

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

JHONATAN CRISTIAN PSCHIEDT

**ANÁLISE DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA DO CAMPUS DA UFSC
JOINVILLE**

Joinville

2017

JHONATAN CRISTIAN PSCHIEDT

**ANÁLISE DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA DO CAMPUS DA UFSC
JOINVILLE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Tecnológico de Joinville (CTJ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Infraestrutura.

Orientadora: Profa. Me. Simone Malutta

Joinville

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus primeiramente, pelo dom da vida, pela inspiração e sabedoria durante a elaboração deste trabalho e ao longo de toda minha graduação, sei que sem ele nada seria possível.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao Campus Joinville, por todo o conhecimento adquirido durante a graduação.

Agradeço a minha orientadora Simone Malutta pelo acompanhamento, sempre estando presente às idas a campo, pela dedicação e paciência durante todos os debates, questionamentos e correções que houveram durante a construção e lapidação deste trabalho.

Agradeço ao coordenador do projeto, Cesar Augusto Pompêo, aos professores Anderson Wedderhoff Spengler e Giovani Gracioli, e ao aluno Cauê Val Arruda envolvidos no desenvolvimento e assistência em relação a Plataforma EPOSMote III.

Agradeço ao colega de projeto Allan Thiesen pelo auxílio durante as medições realizadas em campo.

Agradeço ao meu amigo e colega de curso e de projeto Tiago Guizoni Neto, pela cooperação nas medições feitas em campo, pelas ideias compartilhadas, trabalhos realizados durante a graduação, pelo estudo de traçado e extrapolação das curva-chaves das sub-bacias, as quais foram utilizadas e por fim, pelo companheirismo e amizade.

Agradeço a minha namorada Tavanne Guedes, pelo companheirismo e carinho, por estar ao meu lado e me fazer sorrir após passar por momentos difíceis, além da compreensão e conselhos durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao meu pai, Denilson Pscheidt por me incentivar a buscar novas conquistas pessoais, mas principalmente por ser uma inspiração de caráter e de vida, pois foi através de seu apoio que cheguei até aqui. Também a minha mãe e meus irmãos pelo carinho e amor.

Aos amigos que fiz durante o curso, os quais fizeram com que este percurso se tornasse bem mais descontraído, e também contribuíram de alguma forma para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo geral estimar o tempo de concentração da Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC Joinville (BHCUIJ) e suas cinco sub-bacias, através de equações empíricas, que se baseiam em dados morfométricos, e métodos de análises de hidrogramas, construídos com dados de monitoramento de precipitação e vazão, sendo posteriormente relacionados com outros parâmetros dos eventos hidrológicos. Na série histórica de dados foi possível separar 54 eventos, sendo 16 eventos para o P1, 20 eventos para o P2 e 09 eventos para o P5. No ponto P3, foram divididas as análises para antes e depois do evento hidrológico do dia 02 de março de 2017, pelo motivo de haver uma mudança no comportamento da vazão da bacia, ocasionado pela erosão do canal, selecionou-se então 09 eventos para o P3, sendo 06 antes do evento e 03 após. A correlação entre T_c e outros parâmetros retirados dos eventos hidrológicos foi feita pela correlação de Pearson, avaliando grupos de vetores de dados separadamente, sendo que a correlação entre T_c e estes parâmetros avalia os dados de todas as sub-bacias analisadas e o cálculo de T_c das mesmas por 5 métodos de análises de hidrogramas. As maiores correlações encontradas foram entre a duração da precipitação (D) e as estimativas de T_c , tendo de forma unânime uma correlação positiva, ou seja, T_c aumenta conforme a duração da precipitação. Em relação aos parâmetros de precipitação máxima ($Imáx$) e precipitação média do evento (Pt/D), pode-se perceber uma correlação negativa, exceto na sub-bacia P3 no período antes do evento. Portanto, através dos dados, pode-se perceber uma tendência do T_c diminuir conforme os parâmetros ligados as características da precipitação aumentam. Analisando a correlação de T_c com os parâmetros de precipitação acumulada (Pt) e os parâmetros relacionados a vazão do evento, sendo eles, vazão média ($Q_{med\ Máx-Infl.}$), vazão máxima ($Q_{máx}$) e vazão total do evento (Q_{total}), não se pôde ter um resultado geral por ser uma característica que variou a cada sub-bacia. A estimativa de T_c foi feita também por 10 formulações existentes, usando parâmetros morfométricos obtidos através do software de geoprocessamento ArcGIS, com informações iniciais de mapas de elevação digital disponibilizados pelo Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SimGeo). De maneira geral, os resultados estimados por formulações empíricas subestimam o valor de T_c , obtendo-se valores abaixo dos encontrados por todos os outros métodos de análises de hidrogramas.

Palavras-chave: Tempo de Concentração. Parâmetros Morfométricos. Métodos de Análise de Hidrogramas.

ABSTRACT

The present work aims to estimate the time of concentration of the UFSC Joinville Campus Hydrographic Basin (BHCUI) and its five sub-basins, through empirical equations, which are based on morphometric data, and methods of hydrograph analysis, constructed with precipitation and level monitoring data, being later related to other parameters of hydrological events. In the historical series of data it was possible to separate 54 events, 16 events for P1, 20 events for P2 and 09 events for P5. At point P3, the analyzes were divided before and after the hydrological event of March 2, 2017, due to the fact that there was a change in the flow behavior of the basin, caused by the erosion of the channel, then selected 9 events for the P3, being 06 before the event and 03 after. The correlation between T_c and other parameters taken from the hydrological events was made by the Pearson correlation, evaluating groups of data vectors separately, and the conclusion or not of the relation between T_c and these parameters evaluates the data of all sub-basins analyzed and The calculation of T_c of the same by 5 methods of analysis of hydrograms. The highest correlations were found between the duration of precipitation (D) and T_c estimates, with a positive correlation, ie, T_c increases according to the rainfall duration. In relation to the parameters of maximum precipitation ($I_{m\acute{a}x}$) and mean precipitation of the event (P_t / D), a negative correlation can be perceived, except in the sub-basin P3 in the period before the event. Therefore, through the data, one can see a tendency of the T_c to decrease as the parameters linked to the precipitation characteristics increase. Analyzing the correlation of T_c with the cumulative precipitation parameters (P_t) and the parameters related to the event flow, being the mean flow ($Q_{med\ Max-Infl.}$), Maximum flow (Q_{max}) and total flow of the event (Q_{total}), It was not possible to have a general result because it was a characteristic that varied to each sub-basin. The estimation of T_c was also made by 10 existing formulations, using morphometric parameters obtained through ArcGIS geoprocessing software, with initial information of digital elevation maps made available by the Geographic Information System of Joinville (SimGeo). In general, the results estimated by empirical formulations underestimate the value of T_c , obtaining values below those found by all other methods of hydrograph analysis.

Keywords: Concentration Time. Morphometric Parameters. Methods of Analysis of Hydrograms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de estação de monitoramento	15
Figura 2- Características geométricas de uma seção transversal.....	16
Figura 3 - Micro molinete hidrométrico	18
Figura 4 - Interface do software do ADCP	19
Figura 5 - Modelo de linímetro usado nos pontos de medição.....	20
Figura 6 - Exemplo de sensor de nível	21
Figura 7 - Modelo de pluviógrafo de cubas basculantes	22
Figura 8 - Sistema instalado em campo.....	23
Figura 9 - Exemplo de hietograma e hidrograma de resposta	24
Figura 10 - Evento hidrológico com caracterização das variáveis de tempo	27
Figura 11 - Exemplo de curva-chave.....	29
Figura 12 - Localização da BHCUIJ e futuro Campus da UFSC - Joinville	31
Figura 13 - Delimitação BHCUIJ	32
Figura 14 - BHCUIJ e suas sub-bacias	33
Figura 15 - Mapa altimétrico da BHCUIJ	34
Figura 16 - Processo de medição com micro-molinete hidrométrico.....	35
Figura 17 - Cálculo da seção média.....	37
Figura 18 - Cálculo da meia seção	37
Figura 19 - ADCP pronto para realização de medição.....	38
Figura 20 - Processo de medição com ADCP no ponto 02	39
Figura 21 - Curva-chave P1.....	40
Figura 22 - Curva-chave P2.....	41
Figura 23 - Curva-chave P3-Antes	41
Figura 24 - Curva-chave do P3-Depois	42
Figura 25 - Métodos de estimativa de Tc por análise do hidrograma.....	49
Figura 26 - Estimativas de Tc para o P1.....	58
Figura 27 - Estimativas de Tc para o P2.....	58
Figura 28 - Estimativas de Tc para o P3.....	59
Figura 29 - Estimativas de Tc para o P5.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equações empíricas e/ou teóricas	26
Tabela 2 - Identificação do tipo de monitoramento.....	33
Tabela 3 - Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical.....	36
Tabela 4 – Dados morfométricos estimados.....	43
Tabela 5 - Valores de N correspondentes ao tipo de superfície	45
Tabela 6 - Período de monitoramento	47
Tabela 7 – Estimativas de tempos de concentração por equações teóricas	52
Tabela 8 - Estimativas de Tempo de concentração em horas pelo método de análise de hidrogramas e hietogramas.....	54
Tabela 9 - Resultados das estimativas para tempo de concentração em horas.....	57
Tabela 10 - Parâmetros dos eventos analisados.....	61
Tabela 11 - Correlação entre os parâmetros e as estimativas de tempo de concentração	64
Tabela 12 - Resultados da correlação entre Tc e os parâmetros dos eventos hidrológicos	66

LISTAS 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

ArcGIS - Software para Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
<i>A</i>	área da bacia	m ²
<i>CG</i>	centro de gravidade	-
<i>Ciz</i>	coeficiente de retardo de Izzard	-
<i>CN</i>	parâmetro <i>curver number</i> do Método SCS	-
<i>D</i>	duração da chuva	h
<i>Dt</i>	declividade do talvegue principal	m/m
<i>H</i>	nível do rio	cm
<i>Hd</i>	altitude do divisor de águas	m
<i>He</i>	altitude da enxultória	m
<i>Hm</i>	elevação média a partir da enxutória	m
<i>Hmax</i>	altitude máxima do canal principal	m
<i>Ho</i>	valor para qual a vazão é nula	cm
<i>i</i>	intensidade da chuva	mm/5min
<i>Imáx</i>	intensidade máxima da chuva	mm/5min
<i>L</i>	comprimento da bacia em linha reta	Km
<i>Lr</i>	comprimento do rio principal	Km
<i>N</i>	coeficiente de retardo de Kerby	-
<i>n</i>	coeficiente de rugosidade de Manning	s/m ^{1/3}
<i>P</i>	perímetro da bacia	Km
<i>p</i>	passo da hélice do micromolinete	-
<i>Pefet.</i>	precipitação efetiva	mm
<i>Pt</i>	precipitação total acumulada	mm
<i>Q</i>	vazão	m ³ /s
<i>Qmáx</i>	vazão máxima do evento	m ³ /s
<i>Qméd_Infl.</i>	vazão média do pico de descarga a inflexão do hidrograma	m ³ /s
<i>Qtotal</i>	vazão total do evento	m ³
<i>RH</i>	raio hidráulico	m
<i>S</i>	declividade do canal principal	m/m
<i>Sscs</i>	potencial máximo de retenção (Método SCS)	mm
<i>t1</i>	início do escoamento direto	-
<i>t2</i>	precipitação máxima	-
<i>t3</i>	centro de massa do excesso de precipitação	-
<i>t4</i>	descarga máxima do escoamento direto	-
<i>t5</i>	pico de descarga do escoamento total	-
<i>t6</i>	centro de massa do escoamento	-
<i>Tc</i>	tempo de concentração	h
<i>tc_A</i>	tempo entre final da precipitação e o primeiro ponto de inflexão	h
<i>tc_B</i>	tempo entre final da precipitação e o segundo ponto de inflexão	h
<i>tc_med</i>	média aritmética dos pontos de inflexão	h

<i>te</i>	final da precipitação	-
<i>ti</i>	ponto de inflexão do fim do escoamento	-
<i>to</i>	início da precipitação	-
<i>V</i>	velocidade da água	m/s
<i>v</i>	velocidade de atrito	m/s

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO	15
2.1.1	Hidrometria.....	16
2.2	EQUIPAMENTOS	17
2.2.1	Molinete Hidrométrico	17
2.2.2	Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)	18
2.2.3	Medição de Nível.....	19
2.2.4	Pluviômetros e Pluviógrafos.....	21
2.2.5	Plataforma de Sensoriamento EPOSMote III.....	22
2.3	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	23
2.4	CURVA-CHAVE	28
2.4.1	Extrapolção da Curva-chave	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	ÁREA DE ESTUDO	31
3.2	PROCESSO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO	35
3.2.1	Cálculo da Vazão com Molinete Hidrométrico	36
3.2.2	Cálculo da Vazão com ADCP	38
3.3	TRAÇADO DA CURVA-CHAVE	39
3.3.1	Traçado e Extrapolção da Curva-chave da Sub-Bacia P1.....	40
3.3.2	Traçado e Extrapolção da Curva-chave da Sub-Bacia P2.....	40
3.3.3	Traçado e Extrapolção da Curva-chave da Sub-Bacia P3.....	41
3.4	ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	42
3.4.1	Parâmetros Morfométricos das Sub-Bacias.....	42
3.4.2	Estimativa do T_c por Equações Empíricas	43
3.4.3	Cálculo do T_c por Análise de Hidrogramas.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51

4.1	ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO TEÓRICOS	51
4.2	ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO ANALÍTICOS	53
4.3	ANÁLISES DE ESTIMATIVAS	56
4.4	RELAÇÃO DE <i>TC</i> COM OUTRAS VARIÁVEIS NOS EVENTOS	60
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	70
	APÊNDICE A	74
	APÊNDICE B	129

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os dados sobre os recursos hídricos têm sido um tema em destaque devido a evolução progressiva das práticas da humanidade, dentre estas se destacam o transporte fluvial, abastecimento para produção agrícola e consumo de água potável, sendo de grande importância o conhecimento do regime fluvial para conservar tais recursos hídricos.

Segundo Alcântra (2004), nos dias atuais existe uma maior incidência de eventos extremos de aumento de temperatura, precipitação, seca e enchentes, que poderão aumentar os riscos de erosão, deslizamentos de terra, incêndios florestais, riscos à saúde humana, redução do potencial agrícola e disponibilidade de água para diversos usos. Por este motivo, a magnitude e a frequência de vazões máximas tendem a aumentar, e as mínimas, diminuir na maioria das regiões do planeta, podendo assim, gerar conflitos pela falta deste recurso natural.

As políticas governamentais, devido ao problema de escassez e poluição da água, estabelecem normas e parâmetros de uso e conservação de tal. No Brasil, os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Nº 9.433/1997, visam assegurar a disponibilidade de água, sua utilização correta, prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos.

Para conhecimento e monitoramento do regime fluvial de uma bacia hidrológica, é necessário o monitoramento dos dados fluviométricos e pluviométricos do seu entorno, e a partir de tais, efetuar uma caracterização por meios analíticos, chegando em um possível parâmetro comportamental. Segundo McDonell (2009), o monitoramento hidrológico representa uma das atividades de maior importância para tomadas de decisão adequadas no que diz respeito ao planejamento, aproveitamento e controle de recursos hídricos.

O método de obtenção de dados fluviométricos consiste em um processo que demanda grande quantidade de tempo com medições em campo, sendo assim não viável este processo em vários pontos da bacia, por este motivo, define-se uma seção de interesse do curso de água, onde são instaladas réguas de medição de nível e, posteriormente, analisada a velocidade média do curso de água com o respectivo nível do canal. Relacionando estes dois parâmetros, obtêm-se a curva-chave da seção.

A relação entre dados pluviométricos e o aumento da vazão em um curso de água, pode ser relacionado pelo tempo de concentração da bacia (T_c), podendo este ser caracterizado de maneira simplificada como o tempo de resposta da bacia a um evento de precipitação. Este conceito surgiu inicialmente em 1850, quando Mulvany sentiu a necessidade de estimar o tempo de resposta de uma bacia hidrográfica a um evento de precipitação. A partir de então, este parâmetro de tempo começou a ser utilizado. Atualmente qualquer análise hidrológica precisa de pelo menos um parâmetro relacionado ao tempo de resposta da bacia a um evento de precipitação, e na maioria das vezes esse parâmetro é o tempo de concentração (McCuen et al., 1984).

Segundo McCuen (2009) existem seis métodos para estimar o T_c com base na análise do hidrograma, sendo que mais utilizados é estimar o T_c como o tempo entre o fim do evento de precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma, que representa o fim do escoamento superficial. Outra maneira de estimativa é através de formulações empíricas, como a de Kirpich (1940) e Dooge (1973), que utilizam os fatores físicos da bacia hidrográfica como parâmetros.

As aplicações de T_c atualmente são diversas, como previsão de cheias e mancha de possíveis inundações, gerenciamento de bacias hidrográficas, implementação de sistemas de alerta contra inundações, projetos de drenagem urbana, separação do hidrograma, definição do intervalo de monitoramento hidrológico, e etc. Sem as informações básicas de vazões, os projetos de aproveitamento de recursos hídricos tendem a ser menos precisos, conduzindo à resultados duvidosos, que ora tendem a ser extremamente conservadores e custosos.

Na análise hidrológica realizada no Estudo Ambiental Simplificado (EAS) (UFSC, 2010) na BHCUIJ, Rigotti (2010) e Rigotti e Pompêo (2011), apontam que é necessário um estudo mais detalhado da BHCUIJ devido a sua complexidade hidrológica. Sendo necessário para isso o monitoramento dos processos hidrológicos de chuva e vazão.

O período do monitoramento hidrológico ocorreu de 18 de janeiro de 2017 à 20 de maio de 2017, sendo criado uma série histórica de dados com intervalos de 5 min, totalizando 54 eventos de chuva-vazão. Todo este estudo será realizado nos cursos de água da Bacia Hidrográfica do campus da UFSC Joinville (BHCUIJ), de 12,5 km², localizada na região sul de Joinville –SC.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estimar o tempo de concentração das sub-bacias por equações empíricas e métodos de análises de hidrogramas e relacionar estes resultados com outros parâmetros dos eventos da BHCUIJ.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Delimitar a Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC Joinville (BHCUIJ) e suas sub-bacias;
- Estimar o tempo de concentração das sub-bacias da BHCUIJ por equações empíricas;
- Estimar o tempo de concentração por análises de hidrogramas e hietogramas;
- Correlacionar os tempos de concentração por métodos de análises de hidrogramas, com outros parâmetros nos eventos hidrológicos;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

O monitoramento hidrológico é o registro contínuo dos dados de precipitação e nível em um intervalo de tempo. Posteriormente, é possível construir uma série contínua de dados dos processos hidrológicos de interesse no projeto.

Figura 1 - Modelo de estação de monitoramento



Fonte: Autor (2017).

Cada estação de monitoramento dispõe de réguas limimétricas, referência de nível, suporte para pluviógrafos, caixa ambiental para armazenamento da bateria, controlador de carga e a plataforma de sensoriamento EPOSMote III.

O procedimento para o monitoramento hidrológico da precipitação e nível de água e medição da vazão estão descritos abaixo.

2.1.1 Hidrometria

Hidrometria é a ciência da medida e da análise das características físicas e químicas da água, inclusive dos métodos, técnicas e instrumentação utilizados em hidrologia (ANA, 2014). É uma das partes mais importantes da hidráulica, pois, cuida de questões tais como medidas de profundidade, de variação do nível da água, das seções de escoamento, das pressões, das velocidades e das vazões ou descargas (AZEVEDO NETTO, 2003).

A fluviometria, que faz parte da hidrometria, trata das medições de vazões dos rios (SANTOS et al., 2001). Uma estação fluviométrica se localiza em uma seção do rio, composta basicamente por réguas linimétricas e/ou sensores de níveis para medir o nível de água.

As características geométricas da seção transversal definida pela estação variam conforme o nível d'água na mesma (Figura 02). Essas características são:

Figura 2- Características geométricas de uma seção transversal

Grandeza	Símbolo	Unidade Usual	Cálculo
área	A	m ²	---
perímetro molhado	X	m	---
raio hidráulico	R	m	$R = A/X$
largura superficial	L	m	---
profundidade média	$P_{méd}$	m	$P = A/L$
profundidade máxima	$P_{máx}$	m	---
cota linimétrica	h	cm	---
ponto inicial da seção transversal	PI	---	---
ponto final da seção transversal	PF	---	---
distância entre PI e PF	D	m	---
distância entre duas verticais	l	m	---
distância da vertical ao PI	d	m	---
profundidade de um ponto da vertical	p_i	m	---
profundidade total numa vertical	p	m	---
área entre duas verticais	a	---	---

Fonte: ANA (2014).

Onde:

- Área molhada: área da seção transversal ocupada pela água;
- Perímetro molhado: comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito;
- Raio hidráulico: quociente da área molhada pelo perímetro molhado;

- Largura superficial: comprimento da linha horizontal da área molhada;
- Profundidade média: quociente da área molhada pela largura superficial;

2.2 EQUIPAMENTOS

Existem vários métodos que podem ser utilizados para o processo de monitoramento hidrológico de uma bacia hidrográfica, que se encontram descritos no Manual da Agência Nacional de Águas (ANA), neste trabalho serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Molinete Hidrométrico;
- Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP);
- Régua Linimétrica;
- Sensor de Nível;
- Pluviômetros e/ou Pluviógrafos;
- Sistema de Armazenamento e Transmissão de Dados EPOSMote III;

Todos os tópicos citados acima serão descritos a seguir.

2.2.1 Molinete Hidrométrico

Molinete hidrométrico é um aparelho usado para medir a velocidade de um escoamento (SANTOS et al., 2001). Possui uma hélice acoplada a um eixo que gira no sentido contrário ao fluxo, mandando sinais elétricos a um contador de rotações.

Um equipamento indispensável que acompanha o molinete é o contador de rotações, que recebe o impulso emitido do molinete a cada rotação, e emite um sinal para contagem do número de rotações (BACK, 2006). A Figura 03 mostra o modelo de molinete hidrométrico utilizado nas medições.

Figura 3 – Micro molinete hidrométrico



Fonte: Autor (2017).

A velocidade do fluxo é calculada com uma equação própria do aparelho, construída e calibrada em laboratório:

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

Onde: V é a velocidade (m.s-1); N é o número de rotações por segundo; p é o passo da hélice; e v é a velocidade de atrito.

2.2.2 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

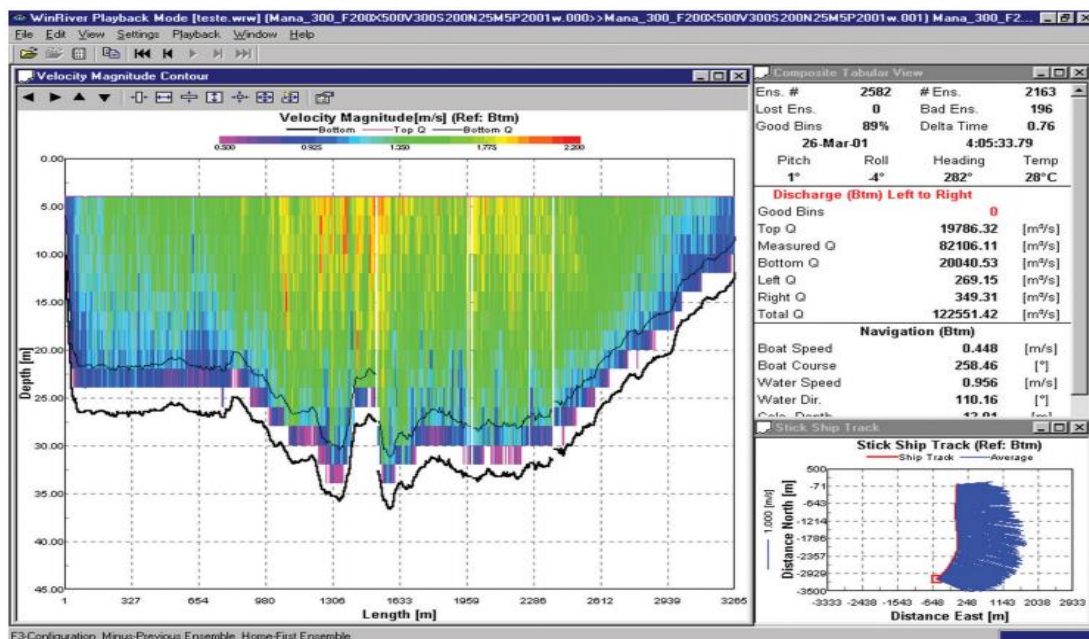
Conforme Back (2006), os métodos acústicos empregados na medição de vazão e/ou profundidade, se baseiam na medição do eco de pulsos de ondas de ultrassom (ondas de alta frequência) refletidas pelas partículas sólidas em suspensão na massa líquida e pela superfície sólida do leito.

Esses métodos acústicos apresentam vantagens de maior precisão na medida da velocidade, principalmente nos escoamentos em grandes profundidades, pois não dependem de uso de lastro ou correção catenária no cabo esticado sobre o rio. Este aparelho proporciona maior rapidez e segurança na atividade de medição, em desvantagem, tem-se o custo elevado do equipamento e limitação de uso em cursos de água rasos. (BACK, 2006).

A utilização desta tecnologia para medição de vazão, permite que se tenha um perfil formado por milhares de medidas em cada área em vez de medidas pontuais. Essa maior resolução poderia ser alcançada teoricamente, medindo-se com molinetes hidrométricos em grande quantidade de verticais. (ANA, 2014).

Este equipamento é composto por uma sonda com quatro transdutores e um *deck box*, no qual os sinais são filtrados e transmitidos para um computador com um software específico que recebe os dados e os disponibiliza em forma de tabelas e gráficos. O equipamento transmite ondas sonoras através da água, em frequências pré-estabelecidas, por sua vez, as partículas carregadas pela água refletem o som que é registrado pelos sensores. (BACK, 2006).

Figura 4 – Interface do software do ADCP



Fonte: ANA (2014).

2.2.3 Medição de Nível

O nível d'água deve ser medido simultaneamente com o processo de medição de vazão para se obter os pares de pontos na operação de determinação da curva-chave da seção, ou

relacionando este, com os dados de precipitação para estimativa do tempo de concentração da bacia. A medição do nível d'água pode ser feita de maneira manual pelo observador, através de réguas linimétricas, ou de maneira automática com a ajuda de sensores de nível.

2.2.3.1 Réguas Linimétricas

É a maneira mais simples para medir o nível d'água de um rio, consiste em colocar uma régua vertical na água e observar sua marcação. As réguas são geralmente constituídas de elementos verticais de um metro graduados em centímetro.

Segundo ANA (2014), uma régua linimétrica é uma escala graduada, de madeira, metal ou mesmo pintada sobre uma superfície vertical.

Figura 5 - Modelo de linímetro usado nos pontos de medição



Fonte: Autor (2017).

Na figura acima pode ser visto o modelo de régua utilizada em campo. Sendo estas dispostas em número suficiente até a cota máxima já observada por moradores da região.

2.2.3.2 Sensor de Nível

Este tipo de equipamento grava de forma contínua as variações de nível de água no tempo. Permitindo registrar eventos de curta duração que ocorrem essencialmente em bacias de pequeno porte.

Os sensores de nível fazem o armazenando da informação em um datalogger – equipamento destinado a executar a aquisição e a gravação de dados durante um período de tempo, eliminando a necessidade da presença de um operador durante a coleta. Sendo estes dados coletados por meio da conexão entre o datalogger e um computador portátil ou mesmo transmitidos remotamente por sistema de telemetria (ANA, 2014).

Figura 6 – Exemplo de sensor de nível



Fonte: ANA (2014).

Na figura acima pode ser visto um exemplo de sensor de nível, o qual manda informações de mudança de pressão ocasionadas por um aumento do nível de água.

2.2.4 **Pluviômetros e Pluviógrafos**

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal, delimitada por um anel metálico e um reservatório ligado a essa área de captação para acumular a água recolhida (ANA, 2014).

Os pluviógrafos são capazes de registrar os dados de precipitação em intervalos menores de tempo, intervalos subdiários. Esse registro é feito digitalmente (ANA, 2014).

Figura 7 - Modelo de pluviógrafo de cubas basculantes



Fonte: Autor (2017).

Acima pode ser visto o modelo de pluviógrafo usado no monitoramento, sendo este da marca dualBASE (PluviDB P01055), com precisão de 0,2 mm.

2.2.5 Plataforma de Sensoriamento EPOSMote III.

Esta plataforma foi desenvolvida pelo LISHA (Software/Hardware Integration Lab) da UFSC para suportar pesquisa e desenvolvimento na área de sensores sem fio. A plataforma possui um microcontrolador ARM Cortex-M3 de 32 Mhz, 32 KB de memória RAM e 512 KB de memória Flash, além de comunicação sem fio IEEE 802.15.4, sensores de temperatura e umidade e uma unidade de medição inercial (IMU).

O EPOSMote III foi projetado para ser modular, fazendo-se possível o acoplamento de outras placas para estender sua capacidade de sensoriamento e comunicação inicial. Essa capacidade de extensão foi usada no projeto para a criação de duas placas auxiliares, sendo uma placa para controlar o acionamento dos sensores (pressão, turbidez e pluviógrafo) e a outra placa para a comunicação via rede de telefonia (GPRS).

Figura 8 - Sistema instalado em campo



Fonte: Autor (2017).

A figura acima mostra o sistema instalado e em funcionamento juntamente ao pluviógrafo e os sensores de pressão e turbidez.

O EPOSMote III controla o acionamento dos relés para leitura dos sensores a cada 5 minutos. Após a leitura dos mesmos, ele armazena os dados coletados em sua memória Flash e envia por rede GPRS para o servidor do LISHA na UFSC, sendo armazenados no banco de dados KairósDB e apresentados utilizando a interface gráfica Grafana.

2.3 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

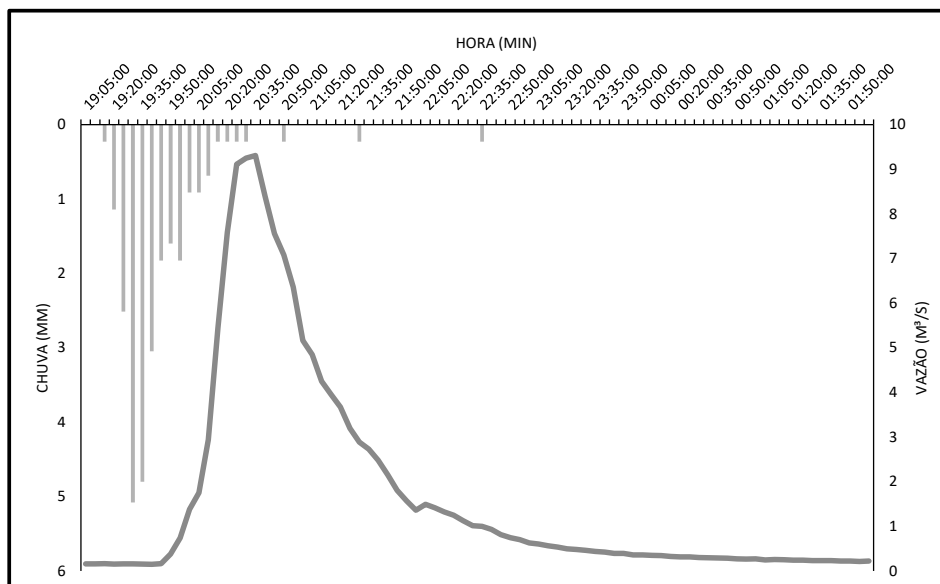
A definição de tempo de concentração (T_c), foi divulgada pela primeira vez em 1850, pelo engenheiro civil Thomas James Mulvany, criador do tão conhecido e aplicado Método Racional, na tentativa de relacionar o efeito de uma chuva sobre uma bacia hidrográfica. Conforme Mulvany (1850), define o T_c como o tempo necessário para a chuva que cai no ponto

mais remoto da bacia chegar à exutória, ou ainda, até que toda a área da bacia contribua para a vazão na mesma.

Segundo Dingman (2002), o conceito do T_c é muito útil para visualizar a resposta hidrológica da bacia. Considera-se, que quando a chuva efetiva continua em taxa constante por uma duração igual ou maior ao T_c , a vazão resultante será igual e na mesma taxa que a chuva efetiva, até que a precipitação encerre.

Além do T_c , existem outras variáveis de tempo que estão envolvidos na descrição de um hietograma efetivo e seu respectivo hidrograma, sendo esta, função das características da bacia em análise, tais como: tamanho, forma, declividade, características do solo, geologia, entre outros (DINGMAN, 2002).

Figura 9 - Exemplo de hietograma e hidrograma de resposta



Fonte: Autor (2017).

Para analisar o tempo de concentração, é necessário avaliar os mecanismos de geração de vazão. O processo do ciclo hidrológico é composto por subprocessos, sendo a geração de vazão um dos mais importantes. Segundo Kulandaiswamy & Seetharaman (1969), este processo pode ser classificado em partes, de acordo com o trajeto deste fluxo até chegar por definitivo no rio.

- Escoamento superficial → água que escoia sobre a superfície da bacia hidrográfica até um canal de drenagem;

- Escoamento subsuperficial → água que infiltra no solo e escoar lateralmente pelo mesmo até o rio;
- Escoamento subterrâneo → água do aquífero ou lençol freático que escoar para o rio.

Para a melhor análise de um evento de vazão é feito o seu hidrograma, que é a representação gráfica dos valores de vazão no tempo. A separação dos componentes do escoamento (análise do hidrograma) pode ser feita com base em parâmetros gráficos do próprio hidrograma. Kulandaiswamy & Seetharaman (1969), tentaram separar o hidrograma em três componentes: escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, porém apenas conseguiram diferenciar dois componentes, escoamento superficial e subterrâneo. Técnicas mais atuais separam o hidrograma em pelo menos dois componentes, sendo estes, o escoamento subsuperficial e subterrâneo.

Existem dois seguimentos de análises do tempo de concentração de uma bacia, um se baseia na aplicação de dados morfométricos em equações empíricas, as quais foram construídas através de análises de dados de um número de bacias, outro seguimento é feito pela análise dos hidrogramas, construídos através da base histórica de dados de nível e precipitação da bacia em questão.

A análise por fórmulas empíricas e/ou teóricas necessita de um estudo prévio da bacia hidrográfica para obter os parâmetros necessários na aplicação das equações, sendo que atualmente esta análise é feita através de ferramentas de softwares de geoprocessamento. Os dados básicos consistem em: comprimento e área da bacia, declividade e comprimento do rio principal, e a altitude média da bacia.

Motta (2012) mostra as principais equações teóricas para estimativa de tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, conforme visto na Tabela 01.

Tabela 1 – Equações empíricas e/ou teóricas

Nome	Equações com Tc em horas	Características da base de dados das bacias utilizadas		
		Área	Local	OBS.
Kirpich	$Tc = 0,620 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{Dt}}\right)^{0,80}$	0,0051 - 0,4533	EUA	Desenvolvida utilizando dados de 6 bacias
Pasini	$Tc = 0,108 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{A} \cdot L}{\sqrt{Dt}}\right)$	-	Itália	Desenvolvida para bacias com pouca declividade
Giandotti	$Tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Hm}}$	170 - 70000	Itália	Indicada principalmente para bacias italianas (alta declividade)
Johnstone	$Tc = 0,4623 \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,25}$	64,8 - 4206,1	EUA	Desenvolvida utilizando dados de 19 bacias
Dooge	$Tc = 0,3649 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17}$	145 - 948	Irlanda	Desenvolvida com dados de 10 bacias
Kerby-Hathaway	$Tc = 0,6061 \cdot \left(\frac{L \cdot N}{\sqrt{S}}\right)^{0,467}$	-	-	Desenvolvida para bacias com escoamento superficial dominante
Chow	$Tc = 0,1602 \cdot L^{0,64} \cdot S^{-0,32}$	0,01 - 18,5	EUA	Desenvolvida para bacias com pouca declividade
Morgali & Linsley (Onda Cinemática)	$Tc = \frac{7,3015 \cdot n^{0,6} \cdot L^{0,6}}{i^{0,4} \cdot S^{0,3}}$	-	-	Utiliza a onda cinemática para descrever a geração de escoamento superficial
Papadakis & Kazan	$Tc = \frac{2,1539 \cdot n^{0,52} \cdot L^{0,5}}{i^{0,38} \cdot S^{0,31}}$	< 5	EUA	Desenvolvida utilizando dados de 84 bacias
Simas-Hawkins	$Tc = 0,3209 \cdot A^{0,5937} \cdot L^{-0,5937} \cdot S^{-0,1505} \cdot Sscs^{-0,3131}$	0,001 - 14	-	Com base em 50.000 eventos hidrológicos de 168 bacias

Fonte: Adaptado de MOTTA (2012).

A tabela acima apresenta as condições de construção e ajuste de cada equação, bem como o tipo de bacia que foi analisada. Cada formulação e os parâmetros necessários para sua aplicação, serão especificados no capítulo de metodologia deste trabalho.

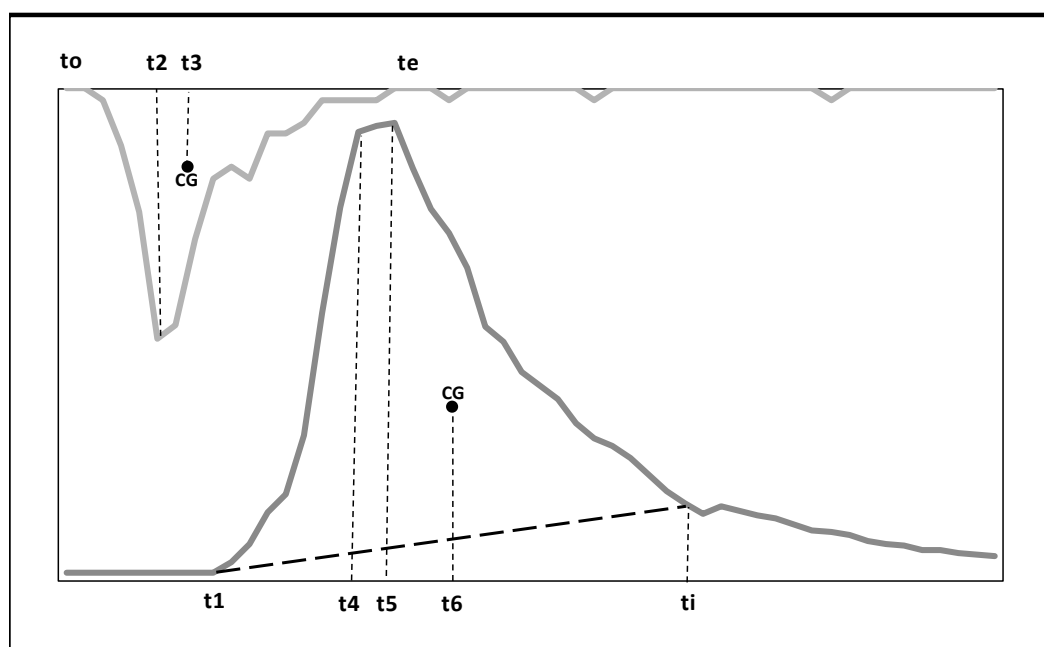
Segundo Mccuen (2009), a estimativa do tempo de concentração pode ser caracterizada através de seis métodos de análises de hidrogramas, sendo eles:

- O tempo desde o final da precipitação excedente até a inflexão apontada no hidrograma total;
- O tempo desde o centro da precipitação excedente até o centro de massa do escoamento direto;
- O tempo desde a intensidade máxima da chuva até o momento da descarga de pico;

- O tempo desde o centro de massa da precipitação excedente até o tempo de pico do escoamento direto;
- O tempo desde o centro de massa da precipitação excedente até o tempo de pico do escoamento total;
- O tempo desde o início do fluxo total até o momento do pico de descarga do escoamento total;

Estes tempos de divisão do hidrograma podem ser visualizados na figura a seguir:

Figura 10 – Evento hidrológico com caracterização das variáveis de tempo



Fonte: Adaptado de McCUEN (2009).

Na imagem acima foi ilustrado um exemplo de evento hidrológico, sendo localizado os pontos das variáveis de tempo usadas nos métodos de análises gráficas, onde: t_0 = início da precipitação; t_1 = início do escoamento direto; t_2 = precipitação máxima; t_3 = centro de massa do excesso de precipitação; t_4 = descarga máxima do escoamento direto; t_5 = pico de descarga do escoamento total; t_6 = centro de massa do escoamento; t_e = final da precipitação; t_i = ponto de inflexão do fim do escoamento.

2.4 CURVA-CHAVE

A medição de descarga líquida ou estimativa de vazão, é todo processo empírico, utilizado para determinar o volume de água que passa por meio de uma seção transversal em determinada unidade de tempo (ANA, 2014).

Os valores de vazão medidos em uma seção transversal são associados a uma cota de nível. Para determinação de uma curva-chave em uma seção de interesse, é necessário conhecer um número suficiente de pares de pontos cota–vazão, medidos em campo (ANA, 2014).

As curva-chaves estimadas para as seções monitoradas são de grande importância, pois fornecem informações utilizadas constantemente na elaboração de estudos hidrológicos, que orientam diversos processos de tomada de decisão, entre eles, análises e definições sobre medidas estruturais e não estruturais sobre eventos críticos (cheias ou estiagens), projetos de abastecimento público e etc. (ANA, 2014).

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

O processo de medição de vazão costuma definir apenas um trecho central da curva, utiliza-se ainda a extrapolação para estimar a vazão nas cotas que tenham sua vazão desconhecida.

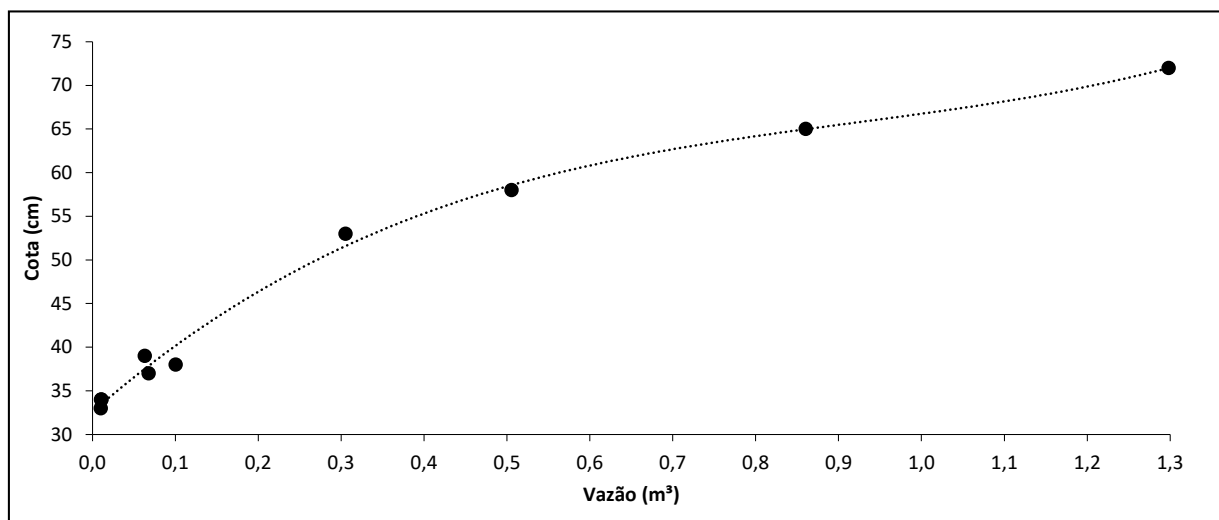
Para traçar a curva-chave pode-se aproximar a relação cota-descarga por uma expressão polinomial de grau “n” ou exponencial do tipo (PORTO et al.):

$$Q = a.(H - H_0)^b \quad (2)$$

Onde a e b são parâmetros de ajuste; H_0 é o valor para qual a vazão é nula; H é o nível do rio, e Q é a vazão.

Sendo que o tipo de equação a ser escolhida, será feita por informações de erro de aproximação.

Figura 11 - Exemplo de curva-chave



Fonte: Autor (2017).

A interpretação e análise das curva-chaves devem considerar todas as informações disponíveis, pesquisando-se históricos e relatórios de inspeção, alterações da posição das régua e das seções transversais e possíveis mudanças das condições de escoamento nas proximidades das estações (FILHO et al., 2003).

2.4.1 Extrapolação da Curva-Chave

Extrapolar uma curva-chave significa complementar o traçado da relação cota-vazão nos níveis onde não foi possível medir a vazão. Para essa atividade é necessário conhecimento no comportamento dos parâmetros geométricos e hidráulicos para as cotas a serem extrapoladas. Resumindo, extrapolar é interrogar-se sobre como variam as características geométricas de uma seção durante a continuidade de um escoamento (JACCON; CUDO, 1989).

Segundo Tucci (2003), as dificuldades na representação do trecho inferior da curva são devidas principalmente à mudança de leito. Já no trecho superior, o problema é a carência de medidas nos eventos extremos, pois, as extrapolações nem sempre apresentam uma boa aproximação da curva real, sendo necessário realizar medições fora do intervalo já medido, a fim de confirmar ou ajustar as mesmas.

Pode-se concluir que o uso da técnica de extrapolação da curva-chave gera incertezas e erros nas estimativas das vazões, por este motivo, Santos et al. (2001) asseguram que é importante a realização de medições de vazão na seção em questão, fora do intervalo já medido, a fim de confirmar ou calibrar as extrapolações. Deve-se também considerar que dependendo

do material do leito, podem haver processos erosivos, fazendo com que as características hidráulicas e geométricas da seção transversal sofram mudanças, por consequência apresentará alterações no decorrer do tempo na curva-chave de determinada seção

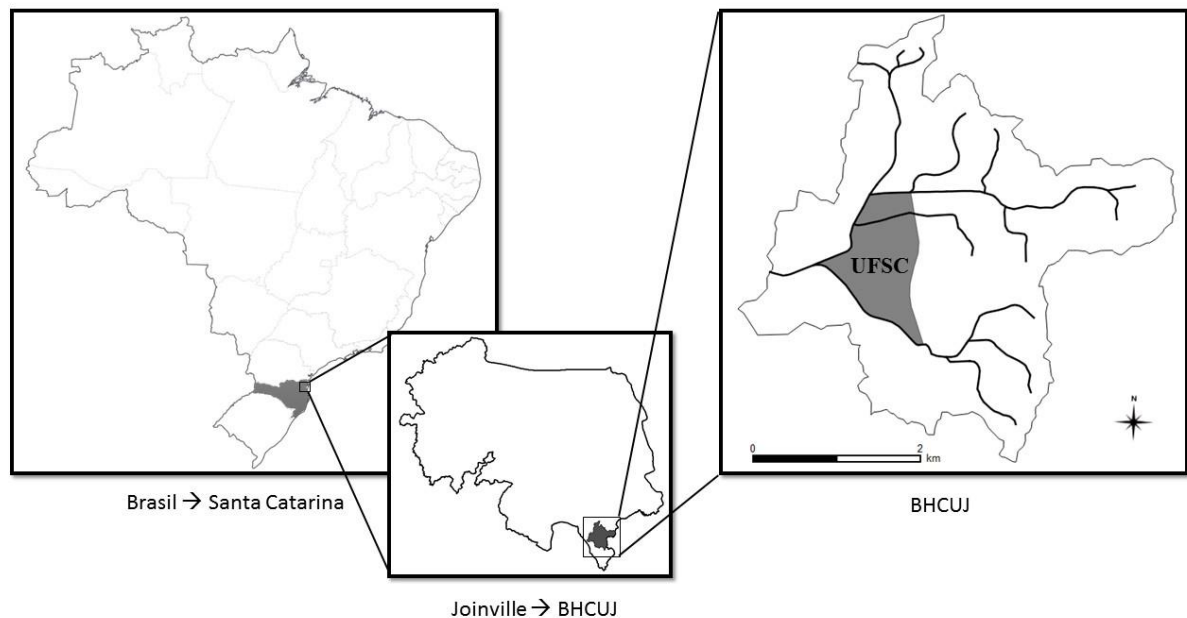
3 METODOLOGIA

Neste tópicos serão apresentadas as metodologias utilizadas para o cálculo dos parâmetros de interesse deste trabalho, bem como sua caracterização.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

As respectivas medições de vazão e monitoramento de dados pluviométricos e fluviométricos foram feitas em seções pré-determinadas, sendo estas compreendidas nos cursos de água da bacia que abrange o futuro campus da UFSC Joinville, localizado na Rodovia BR-101 na altura do Km 51, na região norte de Santa Catarina.

Figura 12 - Localização da BHCUI e futuro Campus da UFSC - Joinville

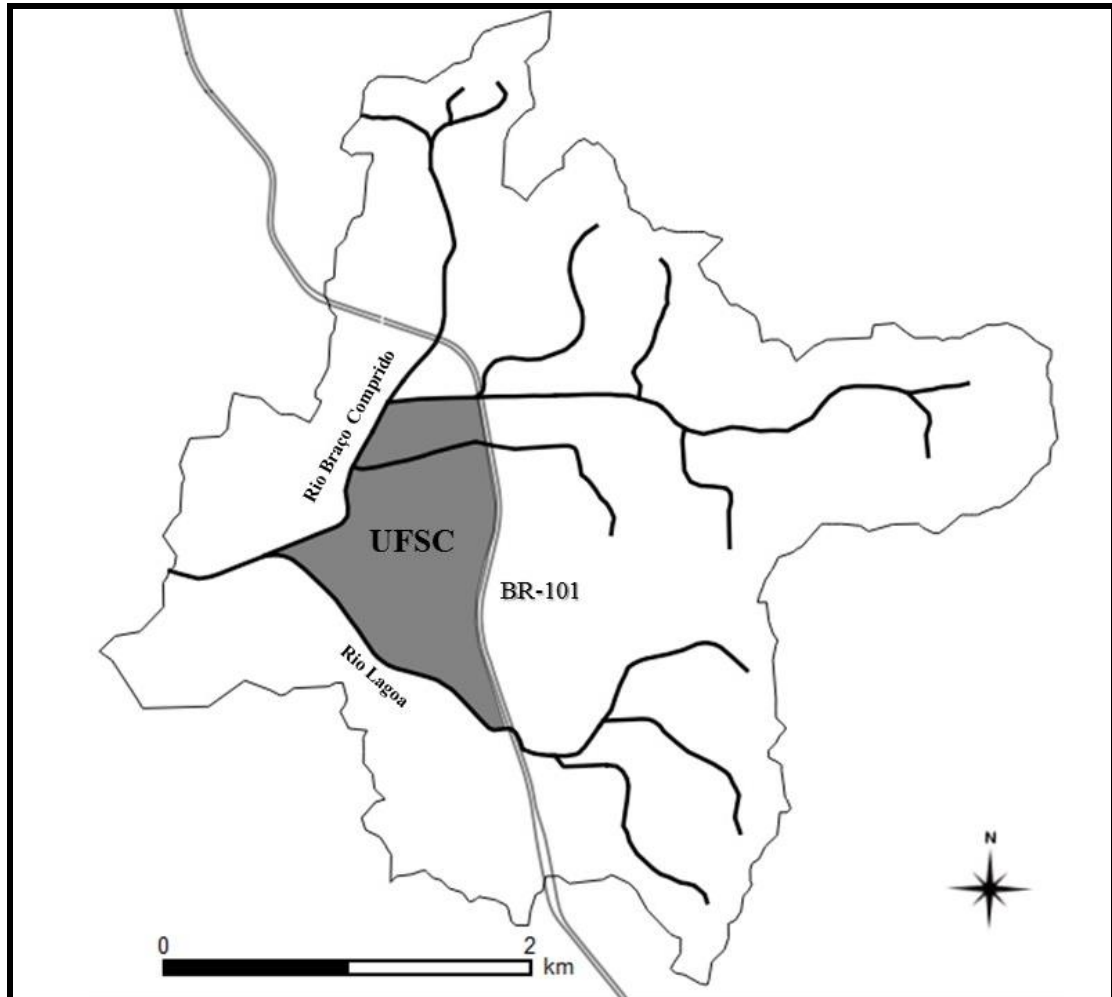


Fonte: Autor (2017).

A BHCUI possui uma área estimada em 12,5 Km², com um comprimento do rio principal de 5,7 Km e perímetro aproximado de 21,9 Km. Sendo que para fins de monitoramento hidrológico a BHCUI foi dividida em seis sub-bacias. Duas foram delimitadas

com exutório no Rio Braço Comprido, duas no Rio Lagoa Grande e uma no Rio sem denominação. O exutório principal está localizado na interseção da BHCUIJ com o Rio Pirai.

Figura 13 – Delimitação BHCUIJ

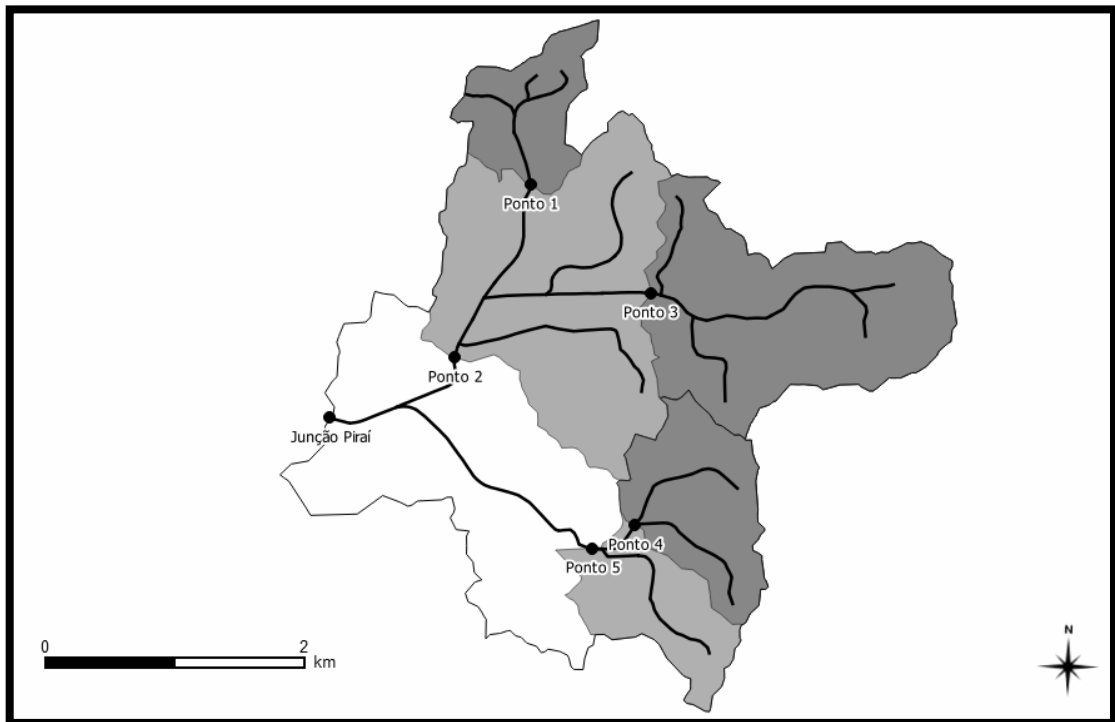


Fonte: Autor (2017).

Para a delimitação da BHCUIJ foi utilizado o software de geoprocessamento ArcGIS com informações iniciais de mapas de elevação digital disponibilizados pelo Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SimGeo).

Na BHCUIJ foram instalados quatro pontos de medição de nível e dois pontos de monitoramento pluviométrico. A divisão da BHCUIJ e a localização dos pontos de monitoramento podem ser vistos conforme a imagem a seguir.

Figura 14 – BHCUIJ e suas sub-bacias



Fonte: Autor (2017).

A identificação do tipo de monitoramento existente em cada ponto pode ser verificada na Tabela a seguir:

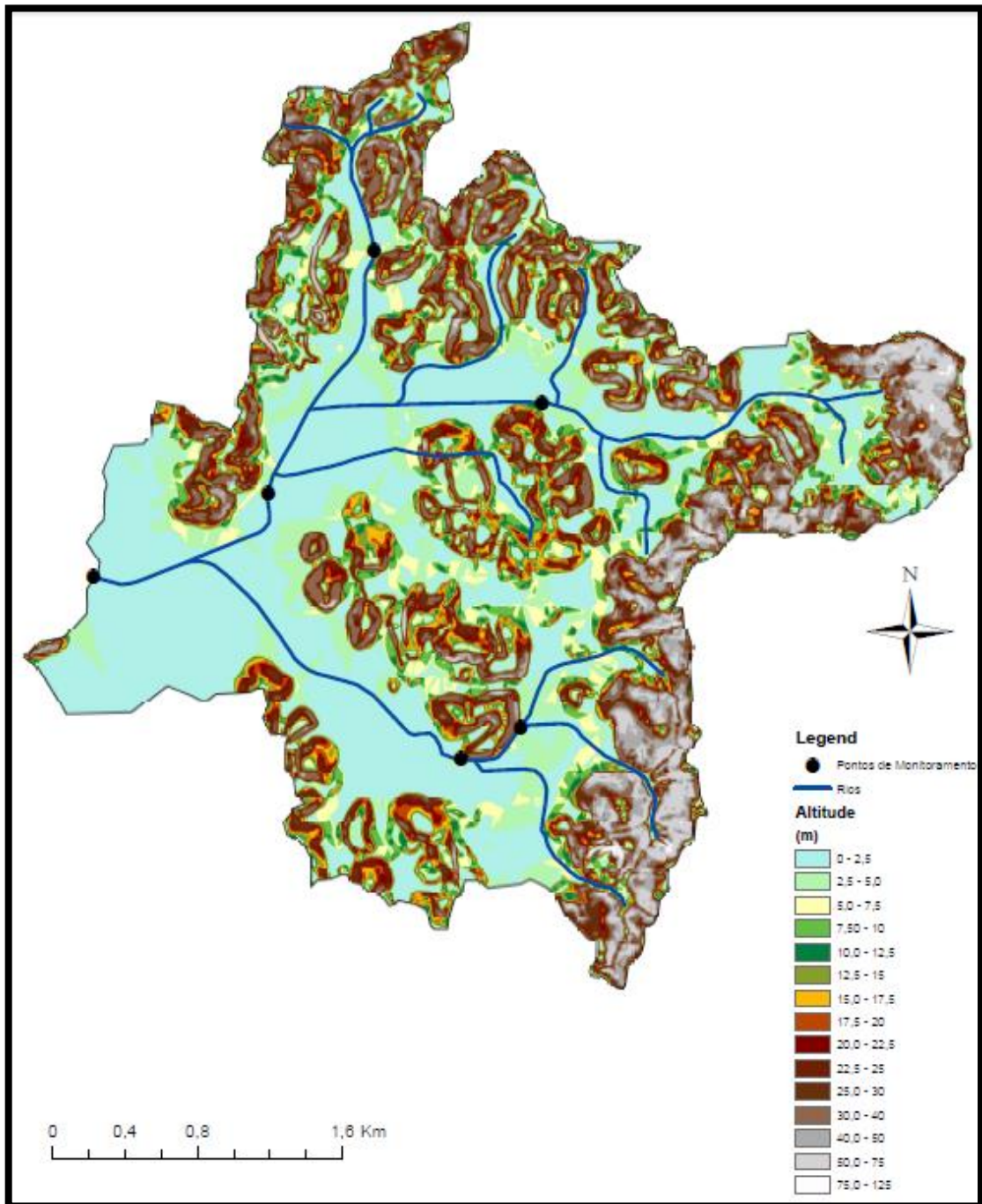
Tabela 2 - Identificação do tipo de monitoramento

Sub-Bacia	Tipo de Monitoramento	
	Pluviométrico	Nível
P1		x
P2	x	x
P3	x	x
P4		
P5		x

Fonte: Autor (2017).

Para cada sub-bacia foi feito o cálculo dos parâmetros morfométricos através da ferramenta de geoprocessamento. A seguir pode ser visto o mapa altimétrico da BHCUIJ.

Figura 15 - Mapa altimétrico da BHCUI



Fonte: Autor (2017).

No mapa acima pode-se ver a relação altimétrica da bacia, os divisores de água e os pontos de monitoramento das sub-bacias.

Pode-se perceber através da análise do mapa de altitude elaborado pelo software ArqGIS, que a BHCUI possui muitas áreas planas, principalmente ao final da sub-bacia P2, o

que pode dificultar o escoamento na parte final da mesma, pela diminuição teórica da velocidade do fluxo.

3.2 PROCESSO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

A medição convencional utilizando o molinete hidrométrico é universalmente usada para a determinação da vazão em cursos de água naturais e artificiais. Esse tipo de medição consiste em traçar a área da seção transversal e determinar a velocidade média do fluxo nessa seção. Obtém-se a área transversal da seção, medindo a largura do canal e a profundidade em diversos pontos, formando várias verticais (ANA, 2014).

Estes pontos, definidos ao longo da seção, determinam as verticais que ligam a superfície livre ao fundo do rio, nessas mesmas verticais são realizadas em certo número de pontos, as medições de velocidade com o molinete hidrométrico, variando em função da profundidade (ANA, 2014).

Figura 16 - Processo de medição com micro-molinete hidrométrico



Fonte: Autor (2017).

A Tabela 02 apresenta as fórmulas recomendadas em função do número de medições de velocidade e da posição (p – profundidade).

Tabela 3 - Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical

Tabela3 – 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 e 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 e 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).

3.2.1 Cálculo da Vazão com Molinete Hidrométrico

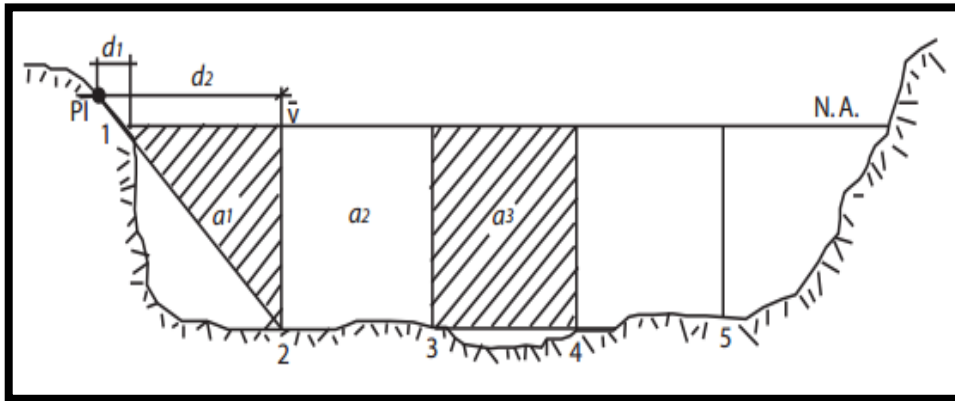
O processo numérico de cálculo da medição convencional de descarga líquida com uso de molinete pode ser calculado por meio de dois métodos: Seção Média e Meia Seção.

3.2.1.1 Método da Seção Média

No método da Seção Média as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, a partir da largura, da média das profundidades e da média das velocidades entre as verticais envolvidas (ANA, 2014).

A Figura 17 mostra o esquema de verificação de áreas e determinação de verticais.

Figura 17 - Cálculo da seção média



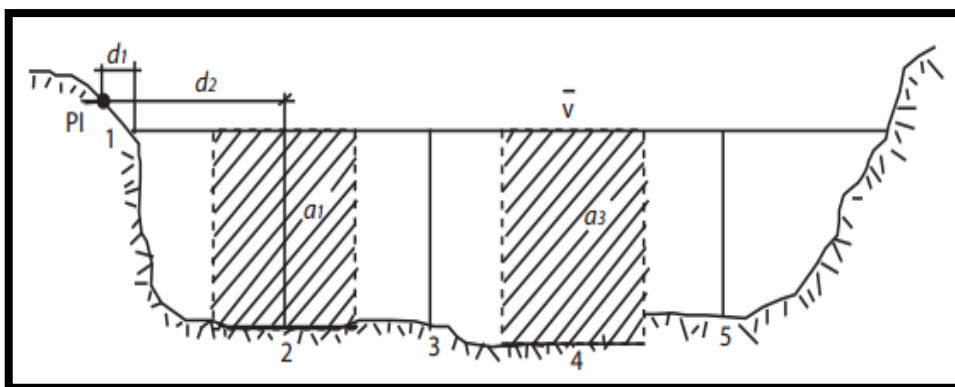
Fonte: ANA (2014).

3.2.1.2 Método da Meia Seção

Este método é baseado no cálculo das vazões parciais, por meio da multiplicação da velocidade média na vertical pelo produto da profundidade média na mesma e pela soma das semidistâncias às verticais adjacentes (ANA, 2014).

A Figura 18 mostra o esquema de verificação de áreas e determinação de verticais.

Figura 18 - Cálculo da meia seção



Fonte: ANA (2014)

O método utilizado neste trabalho foi o da Meia Seção, sendo este o mais utilizado atualmente e se adequando melhor as seções transversais aqui monitoradas.

3.2.2 Cálculo da Vazão com ADCP

A utilização do ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) para a medição de vazão permite que se tenha um perfil da seção transversal, com indicações de velocidade do escoamento e informações de vazão (ANA, 2014).

Figura 19 - ADCP pronto para realização de medição



Fonte: Autor (2017).

Com o uso do ADCP, toda a seção de medição é mapeada, tanto em velocidade d'água e profundidade quanto em relação a estimativa da quantidade de sedimentos em suspensão (ANA, 2014).

O processo de medição com o ADCP pode ser descrito de maneira simples para o operador, como passar o aparelho de uma margem a outra com a ajuda de uma corda guia, com velocidade constante e inferior a velocidade do fluxo do canal, este processo pode ser visto na figura a seguir.

Figura 20 – Processo de medição com ADCP no ponto 02



Fonte: Autor (2017).

O próprio sistema do software - Programa WinRiver (RDI Instruments – fabricante do ADCP) 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 com maior rapidez e facilidade em relação ao processo com molinete hidrométrico.

3.3 TRAÇADO DA CURVA-CHAVE

As obtenções dos dados de vazão para cada seção foram feitas pela equipe de projeto, porém a elaboração do traçado da curva-chave das seções de interesse, bem como suas devidas extrapolações, foi feita pelo também aluno do projeto Tiago Guizoni Neto, através do software Excel da plataforma Microsoft Office, onde se plotou os dados de vazão correspondente ao referido nível do canal. Após a plotagem dos pontos no gráfico, pôde-se realizar a aproximação do comportamento dos pontos por equações.

Guizoni (2017), aplicou dois tipos de equações para traçado da curva-chave, além de três tipos de extrapolações para cada seção. Porém, neste trabalho será apresentado apenas a

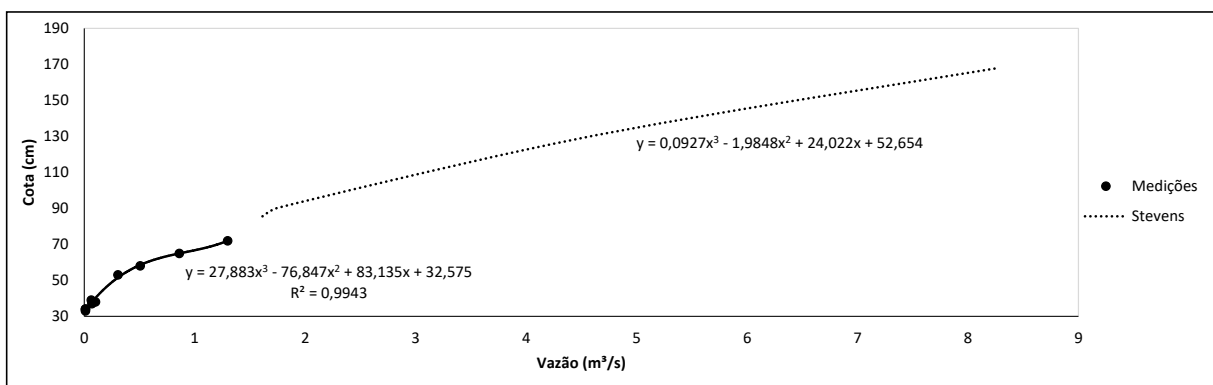
equação com menor erro de aproximação para a curva-chave e a extrapolação que melhor se adequa em cada seção.

As equações de cada seção serão demonstradas nos tópicos a seguir.

3.3.1 Traçado e Extrapolação da Curva-Chave da Sub-Bacia P1

Abaixo pode ser vista a curva-chave da seção e sua extrapolação:

Figura 21 – Curva-chave P1



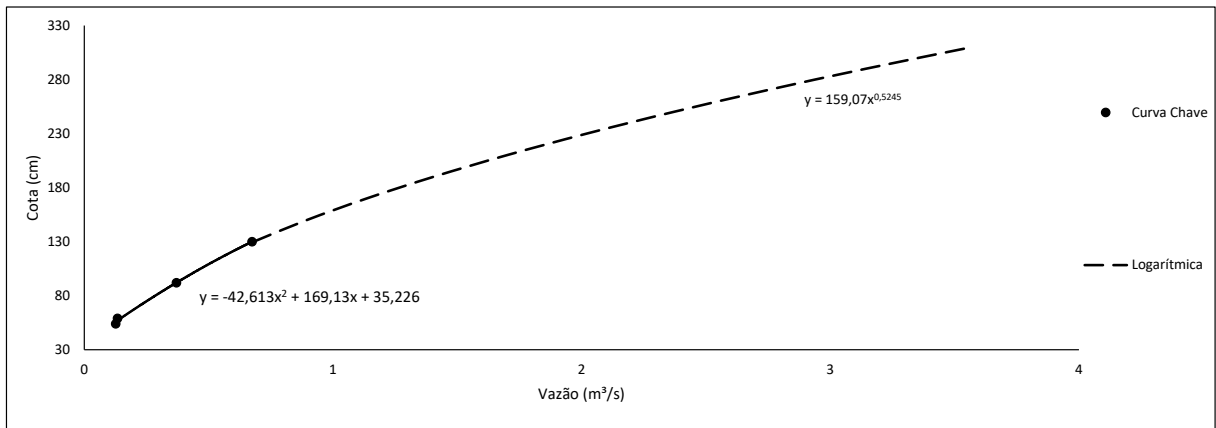
Fonte: Adaptado de GUIZONI (2017).

Segundo Guizoni (2017), nesta seção, a equação que melhor se ajustou conforme critérios de erros foi a polinomial e a extrapolação sendo pelo método de Stevens.

3.3.2 Traçado e Extrapolação da Curva-Chave da Sub-Bacia P2

Abaixo pode ser vista a curva-chave da seção e sua extrapolação:

Figura 22 – Curva-chave P2



Fonte: Adaptado de GUIZONI (2017).

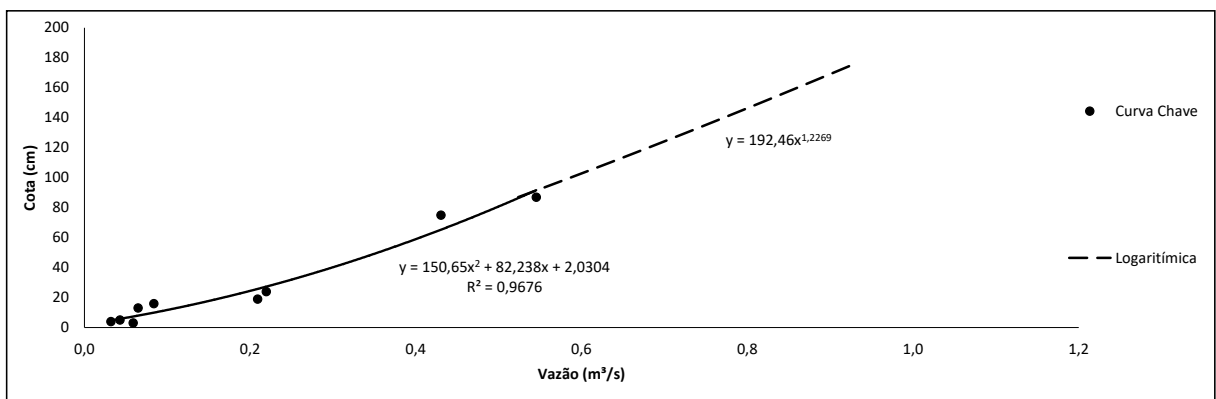
Segundo Guizoni (2017), nesta seção, a equação que melhor se ajustou conforme critérios de erros foi a polinomial e a extrapolação sendo pelo método do Logarítmico.

3.3.3 Traçado e Extrapolação da Curva-Chave da Sub-Bacia P3

Nesta seção, optou-se por fazer duas curva-chaves e suas respectivas extrapolações, pelo motivo que após o evento hidrológico, ocorrido no dia 02 de março de 2017, houve um assoreamento do canal, mudando assim o comportamento do mesmo em relação a vazão. Adotando-se como nomenclatura P3-Antes e P3-Depois do evento.

A curva-chave do P3-Antes pode ser vista a seguir:

Figura 23 – Curva-chave P3-Antes

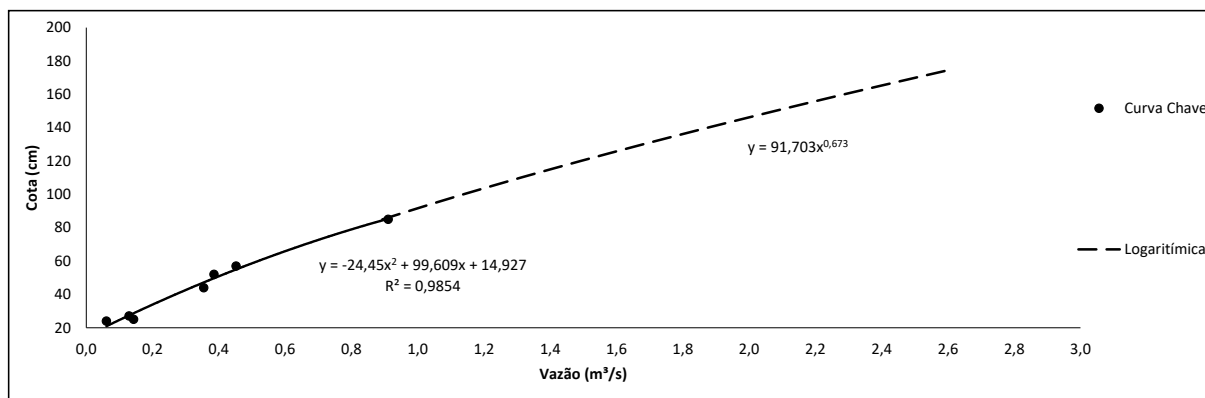


Fonte: Adaptado de GUIZONI (2017).

Segundo Guizoni (2017), nesta seção, a equação que melhor se ajustou conforme critérios de erros foi a polinomial e a extrapolação sendo pelo método do Logarítmico.

A curva-chave do P3-Depois pode ser vista a seguir:

Figura 24 - Curva-chave do P3-Depois



Fonte: Adaptado de GUIZONI (2017).

Segundo Guizoni (2017), nesta seção, a equação que melhor se ajustou conforme critérios de erros foi a polinomial e a extrapolação sendo pelo método do Logarítmico.

Com estas curva-chaves, pode-se fazer a transformação dos dados de níveis de água dos referidos pontos de monitoramento em dados de vazão, sendo construídos através de tais, os hidrogramas dos eventos hidrológicos.

As equações dos pontos de monitoramento P4 e P5 ainda não foram elaboradas.

3.4 ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Para o cálculo do tempo de concentração, este trabalho propõe fazer a análise por dois seguimentos: através de dados morfométricos, aplicados em equações empíricas e outro por meio da análise da série de dados pluviométricos e fluviométricos.

3.4.1 Parâmetros Morfométricos das Sub-Bacias

Através das análises feitas com o software de geoprocessamento ArcGIS, chegou-se aos seguintes resultados demonstrados na Tabela 04.

Tabela 4 – Dados morfométricos estimados

Parâmetros	Simbologia	Unidade	Bacias					
			BHCUJ	P1	P2	P3	P4	P5
Área	A	Km ²	12,489	0,826	6,924	2,890	1,230	2,170
Perímetro	P	Km	21,840	4,623	15,798	8,624	5,260	7,518
Comp. do Rio Principal	Lr	Km	5,679	2,222	5,061	2,845	1,157	3,951
Comp. da Bacia em Linha Reta	L	Km	4,859	1,289	3,806	2,374	1,122	1,316
Altitude Divisor de Águas	Hd	m	124,450	56,920	105,600	105,600	87,110	124,450
Altitude Máxima do Canal Principal	Hmax	m	30,000	20,000	30,000	30,000	31,000	31,000
Altitude Exutória	He	m	5,000	10,800	10,000	14,300	14,500	10,000
Elevação Média	Hm	m	13,970	18,480	15,200	18,910	22,510	19,700
Declividade do Talvegue Principal	Dt	m/m	0,025	0,036	0,025	0,038	0,065	0,087
Declividade do Canal Principal	S	-	0,004	0,004	0,004	0,006	0,014	0,005
Parâmetro Curver Number	CN	-	73,0					
Precipitação Máxima	I_{máx}	mm/5min	3,47					

Fonte: Autor (2017).

As áreas das sub-bacias variam entre 0,83 km² e 12,5 km² aproximadamente, sendo o comprimento do rio principal chegando a 6 km (Rio Lagoa). Em todas as sub-bacias da BHCUJ, a altitude do rio principal não ultrapassa a cota dos 31 m, tendo declividades de aproximadamente 0,04 m/m. Apenas os rios das sub-bacias P3 e P4 apresentam maiores declividades, pois estão mais próximos das suas respectivas nascentes.

3.4.2 Estimativa do T_c por Equações Empíricas

Para a estimativa de T_c por meio de equações empíricas, foi selecionado dez equações, a seguir consta a especificação e parâmetros necessários para a aplicação de cada formulação.

- Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0,620 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{Dt}} \right)^{0,80} \quad (3)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); L é o comprimento da bacia em linha reta do exutório até o divisor, em (km); e Dt é o desnível entre o exutório e o divisor da bacia dividido pelo comprimento, em (m/m).

- Fórmula de Pasini:

$$T_c = 0,108 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{Dt}} \right) \quad (4)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); A é a área da bacia, em (Km²); L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); e Dt é o desnível entre a exutória e o divisor da bacia dividido pelo comprimento, em (m/m).

- Fórmula de Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Hm}} \quad (5)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); A é a área da bacia, em (Km²); L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); e Hm é a elevação média a partir da enxutória, em (m).

- Fórmula de Johnstone:

$$T_c = 0,4623 \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,25} \quad (6)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); e S é a declividade do canal principal em (m/m).

- Fórmula de Dooge:

$$T_c = 0,3649 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17} \quad (7)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); A é a área da bacia, em (Km²); e S é a declividade do canal principal em (m/m).

- Fórmula de Kerby - Hathaway:

$$T_c = 0,6061 \cdot \left(\frac{L \cdot N}{\sqrt{S}} \right)^{0,467} \quad (8)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); S é a declividade do canal principal em (m/m); N corresponde ao tipo de superfície correspondente ao escoamento superficial, sendo adimensional.

Tabela 5 - Valores de N correspondentes ao tipo de superfície

Tipo de superfície	N
Superfície lisa e impermeável	0,02
Solo exposto compactado e liso	0,10
Gramma rala, cultivo agrícola em linha ou superfície exposta moderadamente rugosa	0,20
Pastagem ou grama média	0,40
Floresta decídua plantada	0,60
Floresta conífera plantada, floresta decídua plantada com camada alta de serrapilheira ou grama densa	0,80

Fonte: Adaptado de KERBY (1959).

Conforme informações apresentadas no Estudo Ambiental Simplificado (EAS) entre elas o estudo hidrológico (UFSC, 2010), em levantamento do padrão do uso e ocupação do solo das bacias, a maior porcentagem da área superficial das bacias encontra-se como pastagem ou vegetação de transição (arbustos ou vegetação não densa). Assim sendo adotado $N = 0,40$.

- Fórmula de Chow:

$$T_c = 0,1602 \cdot L^{0,64} \cdot S^{-0,32} \quad (9)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); e S é a declividade do canal principal em (m/m).

- Fórmula de Morgali & Linsley (Onda Cinemática):

$$T_c = \frac{7,3015 \cdot n^{0,6} \cdot L^{0,6}}{i^{0,4} \cdot S^{0,3}} \quad (10)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); n é o coeficiente de rugosidade de Manning, em $(s/m^{1/3})$, para canais abertos $n = 0,06$; L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); S é a declividade do canal principal em (m/m); e i é a intensidade da chuva, em (mm/h).

- Fórmula de Papadakis & Kasan:

$$T_c = \frac{2,1539 \cdot n^{0,52} \cdot L^{0,5}}{i^{0,38} \cdot S^{0,31}} \quad (11)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); n é o coeficiente de rugosidade de Manning, em $(s/m^{1/3})$, para canais abertos $n = 0,06$; L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); S é a declividade do canal principal em (m/m); e i é a intensidade da chuva, em (mm/h).

- Fórmula de Simas – Hawkins:

$$T_c = 0,3209 \cdot A^{0,5937} \cdot L^{-0,5937} \cdot S^{-0,1505} \cdot S_{scs}^{-0,3131} \quad (12)$$

$$S_{scs} = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (13)$$

Onde T_c é o tempo de concentração, em (h); A é a área da bacia, em (km^2) ; L é o comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor, em (km); S é a declividade do canal principal em (m/m); e CN é parâmetro *curve number* do Método SCS, adimensional.

Conforme informações apresentadas no Estudo Ambiental Simplificado (EAS) entre elas o estudo hidrológico (UFSC, 2010), em levantamento do padrão do uso e ocupação do solo das bacias, os resultados indicam grande homogeneidade em toda a bacia, obtendo-se um valor

global de Número de Deflúvio ($CN \approx 73$), muito próximo dos valores encontrados para as sub-bacias.

3.4.3 Cálculo do T_c por Análise de Hidrogramas

Para a realização da análise de hidrogramas foi feito o monitoramento de dados de nível e precipitação nos pontos de interesse nos períodos observados abaixo.

Tabela 6 - Período de monitoramento

	Nível	Precipitação
P1	26/01 - 20/05/2017	-
P2	11/02 - 20/05/2017	11/02 - 20/05/2017
P3	18/01 - 20/05/2017	18/01 - 20/05/2017
P5	01/04 - 20/05/2017	-

Fonte: Autor (2017).

Para a construção dos hidrogramas para as sub-bacias P1 e P5, foram usados os dados de precipitação obtidos dos monitoramentos das estações P2 e P3.

Com a construção desta série histórica de dados para cada ponto de monitoramento, selecionou-se 16 eventos para o P1, 20 eventos para o P2 e 09 eventos para o P5. No ponto P3, decidiu-se dividir as análises para antes e depois do evento do dia 02 de março de 2017, pelo motivo que houve uma mudança no comportamento da vazão da bacia, sendo que este também iria interferir no T_c , selecionou-se então 09 eventos para o P3, sendo 06 antes do evento e 03 pós.

Para a sub-bacia P5 os hidrogramas foram plotados com os dados de nível do canal, por não haver ainda o traçado e extrapolação para a curva-chave desta seção.

A partir de tais eventos, este trabalho propõe estimar o tempo de concentração por cinco métodos de análises de hidrogramas, sendo eles:

- Método 01:

Estima o T_c como o tempo entre o fim do evento de precipitação e o ponto de inflexão, ou a média dos pontos de inflexão caso dois pontos, o qual representa o fim do escoamento superficial.

A localização destes pontos foi determinada através da plotagem do hidrograma em escala logarítmica, no qual a uma suavidade da curva favorecendo a identificação dos pontos com a ajuda de retas tangentes. Na intercessão das retas se encontra a mudança de inclinação da curva, caracterizando assim o ponto de inflexão.

- Método 02:

Estima o T_c como o tempo entre o centro de massa da precipitação efetiva e o centro de massa do escoamento.

- Método 03:

Estima o T_c como o tempo entre o momento da precipitação máxima e o pico de descarga do hidrograma.

- Método 04:

Estima o T_c como o tempo entre o centro da precipitação efetiva e o pico de descarga do hidrograma.

- Método 05:

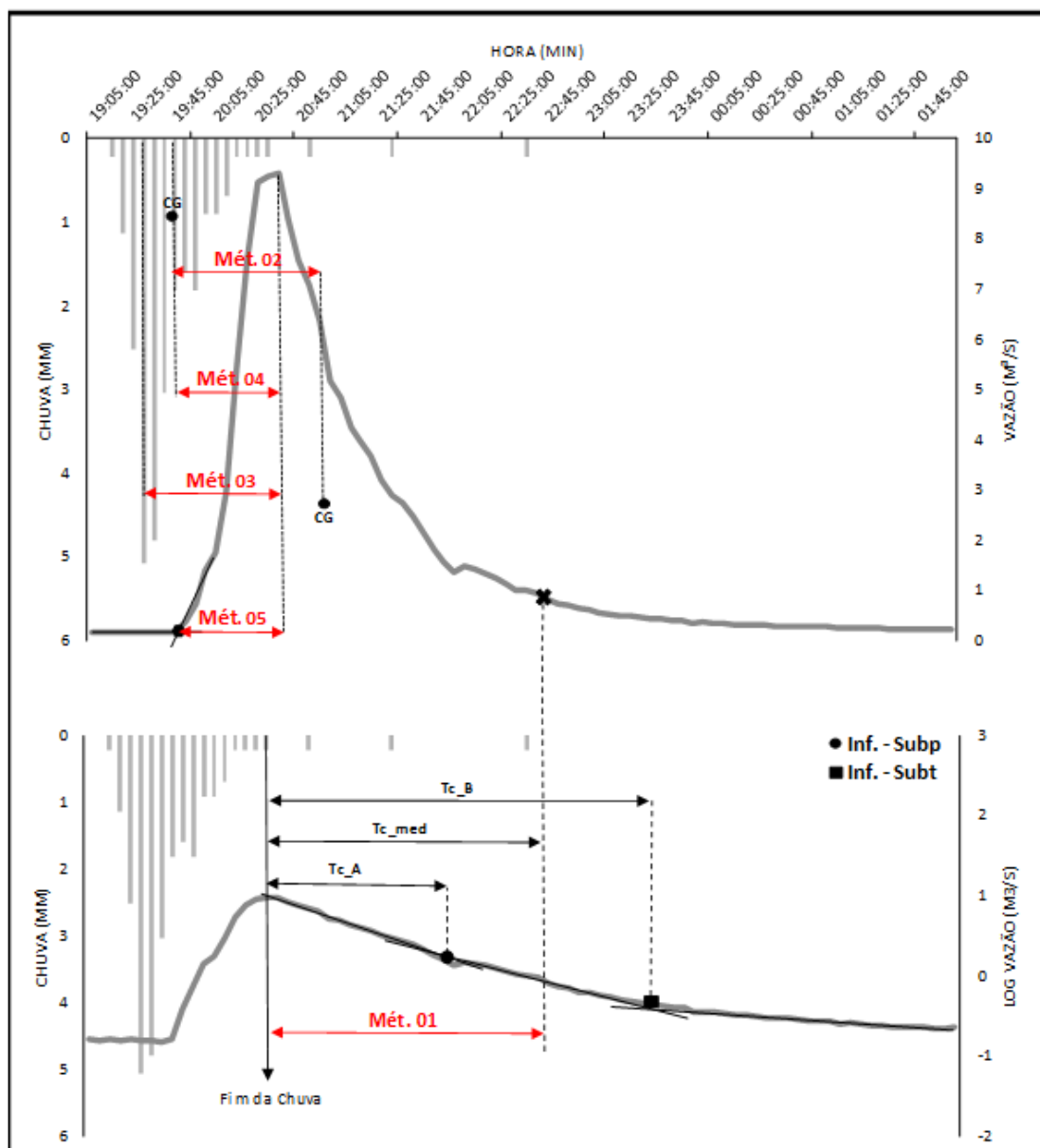
Estima o T_c como o tempo entre o início do escoamento total e o pico de descarga do hidrograma.

- ❖ Considerações de Análise:

- ✓ Para parametrização das análises gráficas, o ponto de início do escoamento foi tomado por meio da intercessão de retas tangentes a curva.
- ✓ O ponto final do escoamento foi parametrizado como o ponto de inflexão da análise do hidrograma em escala logarítmica. Se houver dois pontos de inflexão, será adotado a média dos mesmos.

- ✓ Vários eventos selecionados, em questão de precipitação, não chegariam a caracterizar escoamento superficial, pois a chuva acumulada ficou abaixo de 20% do Sscs. Para estes eventos o centro de massa foi calculado pela chuva total. A análise por meio da chuva efetiva foi feita apenas para eventos em que a chuva acumulada $> 25\text{mm}$.
- ✓ O centro de massa do hidrograma de escoamento foi calculado com dados entre o início e o fim do mesmo conforme observações feitas acima.

Figura 25 – Métodos de estimativa de T_c por análise do hidrograma



Fonte: Autor (2017).

Na análise cada hidrograma, além da estimativa do T_c pelos cinco métodos foi obtido outros parâmetros dos eventos:

- Pt_{Total} → precipitação total acumulada do evento, em (mm);
- $Imáx/5min$ → maior impulso da precipitação do evento nos dados a cada 5 min, em (mm);
- D → duração total da precipitação (horas);
- $Q_{méd_Máx-Infl.}$ → média da vazão no período compreendido entre o ponto de pico do escoamento até o ponto de inflexão do hidrograma, em (m^3/s);

Este parâmetro foi relacionado com o T_c no trabalho publicado por Kobiyama et al. (2006), por refletir o comportamento da bacia no processo de escoamento do montante de água acumulado frente ao evento de precipitação.

- $Q_{máx}$ → vazão máxima encontrada no hidrograma, ou seja o pico do mesmo, em (m^3/s);
- Q_{total} → calculado com o somatório dos dados de vazão compreendidos entre o início do evento e o ponto de inflexão do hidrograma, multiplicado pelo intervalo de tempo entre os dados (5 min.) , em (m^3);

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico será analisado os parâmetros morfométricos de cada bacia, sendo calculados a partir destes, os tempos de concentração teóricos através de fórmulas empíricas, e finalmente comparados estes resultados com os decorrentes de métodos analíticos de tempo de concentração feitos com as análises dos dados de monitoramento.

4.1 ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO TEÓRICOS

Aplicando os dados morfométricos encontrados, número de Manning, intensidade da chuva e o parâmetro *Curver Number* foi elaborado a Tabela 7, a qual contém as estimativas de T_c para as sub-bacias com a aplicação das equações teóricas.

Tabela 7 – Estimativas de tempos de concentração por equações teóricas

Equações Teóricas	Tempo de Concentração (horas)					
	BHCUJ	P01	P02	P03	P04	P05
Kirpich	0,967	0,288	0,788	0,456	0,203	0,205
Pasini	2,707	0,583	2,028	1,046	0,473	0,520
Giandotti	7,165	1,619	5,205	2,978	1,612	2,215
Johnstone	3,956	2,069	3,597	2,613	1,417	1,964
Dooge	2,584	0,858	2,067	1,365	0,818	1,221
Kerby-Hathaway	2,934	1,602	2,685	1,992	1,125	1,526
Chow	2,501	1,091	2,214	1,471	0,672	1,021
Morgali & Linsley (Onda Cinemática)	3,86	1,77	3,44	2,35	1,13	1,67
Papadakis & Kazan	1,432	0,568	0,990	0,705	0,361	0,531
Simas-Hawkins	0,307	0,136	0,254	0,190	0,155	0,229
Média	2,841	1,059	2,327	1,516	0,796	1,110
Desvio Padrão	67,50%	63,72%	63,89%	62,35%	64,05%	65,34%

Fonte: Autor (2017).

Aplicando as equações teóricas encontrou-se grande variação de estimativas de T_c , o desvio padrão em relação à média geral ficou em torno de 65 %.

A fórmula de Giandotti apresentou a maior estimativa do T_c para quase todas sub-bacias. E a fórmula de Simas-Hawkins o menor valor. A fórmula de Giandotti foi formulada em bacias montanhosas, portanto não é indicado utiliza-la para sub-bacias com baixa declividade. A fórmula de Simas-Hawkins apesar de ter sido estimada com base em eventos de bacias de áreas similar as deste trabalho talvez não apresente o mesmo comportamento chuvas.

A fórmula de Kirpich apresentou estimativas baixas para todas as sub-bacias, ficando acima apenas dos resultados encontrados pela fórmula de Simas-Hawkins. Comprovando o porquê de sua maior utilização para estimativas de T_c para projetos de engenharia, pois possui

um menor valor em relação a outras equações empíricas, gerando assim uma maior vazão de projeto, além que necessita apenas de parâmetros morfométricos de fácil obtenção.

4.2 ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO ANALÍTICOS

Separado os eventos hidrológicos para os pontos de monitoramento, construiu-se os hidrogramas pelo software Excel da plataforma Microsoft office, e aplicou-se os cinco métodos de análise, chegando as estimativas como consta na Tabela 08. Os hidrogramas usados nas análises de T_c estão no Apêndice A.

Tabela 8 - Estimativas de Tempo de concentração em horas pelo método de análise de hidrogramas e hietogramas

Bacias	N°	Método 01			Método 02 C. Hie. - C. Hid.	Método 03 Imáx - Qmáx	Método 04 C. Hiet. - Qmáx	Método 05 In. Ev. - Qmáx
		Final Prec. - Ponto de Inf.						
		Tc_A	Tc_B	Tc_med				
P1	1	2,33	-	2,33	1,75	1,92	1,82	2,42
	2	1,33	2,92	2,13	0,58	0,92	0,25	0,92
	3	1,58	2,67	2,13	1,83	1,25	1,58	0,42
	4	1,42	2,75	2,08	1,12	0,75	0,60	1,42
	5	2,42	-	2,42	1,88	2,92	2,17	2,33
	6	1,58	3,33	2,46	1,90	1,50	1,45	0,92
	7	2,42	-	2,42	1,80	1,67	1,37	0,75
	8	1,33	1,83	1,58	1,18	1,25	1,22	0,42
	9	2,17	-	2,17	1,68	2,42	1,77	1,08
	10	1,83	3,00	2,42	1,78	1,42	1,35	0,83
	11	1,42	3,25	2,33	2,08	3,58	2,17	2,17
	12	1,75	2,67	2,21	-	1,67	1,42	-
	13	2,58	-	2,58	1,33	0,50	1,08	1,83
	14	1,25	4,17	2,71	1,62	0,75	0,95	1,58
	15	2,08	5,42	3,75	3,00	1,00	3,35	6,00
	16	2,33	4,00	3,17	0,58	5,00	0,43	7,92
Médias				2,43	1,61	1,78	1,44	2,07
Desvio Padrão				20,02%	37,39%	66,82%	52,56%	102,58%
P2	1*	16,58	40,33	28,46	12,60	6,00	5,65	5,25
	2	17,50	-	17,50	8,37	4,92	4,73	5,00
	3*	12,08	34,25	23,17	13,52	7,17	7,13	7,58
	4	15,17	-	15,17	7,53	4,58	4,52	4,58
	5	12,33	-	12,33	6,37	5,08	5,03	5,17
	6*	14,58	41,50	28,04	12,05	4,92	4,27	5,08
	7*	13,75	26,67	20,21	8,00	3,92	3,93	7,08
	8	15,17	-	15,17	10,20	7,17	5,70	6,42
	9*	12,83	35,67	24,25	12,20	10,25	9,78	10,08
	10*	12,17	23,42	17,79	9,03	5,08	6,38	7,50
	11	16,00	-	16,00	9,83	8,00	6,58	6,75
	12*	20,92	43,33	32,13	12,18	3,00	2,75	7,92
	13*	14,17	27,67	20,92	10,10	4,33	4,87	5,92
	14*	11,00	18,42	14,71	9,82	10,42	9,47	9,67
	15	12,75	-	12,75	8,27	7,83	6,58	5,83
	16	14,42	-	14,42	7,03	5,83	5,38	6,67
	17	13,50	-	13,50	7,20	5,00	5,20	5,08
	18	12,67	-	12,67	7,33	6,00	6,08	4,83
	19	11,83	-	11,83	7,35	5,83	5,80	5,08
	20	15,92	-	15,92	8,40	7,25	6,93	6,17
Médias				18,35	9,37	6,13	5,84	6,38
Desvio Padrão				32,64%	23,01%	31,78%	28,86%	24,42%
Médias (Sem Eventos *)				14,30	7,99	6,14	5,69	5,60
Desvio Padrão (Sem Eventos *)				12,69%	14,75%	20,06%	14,03%	14,07%

Bacias	N°	Método 01			Método 02 C. Hie. - C. Hid.	Método 03 Imáx - Qmáx	Método 04 C. Hiet. - Qmáx	Método 05 In. Ev. - Qmáx
		Final Prec. - Ponto de Inf.						
		Tc_A	Tc_B	Tc_med				
P3 Antes	1	2,42	8,17	5,29	2,43	1,33	1,27	2,17
	2	6,25	-	6,25	2,78	6,83	6,68	6,25
	3	5,83	6,83	6,33	4,60	2,83	2,52	2,83
	4	6,83	9,42	8,13	3,27	5,58	3,22	6,17
	5	7,67	-	7,67	3,10	3,58	3,05	6,17
	6	3,50	6,08	4,79	3,17	2,75	2,67	1,92
Médias				6,410	3,23	3,82	3,23	4,25
Desvio Padrão				20,25%	22,93%	53,08%	56,42%	50,62%
P3 Depois	1	2,83	-	2,83	1,52	1,17	1,17	1,00
	2	3,42	-	3,42	2,45	2,08	1,90	1,08
	3	2,25	-	2,25	1,63	3,33	1,92	3,25
Médias				2,833	1,87	2,19	1,66	1,78
Desvio Padrão				20,59%	27,24%	49,56%	25,78%	71,76%
P5	1	3,75	-	3,75	2,12	2,25	2,23	2,25
	2	4,00	-	4,00	2,80	5,00	4,15	5,17
	3	4,83	-	4,83	3,07	2,33	2,08	4,42
	4	2,33	8,25	5,29	4,02	2,25	2,75	3,50
	5	3,25	-	3,25	2,22	1,67	1,90	1,42
	6	5,75	-	5,75	3,12	3,67	3,88	4,50
	7	3,08	6,58	4,83	3,82	2,83	2,78	3,92
	8	4,67	-	4,67	2,68	3,58	3,27	3,33
	9	5,17	-	5,17	2,58	6,50	2,85	7,83
Médias				4,616	2,94	3,34	2,88	4,04
Desvio Padrão				17,36%	22,17%	46,53%	26,94%	45,43%

Fonte: Autor (2017).

Para cada ponto de monitoramento calculou-se a média aritmética de estimativa de T_c com cada método de análise, além dos desvios padrão em relação a sua média, de maneira que possa refletir a variação de resultados encontrados.

O método com menor variação de resultados foi o Método 01, com variação de 10- 20 %, tendo também as maiores estimativas de T_c . O Método 02 também possui pouca variação de resultados (10 – 40%), porém com valores estimados em geral 50% a baixo do que o primeiro método.

O método com maior variação de resultados em quase todas as sub-bacias foi o Método 05, chegando a mais de 100% de variação de resultados em relação a sua média, esse fenômeno pode ser causado pela influência de hidrogramas onde a precipitação ocorreu constante durante

grande tempo tendo após um pico, gerando assim valores maiores do que os demais encontrados. Este fenômeno pode ser observado nos hidrogramas da P1, nos dias 18 e 19/05/2017.

Os Métodos 03 e 04 possuem as médias aritméticas em geral bem parecidas, o que também foi observado nas suas variações de resultados

Nos eventos hidrológico n° 1,3,6,7,9,10,12,13 e 14 da sub-bacia P2, foi constatado um fenômeno discrepante nos hidrogramas, onde o segundo ponto de inflexão se distanciou muito do primeiro, levando a um tempo de concentração médio (T_{c_med}) alto.

Este, por sua vez, pode decorrer de um possível represamento do escoamento da BHCUIJ pelo rio Piraí, já que o primeiro ponto de inflexão se mantém dentro da média geral. Porém para afirmar esta hipótese teria que obter e analisar dados de precipitação da bacia e nível do Rio Piraí. Outra maneira de verificar esta hipótese, seria fazer uma medição de vazão na seção do P2, no intervalo entre os pontos de inflexão. Caso este se encontre discrepante no traçado da curva-chave da seção, poderia se afirmar a mesma.

Para diminuir a variação de dados desta sub-bacia, optou-se em retirar estes eventos nas análises seguintes.

Este fenômeno teve impacto principalmente nos métodos de análises 01 e 02, que por sua vez são baseados na determinação dos pontos de inflexão do hidrograma, não demais não se observou mudanças relevantes.

Em relação ao Ponto 03, pode-se observar uma drástica diminuição no T_c , na ordem de 50 % nos hidrogramas pós-eventos, diferença observada em todos os métodos de análise. Apesar de poucos eventos após o ocorrido foi possível notar um aumento da velocidade da água na seção e também como já foi citado a erosão do canal.

O evento n° 12 da sub-bacia P1, possui uma falha nos dados de nível entre o início do evento até o pico de descarga, por este motivo não foi possível estimar o T_c pelos métodos de análise de hidrograma 02 e 05, porém não prejudicando a análise por outros métodos.

4.3 ANÁLISES DE ESTIMATIVAS

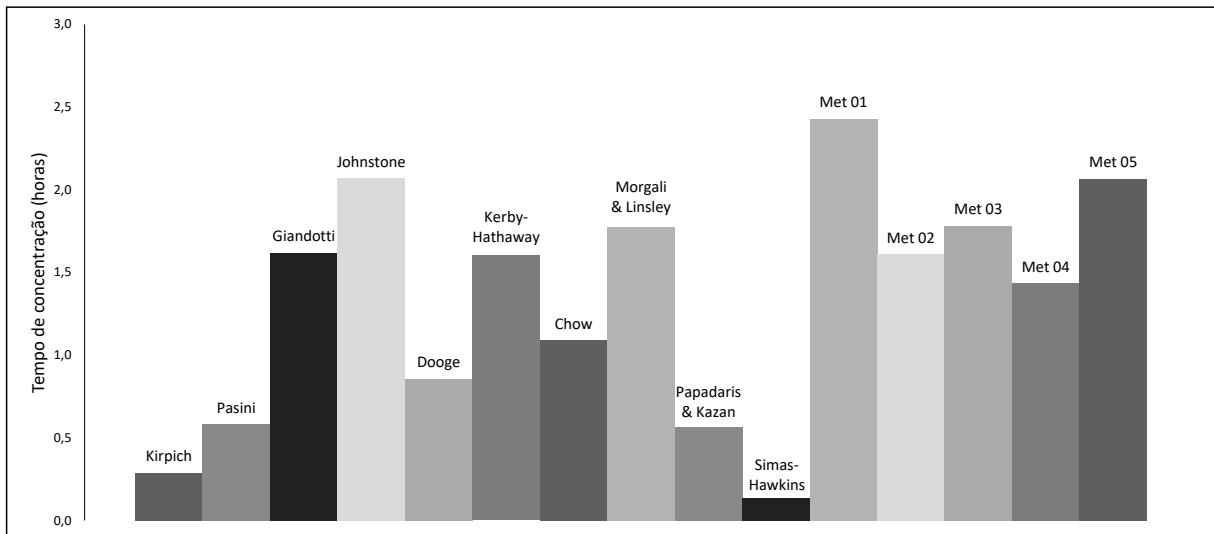
O resumo da análise das estimativas de valores encontrados por fórmulas teóricas e pelos métodos de análises de hidrogramas pode ser visto na Tabela 09.

Tabela 9 - Resultados das estimativas para tempo de concentração em horas

Tipo de Estimativa	Sub-Bacias				
	P1	P2	P3		P5
			Antes	Depois	
Kirpich	0,29	0,79	0,46		0,21
Pasini	0,58	2,03	1,05		0,52
Giandotti	1,62	5,21	2,98		2,22
Johnstone	2,07	3,60	2,61		1,96
Dooge	0,86	2,07	1,36		1,22
Kerby-Hathaway	1,60	2,68	1,99		1,53
Chow	1,09	2,21	1,47		1,02
Morgali & Linsley (Onda Cinemática)	1,77	3,44	2,35		1,67
Papadakis & Kazan	0,57	0,99	0,71		0,53
Simas-Hawkins	0,14	0,25	0,19		0,23
Método 01	2,43	14,30	6,41	2,83	4,62
Método 02	1,61	7,99	3,23	1,87	2,94
Método 03	1,78	6,14	3,82	2,19	3,34
Método 04	1,44	5,69	3,23	1,66	2,88
Método 05	2,07	5,60	4,25	1,78	4,04

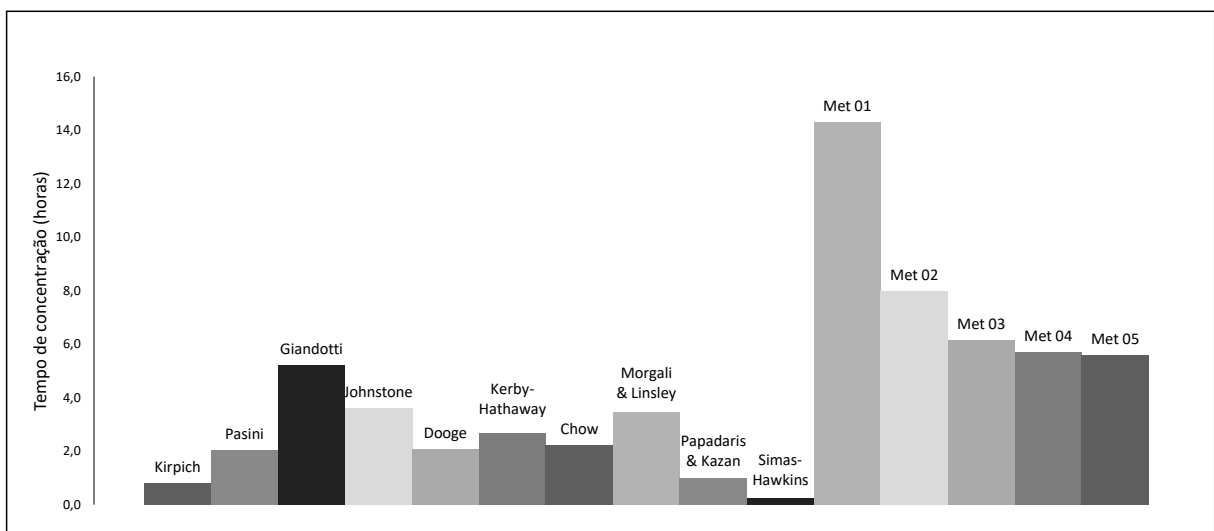
Fonte: Autor (2017).

Na tabela acima pode-se observar os resultados encontrados para as dez formulações teóricas e os cinco métodos de análises de hidrogramas. Como meio de comparação de resultados, optou-se em plotar um gráfico relacionando os resultados estimados para cada seção.

Figura 26 - Estimativas de T_c para o P1

Fonte: Autor (2017).

Nesta sub-bacia a menor estimativa de T_c foi encontrada pela fórmula de Simas-Hawkins, e o maior valor pelo Método 01 de análise de hidrogramas. Consta também, que as fórmulas empíricas de Giandotti, Johnstone, Kerby-Hathaway e Morgali & Linsley obtiveram uma boa aproximação de resultados dos Métodos 02, 03, 04 e 05.

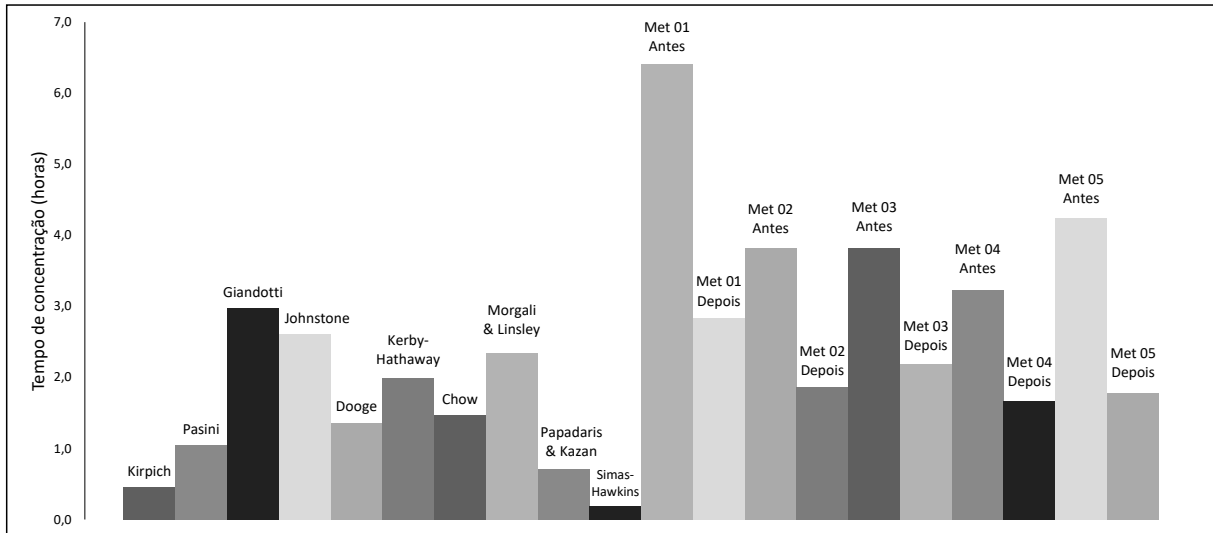
Figura 27 - Estimativas de T_c para o P2

Fonte: Autor (2017).

Nesta sub-bacia ocorreu a maior variação entre os resultados encontrados pelas fórmulas empíricas e os métodos de análises de hidrogramas, sendo novamente a menor

estimativa encontrada pela fórmula de Simas – Hawkins (0,25 horas) e o maior valor pelo Método 01 (14,30 horas). A formulação empírica que mais se aproximou dos resultados encontrados nas análises de hidrogramas foi a equação de Giandotti.

Figura 28 - Estimativas de T_c para o P3

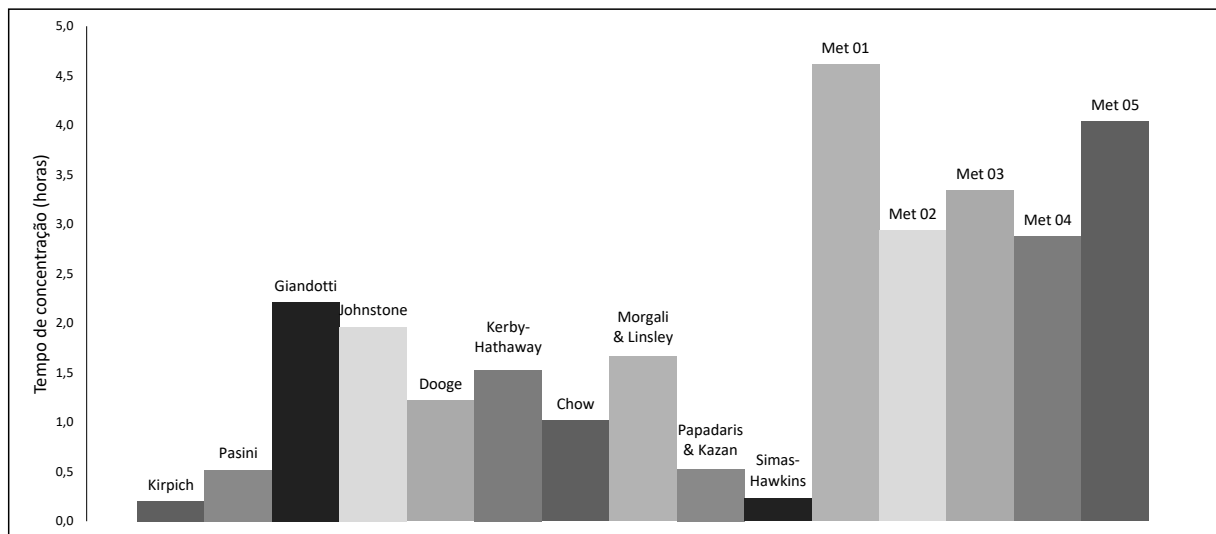


Fonte: Autor (2017).

Para esta sub-bacia foi plotado os resultados das análises de hidrogramas antes e depois do evento que ocorreu no dia 02/03/2017. Pode-se observar uma representativa diminuição na estimativa do T_c para os hidrogramas selecionadas após o evento, na ordem de 50%.

Novamente a formulação empírica com a menor estimativa de tempo foi a de Simas-Hawkins (0,190 horas) e o maior tempo encontrado pelo Método 01 de análise, antes e depois do evento, com valores de 6,41 e 2,83 horas respectivamente. Sendo as estimativas de T_c encontradas nas análises após o respectivo evento tendo uma melhor aproximação dos tempos teóricas para esta subbacia.

As formulações empíricas que mais se aproximam dos resultados encontrados nos hidrogramas são as de Giandotti, Johnstone, Kerby-Hathaway e Morgali & Linley, algumas obtendo até estimativas de valores maiores que pelos métodos de análise.

Figura 29 - Estimativas de T_c para o P5

Fonte: Autor (2017).

Nesta sub-bacia a discrepância de valores encontrados pelas diferentes metodologias de estimativa também ocorreu. Os menores valores encontrados pelos métodos de análise de hidrograma, Métodos 02 e 04, com 2,94 e 2,88 horas respectivamente, ainda é bem superior do maior valor encontrado pelas equações empíricas, que foi a de Giandotti com estimativa de 2,22 horas.

Novamente a maior estimativa de T_c foi encontrada pelo Método 01, com 4,62 horas, porém o menor valor desta vez se obteve pela equação de Kirpich com estimativa de 0,21 horas.

4.4 RELAÇÃO DE T_c COM OUTRAS VARIÁVEIS NOS EVENTOS

Para cada evento hidrológico analisado, além do tempo de concentração, foi calculado outros parâmetros: chuva acumulada (P_t), maior intensidade de precipitação ($I_{máx}$), duração da precipitação (D), vazão média do pico de descarga até o ponto de inflexão do hidrograma ($Q_{med Máx-Infl.}$), pico de descarga do hidrograma ($Q_{máx}$) e a vazão total do evento (Q_{total}). Os resultados das estimativas das análises podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros dos eventos analisados

Bacias	N°	Pt (mm)	I _{max} (mm/5 min)	D (horas)	Pt/D (mm/hora)	Q _{med} - Máx-Infl. (m ³ /s)	Q _{máx} (m ³ /s)	Q _{total} (m ³)
P1	1	12,70	2,64	1,75	7,26	0,107	0,132	1158
	2	25,73	5,08	1,58	16,25	3,715	9,308	37826
	3	7,80	1,85	0,83	9,36	0,534	0,898	2308
	4	92,45	8,48	3,17	29,20	3,813	7,043	48148
	5	33,23	7,98	2,42	13,75	0,494	0,631	6183
	6	18,90	5,31	1,25	15,12	2,117	3,464	18648
	7	4,12	0,69	0,92	4,49	1,784	2,867	12580
	8	25,00	14,00	0,50	50,00	0,244	0,431	667
	9	25,40	4,20	1,42	17,93	0,154	0,215	871
	10	12,40	3,56	0,83	14,88	1,077	2,018	8611
	11	15,40	1,20	3,25	4,74	0,106	0,215	1447
	12	42,60	3,20	4,42	9,65	0,930	1,541	-
	13	16,60	4,20	1,58	10,48	1,173	2,196	12578
	14	6,40	3,40	2,08	3,07	0,165	0,331	2153
	15	10,20	1,00	6,58	1,55	0,164	0,317	4388
	16	50,40	1,60	10,08	5,00	1,040	1,564	51313
P2	1*	26,70	8,18	2,08	12,82	1,313	2,218	141543
	2	91,80	25,40	0,58	157,37	2,673	3,477	174531
	3*	12,40	6,80	1,67	7,44	0,562	0,717	45058
	4	11,60	5,80	0,92	12,65	0,886	1,367	49351
	5	7,20	3,20	0,75	9,60	0,458	0,654	20754
	6*	25,40	4,20	1,42	17,93	1,222	2,098	132901
	7*	5,60	1,60	1,33	4,20	0,285	0,464	25567
	8	21,80	2,20	10,17	2,14	1,166	1,882	95888
	9*	6,80	0,60	3,42	1,99	1,283	1,736	124187
	10*	3,80	0,60	5,00	0,76	0,636	0,866	46664
	11	4,80	0,60	5,58	0,86	0,603	0,808	45777
	12*	47,40	3,20	8,25	5,75	2,128	3,526	295115
	13*	17,00	4,20	2,83	6,00	1,629	2,449	142224
	14*	2,60	0,60	5,00	0,52	0,306	0,343	17850
	15	3,66	0,34	3,92	0,94	0,271	0,343	13625
	16	5,03	0,69	1,83	2,75	0,348	0,511	20852
	17	6,40	3,40	2,08	3,07	0,594	0,959	28801
	18	2,20	0,40	1,83	1,20	0,157	0,228	6576
	19	5,40	1,00	3,75	1,44	0,405	0,621	19141
	20	4,20	0,40	1,33	3,15	0,151	0,259	8409

Bacias	N°	Pt (mm)	I _{max} (mm/5 min)	D (horas)	Pt/D (mm/hora)	Q _{med} - Máx-Infl. (m ³ /s)	Q _{máx} (m ³ /s)	Q _{total} (m ³)
P3 Antes	1	8,00	1,40	0,92	8,73	0,371	0,528	8827
	2	92,45	8,48	3,17	29,20	0,775	0,860	29751
	3	2,98	1,14	1,17	2,55	0,538	0,586	18808
	4	33,05	5,31	3,83	8,62	0,726	0,851	31659
	5	11,18	2,82	2,83	3,95	0,594	0,740	26829
	6	2,75	0,46	1,00	2,75	0,178	0,214	2744
P3 Depois	1	15,20	7,40	0,25	60,80	0,624	1,036	6328
	2	12,60	2,20	1,50	8,40	0,723	1,290	8940
	3	15,40	1,20	3,25	4,74	0,903	1,243	15151
P5	1	2,40	0,60	0,92	2,62	-	-	-
	2	7,60	0,60	4,00	1,90	-	-	-
	3	42,60	3,20	7,00	6,09	-	-	-
	4	17,20	4,20	4,17	4,13	-	-	-
	5	6,20	3,40	1,42	4,38	-	-	-
	6	2,40	0,40	2,42	0,99	-	-	-
	7	5,40	1,00	3,75	1,44	-	-	-
	8	4,20	0,40	1,33	3,15	-	-	-
	9	51,60	1,60	12,58	4,10	-	-	-

Fonte: Autor (2017).

O evento n° 12 da sub-bacia P1 possui uma falha nos dados de nível entre o início e o pico de descarga, por este motivo não foi possível fazer a estimativa de vazão total do evento.

Na sub-bacia P5, ainda não foi elaborada a curva-chave da seção, por este motivo não foi possível fazer a conversão nível-vazão, assim não tendo como estimar por métodos gráficos os parâmetros relacionados a vazão.

A relação entre os parâmetros dos eventos e as respectivas estimativas de T_c serão analisadas pelo Coeficiente de Correlação de Pearson. O qual mede a correlação entre duas variáveis ou grupo de variáveis, assumindo um valor entre 1 e -1.

Esta correlação entre os parâmetros e as estimativas foi feita pelo software Excel da plataforma Microsoft Office, analisando pares de vetores de parâmetro e estimativas de T_c , segundo o site da fabricante do software os resultados podem ser analisados da seguinte forma:

- “1” significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.
- ”-1” significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.
- “0” significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado ”0” deve ser investigado por outros meios.

A interpretação dos valores são:

- ✓ 0,9 para mais ou para menos indica uma correlação muito forte.
- ✓ 0,7 a 0,9 positivo ou negativo indica uma correlação forte.
- ✓ 0,5 a 0,7 positivo ou negativo indica uma correlação moderada.
- ✓ 0,3 a 0,5 positivo ou negativo indica uma correlação fraca.
- ✓ 0 a 0,3 positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

O resultado das correlações entre os Tc 's e os parâmetros dos eventos hidrológicos podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 - Correlação entre os parâmetros e as estimativas de tempo de concentração

Bacias	Métodos de Estimativa de T_c	Parâmetros variáveis dos eventos						
		Pt	Imáx	D	Pt/D	Qmed	Qmax	Qtotal
P1	Met. 01	-0,15	-0,61	0,74	-0,70	-0,22	-0,23	0,11
	Met. 02	-0,50	-0,35	-0,07	-0,38	-0,52	-0,55	-0,68
	Met. 03	0,16	-0,25	0,60	-0,25	-0,30	-0,33	0,19
	Met. 04	-0,43	-0,26	0,05	-0,29	-0,62	-0,62	-0,67
	Met. 05	0,20	-0,37	0,97	-0,43	-0,21	-0,22	0,36
P2	Met. 01	0,63	0,58	0,04	0,59	0,66	0,65	0,70
	Met. 02	0,20	0,04	0,77	0,07	0,30	0,33	0,43
	Met. 03	-0,33	-0,48	0,62	-0,38	-0,35	-0,36	-0,23
	Met. 04	-0,46	-0,57	0,34	-0,45	-0,55	-0,58	-0,47
	Met. 05	-0,22	-0,37	0,55	-0,29	-0,20	-0,20	-0,08
P3 Antes	Met. 01	0,19	0,45	0,83	0,01	0,77	0,80	0,88
	Met. 02	-0,34	-0,30	-0,16	-0,44	0,06	-0,07	0,08
	Met. 03	0,87	0,93	0,86	0,73	0,81	0,73	0,80
	Met. 04	0,93	0,88	0,61	0,86	0,65	0,56	0,60
	Met. 05	0,65	0,81	0,96	0,50	0,88	0,89	0,94
P3 Depois	Met. 01	-0,90	0,15	-0,58	0,06	-0,64	0,17	-0,69
	Met. 02	-0,98	-0,47	0,02	-0,55	-0,05	0,73	-0,12
	Met. 03	0,15	-0,90	1,00	-0,85	1,00	0,71	0,99
	Met. 04	-0,43	-0,99	0,83	-1,00	0,78	0,98	0,74
	Met. 05	0,53	-0,65	0,92	-0,58	0,95	0,37	0,97
P5	Met. 01	0,32	-0,04	0,41	-0,14	-	-	-
	Met. 02	0,03	0,29	0,11	-0,13	-	-	-
	Met. 03	0,43	-0,45	0,67	-0,22	-	-	-
	Met. 04	-0,28	-0,61	-0,03	-0,68	-	-	-
	Met. 05	0,69	-0,21	0,87	-0,01	-	-	-

Fonte: Autor (2017).

Com os resultados da tabela acima, percebe-se a correlação existente entre os parâmetros e as estimativas de T_c . Como critério de análise, estima-se um possível comportamento quando no mínimo três dos cinco métodos apontam o mesmo comportamento.

➤ Sub-bacia P1:

- Possui uma correlação negativa, fraca a moderada, entre as estimativas de T_c e os parâmetros P_t e $Imáx$;
- Há uma correlação negativa, fraca a forte, unânime entre os métodos de estimativa da precipitação média (P_t/D) e T_c ;
- A correlação entre os parâmetros relacionados a vazão, $Q_{med\ Máx-Infl.}$ e $Q_{máx}$, mostrou-se com uma relação negativa, fraca a moderada, indicada por três métodos de análise;
- Possui uma correlação positiva, moderada a forte, entre T_c e a duração da chuva (D);

➤ Sub-bacia P2:

- Possui uma correlação negativa, fraca a moderada, entre T_c e os parâmetros P_t e $Imáx$;
- A correlação entre T_c e os parâmetros $Q_{med\ Máx-Infl.}$, $Q_{máx}$, Q_{total} , e precipitação média (P_t/D), mostraram resultados negativos em pelo menos três métodos de análise, indicando uma correlação negativa, fraca a moderada;
- Há uma correlação positiva, fraca a forte, entre T_c e D ;

➤ Sub-bacia P3:

❖ Antes

- Apresentou uma correlação positiva, moderada a muito forte, unânime entre todos os parâmetros e os métodos de estimativa de tempo de concentração;

❖ Depois

- Continuou mostrando a mesma correlação positiva, fraca a muito forte, entre as estimativas de T_c e os parâmetros D , e os voltados a dados de vazão $Q_{med\ Máx_infl.}$, $Q_{máx}$ e Q_{total} ;
- Em relação aos parâmetros P_t , $Imáx$, e precipitação média (P_t/D), percebeu-se uma inversão da correlação, agora sendo negativa, moderada a muito forte;

➤ Sub-bacia P5:

- Possui uma correlação positiva, fraca a forte, entre as estimativas de T_c e os parâmetros P_t e D ;
- Correlação negativa, fraca a moderada, entre T_c e os parâmetros $Imáx$ e precipitação média (P_t/D);

Como método para a melhor visualização dos resultados da correlação entre os métodos de estimativa de T_c e os parâmetros dos eventos hidrológicos, foi elaborada a Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados da correlação entre T_c e os parâmetros dos eventos hidrológicos

Bacias	Correlação entre estimativas de T_c e os parâmetros						
	P_t	$Imáx$	D	P_t/D	Q_{med}	Q_{max}	Q_{total}
P1	negativa	negativa	positiva	negativa	negativa	negativa	-
P2	negativa	negativa	positiva	negativa	negativa	negativa	-
P3	Antes	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva
	Depois	negativa	negativa	positiva	negativa	positiva	positiva
P5	positiva	negativa	positiva	negativa	-	-	-

Fonte: Autor (2017).

Através da tabela acima pode-se perceber uma forte relação entre a duração da precipitação (D) e as estimativas de T_c , tendo de forma unânime uma correlação positiva, ou seja, T_c aumenta conforme a duração da precipitação.

Nas sub-bacias P1 e P2, a correlação entre os métodos de estimativas de T_c 's e o parâmetro hidrológico Q_{total} , não foi conclusiva.

Em relação aos parâmetros de precipitação máxima do evento ($Imáx$) e precipitação média do evento (P_t/D), pode-se perceber uma correlação negativa. Fato que apenas não foi observado na sub-bacia P3 no período antes do evento. Portanto, através dos dados, pode-se perceber uma tendência de T_c diminuir conforme a os parâmetros ligados a características da precipitação diminuam.

Analisando a correlação de T_c com os parâmetros P_t , e os relacionados com a vazão do evento: $Q_{med\ Máx-Infl.}$, $Q_{máx}$ e Q_{total} , não se pode ter um resultado geral, sendo uma característica que varia a cada sub-bacia.

A visualização gráfica da correlação entre os parâmetros estimados para cada evento hidrológico e os respectivos resultados de T_c pelos cinco métodos de análise de hidrogramas podem ser visualizados no Apêndice B, onde consta os gráficos para cada sub-bacia, relacionando:

- Tempo de Concentração (T_c) X Precipitação Acumulada do Evento (P_t);
- Tempo de Concentração (T_c) X Precipitação Máxima do Evento ($I_{máx}$);
- Tempo de Concentração (T_c) X Duração da Precipitação (D);
- Tempo de Concentração (T_c) X Precipitação Média (P_t/D);
- Tempo de Concentração (T_c) X Vazão Média ($Q_{med\ Máx-Infl.}$);
- Tempo de Concentração (T_c) X Vazão Máxima ($Q_{máx}$);
- Tempo de Concentração (T_c) X Vazão Total do Evento (Q_{total});

Esta análise gráfica é apresentada apenas como forma de se obter uma melhor visualização da correlação dos parâmetros estimados para cada evento, com os respectivos valores de T_c , estimados pelos cinco métodos de análises. Fazer um julgamento por esta maneira estaria sujeita a influência direta do autor.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, de maneira geral para as sub-bacias, as estimativas de T_c encontradas a partir de fórmulas existentes na literatura, apresentaram uma variabilidade de resultados em torno de 65% em relação à sua média aritmética. Constatou-se, que as menores estimativas para T_c foram constatadas pelas fórmulas de Simas-Hawkins e Kirpich e as maiores através das formulas de Giandotti.

Comparando as estimativas de T_c por equações teóricas com os resultados encontrados pelos métodos de análises de hidrogramas, verificou-se que estas subestimam o valor de T_c . Sendo os valores encontrados pelos métodos de análise de hidrogramas superiores aos valores estimados pelas equações empíricas, exceto na sub-bacia P1, onde se observou uma regularidade de ambas as metodologias de análises.

Em relação aos métodos de análises de hidrogramas, o Método 01 apresentou as maiores estimativas de T_c para todas as sub-bacias, porém, apresentando a menor variação de resultados ($\approx 20\%$). O método com maior variação de resultados em quase todas as sub-bacias foi o Metodo 05, chegando a mais de 100% de variação em relação a sua média. Visto que este método é influenciado diretamente pela disposição da precipitação no tempo e esta, por sua vez, tem relação direta com o início e o pico de descarga do hidrograma, parâmetros nos quais são baseados este método de análise.

Pôde-se perceber que há uma forte correlação entre a duração da precipitação (D) e as estimativas de T_c , tendo uma relação positiva em todas as sub-bacias analisadas, conclui-se então que T_c aumenta conforme a duração da precipitação. Analisando, precipitação máxima ($Imáx$) e precipitação média (Pt/D) dos eventos, percebe-se uma tendência de T_c diminuir conforme estes parâmetros ligados a precipitação aumentam.

A discrepância de resultados encontrados na sub-bacia P3, com diminuição da estimativa de T_c em torno de 50% para os eventos analisados pós a erosão do canal, necessita de um estudo mais abrangente, onde possa avaliar dados de um período maior de monitoramento, para a verificação da mudança de comportamento em relação a velocidade de escoamento e por consequência ao tempo de concentração. Sendo que este fenômeno pode ser

apenas momentâneo e não observado ou tendo uma normalização em análises posteriores, pois espera-se a recuperação da vegetação do canal a jusante do ponto de monitoramento.

Em relação a sub-bacia P2, há necessidade de medições de vazão em cotas maiores, para que haja a verificação de um possível represamento do escoamento da BHCUIJ pelo Rio Pirai, fenômeno que foi constatado em 9 dos 20 eventos analisados. Com a medição de vazão durante um evento deste tipo, espera-se encontrar um ponto discrepante na curva de descarga da seção, ou seja, uma vazão menor do que a estimada para esta cota.

A estimativa hidrológica do T_c comprovou sua alta variabilidade, sendo observado também uma grande diferença de estimativas pelas diferentes metodologias de abordagens (equações empíricas – métodos de análises de hidrogramas). Mostrando assim, a importância do monitoramento hidrológico e construção dos hidrogramas dos eventos para ser avaliado o real comportamento da bacia em análise.

Então é importante compreender que quando se atribui um único valor de T_c à determinada bacia hidrográfica, considera-se um valor médio encontrado, o qual descreve o comportamento médio observado nos eventos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTRA, E. H. **Mudanças climáticas, incertezas hidrológicas e vazão fluvial: o caso do estuário do rio Anil. Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 12, p.158-173, 2004.

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

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo – SP, 2003. 669p.

BACK, Álvaro José. **Hidráulica e hidrometria aplicada: (com programa hidrom para cálculo)**. Florianópolis. EPAGRI, 2006, p. 299.

BRASIL-Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõem sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Diário Oficial da União Republica Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de nov. 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 24 set. 2016.

DINGMAN, S.L. **Physical Hydrology**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 646p.

DOOGE, J. C. I.; **Linear theory of hydrologic systems. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture**, 1973. 339p.

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.

FILHO, D.P.; SANTOS, I. dos; FILL, H.D. ; **Sistema de Ajuste e Extrapolação de Curva de Descarga – Stevens ” in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – Paraná, 23 a 27 de novembro de 2003.**

GUIZONI, Tiago. **Elaboração e Extrapolação das Curvas-Chave nos Pontos de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville**. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017, “(no prelo) ”.

JACCON, G.; CUDO, K.J. (1989). **Curva-chave: análise e traçado**, Brasília, DNAEE, 1989.273p.

KERBY, W.S. **Time of concentration for overland flow**. *Engineers notebook*. v.174, p. 60,1959.

KIRPICH, Z. P. **Time of concentration of small agricultural watersheds**. *Civil Engineering*,v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; LINO, J.F.; SILVA, R.V. **Estimativa morfométrica e hidrológica do tempo de concentração na bacia do campus da UFSC**, Florianópolis - SC. **In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**. Curitiba: UFPR, 2006, p. 1-11.

KULANDAISWAMY, V.C & SEETHARAMAN, S. **A note on Barnes' method of hydrograph separation**. *J. Hydrol.*, v.9, n.2, p. 222–229, 1969.

McCUEN, R.H. **Uncertainty Analyses of Watershed Time Parameters**. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 14, n. 5, p. 490–498, 2009.

McCUEN, R.H.; WONG, S.L.; RAWLS, W.J. (1984). **“Estimating urban time of concentration”**. *Journal of Hydraulic Engineering* 110(7), p.887-904.

McDONNELL, J.J. **Classics in Physical Geography Revisited: Hewlett JD, Hibbert AR**. 1967. **Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas**. *Prog. In Phys. Geogr.*, v.33, n.2, p. 288-293, 2009.

MICROSOFT OFFICE. **Usar Ferramentas de Análise para executar análises de dados complexas.** Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/Usar-Ferramentas-de-Análise-para-executar-análises-de-dados-complexas-6c67ccf0-f4a9-487c-8dec-bdb5a2cefab6>>. Acesso em: 11 jun. 2017

MOTA, A.A. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental.** 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MULVANY, T.J. (1850). “**On the use of self registering rain and flood gougues**”. Proc. Inst. Civ.Eng. (Irel.) 4(2), p.1-8.

PORTO, Rubem L. P.; FILHO, Kamel Z; SILVA, Ricardo M. **Medição de vazão e curva-chave.** Disponível em: <http://www.unilasalle.edu.br/canoas/assets/upload/eng_ambiental/medicao_de_vazao_e_curva_chave.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.

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.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria aplicada.** Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento: Curitiba, 2001. 372p.

Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville (SIMGEO). Disponível em: <<https://prefeituradigital.joinville.sc.gov.br/servico/detalhe-3-SIMGeo.html>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

SOUZA, Zulcy; FUCHS, Rubens D.; SANTOS, Afonso H. M. **Centrais hidro e termelétricas**. São Paulo: Edgard Blücher; Itajubá-MG: Escola Federal de Engenharia, 1983.

TUCCI, Carlos E. M.; PEREIRA, Régis da S.; NETO Adalmiro da S. **Princípios da Hidrometria**. In: _____. Porto Alegre: 2003. Paginação irregular. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf>>. Acesso em: 15 nov. de 2016.

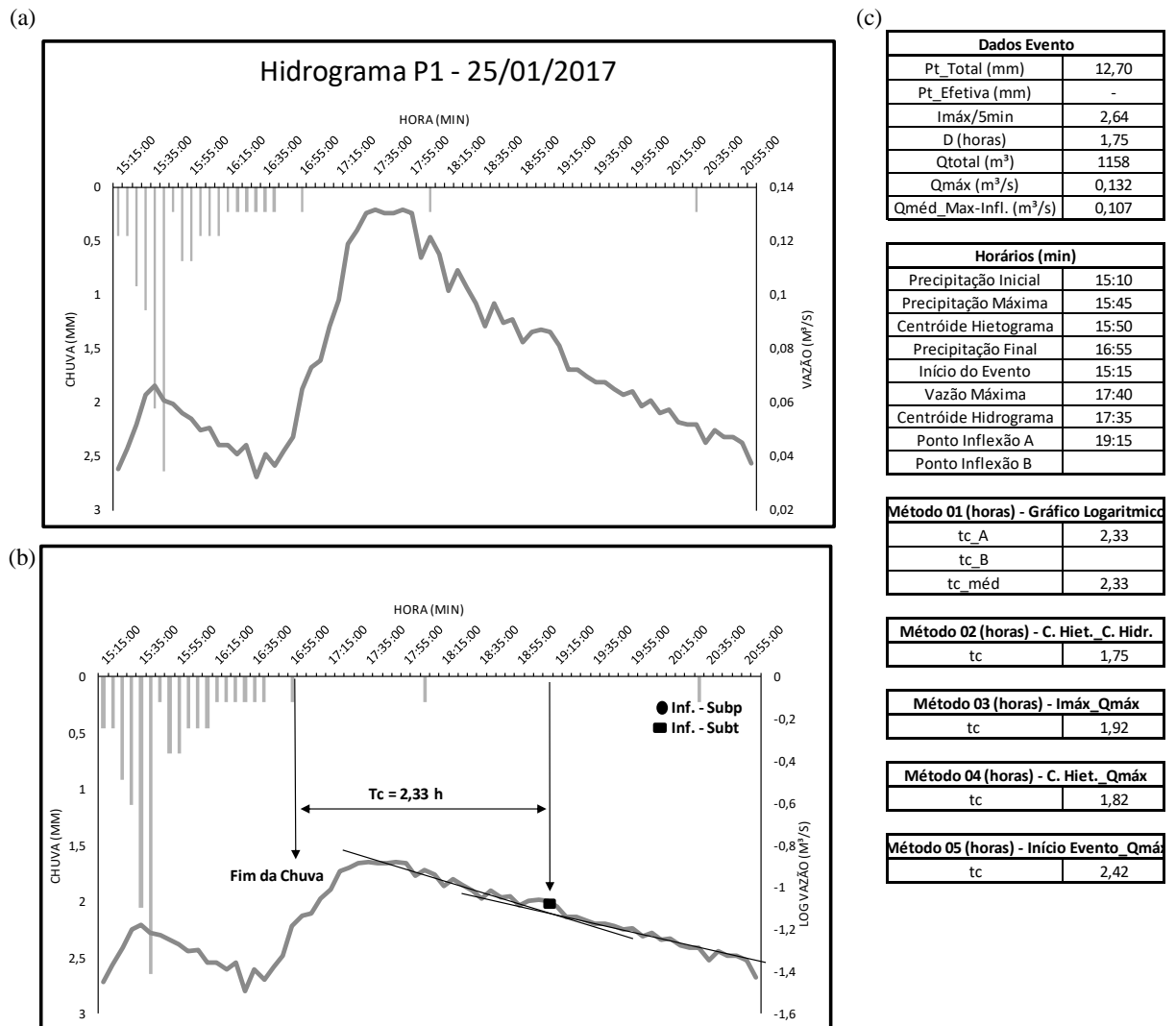
APÊNDICE A

○ **Eventos hidrológicos utilizados nas estimativas de tempo de concentração (Tc)**

Neste apêndice é apresentado os eventos de chuva-vazão utilizados na análise hidrológica do tempo de concentração das bacias deste trabalho. Além disso, são apresentados os hidrogramas em escala logarítmica para identificação do ponto de inflexão, e quando existe, o segundo ponto de inflexão: um referente ao início do escoamento subsuperficial (Inf-subp), e outro ao início do escoamento subterrâneo (Inf-subt).

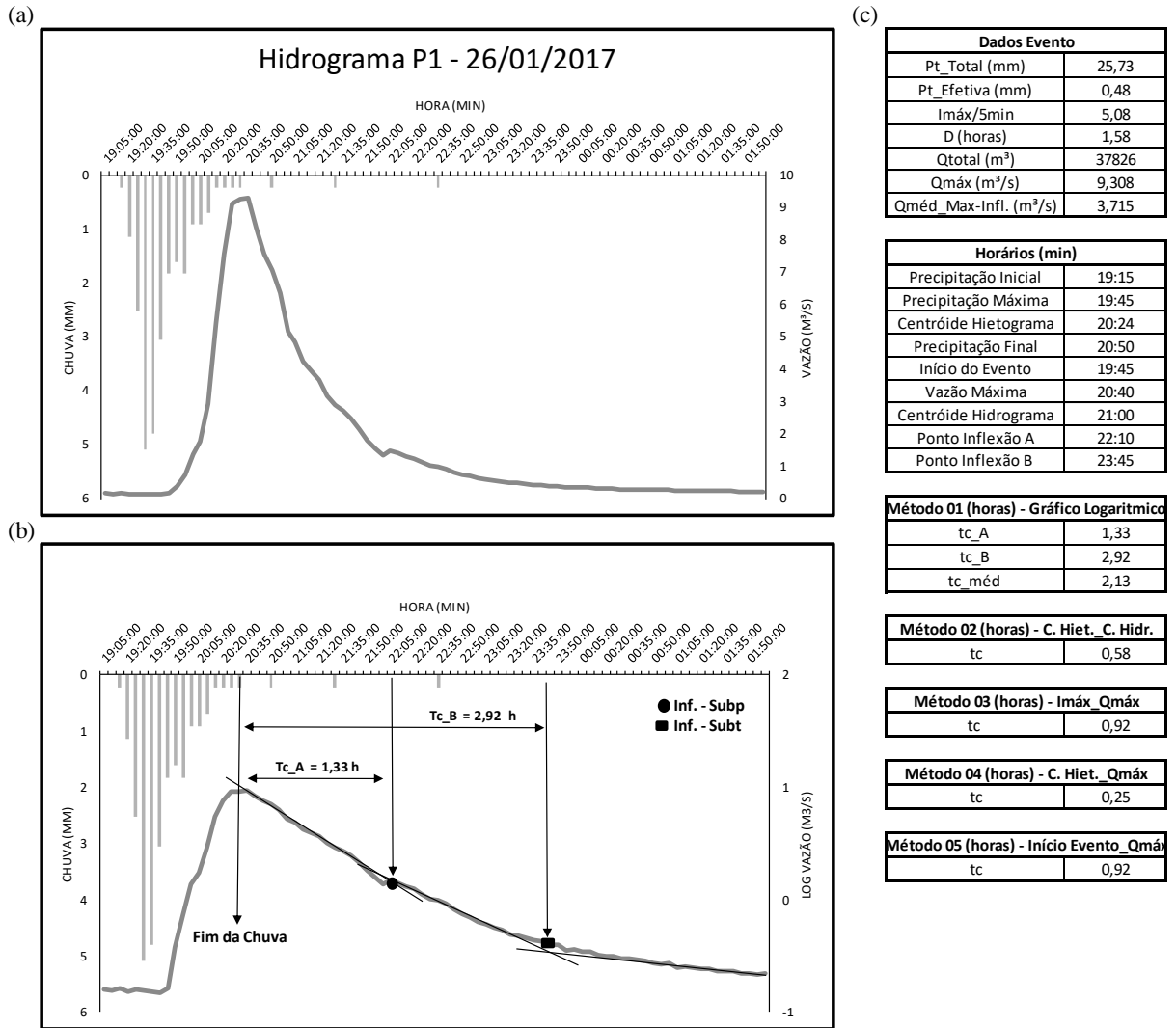
o Eventos Hidrológicos P1:

Figura 30 - Análise do Evento Hidrológico nº 01. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



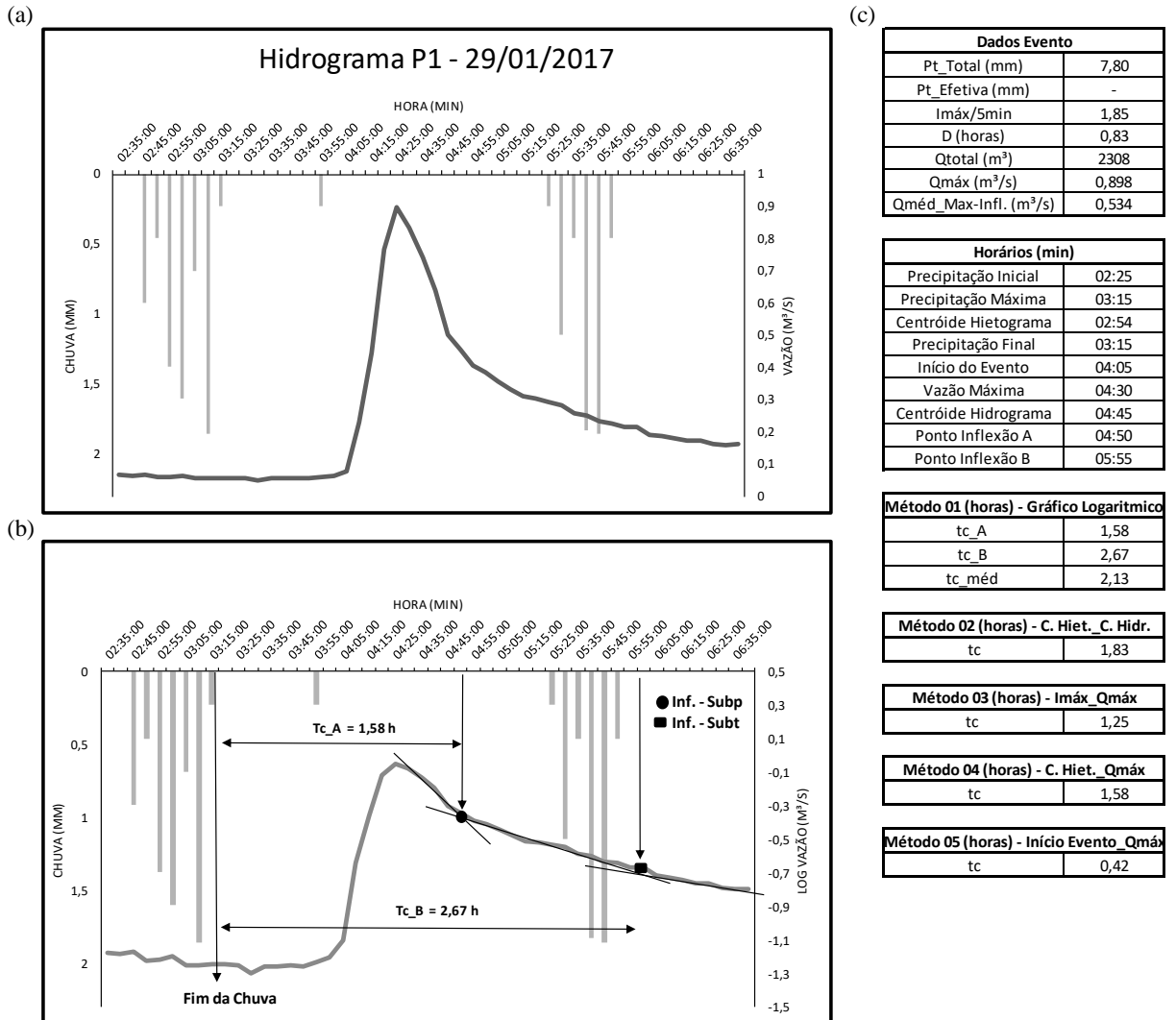
Fonte: Autor (2017).

Figura 31 - Análise do Evento Hidrológico nº 02. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



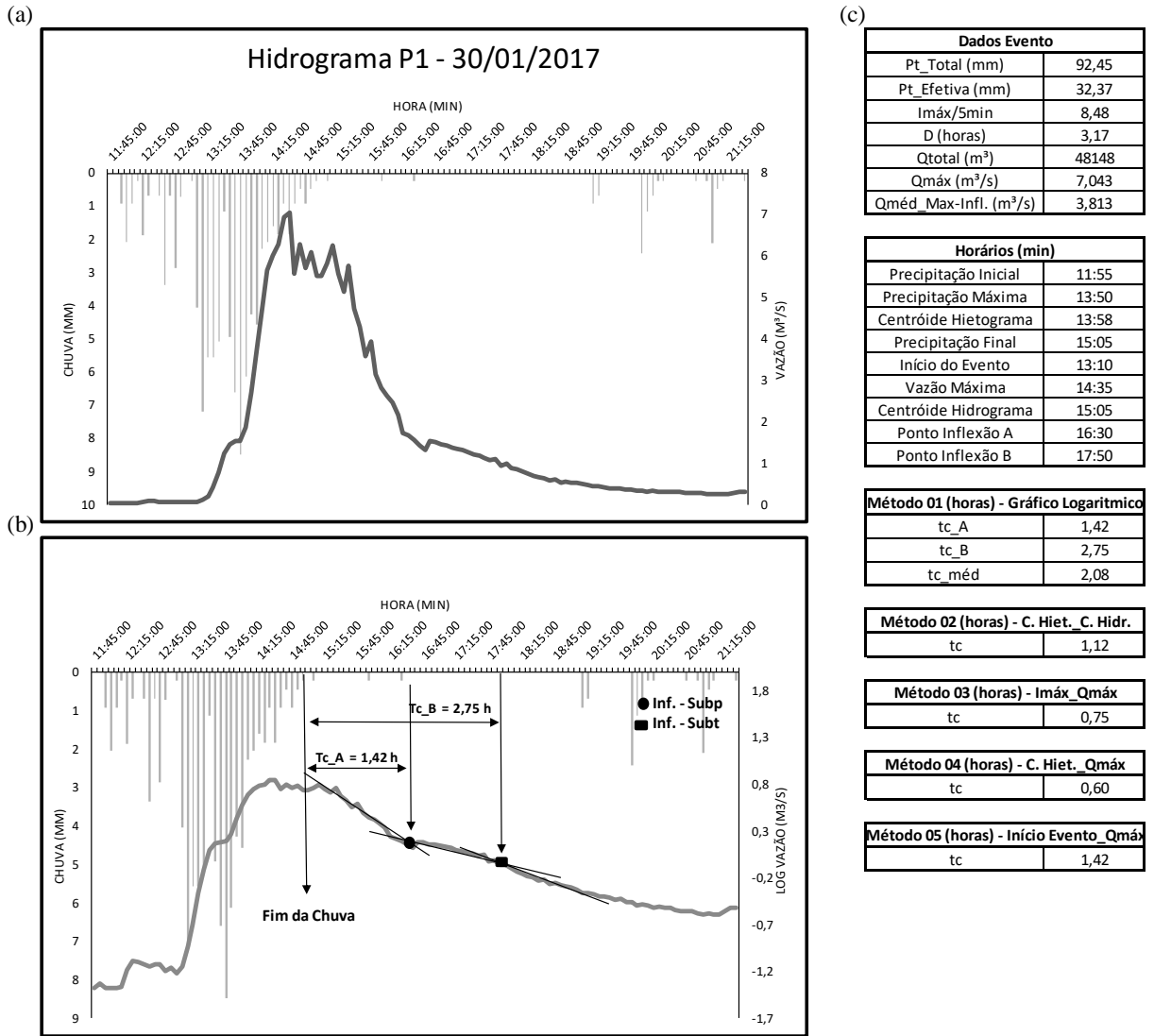
Fonte: Autor (2017).

Figura 32 - Análise do Evento Hidrológico nº 03. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



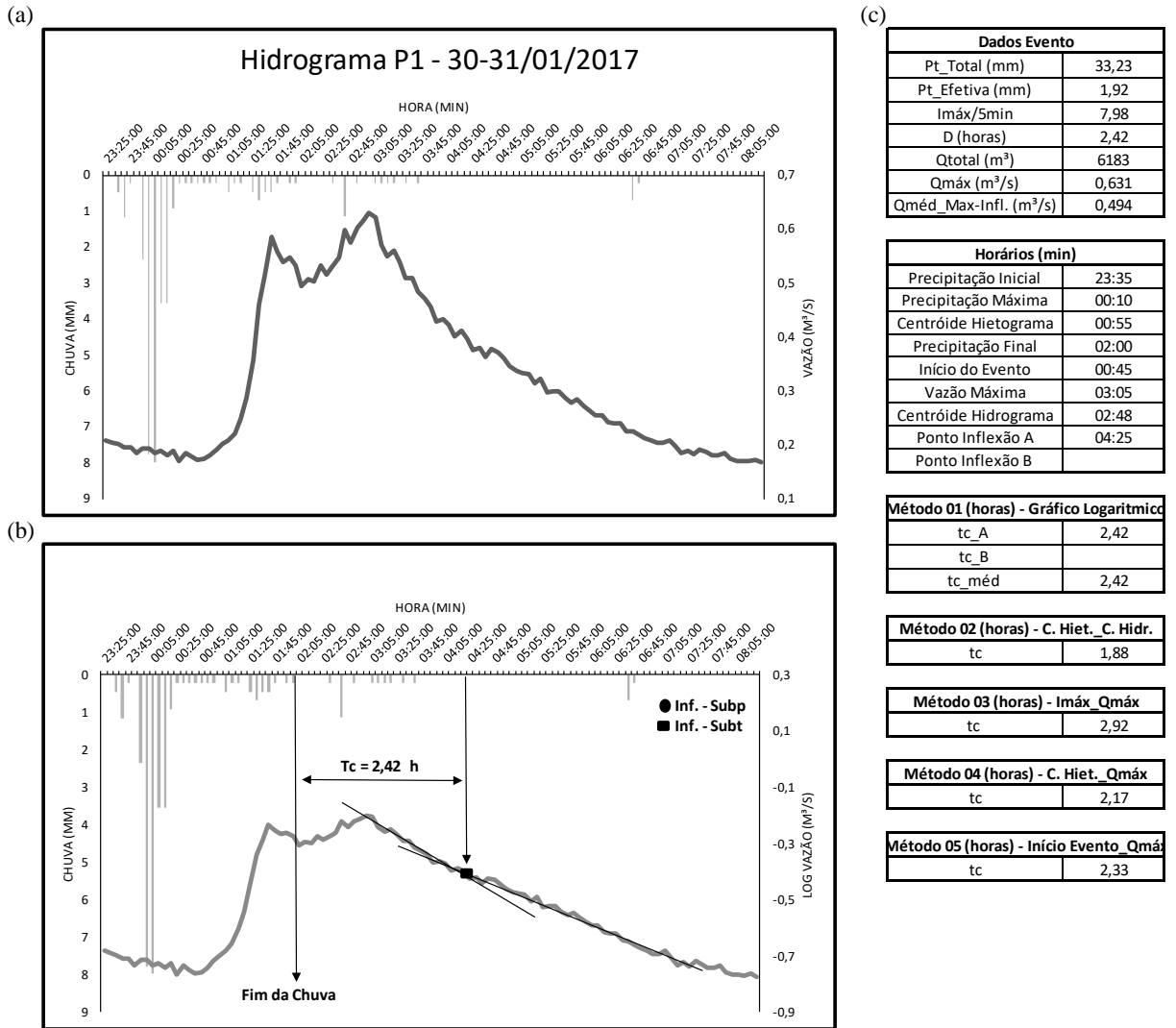
Fonte: Autor (2017).

Figura 33 - Análise do Evento Hidrológico nº 04. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



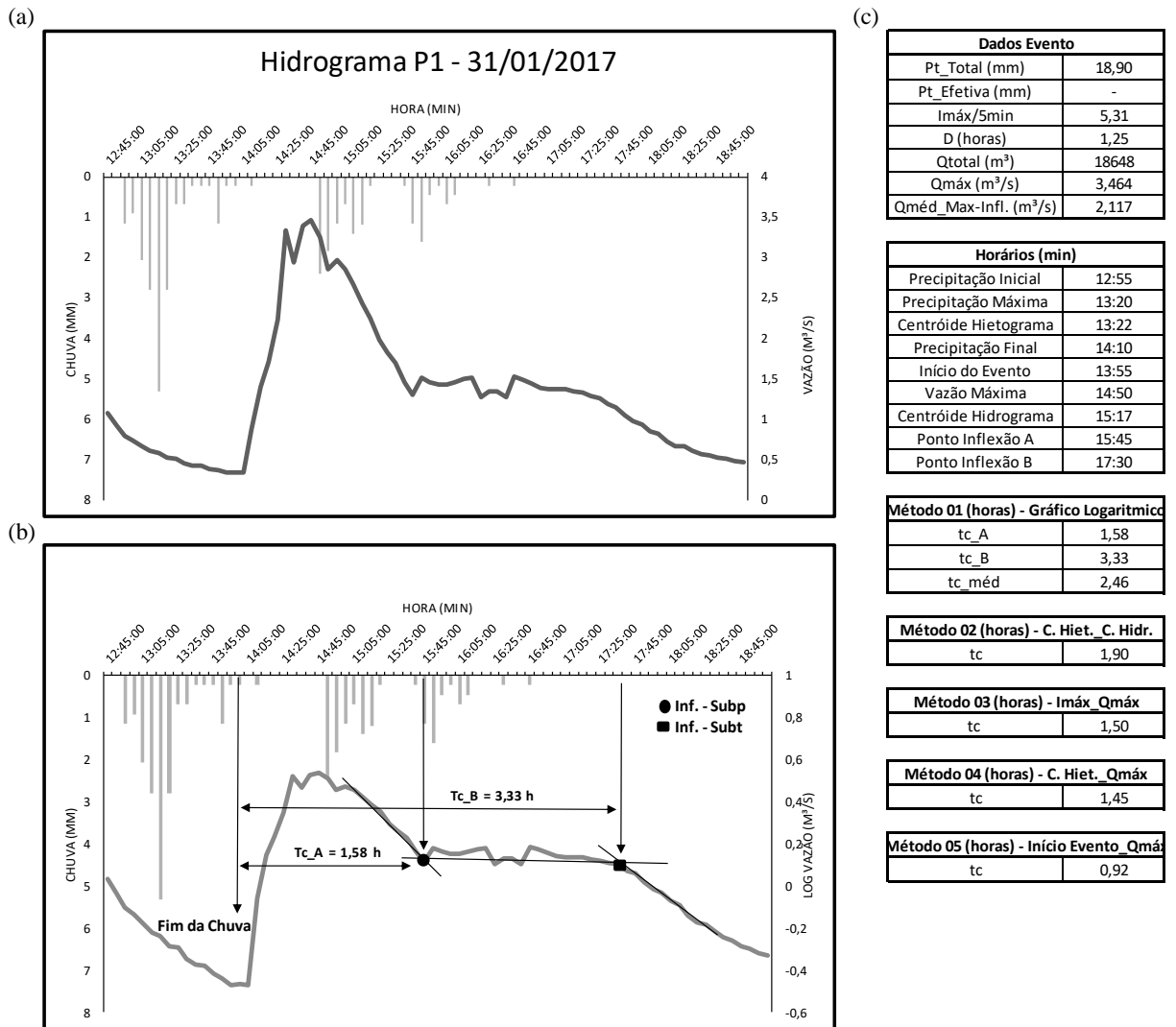
Fonte: Autor (2017).

Figura 34 - Análise do Evento Hidrológico nº 05. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



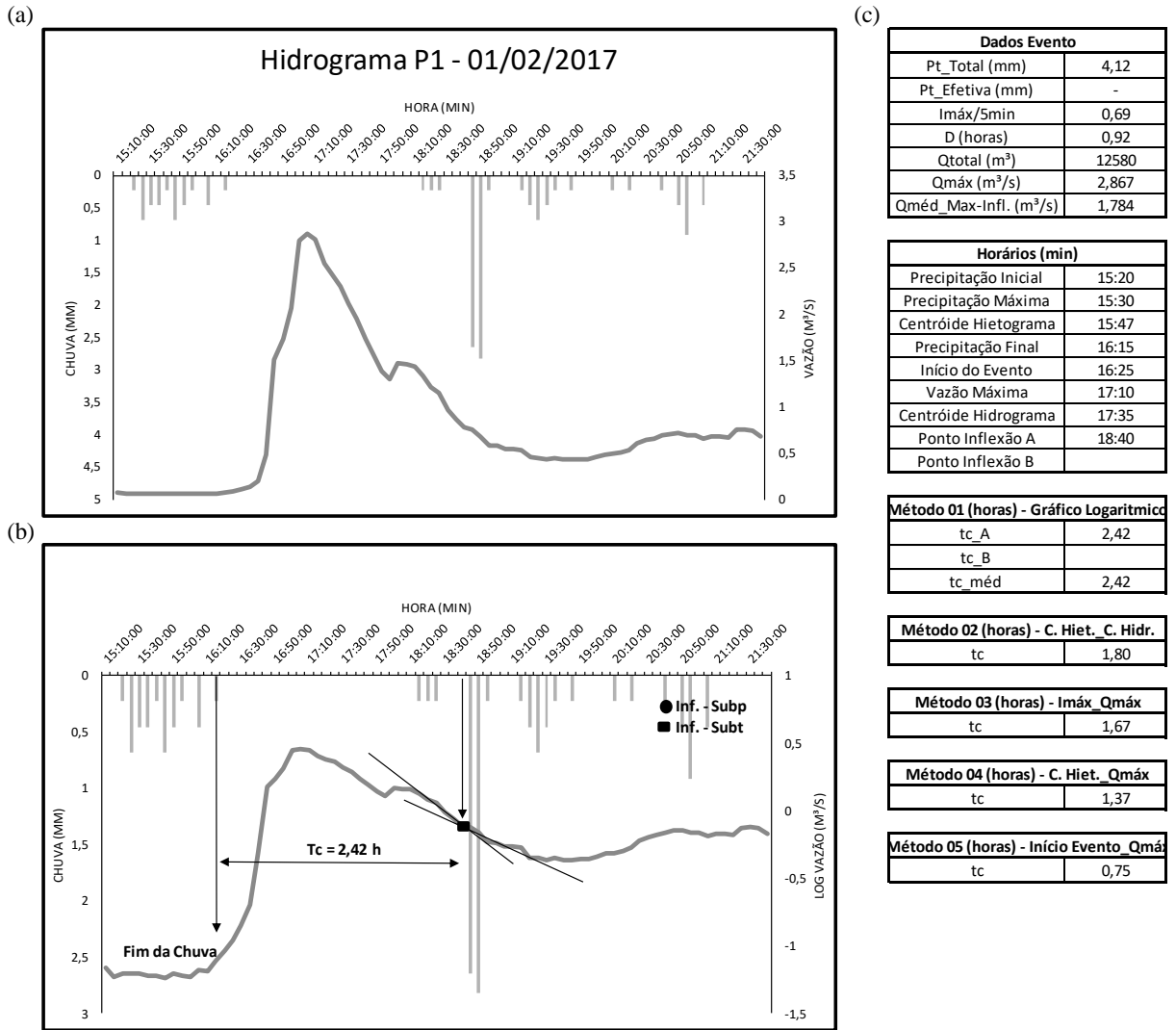
Fonte: Autor (2017).

Figura 35 - Análise do Evento Hidrológico nº 06. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



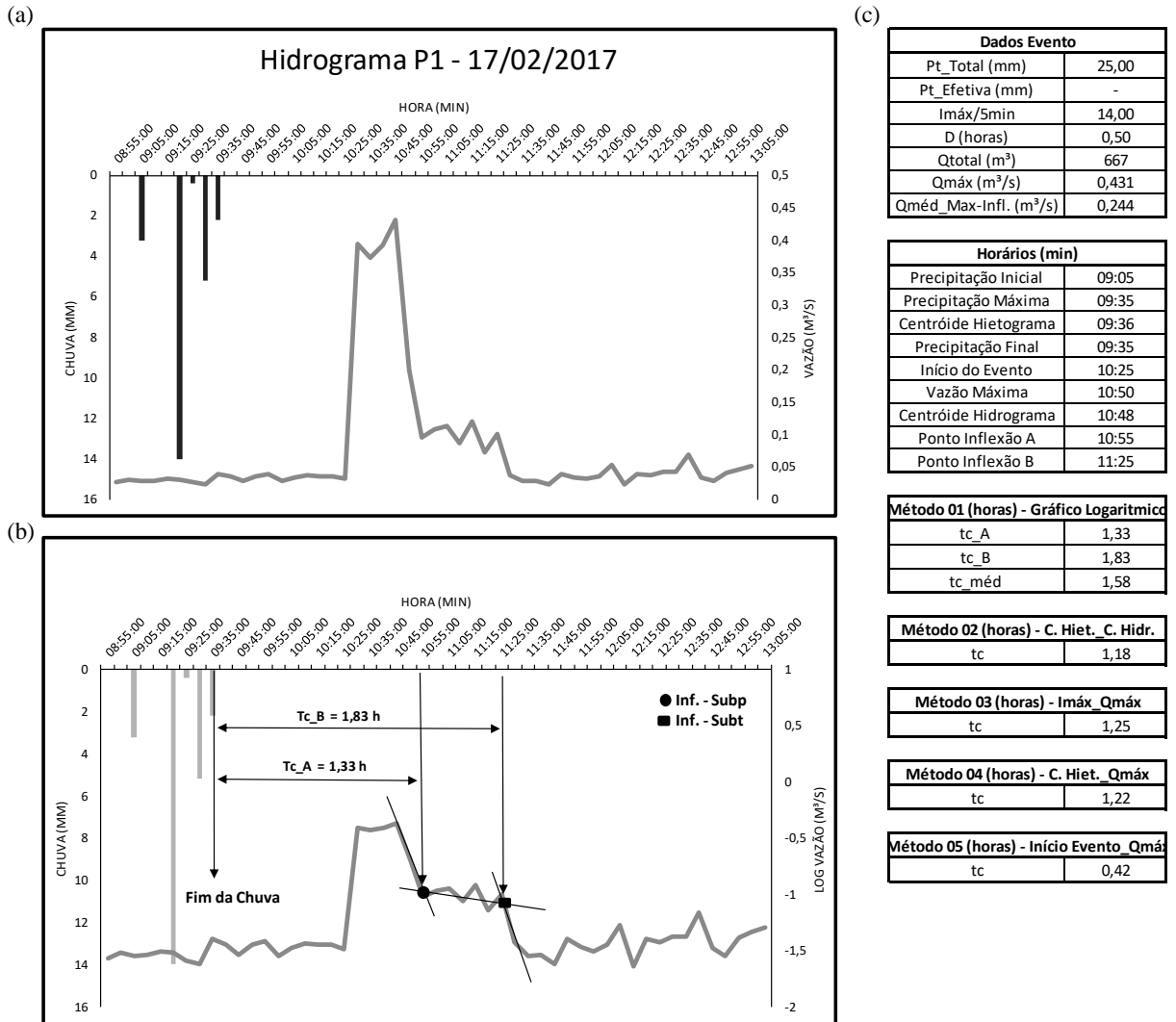
Fonte: Autor (2017).

Figura 36 - Análise do Evento Hidrológico nº 07. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



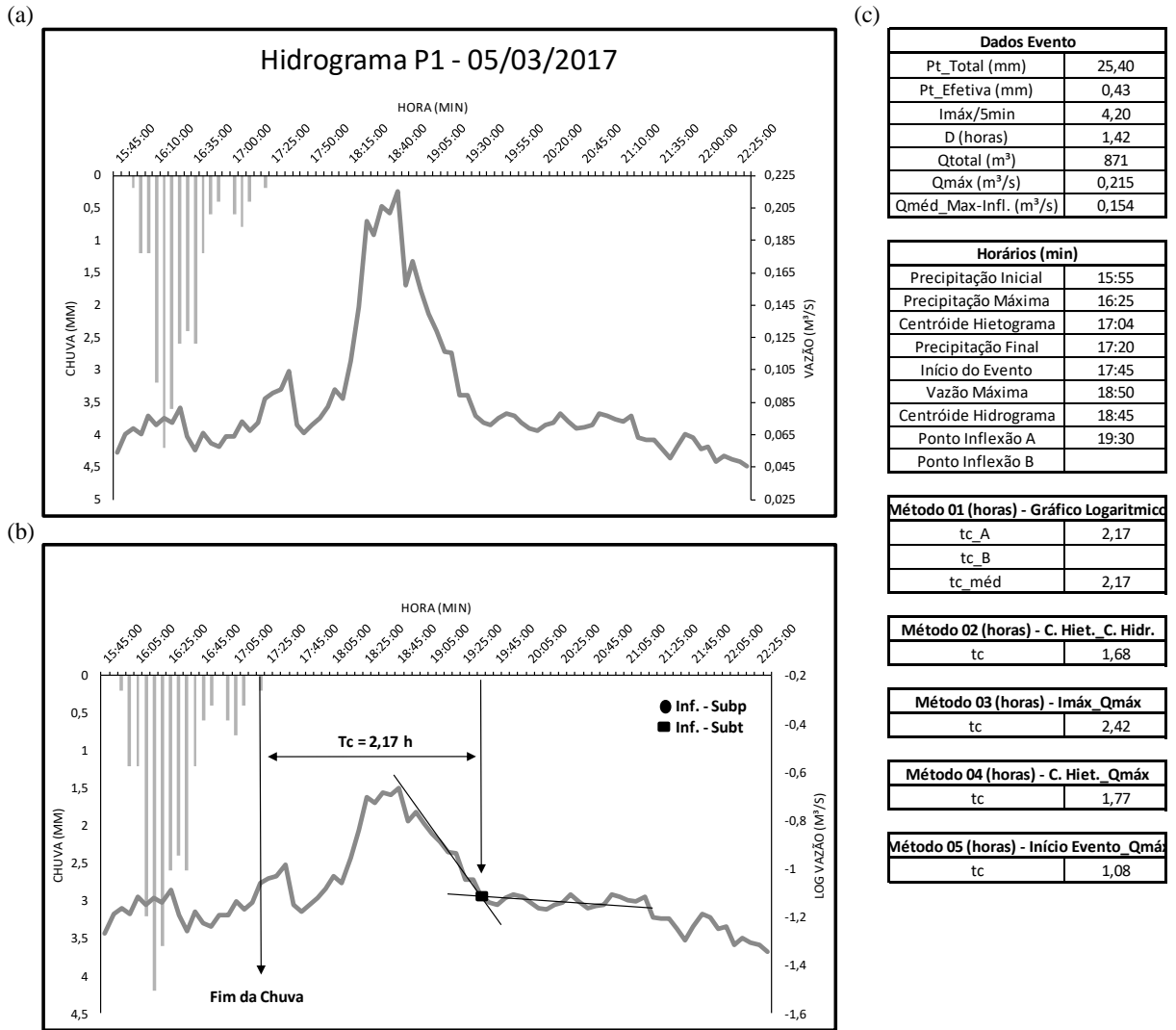
Fonte: Autor (2017).

Figura 37 - Análise do Evento Hidrológico nº 08. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



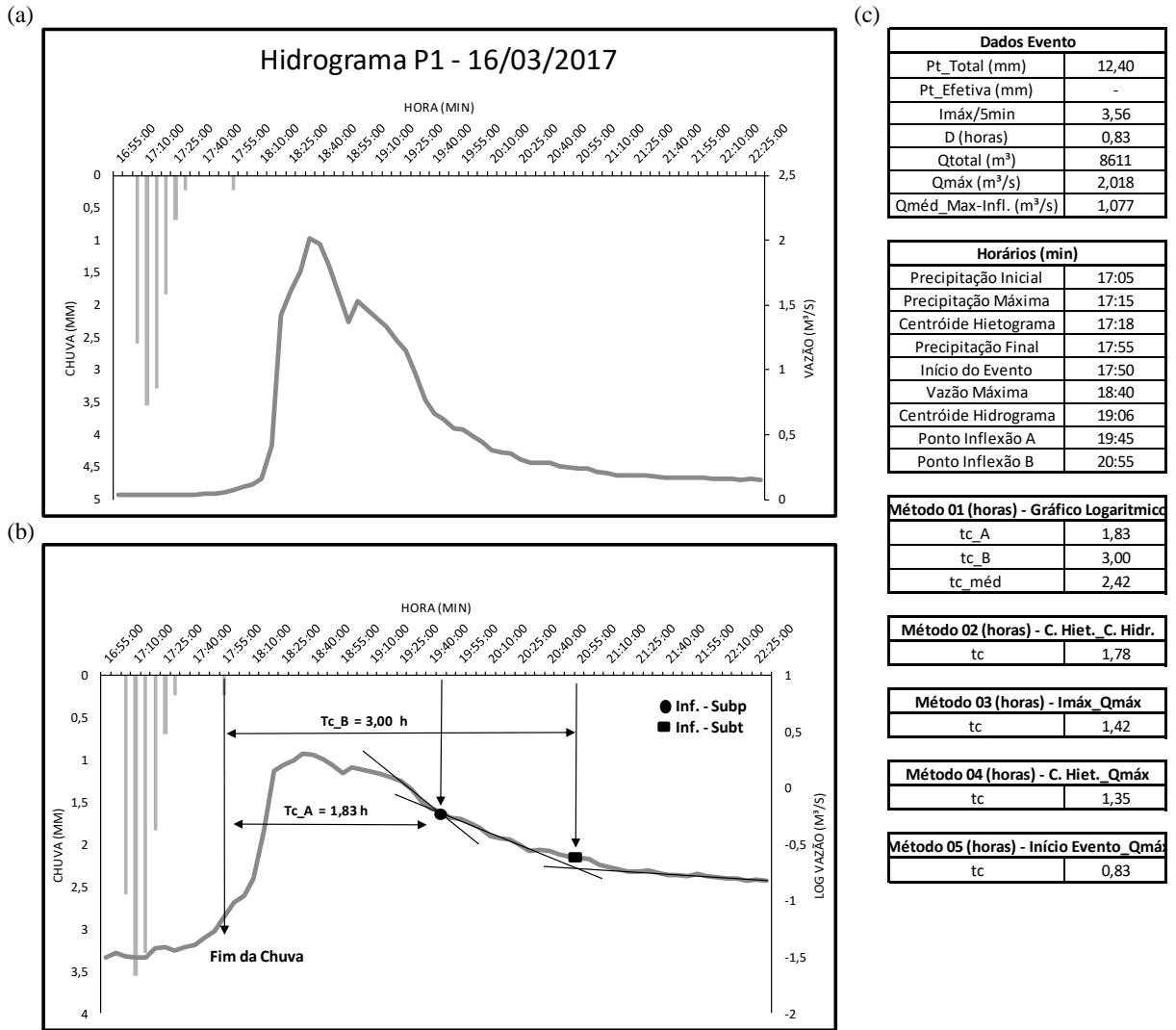
Fonte: Autor (2017).

Figura 38 - Análise do Evento Hidrológico nº 09. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



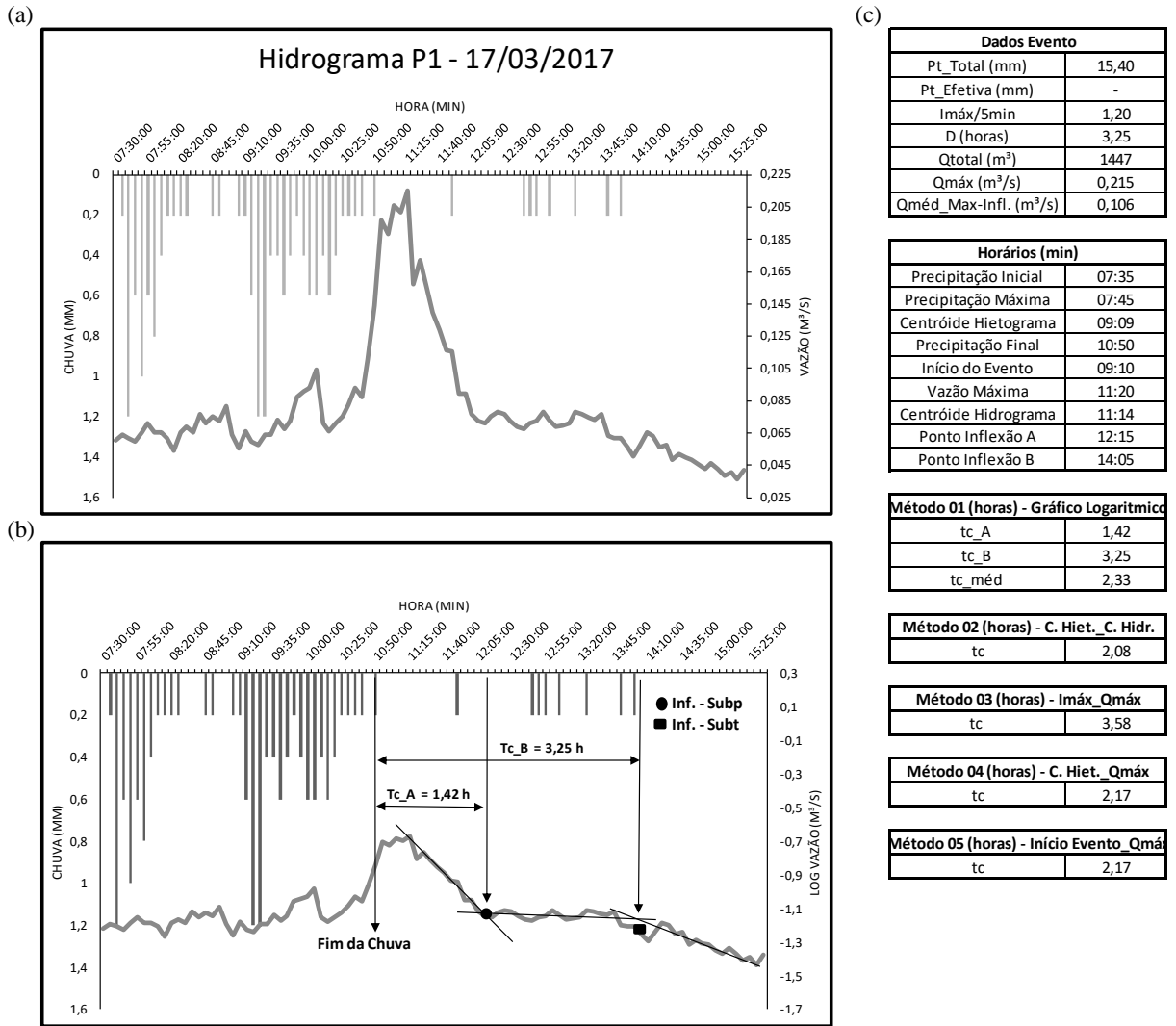
Fonte: Autor (2017).

Figura 39 - Análise do Evento Hidrológico nº 10. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



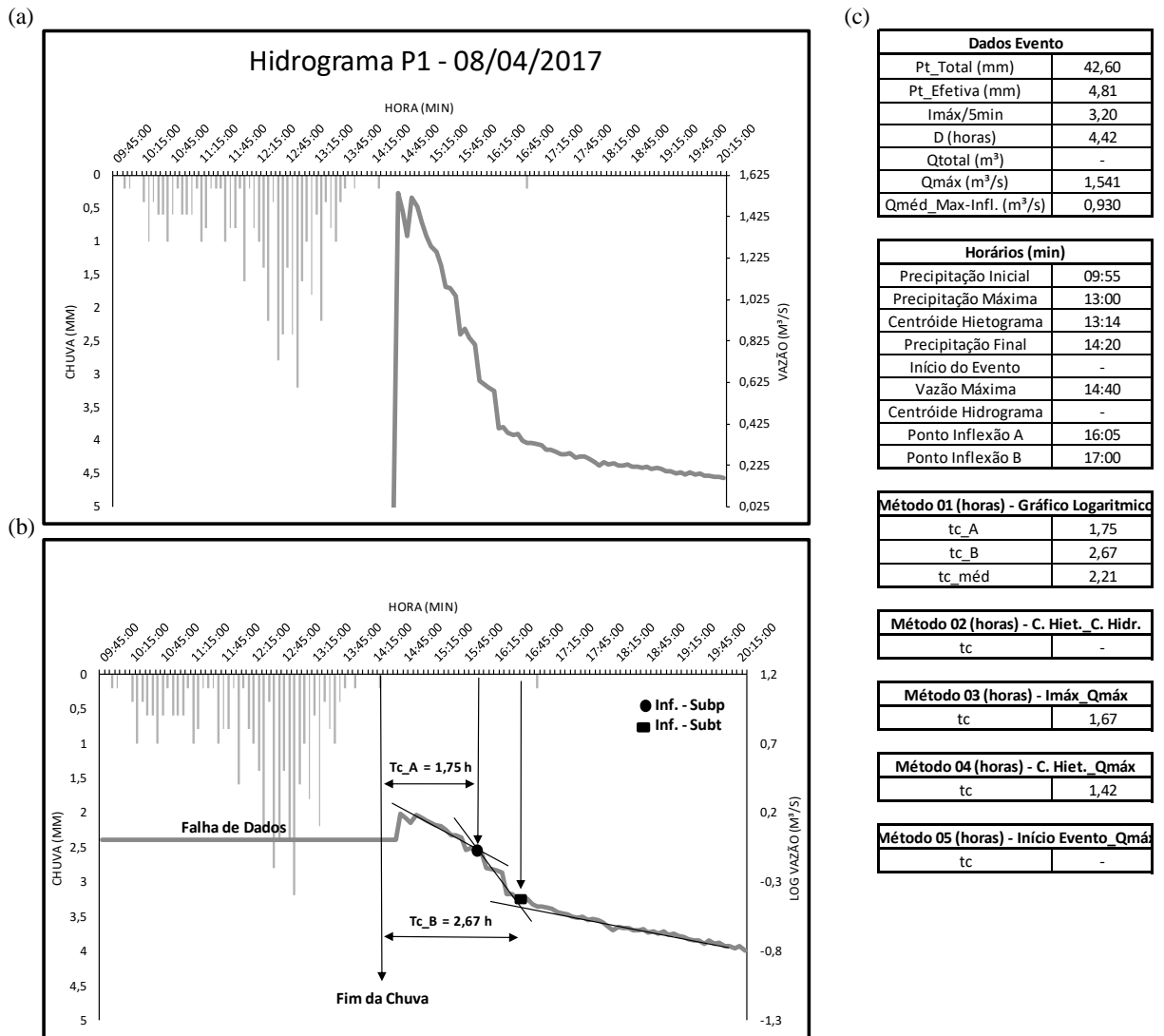
Fonte: Autor (2017).

Figura 40 - Análise do Evento Hidrológico nº 11. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



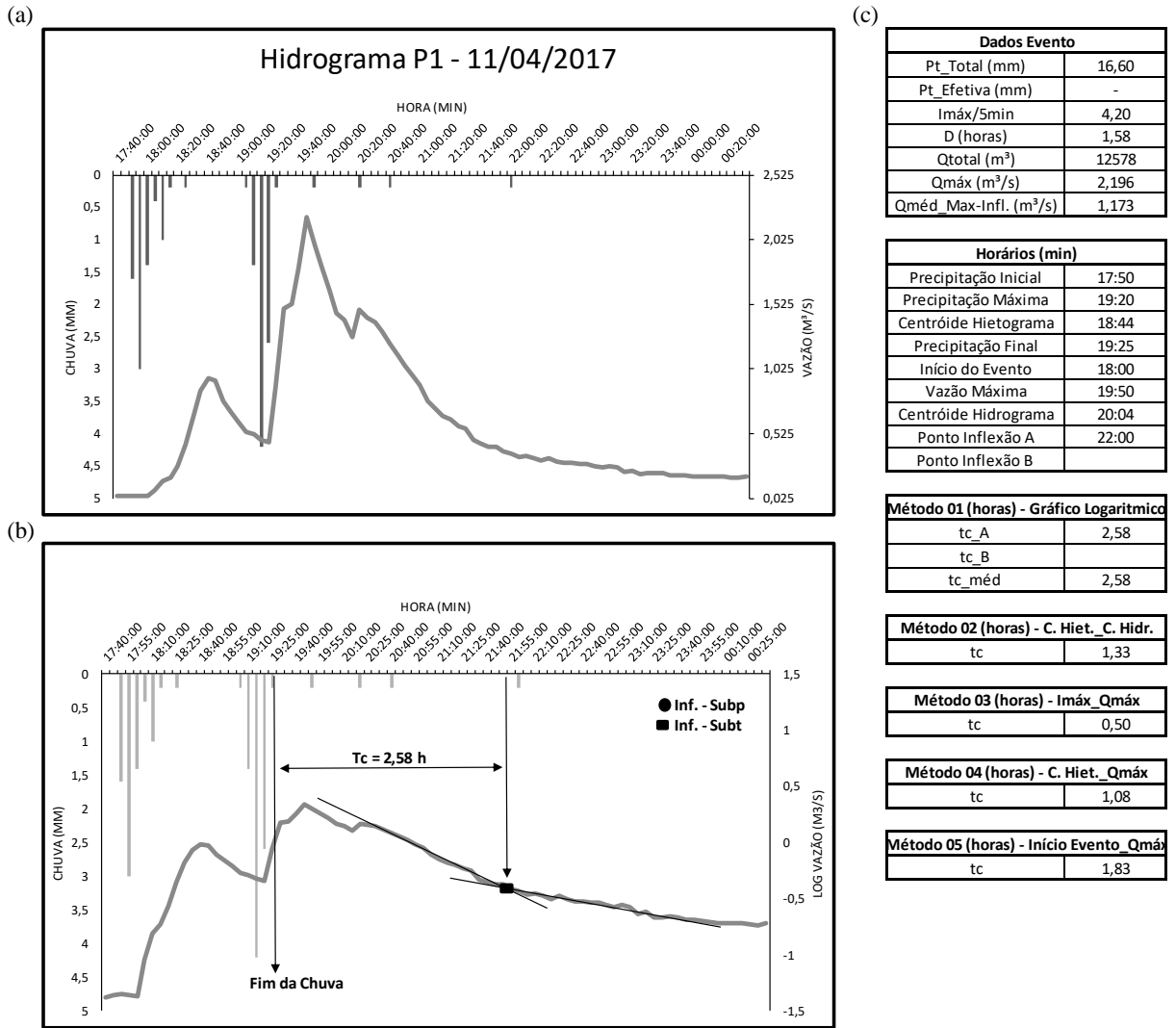
Fonte: Autor (2017).

Figura 41 - Análise do Evento Hidrológico nº 12. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



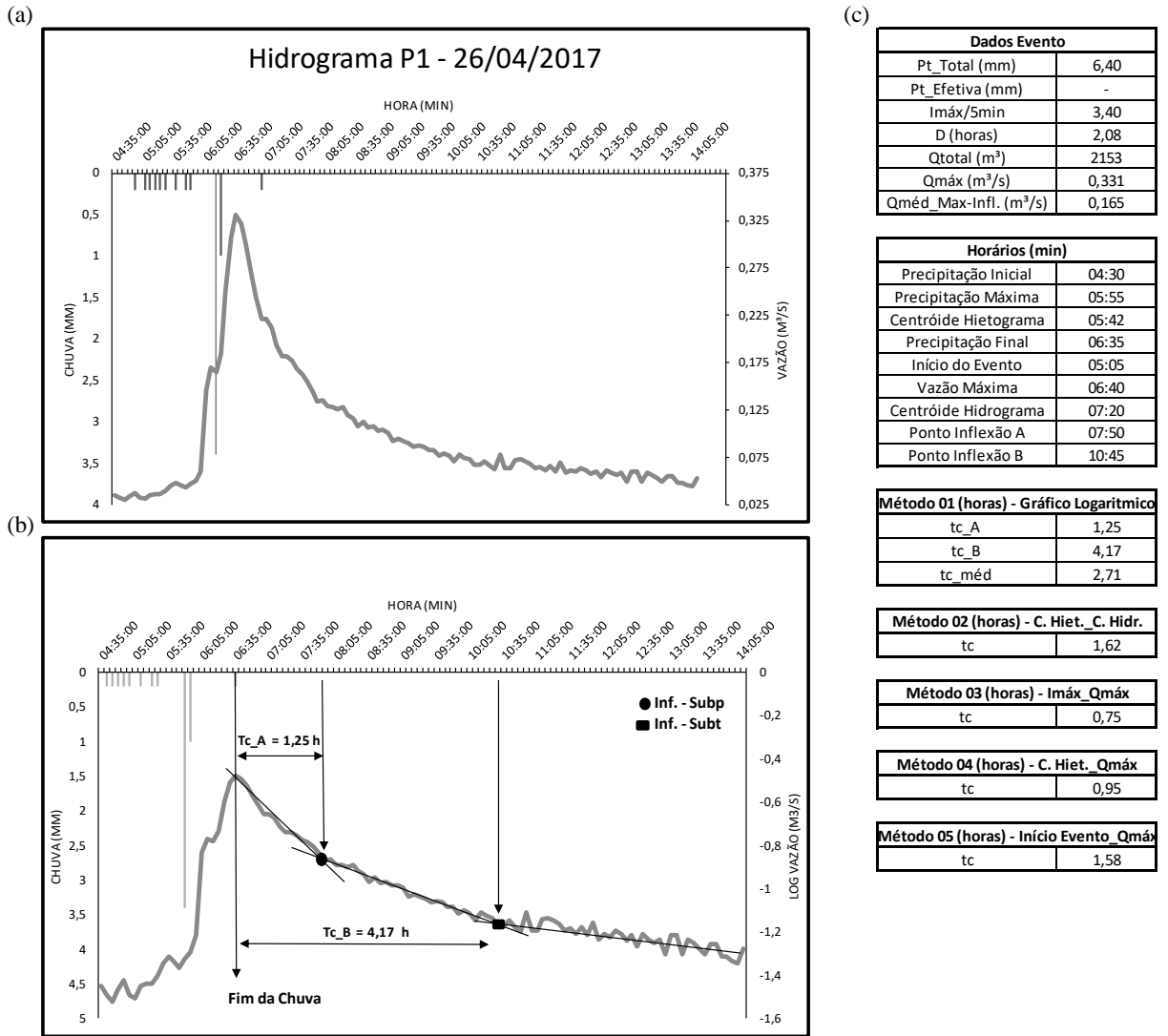
Fonte: Autor (2017).

Figura 42 - Análise do Evento Hidrológico nº 13. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



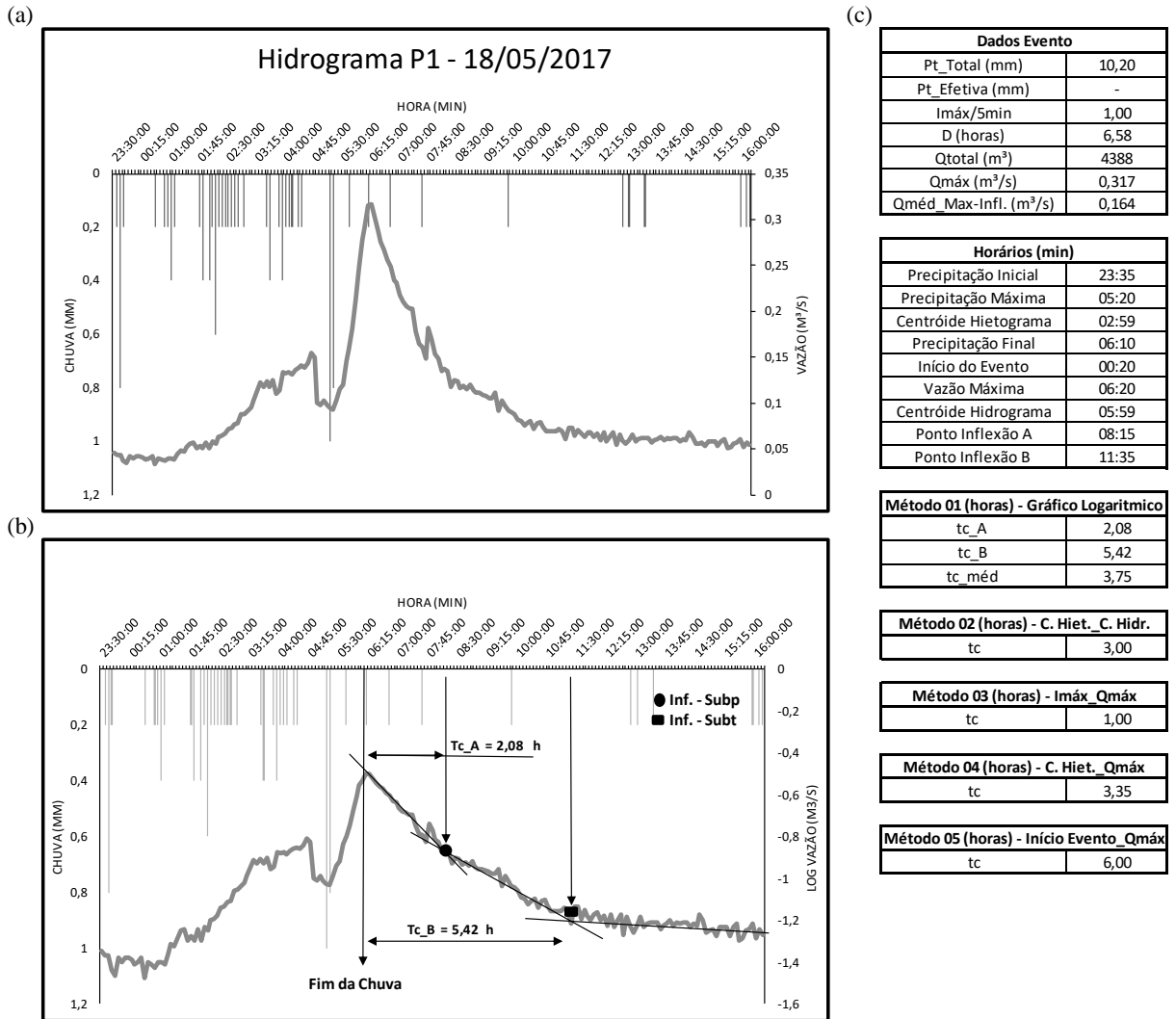
Fonte: Autor (2017).

Figura 43 - Análise do Evento Hidrológico nº 14. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



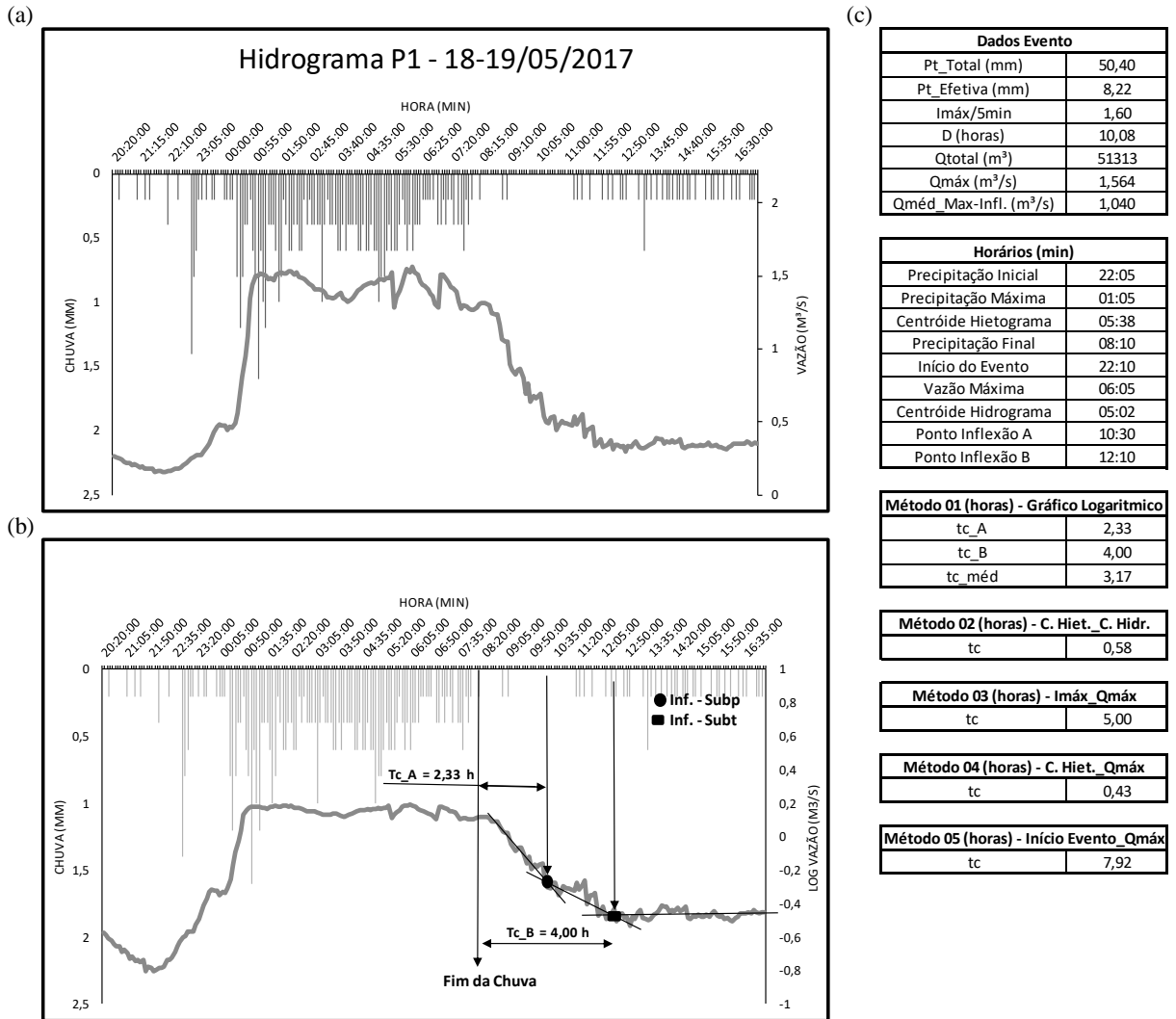
Fonte: Autor (2017).

Figura 44 - Análise do Evento Hidrológico nº 15. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

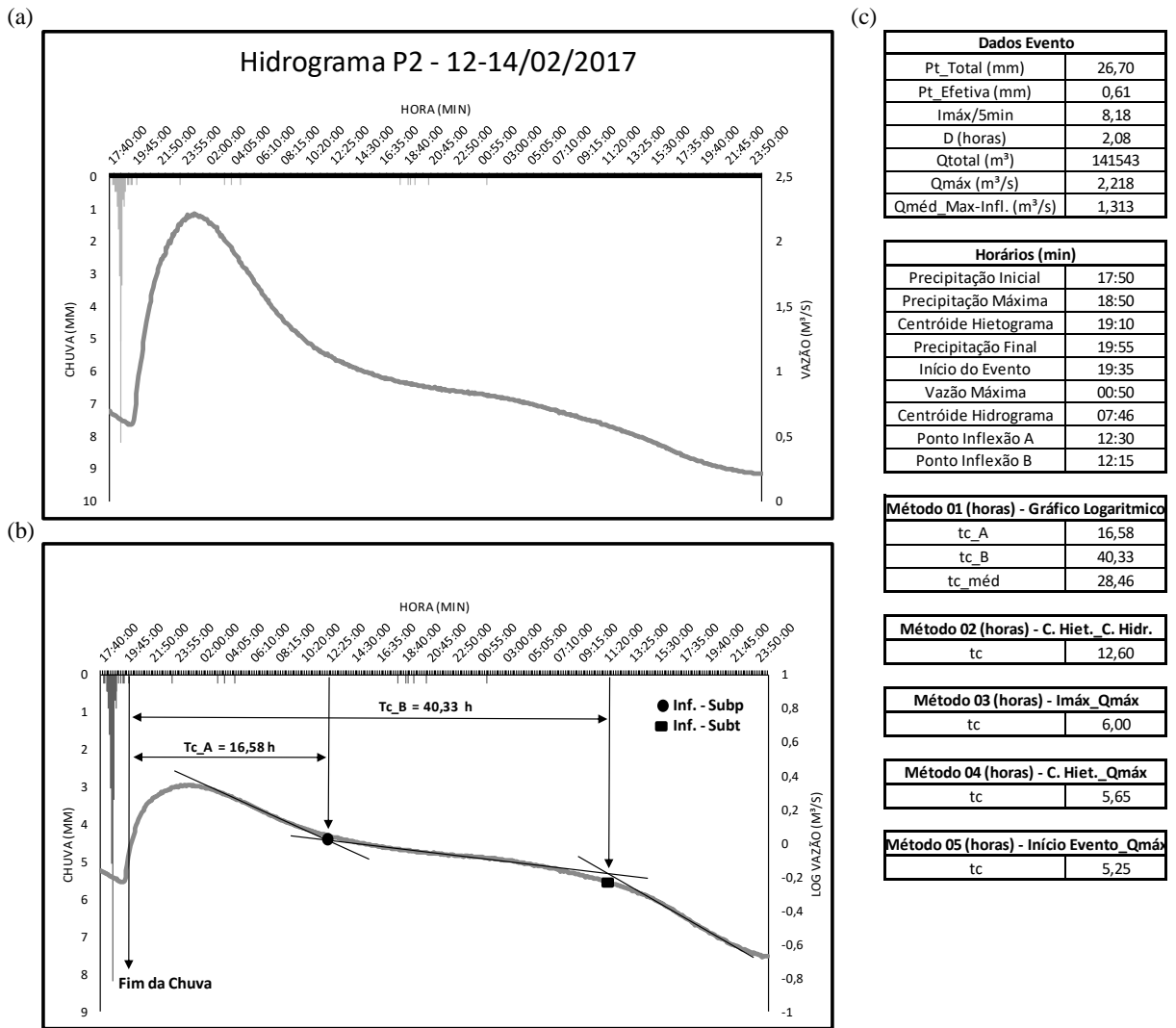
Figura 45 - Análise do Evento Hidrológico nº 16. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

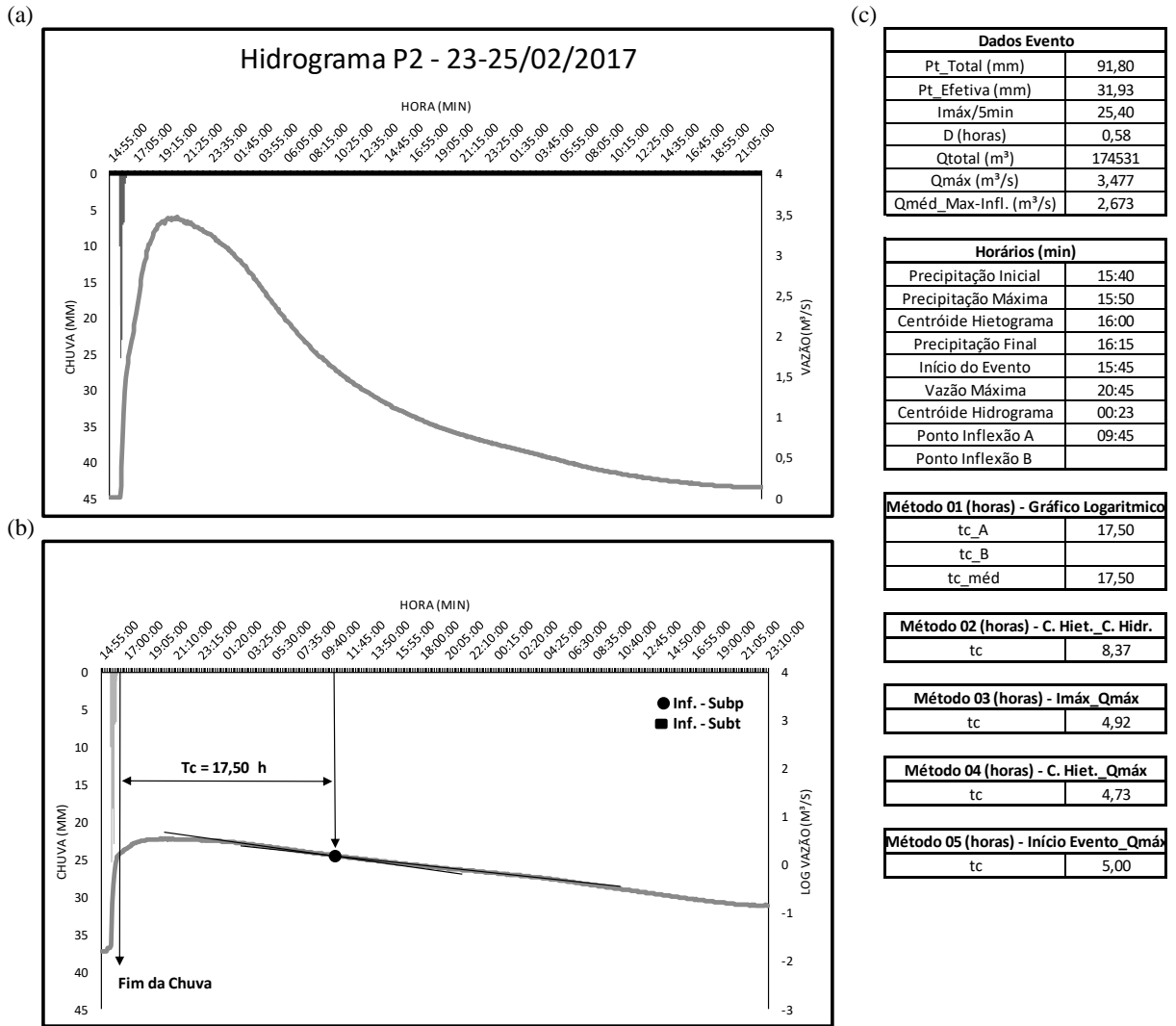
o Eventos Hidrológicos P2:

Figura 46 - Análise do Evento Hidrológico nº 01. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



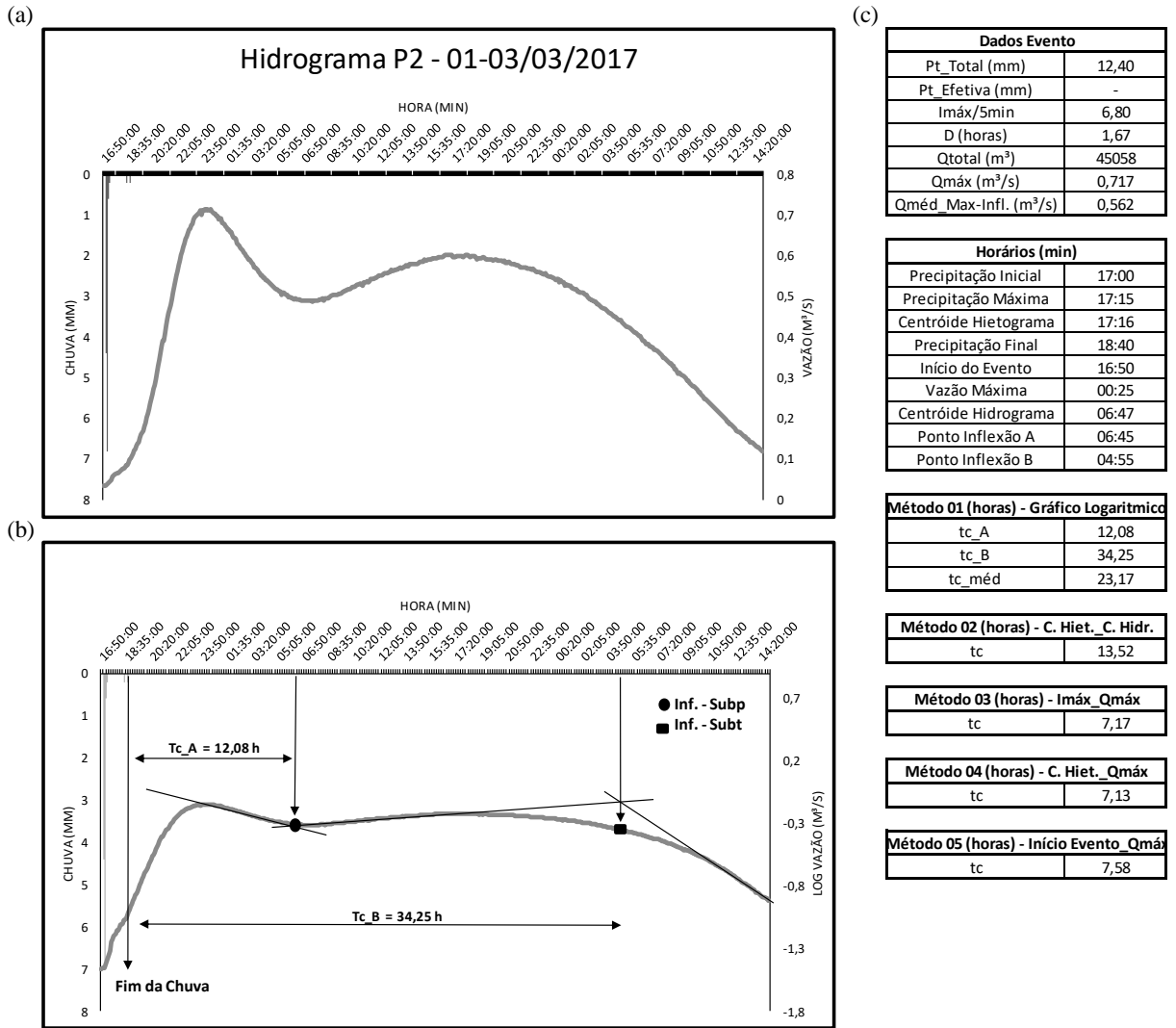
Fonte: Autor (2017).

Figura 47 - Análise do Evento Hidrológico nº 02. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



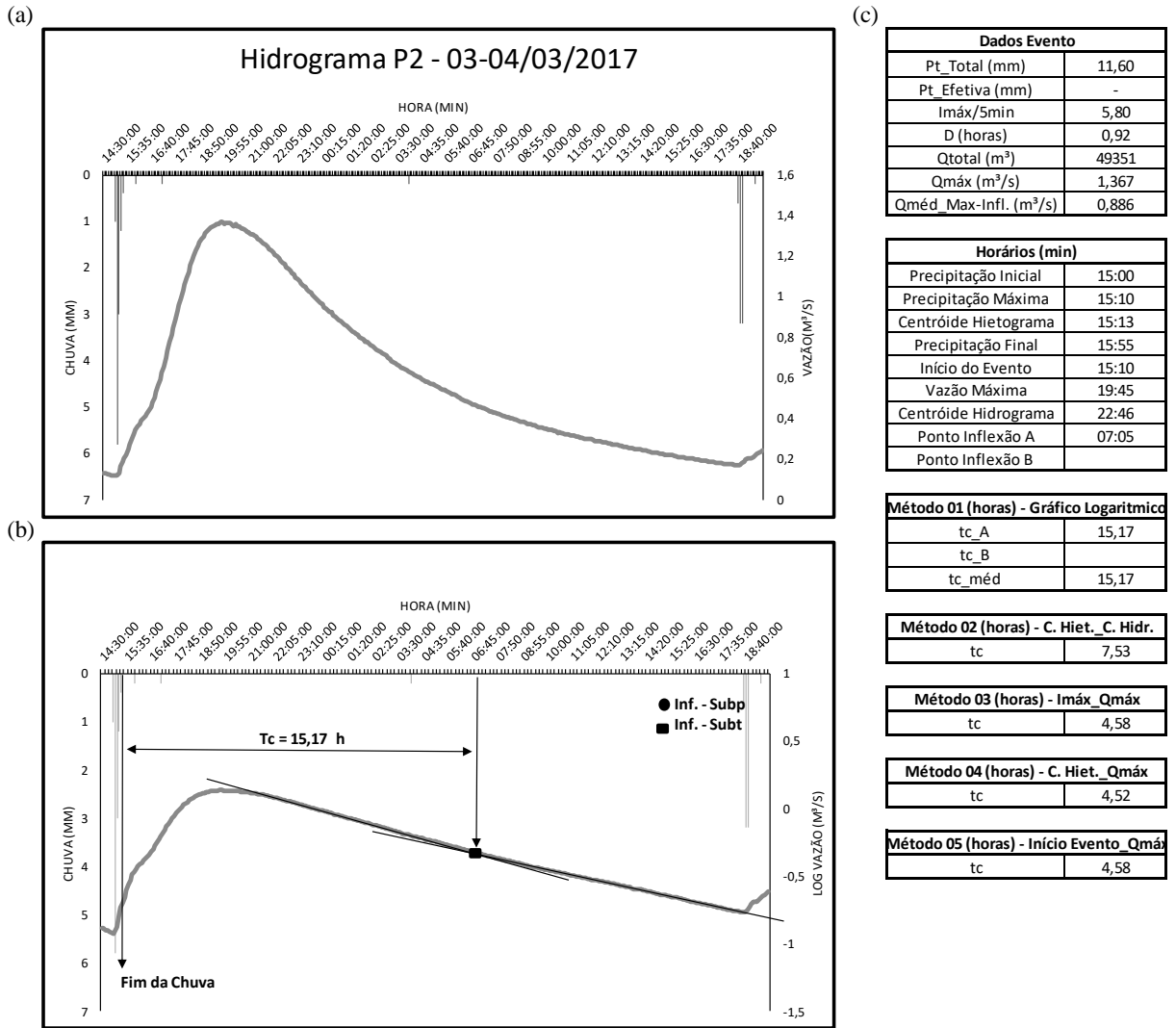
Fonte: Autor (2017).

Figura 48 - Análise do Evento Hidrológico nº 03. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



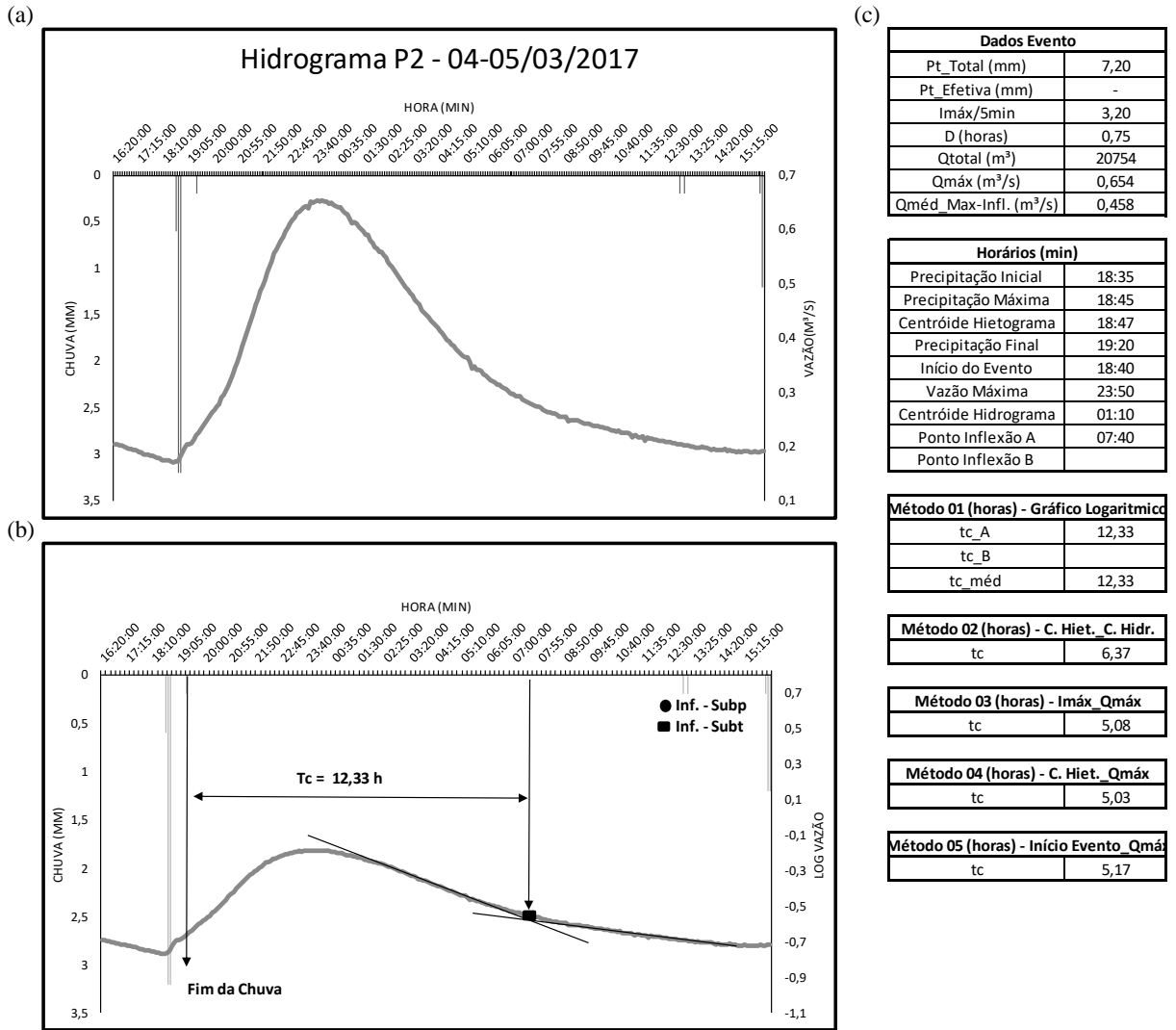
Fonte: Autor (2017).

Figura 49 - Análise do Evento Hidrológico nº 04. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



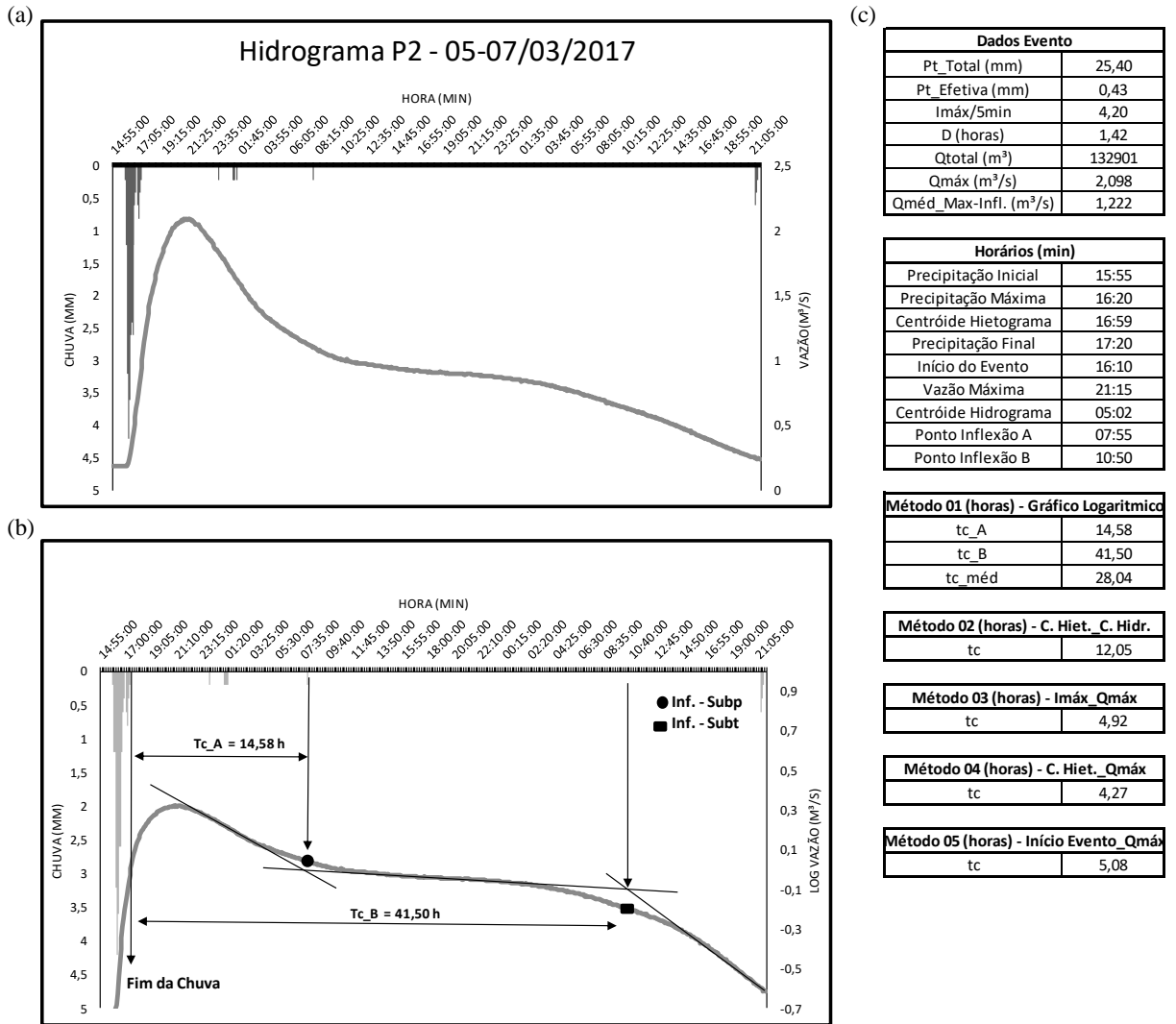
Fonte: Autor (2017).

Figura 50 - Análise do Evento Hidrológico nº 05. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



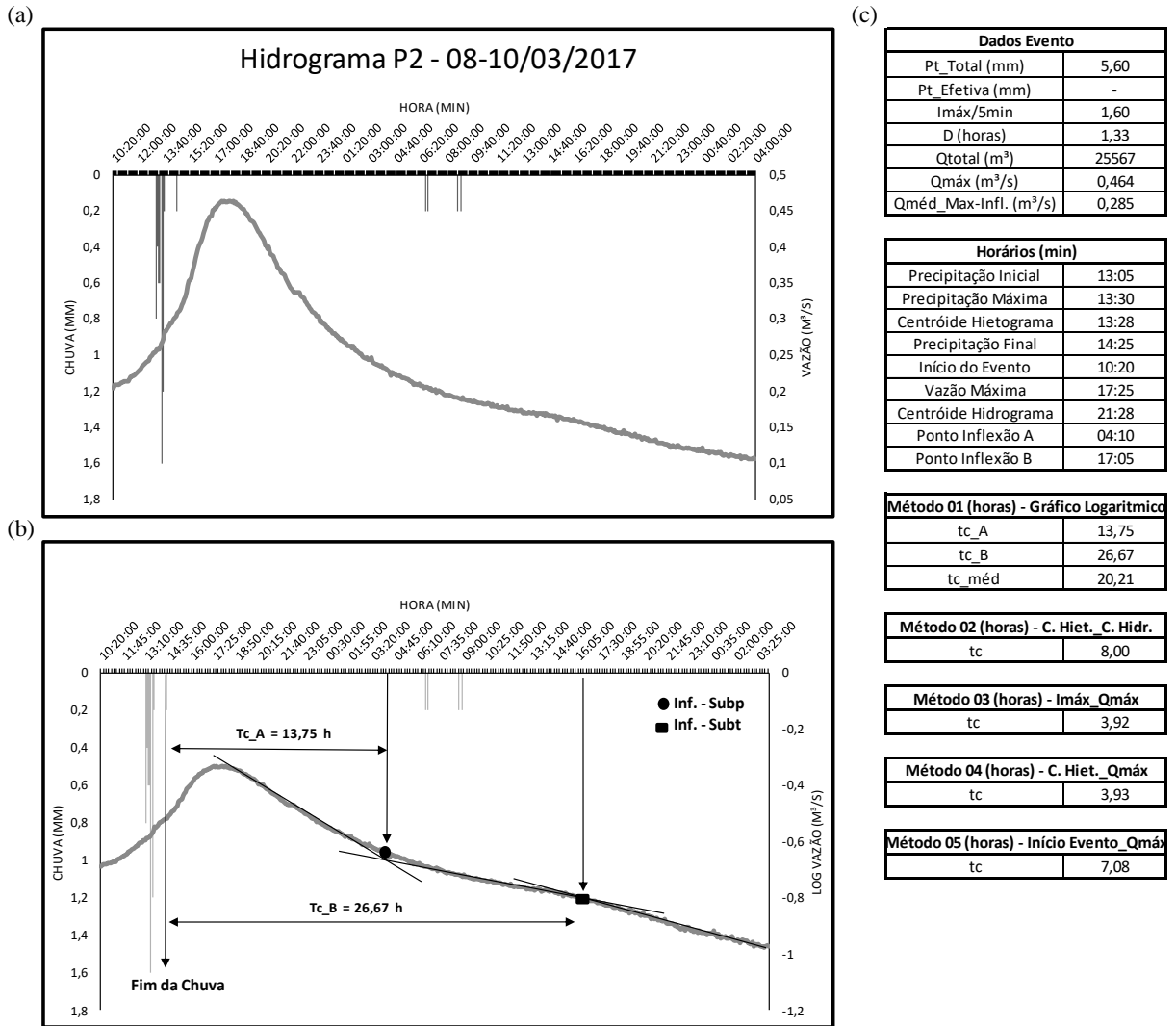
Fonte: Autor (2017).

Figura 51 - Análise do Evento Hidrológico nº 06. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



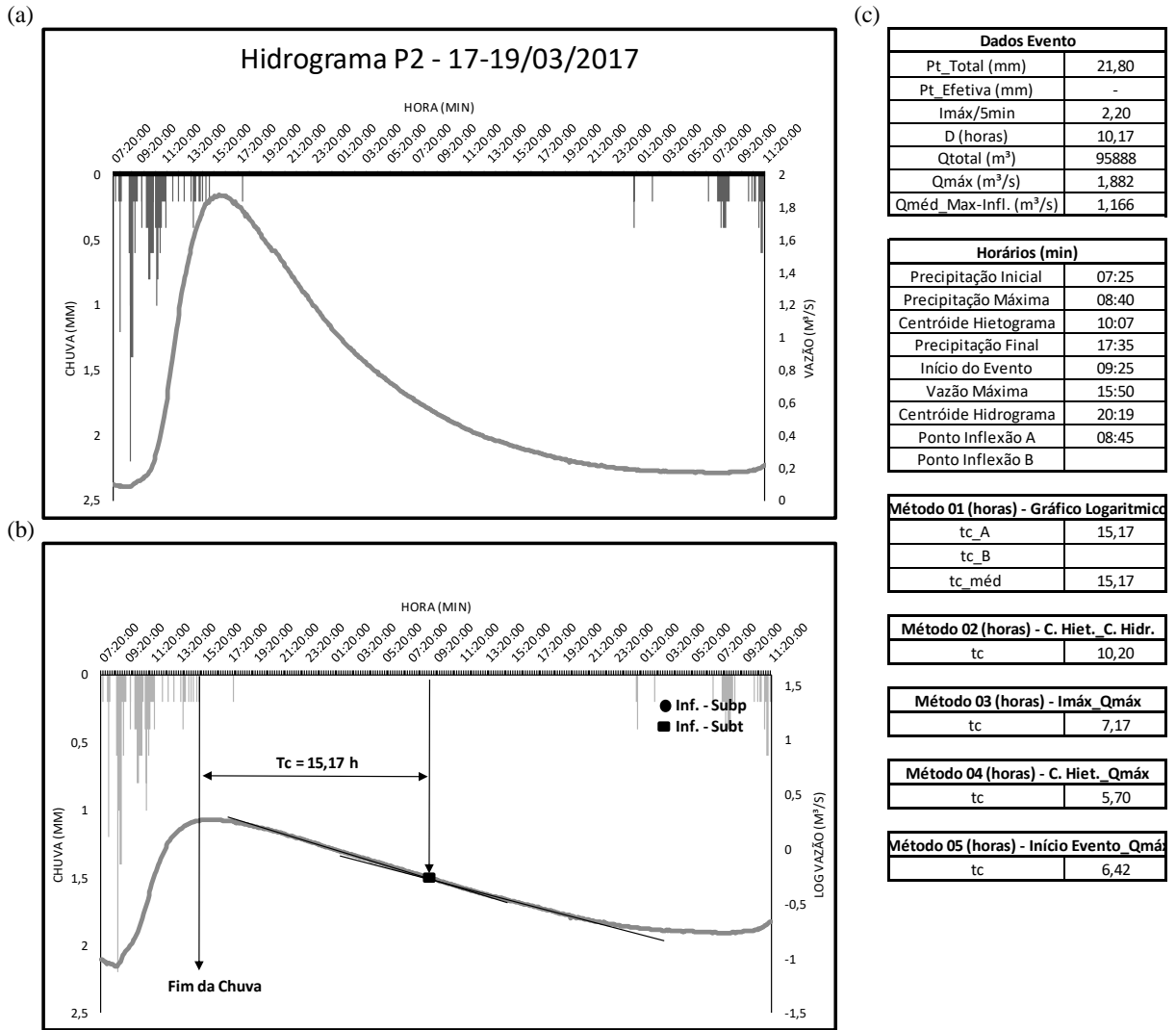
Fonte: Autor (2017).

Figura 52 - Análise do Evento Hidrológico nº 07. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



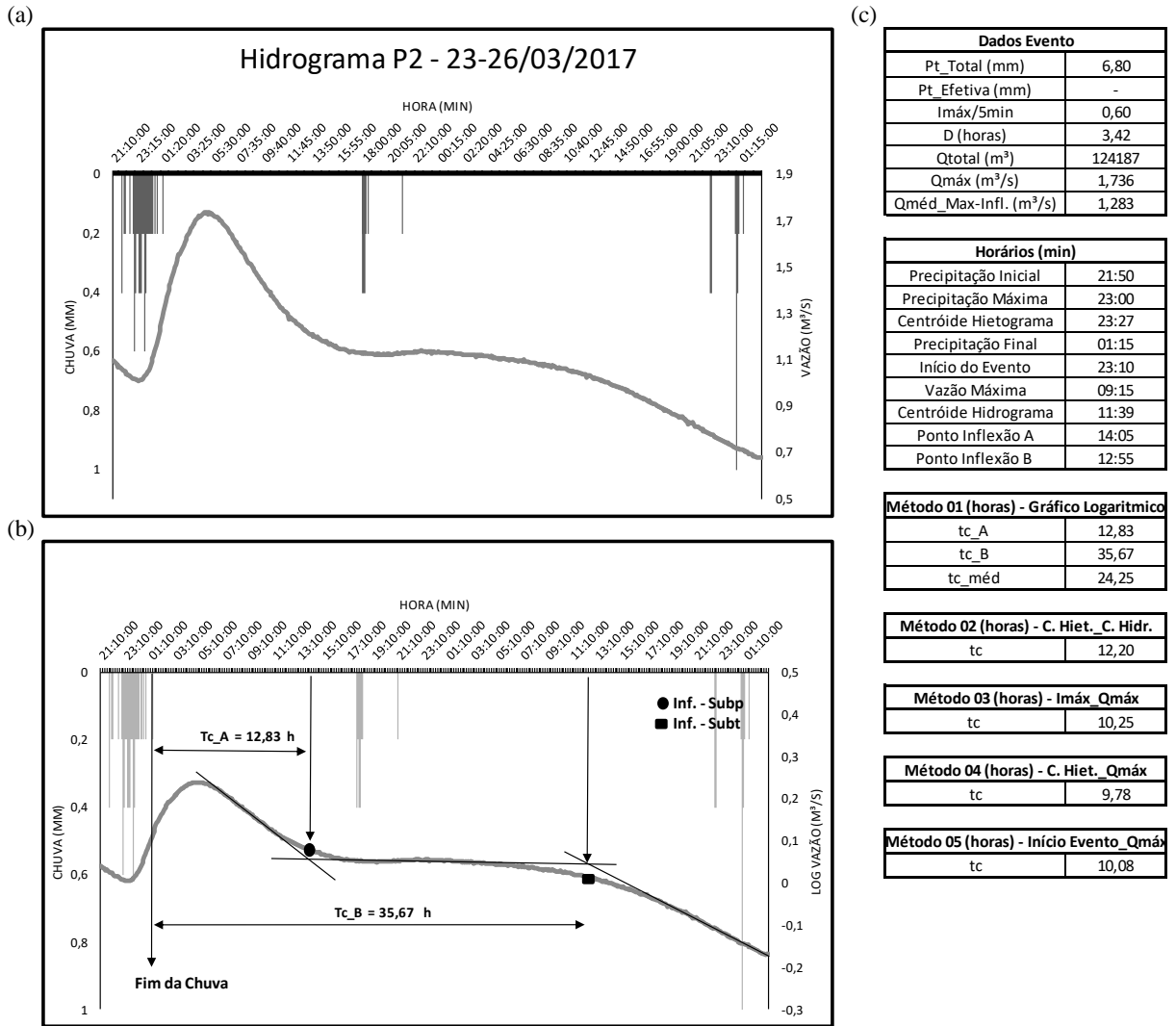
Fonte: Autor (2017).

Figura 53 - Análise do Evento Hidrológico nº 08. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



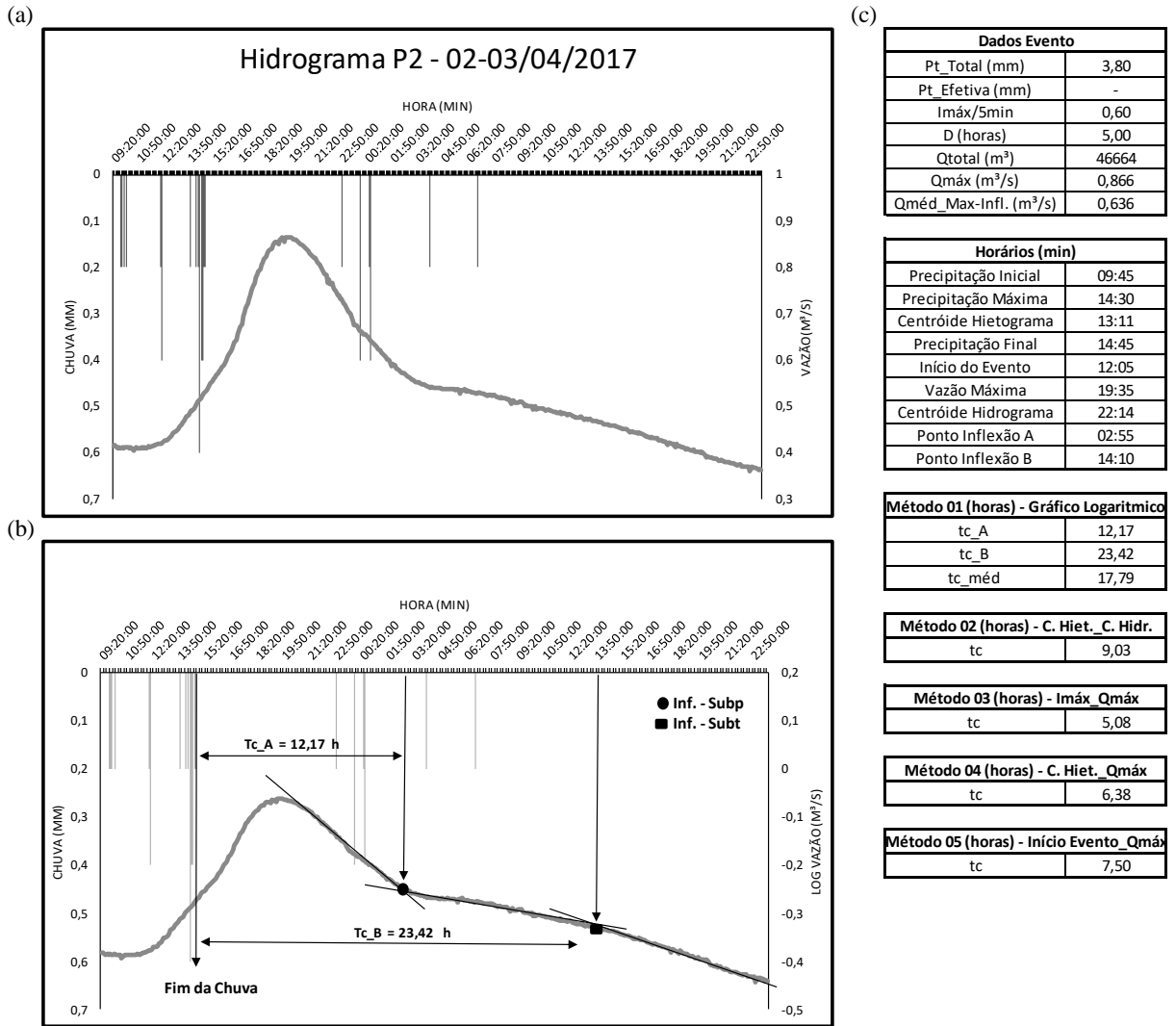
Fonte: Autor (2017).

Figura 54 - Análise do Evento Hidrológico nº 09. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



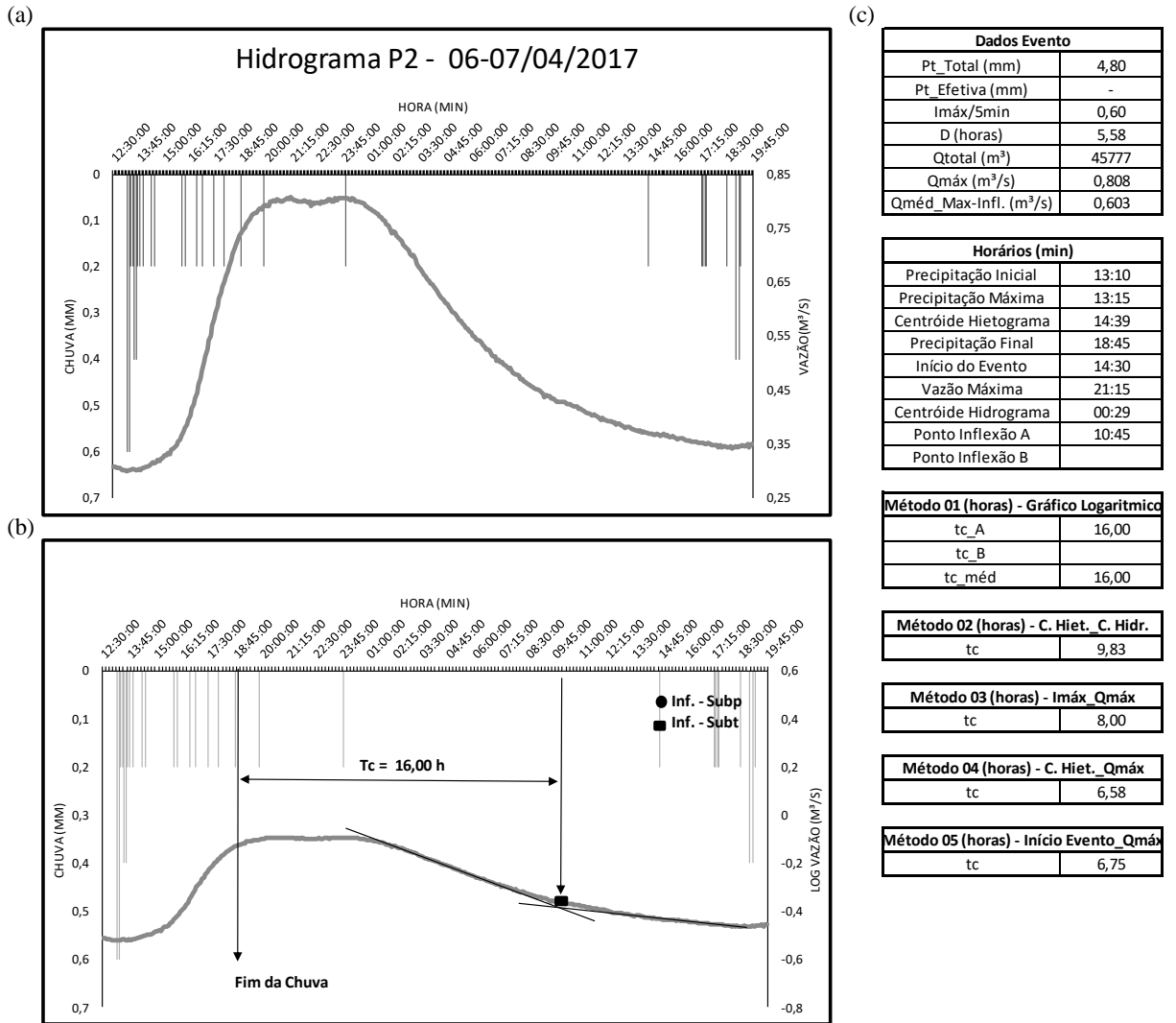
Fonte: Autor (2017).

Figura 55 - Análise do Evento Hidrológico nº 10. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



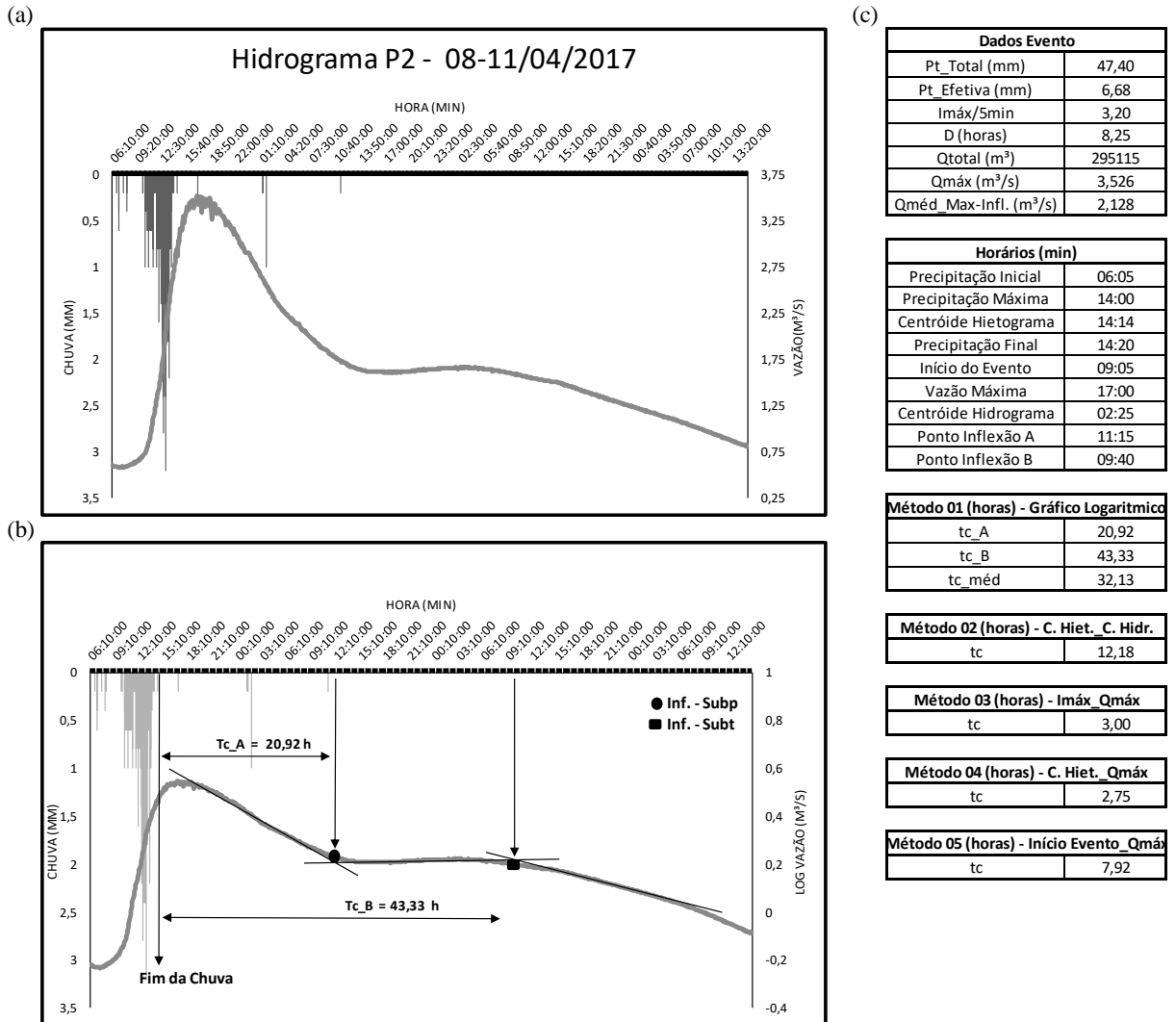
Fonte: Autor (2017).

Figura 56 - Análise do Evento Hidrológico nº 11. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



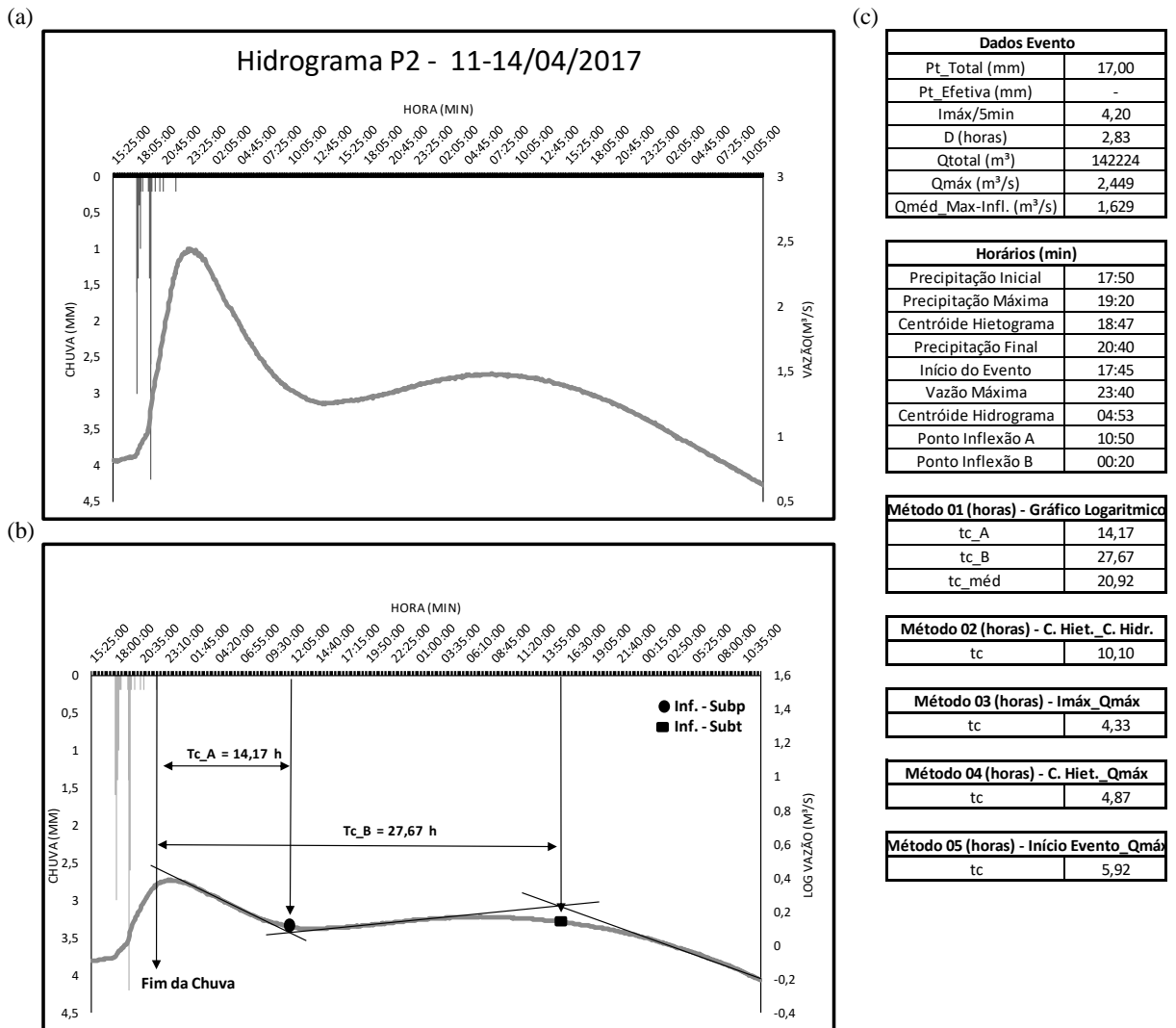
Fonte: Autor (2017).

Figura 57 - Análise do Evento Hidrológico nº 12. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



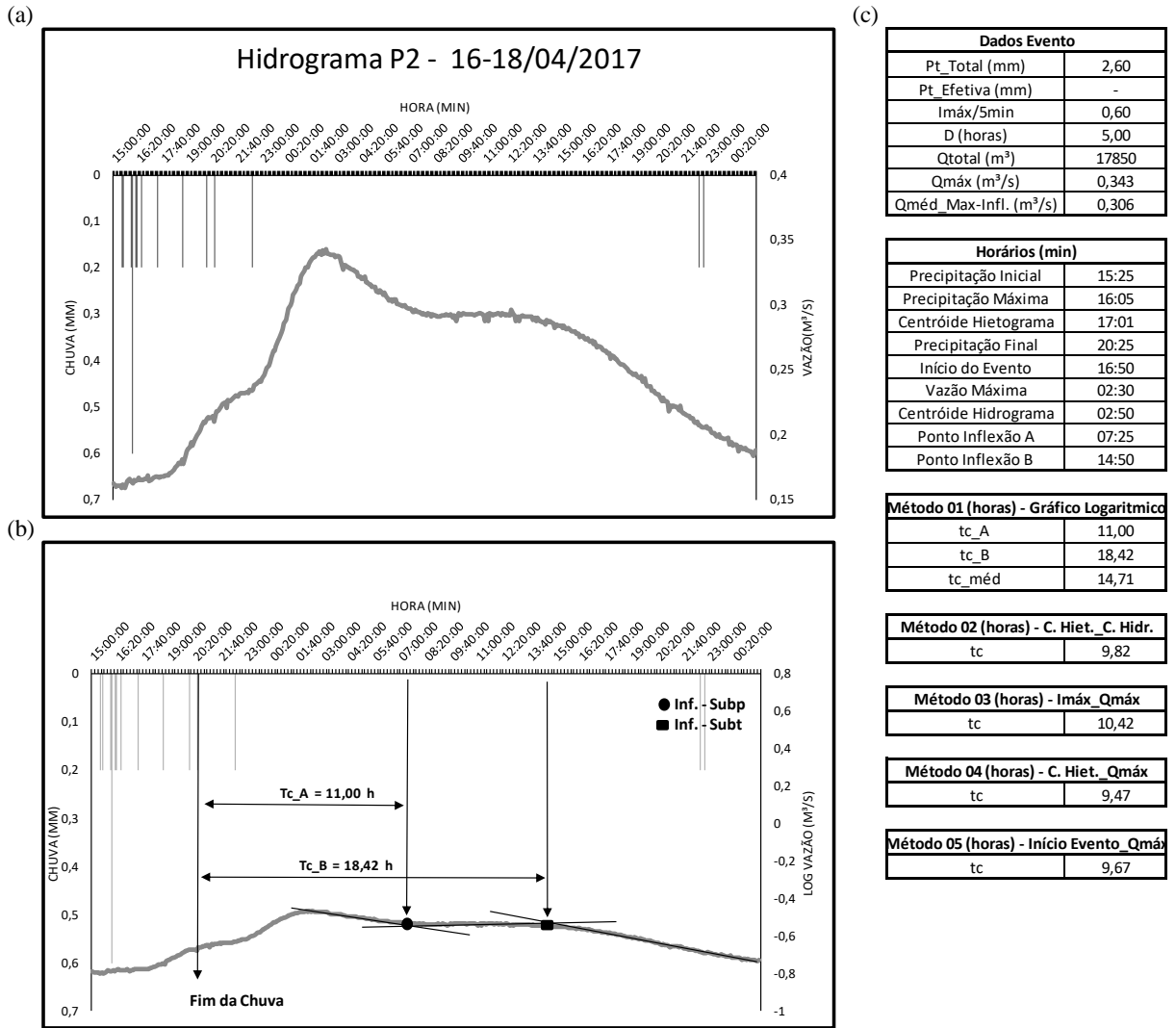
Fonte: Autor (2017).

Figura 58 - Análise do Evento Hidrológico nº 13. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



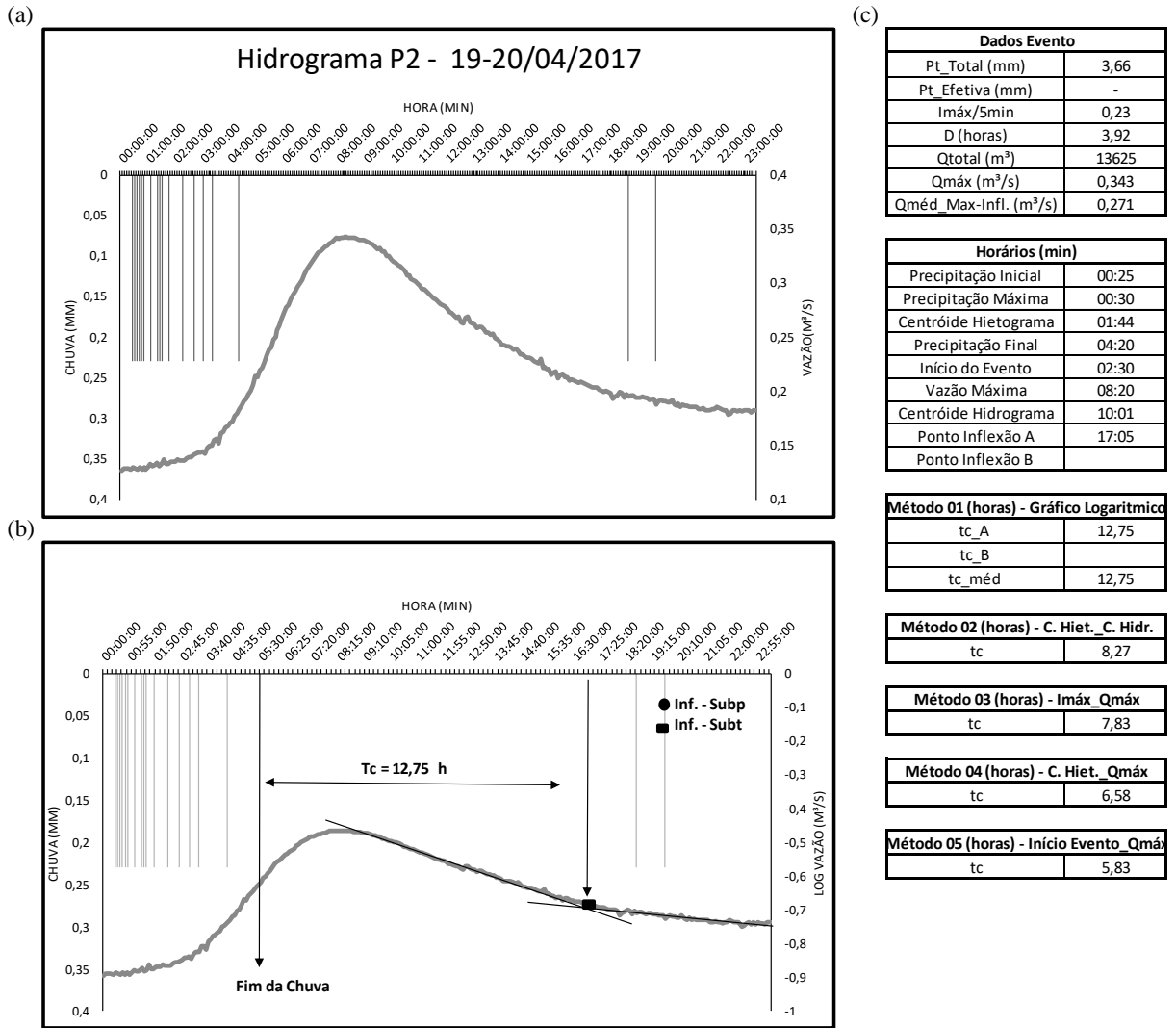
Fonte: Autor (2017).

Figura 59 - Análise do Evento Hidrológico nº 14. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



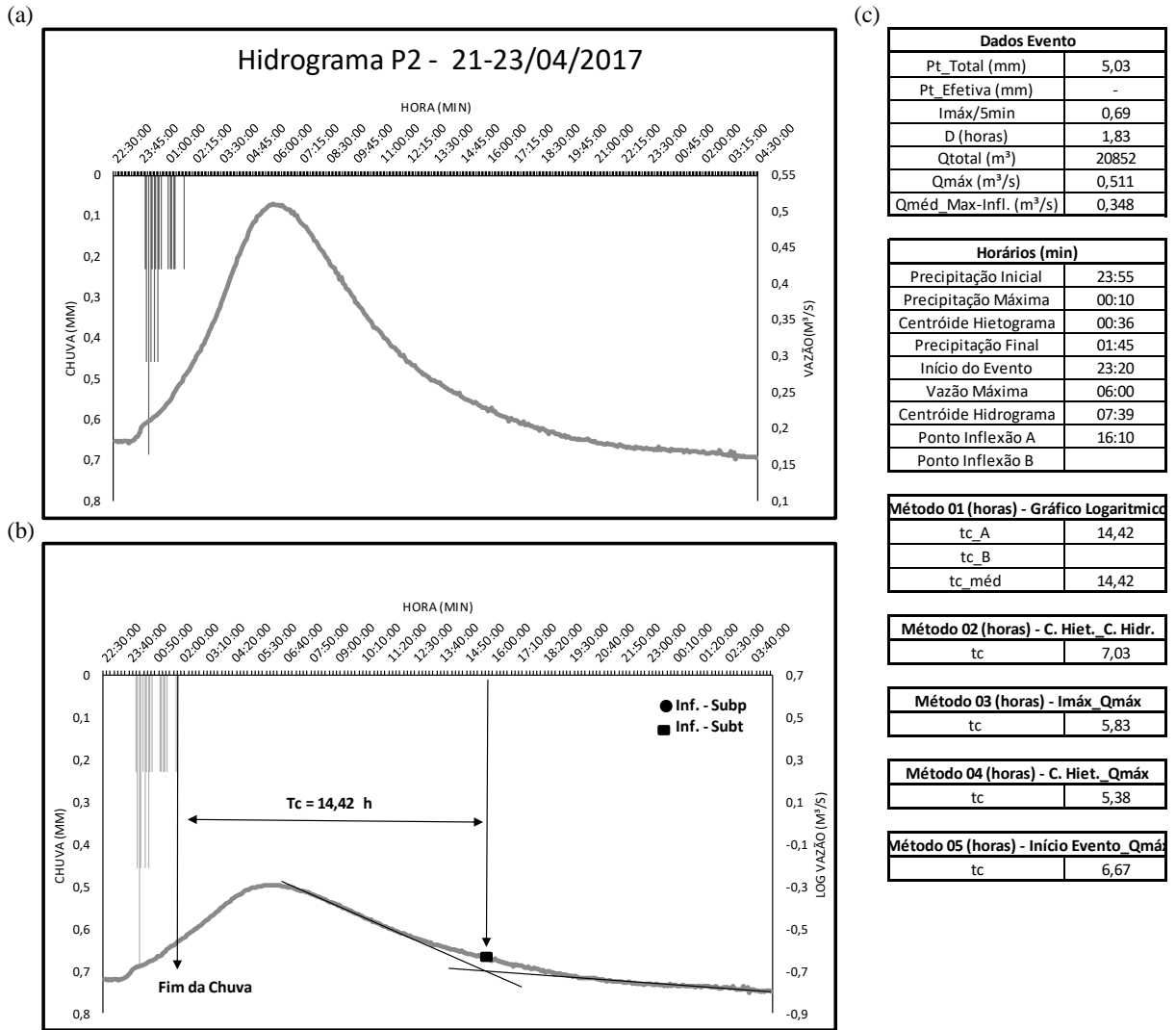
Fonte: Autor (2017).

Figura 60 - Análise do Evento Hidrológico nº 15. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



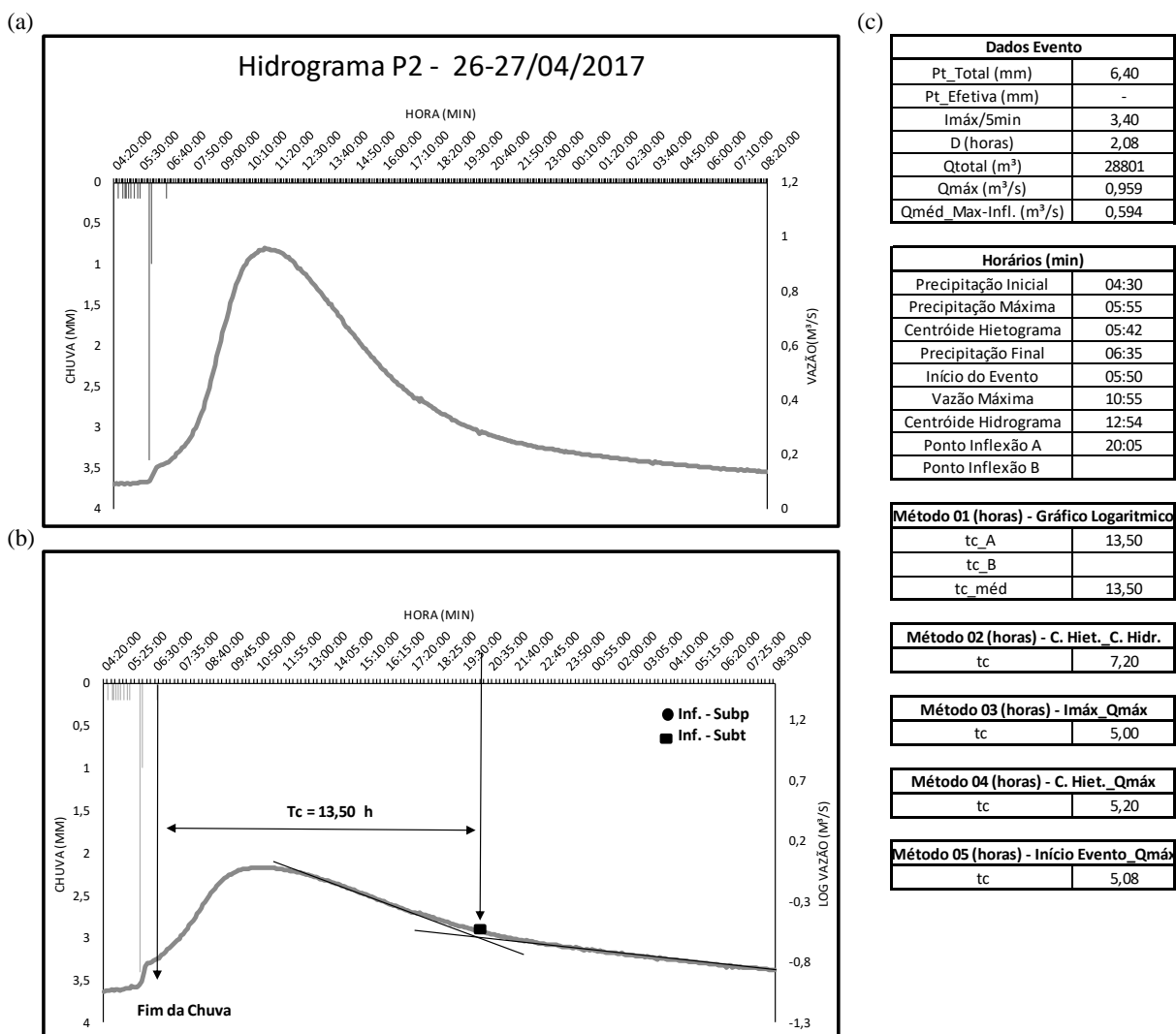
Fonte: Autor (2017).

Figura 61 - Análise do Evento Hidrológico nº 16. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



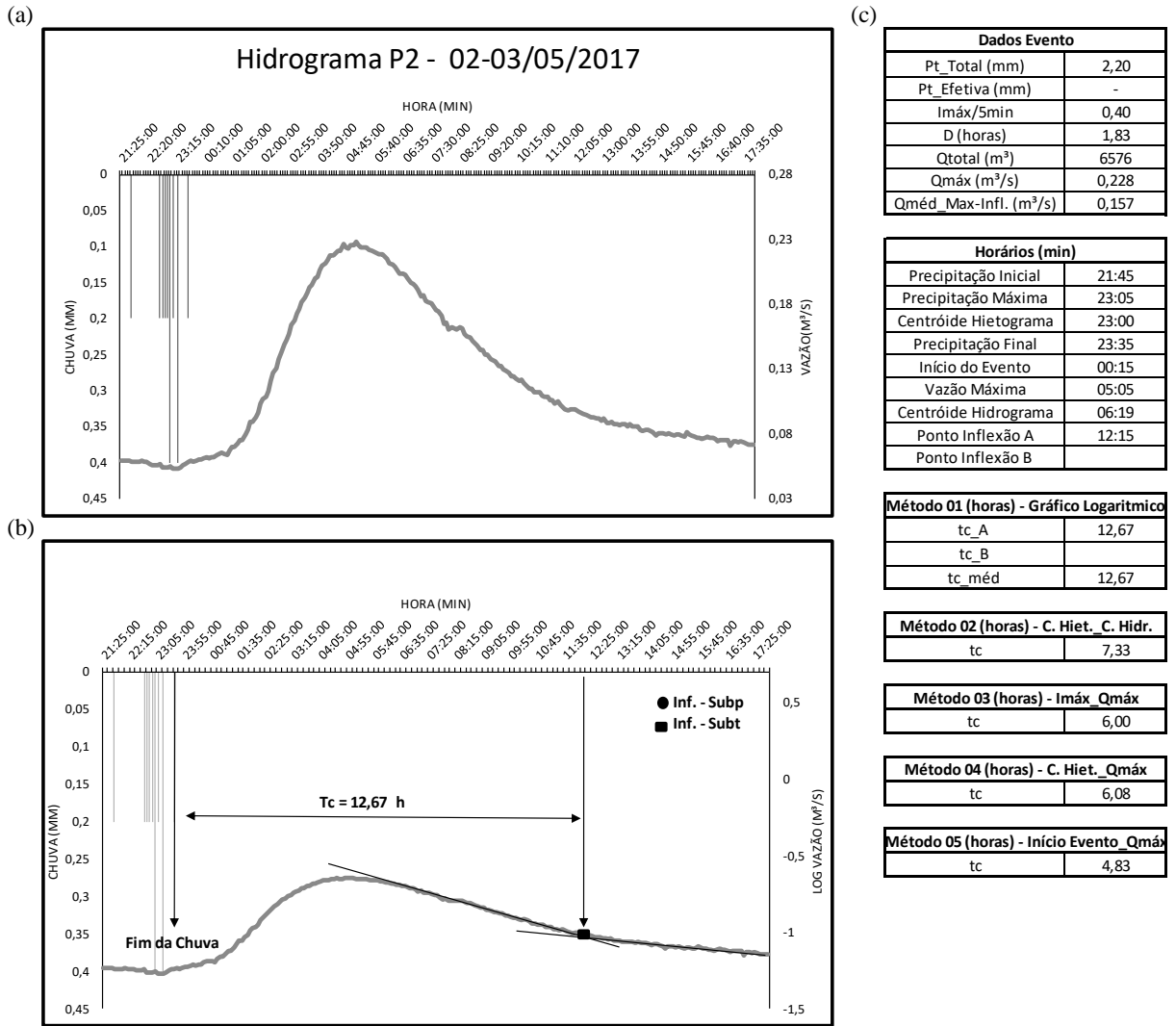
Fonte: Autor (2017).

Figura 62 - Análise do Evento Hidrológico nº 17. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



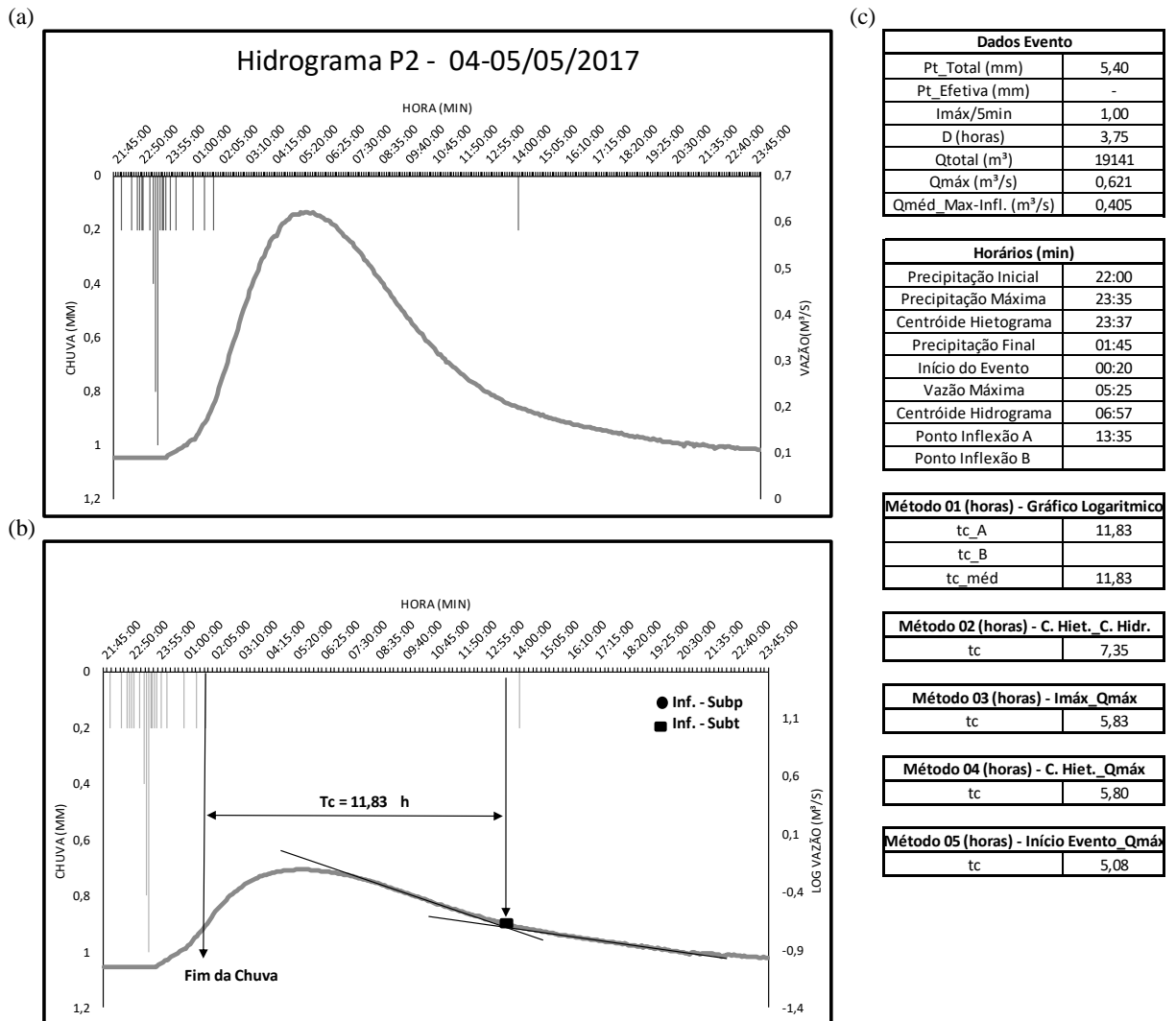
Fonte: Autor (2017).

Figura 63 - Análise do Evento Hidrológico nº 18. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



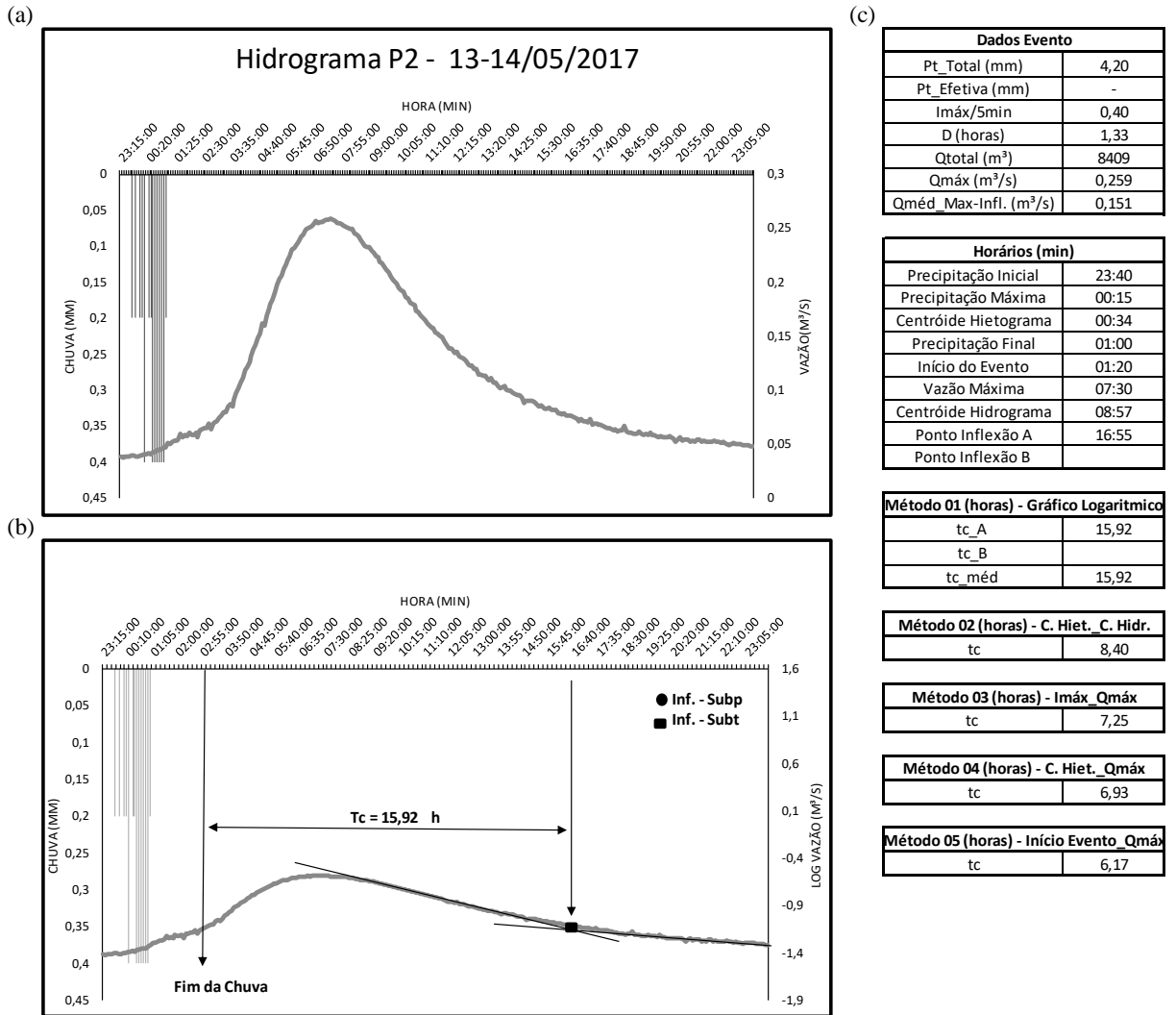
Fonte: Autor (2017).

Figura 64 - Análise do Evento Hidrológico nº 19. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

Figura 65 - Análise do Evento Hidrológico nº 20. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.

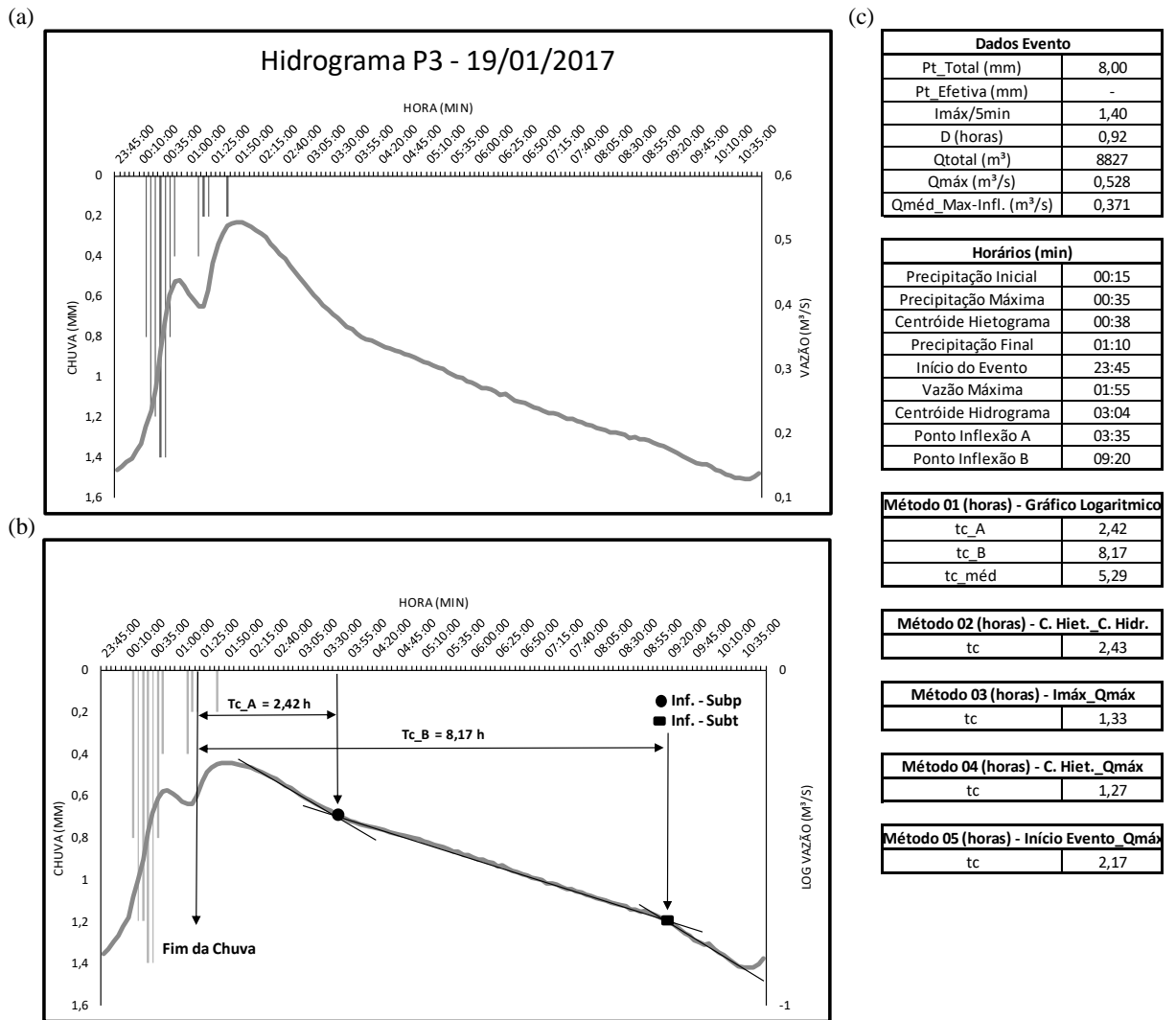


Fonte: Autor (2017).

○ Eventos Hidrológicos P3:

- Antes:

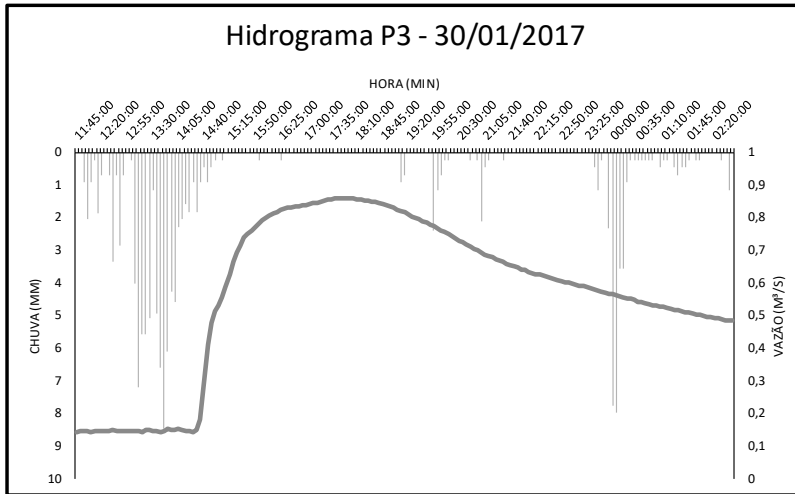
Figura 66 - Análise do Evento Hidrológico nº 01. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



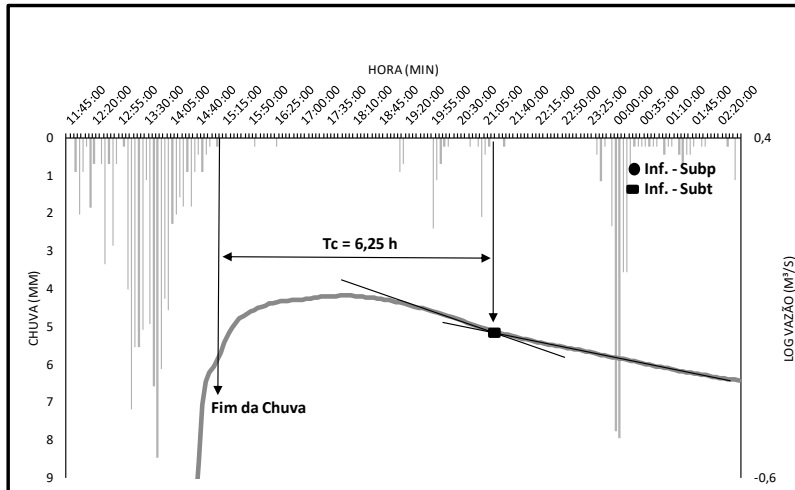
Fonte: Autor (2017).

Figura 67 - Análise do Evento Hidrológico nº 02. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.

(a)



(b)



(c)

Dados Evento	
Pt Total (mm)	92,45
Pt Efetiva (mm)	32,37
Imáx/5min	8,48
D (horas)	3,17
Qttotal (m³)	29751
Qmáx (m³/s)	0,860
Qméd_Max-Infl. (m³/s)	0,775

Horários (min)	
Precipitação Inicial	11:55
Precipitação Máxima	13:50
Centróide Hietograma	13:58
Precipitação Final	15:05
Início do Evento	14:25
Vazão Máxima	20:40
Centróide Hidrograma	16:45
Ponto Inflexão A	21:20
Ponto Inflexão B	

Método 01 (horas) - Gráfico Logarítmico	
tc_A	6,25
tc_B	
tc_méd	6,25

Método 02 (horas) - C. Hiet. C. Hidr.	
tc	2,78

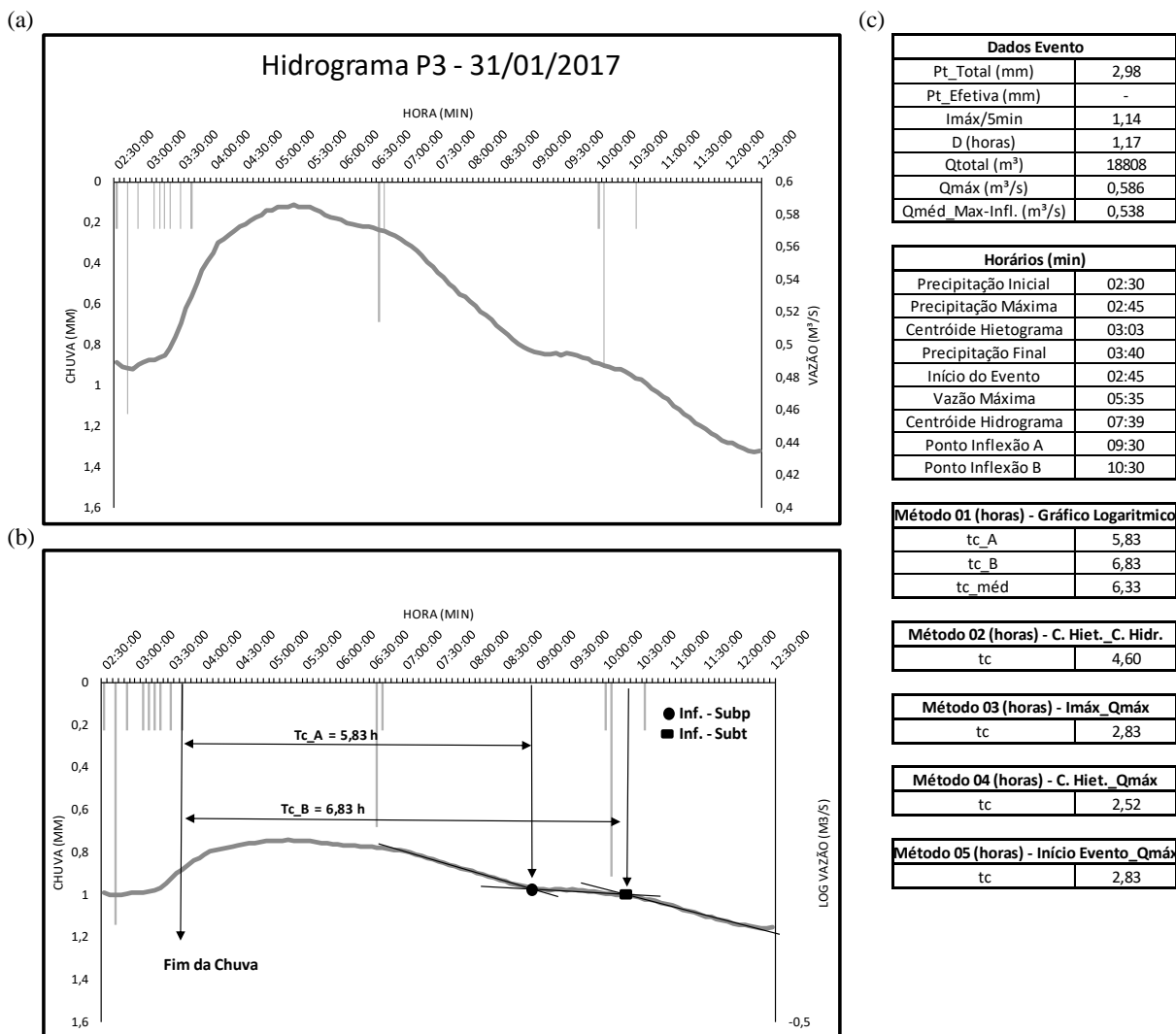
Método 03 (horas) - Imáx_Qmáx	
tc	6,83

Método 04 (horas) - C. Hiet. Qmáx	
tc	6,68

Método 05 (horas) - Início Evento_Qmáx	
tc	6,25

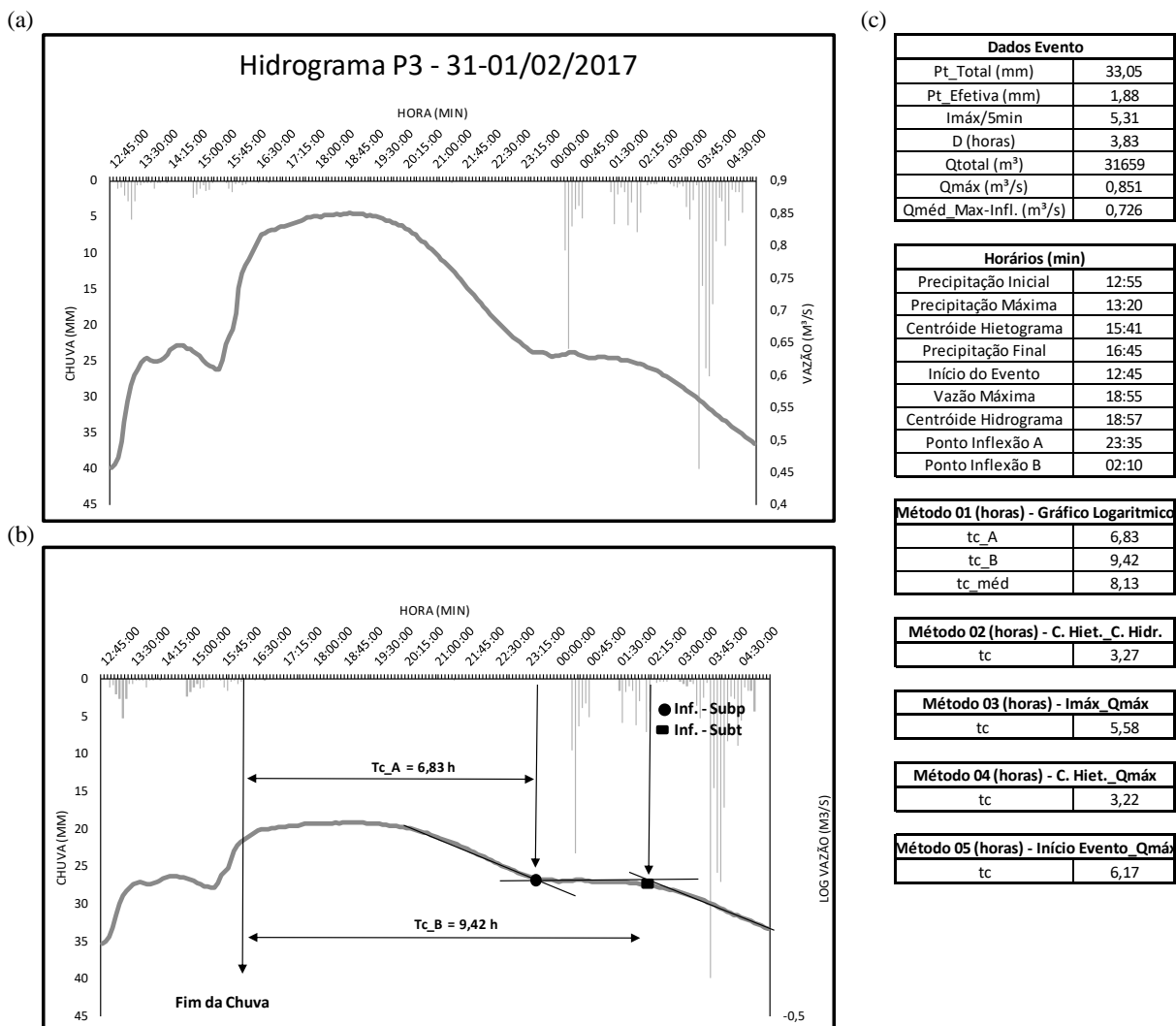
Fonte: Autor (2017).

Figura 68 - Análise do Evento Hidrológico nº 03. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



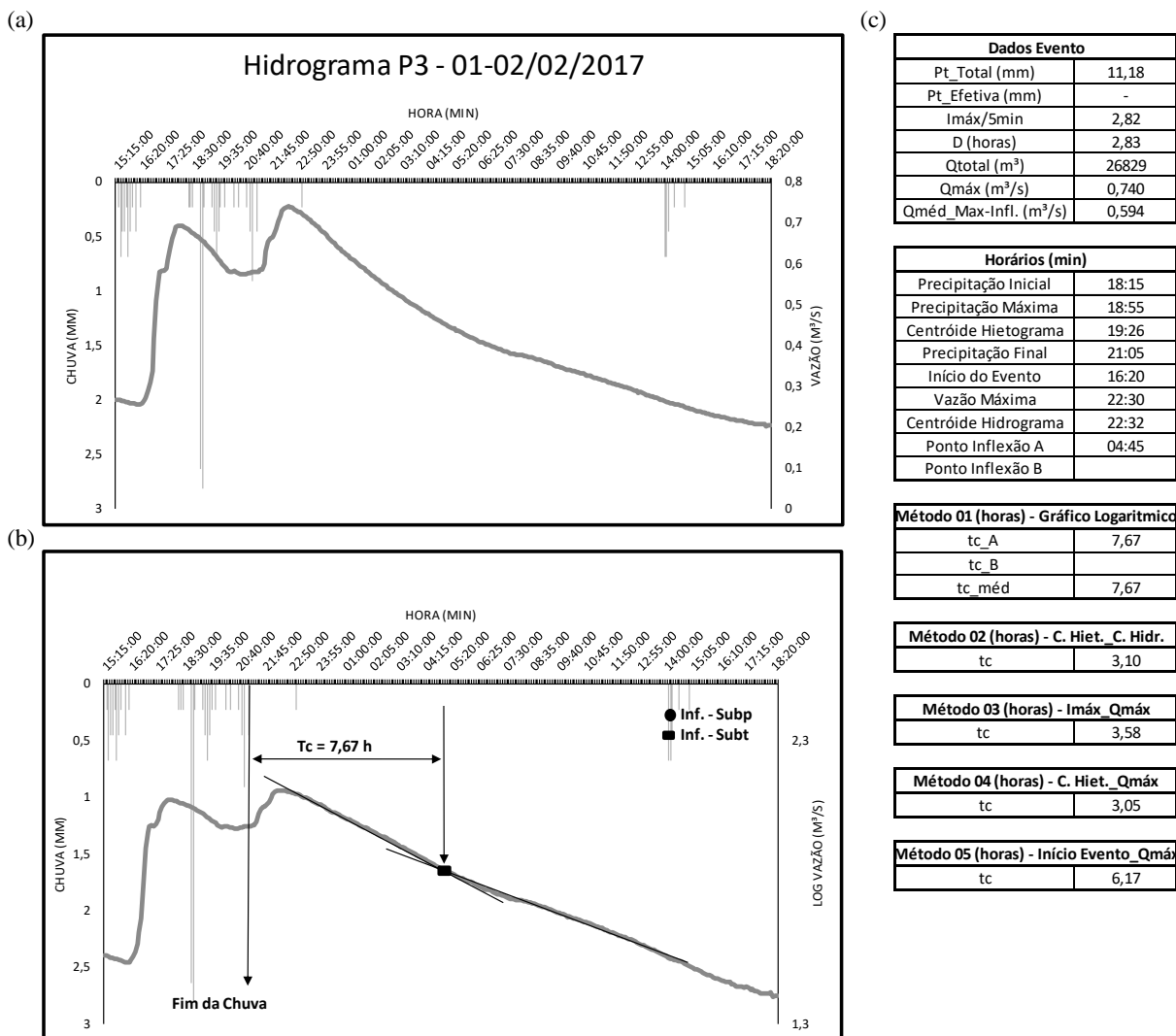
Fonte: Autor (2017).

Figura 69 - Análise do Evento Hidrológico nº 04. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



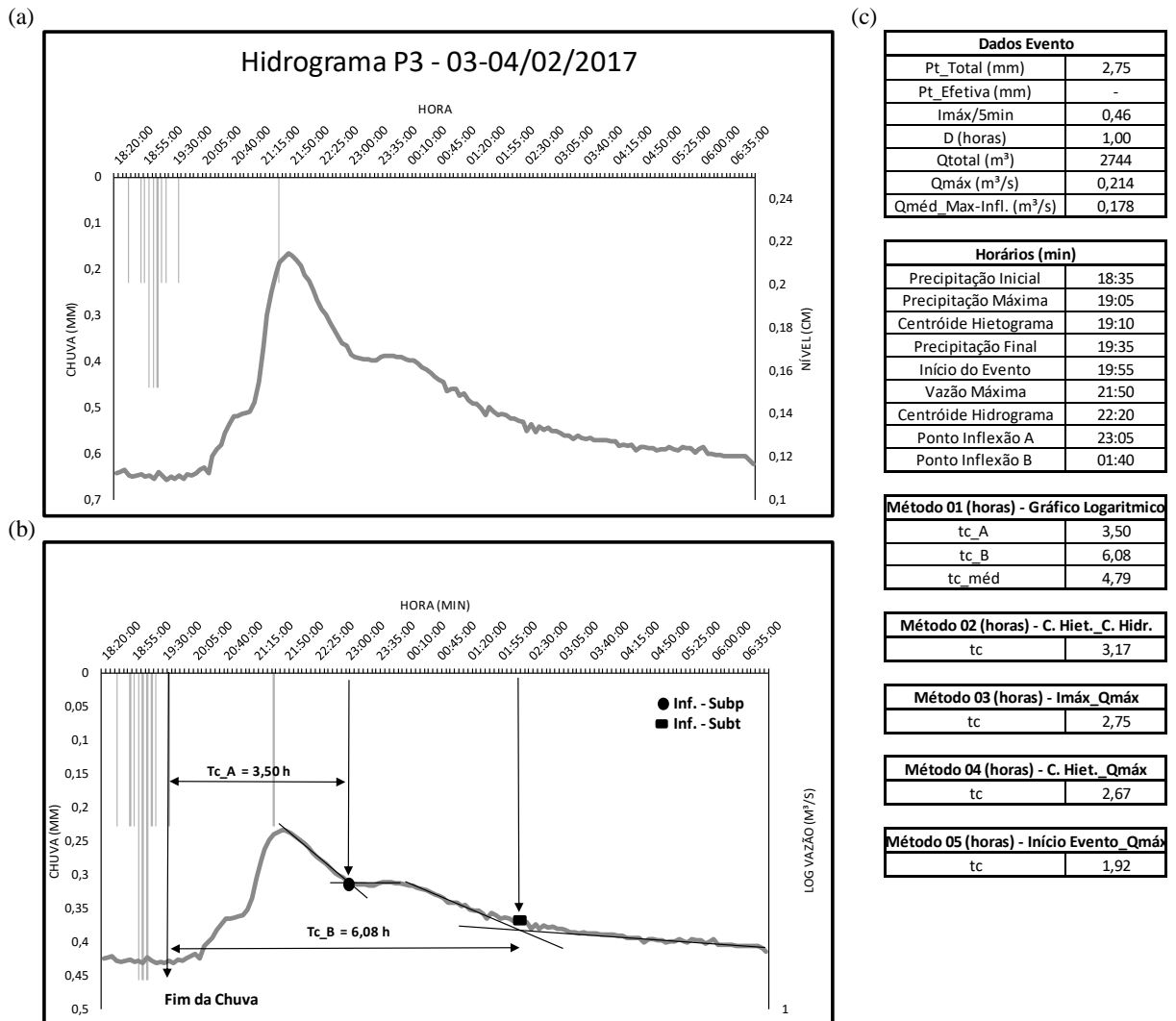
Fonte: Autor (2017).

Figura 70 - Análise do Evento Hidrológico nº 05. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

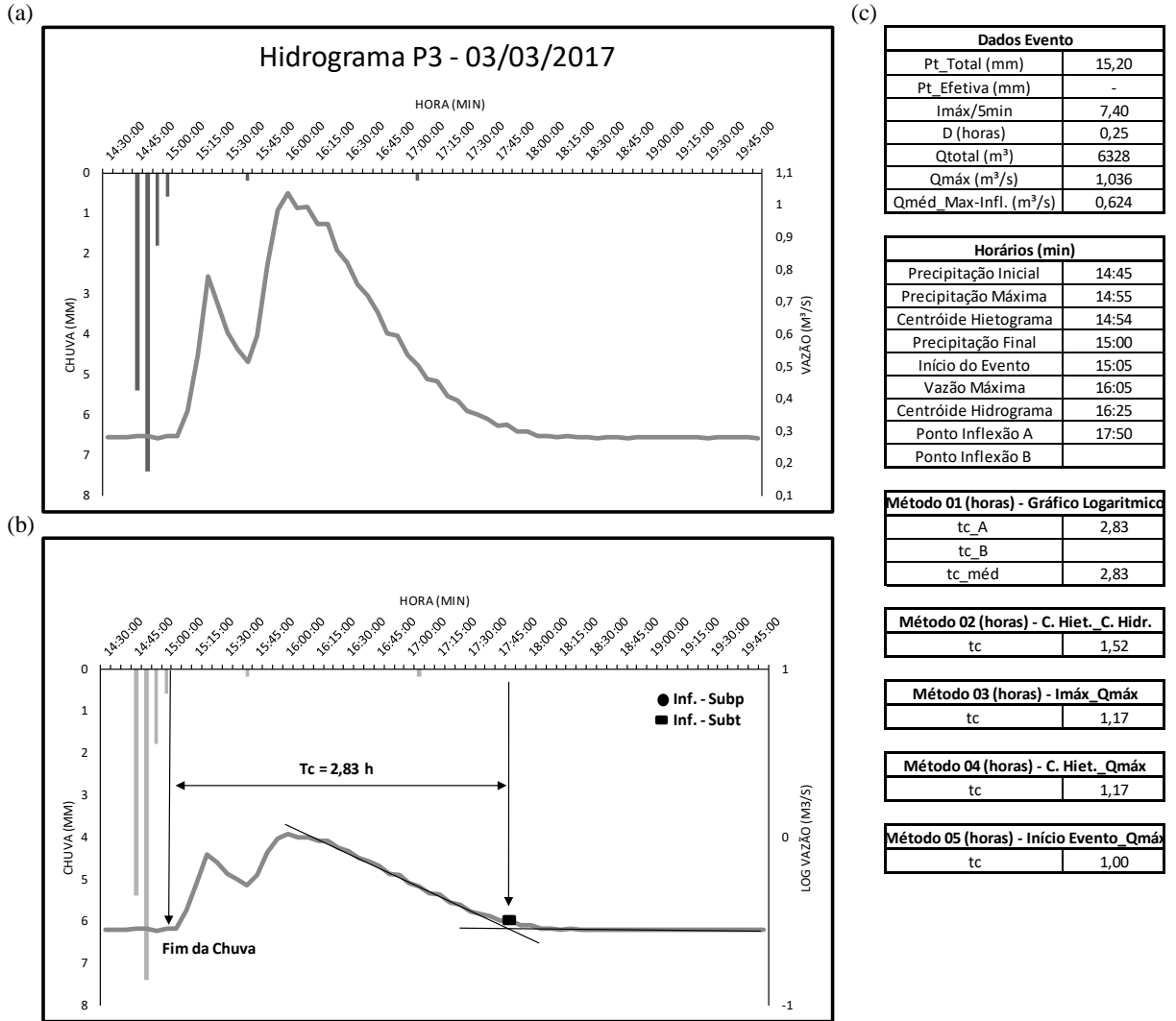
Figura 71 - Análise do Evento Hidrológico nº 06. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

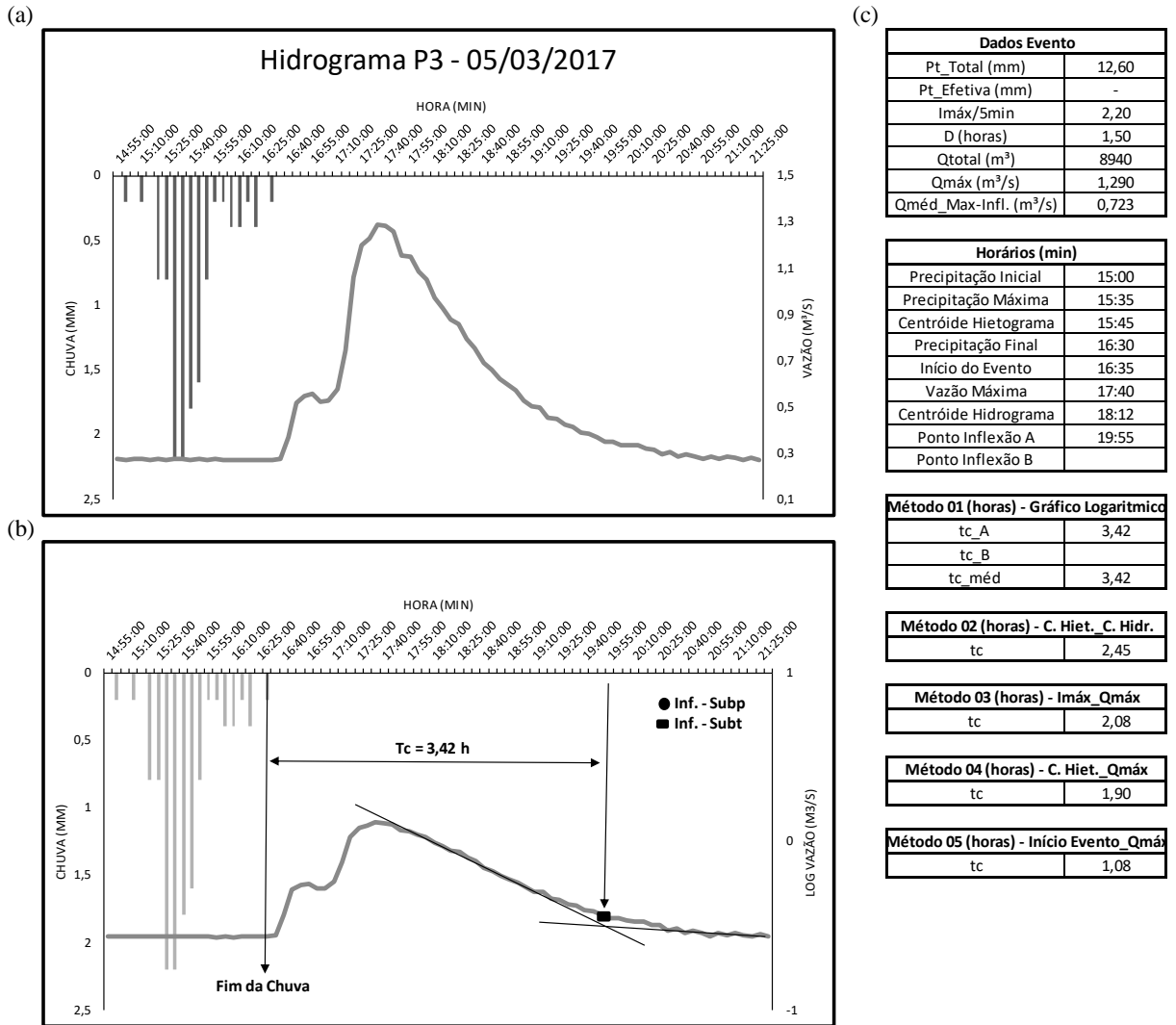
- Depois:

Figura 72 - Análise do Evento Hidrológico nº 01. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



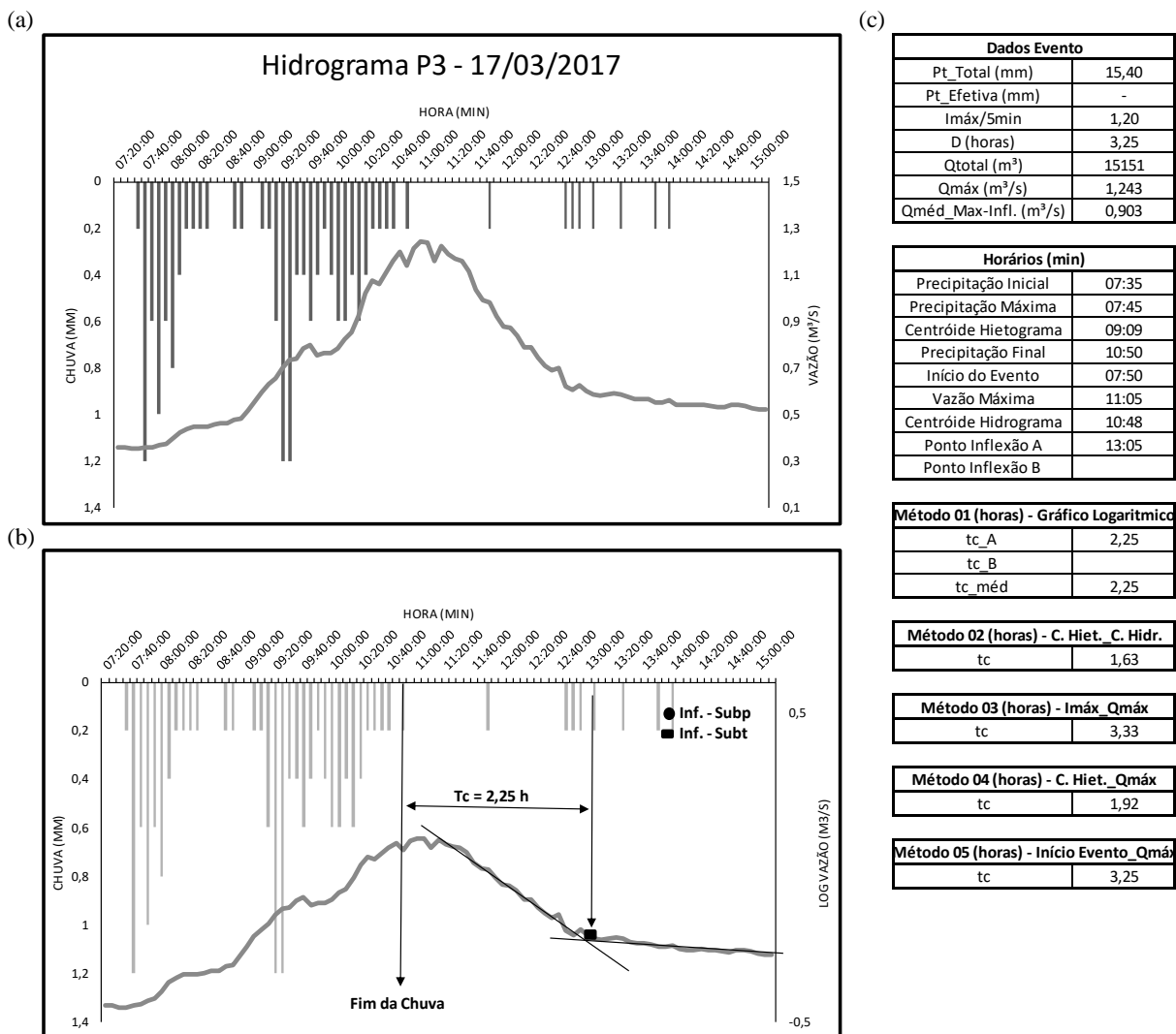
Fonte: Autor (2017).

Figura 73 - Análise do Evento Hidrológico nº 02. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

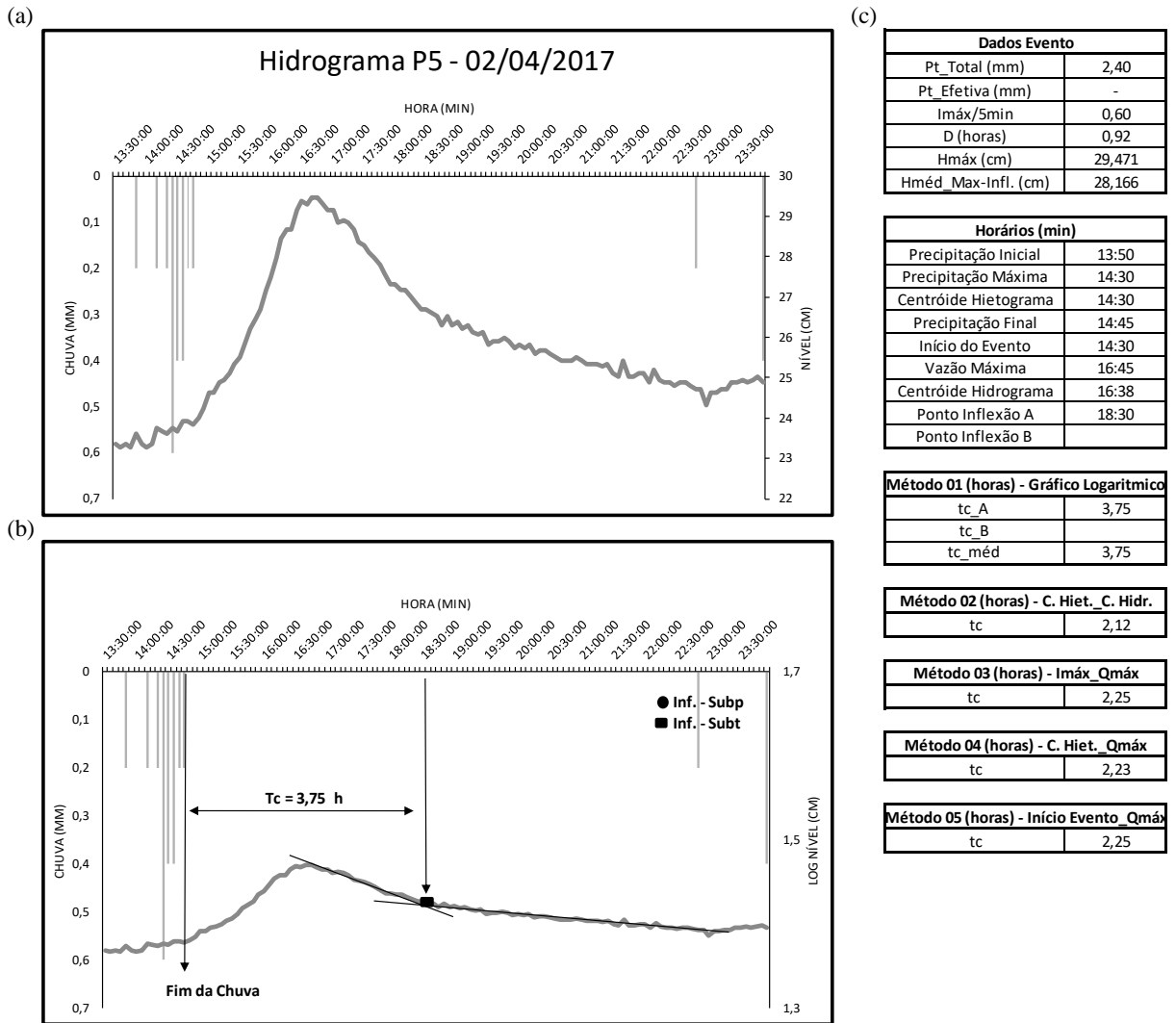
Figura 74 - Análise do Evento Hidrológico nº 03. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

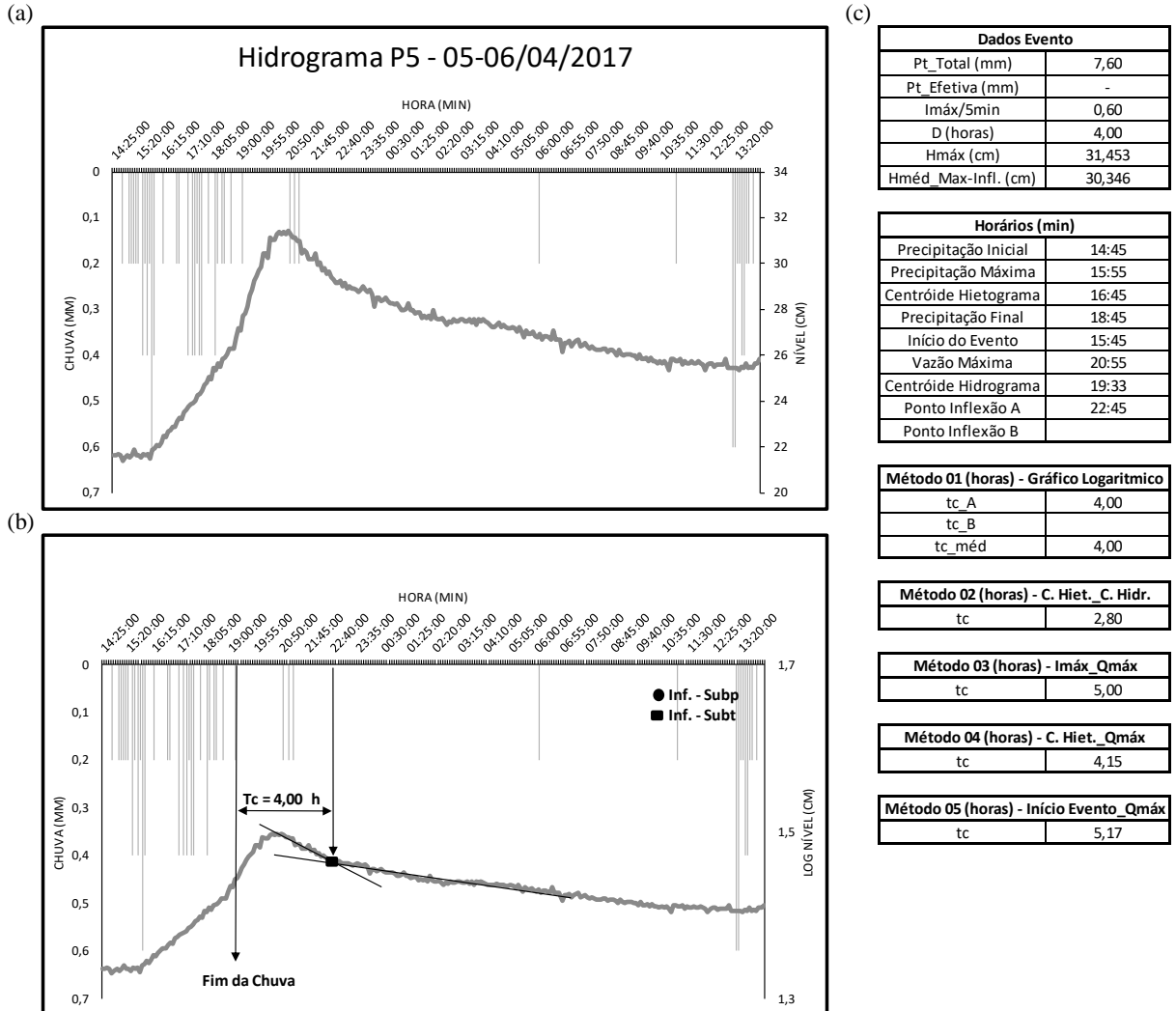
o Eventos Hidrológicos P5:

Figura 75 - Análise do Evento Hidrológico nº 01. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



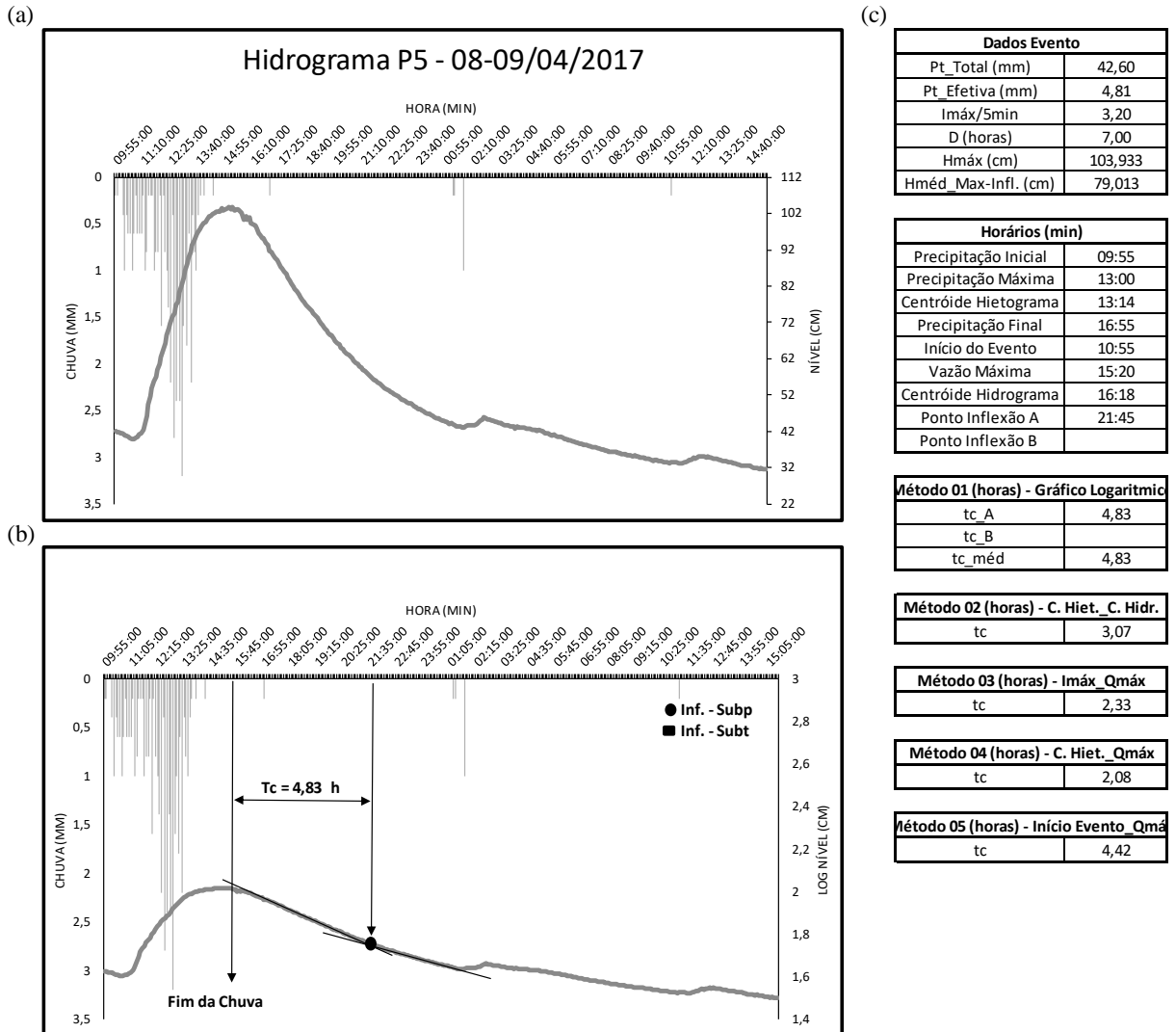
Fonte: Autor (2017).

Figura 76 - Análise do Evento Hidrológico nº 02. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

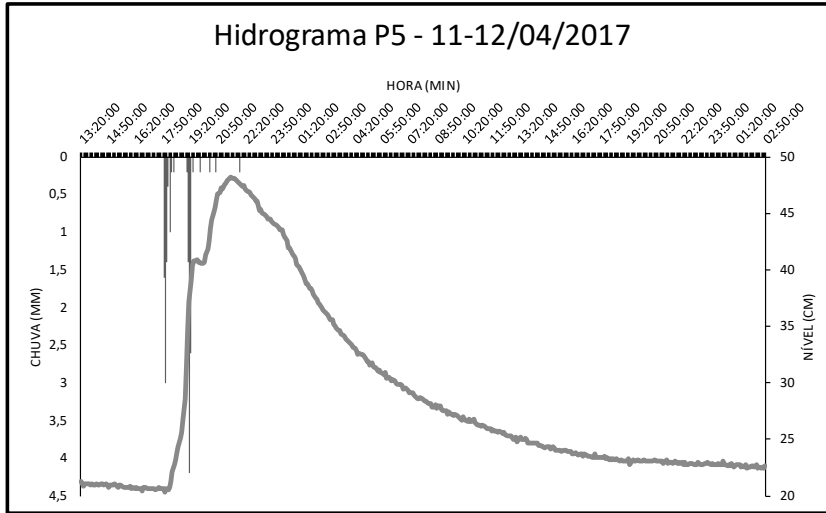
Figura 77 - Análise do Evento Hidrológico nº 03. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



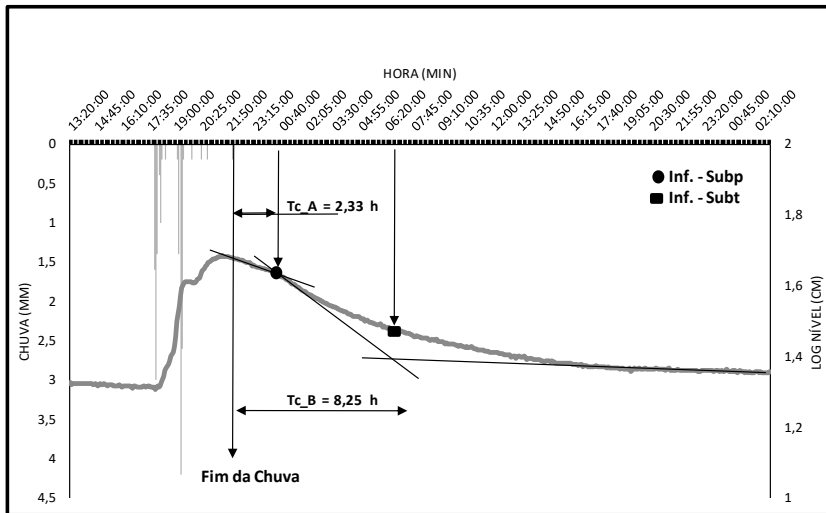
Fonte: Autor (2017).

Figura 78 - Análise do Evento Hidrológico nº 04. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.

(a)



(b)



(c)

Dados Evento	
Pt. Total (mm)	17,20
Pt. Efetiva (mm)	-
Imáx/5min	4,20
D (horas)	4,17
Hmáx (cm)	48,265
Hméd. Max-Infl. (cm)	42,329

Horários (min)	
Precipitação Inicial	17:50
Precipitação Máxima	19:20
Centróide Hietograma	18:49
Precipitação Final	22:00
Início do Evento	18:05
Vazão Máxima	21:35
Centróide Hidrograma	22:51
Ponto Inflexão A	00:20
Ponto Inflexão B	06:15

Método 01 (horas) - Gráfico Logarítmic	
tc_A	2,33
tc_B	8,25
tc_méd	5,29

Método 02 (horas) - C. Hiet. C. Hidr.	
tc	4,02

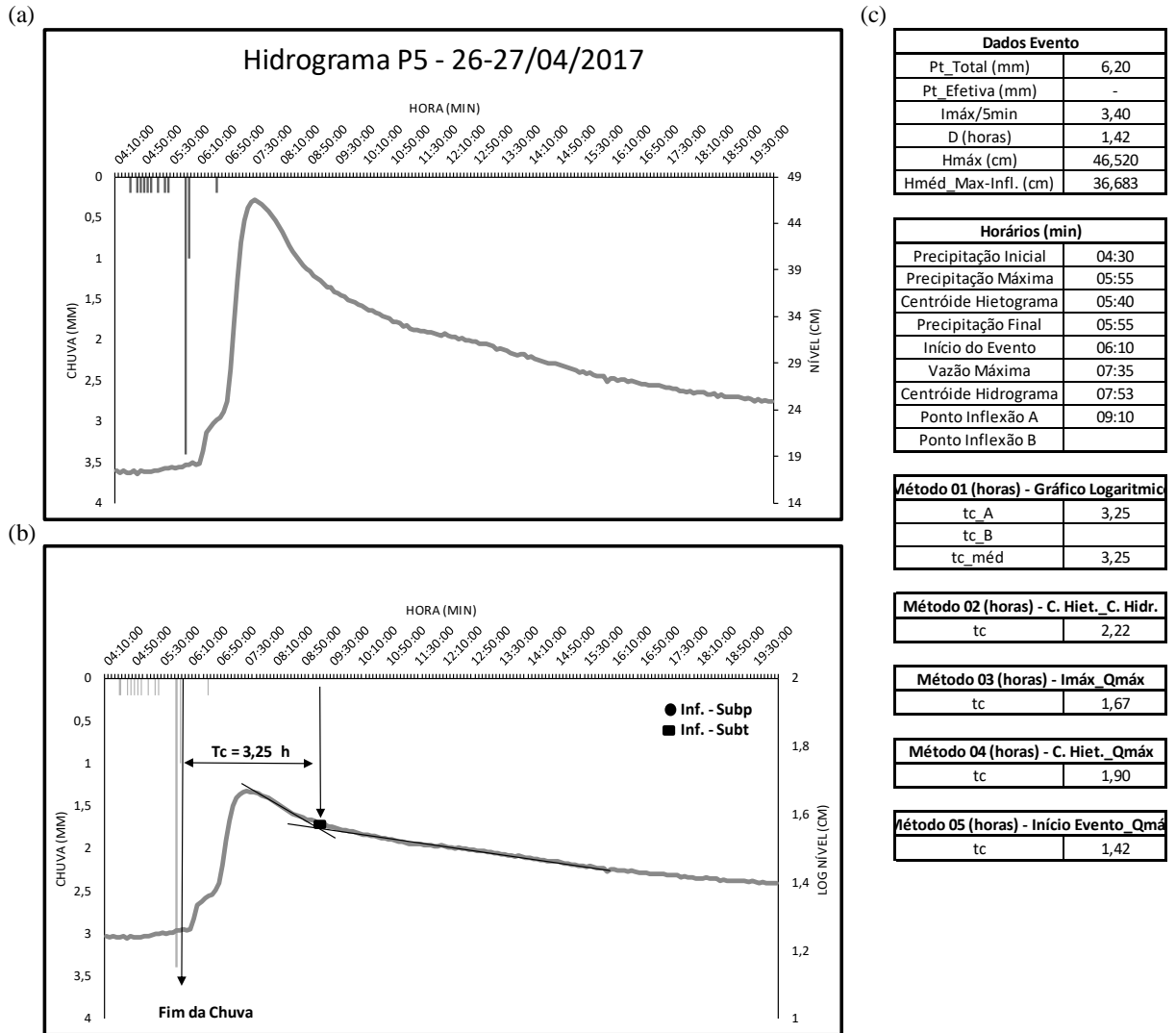
Método 03 (horas) - Imáx. Qmáx	
tc	2,25

Método 04 (horas) - C. Hiet. Qmáx	
tc	2,75

Método 05 (horas) - Início Evento. Qmáx	
tc	3,50

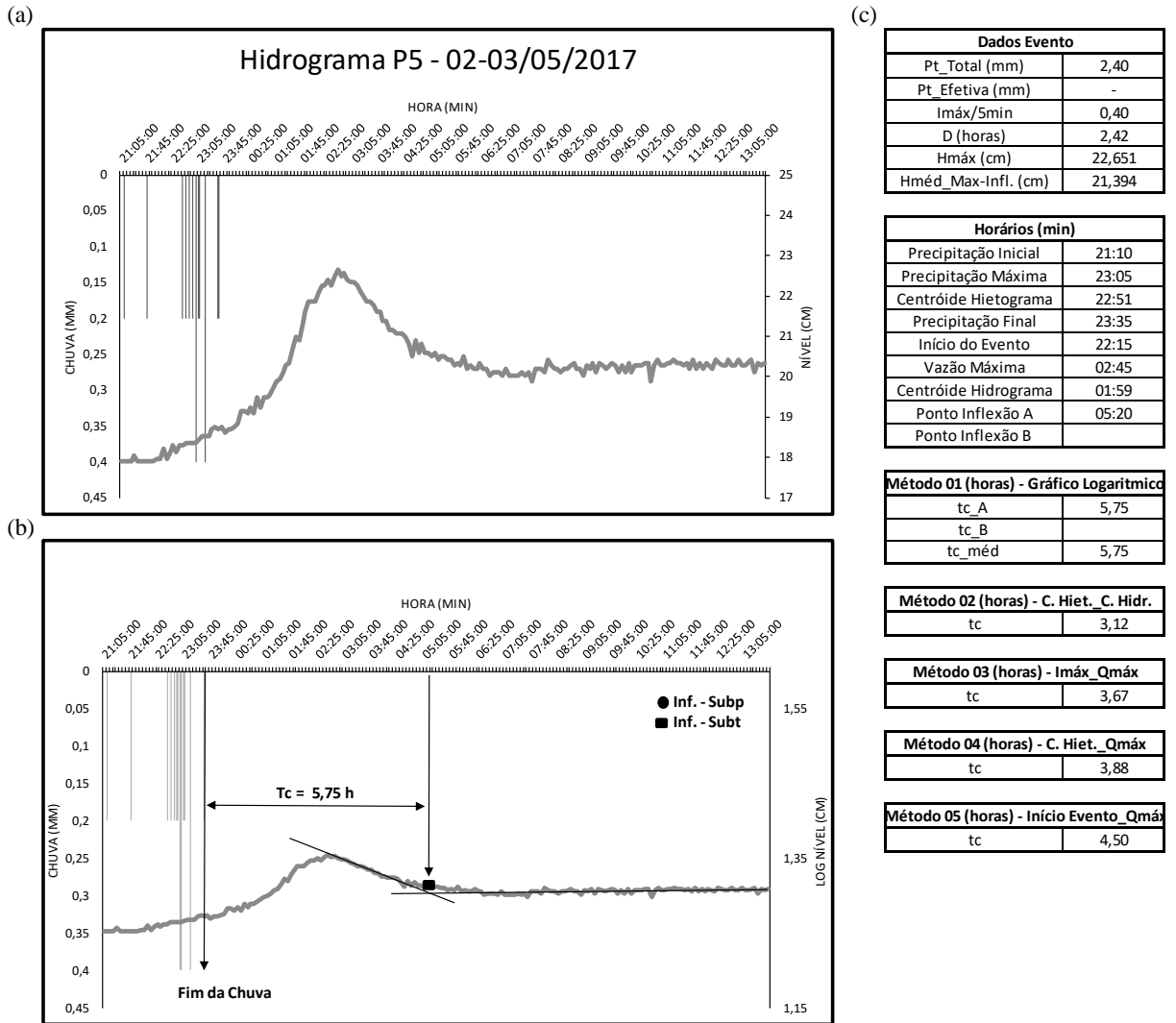
Fonte: Autor (2017).

Figura 79 - Análise do Evento Hidrológico n° 05. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



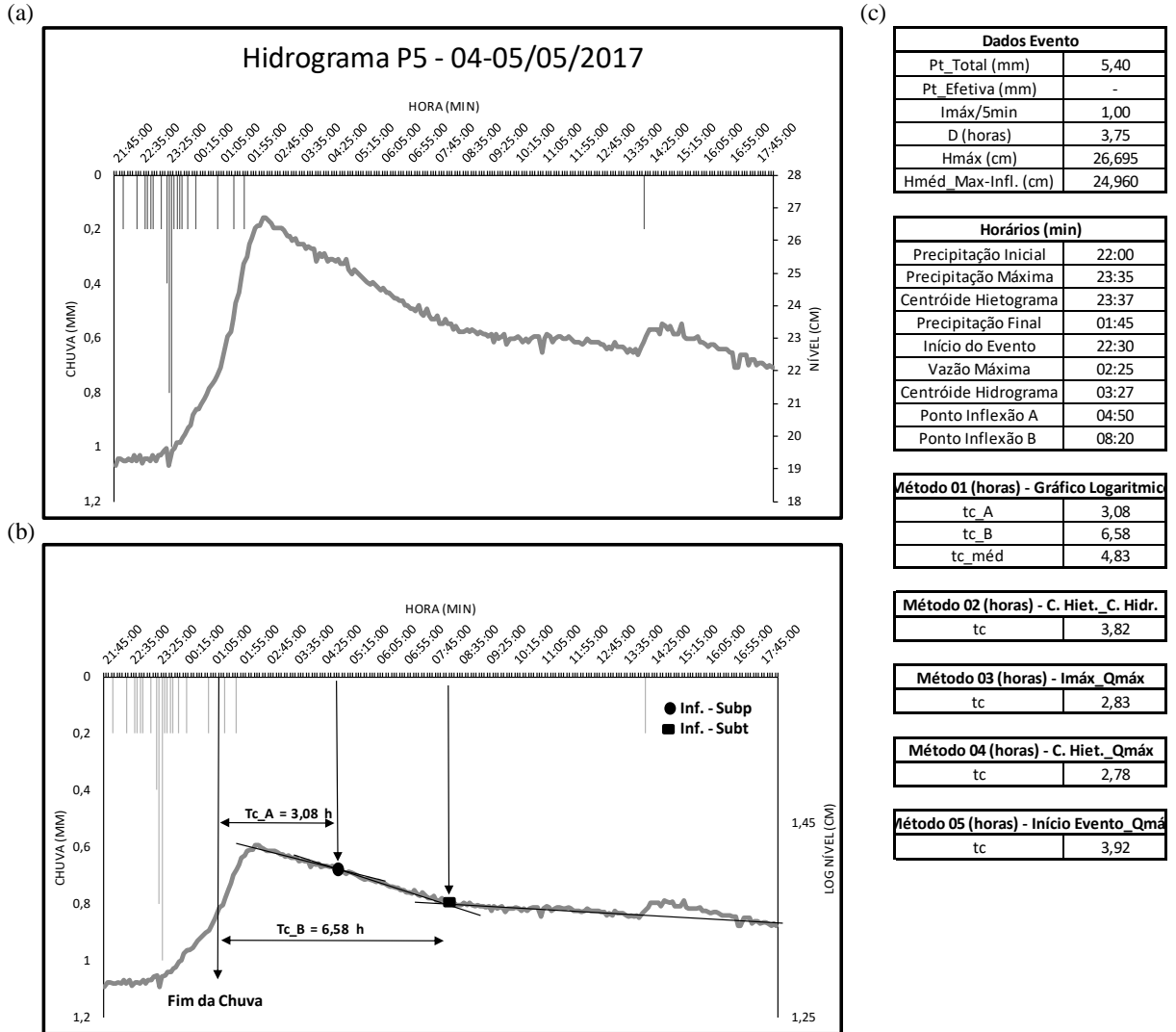
Fonte: Autor (2017).

Figura 80 - Análise do Evento Hidrológico nº 06. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



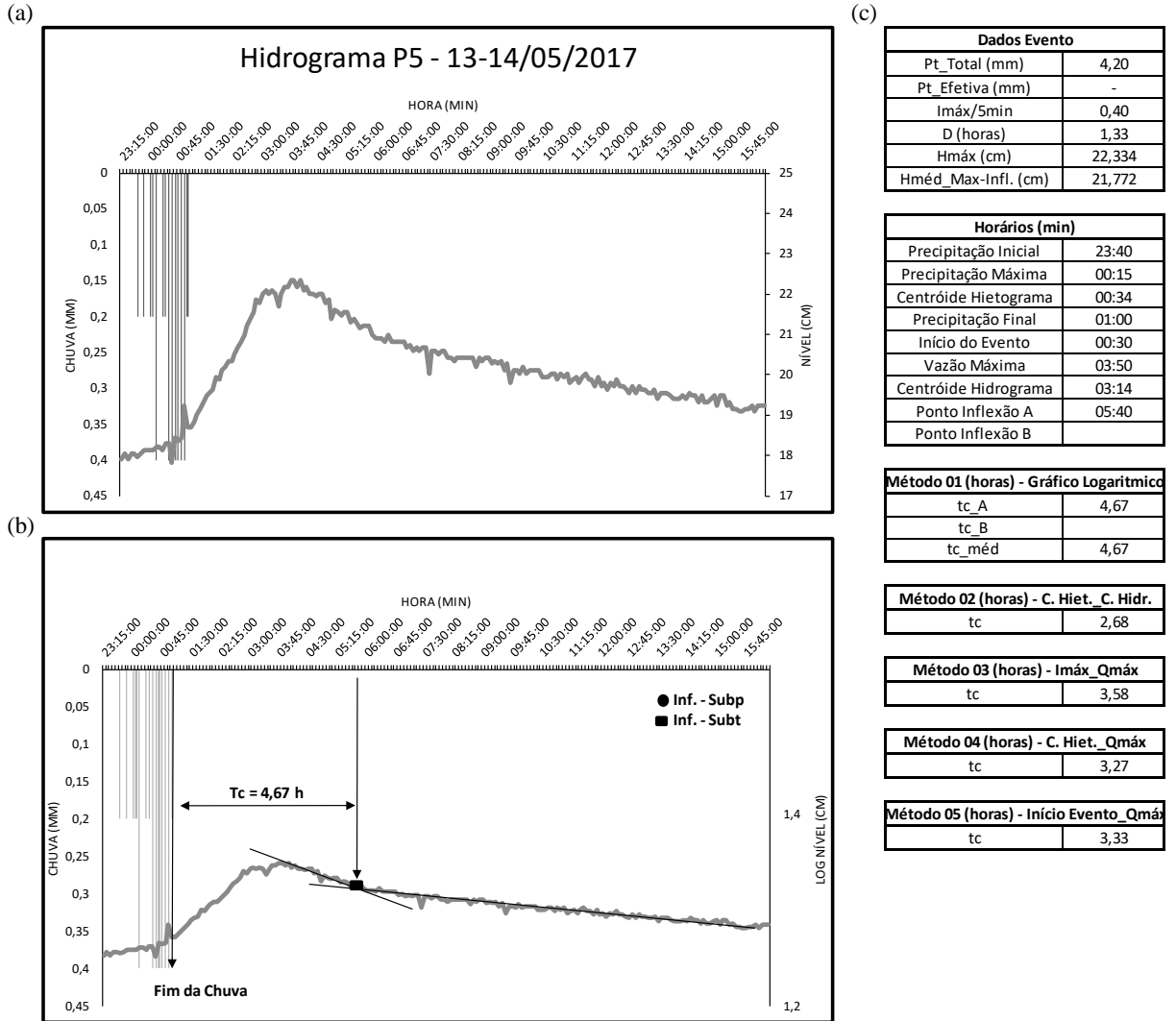
Fonte: Autor (2017).

Figura 81 - Análise do Evento Hidrológico nº 07. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



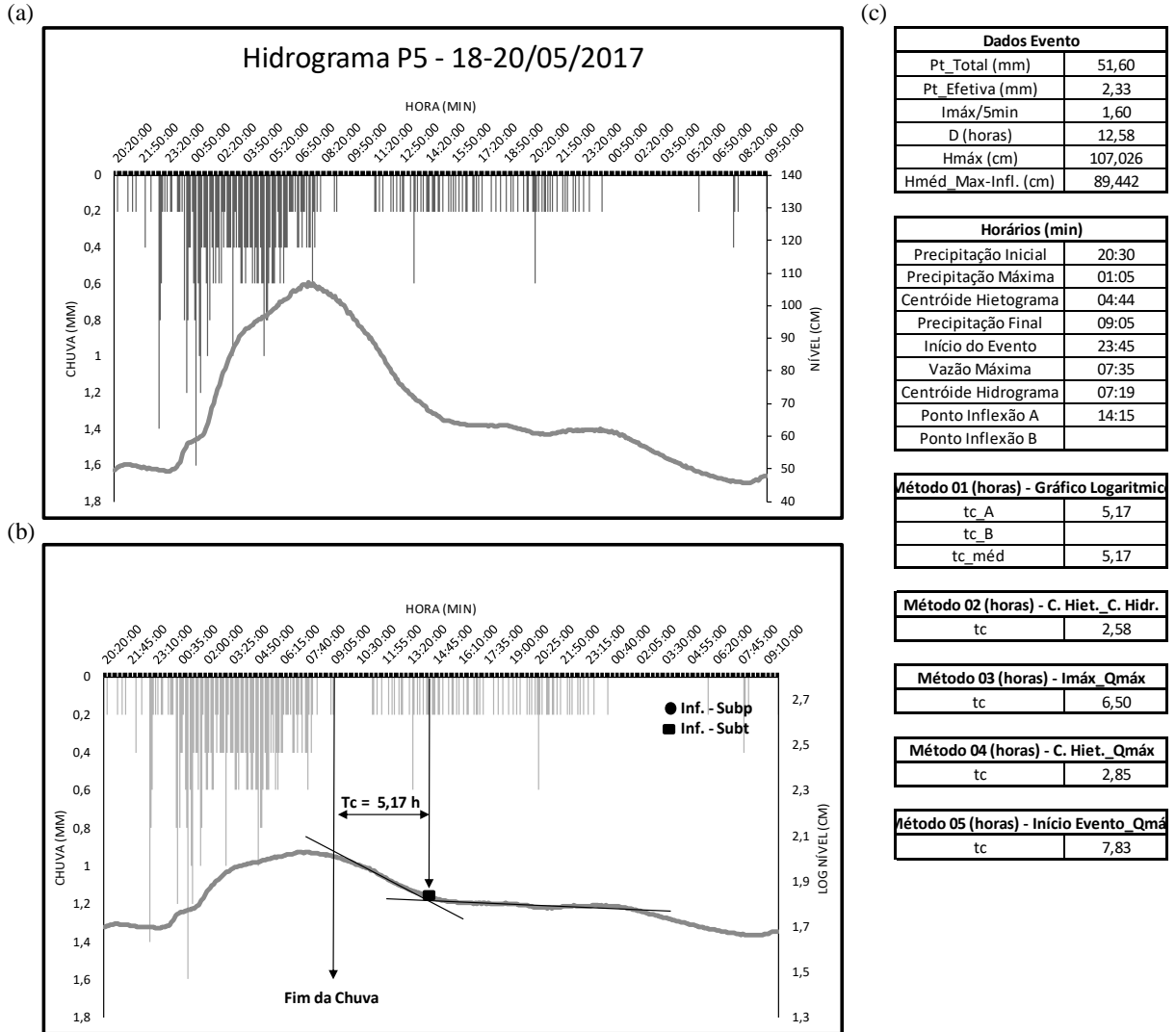
Fonte: Autor (2017).

Figura 82 - Análise do Evento Hidrológico nº 08. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

Figura 83 - Análise do Evento Hidrológico nº 09. (a) hidrograma em escala linear, (b) hidrograma em escala logarítmica e localização dos pontos de inflexão e (c) Quadro de dados do evento e cálculo dos tempos de concentração.



Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE B

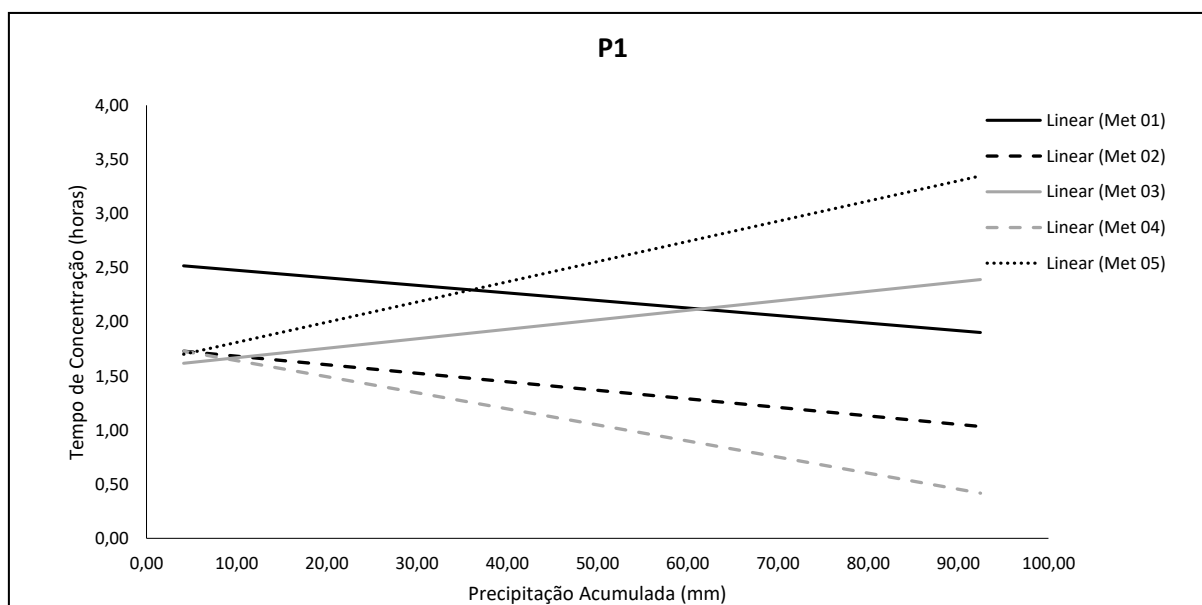
- **Correlação gráfica dos parâmetros dos eventos hidrológicos com os tempos de concentração estimados pelas análises de hidrogramas**

Neste apêndice é apresentado os gráficos elaborados a partir do software Excel, da plataforma Microsoft Office, os parâmetros estimados para cada evento hidrológico: Pt , $Imáx$, D , Pt/D , $Qmed Máx-Infl.$, $Qmáx$ e $Qtotal$, são correlacionadas com os cinco métodos de estimativas de tempo de concentração por análises de hidrogramas.

Para melhor visualização da correlação entre os pares de dados (crescente ou decrescente), apenas foi plotado as linhas de tendência para cada par de dados (parâmetro – método de estimativa de Tc), os pontos dos dados que constituem as informações foram ocultados para melhorar a visualização.

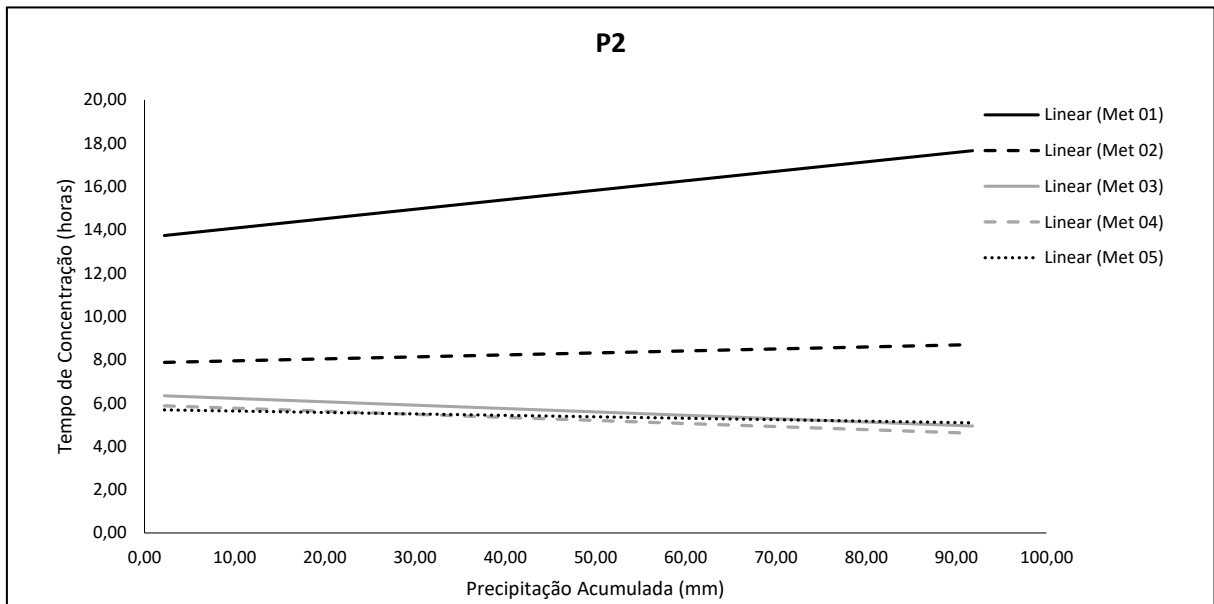
- Tempo de Concentração (Tc) X Precipitação Acumulada do Evento (Pt):

Figura 84 - Relação Tc X Pt para a subbacia P1



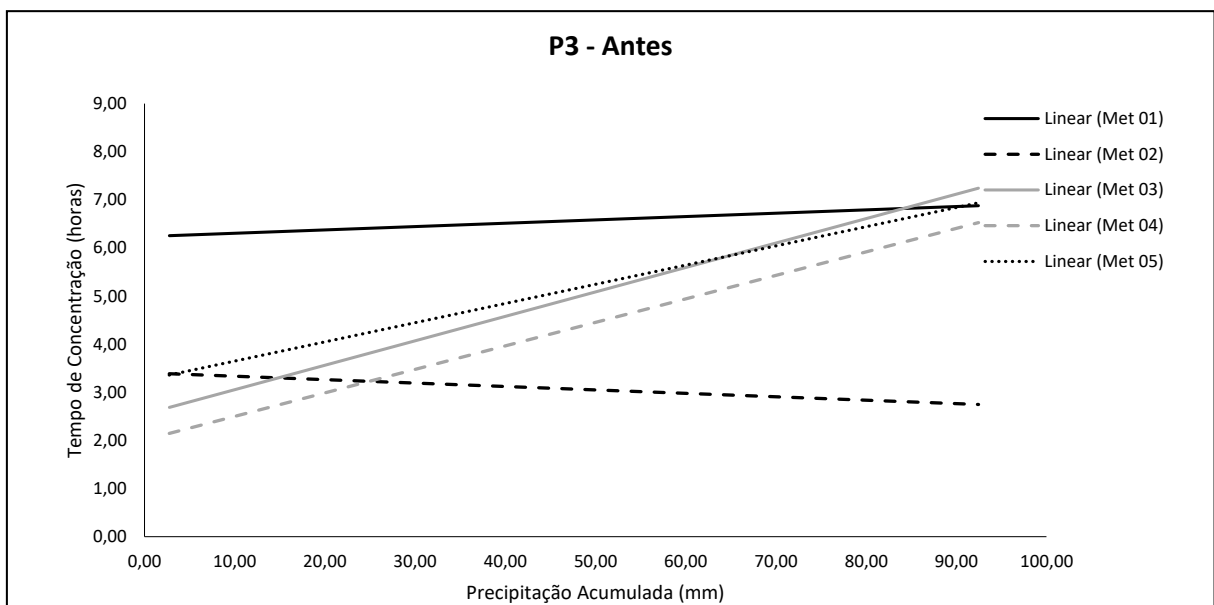
Fonte: Autor (2017).

Figura 85 - Relação Tc X Pt para a subbacia P2



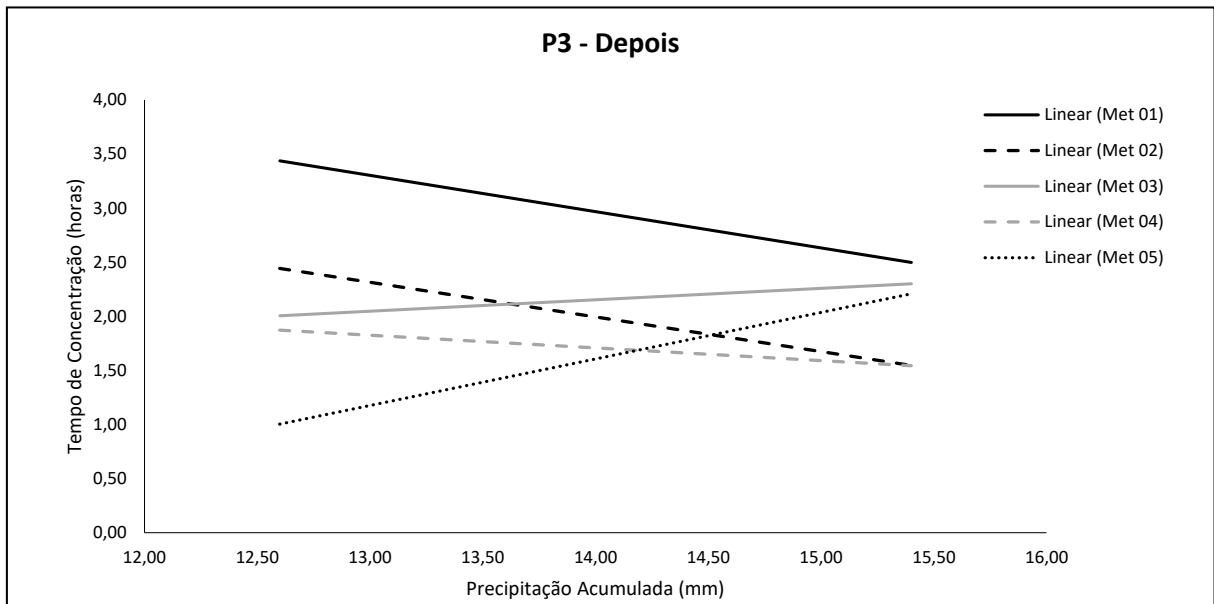
Fonte: Autor (2017).

Figura 86 - Relação Tc X Pt para a subbacia P3 - Antes



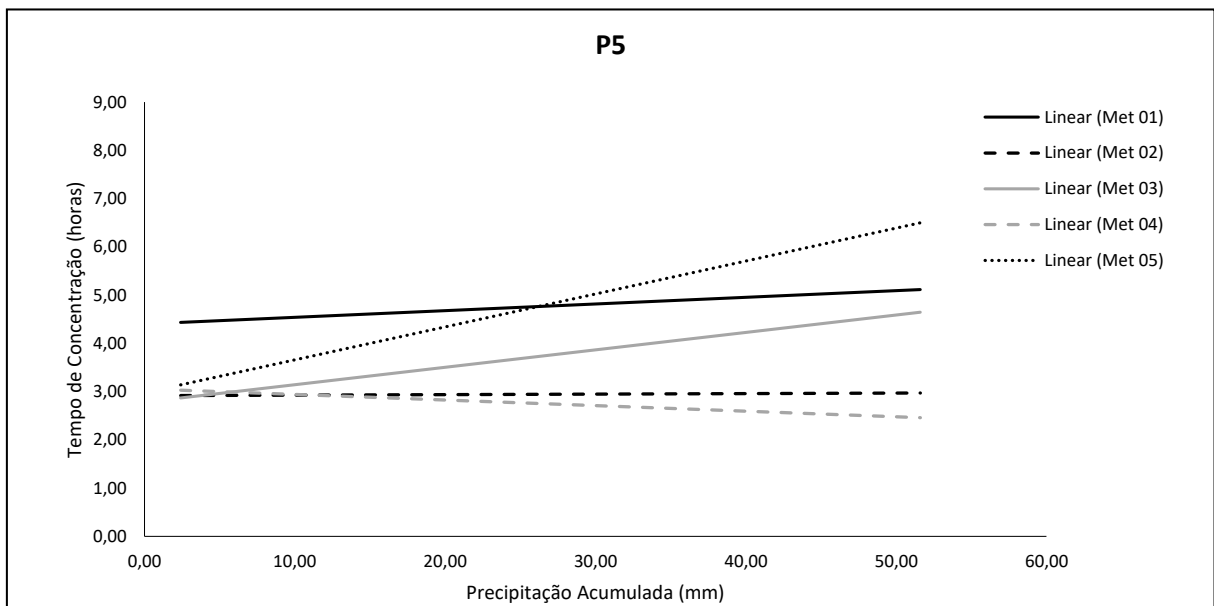
Fonte: Autor (2017).

Figura 87 - Relação Tc X Pt para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).

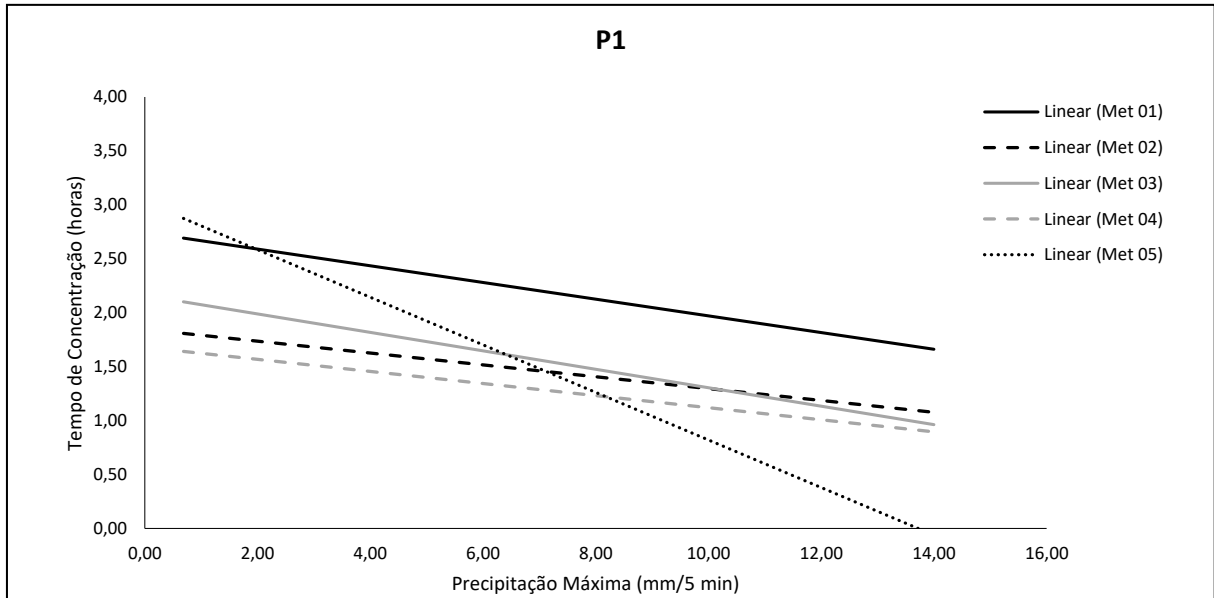
Figura 88 - Relação Tc X Pt para a subbacia P5



Fonte: Autor (2017).

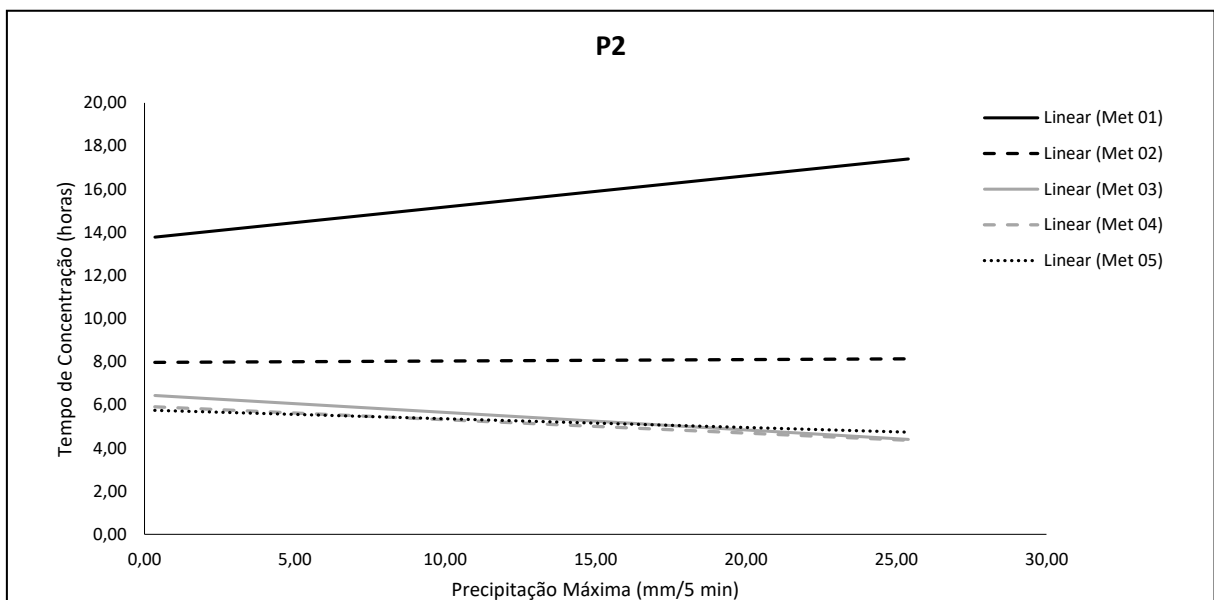
- Tempo de Concentração (Tc) X Precipitação Máxima do Evento (Imáx):

Figura 89 - Relação Tc X Imáx para a subbacia P1



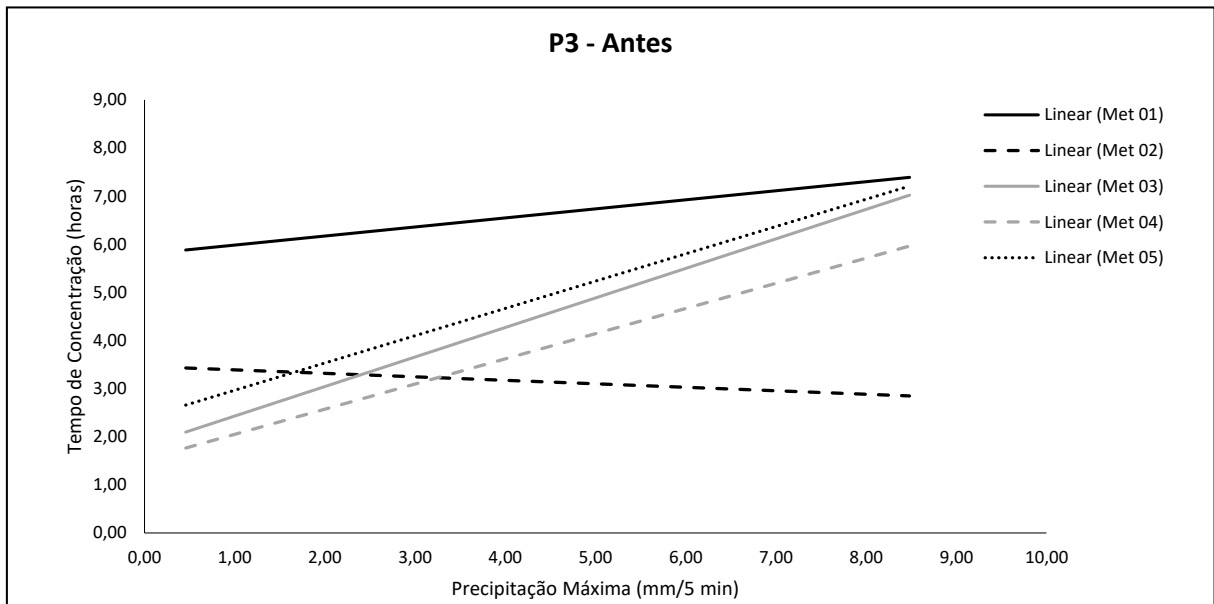
Fonte: Autor (2017).

Figura 90 - Relação Tc X Imáx para a subbacia P2



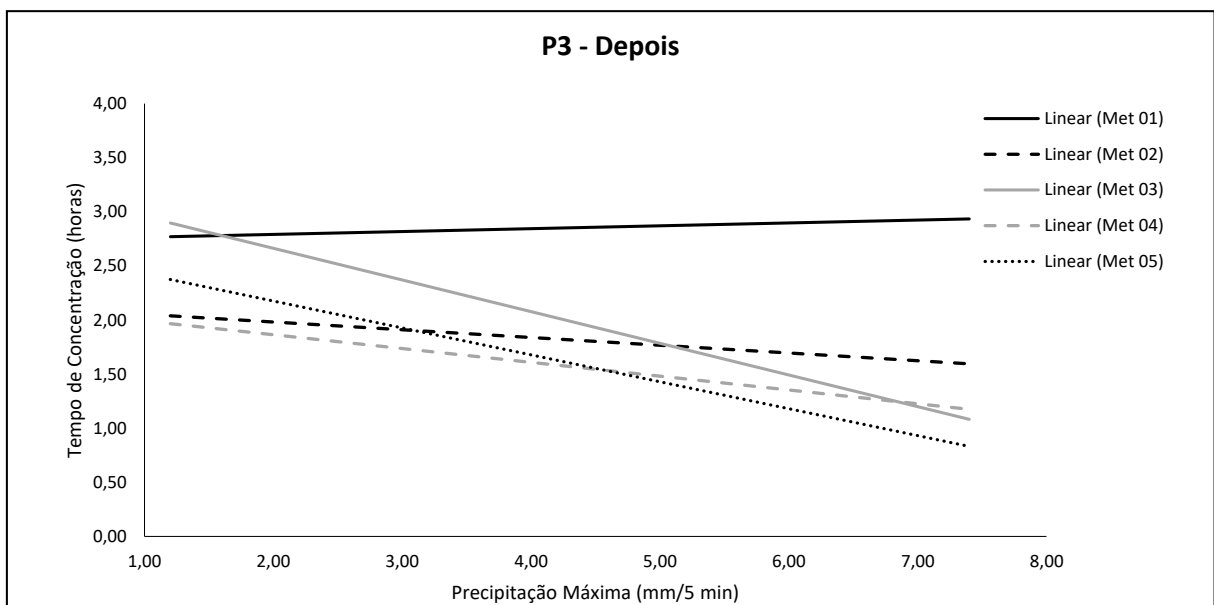
Fonte: Autor (2017).

Figura 91 - Relação Tc X Imáx para a subbacia P3 - Antes



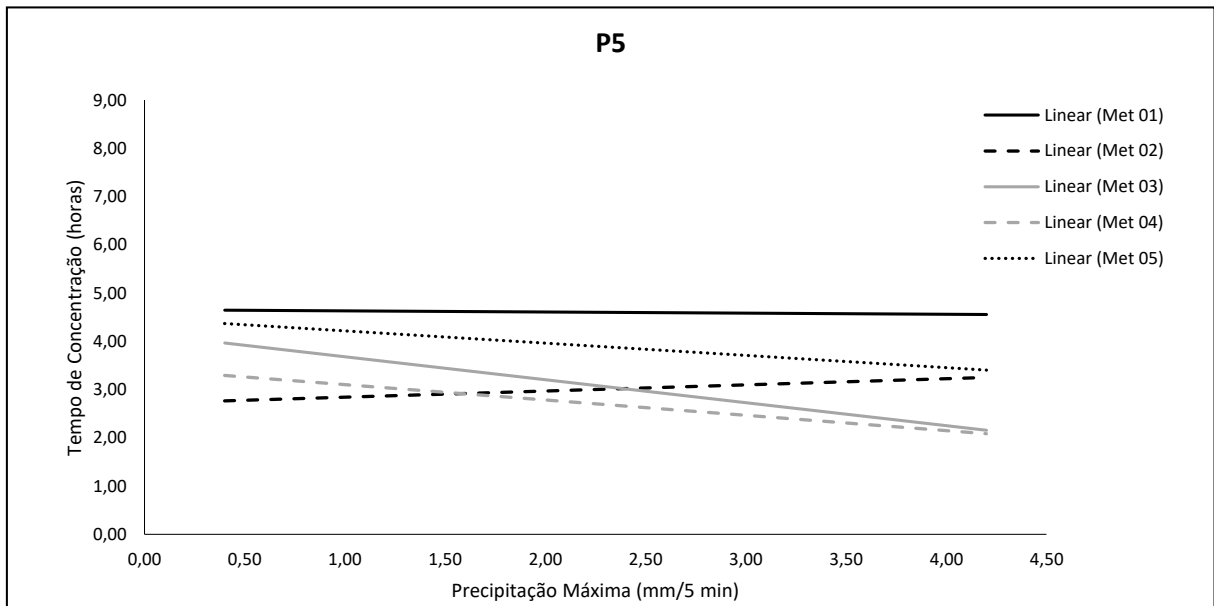
Fonte: Autor (2017).

Figura 92 - Relação Tc X Imáx para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).

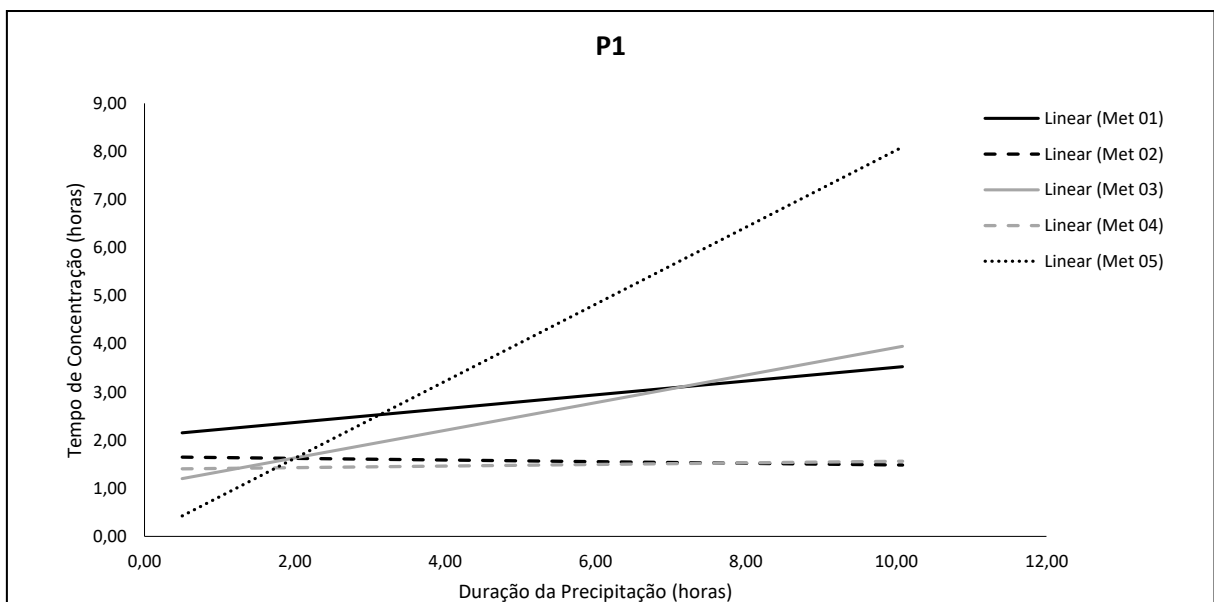
Figura 93 - Relação Tc X Imáx para a subbacia P5



Fonte: Autor (2017).

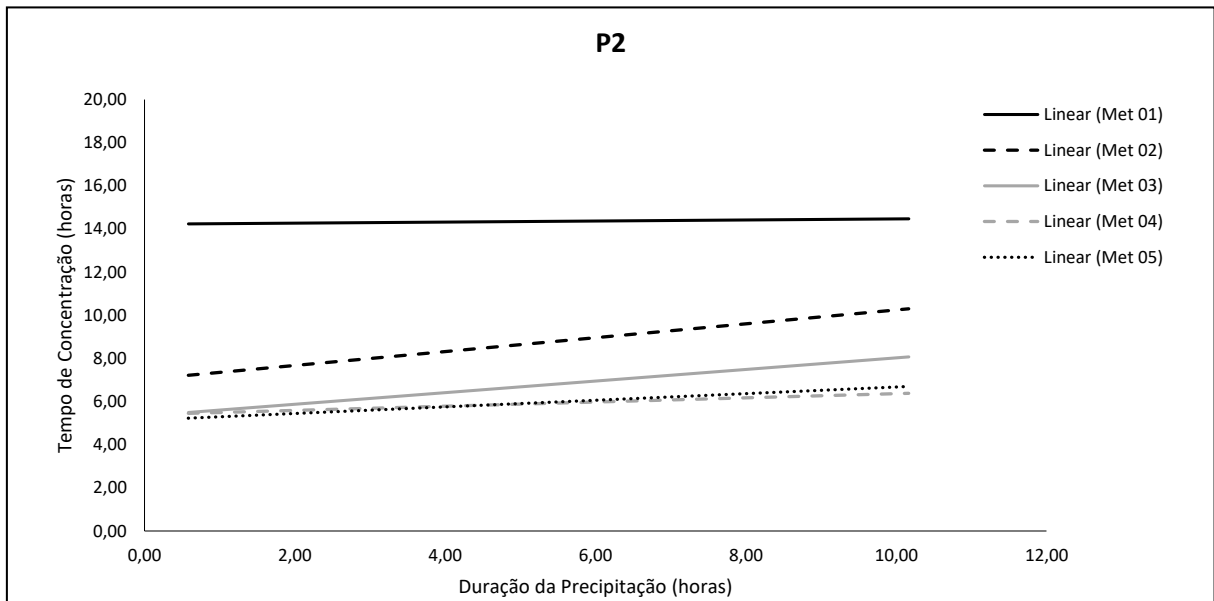
○ Tempo de Concentração (Tc) X Duração da Precipitação (D):

Figura 94 - Relação Tc X D para a subbacia P1



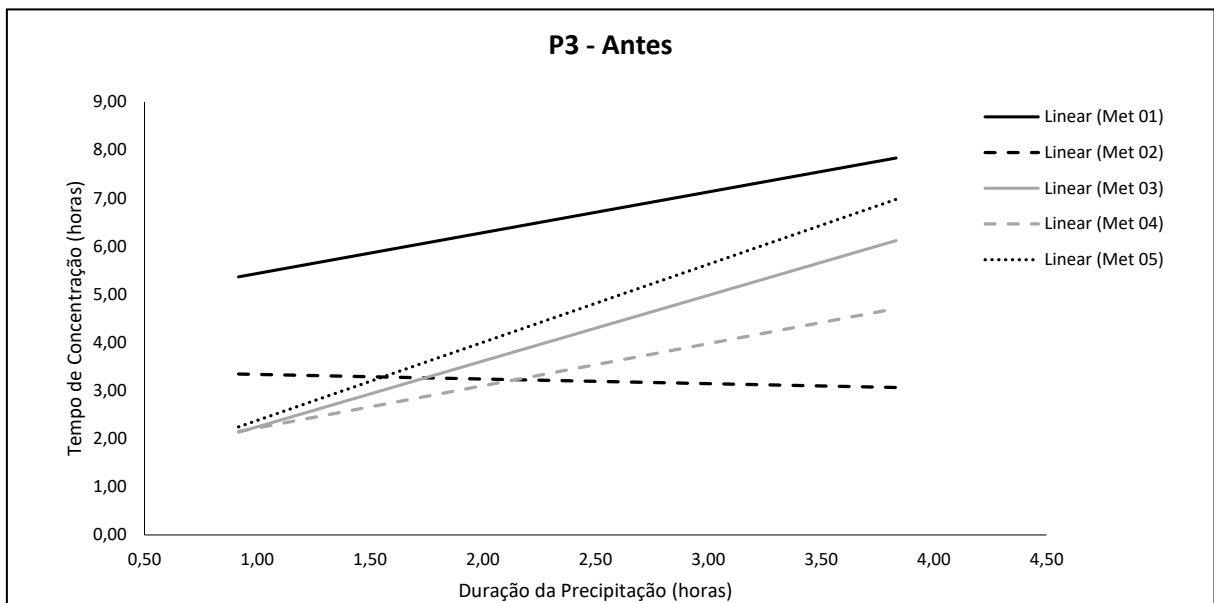
Fonte: Autor (2017).

Figura 95 - Relação Tc X D para a subbacia P2



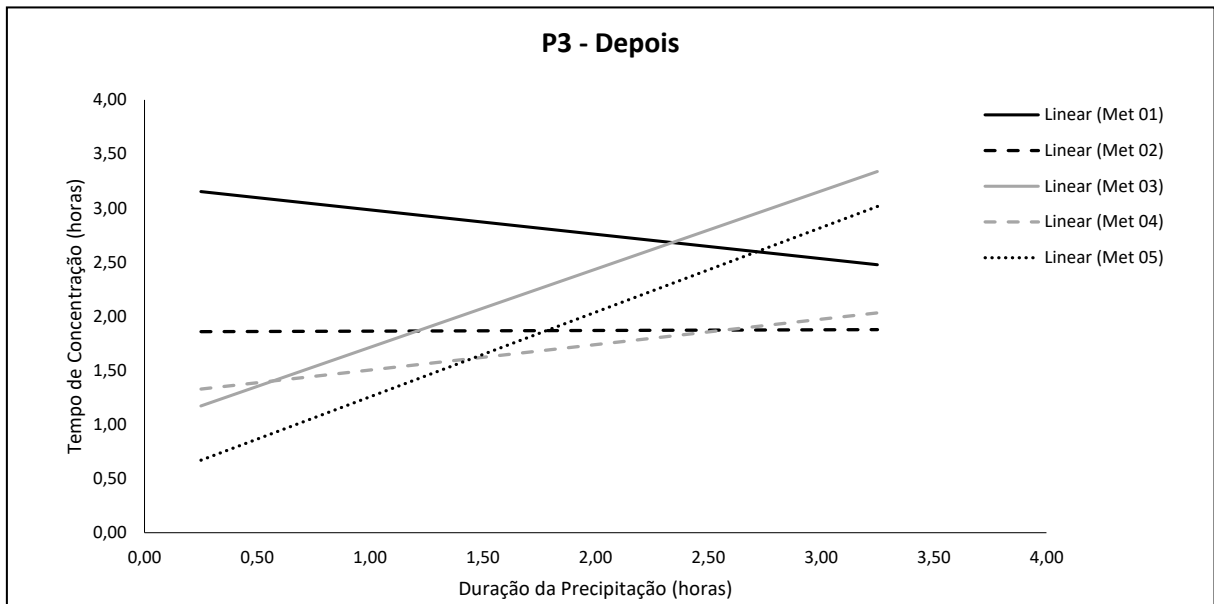
Fonte: Autor (2017).

Figura 96 - Relação Tc X D para a subbacia P3 - Antes



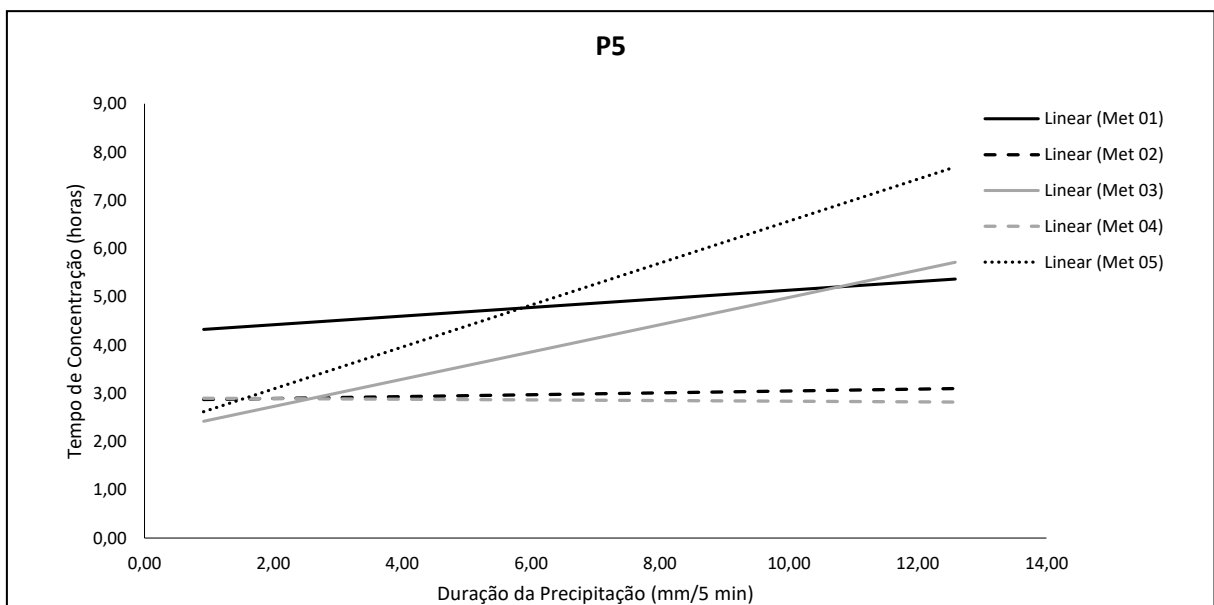
Fonte: Autor (2017).

Figura 97 - Relação Tc X D para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).

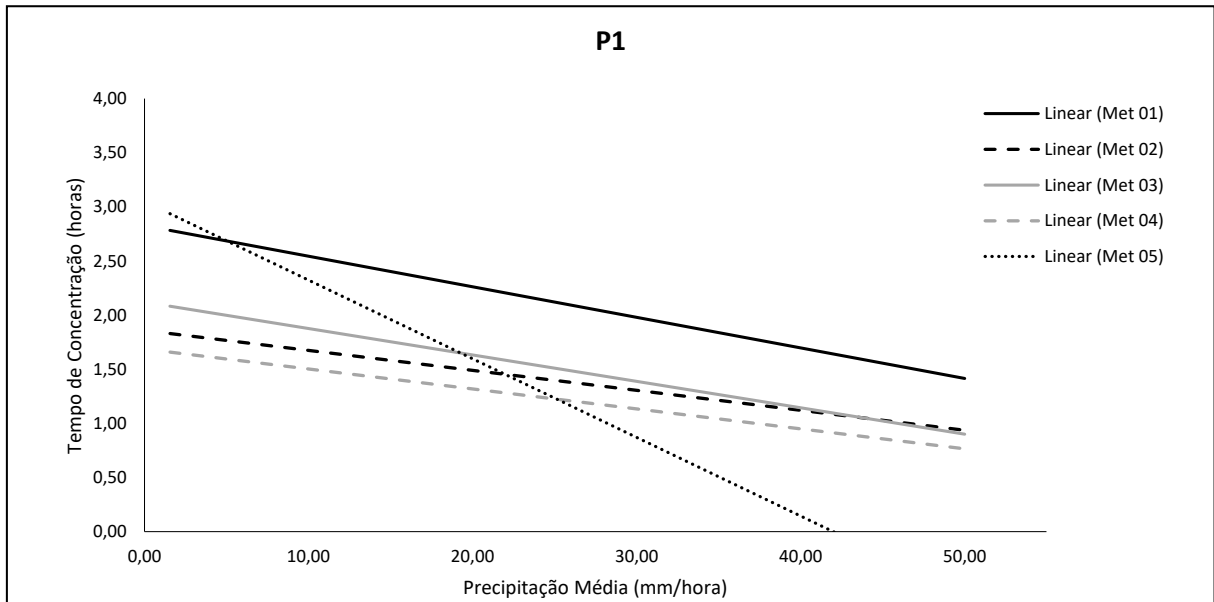
Figura 98 - Relação Tc X D para a subbacia P5



Fonte: Autor (2017).

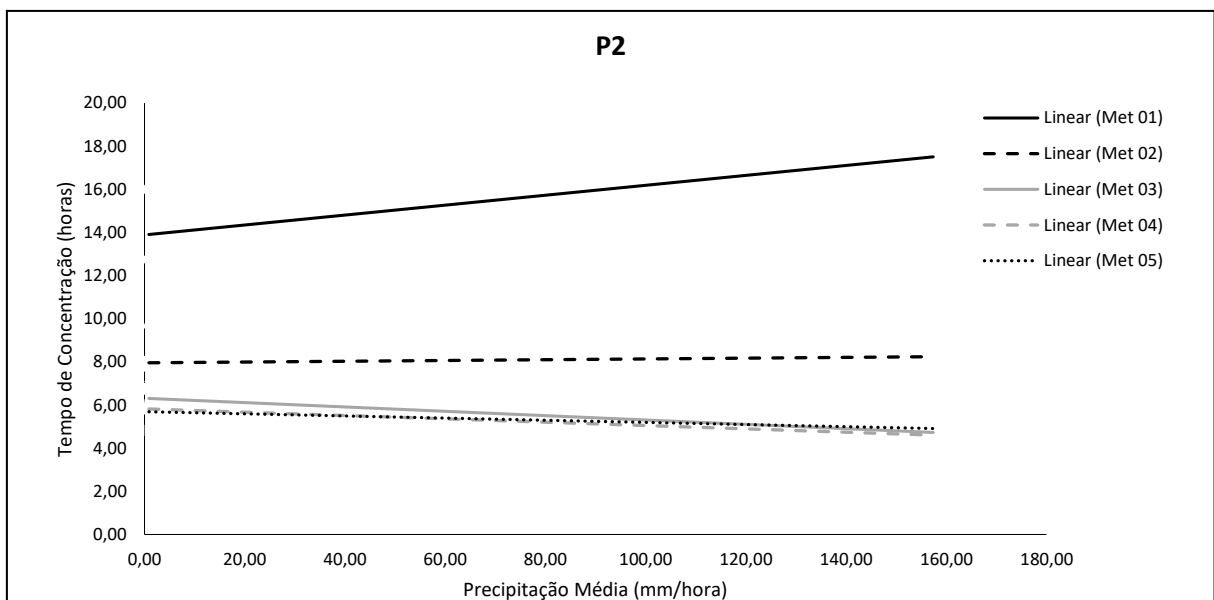
- Tempo de Concentração (Tc) X Precipitação Média (Pt/D):

Figura 99 - Relação Tc X (Pt/D) para a subbacia P1



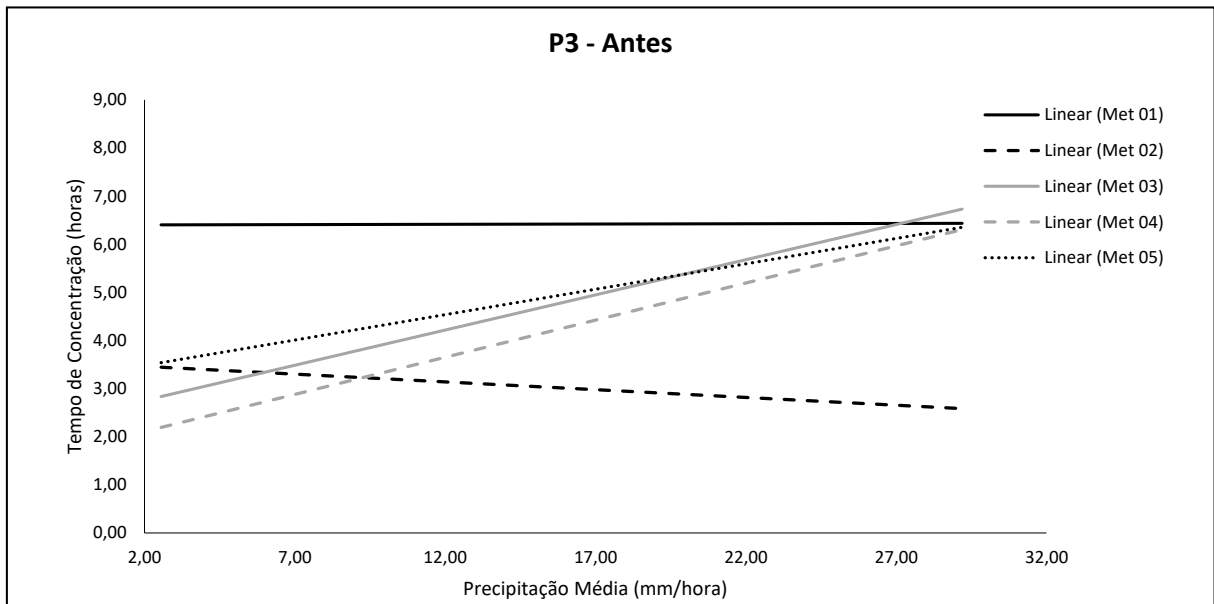
Fonte: Autor (2017).

Figura 100 - Relação Tc X (Pt/D) para a subbacia P2



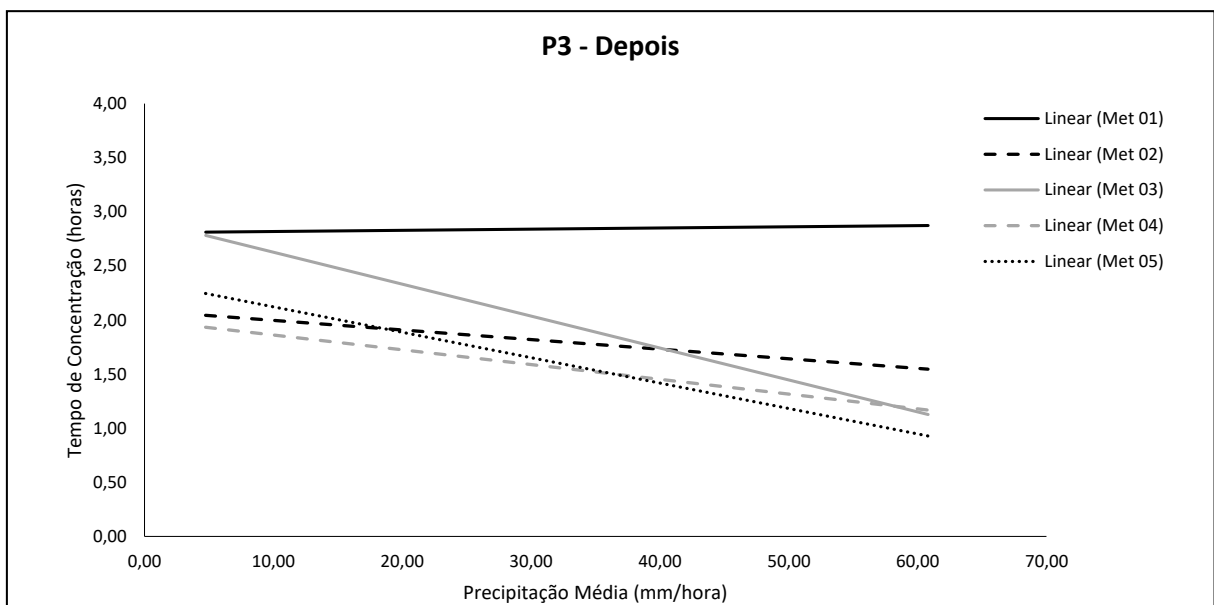
Fonte: Autor (2017).

Figura 101 - - Relação Tc X (Pt/D) para a subbacia P3 - Antes



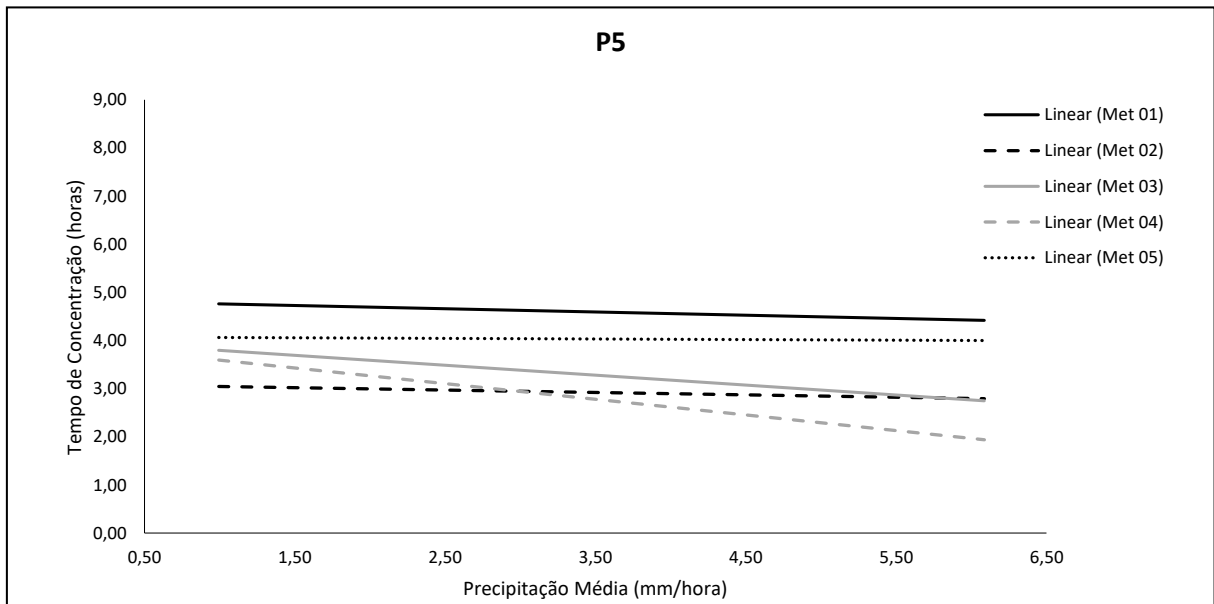
Fonte: Autor (2017).

Figura 102 - Relação Tc X (Pt/D) para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).

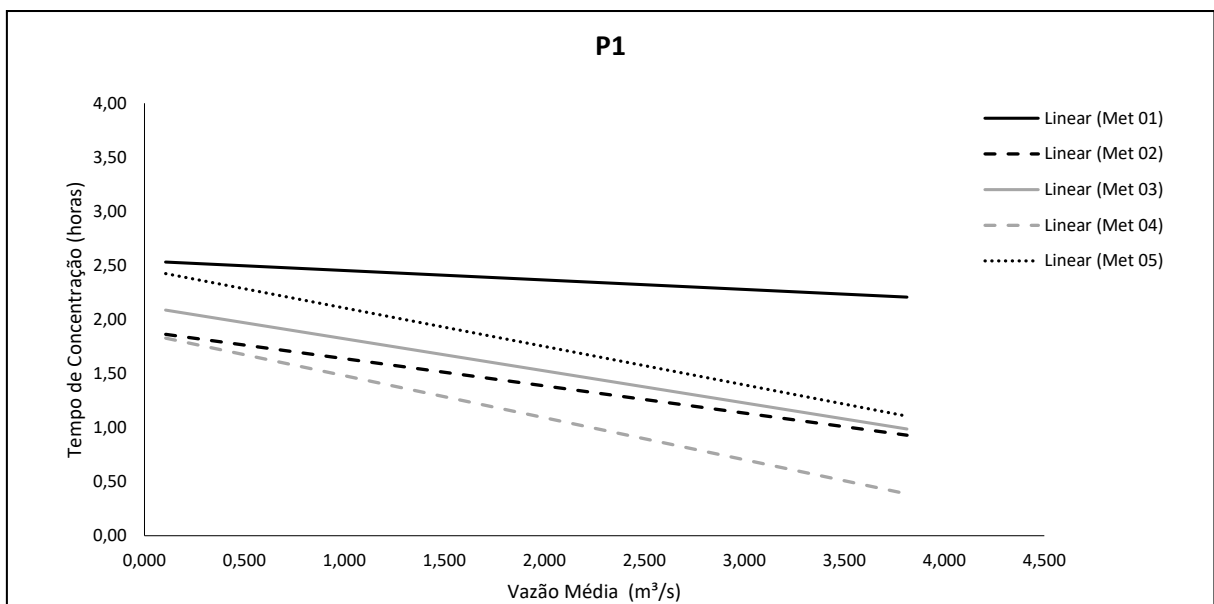
Figura 103 - Relação Tc X (Pt/D) para a subbacia P5



Fonte: Autor (2017).

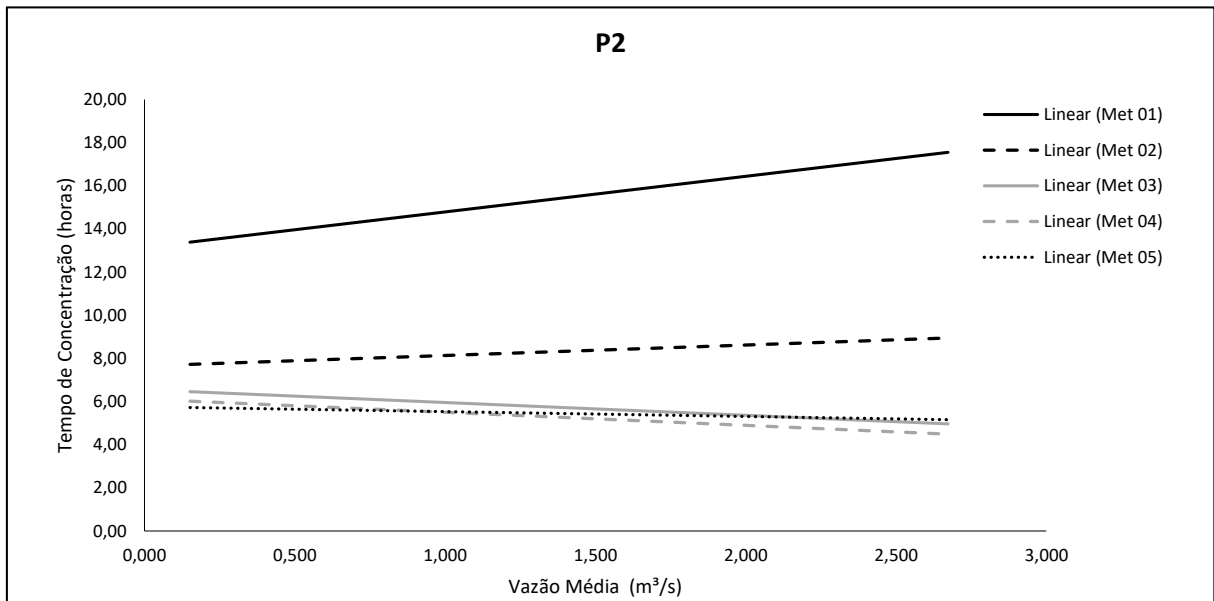
- o Tempo de Concentração (Tc) X Vazão Média (Qmed Máx-Infl.):

Figura 104 - Relação Tc X Qmed Máx-Infl. para a subbacia P1



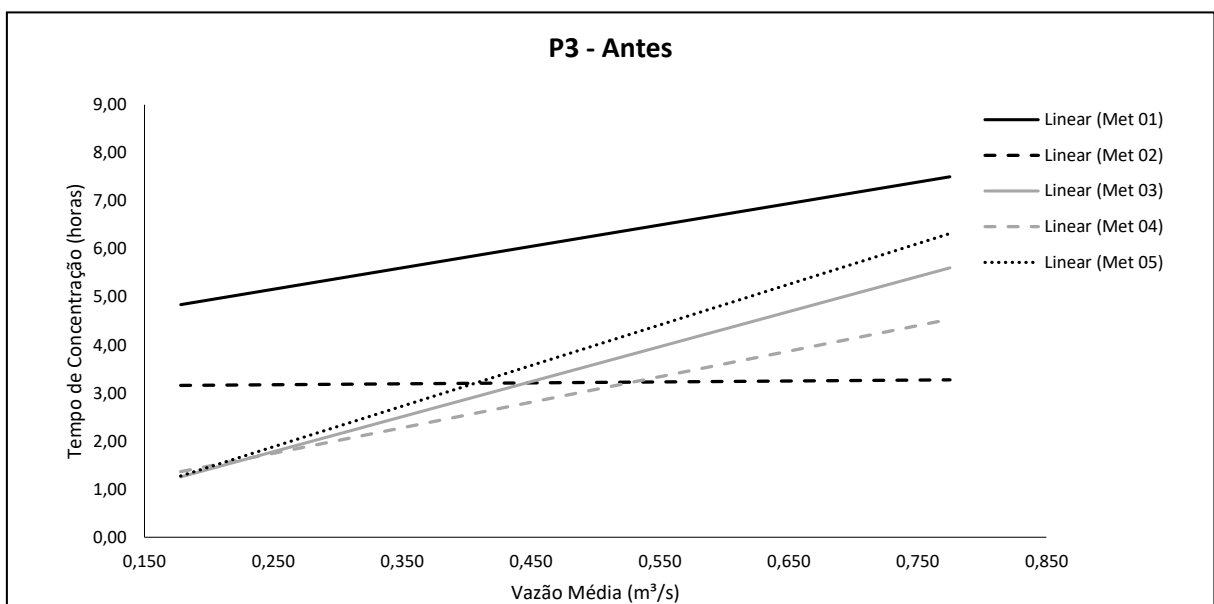
Fonte: Autor (2017).

Figura 105 - Relação Tc X Qméd Máx-Infl. para a subbacia P2



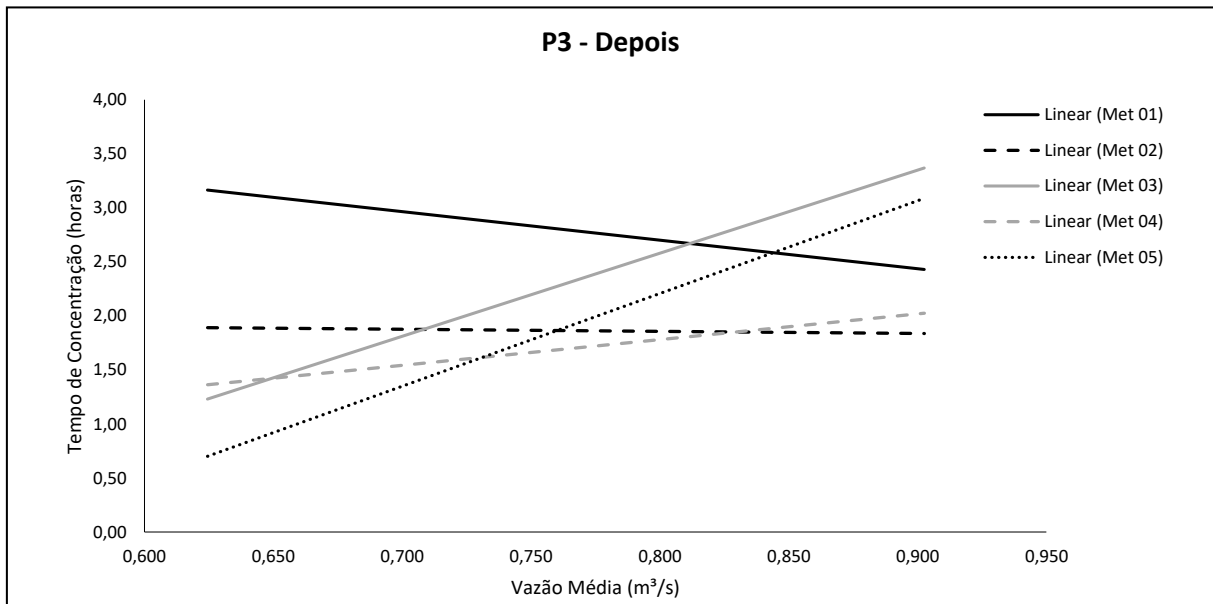
Fonte: Autor (2017).

Figura 106 - Relação Tc X Qméd Máx-Infl. para a subbacia P3 - Antes



Fonte: Autor (2017).

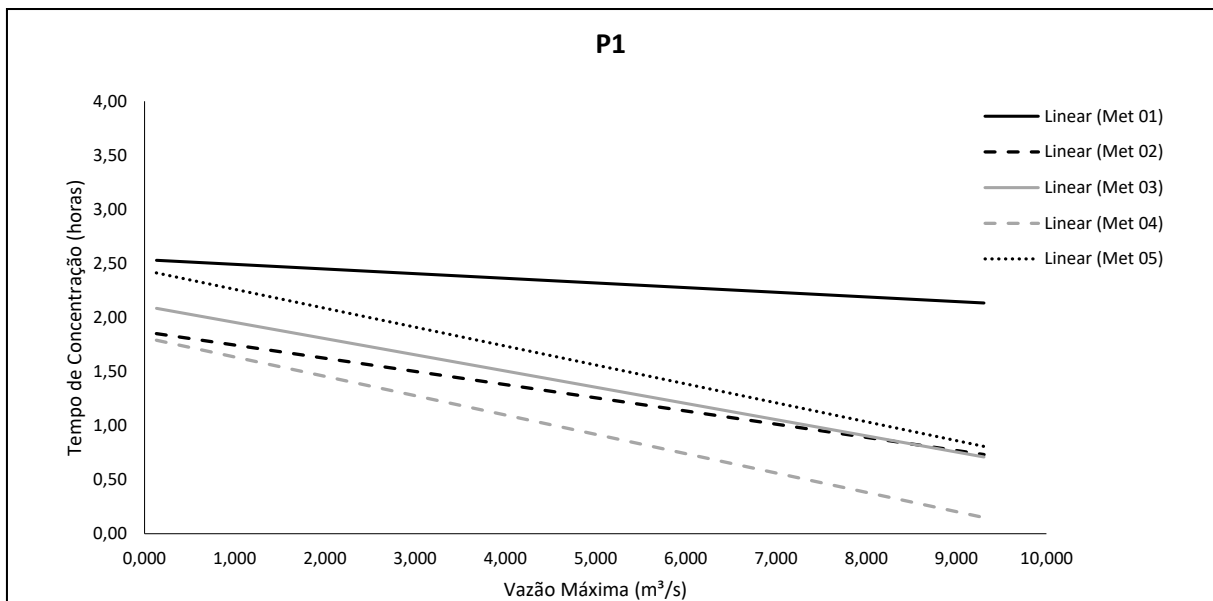
Figura 107 - Relação T_c X $Q_{\text{méd M\acute{a}x-Infl.}$ para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).

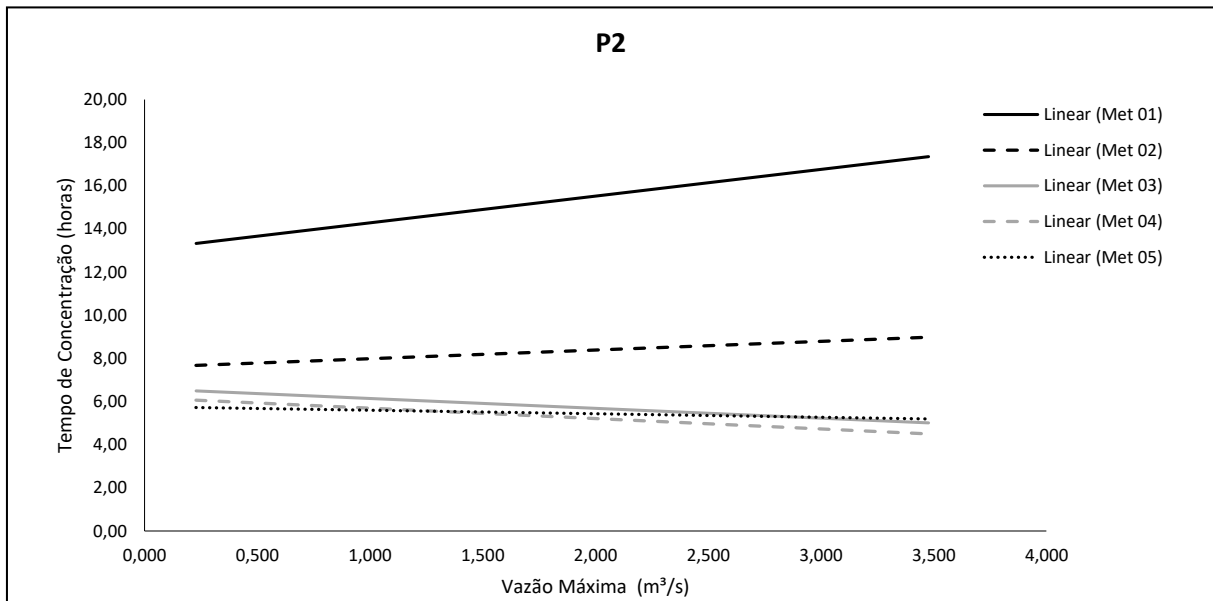
- Tempo de Concentração (T_c) X Vazão Máxima ($Q_{\text{m\acute{a}x}}$):

Figura 108 - Relação T_c X $Q_{\text{m\acute{a}x}}$ para a subbacia P1



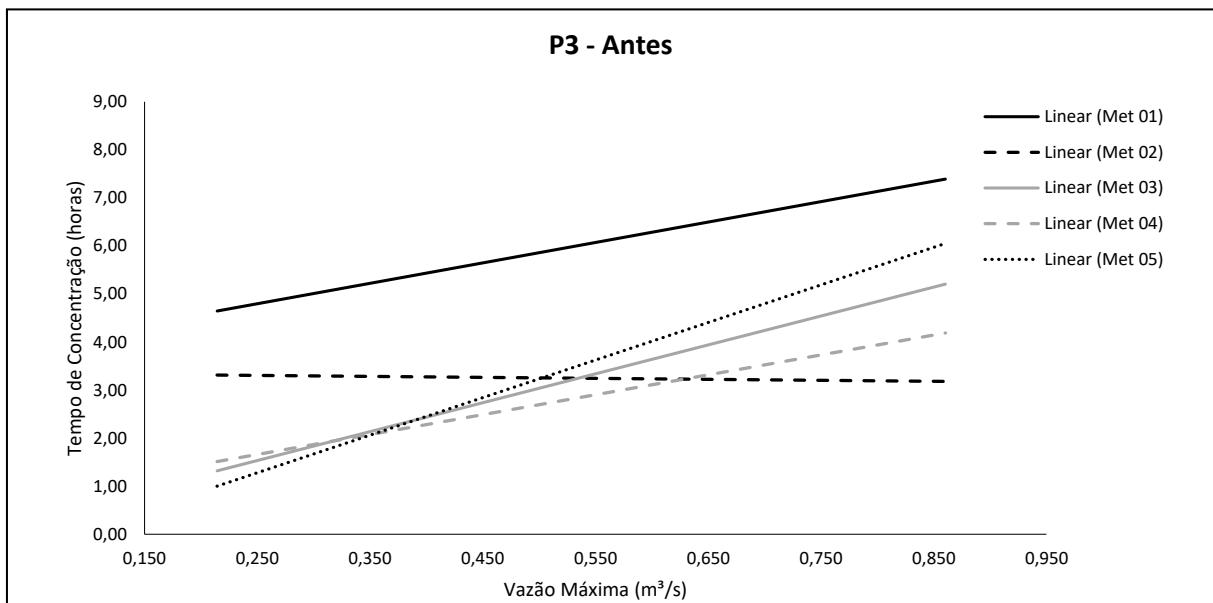
Fonte: Autor (2017).

Figura 109 - Relação Tc X Qmáx para a subbacia P2



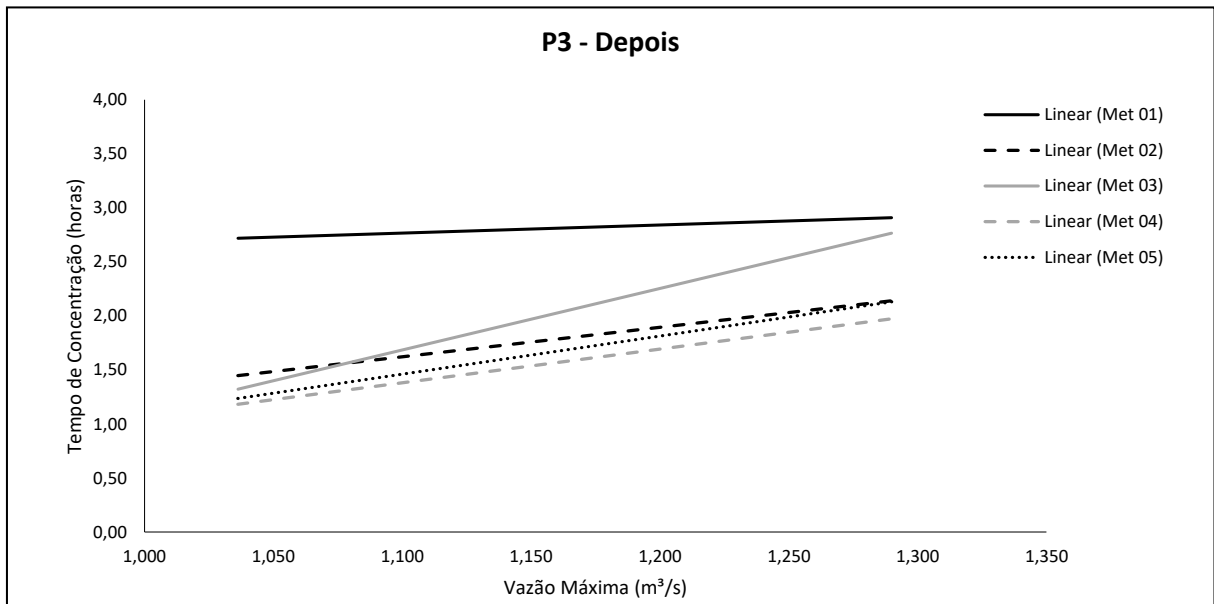
Fonte: Autor (2017).

Figura 110 - Relação Tc X Qmáx para a subbacia P3 - Antes



Fonte: Autor (2017).

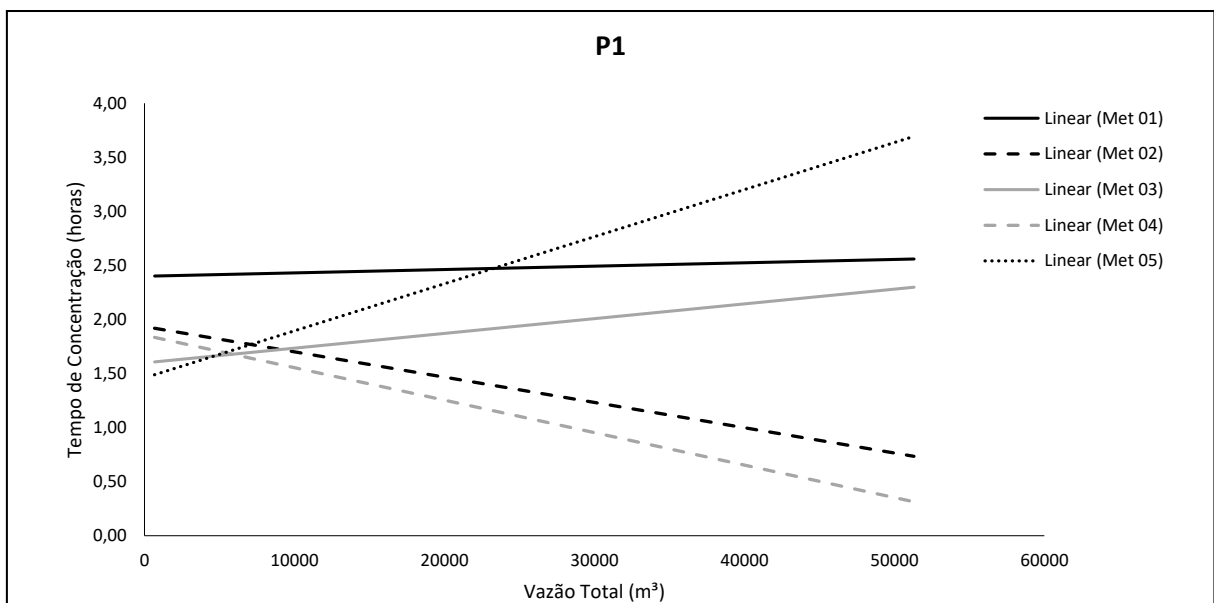
Figura 111 - Relação Tc X Qmáx para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).

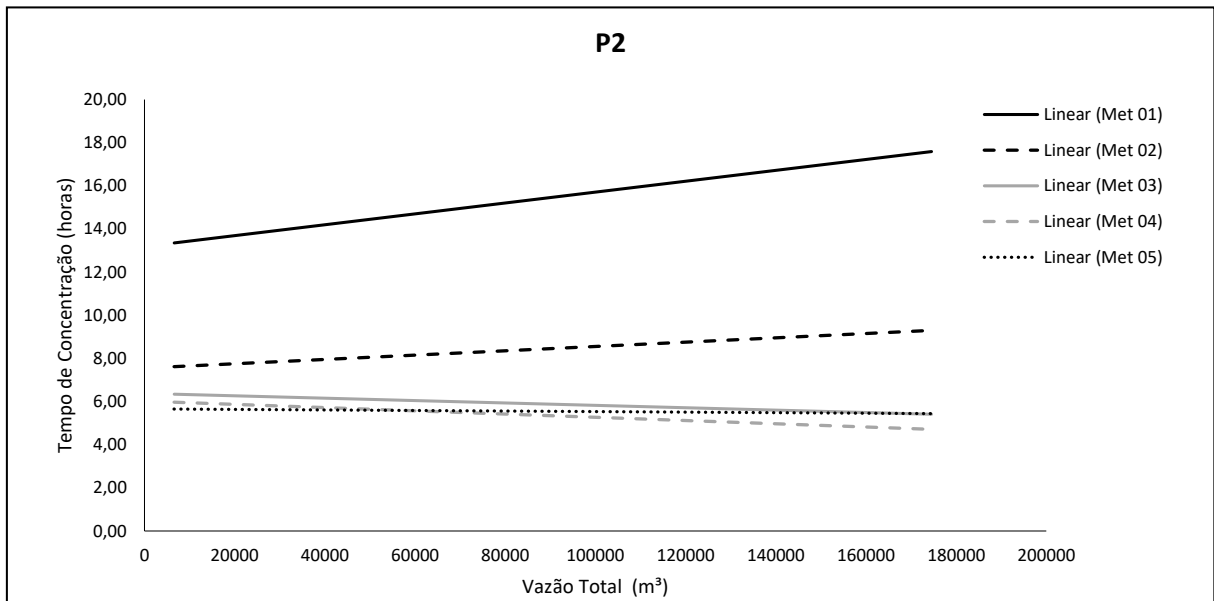
- Tempo de Concentração (Tc) X Vazão Total do Evento (Qtotal):

Figura 112 - Relação Tc X Qtotal para a subbacia P1



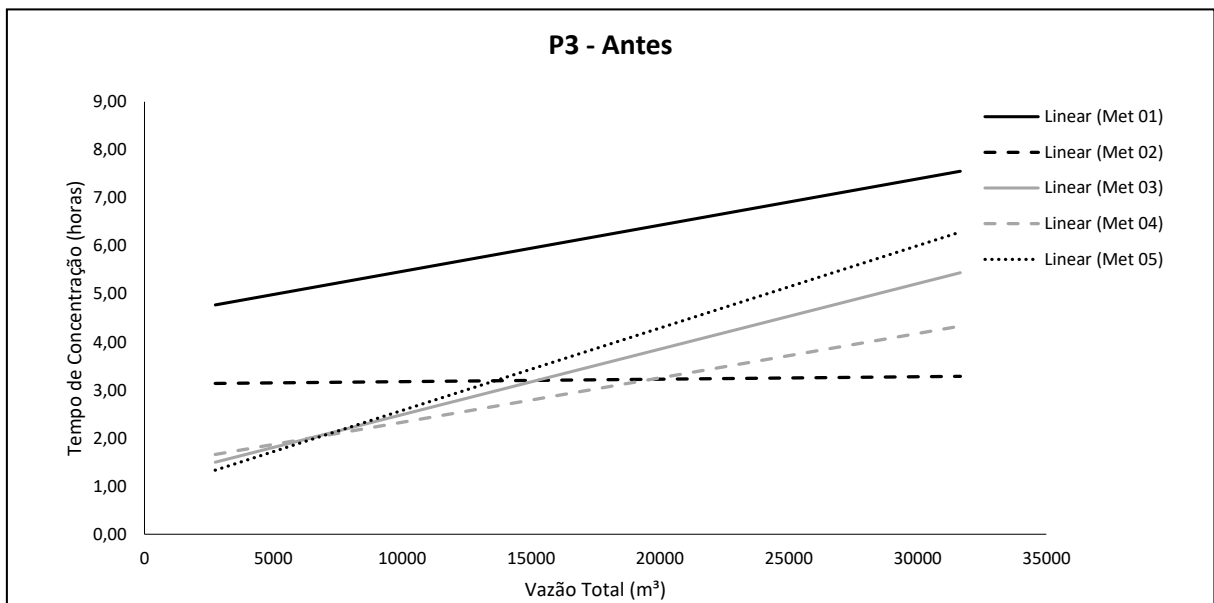
Fonte: Autor (2017).

Figura 113 - Relação Tc X Qtotal para a subbacia P2



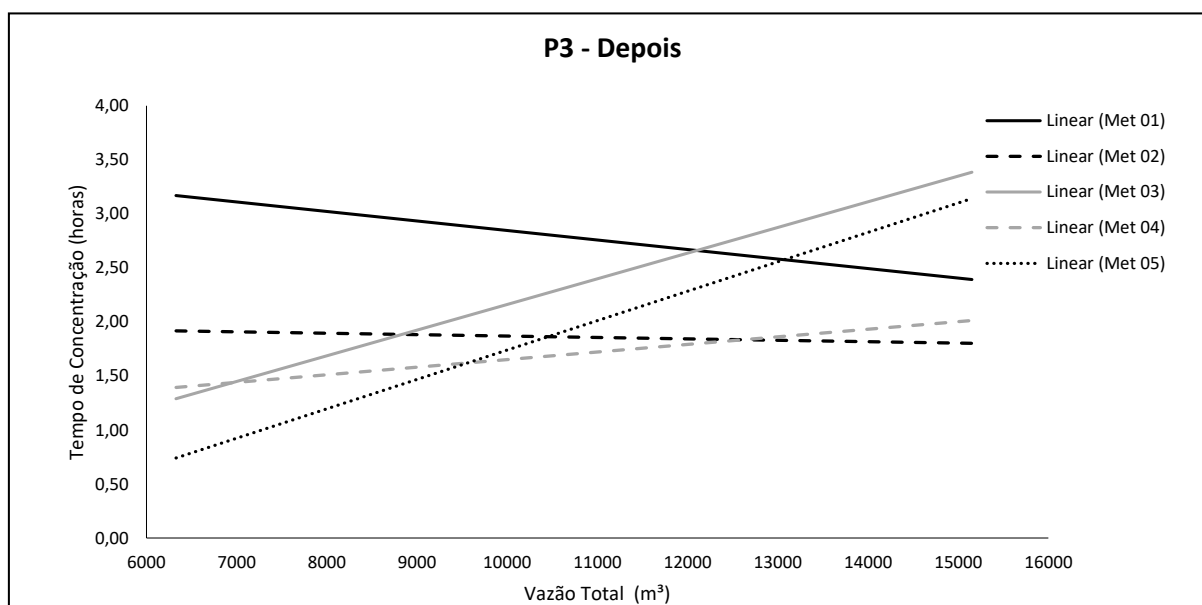
Fonte: Autor (2017).

Figura 114 - Relação Tc X Qtotal para a subbacia P3 - Antes



Fonte: Autor (2017).

Figura 115 - Relação Tc X Qtotal para a subbacia P3 - Depois



Fonte: Autor (2017).