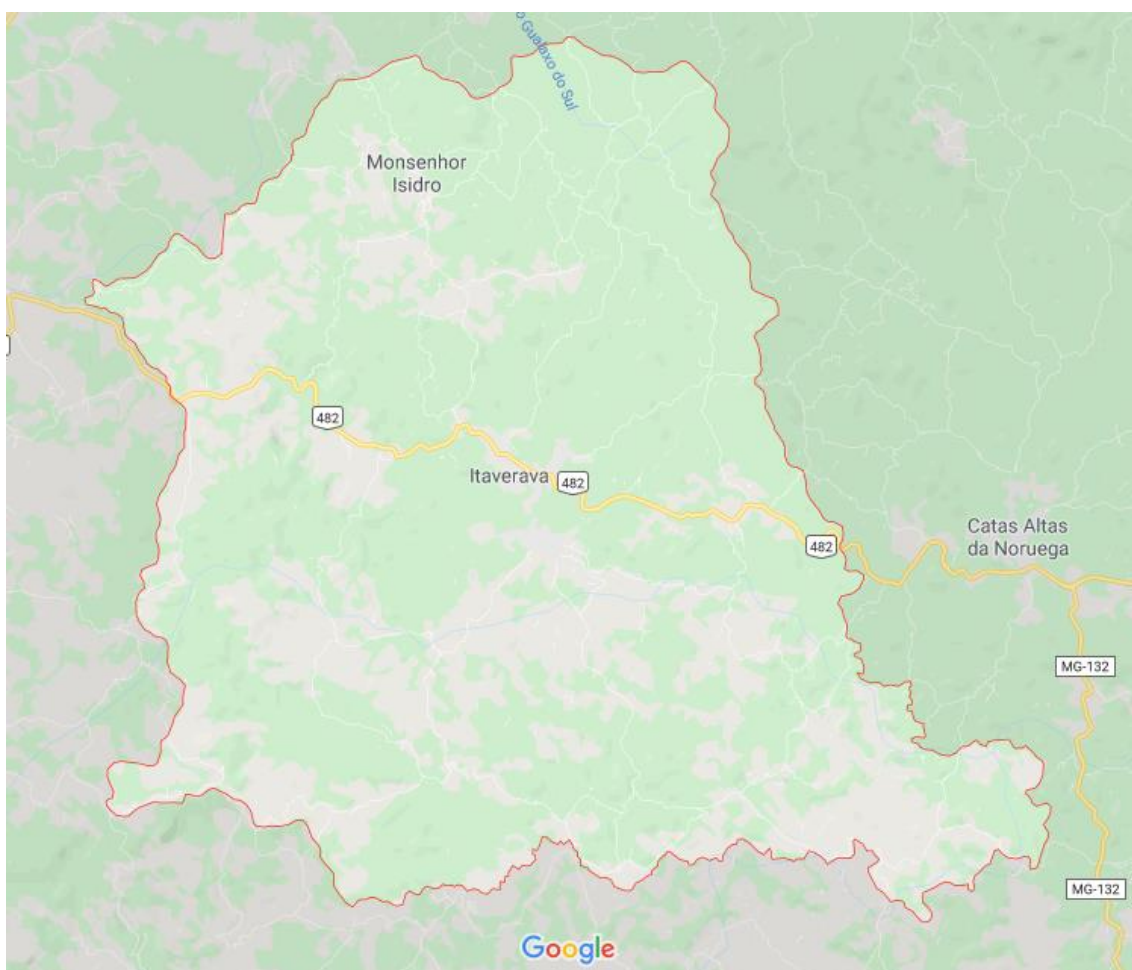
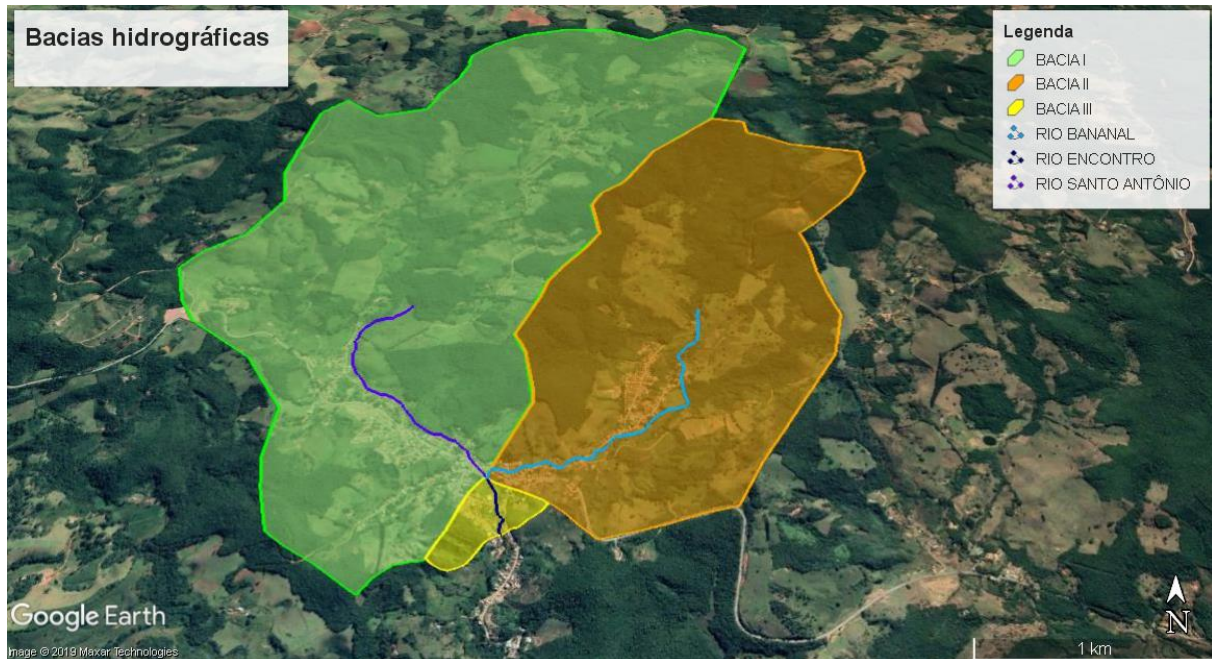


Figura 12: Delimitação geográfica do município (Vista superior: Google Maps)

A respeito das dimensões do trecho em estudo, foram calculadas as áreas das três bacias que contribuem para as inundações, considerando-se o seu alinhamento e as declividades ao longo de cada trecho, as quais foram calculadas através dos perfis de elevações, no programa Google Earth, tendo o ponto mais elevado do canal subtraído do ponto mais baixo, dividido pelo seu comprimento total.



**Figura 13: Vista das três bacias e os respectivos trechos dos rios Santo Antônio Bananal e logo após o encontro dos dois anteriores.**

Fonte: Google Earth



**Figura 14: Vista das três bacias com seus tipos de cobertura de solo para determinação de CN (Tabelas 2 e 3).**

Fonte: Google Earth



Figura 15: Trecho inicial do Rio Santo Antônio com as respectivas seções transversais (parte delimitada pela Bacia I) e abaixo o seu perfil de elevação longitudinal.

Fonte: Google Earth

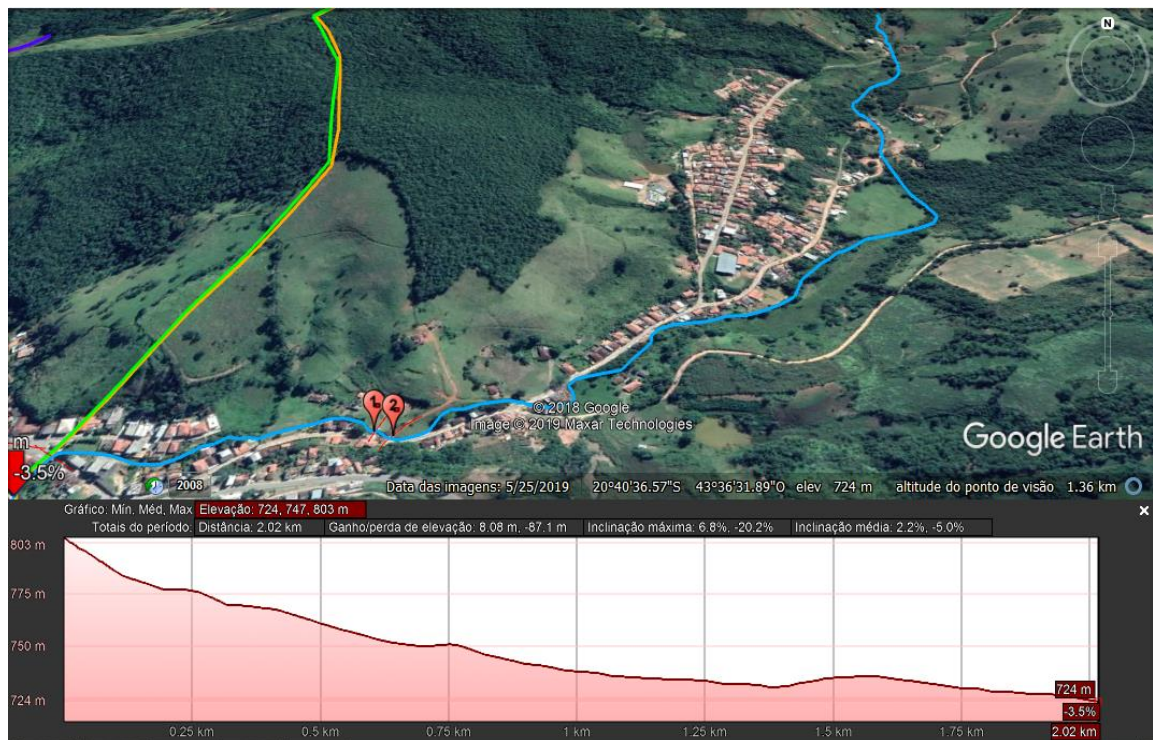


Figura 16: Trecho inicial do Rio Bananal com as respectivas seções transversais (parte delimitada pela Bacia II) e abaixo o seu perfil de elevação longitudinal.

Fonte: Google Earth



**Figura 17: Trecho após o encontro dos dois rios com as respectivas seções transversais (parte delimitada pela Bacia III) e abaixo seu o perfil de elevação longitudinal.**  
**Fonte: Google Earth**

## 4.2 Estudo hidrológico

Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada, ou ainda é o tempo para que a gota de água que cai no ponto mais distante chegue até a seção que define o limite da bacia. Geralmente é representado pelas letras  $t_c$  (Equação 2). Nas bacias I e II, cada trecho foi dividido em três partes e para cada comprimento foi calculada a declividade média equivalente, subtraindo a altitude do ponto final da altitude do ponto inicial, a sua velocidade, definida a partir da declividade, dada pela Tabela 1, e também determinada o seu tempo de concentração, sendo essas informações apresentadas nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

**Tabela 3: Valores calculados para bacia I:**

Trecho:	Comprimento: (m)	Declividade: (%)	Velocidade: (m/s)	Tempo de concentração: (s)
I	84,4	20,1	2,1	40,2
II	1915,6	0,6	0,1	19156,0
III	620,0	1,0	0,3	2066,7
Total:	2620,0	0,7	-	21262,9

**Tabela 4: Valores calculados para bacia I:**

Trecho:	Comprimento difuso: (m)	Declividade difusa: (%)	Velocidade difusa: (m/s)	Tempo de concentração difuso: (s)
Bacia I	3820,0	11,0	2,0	1910,0
Total (Tempo de concentração + Tempo de concentração difuso) em minutos:				386,2

**Tabela 5: Valores calculados para bacia II:**

Trecho:	Comprimento: (m)	Declividade: (%)	Velocidade: (m/s)	Tempo de concentração: (s)
I	750,0	6,9	1,2	625,0
II	750,0	2,3	0,5	1500,0
III	520,0	2,1	0,5	1040,0
Total:	2020,0	3,1	-	3165,0

**Tabela 6: Valores calculados para bacia II:**

Trecho:	Comprimento difuso: (m)	Declividade difusa: (%)	Velocidade difusa: (m/s)	Tempo de concentração difuso: (s)
Bacia II	1865,0	19,0	2,3	810,87
Total (Tempo de concentração + Tempo de concentração difuso) em minutos:				66,3




Na bacia III, para o trecho referente ao encontro dos dois rios, também foi calculada a declividade média equivalente, a sua velocidade, definida de acordo com a Tabela 1, e também o seu tempo de concentração e estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7: Valores calculados para bacia III:**

Trecho:	Comprimento difuso: (m)	Declividade difusa: (%)	Velocidade difusa: (m/s)	Tempo de concentração difuso: (s)
Bacia III	329,0	10,3	1,7	2247,06
Total (Tempo de concentração + Tempo de concentração difuso) em minutos:				391,8

O período de retorno, também conhecido como intervalo de recorrência ou tempo de recorrência, é o intervalo estimado entre ocorrências de igual magnitude de um fenômeno natural, como as chuvas.

Após obter os tempos de concentração das bacias, foram calculadas as vazões para quatro períodos de retorno: 2, 5, 10 e 25 anos. Coletando dados no *Software Pluvio 2.1*, obtiveram-se os valores de K, a, b, c da Equação 3.



Copyright (2005) © GPRH

---

## RELATÓRIO

### Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

---

**LOCALIZAÇÃO:**

**Localidade:** Itaverava      **Estado:** Minas Gerais  
**Latitude:** 20°40'41"  
**Longitude:** 43°36'36"

**PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:**

**K:** 2889.518  
**a:** 0.208  
**b:** 23.223  
**c:** 0.969

**Figura 18: Relatório Parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação.  
Fonte: Pluvio 2.1.**

A partir daí, foi possível determinar as intensidades máximas de chuva para cada período de retorno, como apresentado na Tabela 8.

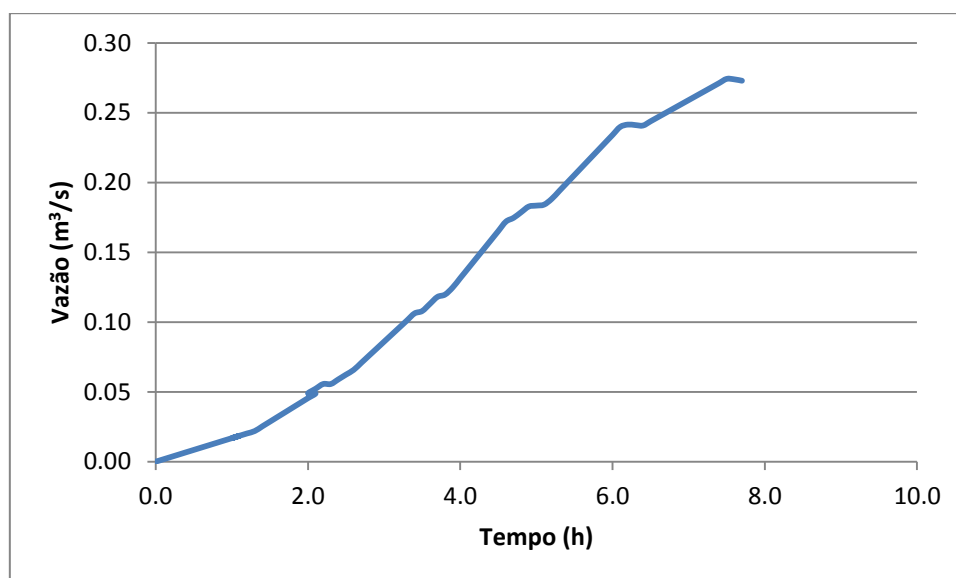
**Tabela 8: Dados de projeto para vazões de pico:**

tr	tc (min)	i (mm/h)
2 anos		9,85
5 anos		11,91
10 anos	386,2	13,76
25 anos		16,65

Pelo método do hidrograma unitário sintético (Scs) foi calculada a vazão máxima de cada bacia hidrográfica, obtendo-se os dados apresentados nas tabelas e figuras a seguir.

**Tabela 9: Dados calculados para Bacia I:**

tb	tp	tc	tr	A	P	Qp	Cn	S	i	Pef	Qm
(h)	(h)	(h)	(h)	(km <sup>2</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	corrigido	(mm)	(mm/h)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
12,1	4,6	6,5	1,3	8,38	1,0	0,38	94	16,2	9,85	47,4	13,0

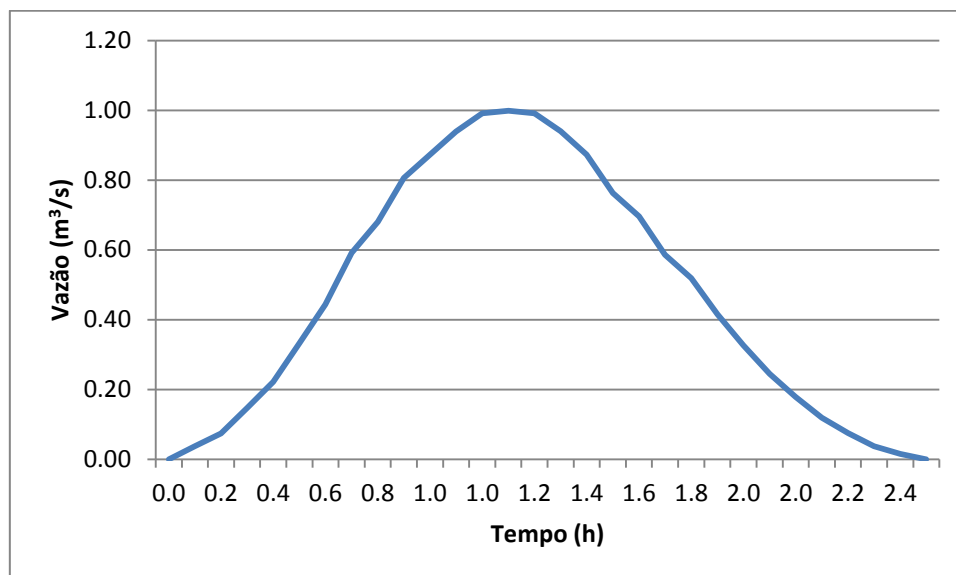


**Figura 19: Hidrograma Unitário Bacia I**



**Tabela 10: Dados calculados para Bacia II:**

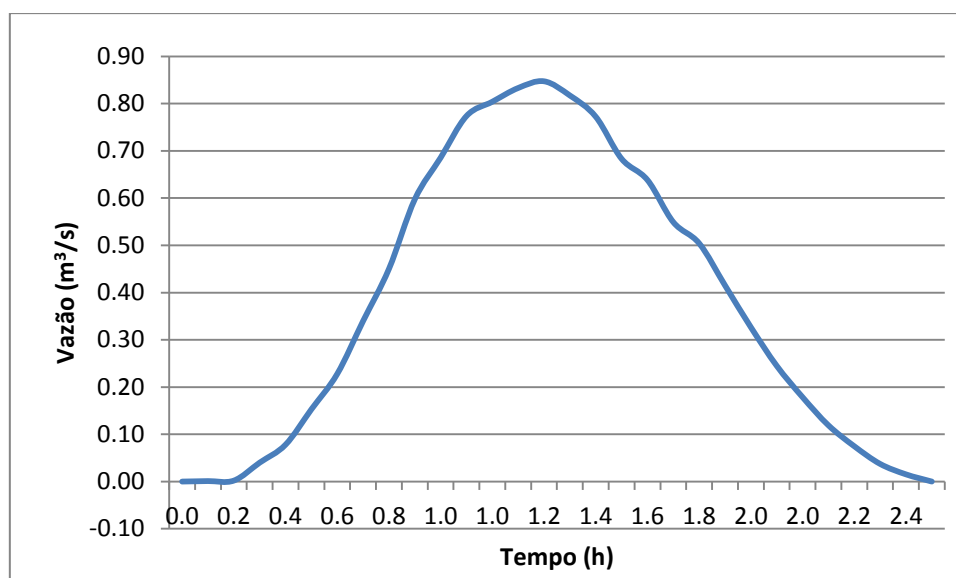
Tb	tp	tc	tr	A	P	Qp	Cn	S	i	Pef	Qm
(h)	(h)	(h)	(h)	(km <sup>2</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	corrigido	(mm)	(mm/h)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1,9	0,7	1	0,2	4,35	1,0	1,29	94	16,2	9,85	2,4	2,4



**Figura 20: Hidrograma Unitário Bacia II.**

**Tabela 11: Dados calculados para Bacia III:**

tb	tp	tc	tr	A	P	Qp	Cn	S	i	Pef	Qm
(h)	(h)	(h)	(h)	(km <sup>2</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	corrigido	(mm)	(mm/h)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
1,9	0,7	1,0	0,2	0,12	1,0	0,04	94	16,2	9,85	2,4	2,1



**Figura 21: Hidrograma Unitário Bacia III.**

### 4.3 Simulação hidráulica

Para modelagem hidráulica no HEC-RAS foi adicionado ao *Software* medidas coletadas *in loco* e no Google Earth, das seções transversais e o coeficiente de Manning (n) de acordo com a cobertura do leito do rio:

**Tabela 12: Coeficientes de Manning**

<b>COBERTURA DA BACIA</b>	<b>n</b>
Asfalto suave	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila compactada	0,030
Pouca vegetação	0,020
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

**Fonte: Adaptado de Tucci, 2012.**

Para esse projeto, adotaram-se os seguintes coeficientes de rugosidade: ponderou-se 0,350 para as seções 5, 6, 7 e 8, pois o local encontra-se com vegetação densa e possuindo o solo argiloso; e 0,020 para as demais seções, já que este estudo foca em região urbanizada com terreno natural contendo vegetação rasteira. A imagem contida na Figura 22 exemplifica o dito anteriormente.



**Figura 22: Seções 5 e 8 do Rio Santo Antônio.  
Fonte: acervo pessoal.**

## 5 RESULTADOS

Na Tabela 13 estão apresentadas as vazões máximas, referentes aos períodos de retorno, de cada bacia.

**Tabela 13: Vazões máximas ( $m^3/s$ ) calculadas para os períodos de retorno**

<i>tr</i>	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos
Rio Santo Antônio:	6	7,6	9.1	11.4
Rio Bananal:	2,4	3,8	5.1	7.3
Encontro:	0,2	0,2	0.3	0.3
Total no encontro:	8,6	11,6	14.5	19

Na Figura 23 estão apresentadas as localizações das pontes, inseridas no HEC-RAS, as quais podem causar remanso da água e agravar as inundações.



**Figura 23: Vista superior com a localização das pontes dos rios.**  
Fonte: Google Earth.

### 5.1 Seções de controle Rio Santo Antônio:

Para análise das lâminas de água geradas pelo HECRAS, obtiveram-se resultados referentes às vazões de 2, 5, 10 e 25 anos. As Figuras 24 a 35 mostram as seções com os resultados obtidos para os quatro períodos.

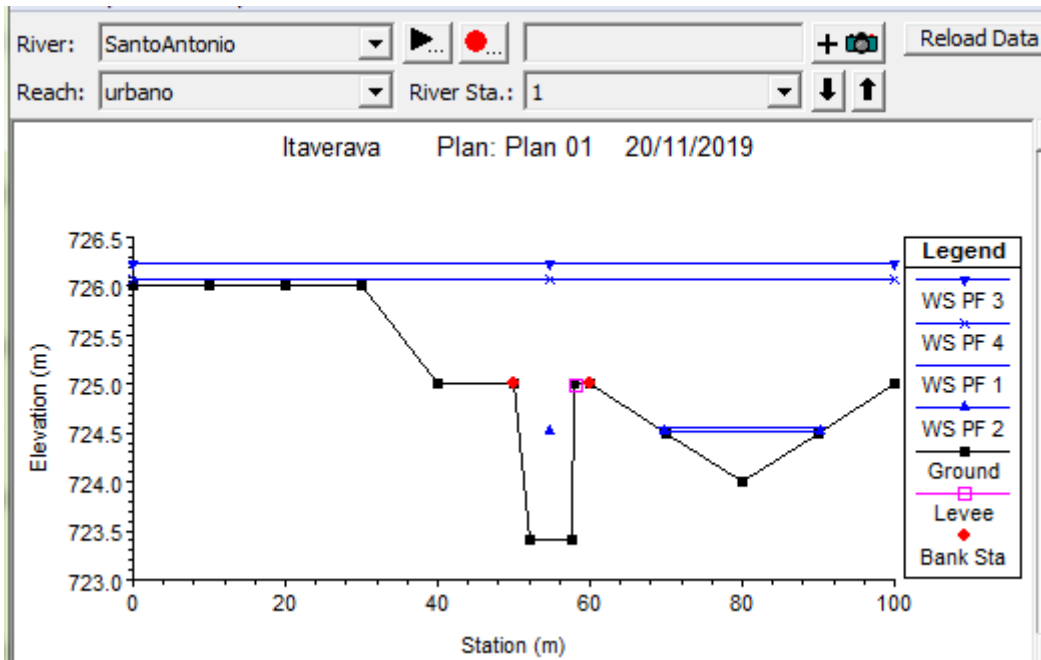


Figura 24: Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle.  
 Fonte: Hec-Ras.

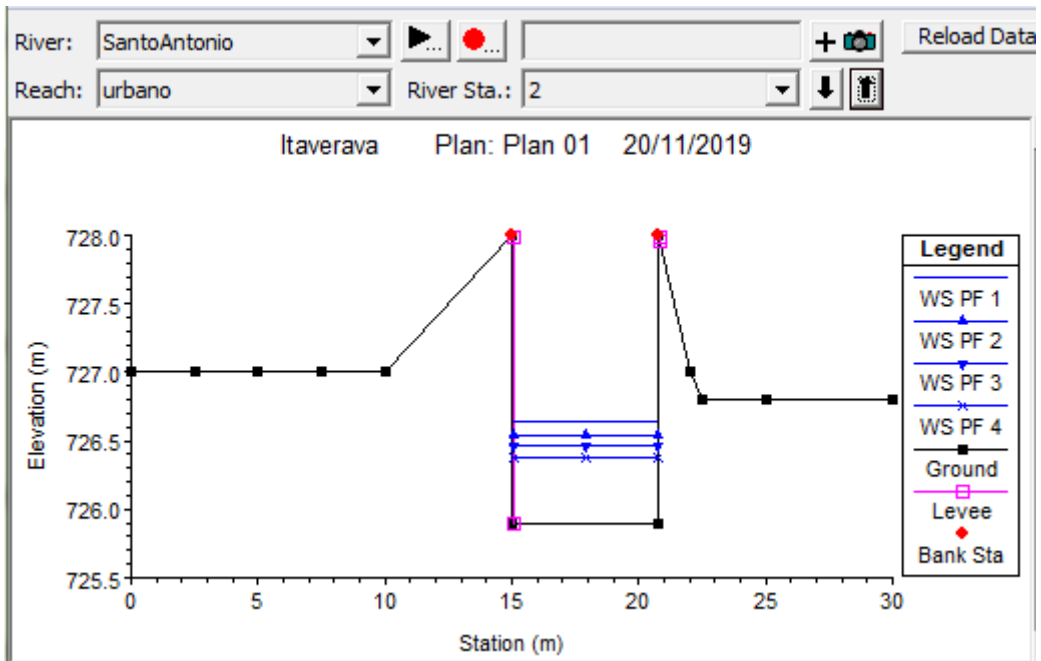
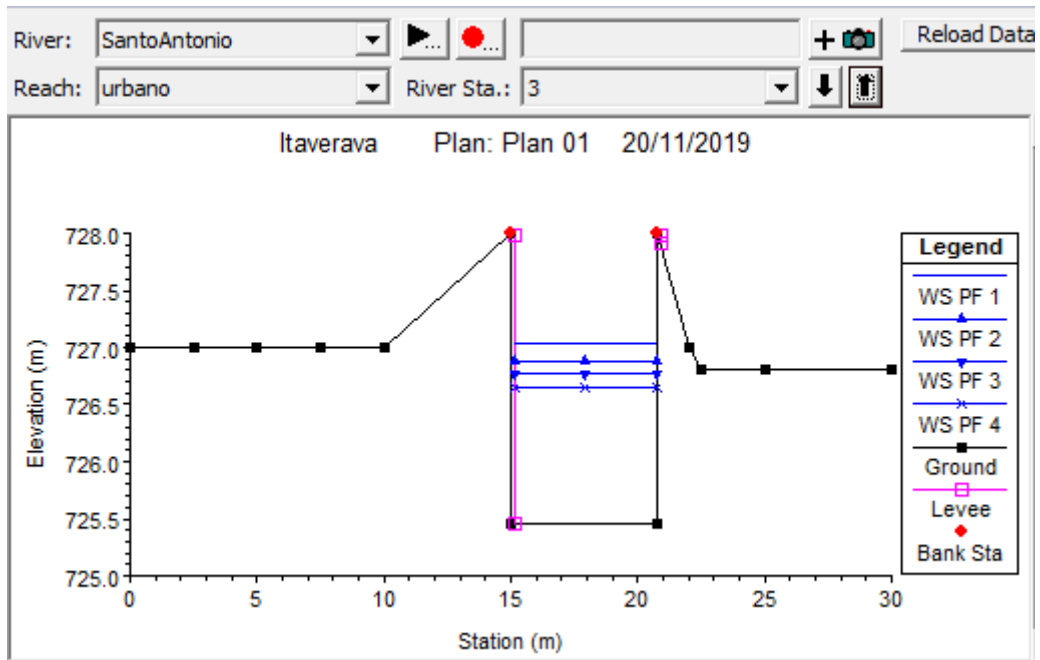
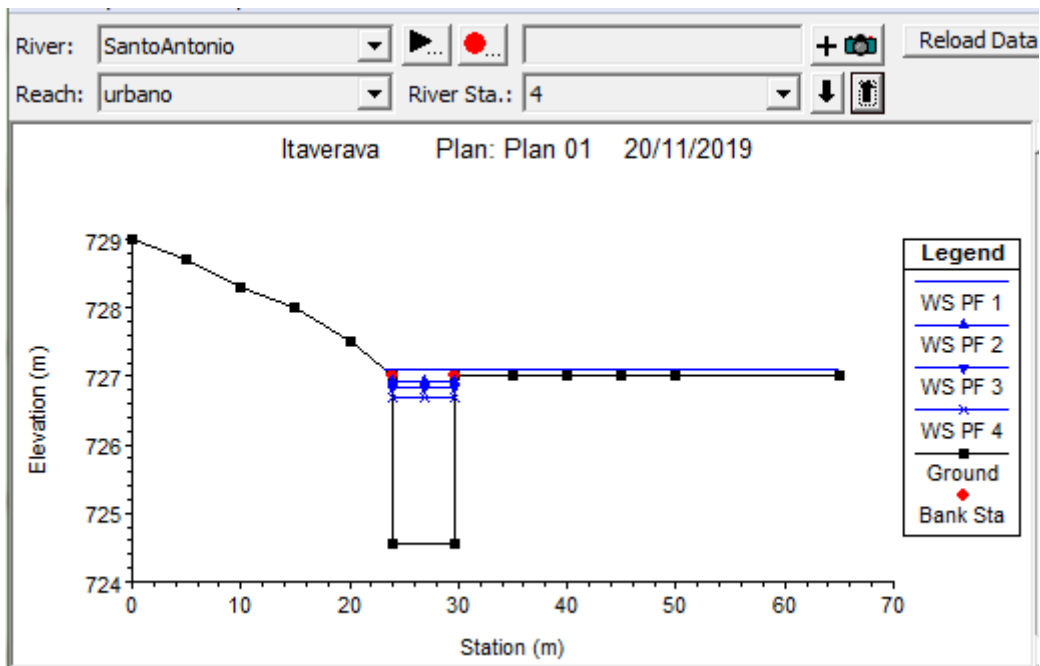


Figura 25: Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle.  
 Fonte: Hec-Ras.



**Figura 26: Seção Transversal 3 com os quatro períodos de controle.**  
**Fonte: Hec-Ras.**



**Figura 27: Seção Transversal 4 com os quatro períodos de controle.**  
**Fonte: Hec-Ras.**

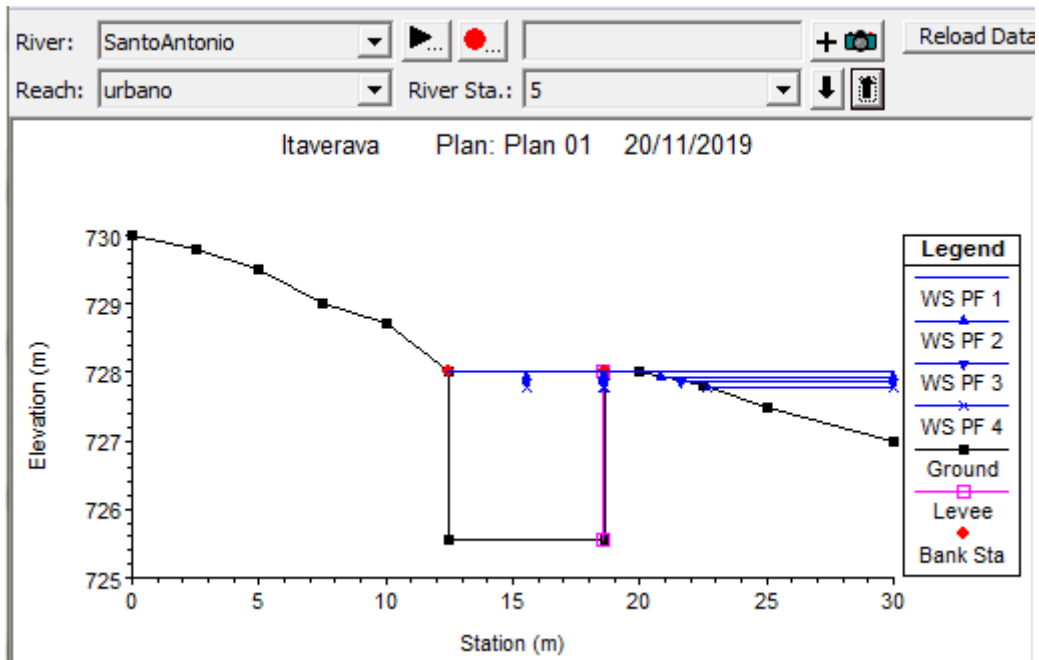


Figura 28: Seção Transversal 5 com os quatro períodos de controle.  
 Fonte: Hec-Ras.

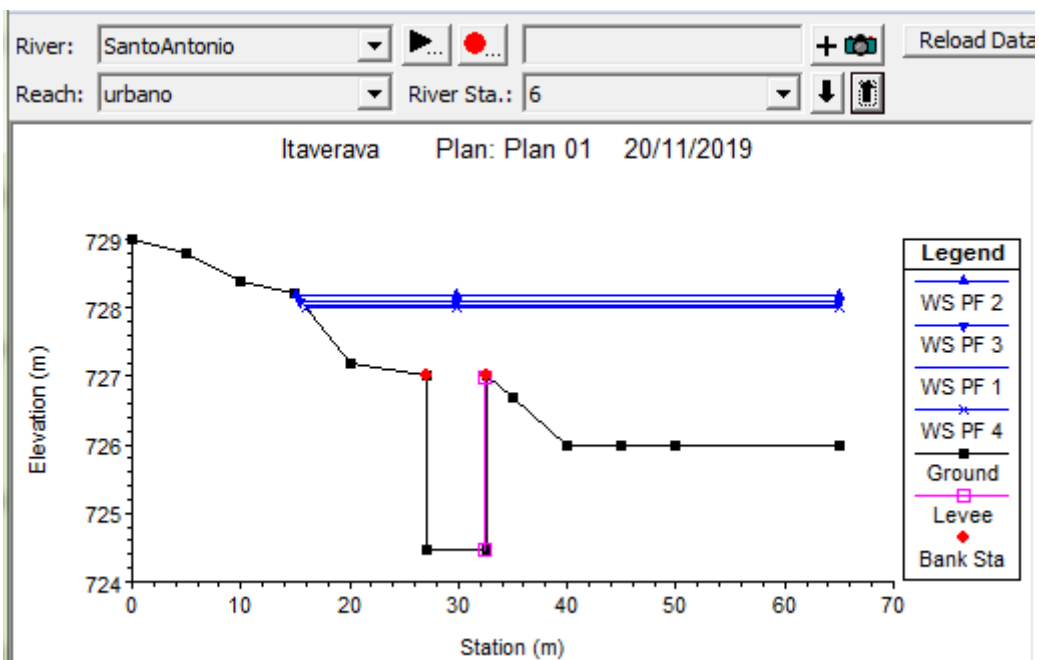


Figura 29: Seção Transversal 6 com os quatro períodos de controle.  
 Fonte: Hec-Ras.

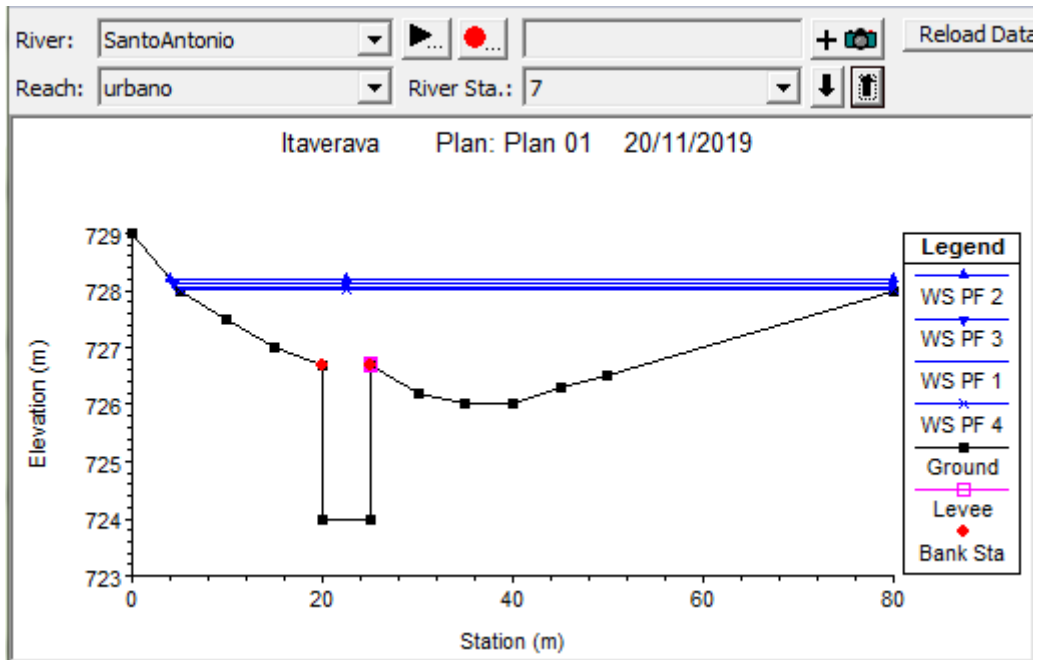


Figura 30: Seção Transversal 7 com os quatro períodos de controle.  
 Fonte: Hec-Ras.

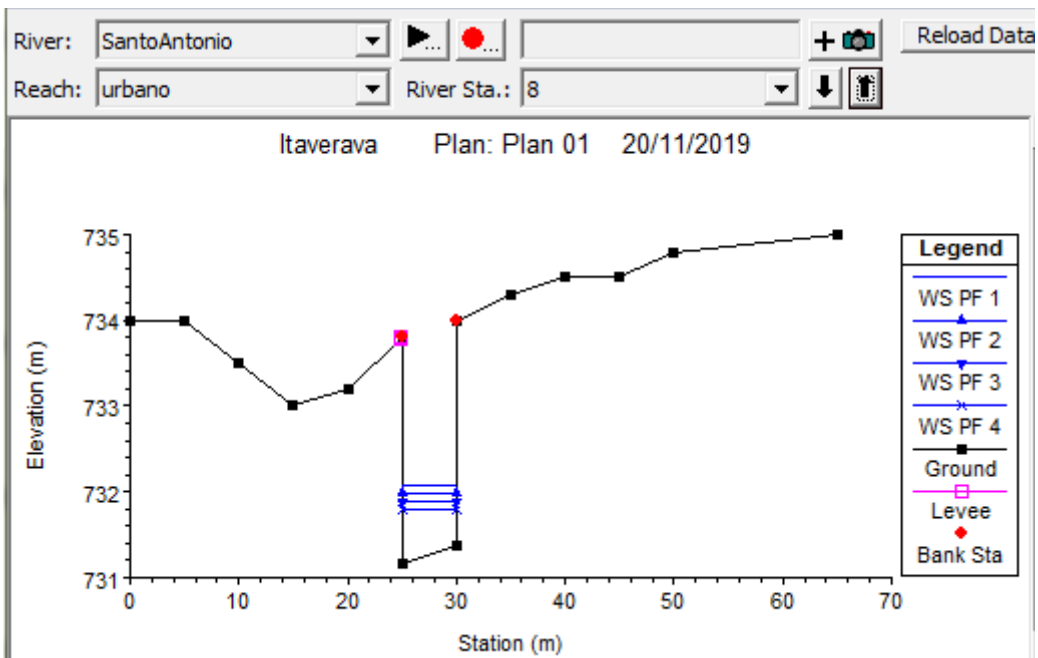


Figura 31: Seção Transversal 8 com os quatro períodos de controle.  
 Fonte: Hec-Ras.

## 5.2 Seções de controle Rio Bananal:

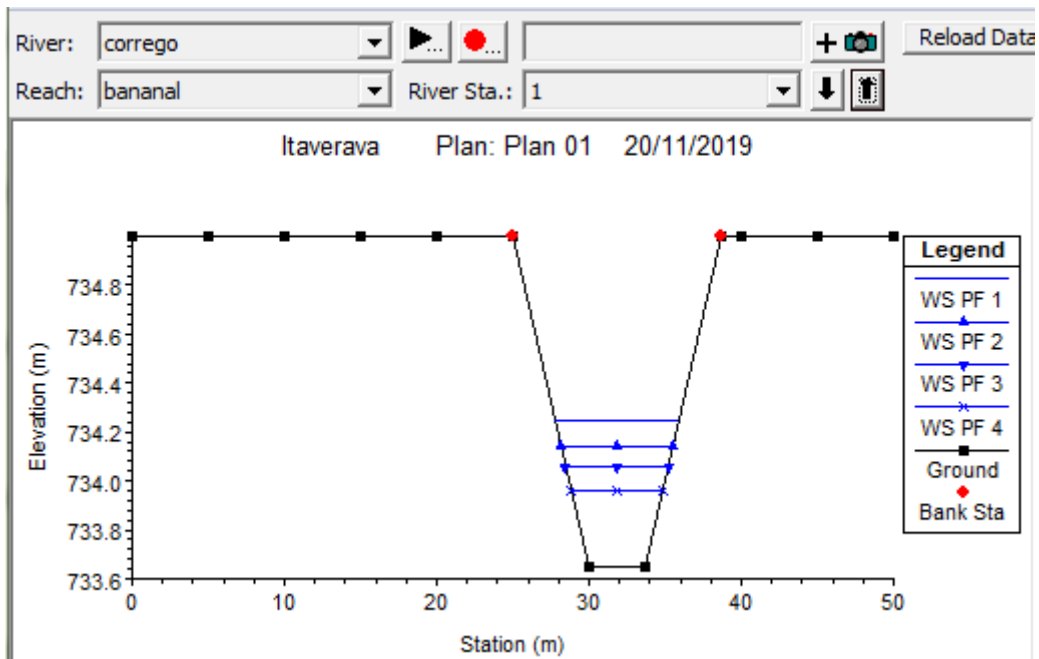


Figura 32: Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle.

Fonte: Hec-Ras.

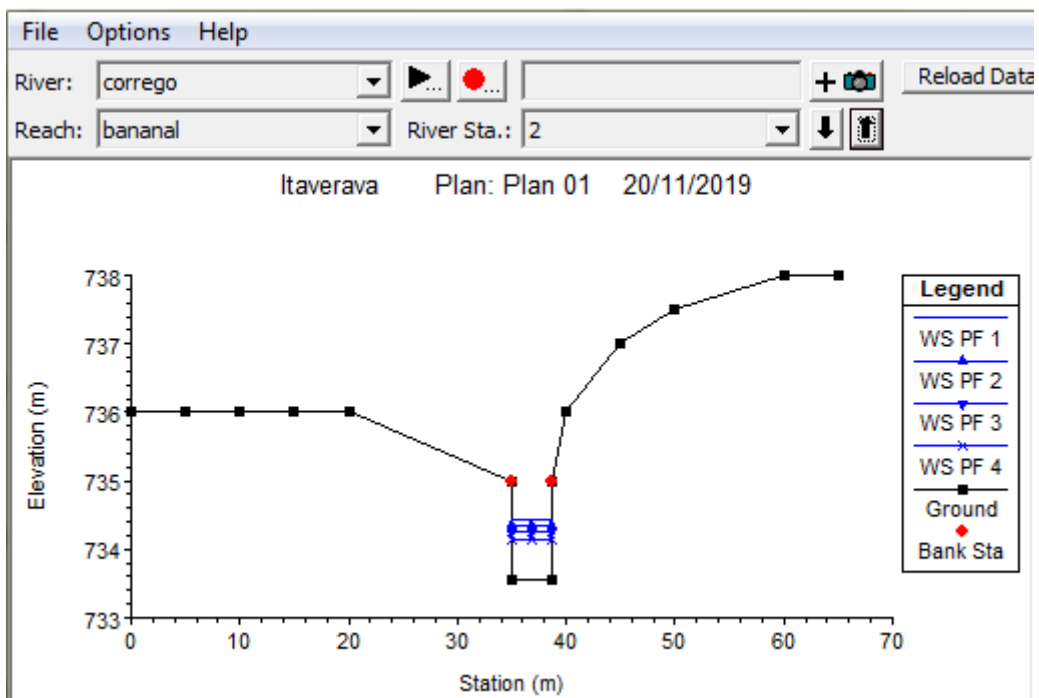


Figura 33: Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle.

Fonte: Hec-Ras.



### 5.3 Seções de Controle após o encontro dos rios:

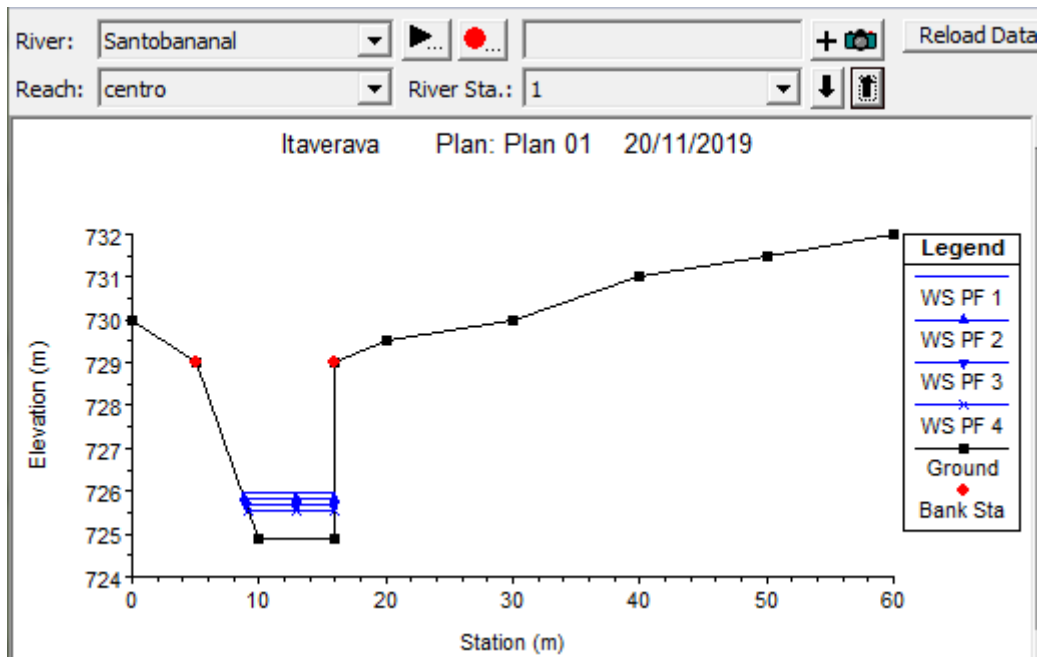


Figura 34: Seção Transversal 1 com os quatro períodos de controle.

Fonte: Hec-Ras.

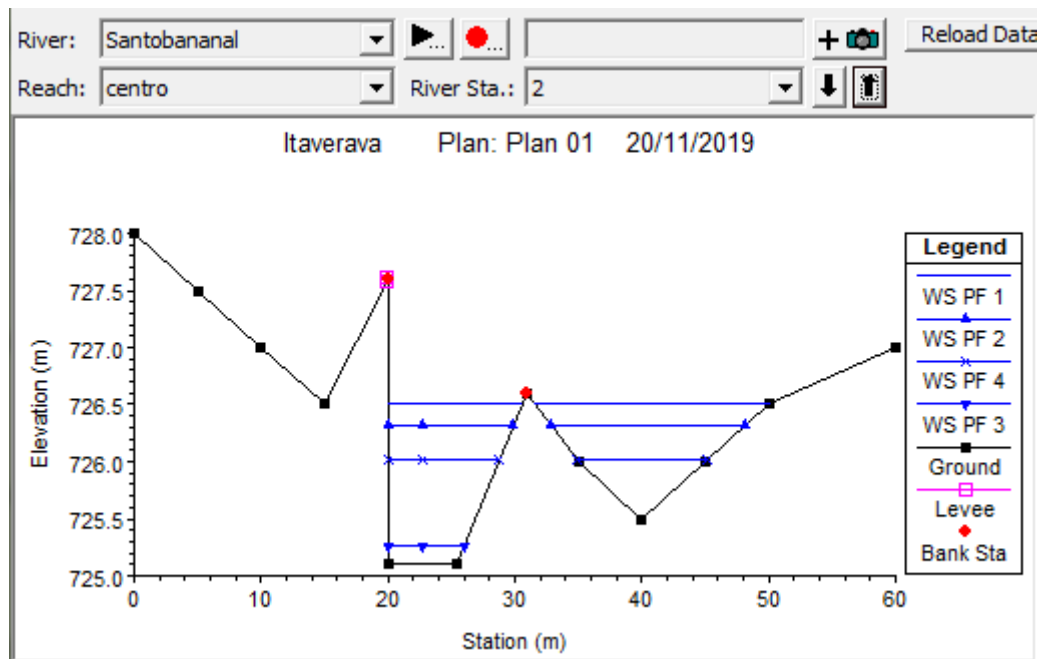


Figura 35: Seção Transversal 2 com os quatro períodos de controle.

Fonte: Hec-Ras.

#### 5.4 Mapas de inundação:

Por fim, encontram-se todos os mapas de inundação segundo o modelo. É importante frisar que a metodologia definiu a topografia a partir do Google Earth, e para ter uma maior precisão, seria necessária uma topografia de maior precisão, essa normalmente sendo disponibilizada pela prefeitura municipal ou órgãos específicos, porém ao solicitar a mesma na câmara municipal da cidade, foi informado que o município não a possui. Como o alvo deste estudo foi o desenvolvimento da metodologia, erros principalmente ligados à topografia poderão ser constatados. A seguir, encontram-se os mapas de inundação para região de estudo, dispostos nas Figuras 36 a 38.



Figura 36: Mapa de inundação  $tr= 2$  e  $5$  anos.

Fonte: Google Earth.



**Figura 37: Mapa de inundação  $tr= 10$  anos.  
Fonte: Google Earth.**



**Figura 38: Mapa de inundação  $tr= 25$  anos.  
Fonte: Google Earth.**

## 6 CONCLUSÃO

O estudo da metodologia se mostrou efetivo para a geração dos mapas de inundação, e os métodos escolhidos condizentes com a realidade, no que diz respeito ao histórico recente da cidade de Itaverava, Minas Gerais. Todavia, a facilidade de uso dos *softwares* utilizados nesta pesquisa esbarra na dificuldade da obtenção de dados.

No contexto das análises dos cenários através do *software* HECRAS, nota-se que chuvas com períodos curtos de retornos já causam problemas em algumas áreas onde há uma grande concentração de pontes, comprovadas por esses eventos serem notados na prática na cidade.

Estudos mais detalhados e meticulosos são cogentes, sendo importantes para que a situação seja mais bem compreendida e, assim, sejam adotadas medidas de controle para diminuir a frequência das cheias na área urbana, para que a população não seja impactada com as enchentes periódicas.

Dentre esses estudos, o aprofundamento ainda maior do modelo aqui disposto pode ser uma forma de gerar uma compreensão ainda maior das problemáticas nessa zona de Itaverava geradas pelas chuvas.

Outras medidas cabíveis ao trecho para o melhoramento hidráulico é evitar o acúmulo de lixo e vegetação no canal do rio, nota-se que em alguns trechos havia paredes de concreto, mas as mesmas cederam e estão dentro do canal, causando mais um tipo de obstrução agravando o problema de escoamento do rio.

Por tudo isto, torna-se evidente a carência de planejamento urbano e uma ocupação inadequada de regiões que deveriam ser preservadas em sua condição natural para evitar estes desastres ambientais e econômicos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aula Conceitos de Hidrologia, Tópicos especiais em Hidráulica: Obras Hidráulicas, UFSJ – CAP, 2019/2.

Alves, Ramon Teixeira Marques, CONSTRUÇÃO DE MAPA DE INUNDAÇÃO EM ÁREA URBANA: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE CONSELHEIRO LAFAIETE – MG, Universidade Federal de São João Del-Rei, Agosto 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1976. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)> Acesso em 26 de nov. de 2019.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes: Determinação de intensidade de chuva. <[http://www1.dnit.gov.br/anexo/Relat%C3%B3rio/Relat%C3%B3rio\\_edital0484\\_12-08\\_0.pdf](http://www1.dnit.gov.br/anexo/Relat%C3%B3rio/Relat%C3%B3rio_edital0484_12-08_0.pdf)> Acesso em 09 de dez. de 2019.

Itaverava, Wikipedia < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Itaverava>>. Acesso em 26 de nov. de 2019.

Hec-Ras, Wikipedia <<https://en.wikipedia.org/wiki/HEC-RAS>>. Acesso em 26 de nov. de 2019.

SANTOS, Débora D. C. Santos; GROSSI, Gabriela L.; MELO, Jessica A. de; MACHADO, Leonardo da S.; INÍCIO DO PROJETO DE CANALIZAÇÃO DO CÓRREGO DO SALGADO: REGIME PERMANENTE E UNIFORME; Tópicos especiais em Hidráulica: Obras Hidráulicas, UFSJ – CAP, Setembro de 2019.