

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

**TIAGO GUIZONI NETO**

**ELABORAÇÃO E EXTRAPOLAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE NOS PONTOS DE  
MONITORAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA UFSC EM  
JOINVILLE**

Joinville

2017

**TIAGO GUIZONI NETO**

**ELABORAÇÃO E EXTRAPOLAÇÃO DAS CURVAS-CHAVE NOS PONTOS DE  
MONITORAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA UFSC EM  
JOINVILLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação da Universidade de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura.

Orientadora: Profa. Me. Simone Malutta

Joinville

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, e por estar comigo nessa jornada.

Agradeço a minha família, aqueles que sempre estiverem ao meu lado, em todos os momentos, especialmente aos meus pais Clésio Longo Guizoni e Teresinha Aparecida Guizoni, que não mediram esforços para eu chegar onde cheguei e realizar meus sonhos. As minhas queridas irmãs Karina Guizoni e Karolina Guizoni que sempre me apoiaram nas minhas decisões, torceram pelo meu sucesso e sempre me motivaram a buscar o melhor.

Agradeço ao meu padrinho Pe. Raimundo Ghizoni que contribuiu de forma essencial para a minha vida acadêmica, e esteve presente em todos momentos de minha vida, sempre contribuindo com sua sabedoria.

Agradeço a minha orientadora Simone Malutta por toda dedicação e paciência na elaboração deste trabalho e em todos seus conhecimentos transmitidos a mim.

Agradeço ao meu amigo, colega de curso e de projeto Jhonatan Cristian Pscheidt, pela ajuda nas medições realizadas em campo, estudos e trabalhos realizados durante a graduação, pelas inúmeras chamadas realizadas para debates e compartilhamento de ideias, enfim, pela amizade e companheirismo.

Agradeço ao coordenador do projeto, Cesar Augusto Pompêo, aos professores envolvido no mesmo, Anderson Wedderhoff Spengler e Giovani Gracioli, e aos alunos Allan Thiesen e Cauê Val Arruda.

Agradeço a defesa civil de Joinville/SC que contribuiu para este trabalho ajudando na realização das medições de vazões com o uso do ADCP.

Agradeço, finalmente, a todos meus amigos que de certa forma ajudaram a chegar nesse momento.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

## RESUMO

Para as futuras instalações da UFSC em Joinville, faz-se necessário um estudo mais detalhado da bacia hidrográfica. Visto isso, o presente estudo teve como objetivo a realização do monitoramento hidrológico desta bacia. Foi realizado o monitoramento em três pontos (P1, P2 e P3), realizando as medidas dos dados de nível e vazão do rio. No ponto 3 foi necessário elaborar duas curvas-chave devido a erosão significativa no canal causada por um evento de intensa precipitação. A partir destes dados foram elaboradas as curvas-chave pelos métodos polinomial e potencial, e através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi determinado o melhor ajuste. Nos 3 pontos de monitoramento o ajuste polinomial foi o mais adequado, tendo  $R^2$  de 0,99 para os pontos 1 e 2, 0,96 para o ponto 3 antes do evento e 0,98 para o ponto 3 após o evento. Posteriormente foram extrapoladas as partes superiores das curvas aonde não foi possível realizar as medições, foram usados os métodos de Stevens, logarítmico e de Manning para as extrapolações. Foi realizado uma análise dos erros existentes entre as extrapolações e curvas-chave, foram determinados os erros na cota máxima e os erros médios, afim de definir qual extrapolação é possivelmente a mais adequada para cada seção de monitoramento. Para o P1 optou-se como o método de Stevens sendo o mais adequado, apresentando um erro médio de 155,1%, e para os demais pontos o logarítmico apresentou melhor comportamento, com erro médio de 35,1%, 4,5% e 21,6% respectivamente. Finalmente foi realizado um comparativo entre os métodos de extrapolação aplicado a hidrogramas de eventos medidos durante o período deste trabalho. Os dados destes eventos foram coletados e transmitidos pela plataforma EPOSMOTE III.

**Palavras-chave:** Micromolinete. ADCP. Curva-chave. Extrapolação. Erro.

## ABSTRACT

For the future infrastructures of the UFSC in Joinville, it is required a more detailed of the hydrographic basin. Considering that, the current study had as its objective the hydrological monitoring of the basin. The monitoring was executed in three points (P1, P2, and P3), performing measurements of river level and flow data. In point three, it was needed to elaborate two stage discharge curves due to significant erosion on the canal caused by an event of intense precipitation. Through these data, the stage discharge curves were elaborated by polynomial and potential methods and through the determination coefficient ( $R^2$ ), the best adjustment was determined. In the three monitoring points, the polynomial adjustment was the most adequate, having  $R^2$  as 0,99 to the points 1 and 2, 0,96 to the point 3 before the event and 0,98 to the point 3 after the event. Posteriorly the upper parts of the curves were extrapolated where it was not possible to execute the measurements, the Stevens, logarithmic, and Manning methods were used for the extrapolations. An error analysis between the extrapolations and the stage discharge curves was performed, and errors in the maximum quota and the average errors were determined to define which extrapolation is possibly the most suitable for each section of the monitoring. To the P1 the Stevens method was chosen as the most adequate, showing an average error of 155,1% and to the other points the logarithmic presented better behavior, with average error of 35,1%, 4,5%, and 21,6% respectively. Finally, a comparative between the methods of extrapolation applied to hydrograms of measured events was performed during the execution of this Project. The data of the specific situations were collected and transmitted by EPOSMOTE III platform.

**Keywords:** Mini current meter. ADCP. Stage discharge curve. Extrapolation. Error.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estação de monitoramento.....	17
Figura 2 - EPOSMOTE III operando em campo.....	18
Figura 3- Curva-chave.....	18
Figura 4- Localização da BHCUI.....	20
Figura 5- Bacia Hidrográfica do campus da UFSC em Joinville.....	21
Figura 6 – Micromolinete.....	22
Figura 7- Medição de velocidade com uso do Micro molinete.....	23
Figura 8 - Cálculo da seção média.....	24
Figura 9 - Cálculo da meia seção.....	24
Figura 10 - Perfil de velocidade, seção topográfica e vazão medido com ADCP.....	25
Figura 11 - ADCP.....	26
Figura 12 – Medição de vazão com ADCP.....	26
Figura 13 - Gráfico Cota X Velocidade - P1.....	33
Figura 14 - Gráfico Cota X Velocidade - P2.....	33
Figura 15 - Gráfico Cota X Velocidade – P3 antes do evento.....	34
Figura 16 - Gráfico Cota X Velocidade – P3 depois do evento.....	34
Figura 17 - Gráfico Cota X Área - P1.....	34
Figura 18 - Gráfico Cota X Área - P2.....	35
Figura 19 - Gráfico Cota X Área - P3 antes do evento.....	35
Figura 20 - Gráfico Cota X Área - P3 depois do evento.....	35
Figura 21 - Curva-chave - P1.....	36
Figura 22 - Curva-chave - P2.....	37
Figura 23 - Curva-chave - P3 antes do evento.....	37
Figura 24 - Curva-chave - P3 depois do evento.....	38
Figura 25 - Levantamento topobatimétrico.....	39
Figura 26 - Gráfico Cota X $K_m$ – P1.....	46
Figura 27 - Gráfico Cota X $K_m$ – P2.....	47
Figura 28 - Gráfico Cota X $K_m$ – P3 antes do evento.....	49
Figura 29 - Gráfico Cota X $K_m$ – P3 depois do evento.....	50
Figura 30 – Extrapolações da curva-chave – P1.....	51
Figura 31 - Extrapolações da curva-chave – P2.....	52

Figura 32 - Extrapolações da curva-chave – P3 antes do evento .....	53
Figura 33 - Extrapolações da curva-chave – P3 depois do evento .....	54
Figura 34 - Hidrograma 26/01/2017 - P1 .....	58
Figura 35 - Hidrograma 30/01/2017 - P1 .....	59
Figura 36 - Hidrograma 31/01/2017 - P1 .....	59
Figura 37 - Hidrograma 01/02/2017 - P1 .....	60
Figura 38 - Hidrograma 16/03/2017 - P1 .....	60
Figura 39 - Hidrograma 11/04/2017 - P1 .....	61
Figura 40 - Hidrograma 12-14/02/2017 - P2 .....	61
Figura 41 - Hidrograma 23-24/02/2017 - P2 .....	62
Figura 42 - Hidrograma 03-04/03/2017 - P2 .....	62
Figura 43 - Hidrograma 05-07/03/2017 - P2 .....	63
Figura 44 - Hidrograma 17-18/03/2017 - P2 .....	63
Figura 45 - Hidrograma 22-26/03/2017 - P2 .....	64
Figura 46 - Hidrograma 08-14/04/2017 - P2 .....	64
Figura 47 - Hidrograma 30-31/01/2017 – P3 antes do evento .....	65
Figura 48 - Hidrograma 31-01/02/2017 – P3 antes do evento .....	65
Figura 49 - Hidrograma 01-02/02/2017 – P3 antes do evento .....	66
Figura 50 - Hidrograma 03/03/2017 – P3 depois do evento .....	66
Figura 51 - Hidrograma 05/03/2017 – P3 depois do evento .....	67
Figura 52 - Hidrograma 17/03/2017 – P3 depois do evento .....	67



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical.....	23
Tabela 2 - Resumo das medições no P1 .....	31
Tabela 3 - Resumo das medições no P2 .....	32
Tabela 4 - Resumo das medições no P3 - antes do evento .....	32
Tabela 5 - Resumo das medições no P3 - depois do evento.....	32
Tabela 6 - Estimativa de vazão de Stevens - P1 .....	39
Tabela 7 - Estimativa de vazão de Stevens – P2 .....	40
Tabela 8 - Estimativa de vazão de Stevens – P3 antes do evento .....	40
Tabela 9 - Estimativa de vazão de Stevens – P3 depois do evento .....	40
Tabela 10 - Determinação das variáveis “a”, “n” e “Ho” - P1 .....	41
Tabela 11 - Determinação das variáveis “a”, “n” e “Ho” – P2 .....	42
Tabela 12 - Determinação das variáveis “a”, “n” e “Ho” – P3 antes do evento.....	42
Tabela 13 - Determinação das variáveis “a”, “n” e “Ho” – P3 depois do evento .....	43
Tabela 14 - Estimativa de vazão logarítmica - P1 .....	43
Tabela 15 - Estimativa de vazão logarítmica - P2 .....	44
Tabela 16 - Estimativa de vazão logarítmica - P3 antes do evento .....	44
Tabela 17 - Estimativa de vazão logarítmica - P3 depois do evento.....	45
Tabela 18 - Valores de $k_m$ para as vazões medidas no P1 .....	45
Tabela 19 - Estimativa de vazão de Manning – P1 .....	47
Tabela 20 - Valores de $k_m$ para as vazões medidas no P2 .....	47
Tabela 21 - Estimativa de vazão de Manning – P2 .....	48
Tabela 22 - Valores de $k_m$ para as vazões medidas no P3 antes do evento .....	48
Tabela 23 - Estimativa de vazão de Manning – P3 antes do evento .....	49
Tabela 24- Valores de $k_m$ para as vazões medidas no P3 depois do evento .....	50
Tabela 25 - Estimativa de vazão de Manning – P3 depois do evento .....	50
Tabela 26 - Erro na cota máxima - P1 .....	55
Tabela 27 - Erro na cota máxima - P2 .....	55
Tabela 28 - Erro na cota máxima - P3 antes do evento .....	55
Tabela 29 - Erro na cota máxima - P3 depois do evento .....	55
Tabela 30 – Erro médio – P1 .....	56
Tabela 31 - Erro médio - P2 .....	56

Tabela 32 - Erro médio - P3 antes do evento .....	57
Tabela 33 - Erro médio - P3 depois do evento .....	57
Tabela 34 - Resumo da análise de erros .....	57
Tabela 35 – Vazões máximas nos eventos – P1 .....	68
Tabela 36 - Vazões máximas nos eventos – P2.....	68
Tabela 37 - Vazões máximas nos eventos – P3 antes do evento.....	69
Tabela 38 - Vazões máximas nos eventos – P3 depois do evento.....	69
Tabela 39 - Monitoramento hidrológico - P1 .....	74
Tabela 40 - Monitoramento hidrológico - P2 .....	75
Tabela 41 - Monitoramento hidrológico - P3 antes do evento .....	76
Tabela 42 - Monitoramento hidrológico - P3 depois do evento .....	77

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ADCP – *Acoustic Doppler Current Profiler*

ANA – Agência Nacional de Águas

BHCUJ – Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville

EAS – Estudo Ambiental Simplificado

LISHA – *Software/Hardware Integration Lab*

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	
$a$	Coefficiente de ajuste	
$A_m$	Área molhada	$m^2$
$C$	Coefficiente dimensional	$m^{1/2}s^{-1/2}$
$Eh_{máx}$	Erro na cota máxima	
$Em$	Erro médio	
$H$	Altura para vazão $Q$	cm
$H_o$	Altura para vazão nula	cm
$i$	Declividade superficial	m/m
$J$	Declividade da linha d'água	m/m
$K_m$	Coefficiente de extrapolação de Manning	
$N$	Número de rotações por segundo	
$Nh$	Número de vazões calculadas na faixa de extrapolação	
$n$	Coefficiente de ajuste	
$\eta$	Coefficiente de rugosidade de Manning	
$p$	Passo da hélice	
$Q$	Vazão	$m^3/s$
$Qc_m$	Vazão da curva-chave na máxima cota medida	$m^3/s$
$Qc_h$	Vazão da curva-chave na cota $h$	$m^3/s$
$Qe_h$	Vazão da extrapolação na cota $h$	$m^3/s$
$Qe_m$	Vazão da extrapolação na máxima cota medida	$m^3/s$
$R_h$	Raio hidráulico	m
$S$	Área da seção transversal	$m^2$
$V$	Velocidade	m/s
$v$	Velocidade de atrito	m/s
$V_f$	Velocidade no fundo	m/s
$V_m$	Velocidade média	m/s
$V_s$	Velocidade na superfície	m/s

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	14
1.1.1.	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>14</b>
1.1.2.	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1.	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO.....	15
2.2.	HIDROMETRIA .....	15
2.3.	EQUIPAMENTOS PARA MONITORAMENTO HIDROLÓGICO .....	16
2.3.1.	<b>Molinete hidrométrico</b> .....	<b>16</b>
2.3.2.	<i>Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)</i> .....	16
2.3.3.	<b>Pluviômetros e pluviógrafos</b> .....	<b>17</b>
2.4.	CURVA-CHAVE E EXTRAPOLAÇÃO.....	18
2.4.1.	<b>Curva-chave</b> .....	<b>18</b>
2.4.2.	<b>Extrapolção da curva-chave</b> .....	<b>19</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>20</b>
3.1.	ÁREA DE ESTUDO .....	20
3.2.	MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	21
3.2.1.	<b>Molinete hidrométrico</b> .....	<b>21</b>
3.2.1.1.	SEÇÃO MÉDIA .....	24
3.2.1.2.	MEIA SEÇÃO .....	24
3.2.2.	<i>Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)</i> .....	<b>25</b>
3.3.	CURVA-CHAVE .....	27
3.4.	EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE .....	27
3.4.1.	<b>Método de Stevens</b> .....	<b>27</b>
3.4.2.	<b>Método logarítmico</b> .....	<b>28</b>
3.4.3.	<b>Método de Manning</b> .....	<b>29</b>
3.5.	ANÁLISE DE ERRO .....	30
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
4.1.	MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	31
4.2.	CURVA-CHAVE .....	36
4.3.	EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE .....	38

<b>4.3.1.</b>	<b>Método de Stevens .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>Método logarítmico .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>Método de Manning.....</b>	<b>45</b>
<b>4.4.</b>	<b>ANÁLISE DE ERRO .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.1.</b>	<b>Erro na cota máxima (<math>E_{h_{máx}}</math>).....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.2.</b>	<b>Erro médio (<math>E_{med}</math>).....</b>	<b>55</b>
<b>4.5.</b>	<b>HIDROGRAMAS DOS EVENTOS .....</b>	<b>58</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>5.1.</b>	<b>SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS .....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE A: TABELAS DE MEDIÇÃO EM CAMPO .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE B: PERFIL DAS SEÇÕES DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>79</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O campus Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Joinville será implantado na Rodovia BR-101 na altura do Km 51. Com a futura implantação do campus se tornou necessário o estudo ambiental simplificado (EAS) da área. O estudo hidrológico do EAS (UFSC, 2010) e investigações científicas na Bacia Hidrográfica do Campus em Joinville (BHCUIJ) (Rigotti, 2010 e Rigotti e Pompêo, 2011) apontam que é necessário um estudo mais detalhado da BHCUIJ devido a sua complexidade hidrológica. Para isto é necessário o monitoramento dos processos hidrológicos de chuva e vazão.

Segundo Tucci (1993), a medição de vazão de um rio se faz indispensável: para o controle de diminuição das cheias em determinada região; dimensionamento de obras de drenagem urbana; perímetro de irrigação; entre outras.

A relevância dos dados de vazão se dá para a prevenção de vazões futuras que possam causar consequências à sociedade. A ocorrência de uma baixa significativa na vazão de um rio prejudica a produção de energia gerada por usinas hidrelétricas, além de afetar sistemas de irrigação. Já uma elevação da vazão pode acarretar enchentes, causando danos a estruturas e a vida humana.

Conforme Clarke (2002), a estimativa das frequências de eventos ocorridos no passado é levada em consideração devido a mesma tender a continuar no futuro, isso deve-se a suposição crítica.

Para a caracterização da vazão de um rio podem ser utilizados os equipamentos Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) para lâminas d'água entre 0,5m e 15m, ou micromolinete para lâminas d'água entre 0,05m e 1,5m. Juntamente com a medição de vazão faz-se o registro dos níveis de água através dos fluviômetros. Com os dados de vazão e nível do rio se faz a determinação da curva-chave (ou curva de descarga) de uma seção.

Santos et al. (2001) explica que as medições de vazão geralmente delimitam apenas um trecho central da curva-chave, por essa razão ocorrem as incertezas nas extremidades inferior e superior da mesma. Os problemas para a determinação inferior acontecem devido à mudança de leito acarretado pela deposição de sedimentos e/ou erosão. Já a parte superior se deve à falta de dados nos eventos de extremas vazões.

Por este fato, para se ter uma melhor estimativa dos dados dessas regiões, a curva-chave deve ser extrapolada para níveis de vazões maiores e menores do que os dados medidos em campo. Essas extrapolações, por mais que sejam feitas de acordo com as normas da hidráulica, geram incertezas, por essa razão deve-se complementar os dados sempre que possível com medições de vazão fora do intervalo já medido, a fim de concretizar os dados extrapolados. (SANTOS et al., 2001).

Como todo tipo de extrapolação tem-se um erro associado, a análise destes consiste em mostrar as diferenças entre os métodos de extrapolação e apontar o que possivelmente é o mais adequado para cada caso.

Este trabalho se propõe à determinação da curva-chave – traçado e extrapolação, análise dos dados de vazão e análise de erros entre os métodos de extrapolação, que serão indispensáveis para a implantação da UFSC em Joinville. Estes dados auxiliarão nos projetos de drenagem do campus e medidas de contenção de cheias.

A metodologia deste trabalho segue as orientações de Santos et al. (2001) e ANA (2014), para realizar as medições de velocidade e nível do rio por meio de molinete hidrométrico e ADCP. Para elaboração e extrapolação das curvas-chave foi utilizado a metodologia de Jaccon e Cudo (1989)

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. **Objetivo geral**

Monitorar os dados de nível e vazão, elaborar a curva-chave e extrapolar em três pontos de monitoramento na BHCUIJ.

### 1.1.2. **Objetivos específicos**

- Medir vazão nas seções de monitoramento com o uso do molinete hidrométrico e ADCP;
- Elaborar as curvas-chave;
- Extrapolar as curvas-chave;
- Analisar dados de vazões nos eventos;
- Analisar erros entre os métodos de extrapolação.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

Segundo Santos (2001), monitoramento hidrológico é a necessidade de medir em campo uma série de variáveis hidrológicas e meteorológicas, afim de adquirir o conhecimento das características hidrológicas que permitem conhecer os dados de chuvas e vazões de rios. Para a realização desse monitoramento se faz necessário o uso de estações pluviométricas e fluviométricas.

Os métodos para a realizar as medições do monitoramento hidrológico estão expostos a seguir.

### 2.2. HIDROMETRIA

Hidrometria é a parte da hidrologia que estuda o regime hídrico, é a ciência da medida e da análise das características físicas e químicas da água (ANA,2014).

A parte da Hidrometria dedicada as técnicas de medição de níveis de água, velocidade e vazão é denominada fluviometria. Uma estação fluviométrica está localizada em uma seção do rio, e é constituída basicamente por réguas linimétricas e linígrafos, para as medições dos níveis d'água.

Algumas características da seção variam de acordo com o nível d'água, são elas:

- Área molhada: área da seção transversal que está ocupada pela água;
- Perímetro molhado: perímetro do corte transversal da seção que está em contato com a água;
- Raio hidráulico: quociente da área molhada pelo perímetro molhado;
- Largura superficial: largura da seção;

### 2.3. EQUIPAMENTOS PARA MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) existem vários métodos e equipamentos para o monitoramento hidrológico, a seguir estão alguns dos equipamentos utilizados.

#### 2.3.1. Molinete hidrométrico

Segundo Santos et al. (2001), o molinete hidrométrico é um instrumento que serve para realizar a medição da velocidade de um escoamento. O aparelho conta com uma pequena hélice acoplada a um eixo que gira no contra fluxo, emitindo sinais elétricos a um contador de rotações. A velocidade do escoamento é calculada de acordo com a equação 1.

$$V = N \cdot p + v \quad (1)$$

Onde:

$V$  = velocidade (m/s);

$N$  = número de rotações por segundo;

$p$  = passo da hélice;

$v$  = velocidade de atrito (m/s).

A utilização do molinete para a medição de vazão é mais comum que outros aparelhos dado ao seu baixo custo em comparação aos demais.

#### 2.3.2. *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*

O método mais preciso para realizar medidas de vazão é o ADCP, entretanto, devido a seu alto custo é pouco utilizado em comparação ao molinete hidrométrico. Santos et al. (2001) mostra que o sistema utilizado pelo equipamento consiste no efeito Doppler, que transmite pulsos sonoros através da água, que são refletidas pelas partículas de sedimentos em suspensão. Com a reflexão das ondas sonoras é possível determinar a velocidade que o escoamento se encontra, além de definir a seção em estudo e posteriormente a vazão.

### 2.3.3. Pluviômetros e pluviógrafos

Pluviômetros e pluviógrafos são instrumentos que realizam a medição de chuvas. O pluviômetro é o mais simples para se instalar e operar, além de possuir baixo custo. Nele é obtida a altura, em milímetros, de água precipitada por dia ou por evento de chuva. Já o pluviógrafo é mais encontrado nas estações meteorológicas, pois é capaz de registrar a intensidade das precipitações, ou seja, a quantidade de chuva de acordo com o tempo.

Para a realização do monitoramento foi utilizado o pluviógrafo (Figura 1), onde os dados por ele fornecidos são armazenados e transmitidos através da plataforma EPOSMOTE III (Figura 2), desenvolvida pelo *Software/Hardware Integration Lab* (LISHA) da UFSC, acoplada a uma bateria e um painel fotovoltaico.

Figura 1 – Estação de monitoramento.



Fonte: Autor (2017).

Figura 2 - EPOSMOTE III operando em campo.



Fonte: Autor (2017).

## 2.4. CURVA-CHAVE E EXTRAPOLAÇÃO

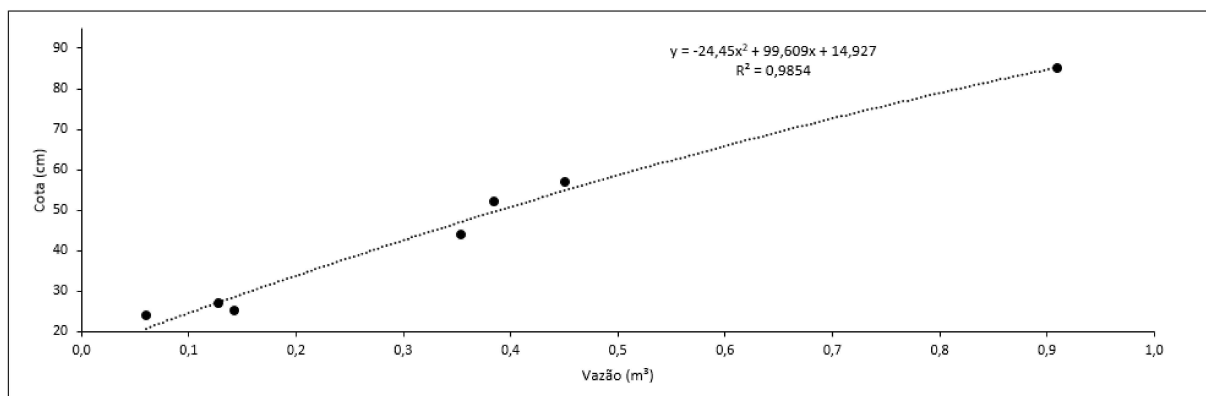
A partir do monitoramento realizado se faz a elaboração da curva-chave e sua extrapolação, conforme segue.

### 2.4.1. Curva-chave

Segundo Souza et al. (1983), a curva-chave, ou curva de descarga, é a relação entre as alturas do nível de água e a vazão correspondente em uma determinada seção do rio.

A mesma é elaborada uma vez que torna-se inviável possuir todos os dados de vazão para cada cota existente. Na figura 3 temos um exemplo de curva-chave.

Figura 3- Curva-chave



Fonte: Autor (2017).

Não é só a cota do rio que influencia na vazão, a declividade e a forma da seção também interveem na mesma. Tais variáveis são constantes ao longo do tempo para uma determinada seção, sendo que a única variável temporal é o nível. Desta maneira, tendo a curva-chave pronta, torna-se mais simples o processo de estimativa da vazão, e por consequência tem-se um custo menor, já que para determinar a vazão demanda de equipamentos e pessoas especializadas.

A partir da curva-chave pode-se elaborar alguns estudos sobre a mesma, como vazões máximas e mínimas, isto é conhecido como extrapolação da curva-chave.

#### 2.4.2. Extrapolação da curva-chave

Segundo Jacon e Cudo (1989), geralmente o número de medições é insuficiente ou a repartição dos intervalos é ruim, além de que a medição da vazão máxima nem sempre é possível, devido ao acesso e a da vazão mínima nem todos aparelhos conseguem realizar a medição, sendo assim a curva-chave fica incompleta, havendo a necessidade de extrapolar as extremidades.

Eles ainda esclarecem que extrapolar não significa seguir a tendência da curva, o que pode conduzir a valores absurdos de descarga, extrapolar é complementar o traçado da curva de descarga para os intervalos de cotas observados onde não houve medições.

As extrapolações utilizadas neste trabalho foram a de Stevens, logarítmica e de Manning, que segundo Sefione (2002), são consideradas os métodos tradicionais de extrapolação superior da curva-chave.

Para os métodos de Stevens e Manning é necessário o conhecimento do comportamento dos parâmetros geométricos e hidráulicos para as variações de níveis.

A curva-chave deve ser constantemente atualizada, pois os parâmetros geométricos e hidráulicos estão em contínua alteração, seja por causas naturais ou humanas.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia desse monitoramento consistiu primeiramente na determinação da área de estudo, na definição dos instrumentos de medição (molinete hidrométrico e ADCP). Na elaboração da curva-chave, e sua extrapolação posteriormente. Por fim foi feita uma análise de erros entre os métodos de extrapolação (erro na cota máxima e erro médio).

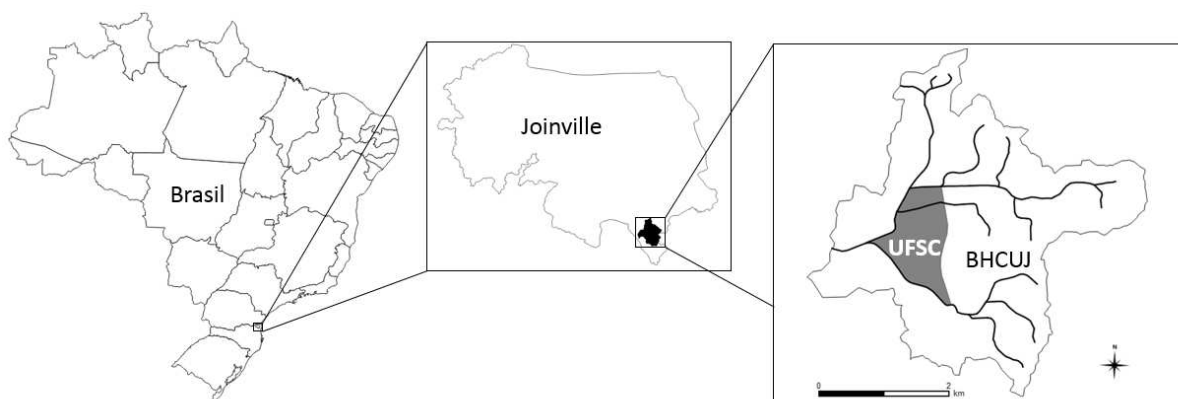
Na elaboração e extrapolação das curvas-chave foram utilizados os métodos de Stevens, logarítmico e de Manning.

A metodologia detalhada está descrita a seguir.

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

As medições de vazão foram realizadas na BHCUIJ, que está localizada na região nordeste do estado de Santa Catarina, ao sul do município de Joinville, na região conhecida como curva do arroz (Figura 4).

Figura 4- Localização da BHCUIJ

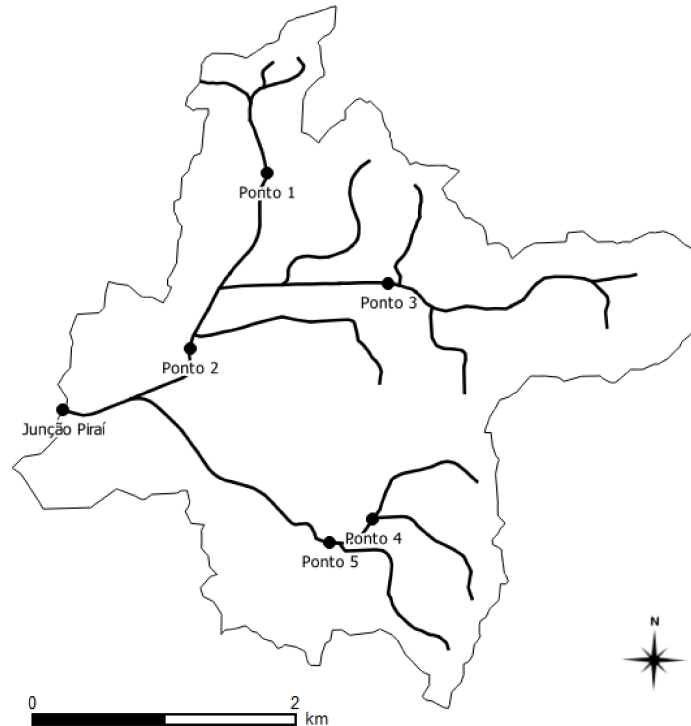


Fonte: Autor (2017).

A BHCUIJ possui uma área total de aproximadamente 12,5 km<sup>2</sup>, perímetro da ordem de 21,84 km, tendo o rio principal uma extensão de 5,7 km. Possui um fator de forma de 0,387, que indica que a mesma não está suscetível a enchentes, entretanto sabe-se que esta não é a realidade. Para a realização deste trabalho, fez-se o monitoramento em três pontos para a

tomada de vazão, pontos P1, P2 e P3(Figura 5), nos pontos P4 e P5 não foram realizadas medidas de vazão.

Figura 5- Bacia Hidrográfica do campus da UFSC em Joinville.



Fonte: Autor (2017).

Como observado na figura 5, a bacia não possui uma forma regular, porém podemos assemelhar a um quadrado, que é justificável devido a seu índice de compactidade ser de grandeza 1,73.

### 3.2. MEDIÇÃO DE VAZÃO

Para a realização da medição de vazão, optou-se por usar dois equipamentos, o molinete hidrométrico e o ADCP.

#### 3.2.1. Molinete hidrométrico

Durante as medições de vazão adotou-se o uso do micromolinete da fabricante *HIDROMEC* (Figura 6), com hélice de 5 cm.

Figura 6 – Micromolinete.



Fonte: Autor (2017).

Este método consiste em determinar a área da seção e a velocidade média do fluxo que na seção. Para determinação da área da seção é realizada a partir da medição da abscissa e da profundidade do rio em um número determinado de pontos ao longo da seção. Esses pontos determinam as verticais que ligam a superfície ao fundo do canal, e nessas verticais são realizadas as medições de velocidade (Figura 7), variando em função da profundidade.



Figura 7- Medição de velocidade com uso do Micro molinete



Fonte: Autor (2017).

A tabela 1 apresenta as fórmulas recomendadas em função do número de medições de velocidades e da posição.

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical

nº de pontos	Posição na vertical em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média (Vm) na vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	$V_m = V_{0,6}$	0,15 - 0,6
2	0,2 e 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8}) / 2$	0,6 - 1,2
3	0,2; 0,6; 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}) / 4$	1,2 - 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) / 6$	2,0 - 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f] / 10$	> 4,0

Fonte: Ana (2014).

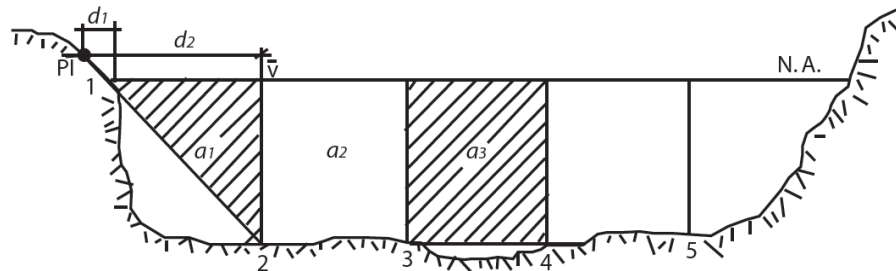
Onde  $V_s$  é a velocidade na superfície e  $V_f$  é a velocidade no fundo.

Tendo a área e a velocidade média, calcula-se então a vazão nessa seção. Para a delimitação das seções segue abaixo os métodos indicados.

### 3.2.1.1. SEÇÃO MÉDIA

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), o método da seção média determina a vazão por meio de vazões parciais calculadas para cada subseção entre verticais, partindo da largura, média das profundidades e média das velocidades, conforme figura 8.

Figura 8 - Cálculo da seção média.



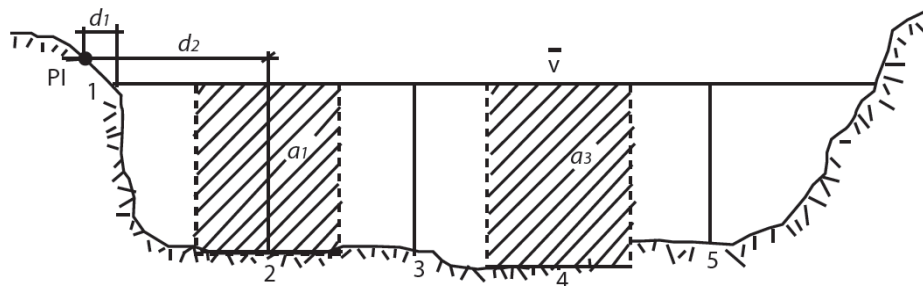
Fonte: ANA (2014, p. 33).

O procedimento de cálculo para a determinação de vazão consiste em calcular a velocidade média para cada subseção em pelo menos duas alturas e a área da subseção. Com esses dados, faz-se a média de todas as velocidades e o somatório das áreas, e por meio do produto desses parâmetros tem-se a vazão nessa seção.

### 3.2.1.2. MEIA SEÇÃO

Segundo a ANA (2014), o método da meia seção consiste no cálculo das vazões parciais, por meio do produto da altura média e da velocidade média, e pela soma das semi distâncias, de acordo com a Figura 9.

Figura 9 - Cálculo da meia seção.



Fonte: ANA (2014, p. 34).

O procedimento de cálculo se dá pelo cálculo das velocidades médias e pelas áreas que levam em consideração a largura dos segmentos e a profundidade no meio do fundo desse

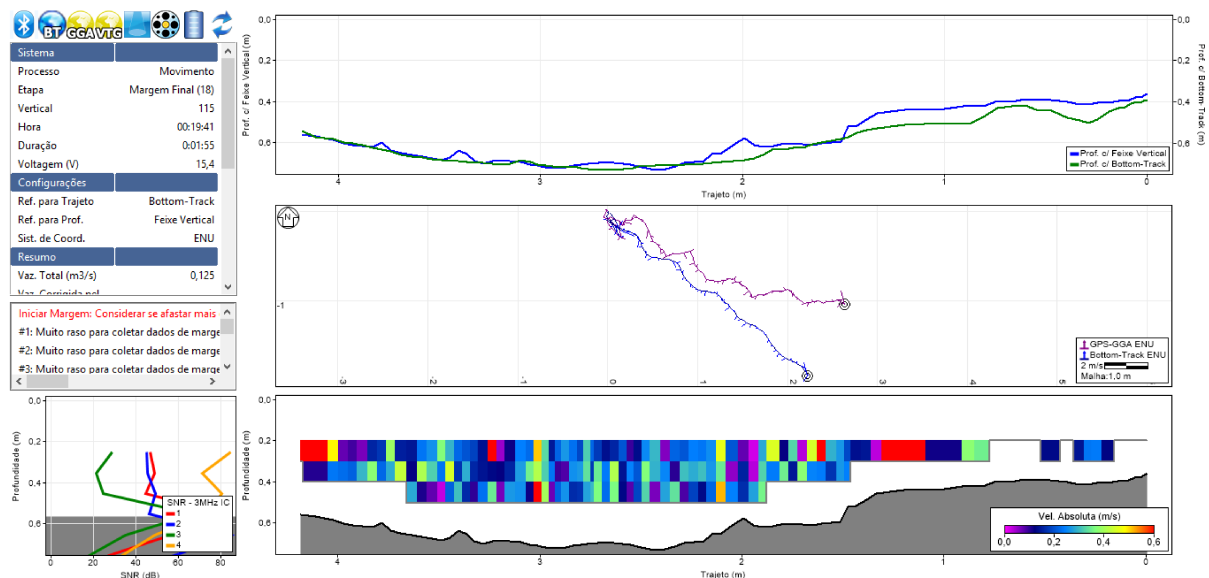
segmento. A partir da velocidade e área de cada segmento, realiza-se o produto desses valores e acha-se a vazão para cada um, após isso realiza-se a média das vazões para determinar a média dessa seção.

O método da seção média por sua facilidade de execução é o mais utilizado segundo a ANA (2014), e por isso foi adotado para determinar as vazões nas seções de monitoramento.

### 3.2.2. *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*

O ADCP é um equipamento que realiza a medição da vazão líquida de rios. Este aparelho utiliza o efeito Doppler, que consiste em emitir ondas sonoras dentro do rio e captar a reflexão das mesmas, que se formam em contato com partículas carregadas, possibilitando a determinação da velocidade do rio, e do contato com o fundo do rio, traçando um perfil da seção (Figura 10).

Figura 10 - Perfil de velocidade, seção topográfica e vazão medido com ADCP



Fonte: Autor (2017).

O ADCP utilizado para realizar as medições foi o M5, da *SonTek* (Figura 11).

Figura 11 - ADCP



Fonte: Autor (2017).

Para a medição com o ADCP o aparelho precisa-se deslocar de uma margem a outra com velocidade menor que a do fluxo de água, e pode-se utilizar uma corda para auxiliar neste processo (Figura 12).

Figura 12 – Medição de vazão com ADCP



Fonte: Autor (2017).

O próprio sistema de software do equipamento é quem manipula as informações e dá ao usuário o valor da vazão do rio naquela seção escolhida. Possibilitando assim ao usuário a elaboração da curva-chave.

### 3.3. CURVA-CHAVE

Com os dados de vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) e cota do rio (cm), obtidos através dos métodos de medição citados anteriormente, pode-se traçar a curva-chave com auxílio da ferramenta de gráficos do Excel. Após a inserção dos pontos no gráfico, ajusta-se uma linha de tendência que melhor descreve o comportamento dos pontos, tendo assim a curva-chave. Contudo, essa equação não é muito válida para as extremidades da curva, pois a uma dificuldade em realizar medições em pequenas e grandes vazões. Sendo necessário realizar a extrapolação da curva-chave.

### 3.4. EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE

Para a extrapolação da curva-chave, optou-se por seguir três modelos, o modelo de Stevens, que utiliza das formulações propostas por Chézy e Manning, o método de Manning, esses dois levando em consideração a topografia do local, e o método logarítmico que baseia-se apenas nas medições realizadas.

#### 3.4.1. Método de Stevens

Segundo Pereira (2003), o método de Stevens é a forma mais habitual de extrapolar uma curva de descarga, baseando-se na fórmula de Chézy.

$$Q = C \cdot S \sqrt{R_h} i \quad (2)$$

Onde:

$Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$C$  = coeficiente dimensional ( $\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1/2}$ );

$S$  = área de seção transversal ( $\text{m}^2$ );

$R_h$  = raio hidráulico (m);

$i$  = declividade superficial (m/m).

Tendo em vista que o produto  $C\sqrt{i} = k$ , então:

$$Q = k \cdot S \sqrt{R} \quad (3)$$

Onde  $S\sqrt{R}$  é função da geometria da seção e é obtida através de levantamentos batimétricos.

A parcela  $C\sqrt{I}$  representa um fator de declividade, já  $S\sqrt{R}$  um fator geométrico. E segundo Pereira (2003), supõe-se que varia muito pouco, tornando-se praticamente uma constante nos limites de aplicação. Portanto a função  $Q=f(S\sqrt{R})$  é representada por uma reta. E por consequência da curva  $S\sqrt{R} = f(h)$  totalmente definida pela geometria da seção, sendo possível avaliar a vazão, extrapolando as extremidades da curva-chave.

### 3.4.2. Método logarítmico

Segundo Pereira (2003), este método é provavelmente o mais utilizado no Brasil, porém apenas para extrapolar a parte superior da curva.

O princípio do método consiste em aplicar na parte superior uma expressão exponencial para a determinação da vazão.

$$Q = a(H - H_0)^n \quad (4)$$

Onde:

$a$  e  $n$  = coeficientes de ajuste conforme a curva-chave;

$H$  = altura para vazão  $Q$ ;

$H_0$  = altura para vazão nula.

Entretanto, o método requer as seguintes condições:

- Relação  $Q = f(H)$  caracterizada por um bom alinhamento das medições médias e altas;
- Medições até uma altura que seja suficientemente elevada para gerar uma reta bem definida;
- Perfil transversal sem descontinuidade de forma nas alturas extrapoladas;
- Controle de jusante entre alturas médias e altas.

Por essa restrição de ter um controle de jusante e das características geométricas constantes, esse método é inviável para extrapolações inferiores.

### 3.4.3. Método de Manning

O método de Manning utiliza da equação Manning, e da equação da continuidade, considerando que o quociente da raiz da declividade da linha d'água pelo coeficiente de rugosidade de Manning (equação 5) tende a tornar-se constante em vazões altas (Tucci e Silveira, 1985).

$$K_m = \frac{\sqrt{J}}{\eta} = \frac{Q}{A_m R_h^{2/3}} \quad (5)$$

Onde:

$K_m$  = coeficiente de extrapolação de Manning;

$J$  = declividade da linha d'água;

$\eta$  = coeficiente de rugosidade de Manning;

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$A_m$  = área molhada (m<sup>2</sup>);

$R_h$  = raio hidráulico (m).

O método consiste em gerar o gráfico de Cota X  $K_m$ , para cada medição de vazão e observar se há uma tendência assintótica bem definida da curva gerada. Caso haja, deve-se prolongar a curva e estimar os valores de  $K_m$  para as cotas em que deseja-se extrapolar a vazão. Tendo o valor estimado de  $K_m$  e calculado os valores da área molhada e raio hidráulico e com base na equação 5, obtém-se os valores das vazões nas cotas desejadas, definindo a extrapolação de Manning.

Segundo Sefione (2002), quando o gráfico Cota X  $k_m$  não possua uma assíntota bem definida, deve-se estimar um valor fixo para  $k_m$ . Para estimar esse valor, deve-se por meio de interações descobrir o valor de  $k_m$  que faz coincidir o início da curva de Manning com o ponto final da curva-chave.

### 3.5. ANÁLISE DE ERRO

Segundo Sefione (2002), dada a incerteza gerada pela extrapolação das curvas-chave é de grande importância a aplicação do maior número de métodos, levando em consideração a restrição imposta por cada método e a limitação de dados.

Para a análise da incerteza entre os métodos calcula-se o erro gerado na vazão máxima (equação 6) e o erro médio (equação 7).

$$Eh_{máx} = \frac{Qe_m - Qc_m}{Qc_m} \quad (6)$$

Onde:

$Eh_{máx}$  = erro na cota máxima;

$Qe_m$  = vazão da extrapolação na máxima cota medida (m<sup>3</sup>/s);

$Qc_m$  = vazão da curva-chave na máxima cota medida (m<sup>3</sup>/s).

Esse erro permite quantificar uma sub ou super estimativa de cada metodologia empregada na extrapolação da curva-chave.

$$Em = \frac{\sum \left( \frac{Qe_h - Qc_h}{Qc_m} \right)}{Nh} \quad (7)$$

Onde:

$Eh$  = erro médio;

$Qe_h$  = vazão da extrapolação na cota h (m<sup>3</sup>/s);

$Qc_h$  = vazão da curva-chave na cota h (m<sup>3</sup>/s)

$Qc_m$  = vazão da curva-chave na máxima cota medida (m<sup>3</sup>/s);

$Nh$  = número de vazões calculadas na faixa de extrapolação (10 em 10 cm).

Esse erro corresponde à média dos erros calculados na faixa de extrapolação, calculados a cada 10 cm. Ele dá uma noção o quanto a curva está afastada da curva-chave em toda sua extensão.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os dados referente ao monitoramento hidrológico realizado na BHCUIJ, e as análises feitas a partir desses dados. Foram monitorados 3 pontos.

A partir do dia 02/03/2017 foi iniciado uma nova curva-chave para o ponto 3, devido ao rebaixamento de 40 cm do fundo causado pelo aumento da velocidade do escoamento, aumento este ocasionado pela ação de uma retroscavadeira que retirou a vegetação das margens do rio a montante e jusante da seção de monitoramento.

### 4.1. MEDIÇÃO DE VAZÃO

Nas tabelas 2 a 5 contém os dados referentes as medições de vazão para as seções estudadas. Nelas constam de forma resumida os valores das cotas lidas, área, velocidade média da seção e vazão calculada para cada medição. No apêndice A encontram-se essas mesmas tabelas de forma detalhada, contendo número de rotações, área, velocidade e vazão por seção.

Tabela 2 - Resumo das medições no P1

P1					
Nº	Data	Cota Régua(cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Vel. média (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
1	07/11/2016	34	0,21	0,05	0,011
2	18/01/2017	39	0,27	0,23	0,063
3	22/01/2017	34	0,22	0,05	0,010
4	25/01/2017	33	0,20	0,05	0,010
5	28/01/2017	37	0,26	0,26	0,068
6	29/03/2017	38	0,26	0,39	0,100
7	08/04/2017	53	0,35	0,86	0,305
8	08/04/2017	58	0,42	1,21	0,506
9	08/04/2017	72	0,86	1,47	1,298
10	08/04/2017	65	0,77	1,13	0,860

Fonte: Autor (2017).

Tabela 3 - Resumo das medições no P2

<b>P2</b>					
<b>Nº</b>	<b>Data</b>	<b>Cota Régua(cm)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vel. média (m/s)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	15/03/2017	54	1,04	0,12	0,126
2	18/03/2017	92	2,22	0,17	0,371
3	24/03/2017	130	3,22	0,20	0,675
4	28/04/2017	59	1,49	0,09	0,133

Fonte: Autor (2017).

Tabela 4 - Resumo das medições no P3 - antes do evento

<b>P3 - antes do evento</b>					
<b>Nº</b>	<b>Data</b>	<b>Cota Régua(cm)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vel. média (m/s)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	07/11/2016	3	0,14	0,27	0,038
2	17/01/2017	13	0,33	0,20	0,065
3	18/01/2017	16	0,40	0,23	0,084
4	22/01/2017	5	0,24	0,20	0,043
5	25/01/2017	4	0,20	0,17	0,032
6	26/01/2017	87	1,65	0,34	0,545
7	26/01/2017	75	1,44	0,30	0,430
8	28/01/2017	19	0,37	0,59	0,209
9	28/01/2017	24	0,46	0,48	0,219

Fonte: Autor (2017).

Tabela 5 - Resumo das medições no P3 - depois do evento

<b>P3 - depois do evento</b>					
<b>Nº</b>	<b>Data</b>	<b>Cota Régua(cm)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vel. média (m/s)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	15/03/2017	24	0,23	0,27	0,060
2	24/03/2017	25	0,32	0,46	0,143
3	28/03/2017	27	0,32	0,39	0,129
4	08/04/2017	44	0,65	0,51	0,354
5	08/04/2017	52	0,79	0,49	0,385
6	08/04/2017	57	0,92	0,50	0,452
7	08/04/2017	85	1,51	0,62	0,911

Fonte: Autor (2017).

No P1 foi realizado medições no intervalo de 34 a 72 cm. A vazão mínima observada foi de 0,100 m<sup>3</sup>/s e vazão máxima de 1,298 m<sup>3</sup>/s.

No P2 foi feito medições no intervalo de 54 a 130 cm, com vazão mínima medida de 0,126 m<sup>3</sup>/s e máxima de 0,675 m<sup>3</sup>/s.

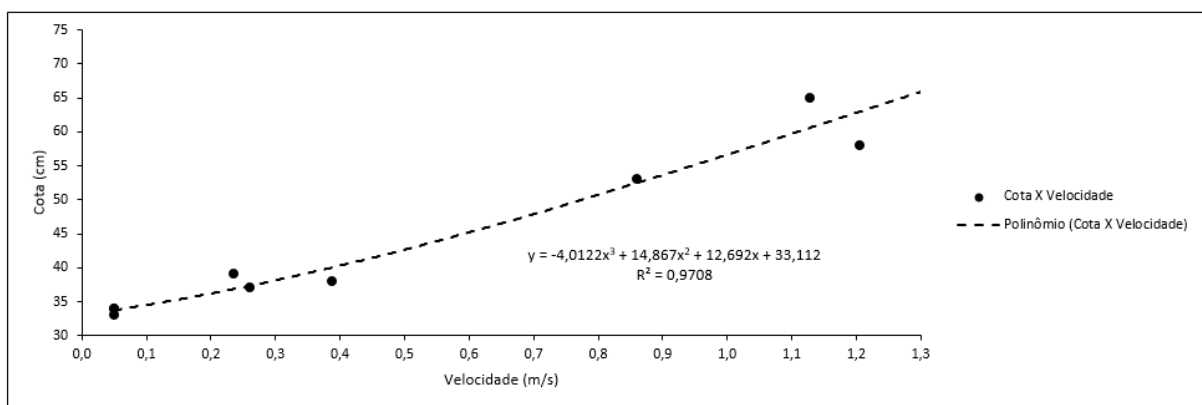
No P3 antes do evento as medições variaram de 3 a 87 cm, com vazões mínimas e máximas de 0,032 e 0,545 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

E no P3 depois do evento foi realizado medições no intervalo de 24 a 85 cm, vale ressaltar novamente que neste ponto houve um rebaixamento no fundo do leito de 40 cm. A vazão mínima observada foi de 0,060 m<sup>3</sup>/s e a máxima de 0,911 m<sup>3</sup>/s.

A partir das tabelas 2 a 5 foram elaboras os gráficos que relacionam Cota X Velocidade e Cota X Área.

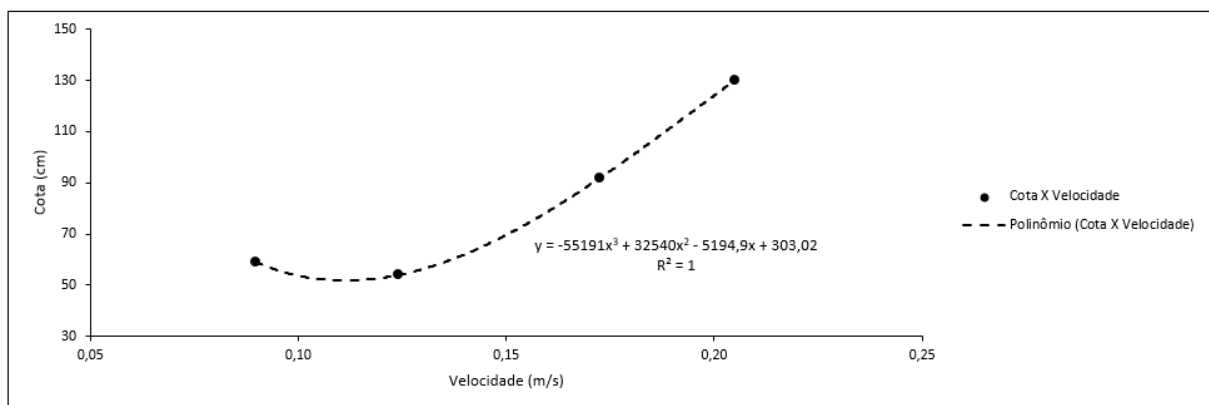
- Cota X Velocidade:

Figura 13 - Gráfico Cota X Velocidade - P1



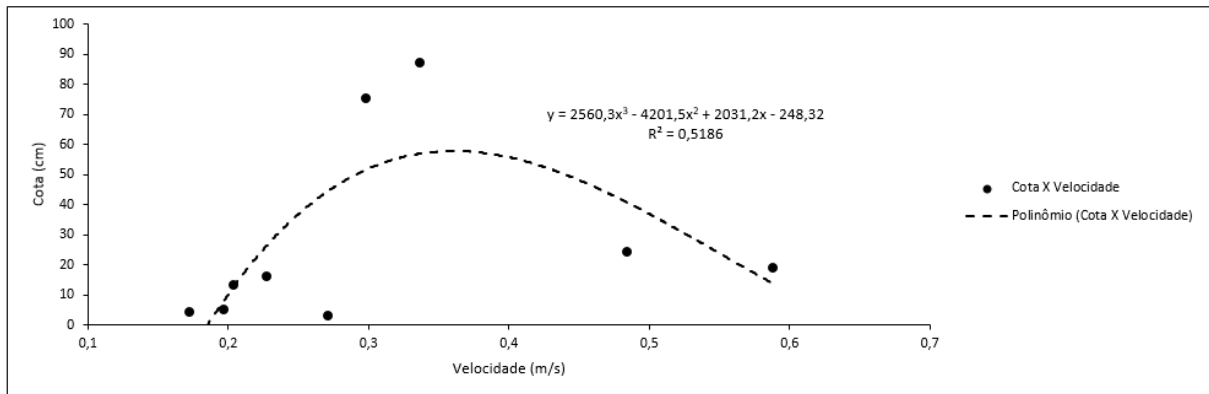
Fonte: Autor (2017).

Figura 14 - Gráfico Cota X Velocidade - P2



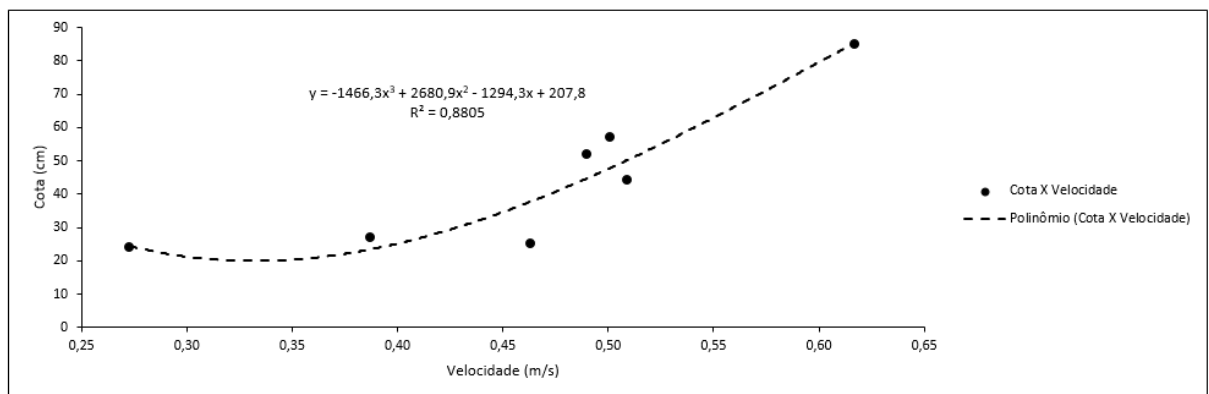
Fonte: Autor (2017).

Figura 15 - Gráfico Cota X Velocidade – P3 antes do evento



Fonte: Autor (2017).

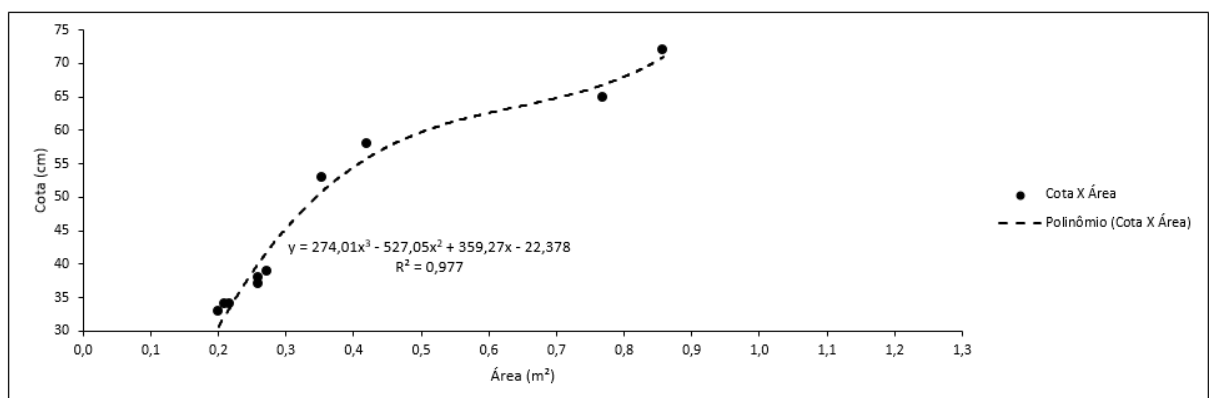
Figura 16 - Gráfico Cota X Velocidade – P3 depois do evento



Fonte: Autor (2017).

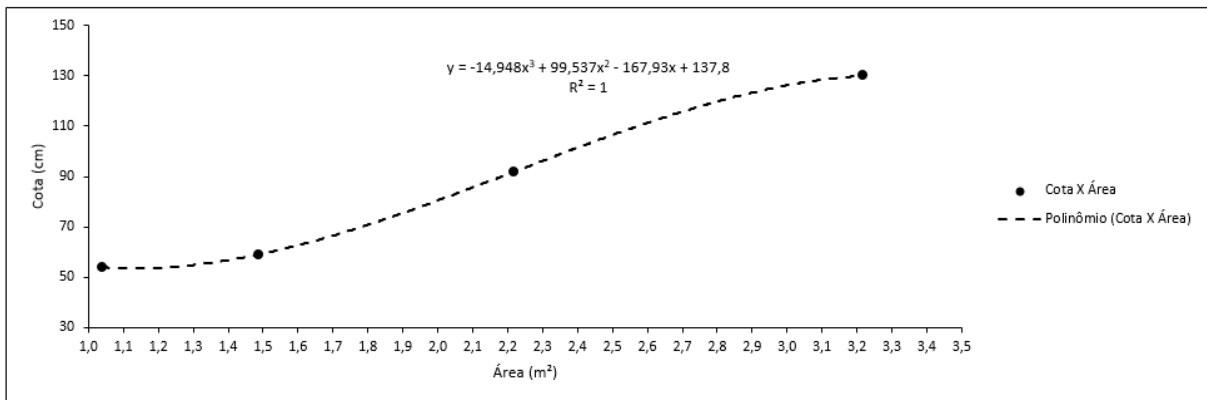
- Cota X Área:

Figura 17 - Gráfico Cota X Área - P1



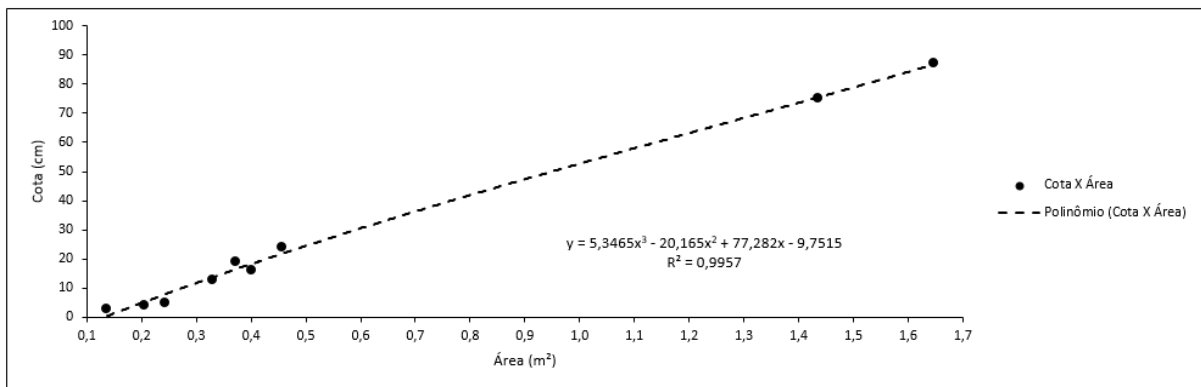
Fonte: Autor (2017).

Figura 18 - Gráfico Cota X Área - P2



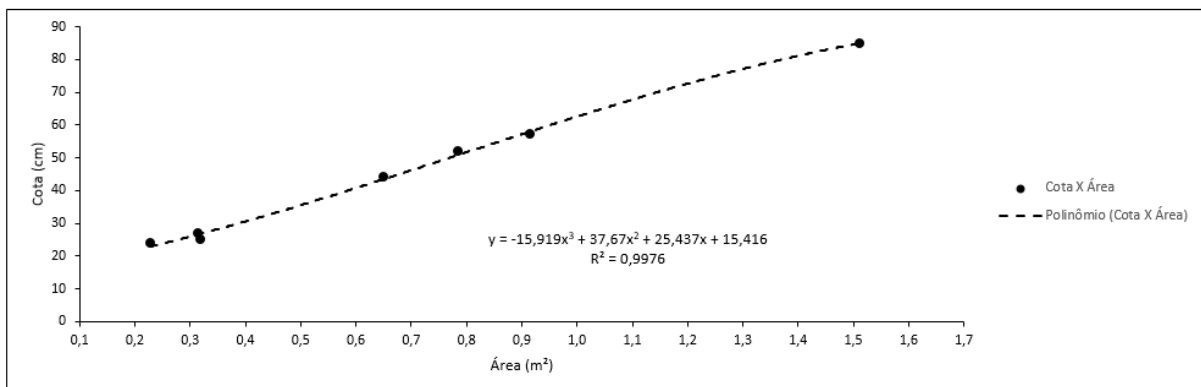
Fonte: Autor (2017).

Figura 19 - Gráfico Cota X Área - P3 antes do evento



Fonte: Autor (2017).

Figura 20 - Gráfico Cota X Área - P3 depois do evento



Fonte: Autor (2017).

Baseado nas figuras 13 a 20 é possível verificar se existe consistência nos dados. Os dados que estavam fora das curvas foram verificados novamente se não houve algum problema no dado, desde a erro de digitação nos valores, até erro de medição em campo.

A figura 14 apresentou este comportamento devido ao número de medições terem sido baixas, podendo não ser este o real comportamento da seção para este gráfico.

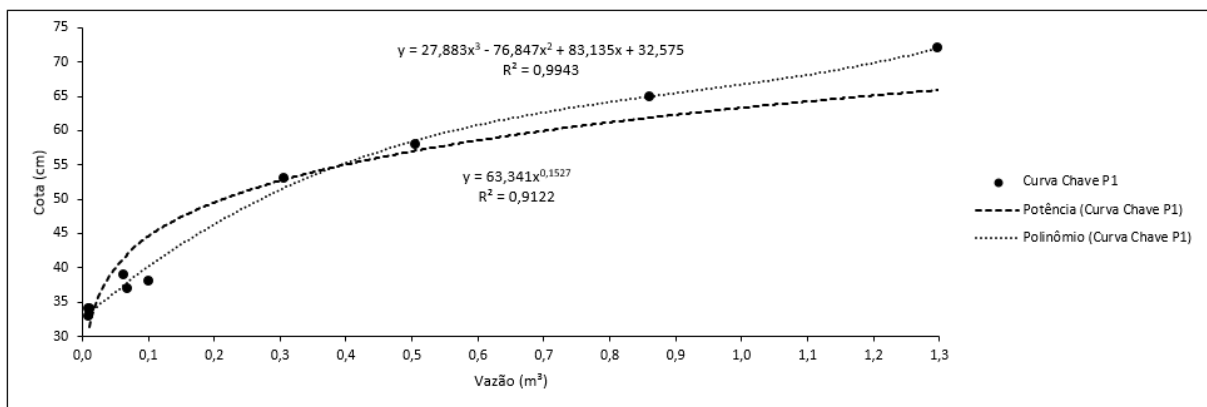
Já na figura 15 aparecem dois valores duvidosos fora da linha de tendência. Não foi possível concluir porque as velocidades foram maiores nestas medições. As duas medições foram realizadas no mesmo dia e com o nível do rio baixando.

#### 4.2. CURVA-CHAVE

Com os dados de cota e vazão apresentados anteriormente nas tabelas 2 a 5, foram elaboradas a curvas-chave dos pontos de monitoramento (Figuras 21 a 24), e realizado duas aproximações para os pontos, uma por equação potencial e outra polinomial.

- Ponto 1:

Figura 21 - Curva-chave - P1



Fonte: Autor (2017).

Como representado no gráfico, obtivemos duas equações para esta curva-chave:

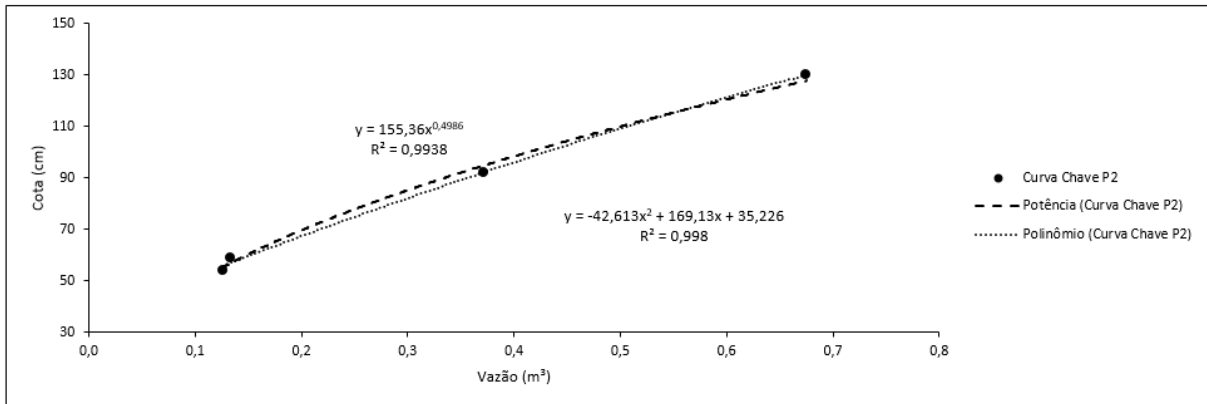
- Potencial  $\rightarrow y = 63,341x^{0,1527}$  (8)

- Polinomial  $\rightarrow y = 27,883x^3 - 76,847x^2 + 83,135x + 32,575$  (9)

A equação potencial que descreve essa curva tem um  $R^2$  na ordem de 0,9122, e a curva polinomial um  $R^2$  de 0,9943, sendo então esse a que melhor representa essa curva-chave.

- Ponto 2:

Figura 22 - Curva-chave - P2



Fonte: Autor (2017).

Como representado no gráfico, obtivemos duas equações para esta curva-chave:

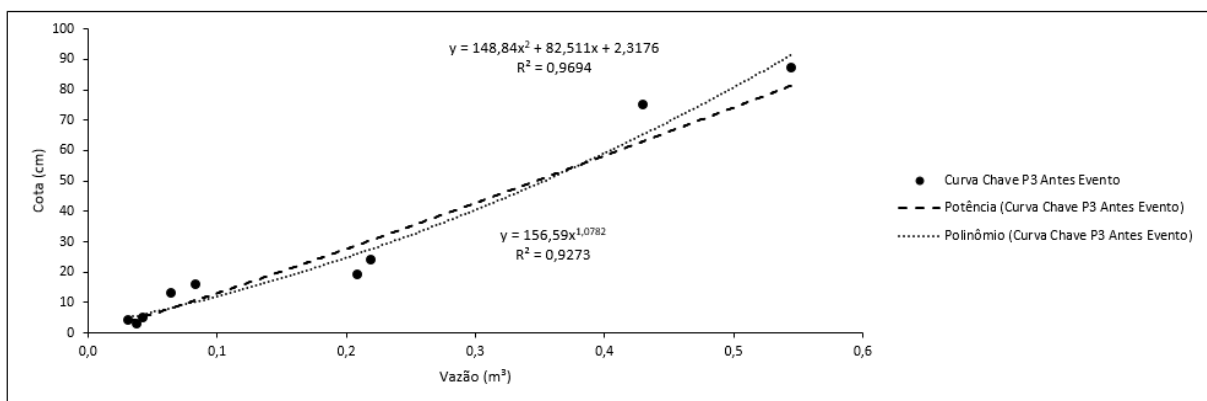
- Potencial  $\rightarrow y = 155,36x^{0,4986}$  (10)

- Polinomial  $\rightarrow y = -42,613x^2 + 169,13x + 35,226$  (11)

A equação potencial que descreve essa curva tem um  $R^2$  na ordem de 0,9938, e a curva polinomial um  $R^2$  de 0,998, sendo então esse a que melhor representa essa curva-chave.

- Ponto 3 – antes do evento:

Figura 23 - Curva-chave - P3 antes do evento



Fonte: Autor (2017).

Como representado no gráfico, obtivemos duas equações para esta curva-chave:

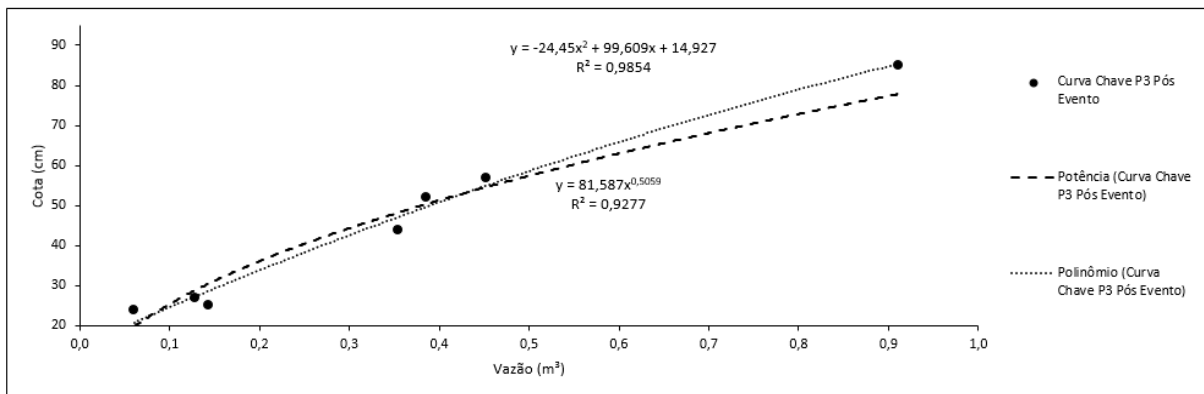
- Potencial  $\rightarrow y = 154,02x^{1,0944}$  (12)

- Polinomial  $\rightarrow y = 148,484x^2 + 82,511x + 2,3176$  (13)

A equação potencial que descreve essa curva tem um  $R^2$  na ordem de 0,8762, e a curva polinomial um  $R^2$  de 0,9676, sendo então esse a que melhor representa essa curva-chave.

- Ponto 3 – depois do evento:

Figura 24 - Curva-chave - P3 depois do evento



Fonte: Autor (2017).

Como representado no gráfico, obtivemos duas equações para esta curva-chave:

- Potencial  $\rightarrow y = 81,587x^{0,5059}$  (14)

- Polinomial  $\rightarrow y = -24,45x^2 + 99,609x + 14,927$  (15)

A equação potencial que descreve essa curva tem um  $R^2$  na ordem de 0,9277, e a curva polinomial um  $R^2$  de 0,9854, sendo então esse a que melhor representa essa curva-chave.

### 4.3. EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE

Na sequência serão apresentadas as extrapolações para as curvas-chave expostas anteriormente nesse capítulo, seguindo os modelos de Stevens, logarítmico e Manning.

De modo que os métodos de Stevens e Manning necessitam das áreas molhadas e perímetros molhados para realizar as extrapolações nas cotas de interesse, se fez necessário realizar o levantamento batimétrico das seções estudadas (Figura 25).



Figura 25 - Levantamento topobatimétrico



Fonte: Autor (2017).

A partir do levantamento batimétrico, elaborou-se através do software AutoCAD o perfil das seções, que podem ser constatadas no apêndice B.

#### 4.3.1. Método de Stevens

Como exibido no capítulo 4, para estimar a vazão pelo método de Stevens são necessários os valores do raio hidráulico e perímetro molhado para cada cota a ser extrapolada. Tendo esses valores e tendo como base a equação 3, obteve-se as estimativas de vazões, como podem ser observadas nas tabelas 6 a 9.

Tabela 6 - Estimativa de vazão de Stevens - P1

<b>Stevens - P1</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
85,6	2,52	6,15	0,41	1,613
90,4	2,83	7,34	0,39	1,757
122,6	5,14	8,51	0,60	3,995
142,2	6,71	9,36	0,72	5,681
167,7	9,02	10,8	0,84	8,243

Fonte: Autor (2017).

Tabela 7 - Estimativa de vazão de Stevens – P2

<b>Stevens - P2</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
150	3,84	5,76	0,67	3,14
170	4,61	6,40	0,72	3,91
190	5,47	7,07	0,77	4,81
210	6,45	7,74	0,83	5,89
230	7,52	8,37	0,90	7,13
250	8,69	9,02	0,96	8,53
270	9,98	9,78	1,02	10,08
290	11,38	10,38	1,10	11,92
310	12,83	10,85	1,18	13,95

Fonte: Autor (2017).

Tabela 8 - Estimativa de vazão de Stevens – P3 antes do evento

<b>Stevens - P3 antes do evento</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
97	2,09	5	0,42	1,351
107	2,46	5,4	0,46	1,660
117	2,85	5,76	0,49	2,005
127	3,28	6,13	0,54	2,399
139,4	3,85	6,58	0,59	2,945

Fonte: Autor (2017).

Tabela 9 - Estimativa de vazão de Stevens – P3 depois do evento

<b>Stevens - P3 depois do evento</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
92	1,42	3,09	0,46	0,963
99	1,56	3,38	0,46	1,060
119	2,05	4,32	0,47	1,412
139	2,70	5,35	0,50	1,918
179	4,42	6,8	0,65	3,564

Fonte: Autor (2017).

Como visto nas tabelas 6 a 9, o número de níveis analisados para a extrapolação de Stevens altera conforme cada seção. A determinação desse número varia de acordo com a topografia, Sefione (2002) aconselha analisar os pontos a cada mudança de inclinação da seção.

#### 4.3.2. Método logarítmico

Como discutido no capítulo 4, o método logarítmico leva em consideração apenas a medições realizadas, desconsiderando a topografia existente para as estimativas de vazão.

Este método utiliza a equação 4 para estimar as vazões na parte superior da curva. Primeiramente faz-se necessário determinar as variáveis da equação “ $a$ ”, “ $n$ ” e “ $H_o$ ”. Para isto elaborou-se as tabelas 10 a 13, que faz uma comparação entre a vazão medida e calculada pela equação 4. Inicialmente atribui-se valores aleatórios para as variáveis, e na sequência com ajuda da ferramenta *Solver* (processo iterativo) do *Excel* aplica-se a condição  $(\sum Q_{cal} - Q_{obs})^2 \cong 0$ , determinando assim os valores de “ $a$ ”, “ $n$ ” e “ $H_o$ ”.

- Ponto 1:

Tabela 10 - Determinação das variáveis “ $a$ ”, “ $n$ ” e “ $H_o$ ” - P1

H	Qobs	H-Ho	Qcal	(Qcal-Qobs) <sup>2</sup>
34	0,026	13,2	0,025	2,53E-07
39	0,063	18,2	0,0638	3,11E-07
34	0,010	13,2	0,025	2,19E-04
33	0,010	12,2	0,0199	9,44E-05
37	0,068	16,2	0,0455	4,96E-04
38	0,100	17,2	0,0541	2,15E-03
53	0,305	32,2	0,3363	9,57E-04
58	0,506	37,2	0,5118	3,82E-05
72	1,298	51,2	1,2966	2,37E-06
65	0,860	44,2	0,8453	2,26E-04
Soma =				4,18E-03

Fonte: Autor (2017).

Aplicando o *Solver* obteve-se os seguintes valores:

$$a = 1,40E-3$$

$$n = 2,91$$

$$H_o = 20,84 \text{ cm}$$

- Ponto 2:

Tabela 11 - Determinação das variáveis “ $a$ ”, “ $n$ ” e “ $Ho$ ” – P2

H	Qobs	H-Ho	Qcal	(Qcal-Qobs) <sup>2</sup>
54	0,126	54,0	0,127	1,51E-06
92	0,371	92,0	0,352	3,57E-04
130	0,675	130,0	0,681	3,10E-05
59	0,133	59,0	0,151	3,09E-04
			Soma =	6,99E-04

Fonte: Autor (2017).

Aplicando o *Solver* obteve-se os seguintes valores:

$$a = 0,006$$

$$n = 1,91$$

$$Ho = 0,00 \text{ cm}$$

- Ponto 3 – antes do evento

Tabela 12 - Determinação das variáveis “ $a$ ”, “ $n$ ” e “ $Ho$ ” – P3 antes do evento

H	Qobs	H-Ho	Qcal	(Qcal-Qobs) <sup>2</sup>
3	0,038	2,9	0,032	0,001
13	0,065	12,9	0,111	0,002
16	0,084	15,9	0,131	0,002
5	0,043	4,9	0,050	0,000
4	0,032	3,9	0,041	0,000
87	0,545	86,9	0,524	0,000
75	0,430	74,9	0,464	0,001
19	0,209	18,9	0,151	0,003
24	0,219	23,9	0,183	0,001
			Soma =	0,011

Fonte: Autor (2017).

Aplicando o *Solver* obteve-se os seguintes valores:

$$a = 1,386$$

$$n = 0,81$$

$$Ho = 0,15 \text{ cm}$$

- Ponto 3 – depois do evento

Tabela 13 - Determinação das variáveis “a”, “n” e “Ho” – P3 depois do evento

H	Qobs	H-Ho	Qcal	(Qcal-Qobs) <sup>2</sup>
24	0,060	24	0,136	0,01
25	0,143	25	0,145	0,00
27	0,129	27	0,163	0,00
33	0,333	33	0,219	0,01
30	0,239	30	0,190	0,00
44	0,354	44	0,336	0,00
52	0,385	52	0,430	0,00
57	0,452	57	0,493	0,00
85	0,911	85	0,893	0,00
Soma =				0,03

Fonte: Autor (2017).

Aplicando o *Solver* obteve-se os seguintes valores:

$$a = 0,121$$

$$n = 1,486$$

$$Ho = 0,00 \text{ cm}$$

Tendo os valores de “a”, “n” e “Ho” determinados, pode-se então realizar a estimativa segundo o método logarítmico. Utilizando ainda a equação 4 foi elaborado as tabelas 14 a 17 com as estimativas de vazões para a parte superior da curva.

Tabela 14 - Estimativa de vazão logarítmica - P1

Logarítmico - P1				
Cota (cm)	a	n	Ho	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
72				1,297
80				1,978
90				3,115
100				4,612
110				6,518
120	1,40E-03	2,91	20,84	8,878
130				11,738
140				15,145
150				19,143
160				23,777
167,7				27,807

Fonte: Autor (2017).

Tabela 15 - Estimativa de vazão logarítmica - P2

<b>Logarítmico - P2</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>Ho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
130				0,681
150				0,894
170				1,135
190				1,403
210	0,006	1,91	0,00	1,698
230				2,020
250				2,368
270				2,742
290				3,143
310				3,569

Fonte: Autor (2017).

Tabela 16 - Estimativa de vazão logarítmica - P3 antes do evento

<b>Logarítmico - P3 antes do evento</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>Ho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
87				0,524
95				0,562
105				0,610
115				0,657
125	1,382	0,81	0,15	0,703
135				0,749
145				0,794
155				0,838
165				0,882
175				0,925

Fonte: Autor (2017).

Tabela 17 - Estimativa de vazão logarítmica - P3 depois do evento

<b>Logarítmico - P3 depois do evento</b>				
<b>Cota (cm)</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>Ho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
85				0,893
95				1,054
105				1,223
115				1,400
125	0,121	1,486	0,00	1,584
135				1,776
145				1,975
155				2,181
165				2,394
175				2,612

Fonte: Autor (2017).

#### 4.3.3. Método de Manning

O método de Manning assim como o de Stevens leva em consideração a topografia do leito do rio, e tenta ainda correlacionar as medições anteriores para realizar a estimativa de vazões acima da última cota medida.

Inicialmente esse método utiliza a equação 5 para determinar os valores de  $k_m$  para as medições realizadas, e posteriormente traçar o gráfico Cota X  $K_m$  para verificar se a assíntota é bem definida, a fim de projetar os  $k_m$  para as cotas de interesse e estimar as vazões a partir da equação 5, isolando a variável da vazão.

- Ponto 1:

A partir da equação 5 e dos valores de área molhada e perímetro molhado de cada medição, elaborou-se a tabela 18.

Tabela 18 - Valores de  $k_m$  para as vazões medidas no P1

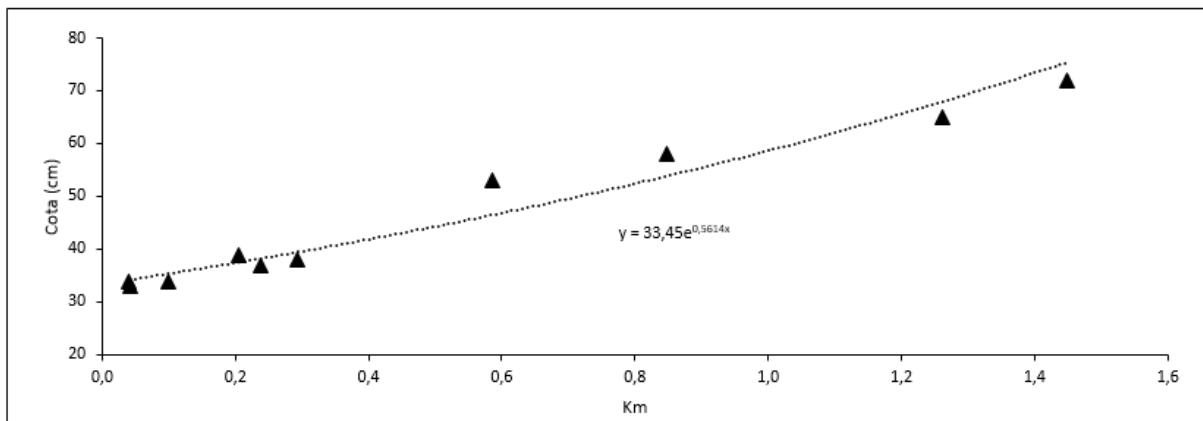
<b>Manning</b>					
<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Km</b>
34	0,62	2,33	0,266	0,0255	0,0998
39	0,72	2,60	0,278	0,0633	0,2054
34	0,62	2,33	0,266	0,0102	0,0400
33	0,60	2,39	0,251	0,0102	0,0427
37	0,68	2,51	0,271	0,0677	0,2374

Cota (cm)	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro Molhado(m)	Raio Hidráulico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Km
38	0,70	2,05	0,342	0,1005	0,2924
53	1,07	3,16	0,339	0,3053	0,5865
58	1,22	3,56	0,342	0,5057	0,8487
72	1,83	5,34	0,343	1,2981	1,4485
65	1,51	4,97	0,304	0,8604	1,2621

Fonte: Autor (2017).

A partir da tabela 18 foi traçado o gráfico que segue:

Figura 26 - Gráfico Cota X  $k_m$  – P1



Fonte: Autor (2017).

A figura 26 que mostra a relação Cota x  $k_m$ , teve uma assíntota bem definida, e foi aproximada a equação 16.

$$y = 33,45e^{0,5614x} \quad (16)$$

Onde “x” representa os valores da conta, em centímetros, e “y” os valores de  $k_m$ .

Utilizando a equação 16 obteve-se os valores de  $k_m$  para as cotas de interesse e assim estimou-se a vazão pelo método de Manning (equação 5). Estes valores estão apresentados na tabela 19.



Tabela 19 - Estimativa de vazão de Manning – P1

Manning – P1					
Cota (cm)	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro Molhado(m)	Raio Hidráulico (m)	Km	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
85,6	2,52	6,15	0,41	1,674	2,327
90,4	2,83	7,34	0,39	1,771	2,655
122,6	5,14	8,51	0,60	2,314	8,497
142,2	6,71	9,36	0,72	2,578	13,855
167,7	9,02	10,80	0,84	2,872	22,971

Fonte: Autor (2017).

- Ponto 2:

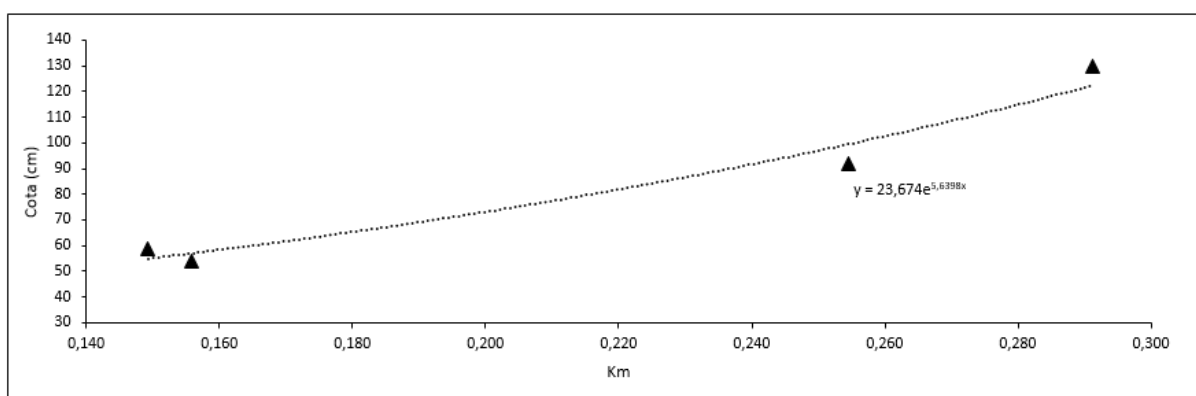
A partir da equação 5 e dos valores de área molhada e perímetro molhado de cada medição, elaborou-se a tabela 20.

Tabela 20 - Valores de  $k_m$  para as vazões medidas no P2

Cota (cm)	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro Molhado(m)	Raio Hidráulico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Km
54	1,39	3,12	0,45	0,126	0,156
92	2,18	3,99	0,55	0,371	0,255
130	3,18	5,11	0,62	0,675	0,291
59	1,49	3,21	0,46	0,133	0,149

Fonte: Autor (2017).

Com os dados da tabela 20 foi elaborado o gráfico abaixo:

Figura 27 - Gráfico Cota X  $K_m$  – P2

Fonte: Autor (2017).

Assim como no P1, a assíntota ficou bem definida, e pôde ser aproximada a equação

$$y = 23,674e^{5,6398x} \quad (17)$$

Onde “x” representa os valores da conta, em centímetros, e “y” os valores de  $k_m$ .

Utilizando a equação 17 obteve-se os valores de  $k_m$  e aplicando na equação 5, projetou as vazões para as cotas de interesse, conforme tabela 21.

Tabela 21 - Estimativa de vazão de Manning – P2

<b>Manning - P2</b>					
<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Km</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
150	3,84	5,76	0,67	0,33	0,959
170	4,61	6,4	0,72	0,35	1,213
190	5,47	7,07	0,77	0,37	1,509
210	6,45	7,74	0,83	0,39	1,870
230	7,52	8,37	0,90	0,40	2,292
250	8,69	9,02	0,96	0,42	2,775
270	9,98	9,78	1,02	0,43	3,311
290	11,38	10,38	1,10	0,44	3,961
310	12,83	10,85	1,18	0,46	4,697

Fonte: Autor (2017).

- Ponto 3 – antes do evento:

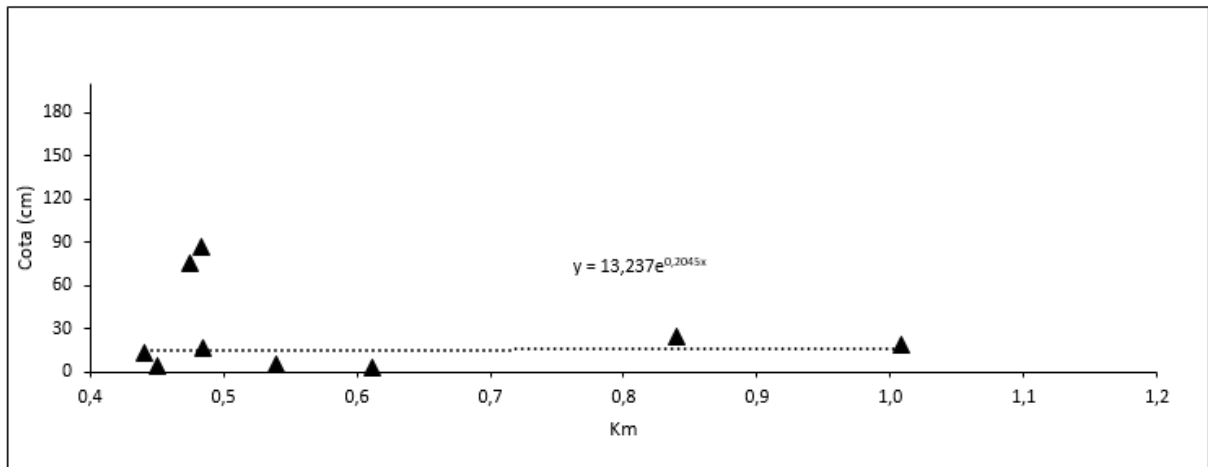
A partir da equação 5 e dos valores de área molhada e perímetro molhado de cada medição, elaborou-se a tabela 22.

Tabela 22 - Valores de  $k_m$  para as vazões medidas no P3 antes do evento

<b>Cota (cm)</b>	<b>Área Molhada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro Molhado(m)</b>	<b>Raio Hidráulico (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Km</b>
3	0,24	1,8	0,13	0,038	0,612
13	0,42	2,04	0,21	0,065	0,441
16	0,47	2,11	0,22	0,084	0,484
5	0,28	1,85	0,15	0,043	0,539
4	0,26	1,83	0,14	0,032	0,451
87	1,95	4,44	0,44	0,545	0,484
75	1,61	3,82	0,42	0,430	0,475
19	0,53	2,17	0,24	0,209	1,009
24	0,62	2,27	0,27	0,219	0,840

Fonte: Autor (2017).

Tendo os dados da tabela 22, foi elaborado o gráfico a seguir:

Figura 28 - Gráfico Cota X  $K_m$  – P3 antes do evento

Fonte: Autor (2017).

A figura 28 mostra que diferente dos Pontos 1 e 2, o Ponto 3 antes do evento não teve uma assíntota bem definida, o que levaria a valores negativos de  $k_m$ , o que geraria vazões negativas. Devido a este fato, os valores de  $k_m$  serão assumidos como constantes para a extrapolação, sendo que o valor assumido deve ser aquele que faça as vazões do início da extrapolação e do final da curva-chave coincidam, conforme explicado no capítulo 4.

Dessa maneira, e utilizando a equação 5, estimou-se as vazões, conforme representado na tabela 23.

Tabela 23 - Estimativa de vazão de Manning – P3 antes do evento

Manning - P3 antes do evento					
Cota (cm)	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro Molhado(m)	Raio Hidráulico (m)	Km	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
97	2,09	5,00	0,42	0,5	0,584
107	2,46	5,40	0,46		0,728
117	2,85	5,76	0,49		0,891
127	3,28	6,13	0,54		1,081
139,4	3,85	6,58	0,59		1,347

Fonte: Autor (2017).

- Ponto 3 – depois do evento:

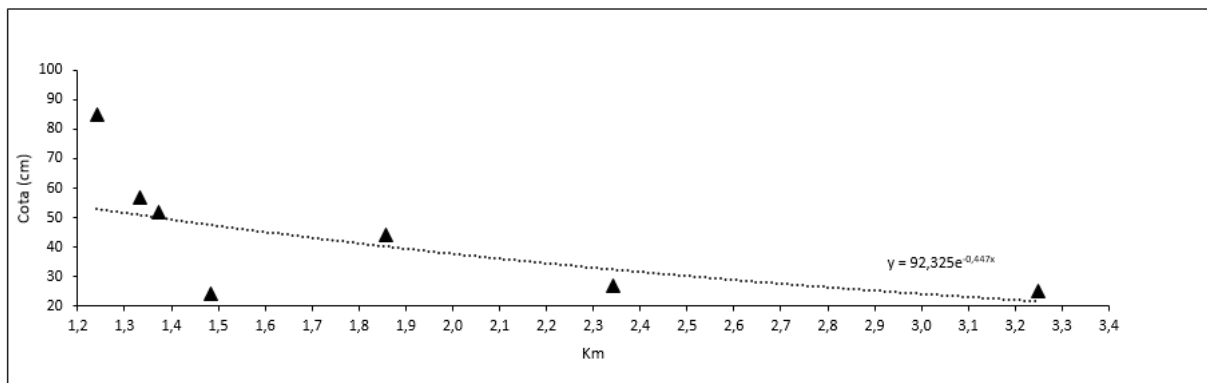
A partir da equação 5 e dos valores de área molhada e perímetro molhado de cada medição, elaborou-se a tabela 24.

Tabela 24- Valores de  $k_m$  para as vazões medidas no P3 depois do evento

Cota (cm)	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro Molhado(m)	Raio Hidráulico (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Km
24	0,17	1,45	0,12	0,060	1,485
25	0,18	1,49	0,12	0,143	3,249
27	0,21	1,57	0,13	0,129	2,342
44	0,50	2,12	0,24	0,354	1,857
52	0,65	2,29	0,28	0,385	1,373
57	0,74	2,39	0,31	0,452	1,334
85	1,28	2,95	0,43	0,911	1,241

Fonte: Autor (2017).

Com base nos dados da tabela 24, foi elaborado o gráfico que segue:

Figura 29 - Gráfico Cota X  $K_m$  – P3 depois do evento

Fonte: Autor (2017).

A figura 29 mostra que diferente dos Pontos 1 e 2, e similar ao Ponto 3 antes do evento, o Ponto 3 depois do evento não desenvolveu uma assíntota bem definida, o que nos remete a fixar um valor para  $k_m$  novamente.

Dessa forma e aplicando a equação 5, obtivemos os valores para as vazões, conforme tabela 25.

Tabela 25 - Estimativa de vazão de Manning – P3 antes do evento

Manning - P3 depois do evento					
Cota (cm)	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro Molhado(m)	Raio Hidráulico (m)	Km	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
92	1,42	3,09	0,46	1,2	1,015
99	1,56	3,38	0,46		1,118
119	2,05	4,32	0,47		1,497
139	2,7	5,35	0,50		2,054
179	4,42	6,8	0,65		3,980

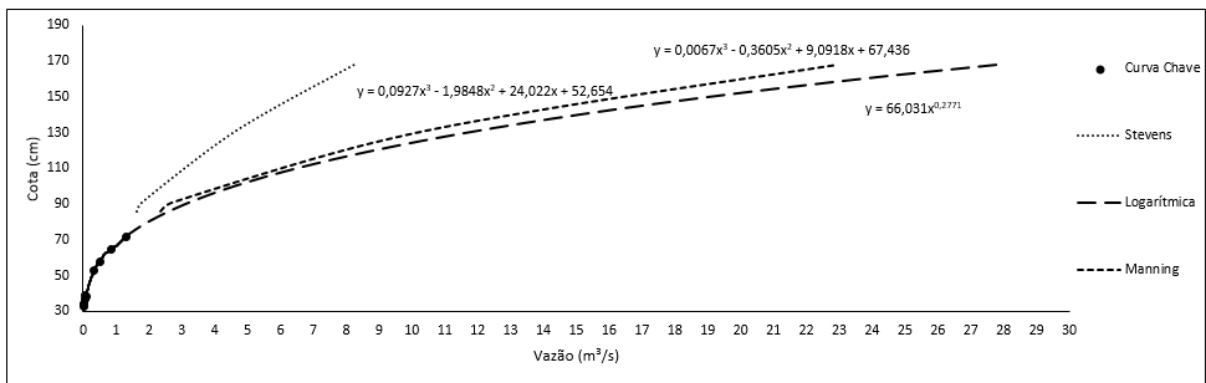
Fonte: Autor (2017).

Finalmente, depois de ter as três extrapolações, foi elaborado os gráficos de Cota X Vazão das extrapolações.

- Ponto 1:

Com os dados da curva-chave (Figura 21), da extrapolação de Stevens (Tabela 6), da logarítmica (Tabela 14) e de Manning (Tabela 19) foi elaborado o gráfico Cota X Vazão (Figura 30), comparando os três métodos de extrapolação.

Figura 30 – Extrapolações da curva-chave – P1



Fonte: Autor (2017).

Com base na figura 30, chegamos as equações 18 a 20 que descrevem cada extrapolação.

$$\rightarrow \text{Stevens: } y = 0,0927x^3 - 1,9848x^2 + 24,022x + 52,654 \quad (18)$$

$$\rightarrow \text{Logarítmica: } y = 66,021x^{0,2771} \quad (19)$$

$$\rightarrow \text{Manning: } y = 0,0067x^3 - 0,3605x^2 + 9,0918x + 67,436 \quad (20)$$

Onde:

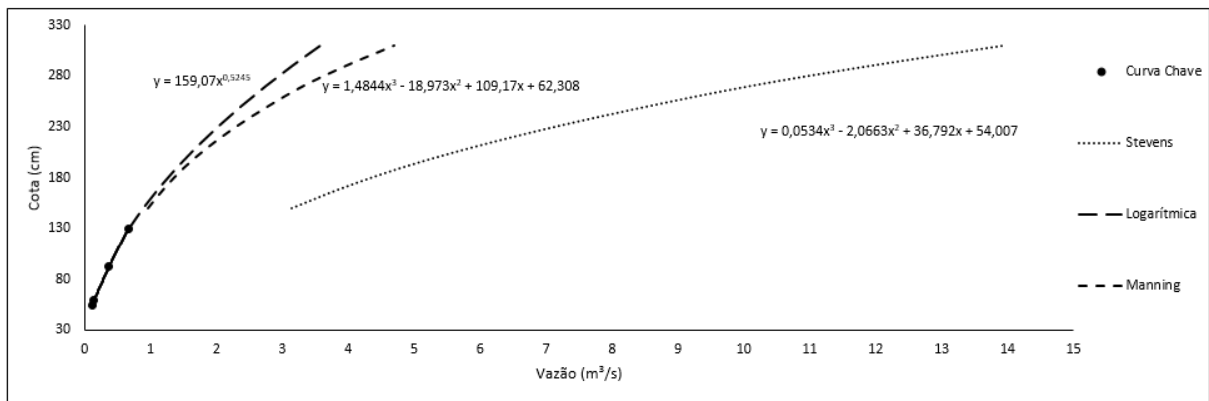
$y$  = cota (cm);

$x$  = vazão (m<sup>3</sup>/s).

- Ponto 2:

Com os dados da curva-chave (Figura 22), da extrapolação de Stevens (Tabela 7), da logarítmica (Tabela 15) e de Manning (Tabela 21) foi elaborado o gráfico Cota X Vazão (Figura 31), comparando os três métodos de extrapolação.

Figura 31 - Extrapolações da curva-chave – P2



Fonte: Autor (2017).

Com base na figura 31, chegamos as equações 21 a 23 que descrevem cada extrapolação.

$$\rightarrow \text{Stevens: } y = 0,0534x^3 - 2,0663x^2 + 36,792x + 54,007 \quad (21)$$

$$\rightarrow \text{Logarítmica: } y = 159,07x^{0,5245} \quad (22)$$

$$\rightarrow \text{Manning: } y = 1,4844x^3 - 18,973x^2 + 109,17x + 62,308 \quad (23)$$

Onde:

$y$  = cota (cm);

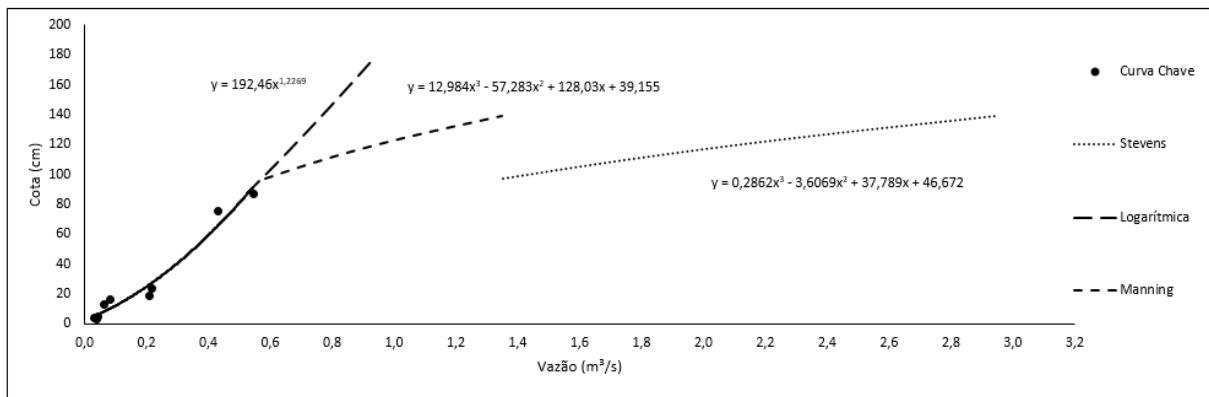
$x$  = vazão ( $m^3/s$ ).

A figura 31 mostra que a curva gerada pela extrapolação de Stevens está deslocada a curva-chave, este fato ocorre por que Stevens considera a topografia para a extrapolação, ao contrário do logarítmico, que não leva em consideração a topografia, onde esse deslocamento jamais ocorrerá.

- Ponto 3 – antes do evento

Com os dados da curva-chave (Figura 23), da extrapolação de Stevens (Tabela 8), da logarítmica (Tabela 16) e de Manning (Tabela 23) foi elaborado o gráfico Cota X Vazão (Figura 32), comparando os três métodos de extrapolação.

Figura 32 - Extrapolações da curva-chave – P3 antes do evento



Fonte: Autor (2017).

Com base na figura 32, chegamos as equações 24 a 26 que descrevem cada extrapolação.

$$\rightarrow \text{Stevens: } y = 0,2862x^3 - 3,6069x^2 + 37,789x + 46,672 \quad (24)$$

$$\rightarrow \text{Logarítmica: } y = 192,46x^{1,2269} \quad (25)$$

$$\rightarrow \text{Manning: } y = 12,984x^3 - 57,283x^2 + 128,03x + 39,155 \quad (26)$$

Onde:

$y$  = cota (cm);

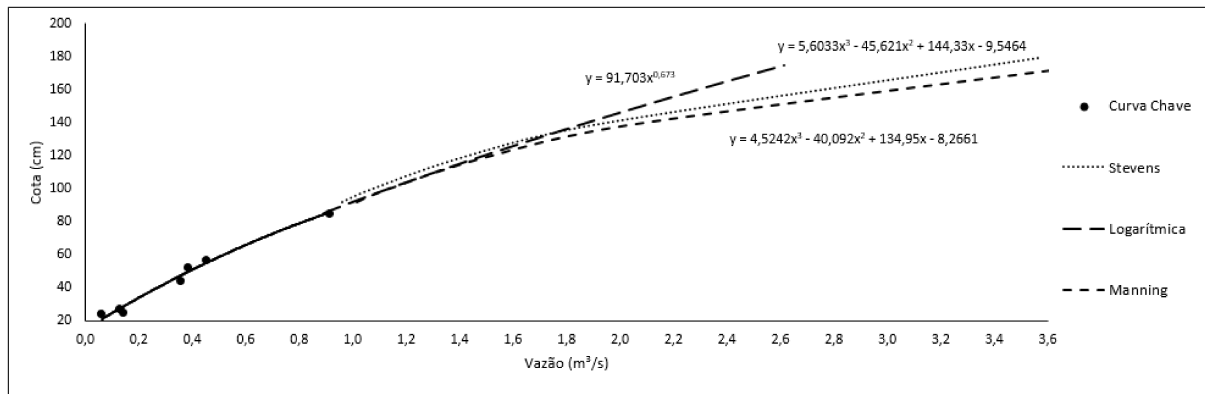
$x$  = vazão (m³/s).

Nota-se que na figura 32 que a extrapolação de Stevens fica deslocada da curva-chave, fato esse provocado pela extrapolação de Stevens considerar a topografia da seção como fator principal para esta estimativa.

- Ponto 3 – depois do evento:

Com os dados da curva-chave (Figura 24), da extrapolação de Stevens (Tabela 9), da logarítmica (Tabela 17) e de Manning (Tabela 25) foi elaborado o gráfico Cota X Vazão (Figura 33), comparando os três métodos de extrapolação.

Figura 33 - Extrapolações da curva-chave – P3 depois do evento



Fonte: Autor (2017).

Com base na figura 33, chegamos as equações 27 a 29 que descrevem cada extrapolação.

$$\rightarrow \text{Stevens: } y = 5,6033x^3 - 45,621x^2 + 144,33x - 9,5464 \quad (27)$$

$$\rightarrow \text{Logarítmica: } y = 91,703x^{0,673} \quad (28)$$

$$\rightarrow \text{Manning: } y = 4,5242x^3 - 40,092x^2 + 134,95x - 8,2661 \quad (29)$$

Onde:

$y$  = cota (cm);

$x$  = vazão (m³/s).

#### 4.4. ANÁLISE DE ERRO

Tendo todas as curvas-chave e extrapolações feitas, calculou-se o erro na cota máxima para cada extrapolação em comparação ao medido, bem como o erro médio gerado por cada método comparado com a curva-chave.

##### 4.4.1. Erro na cota máxima ( $E_{h_{\text{máx}}}$ )

Com base na vazão medida na cota máxima, e das estimativas referente a cada método de extrapolação, pode-se calcular o erro que cada método apresentou na cota máxima de medição. Para isto foi utilizado a equação 6. Os resultados estão apresentados nas tabelas 26 a 29.



Tabela 26 - Erro na cota máxima - P1

<b>Cota 72 cm</b>	<b>Medido</b>	<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	1,298	1,071	1,297	1,500
<b>Eh<sub>max</sub> (%)</b>		<b>17,5</b>	<b>0,1</b>	<b>-15,5</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 27 - Erro na cota máxima - P2

<b>Cota 130 cm</b>	<b>Medido</b>	<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,675	2,509	0,681	0,759
<b>Eh<sub>max</sub> (%)</b>		<b>-271,6</b>	<b>0,8</b>	<b>12,4</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 28 - Erro na cota máxima - P3 antes do evento

<b>Cota 87 cm</b>	<b>Medido</b>	<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,545	1,292	0,524	0,563
<b>Eh<sub>max</sub> (%)</b>		<b>-137,0</b>	<b>4,0</b>	<b>-3,3</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 29 - Erro na cota máxima - P3 depois do evento

<b>Cota 85 cm</b>	<b>Medido</b>	<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,911	0,843	0,893	0,880
<b>Eh<sub>max</sub> (%)</b>		<b>7,4</b>	<b>1,9</b>	<b>3,3</b>

Fonte: Autor (2017).

Com as tabelas 26 – 29 pode-se observar que o método logarítmico apresenta o menor erro de vazão na cota máxima em todos os pontos de monitoramento, isto ocorre devido ao fato de que esse método só leva em consideração para análise de extrapolação as medidas anteriores, desconsiderando a topografia da seção.

#### 4.4.2. Erro médio ( $E_{med}$ )

Baseando-se nas equações da curva-chave e das extrapolações pôde-se determinar o erro médio provocado por cada extrapolação, para isto calculou-se a vazão de 10 em 10 cm acima da última medição realizada e calculou o erro a partir da equação 7. Os resultados estão expostos nas tabelas 30 a 33.

Tabela 30 – Erro médio – P1

Cota (cm)	Vazão (m³/s)				Erro		
	Medido	Stevens	Logarítmico	Manning	Stevens	Logarítmico	Manning
72	1,298	1,071	1,297	1,500	0,175	0,001	0,155
82	1,579	1,366	2,185	1,715	0,164	0,467	0,105
92	1,748	1,913	3,310	3,050	0,128	1,203	1,003
102	1,874	2,516	4,803	4,555	0,494	2,256	2,065
112	1,977	3,183	6,732	6,285	0,929	3,663	3,319
122	2,064	3,927	9,165	8,324	1,435	5,470	4,822
132	2,141	4,758	12,179	10,795	2,016	7,733	6,666
142	2,210	5,675	15,852	13,848	2,669	10,508	8,965
152	2,273	6,661	20,264	17,482	3,380	13,859	11,716
162	2,331	7,673	25,503	21,201	4,115	17,850	14,536
	<b>Em (%)</b>				<b>155,050</b>	<b>630,116</b>	<b>533,516</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 31 - Erro médio - P2

Cota (cm)	Vazão (m³/s)				Erro		
	Medido	Stevens	Logarítmico	Manning	Stevens	Logarítmico	Manning
130	0,675	2,509	0,681	0,759	2,716	0,008	0,124
140	0,779	2,725	0,784	0,798	2,883	0,008	0,029
150	0,875	3,108	0,894	0,872	3,309	0,029	-0,004
160	0,975	3,510	1,011	0,962	3,756	0,054	-0,019
170	1,079	3,933	1,135	1,068	4,229	0,084	-0,016
180	1,187	4,380	1,266	1,190	4,730	0,117	0,005
190	1,299	4,853	1,403	1,328	5,266	0,155	0,044
200	1,415	5,356	1,547	1,482	5,839	0,197	0,100
210	1,535	5,893	1,698	1,652	6,457	0,242	0,174
220	1,659	6,469	1,856	1,838	7,126	0,292	0,266
230	1,787	7,088	2,020	2,040	7,854	0,346	0,375
240	1,919	7,757	2,191	2,258	8,649	0,403	0,503
250	2,055	8,482	2,368	2,492	9,521	0,464	0,648
260	2,195	9,266	2,552	2,742	10,476	0,529	0,811
270	2,339	10,114	2,742	3,008	11,518	0,598	0,992
280	2,487	11,021	2,939	3,290	12,643	0,670	1,190
290	2,639	11,977	3,142	3,588	13,833	0,746	1,406
300	2,795	12,959	3,352	3,902	15,057	0,826	1,640
310	2,955	13,939	3,568	4,232	16,272	0,909	1,892
	<b>Em (%)</b>				<b>800,707</b>	<b>35,143</b>	<b>53,477</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 32 - Erro médio - P3 antes do evento

Cota (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)				Erro		
	Medido	Stevens	Logarítmico	Manning	Stevens	Logarítmico	Manning
87	0,545	1,292	0,524	0,563	1,370	0,040	0,033
97	0,567	1,528	0,572	0,584	1,762	0,010	0,032
107	0,605	1,885	0,620	0,728	2,347	0,026	0,225
117	0,642	2,262	0,667	0,892	2,970	0,044	0,458
127	0,678	2,658	0,713	1,081	3,631	0,064	0,739
137	0,712	3,071	0,758	1,293	4,326	0,084	1,065
<b>Em (%)</b>					<b>273,438</b>	<b>4,477</b>	<b>42,543</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 33 - Erro médio - P3 depois do evento

Cota (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)				Erro		
	Medido	Stevens	Logarítmico	Manning	Stevens	Logarítmico	Manning
85	0,911	0,843	0,893	0,880	0,074	0,019	0,033
95	1,098	1,458	1,054	1,058	0,395	0,049	-0,044
105	1,295	1,812	1,223	1,221	0,567	0,079	-0,081
115	1,506	2,185	1,400	1,410	0,745	0,117	-0,105
125	1,731	2,577	1,584	1,636	0,929	0,161	-0,105
135	1,970	2,987	1,776	1,918	1,117	0,213	-0,057
145	2,223	3,413	1,975	2,297	1,306	0,272	0,080
155	2,490	3,849	2,181	2,825	1,492	0,339	0,367
165	2,771	4,290	2,394	3,404	1,668	0,415	0,695
175	3,066	4,730	2,612	3,842	1,827	0,498	0,852
<b>Em (%)</b>					<b>101,194</b>	<b>21,626</b>	<b>16,351</b>

Fonte: Autor (2017).

A partir dos erros na cota máxima e dos erros médios criou-se a tabela 34, nela estão de forma resumida os erros de cada método e para cada ponto analisado.

Tabela 34 - Resumo da análise de erros

	P1		P2		P3 antes		P3 depois	
	Ehmax (%)	Em (%)	Ehmax (%)	Em (%)	Ehmax (%)	Em (%)	Ehmax (%)	Em (%)
<b>Stevens</b>	17,5	155,1	-271,6	800,7	-137,0	273,4	7,4	101,2
<b>Logarítmico</b>	0,1	630,1	0,8	35,1	4,0	4,5	1,9	21,6
<b>Manning</b>	-15,5	533,5	12,4	53,5	-3,3	42,5	3,3	16,4

Fonte: Autor (2017).

Baseando-se na tabela 34, podemos pressupor que o melhor método de extrapolação para o Ponto 1 é o de Stevens, mesmo não apresentando menor erro na cota máxima, ainda pode-se dizer que é o melhor, já que o mesmo apresenta o menor erro médio, que é calculado em toda extensão da extrapolação, e não em um ponto apenas como o outro erro. Já para os Pontos 2, 3 antes do evento e 3 depois do evento a melhor extrapolação é a logarítmica, apresentando menor erro médio e menor erro na cota máxima simultaneamente.

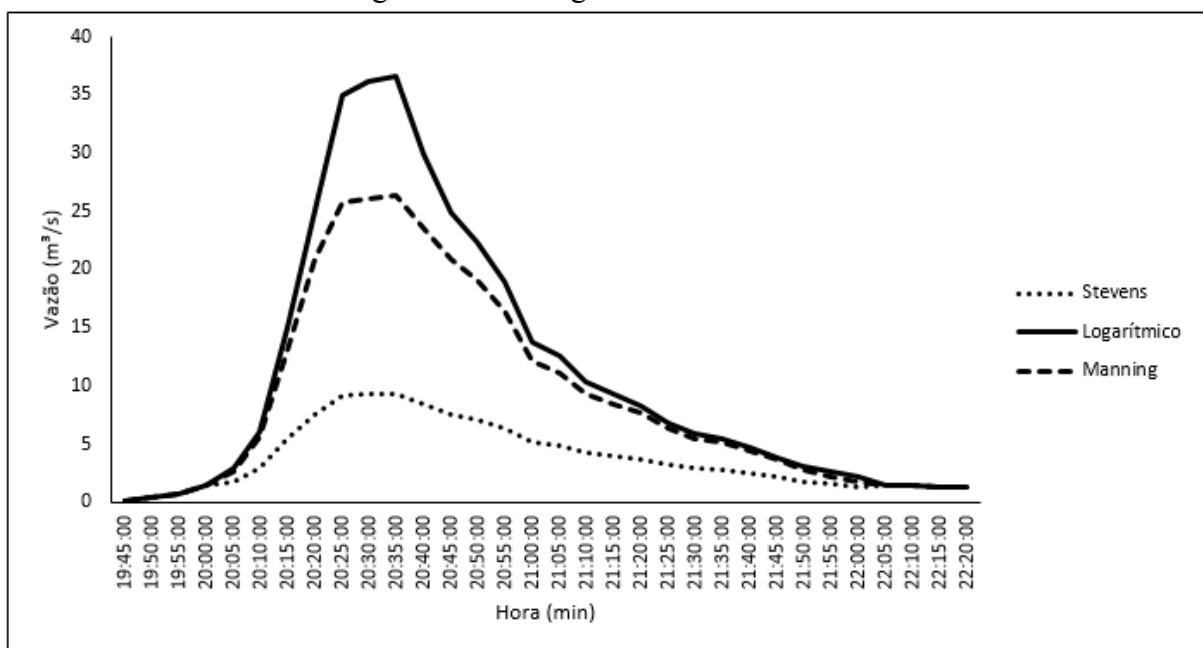
#### 4.5. HIDROGRAMAS DOS EVENTOS

Com os dados das estações de monitoramento, foram transformados os dados de nível em vazão de acordo com as três extrapolações, Stevens, logarítmica e Manning.

A partir desses dados de vazão foram selecionados eventos nos quais os níveis monitorados foram acima da cota máxima medida.

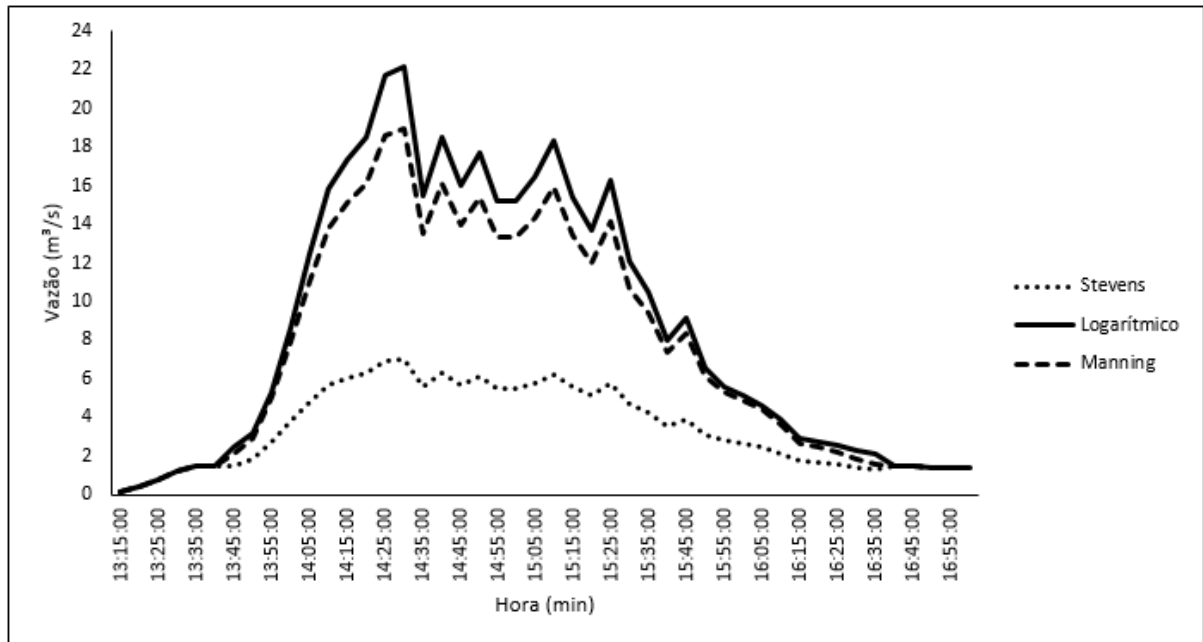
- Ponto 1:

Figura 34 - Hidrograma 26/01/2017 - P1



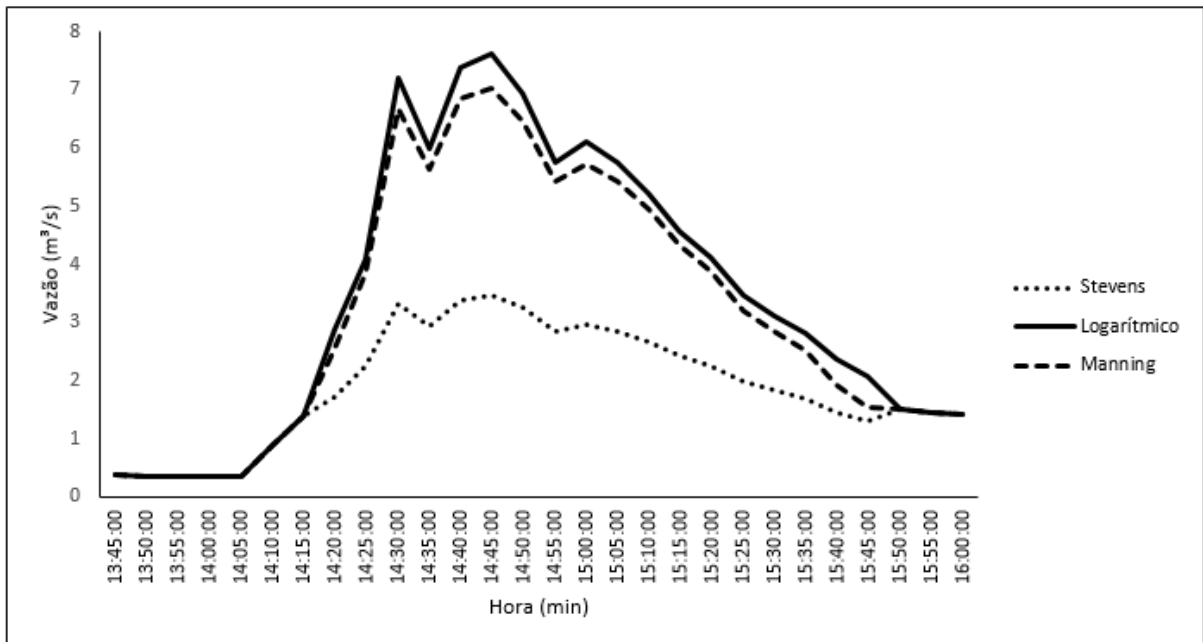
Fonte: Autor (2017).

Figura 35 - Hidrograma 30/01/2017 - P1



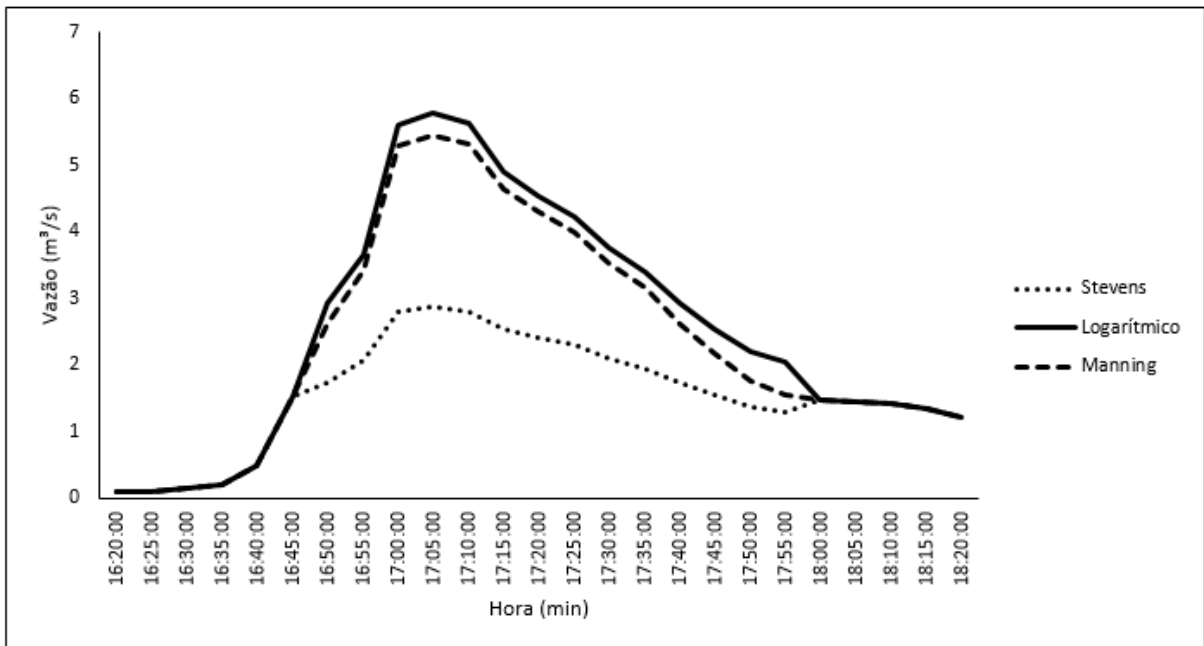
Fonte: Autor (2017).

Figura 36 - Hidrograma 31/01/2017 - P1



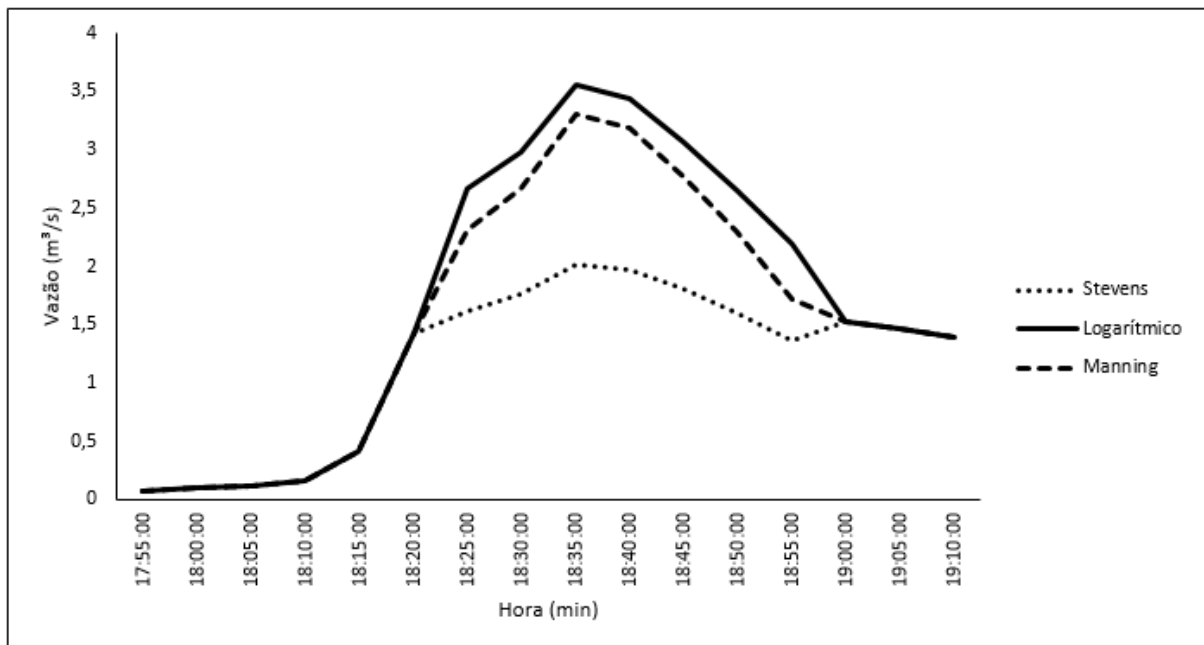
Fonte: Autor (2017).

Figura 37 - Hidrograma 01/02/2017 - P1



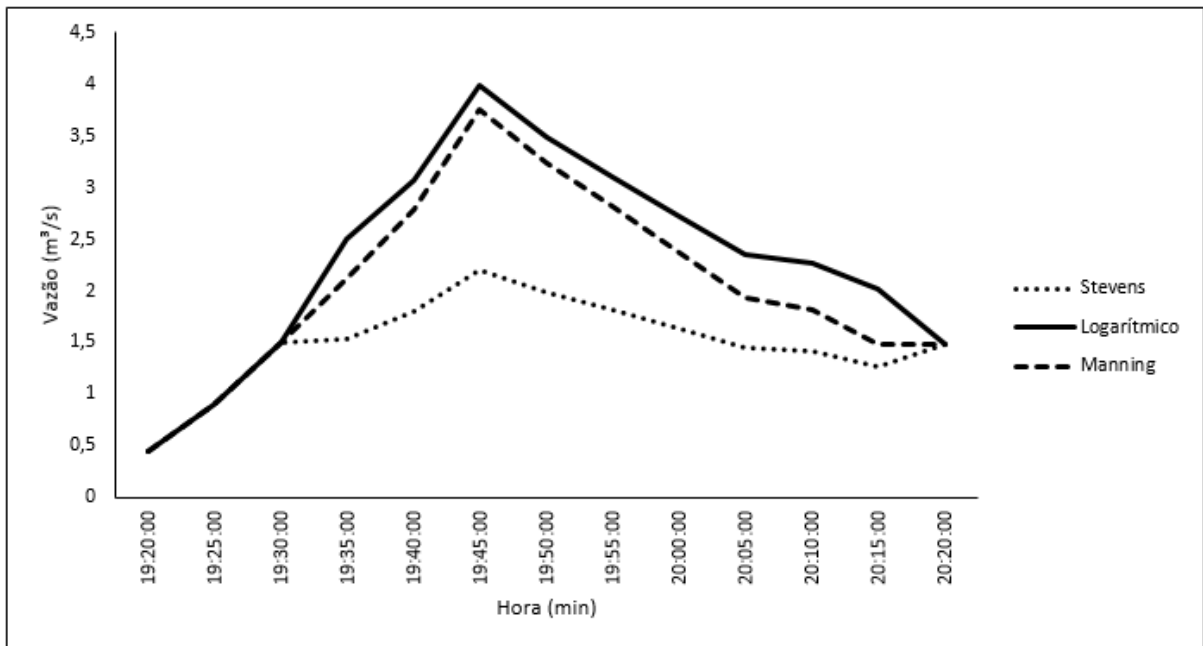
Fonte: Autor (2017).

Figura 38 - Hidrograma 16/03/2017 - P1



Fonte: Autor (2017).

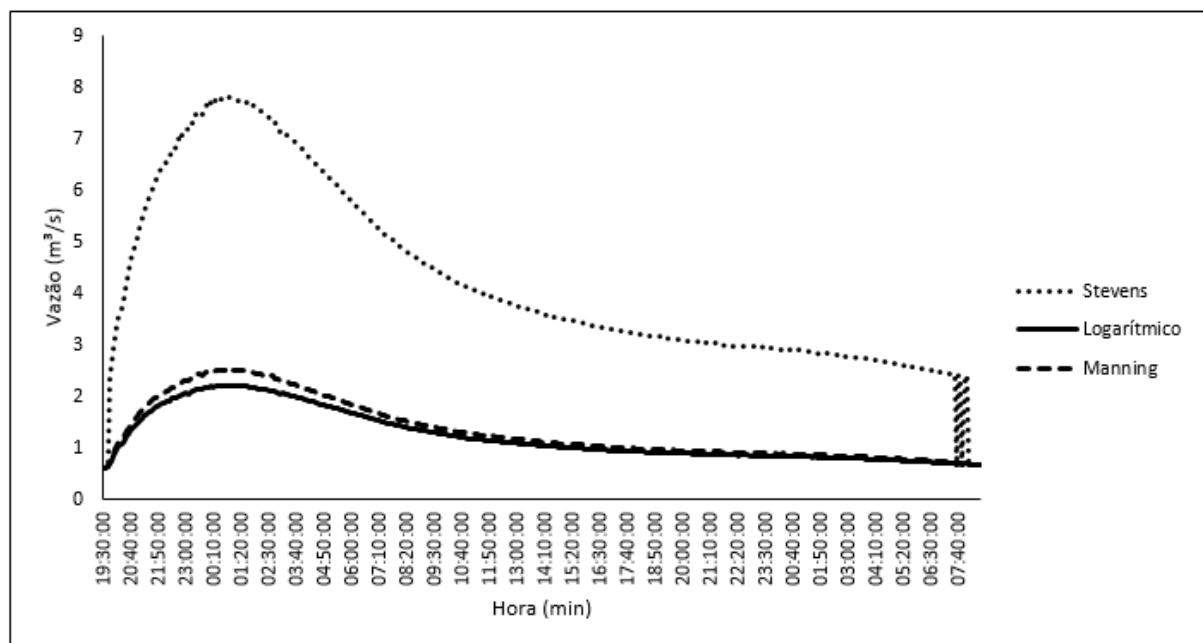
Figura 39 - Hidrograma 11/04/2017 - P1



Fonte: Autor (2017).

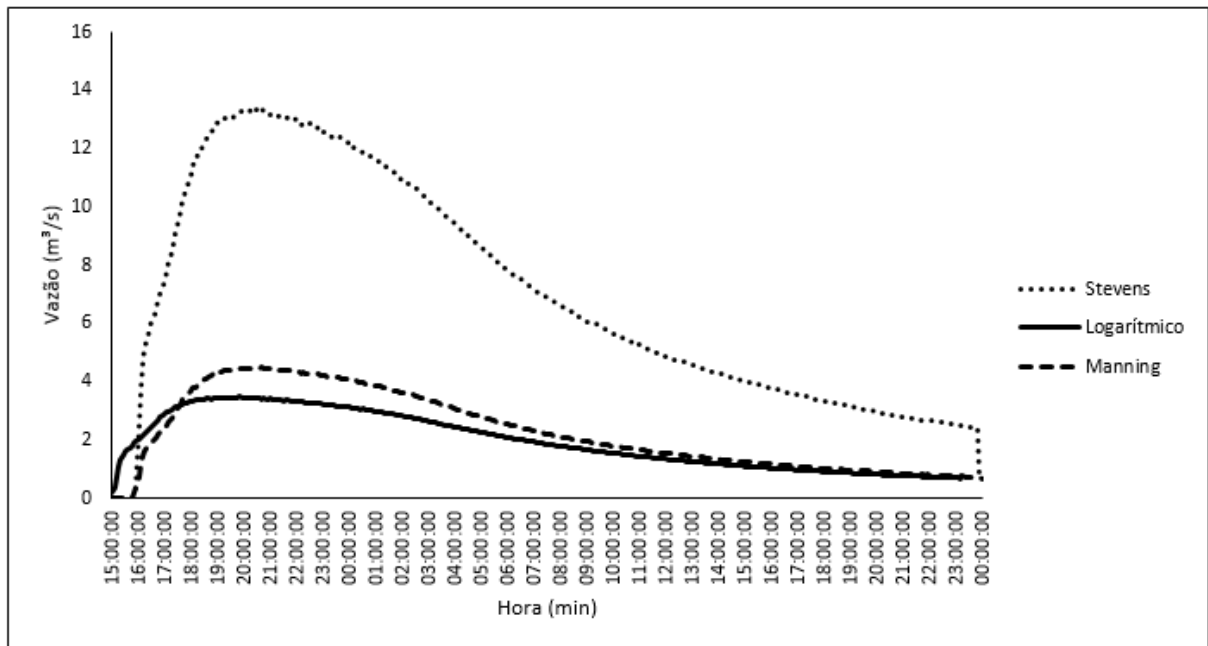
- Ponto 2:

Figura 40 - Hidrograma 12-14/02/2017 - P2



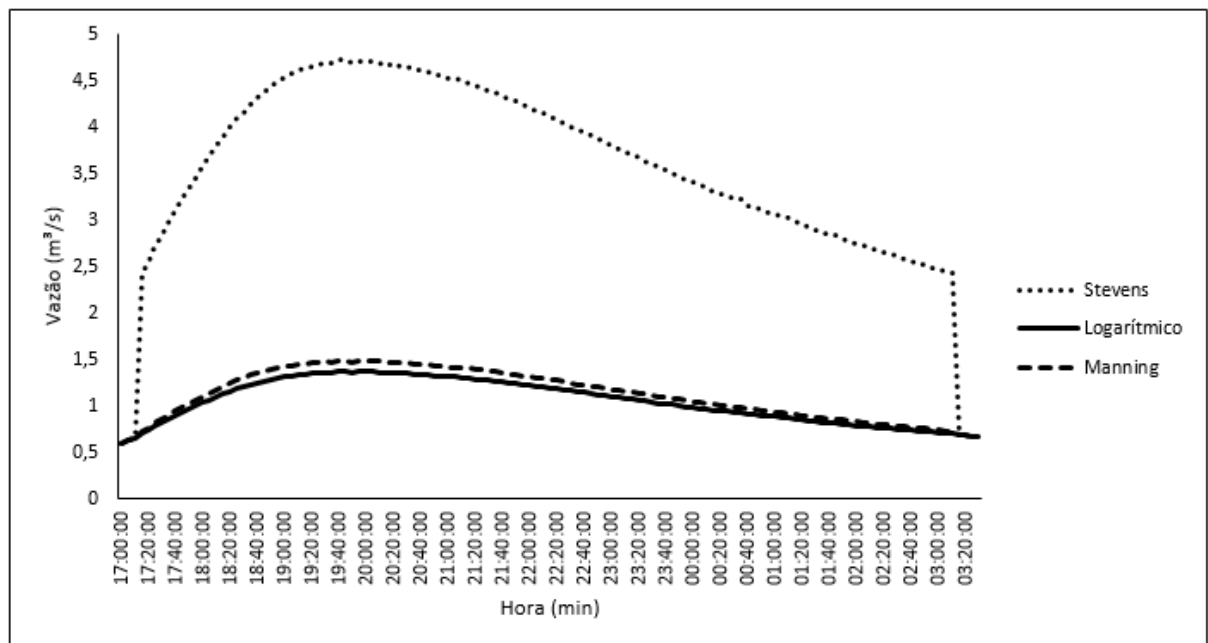
Fonte: Autor (2017).

Figura 41 - Hidrograma 23-24/02/2017 - P2



Fonte: Autor (2017).

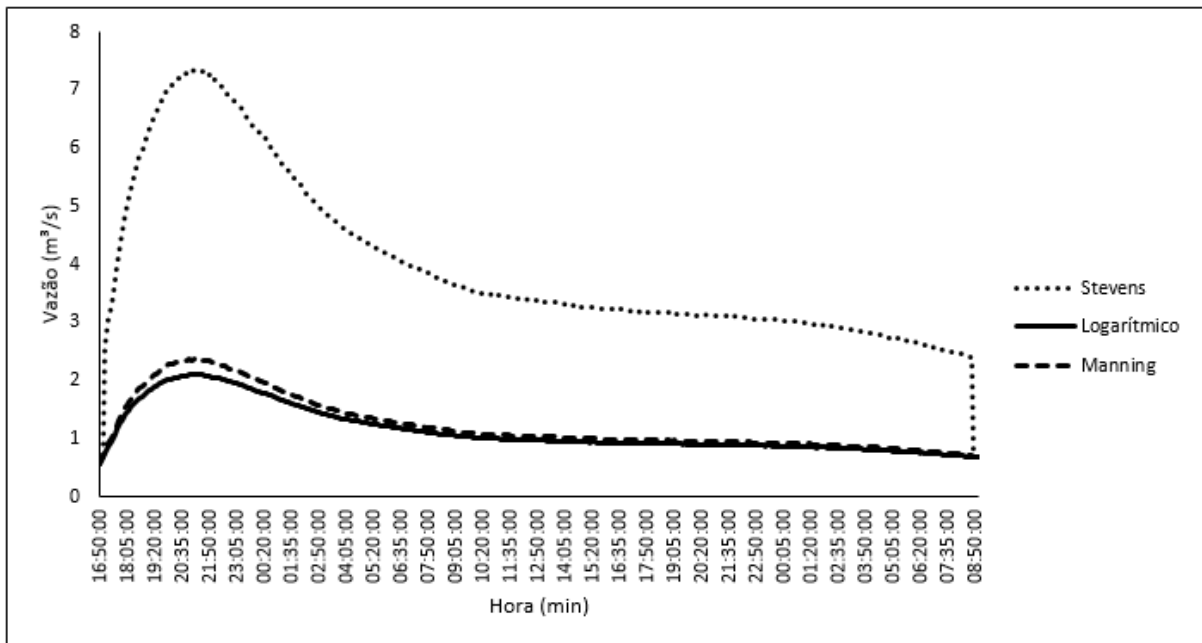
Figura 42 - Hidrograma 03-04/03/2017 - P2



Fonte: Autor (2017).

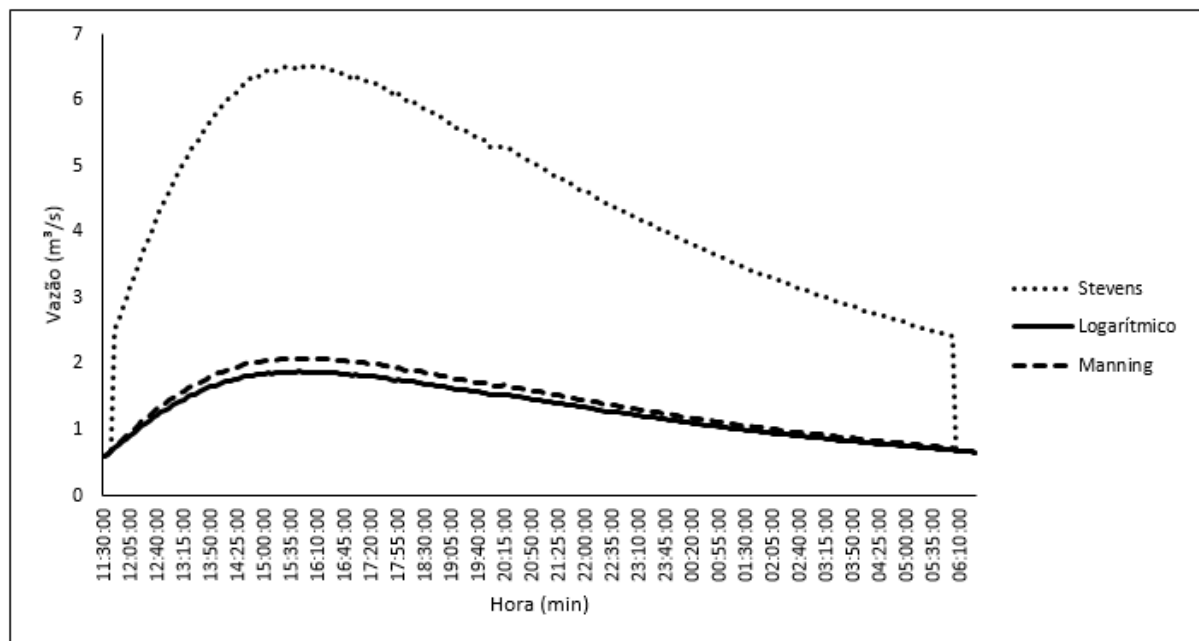


Figura 43 - Hidrograma 05-07/03/2017 - P2



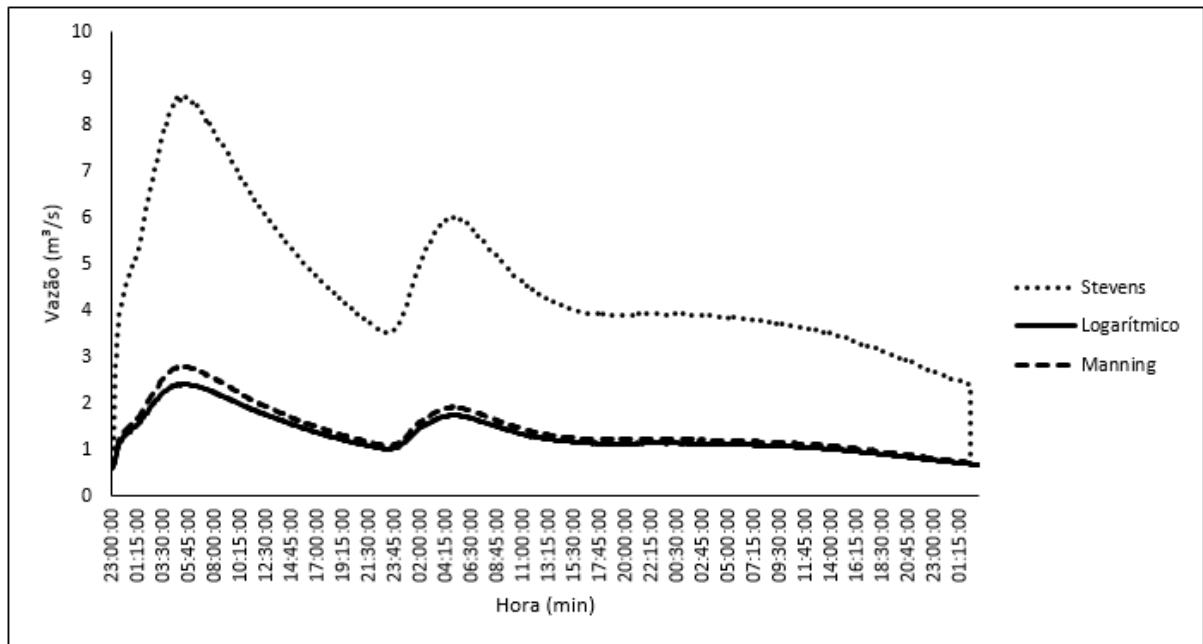
Fonte: Autor (2017).

Figura 44 - Hidrograma 17-18/03/2017 - P2



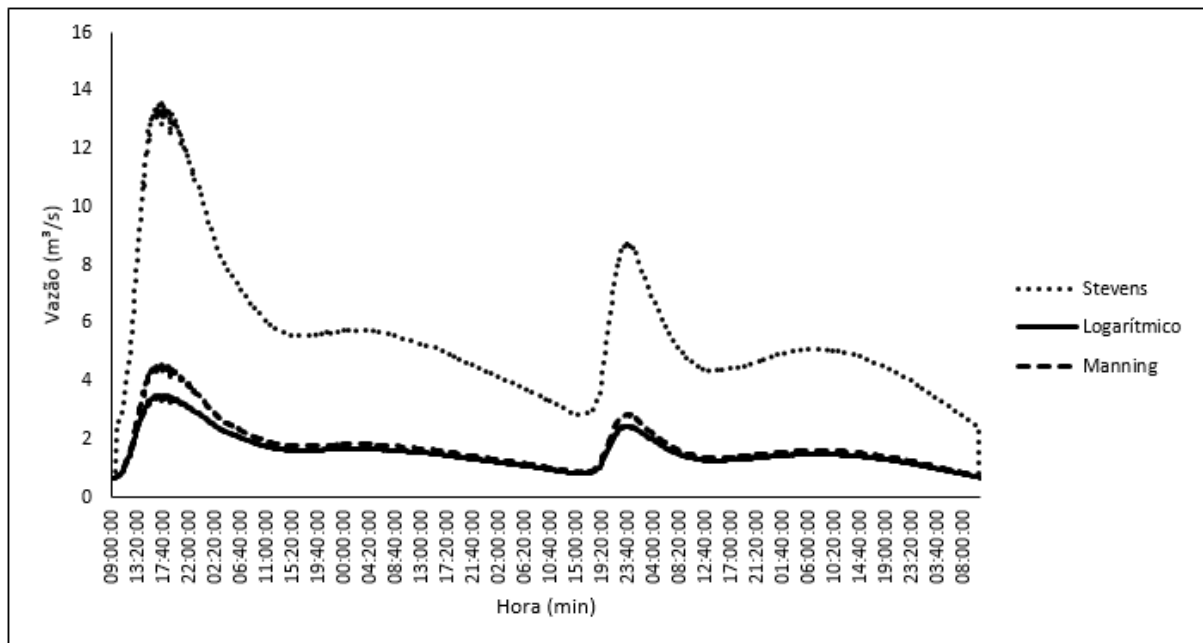
Fonte: Autor (2017).

Figura 45 - Hidrograma 22-26/03/2017 - P2



Fonte: Autor (2017).

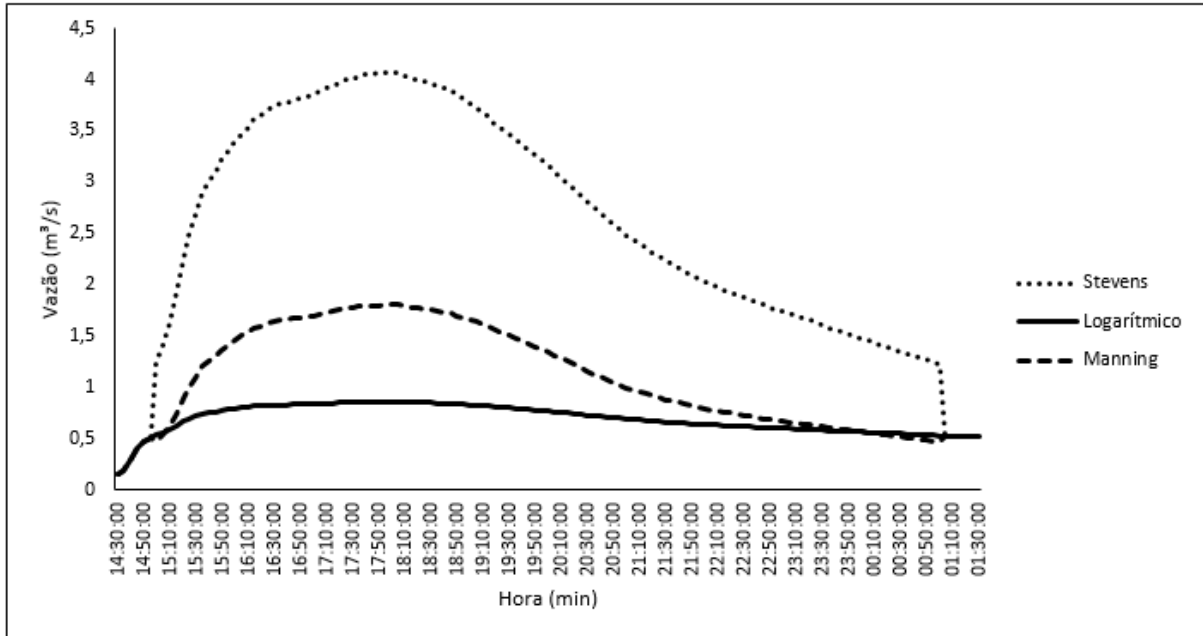
Figura 46 - Hidrograma 08-14/04/2017 - P2



Fonte: Autor (2017).

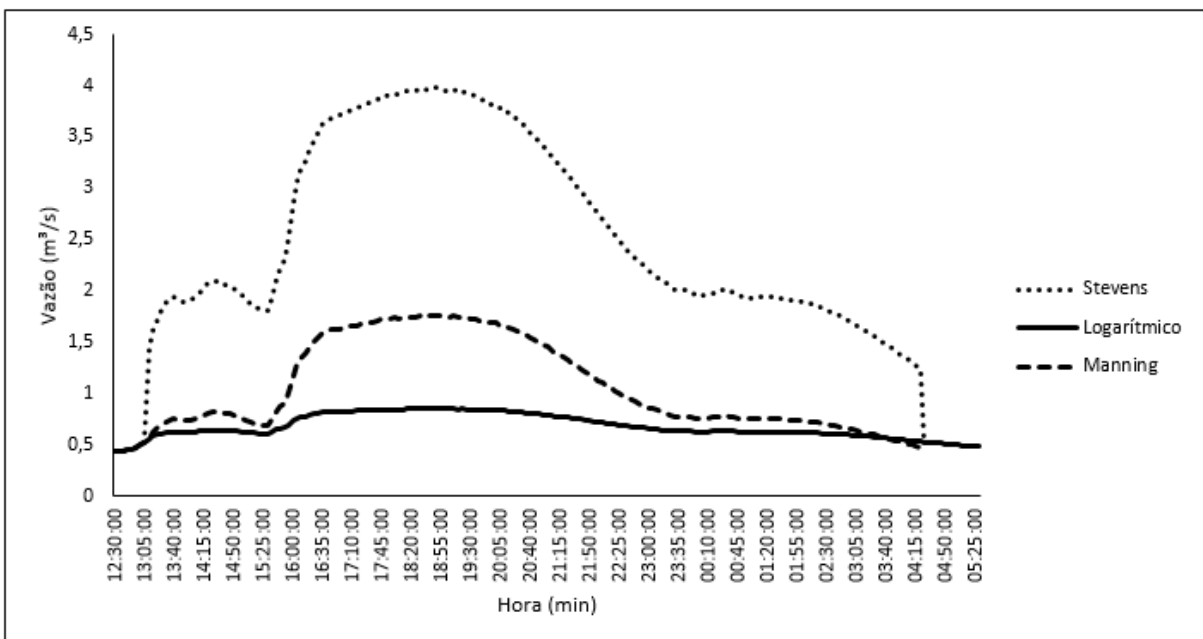
- Ponto 3 - antes do evento:

Figura 47 - Hidrograma 30-31/01/2017 – P3 antes do evento



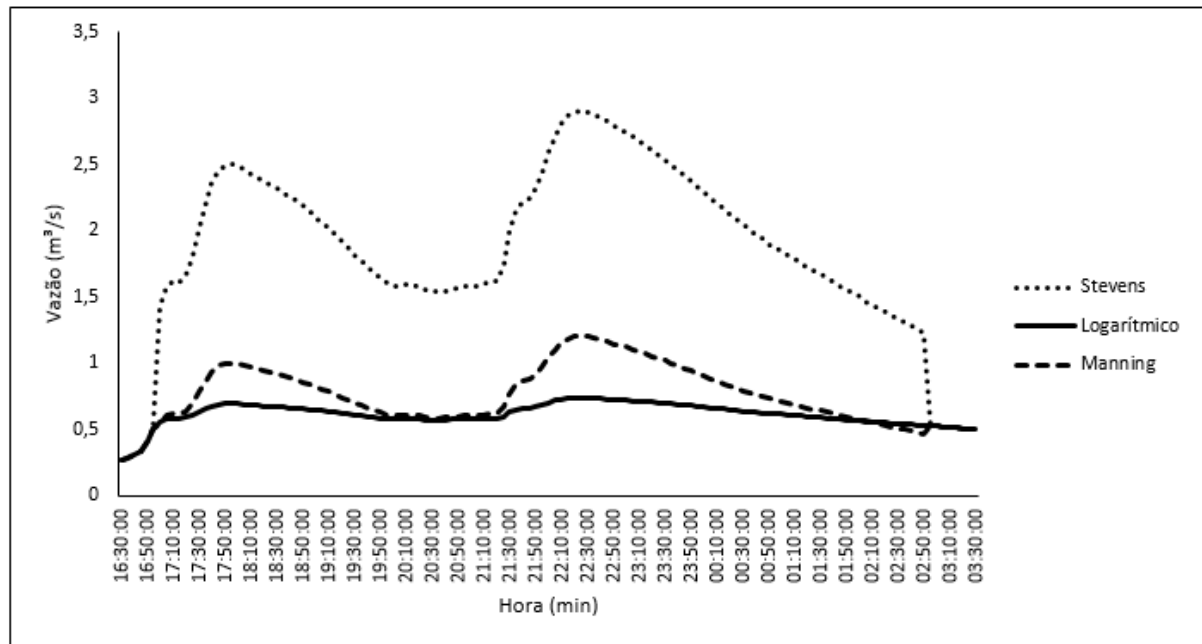
Fonte: Autor (2017).

Figura 48 - Hidrograma 31-01/02/2017 – P3 antes do evento



Fonte: Autor (2017).

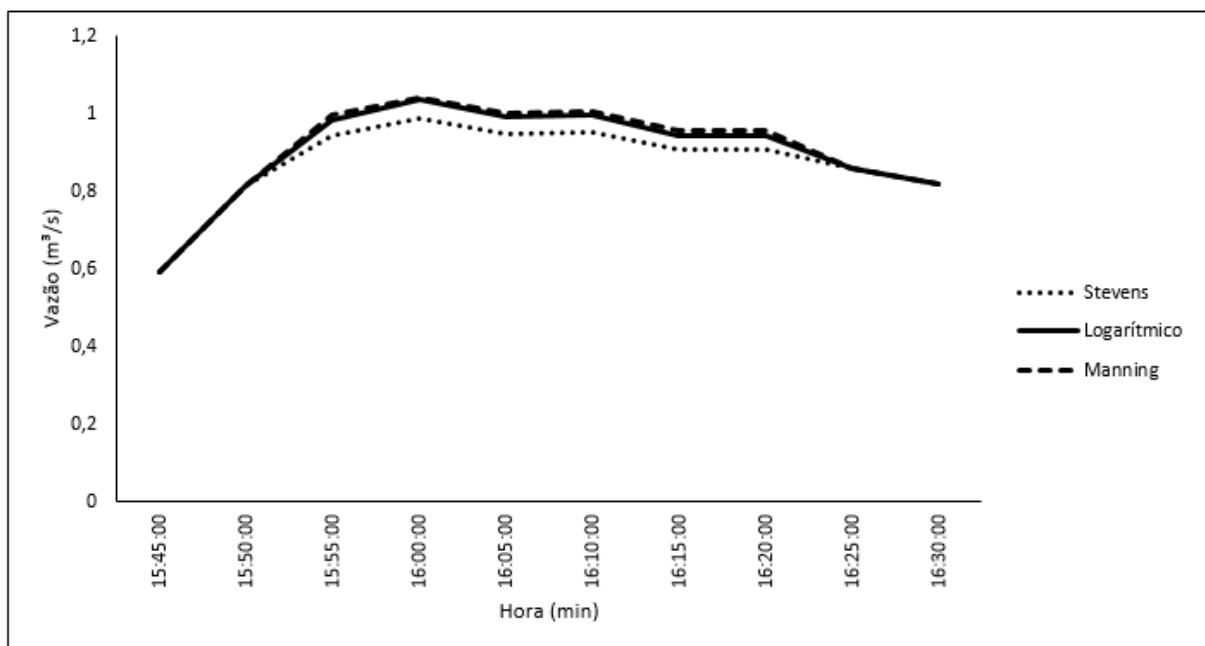
Figura 49 - Hidrograma 01-02/02/2017 – P3 antes do evento



Fonte: Autor (2017).

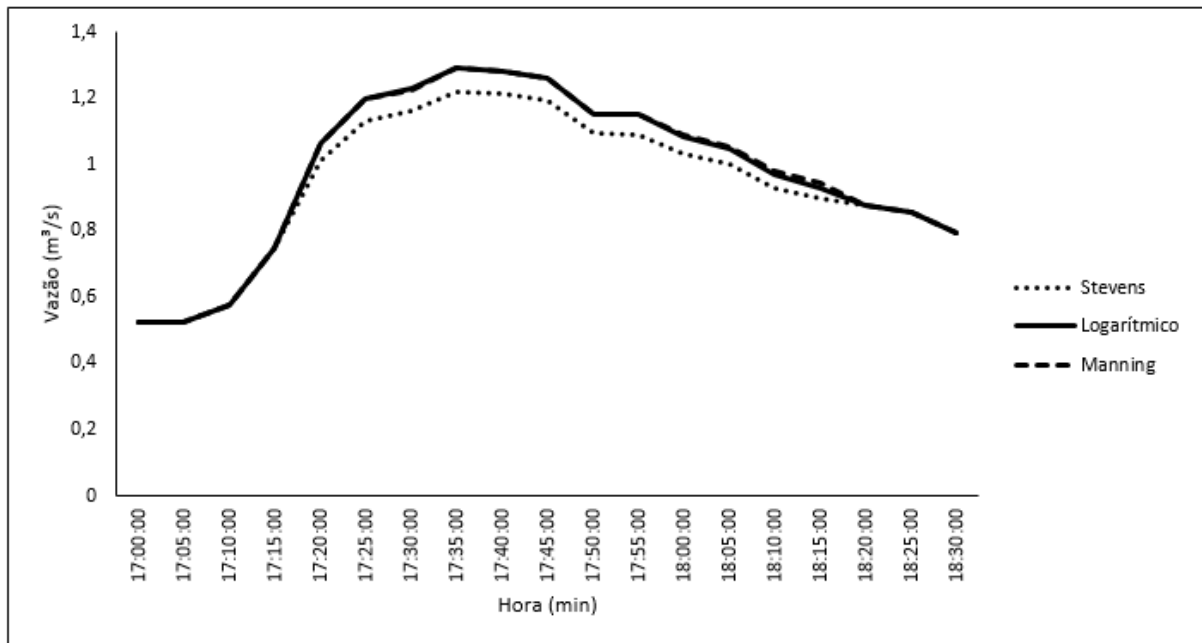
- Ponto 3 – depois do evento:

Figura 50 - Hidrograma 03/03/2017 – P3 depois do evento



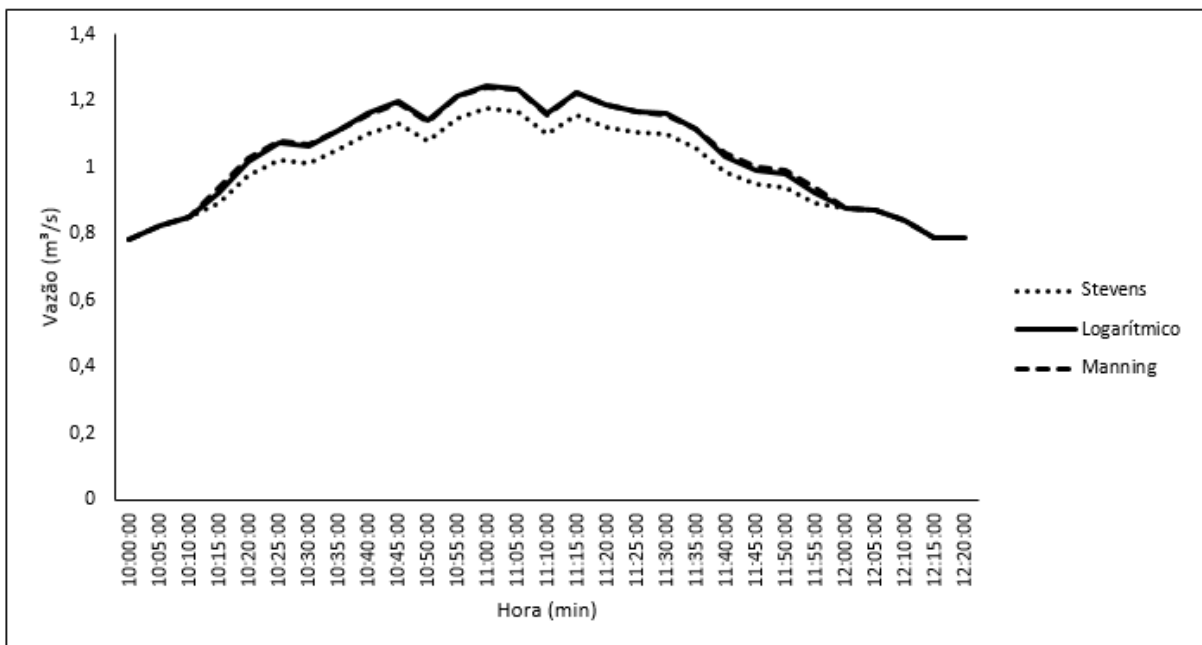
Fonte: Autor (2017).

Figura 51 - Hidrograma 05/03/2017 – P3 depois do evento



Fonte: Autor (2017).

Figura 52 - Hidrograma 17/03/2017 – P3 depois do evento



Fonte: Autor (2017).

As figuras 40-46, que referem-se aos hidrogramas do P2 possuem no método de Stevens a caída acentuada da vazão nos extremos devido ao fato que pode-se observar na figura 32, onde nota-se a curva de Stevens deslocada da curva-chave.

Os hidrogramas (Figuras 34 a 52) mostram a diferença entre as extrapolações das vazões, estas diferenças podem ser observadas, por exemplo, através da vazão máxima que cada extrapolação gerou para cada evento, conforme tabelas 35 a 38.

Tabela 35 – Vazões máximas nos eventos – P1

		<b>P1</b>		
<b>n°</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão máxima do evento (m<sup>3</sup>/s)</b>		
		<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
1	26/01/2017	9,25	36,50	26,29
2	30/01/2017	7,04	22,14	18,92
3	31/01/2017	3,46	7,62	7,04
4	01/02/2017	2,87	5,79	5,46
5	16/03/2017	2,02	3,55	3,31
6	11/04/2017	2,20	3,98	3,75

Fonte: Autor (2017).

Tabela 36 - Vazões máximas nos eventos – P2

		<b>P2</b>		
<b>n°</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão máxima do evento (m<sup>3</sup>/s)</b>		
		<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
1	12-14/02/2017	7,80	2,49	2,47
2	23-24/02/2017	13,28	3,44	4,44
3	03-04/03/2017	4,72	1,36	1,47
4	05-07/03/2017	7,34	2,09	2,35
5	17-18/03/2017	6,51	2,07	2,09
6	22-26/03/2017	8,60	2,59	2,76
7	08-14/04/2017	13,44	3,35	4,51

Fonte: Autor (2017).

Tabela 37 - Vazões máximas nos eventos – P3 antes do evento

<b>P3 - antes do evento</b>				
<b>n°</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão máxima do evento (m³/s)</b>		
		<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
1	30-31/01/2017	4,07	0,85	1,81
2	31-01/02/2017	3,97	0,85	1,75
3	01-02/02/2017	2,90	0,74	1,21

Fonte: Autor (2017).

Tabela 38 - Vazões máximas nos eventos – P3 depois do evento

<b>P3 - depois do evento</b>				
<b>n°</b>	<b>Data</b>	<b>Vazão máxima do evento (m³/s)</b>		
		<b>Stevens</b>	<b>Logarítmico</b>	<b>Manning</b>
1	03/03/2017	0,99	1,04	1,04
2	05/03/2017	1,22	1,29	1,29
3	17/03/2017	1,18	1,24	1,24

Fonte: Autor (2017).

A tabela 35 mostra que o método de Stevens subestimou a vazão se comparado com os métodos logarítmico e de Manning, entretanto esses dois superestimaram a vazão de uma forma que analisando os dados e conhecendo o local, pouco provável que sejam esses os valores reais, o que reafirma a escolha de que o método de Stevens seja o mais adequado para o P1.

Nos pontos P2 e P3 antes e depois do evento percebe-se que Stevens superestima a vazão, enquanto logarítmico e Manning tendem a permanecerem mais convergentes entre si, o que de certa forma confirma a escolha do método logarítmico como sendo o mais adequado para estes pontos.

## 5. CONCLUSÃO

A instalação e monitoramento dos pontos em uma bacia em processo de urbanização não são uma tarefa muito fácil. As mudanças na bacia podem trazer problemas no monitoramento como citado no ponto 3. Com os pontos de monitoramento foi possível plotar os gráficos Cota x Vazão, e traçar as curvas-chave. Percebeu-se que as duas aproximações de curvas, polinomial e potencial, apresentaram valores satisfatórios de  $R^2$ , sempre estando acima de 0,9. Contudo, o método polinomial se sobressaiu em todos os casos.

A partir das curvas-chaves foram elaboradas as estimativas de vazões nas partes superiores das curvas por três métodos (Stevens, logarítmico e Manning). Estes métodos não apresentaram uma convergência entre si durante a aplicação dos mesmos, o qual remete a ideia de que quando necessário fazer a extrapolação não é recomendável aplicar apenas um método, seja ele mais consagrado no meio ou não, é bom realizar a estimativa com mais de um método para uma melhor análise, evitando assim equívocos que possam gerar mais incertezas.

Após as extrapolações prontas foram calculados os erros existentes entre os métodos propostos neste trabalho. Viu-se que no erro da cota máxima o método logarítmico sempre apresentou menor erro, fato este que ocorre devido a este método considerar apenas as vazões medidas para sua estimativa. Já no erro médio para o P1, Stevens apresenta o menor erro, e nos pontos P2 e P3 antes do evento, o método logarítmico é o que possui menor erro, e por fim no P3 depois do evento, o método de Manning é quem se sobressai.

Com base nos erros de cota máxima e erro médio foi possível determinar qual método de extrapolação é provavelmente o que melhor represente a curva Cota x Vazão. Para o ponto 1 optou-se pela curva de Stevens, e para os demais pontos pela curva logarítmica.

Durante o período de monitoramento foram coletados dados de níveis e chuva. Os dados de níveis foram transformados em vazão, utilizando as equações resultantes das extrapolações, e a partir disso foram elaborados hidrogramas dos eventos de chuva. Com estes hidrogramas pode-se ter uma ideia melhor sobre a divergência dos métodos, podendo assim ser tomada uma decisão mais cuidadosa de definir qual o mais indicado para caso.



## 5.1. SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

A seguir seguem sugestões de trabalhos futuros:

- Realizar mais medições de vazão para o P2 e assim melhorar curva-chave e extrapolação do mesmo;
- Realizar monitoramento nos pontos P4 e P5 afim de elaborar curva-chave e extrapolação deles;
- Realizar atualização das curvas-chave dos pontos P1, P2 e P3 com a continuação do monitoramento hidrológico.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de descarga líquida em grandes rios**. 2. ed. Brasília: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometrológica, 2014. Manual Técnico.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Lista de Termos para o Thesaurus de recursos hídricos da ANA**. Brasília: Diário Oficial da União, 2014.

CLARKE, R.T.; SILVA DIAS, P.L. **As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos**. Brasília: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2003.

COELHO, B.Z. **Avaliação de técnicas e métodos de Hidrometria na estação fluviométrica São Ludgero, SC**. 2011. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo sul Catarinense/UNESC, 2011. 83p

Estudo Ambiental Simplificado do Centro de Engenharia da Mobilidade – Campus da UFSC em Joinville. EAS – CEM/UFSC – Joinville – LIC N° 004117/ PLC N° 03338. 4 Volumes e anexos. Julho de 2010.

GRISON, F. **Uso do ADCP como ferramenta de apoio no traçado e extrapolação de curva-chave na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte**. 2008. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, 2008. 46 p

JACCON, G.; CUDO, K.J. **Curva-chave: análise e traçado**. Brasília: DNAEE, 1989. 273 p

PEREIRA FILHO, D.; SANTOS, I.; FILL, H. D. Sistema de ajuste e extrapolação de curva de descarga - Stevens. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, 12 p. **Anais...** Curitiba, 2003.

RIGOTTI, J. A. (2010) ESTUDO DA DEGRADAÇÃO EM CURSOS D'ÁGUA: BACIA HIDROGRÁFICA DO FUTURO CAMPUS DA UFSC, JOINVILLE. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. 2011. Estudo de revitalização de cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC, Joinville - SC. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Lactec, 2001. 372 p

SANTOS, O.C.O. **Análise do uso do solo e dos recursos hídricos na microbracia do Igarapé Apeú, nordeste do estado do Pará**. 2006. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, 2006. 269 p

SEFIONE, A.L. **Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave**. 2002. Dissertação (Pós-graduação) – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SOUZA, Z. et al. **Centrais hidro e termelétricas**. São Paulo: Edgard Blücher; Itajubá-MG: Escola Federal de Engenharia, 1983.

TUCCI, C. E.; SILVEIRA, R. L. **Análise de consistência de dados fluviométricos**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 1985.

TUCCI, E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1993. 943 p

## APÊNDICE A: TABELAS DE MEDIÇÃO EM CAMPO

Tabela 39 - Monitoramento hidrológico - P1

P1										
Data	Cota (cm)	Vert.	Dist. Vert. (cm)	H. Água (cm)	Rotação média	Intervalo (s)	Vel. (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão previa	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
07/nov	34	1	25	25,5	6	40	0,062	0,079	0,0049	0,01090
		2	55	24,5	6	40	0,062	0,071	0,0044	
		3	85	16	1	40	0,027	0,060	0,0016	
18/jan	39	1	30	31	28	40	0,214	0,106	0,0227	0,06328
		2	60	34	33	40	0,249	0,097	0,0241	
		3	90	23	32	40	0,242	0,068	0,0165	
22/jan	34	1	30	22	0	40	0,020	0,089	0,0018	0,01023
		2	60	26	7	40	0,069	0,075	0,0051	
		3	90	21	6	40	0,062	0,053	0,0033	
25/jan	33,5	1	30	22	2	40	0,034	0,075	0,0025	0,01017
		2	60	27	7	40	0,069	0,076	0,0052	
		3	90	19	4	40	0,048	0,050	0,0024	
28/jan	37	1	30	28	35	40	0,263	0,102	0,0267	0,06774
		2	60	29	37	40	0,276	0,086	0,0236	
		3	90	26	32	40	0,242	0,072	0,0174	
29/mar	38	1	30	19	55	40	0,401	0,102	0,0408	0,10048
		2	60	18	50	40	0,367	0,086	0,0313	
		3	90	18	54	40	0,394	0,072	0,0283	
08/abr	53	1	30	36	133	40	0,941	0,130	0,1226	0,30534
		2	60	35	118	40	0,837	0,106	0,0889	
		3	90	37	113	40	0,803	0,117	0,0939	
08/abr	58	1	30	41	154	40	1,087	0,150	0,1628	0,50566
		2	60	41	178	40	1,253	0,123	0,1546	
		3	90	42	182	40	1,281	0,147	0,1883	
08/abr	72	1	30	78	241	40	1,689	0,389	0,6578	1,29813
		2	60	78	213	40	1,495	0,235	0,3514	
		3	90	78	176	40	1,239	0,233	0,2890	
08/abr	65	1	30	70	153	40	1,080	0,302	0,3263	0,86037
		2	60	73	179	40	1,260	0,217	0,2734	
		3	90	70	148	40	1,045	0,249	0,2607	

Fonte: Autor (2017).

Tabela 40 - Monitoramento hidrológico - P2

P2										
Data	Cota (cm)	Vert.	Dist. Vert. (cm)	H. Água (cm)	Rotação média	Intervalo (s)	Vel. (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão previa	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
15/mar	54	1	30	61	11	40	0,096	0,277	0,0267	0,1262
		2	60	67	13	40	0,110	0,198	0,0218	
		3	90	67	13	40	0,110	0,194	0,0214	
		4	120	48	19	40	0,152	0,148	0,0225	
		5	150	40	19	40	0,152	0,223	0,0339	
18/mar	92,5	1	30	100	7	40	0,069	0,451	0,0310	0,371
		2	60	103	19	40	0,152	0,307	0,0466	
		3	90	100	27	40	0,207	0,301	0,0624	
		4	120	100	24	40	0,186	0,294	0,0548	
		5	150	84	31	40	0,235	0,299	0,0701	
		6	170	81	24	40	0,186	0,569	0,1060	
24/mar	130	1	30	150	20	40	0,159	0,671	0,1066	0,6758
		2	60	150	31	40	0,235	0,424	0,0995	
		3	90	140	29	40	0,221	2,121	0,4689	
28/abr	59	1	30	70	0	40	0,001	0,317	0,0004	0,0747
		2	60	76	0	40	0,001	0,225	0,0003	
		3	90	76	15	40	0,103	0,230	0,0236	
		4	120	80	16	40	0,109	0,227	0,0249	
		5	150	50	13	40	0,089	0,286	0,0255	

Fonte: Autor (2017).

Tabela 41 - Monitoramento hidrológico - P3 antes do evento

<b>P3 – antes do evento</b>									
<b>Data</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Vert.</b>	<b>Dist. Vert. (cm)</b>	<b>Rotação média</b>	<b>Intervalo (s)</b>	<b>Vel. (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vazão previa</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
07/nov	3,5	1	30	12	40	0,103	0,044	0,0046	0,0587
		2	60	43	40	0,318	0,034	0,0107	
		3	90	78	40	0,560	0,037	0,0208	
		4	120	12	40	0,103	0,219	0,0226	
17/jan	13,5	1	30	22	40	0,173	0,096	0,0166	0,0646
		2	60	51	40	0,373	0,076	0,0282	
		3	90	32	40	0,242	0,072	0,0174	
		4	120	1	40	0,027	0,085	0,0023	
18/jan	16	1	30	14	40	0,117	0,123	0,0144	0,0836
		2	60	50	40	0,367	0,086	0,0316	
		3	90	50	40	0,367	0,085	0,0310	
		4	120	6	40	0,062	0,106	0,0065	
22/jan	5,5	1	30	3	40	0,041	0,065	0,0026	0,0429
		2	60	39	40	0,290	0,053	0,0152	
		3	90	58	40	0,422	0,053	0,0225	
		4	120	2	40	0,034	0,073	0,0025	
25/jan	4	1	30	0	40	0,020	0,060	0,0012	0,0319
		2	60	22	40	0,173	0,049	0,0084	
		3	90	64	40	0,463	0,044	0,0205	
		4	120	2	40	0,034	0,051	0,0017	
26/jan	87,5	1	30	33,5	40	0,252	0,443	0,1116	0,5453
		2	60	55,5	40	0,405	0,305	0,1234	
		3	90	57,5	40	0,418	0,308	0,1288	
		4	120	58	40	0,422	0,302	0,1274	
		5	150	24	40	0,186	0,290	0,0541	
26/jan	75	1	30	36,5	40	0,273	0,384	0,1050	0,4303
		2	60	53,5	40	0,391	0,269	0,1049	
		3	90	53,5	40	0,391	0,272	0,1064	
		4	120	41,5	40	0,308	0,267	0,0820	
		5	150	16	40	0,131	0,244	0,0320	
26/jan	73	1	30	16	40	0,131	0,354	0,0463	0,2885
		2	60	24	40	0,186	0,238	0,0444	
		3	90	54,5	40	0,398	0,240	0,0955	
		4	120	42	40	0,311	0,240	0,0748	
		5	150	14,5	40	0,121	0,227	0,0274	

<b>Data</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Vert.</b>	<b>Dist. Vert. (cm)</b>	<b>Rotação média</b>	<b>Intervalo (s)</b>	<b>Vel. (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vazão previa</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
28/jan	19,5	1	30	89	40	0,637	0,132	0,0840	0,2089
		2	60	112	40	0,796	0,070	0,0556	
		3	90	108	40	0,768	0,071	0,0542	
		4	120	19	40	0,152	0,100	0,0151	
28/jan	24	1	30	79	40	0,567	0,153	0,0868	0,2193
		2	60	81	40	0,581	0,101	0,0586	
		3	90	98	40	0,699	0,092	0,0640	
		4	120	10	40	0,090	0,111	0,0099	

Fonte: Autor (2017).

Tabela 42 - Monitoramento hidrológico - P3 depois do evento

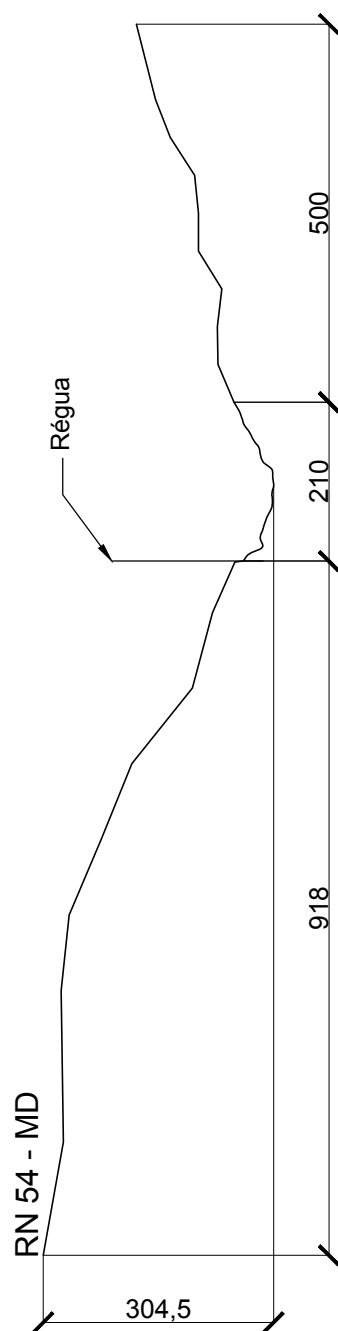
<b>P3 - depois do evento</b>									
<b>Data</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Vert.</b>	<b>Dist. Vert. (cm)</b>	<b>Rotação média</b>	<b>Intervalo (s)</b>	<b>Vel. (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vazão previa</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
15/mar	23	1	45	27	40	0,207	0,080	0,017	0,060
		2	75	34	40	0,256	0,053	0,014	
		3	105	46	40	0,339	0,056	0,019	
		4	135	39	40	0,290	0,039	0,011	
24/mar	24,5	1	45	40	40	0,297	0,105	0,031	0,143
		2	75	77	40	0,553	0,072	0,040	
		3	105	96	40	0,685	0,072	0,049	
		4	135	43	40	0,318	0,071	0,022	
28/mar	26	1	30	17	40	0,138	0,059	0,008	0,129
		2	60	75	40	0,540	0,069	0,037	
		3	90	74	40	0,533	0,080	0,043	
		4	120	61	40	0,443	0,064	0,028	
		5	150	38	40	0,283	0,044	0,012	
08/abr	44	1	30	18	40	0,145	0,095	0,014	0,354
		2	60	79	40	0,567	0,097	0,055	
		3	90	85	40	0,609	0,121	0,074	
		4	120	76	40	0,547	0,132	0,072	
		5	150	95	40	0,678	0,206	0,140	

<b>Data</b>	<b>Cota (cm)</b>	<b>Vert.</b>	<b>Dist. Vert. (cm)</b>	<b>Rotação média</b>	<b>Intervalo (s)</b>	<b>Vel. (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vazão previa</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
08/abr	52	1	30	39	40	0,290	0,123	0,036	0,385
		2	60	76	40	0,547	0,127	0,069	
		3	90	75	40	0,540	0,159	0,086	
		4	120	93	40	0,664	0,161	0,107	
		5	150	56	40	0,408	0,215	0,088	
08/abr	57	1	30	23	40	0,180	0,162	0,029	0,452
		2	60	80	40	0,574	0,140	0,080	
		3	90	84	40	0,602	0,164	0,099	
		4	120	100	40	0,713	0,172	0,123	
		5	150	60	40	0,436	0,278	0,121	
08/abr	84	1	30	52	40	0,380	0,243	0,092	0,838
		2	60	96	40	0,685	0,220	0,151	
		3	90	108	40	0,768	0,252	0,193	
		4	120	136	40	0,962	0,254	0,245	
		5	150	94	40	0,671	0,234	0,157	
		6	180	31	40	0,235	0,308	0,072	

Fonte: Autor (2017).



## **APÊNDICE B: PERFIL DAS SEÇÕES DE MONITORAMENTO**



AUTOR:  
TIAGO GUIZONI NETO

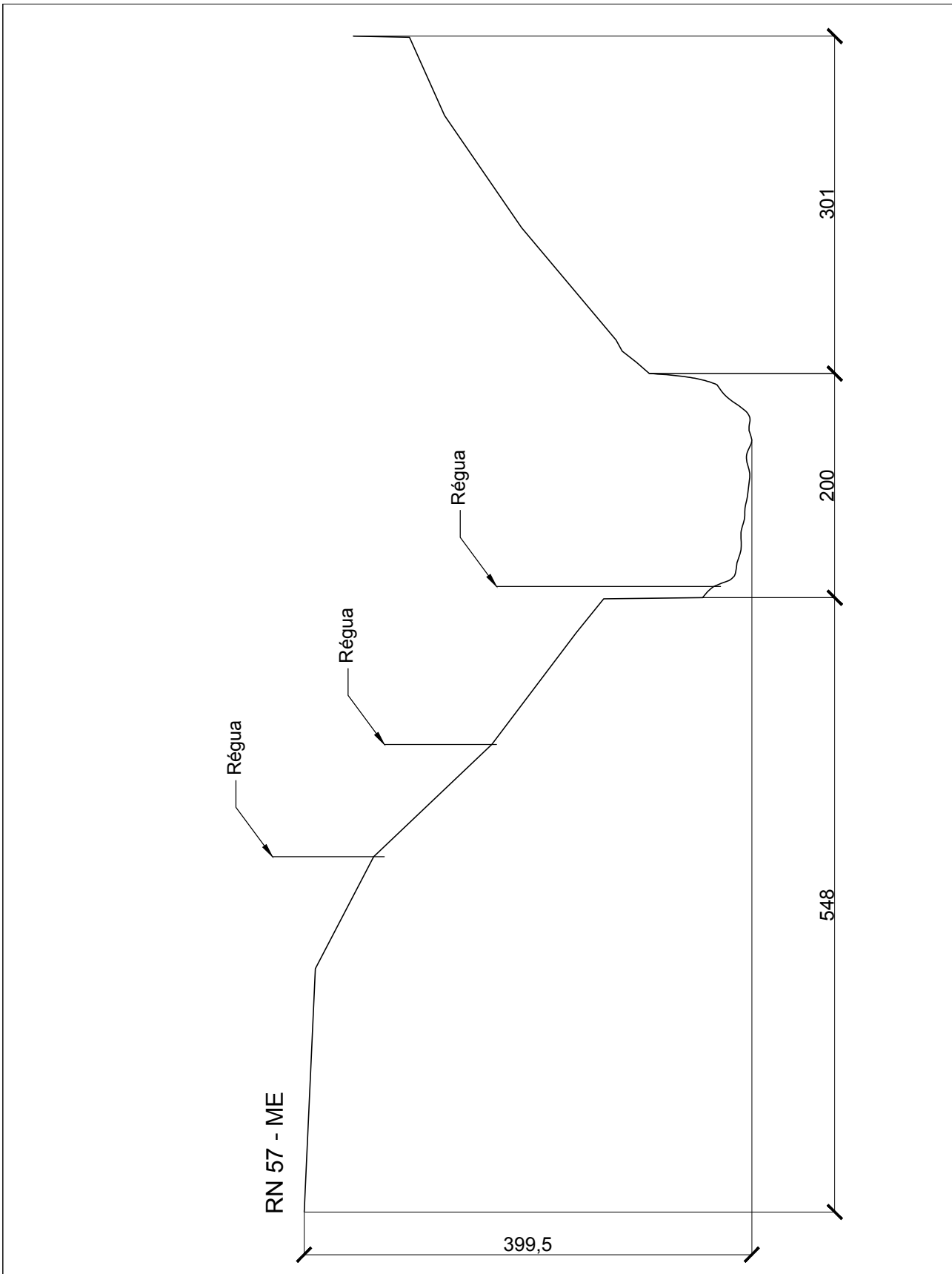
DATA:  
02/06/2017

PRANCHA:  
1/4

ESCALA:  
1/100

ORIENTADOR(A):  
SIMONE MALUTTA

TÍTULO:  
SEÇÃO P1



AUTOR:  
TIAGO GUIZONI NETO

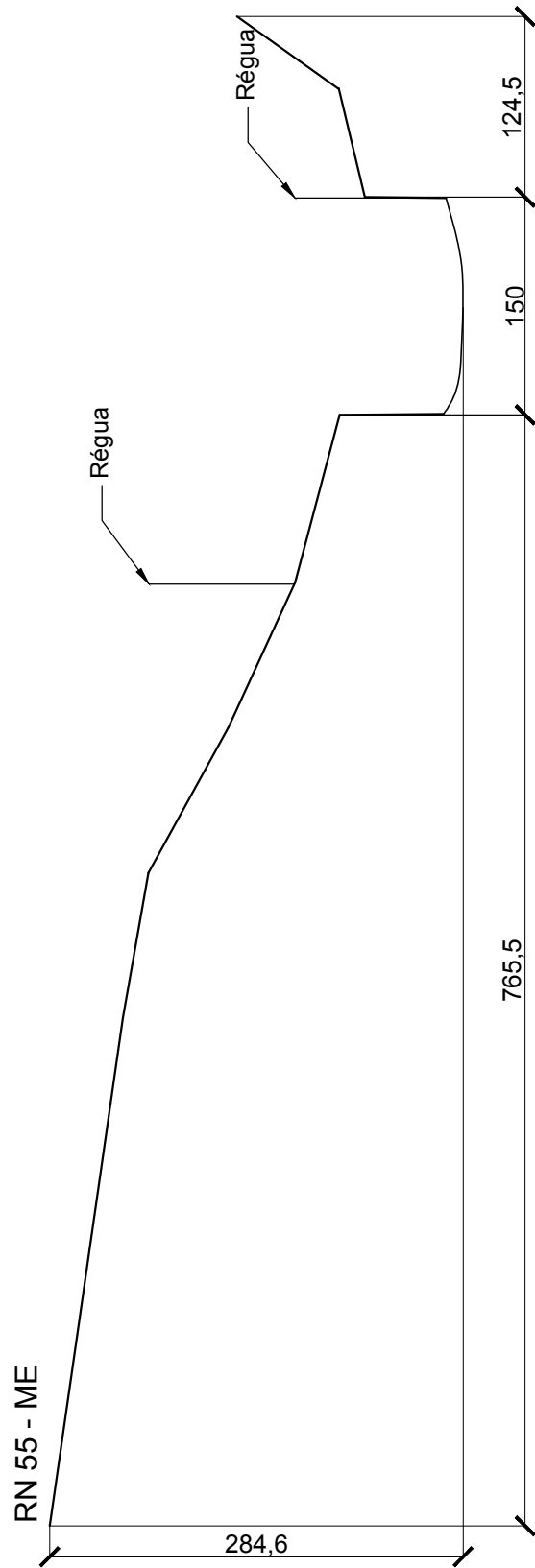
DATA:  
02/06/2017

PRANCHA:  
2/4

ESCALA:  
1/50

ORIENTADOR(A):  
SIMONE MALUTTA

TÍTULO:  
SEÇÃO P2



AUTOR:  
TIAGO GUIZONI NETO

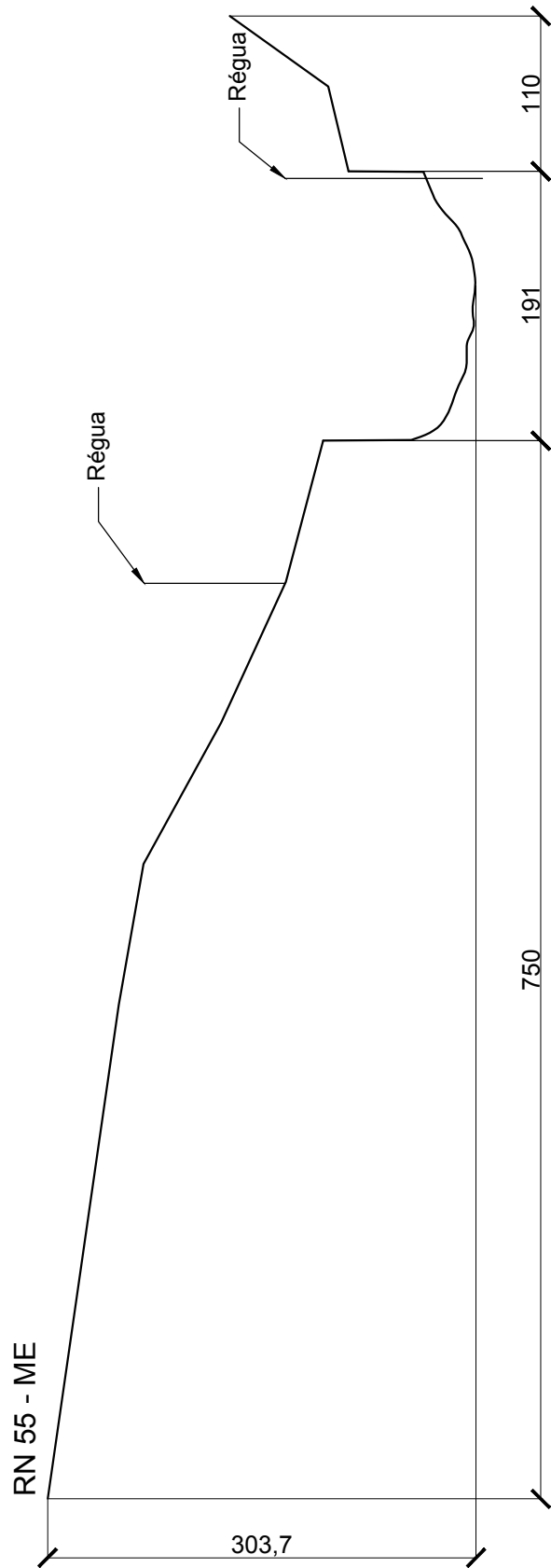
DATA:  
02/06/2017

PRANCHA:  
3/4

ESCALA:  
1/50

ORIENTADOR(A):  
SIMONE MALUTTA

TÍTULO:  
SEÇÃO P3 - ANTES DO EVENTO



AUTOR:  
TIAGO GUIZONI NETO

DATA:  
02/06/2017

PRANCHA:  
4/4

ESCALA:  
1/50

ORIENTADOR(A):  
SIMONE MALUTTA

TÍTULO:  
SEÇÃO P3 - DEPOIS DO EVENTO