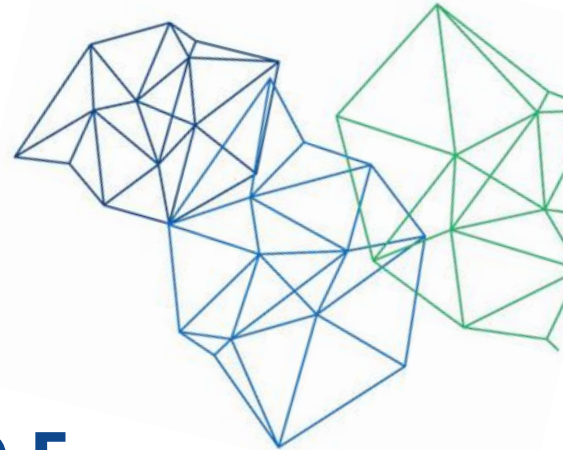


ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA O PROJETO SOPHIA

PENAMACOR E IDANHA-A-NOVA,
CASTELO BRANCO, PORTUGAL



lightsourcebp



VERSÃO	DATA	DESCRIÇÃO	AUTOR	REVISORR	APOVADO POR
00	30/08/24	PRIMEIRA VERSÃO	PC	AV	DF
01	17/08/26	NOVA CONFIGURAÇÃO	MG	MH	DF



CEREN

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO E ÂMBITO	3
2.	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
2.1.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.2.	CLIMATOLOGIA.....	6
3.	CÁLCULO HIDROLÓGICO	8
3.1.	INTRODUÇÃO.....	8
3.2.	MODELO DIGITAL DO TERRENO	8
3.3.	DEFINIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	10
3.4.	ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA	15
3.4.1.	ESTAÇÕES CONSIDERADAS	15
3.4.2.	SELEÇÃO DA ESTAÇÃO	16
3.4.3.	DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADA.....	16
3.5.	DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	17
3.5.1.	AJUSTE DAS DISTRIBUIÇÕES	17
3.5.2.	FIABILIDADE ESTATÍSTICA DO AJUSTE	18
3.5.3.	SELEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO COM MELHOR AJUSTE. MÉTODO GRÁFICO.....	18
3.5.4.	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PARA CADA PERÍODO DE RETORNO	19
3.6.	DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO	20
3.6.1.	MÉTODO RACIONAL.....	23
3.6.2.	MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO	31
3.6.3.	COMPARAÇÃO: MÉTODO RACIONAL MODIFICADO – MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO	34
4.	CÁLCULO HIDRÁULICO	38
4.1.	INTRODUÇÃO.....	38
4.2.	PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	39
4.2.1.	PARÂMETROS TEMPORAIS E DADOS GERAIS	39
4.2.2.	MODELO TOPOGRÁFICO	40
4.2.3.	CARACTERÍSTICAS DA MALHA	40
4.2.4.	RUGOSIDADE	41
4.3.	CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO.....	42
4.3.1.	CONDIÇÕES INICIAIS	42
4.3.2.	CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	42
5.	RESULTADOS DO MODELO HIDRÁULICO	45
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	53

ANEXO I: NÚMEROS DE ESCOAMENTO	54
ANEXO II: HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS	57
PLANTAS.....	129

1. INTRODUÇÃO E ÂMBITO

A *Civil & Electrical Renewables Engineering* (CEREN) apresenta o seguinte relatório do Estudo Hidrológico e Hidráulico, a pedido da *Lightsource Renewable Global Development Limited* (Cliente).

O Cliente forneceu a seguinte documentação:

— *PRT_Sophia_LP1-IDL_002.dwg*.

Em 2024, a CEREN realizou o ‘Estudo Hidrológico e Hidráulico da Central Fotovoltaica Pessoa’ para a Lightsource BP, que abrangeu a maior parte da área envolvida neste estudo atualizado.

Com base na documentação fornecida pelo Cliente, nos dados do terreno da DGT e no estudo anterior, foi atualizado o estudo hidrológico e hidráulico para a configuração revista do projeto fotovoltaico denominado “Sophia”, localizado em Penamacor e Idanha-a-Nova, Castelo Branco, Portugal.

Os cálculos foram realizados com um modelo de caudal e precipitação, e foram analisados os seguintes períodos de retorno:

- T = 10 anos.
- T = 25 anos.
- T = 50 anos.
- T = 100 anos.
- T = 200 anos.
- T = 500 anos.

CONTINENTAL PORTUGAL



CASTELO BRANCO



Figura 1 – Localização.

2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do projeto situa-se no distrito de Castelo Branco e abrange os municípios de Penamacor e Idanha-a-Nova. A região apresenta terreno ondulado, sendo os principais cursos de água: a Ribeira das Taliscas, o Rio Torto, a Ribeira de Ceife, o Ribeiro do Taveiro, que correm de noroeste para sudeste.



Figura 2 – Localização do projeto.

A Ribeira de Meimoa, afluente do rio Zêzere, encontra-se classificada como parte do *Domínio Público Hídrico*, nos termos definidos pela *Servidão e Restrição de Utilidade Pública (SRUP)*. Esta condicionante foi considerada no estudo anterior; no entanto, não afeta a configuração revista da central. A Zona de Ocupação Condicionada é apresentada na figura seguinte.



Figura 3 – Zona de Ocupação Condicionada.

Além dos cursos de água principais, identificaram-se vários pequenos reservatórios na área em estudo. Embora não estejam associados a barragens de grande porte, a sua eventual falha poderá representar um risco potencial. A maioria dos reservatórios anteriormente identificados a montante situa-se próximo do antigo limite do projeto e encontra-se agora mais afastada da configuração revista da central. Os reservatórios mais próximos do limite atual do projeto são apresentados na figura seguinte.

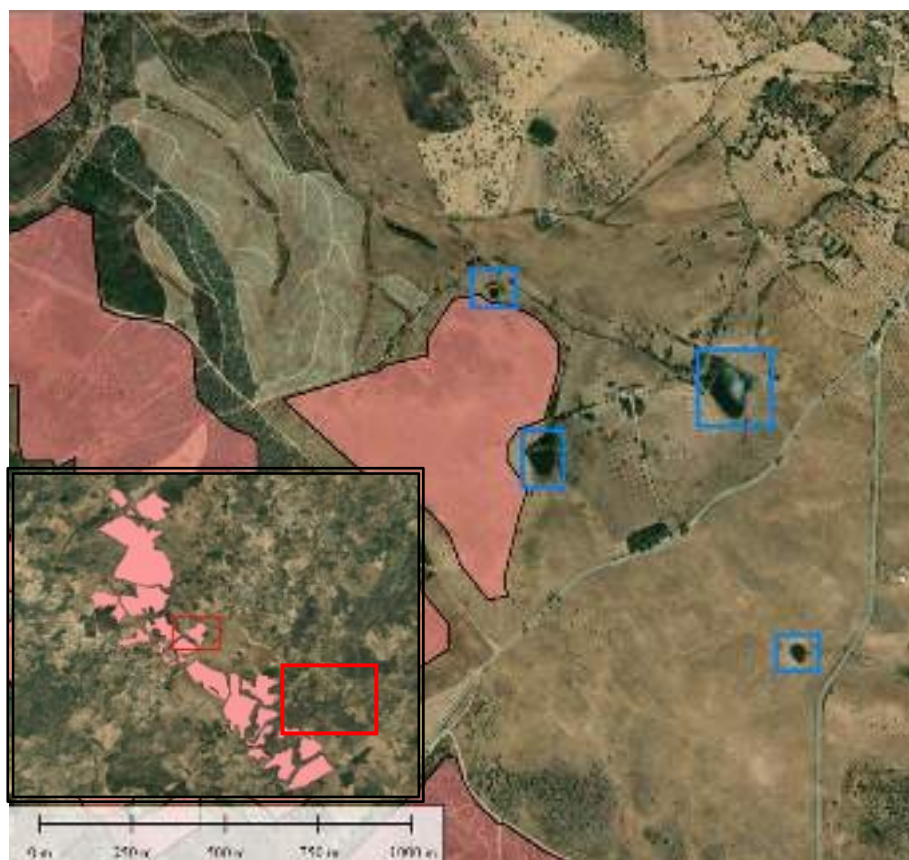


Figura 4 - Reservatórios detetados.

2.2. CLIMATOLOGIA

A área do projeto apresenta um clima com verões curtos, quentes, secos e maioritariamente ensolarados, contrastando com invernos longos, frios, húmidos e parcialmente nublados. As temperaturas ao longo do ano variam geralmente entre 2 °C e 31 °C, sendo pouco frequente descenderem abaixo de -3 °C ou ultrapassarem os 36 °C.

O período mais quente estende-se, em média, de finais de junho a meados de setembro, registando-se máximas diárias superiores a 80°F (27 °C). Agosto é, habitualmente, o mês mais quente, com temperaturas médias entre os 60°F (15 °C) e os 86°F (30 °C).

A estação mais fria decorre de meados de novembro até ao início de março, com máximas diárias abaixo dos 58°F (14 °C). Janeiro tende a ser o mês mais frio, com temperaturas médias entre os 35°F (2 °C) e os 51°F (11 °C).

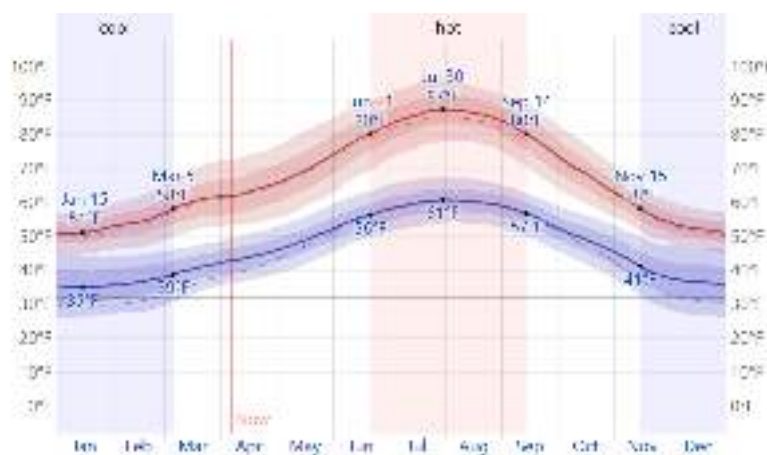


Figura 5 – Temperatura média na área do projeto.

Considera-se um dia de precipitação aquele em que se registam, no mínimo, 0,04 polegadas (1 mm) de precipitação líquida ou equivalente. A probabilidade de ocorrência de dias com precipitação na área do projeto varia significativamente ao longo do ano.

A estação mais húmida prolonga-se por cerca de 8 meses, entre 23 de setembro e 27 de maio, período durante o qual a probabilidade diária de precipitação ultrapassa os 19 %. Novembro é, em média, o mês com maior número de dias chuvosos, totalizando aproximadamente 9 dias com precipitação igual ou superior a 0,04 polegadas (1 mm).

Por sua vez, a estação mais seca tem uma duração aproximada de 4 meses, entre 27 de maio e 23 de setembro. Julho é, habitualmente, o mês mais seco, com uma média de apenas 1 a 2 dias de precipitação.

Entre os dias com precipitação, distingue-se a ocorrência de chuva, neve ou precipitação mista, sendo a chuva a forma mais comum ao longo de todo o ano. A probabilidade de ocorrência de chuva atinge o seu valor máximo a 31 de outubro, com cerca de 34 %.

Para ilustrar a variação intra-anual da precipitação com maior detalhe do que os valores médios mensais, recorre-se à análise da precipitação acumulada em períodos móveis de 31 dias centrados em cada data. Esta abordagem evidencia uma marcada variabilidade sazonal.

O período chuvoso estende-se por cerca de 10 meses, de 21 de agosto a 30 de junho, registando-se precipitações acumuladas superiores a 0,5 polegadas (12 mm) em qualquer janela móvel de 31 dias. Novembro apresenta-se como o mês mais chuvoso, com uma precipitação média de cerca de 4,5 polegadas (115 mm).

O período seco é mais curto, com cerca de 1,7 meses, entre 30 de junho e 21 de agosto. Julho é o mês com menor precipitação, com uma média de 0,3 polegadas (8 mm).

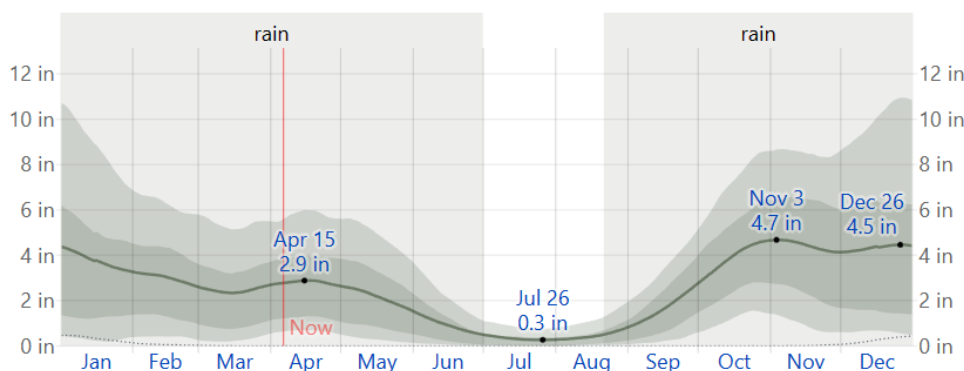


Figura 6 – Precipitação média na área do projeto.

3. CÁLCULO HIDROLÓGICO

3.1. INTRODUÇÃO

O estudo hidrológico tem como principal objetivo a determinação dos caudais de cheia resultantes da ocorrência de um episódio extremo de precipitação na bacia hidrográfica.

A caracterização hidrológica assenta em dois processos fundamentais: a estimativa da precipitação extrema e a análise do processo de formação do escoamento.

A definição da precipitação extrema responde a duas questões centrais: em primeiro lugar, determina-se a quantidade máxima de precipitação com base na sua probabilidade de ocorrência; em segundo lugar, estima-se a forma como essa precipitação se distribui ao longo da duração do evento. Em resumo, esta análise procura responder a duas perguntas: quanto chove e como se distribui essa chuva no tempo.

3.2. MODELO DIGITAL DO TERRENO

O modelo digital do terreno (MDT) utilizado na análise hidrológica original, incluindo a delimitação e caracterização das bacias no HEC-HMS, foi obtido a partir da ASF Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR, com resolução de 12,5 m × 12,5 m.

Para o estudo atualizado, o modelo do terreno utilizado no modelo hidráulico HEC-RAS foi obtido a partir do Centro de Dados da Direção-Geral do Território (DGT), utilizando o DGT CDD Data Downloader, com uma resolução espacial de 0,5 m por pixel.



Os produtos derivados dos modelos digitais do terreno fornecem os dados essenciais para representar com precisão a morfologia das áreas sujeitas a riscos hidrogeológicos. Estes produtos constituem a base fundamental para as atividades de modelação hidráulica, incluindo a delimitação das zonas potencialmente inundáveis ao longo dos principais rios, bem como para a modelação hidrológica e a identificação das áreas com maior risco em caso de cheia.

3.3. DEFINIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para definir as bacias na área da central fotovoltaica, recorreu-se ao software HEC-HMS 4.10, desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers (USACE), utilizando o MDT ALOS PALSAR da área de estudo. Este software permite identificar as bacias hidrográficas e calcular as suas principais características hidrológicas, como a área de drenagem, o percurso máximo de escoamento e o declive médio.

De seguida, descreve-se resumidamente a metodologia aplicada para o tratamento dos dados e a geração dos resultados gráficos do modelo, baseado exclusivamente nos parâmetros geométricos do terreno.

- Geração do terreno a partir dos dados do MDT.
- Determinação da direção do escoamento.

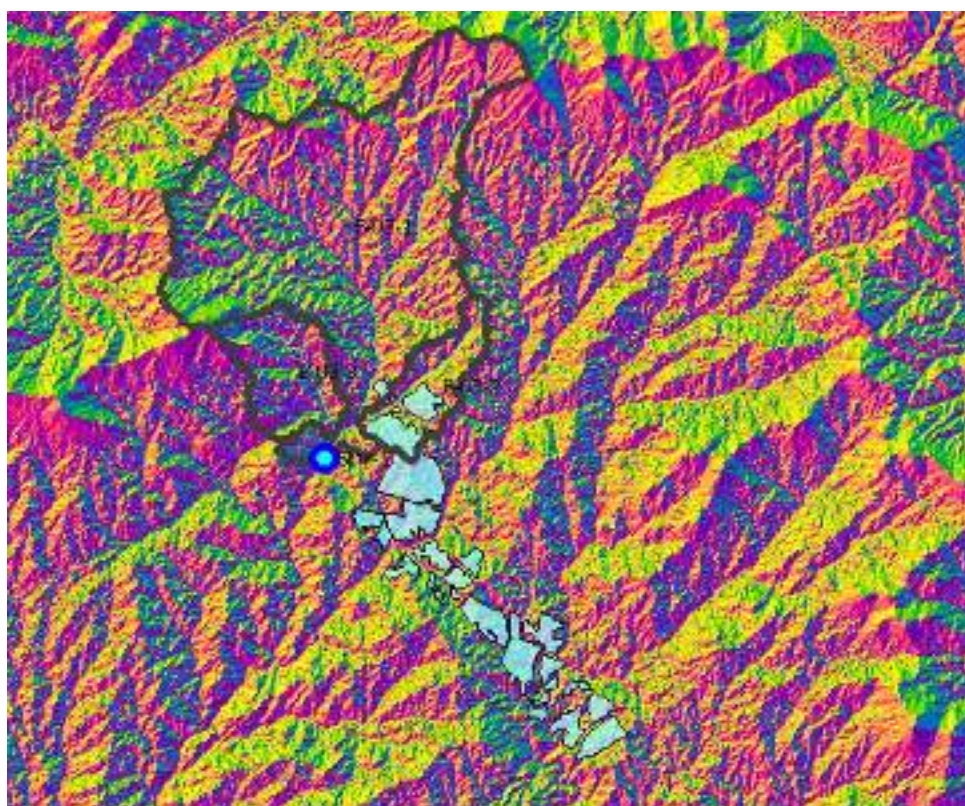


Figura 7 -Direção do escoamento.

- Identificação dos cursos de água.

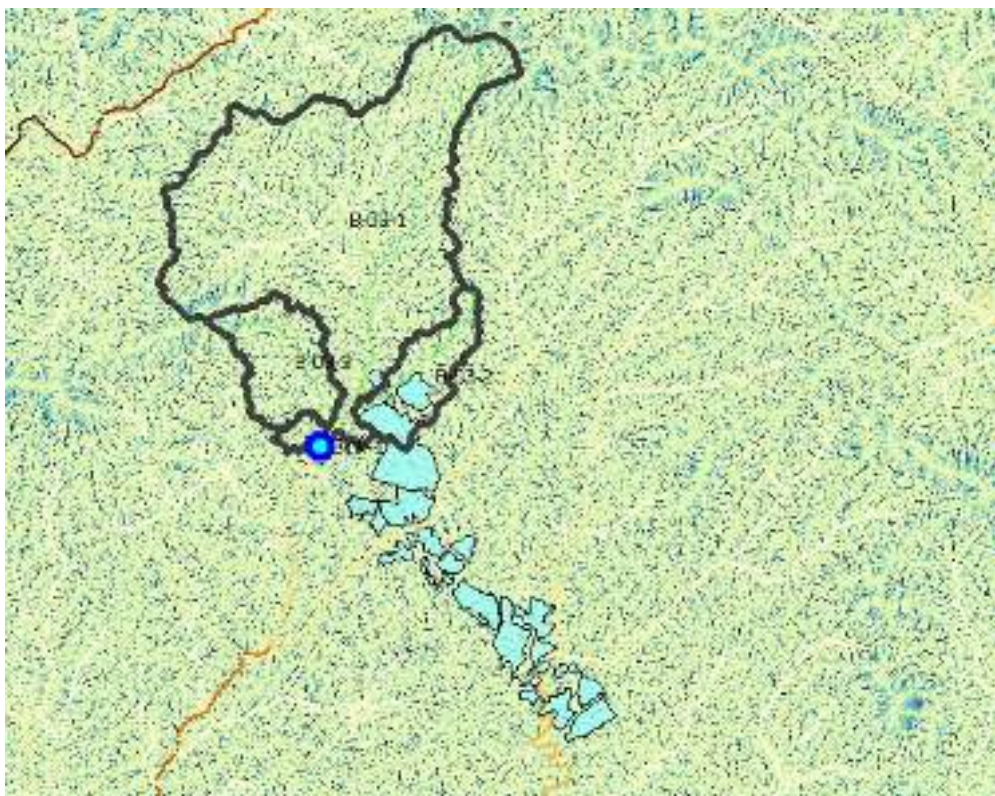


Figura 8 – Cursos de água identificados.

- Delimitação de bacias hidrográficas

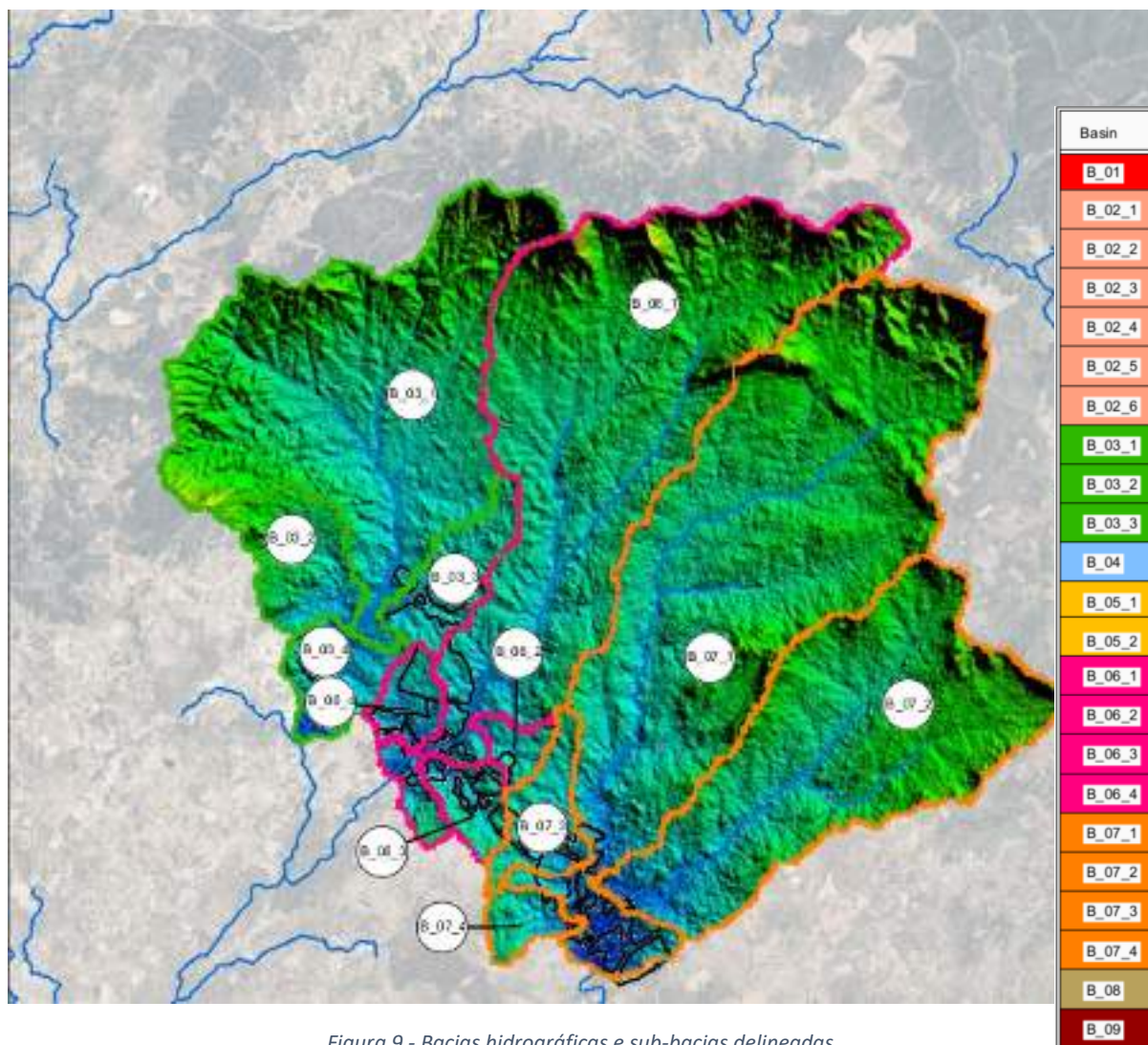


Figura 9 - Bacias hidrográficas e sub-bacias delineadas.

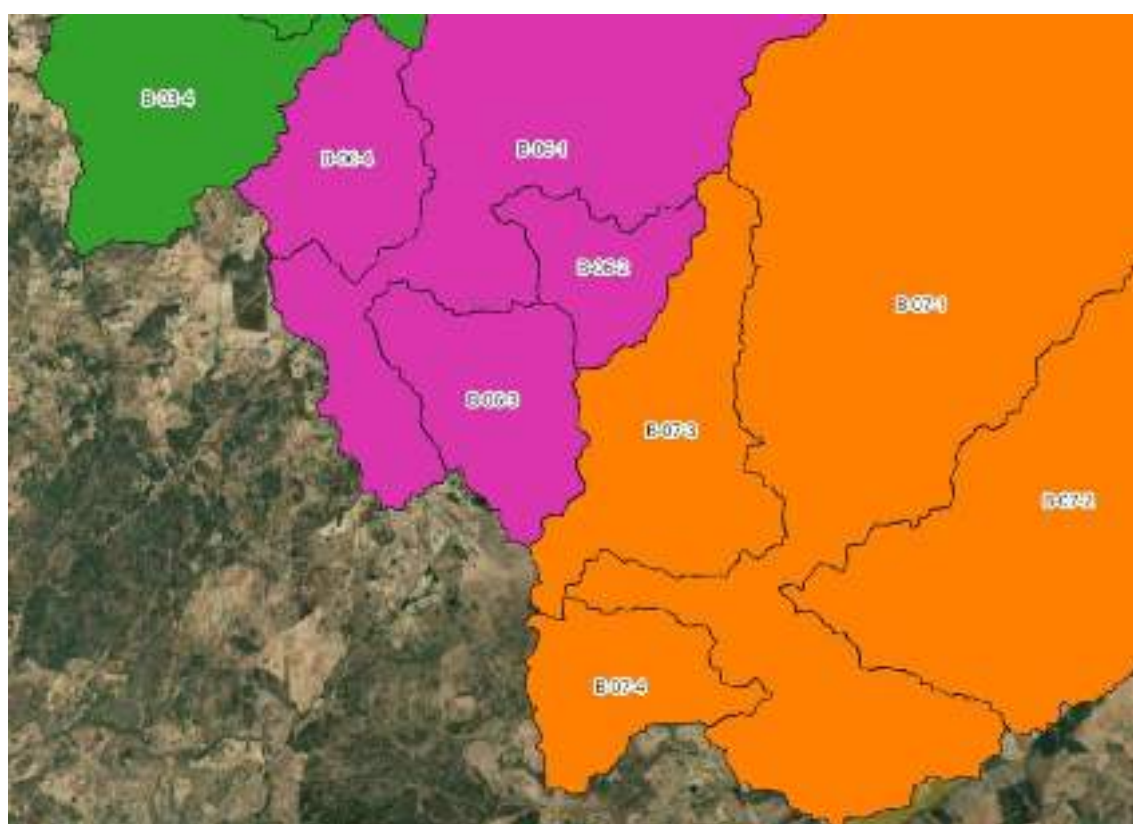
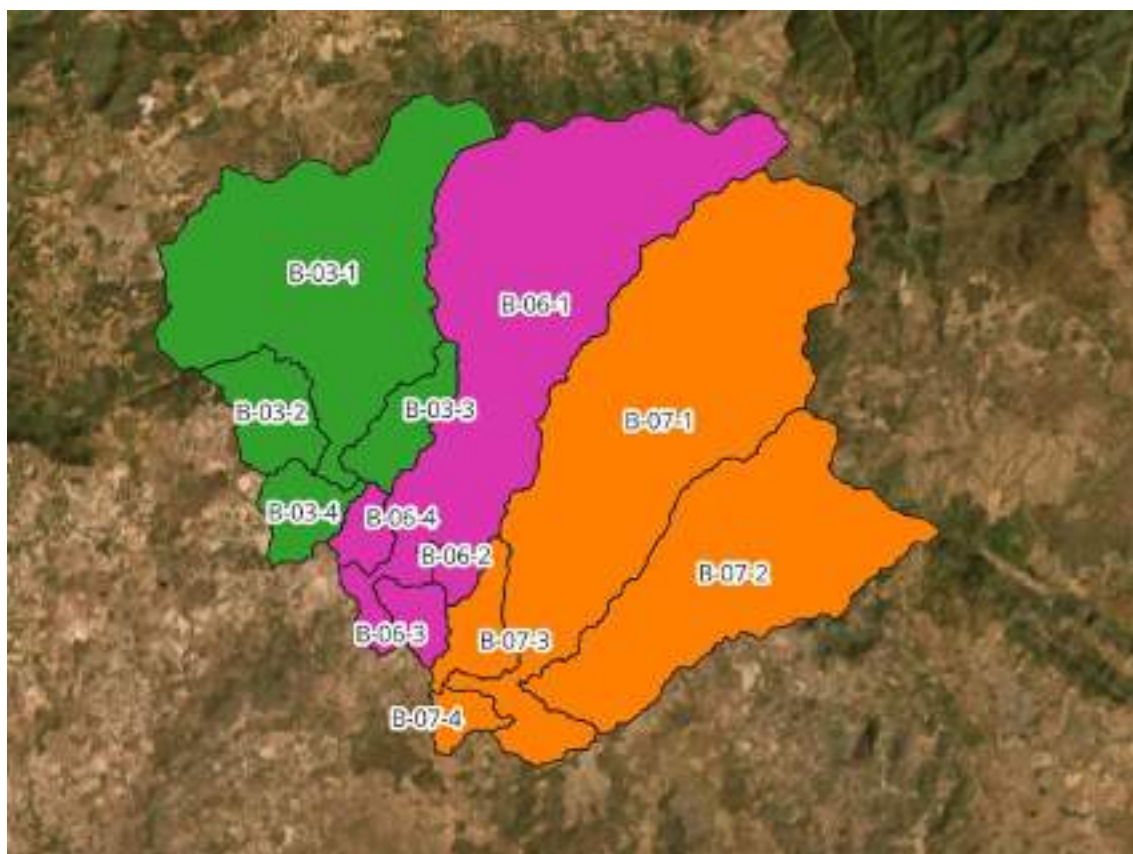


Figura 10 - Bacias hidrográficas e sub-bacias delineadas. Vista detalhada.

A área do estudo hidrológico original é drenada por nove bacias hidrográficas, que foram subdivididas em 24 sub-bacias. Esta delimitação original das bacias foi mantida para os cálculos hidrológicos no HEC-HMS. Para a análise hidráulica atualizada, apenas são consideradas no modelo HEC-RAS as sub-bacias que afetam a configuração revista da central.

Sub-bacia	Curso de água	A (km ²)	L (km)	J (m/m)
B-01	Ribeira da Meimoa	351.4	58.3	0.011
B-02-1		7.6	6.1	0.052
B-02-2		2.8	4.3	0.034
B-02-3		7.0	6.5	0.039
B-02-4		7.3	6.4	0.037
B-02-5		2.1	2.6	0.020
B-02-6		2.5	3.3	0.017
B-03-1	Ribeiro do Taveiro	55.0	14.8	0.030
B-03-2		6.6	5.9	0.014
B-03-3		8.3	6.5	0.045
B-03-4		5.7	5.3	0.012
B-04		0.7	1.5	0.027
B-05-1		3.4	4.0	0.015
B-05-2		2.4	3.2	0.023
B-06-1	Ribeira de Ceife	70.0	23.8	0.016
B-06-2		2.1	3.1	0.026
B-06-3		3.7	4.0	0.019
B-06-4		3.3	3.4	0.015
B-07-1	Ribeira das Taliscas / Rio Torto	70.6	28.9	0.012
B-07-2		45.6	17.3	0.023
B-07-3	Ribeiro do Toção	5.8	5.3	0.016
B-07-4		2.9	4.0	0.025
B-08		0.3	1.0	0.048
B-09		7.6	8.4	0.042

Apesar de a Ribeira da Meimoa e o Rio Torto serem classificados como rios, foram igualmente considerados como pequenos cursos de água, de modo a identificar todos os cursos relevantes que possam influenciar a área original do projeto.

3.4. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

3.4.1. ESTAÇÕES CONSIDERADAS

A seleção da estação meteorológica baseia-se em dois critérios principais:

- Distância à área de estudo: as estações localizadas mais próximas da área de estudo são consideradas mais representativas.
- Quantidade de dados registados estações com menos de 30 anos completos de registos são consideradas insuficientes para inferências estatísticas fiáveis.

O conjunto de estações identificadas na área de estudo está apresentado na tabela seguinte:

NOME	CÓDIGO	ALTURA (m)	COORD_X (m)	COORD_Y (m)	BACIA	MUNICÍPIO	ESTADO	N. DADOS PM24
ALCARIA	12L/04UG	413	252249.933	359363.418	TEJO	FUNDÃO	ATIVA	14
ARAÑAS	13O/02UG	489	286495.285	349528.595	TEJO	PENAMACOR	ATIVA	20
BARRAGEM DE MEIMOA	12O/04C	570	283953	366371	TEJO	PENAMACOR	ATIVA	13
BENDADA	11N/02UG	516	274932.579	378464.785	TEJO	SABUGAL	ATIVA	20
ALCAFOZES	14O/02U	342	285322.32	331623.161	TEJO	IDANHA-A-NOVA	EXTINTO	73
CAPINHA	12M/02UG	491	264929.812	359153.334	TEJO	FUNDÃO	ATIVA	20
PUEBLO DEL PUENTE	11P/01UG	814	307283.151	383454.535	DUERO	SAMBUCUS	ATIVA	47
CARIA	12M/01UG	477	265519.962	370171.098	TEJO	BELMONTE	ATIVA	65
CASTELEIRO	12N/01UG	556	276111	371121	TEJO	SABUGAL	ATIVA	20
PENAMACOR	12O/01UG	463	282807.855	355317.808	TEJO	PENAMACOR	ATIVA	64
MEIMÃO	12O/02U	866	287734.745	369224.964	TEJO	PENAMACOR	EXTINTA	14
GRALHAS	13L/02G	565	255303.041	346152.07	TEJO	FUNDÃO	EXTINTA	36
CASAL DA SERRA	13L/03U	725	249640.974	342411.411	TEJO	CASTELO BRANCO	EXTINTA	45
VALE DE PRAZERES	13M/02U	506	260371.214	349429.62	TEJO	FUNDÃO	EXTINTA	4
CASTELO NOVO	13M/03G	617	254166.93	345971.24	TEJO	FUNDÃO	SUSPENSA	14
MONTE DO CONDE	13N/02U	415	275035.785	353848.557	TEJO	PENAMACOR	EXTINTA	5
MONSANTO	13O/03U	705	286943.808	341389.6	TEJO	IDANHA-A-NOVA	EXTINTA	11

3.4.2. SELEÇÃO DA ESTAÇÃO

Com base nos critérios referidos, a estação cujos dados serão utilizados nas bacias em estudo será a seguinte:

NOME	CÓDIGO	ALTURA (m)	COORD_X (m)	COORD_Y (m)	BACIA	MUNICÍPIO	ESTADO	N. DADOS PM24
PENAMACOR	12O/01UG	463	282807.855	355317.808	TEJO	PENAMACOR	ATIVA	64

3.4.3. DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADA

Os dados correspondentes à estação selecionada, fornecidos pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), são apresentados a seguir.

PENAMACOR 12O/01UG					
ANO	PM 24	ANO	PM 24	ANO	PM 24
1931	52.0 mm	1957	31.4 mm	1982	29.4 mm
1932	58.4 mm	1958	76.0 mm	1983	36.0 mm
1934	53.0 mm	1959	33.0 mm	1984	32.2 mm
1935	39.2 mm	1960	72.2 mm	1985	42.0 mm
1936	81.0 mm	1961	26.8 mm	1986	38.6 mm
1937	51.0 mm	1962	22.0 mm	1987	36.7 mm
1938	78.0 mm	1963	27.0 mm	1988	37.6 mm
1939	42.0 mm	1965	24.8 mm	1989	48.4 mm
1940	52.0 mm	1966	52.4 mm	1990	28.8 mm
1941	55.0 mm	1968	26.7 mm	1992	23.0 mm
1942	84.0 mm	1969	38.7 mm	1993	18.0 mm
1943	36.0 mm	1970	33.0 mm	1994	39.4 mm
1944	46.0 mm	1971	42.8 mm	1995	34.6 mm
1945	46.0 mm	1972	30.3 mm	1996	48.0 mm
1946	52.0 mm	1973	38.7 mm	2002	26.7 mm
1948	42.0 mm	1974	34.5 mm	2003	38.0 mm
1949	35.0 mm	1975	23.2 mm	2004	47.8 mm
1950	46.0 mm	1976	21.4 mm	2006	64.1 mm
1951	67.8 mm	1977	28.0 mm		
1952	48.0 mm	1978	37.0 mm		
1953	68.0 mm	1979	37.0 mm		
1954	48.0 mm	1980	26.5 mm		
1955	123.0 mm	1981	54.0 mm		

Ao representar graficamente os dados observados na estação meteorológica que influencia a área de estudo, obtém-se o seguinte gráfico de barras:

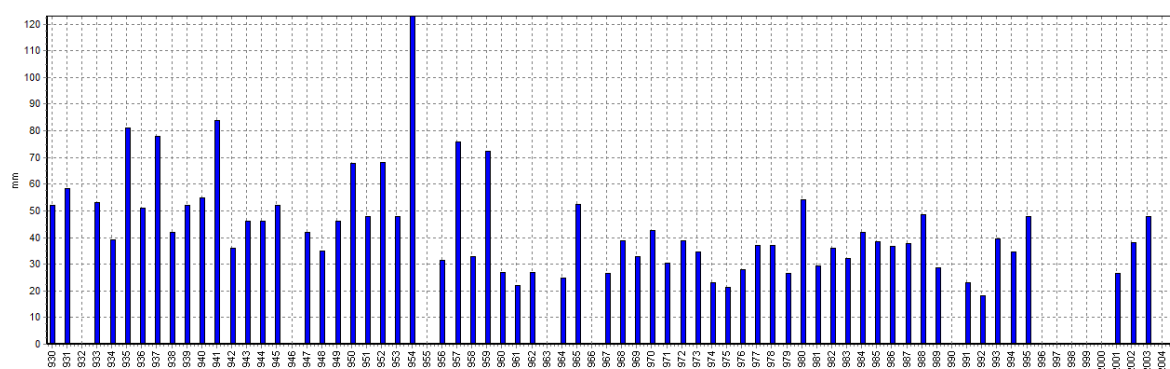


Figura 11 - Dados de precipitação observada.

3.5. DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE

Após a análise dos dados pluviométricos, procede-se à análise estatística para determinar as relações de probabilidade entre os possíveis valores máximos diários de precipitação para diversos períodos de retorno. A análise de frequência é efetuada com base nos valores diários máximos registados ao longo do ano.

Esta análise consiste no ajuste dos dados amostrais a distribuições estatísticas reconhecidas, de forma a identificar a que melhor representa o fenómeno estudado. A distribuição selecionada é então utilizada para estimar a precipitação máxima correspondente a diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anos.

3.5.1. AJUSTE DAS DISTRIBUIÇÕES

3.5.1.1. PENAMACOR 120/01UG

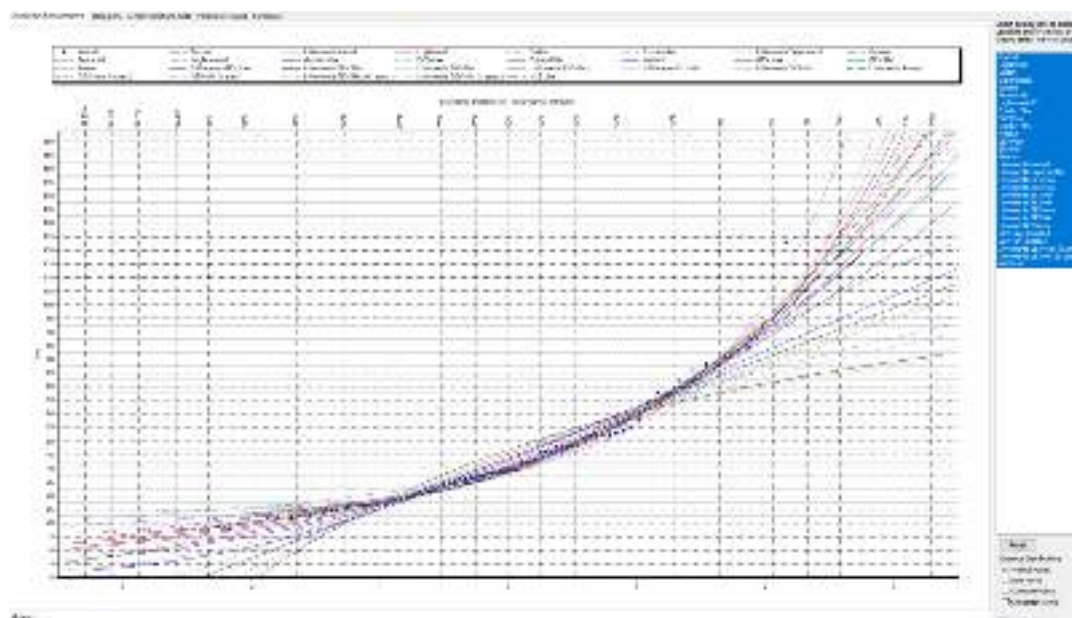


Figura 12 - Ajuste da distribuição aos dados observados.

3.5.2. FIABILIDADE ESTATÍSTICA DO AJUSTE

3.5.2.1. PENAMACOR 120/01UG. Kolmogorov-Smirnov TEST

Distribution functions plots - Histograms - Density functions plots	Parameter values - Parameters				
Kolmogorov-Smirnov test for all data	u=10%	u=50%	u=90%	Adjusted p	Q/Max
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.4817%	0.12305
Normal (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.5537%	0.12294
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.2457%	0.05301
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.9330%	0.04023
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	63.4489%	0.00221
Exponential (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	65.7373%	0.00181
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.7797%	0.07089
Weibull III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.4447%	0.06704
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.9374%	0.04475
EV1-Max (Gamma)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.0540%	0.00909
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.0110%	0.12751
EV1-Min (Gamma)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.32303%	0.18889
EV2-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.7897%	0.10388
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.5417%	0.04633
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.7590%	0.07173
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	7%	0.38136
GEV Max (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.8755%	0.04741
GEV Min (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.8572%	0.08186
EV1-Max (Gamma) (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.5307%	0.08297
EV2-Max (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.5557%	0.08603
EV1-Min (Gamma) (3-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.40300%	0.14304
EV2-Min (Weibull) (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	41.0797%	0.11309
Pareto (3-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.04373%	0.21483
GEV Max (Lognormal) (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.2778%	0.08275
GEV Min (Lognormal) (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	11.0308%	0.14812
LogNormal (Lognormal) (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.4499%	0.08735
Gamma (Lognormal) (3-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.11443%	0.15533

Figura 13 - Teste de Kolmogorov-Smirnov.

3.5.3. SELEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO COM MELHOR AJUSTE. MÉTODO GRÁFICO

Entre as distribuições com melhor ajustamento no teste de Kolmogorov-Smirnov, realiza-se uma comparação gráfica para seleccionar a distribuição mais adequada.

3.5.3.1. PENAMACOR 120/01 UG.

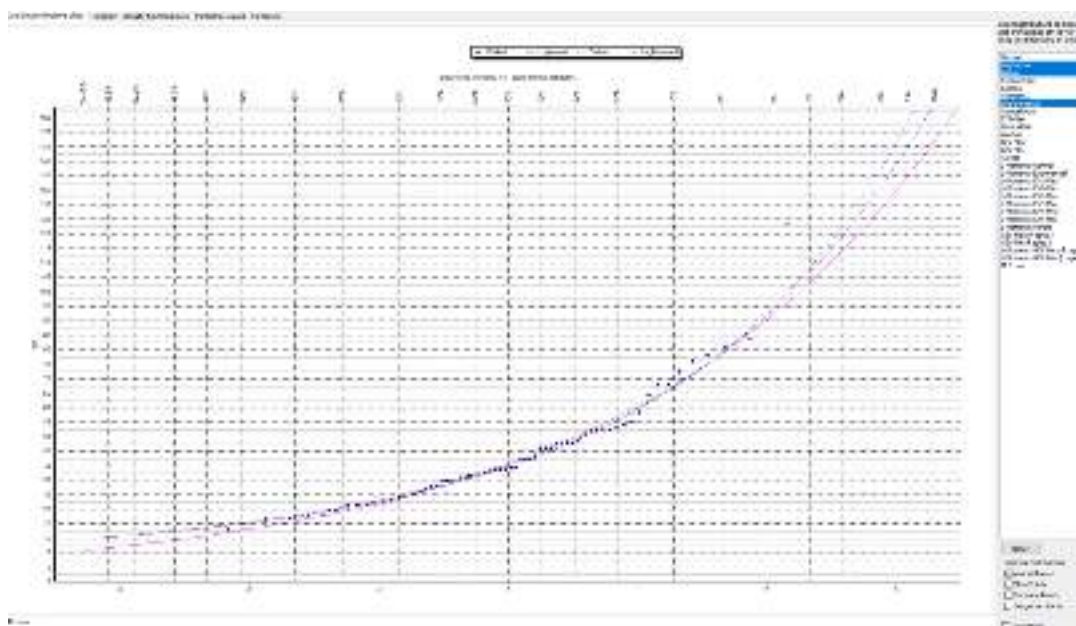


Figura 14 - Seleção das distribuições com melhor ajustamento.

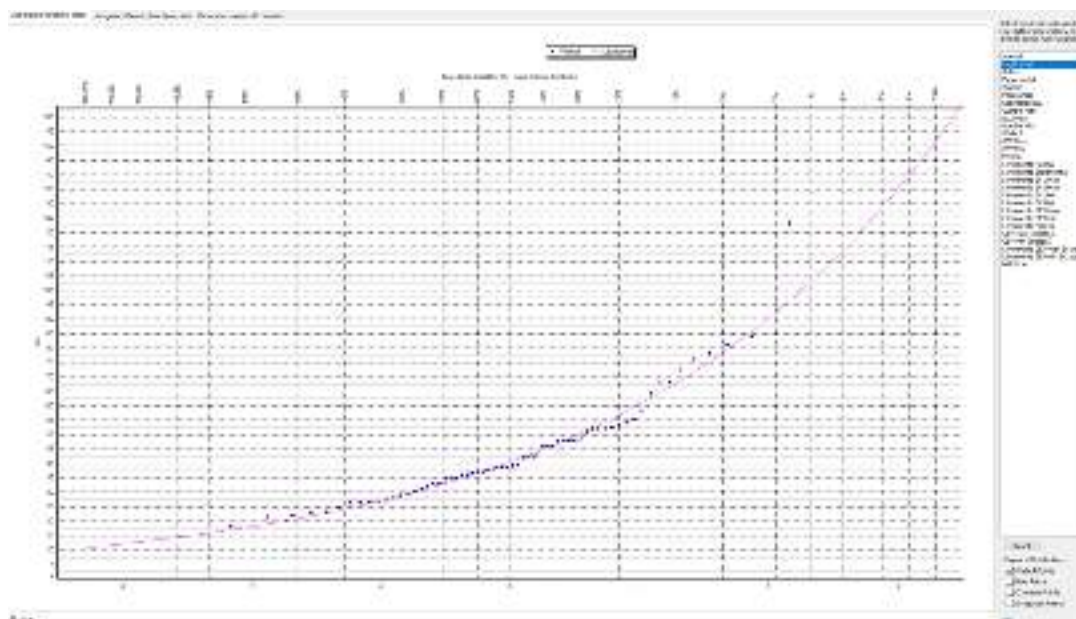


Figura 15 - Distribuições com melhor ajustamento.

3.5.4. PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PARA CADA PERÍODO DE RETORNO

3.5.4.1. PENAMACOR 120/01 UG.

Nº	ESTAÇÃO	PERÍODO DE RETORNO	PM 24 (mm)
120/01UG.	PENAMACOR	2 anos	40.51
		5 anos	56.79
		10 anos	67.76
		25 anos	81.80
		50 anos	92.38
		100 anos	103.06
		200 anos	113.92
		500 anos	128.62

3.6. DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO

O escoamento é determinado através do método do Número de Escoamento (*Curve Number - CN*), desenvolvido pelo Soil Conservation Service. O parâmetro principal para estimar a infiltração no solo é precisamente o Número de Escoamento (*CN*).

O *CN* depende de fatores como o tipo de solo, a utilização do terreno e a declividade. Cada tipo de uso do terreno corresponde a um valor específico de *CN*, que varia consoante o tipo de solo e a sua inclinação. Os valores de *CN* são atribuídos segundo as tabelas disponíveis no Anexo I.

Depois de calculado o *CN*, determina-se o limiar de precipitação para início do escoamento (P_0), que é mais intuitivo do que o *CN*, através da seguinte expressão:

$$CN = \frac{5000}{P_0 + 50}$$

Os dados relativos às declividades, usos do solo e tipos de solo foram obtidos a partir de:

- **MDT (ver secção 3.2).** O seu tratamento com ferramentas SIG permite obter as declividades do terreno e gerar uma cobertura que distingue as áreas com declive inferior ou superior a 3% (valor de referência).

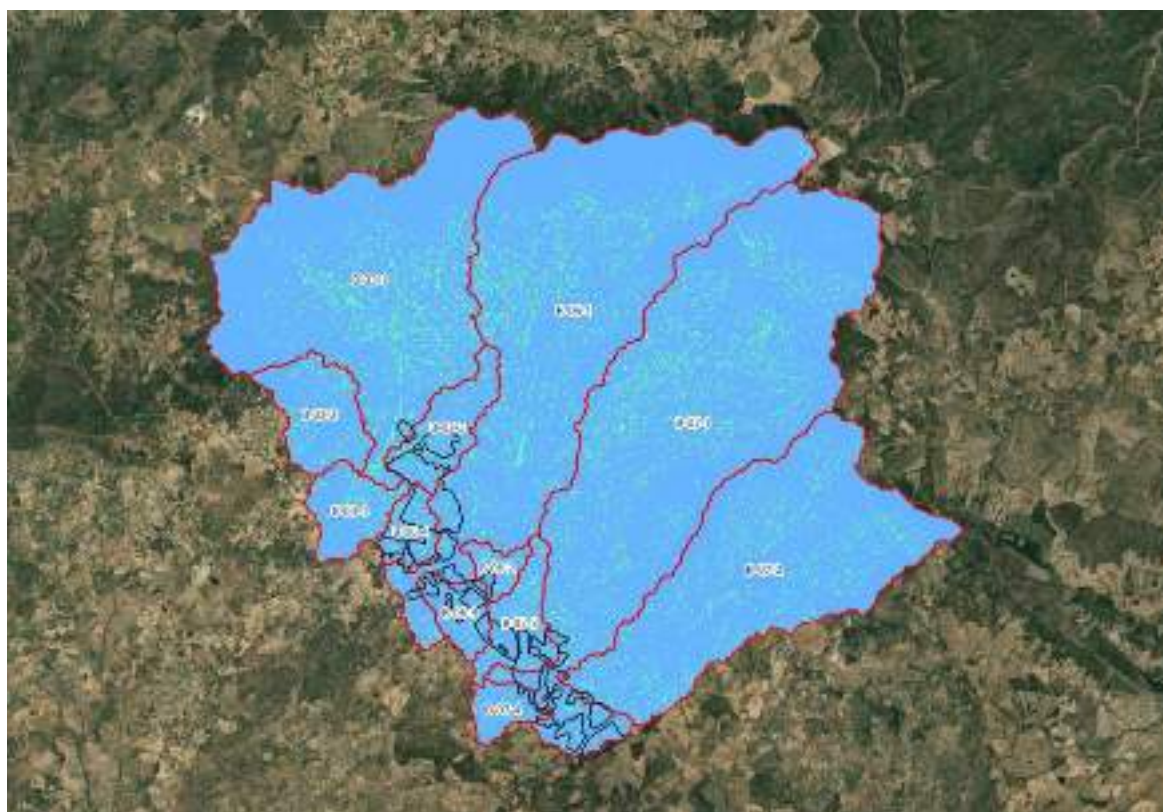


Figura 16 - Declives obtidos nas bacias em estudo.

- Os **Grupos Hidrológicos de Solo (GHS)** estão classificados em quatro grupos principais, conforme descrito a seguir.
 - **Grupo (A) Baixa taxa de escoamento superficial:** solos arenosos, franco-arenosos ou de textura semelhante. Apresentam baixo potencial de escoamento e altas taxas de infiltração (superiores a 7,62 mm/h). São compostos principalmente por

areias profundas ou cascalhos, bem a excessivamente drenados, com elevada capacidade de transmissão de água.

- **Grupo (B) Escoamento superficial moderado:** solos de textura franco-siltosa ou franca. Apresentam uma taxa de infiltração moderada (entre 3,81 e 7,62 mm/h) em condição de saturação completa, sendo compostos maioritariamente por solos moderadamente profundos a profundos, com drenagem moderada a boa e texturas de finura média a média grossa.
- **Grupo (C) Baixa taxa de infiltração:** solos do tipo franco-argiloso arenoso. Apresentam baixas taxas de infiltração (entre 1,27 e 3,81 mm/h) quando completamente saturados, sendo compostos maioritariamente por solos que possuem uma camada que dificulta a percolação da água e apresentam uma estrutura de finura média a fina.
- **Grupo (D) Índice elevado de escoamento:** solos do tipo franco-argiloso, franco-argiloso siltoso, argiloso arenoso, franco-argiloso siltoso ou argiloso. Este grupo apresenta o maior potencial de escoamento superficial. Possuem taxas de infiltração muito baixas quando completamente saturados e são compostos maioritariamente por solos argilosos com elevado potencial de expansão, solos com lençol freático permanentemente elevado, solos com camada argilosa próxima da superfície e solos rasos sobre material praticamente impermeável.

HSG	Soil Texture	HSG definitions (USDA-NRCS,1986)	The six types of soil textures in study area
A	Sand, loamy sand, or sandy loam	Low runoff potential and high infiltration rates; This soils have high rate of water transmission (greater than 7.62 mm/hr)	(1) Loamy Sand (LS) (2) Sandy Loam (SL)
B	Silt loam or loam	Moderate infiltration rates; The soils have moderate rate of water transmission (3.81 mm/hr)	(3) Loam (LL)
C	Sandy clay loam	Low infiltration rates; The soils have a low rate of water transmission (1.27-3.81 mm/hr)	
D	Clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay, or clay	High runoff potential; These soils have very low rate of water transmission (0-1.27 mm/hr)	(4) Clay Loam (CL) (5) Heavy Clay (HC) (6) Light Clay (LC)

Figura 17 - Grupos Hidrológicos de Solo.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) disponibiliza um mapa digital mundial dos solos, que inclui uma classificação pedológica dos solos e a sua correspondência com os grupos hidrológicos de solo definidos pelo Soil Conservation Service (SCS).

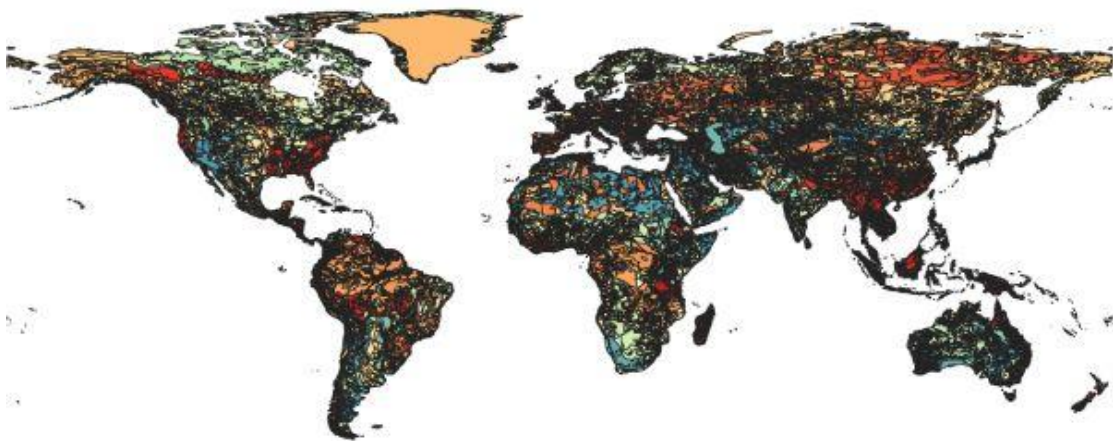


Figura 18– Mapa digital de solos.

O grupo hidrológico predominante nas bacias, de forma geral, é o Grupo (B): Escoamento superficial moderado.

- Cartografia da ocupação do solo com recurso ao **CORINE Land Cover 2018** (versão 2020).

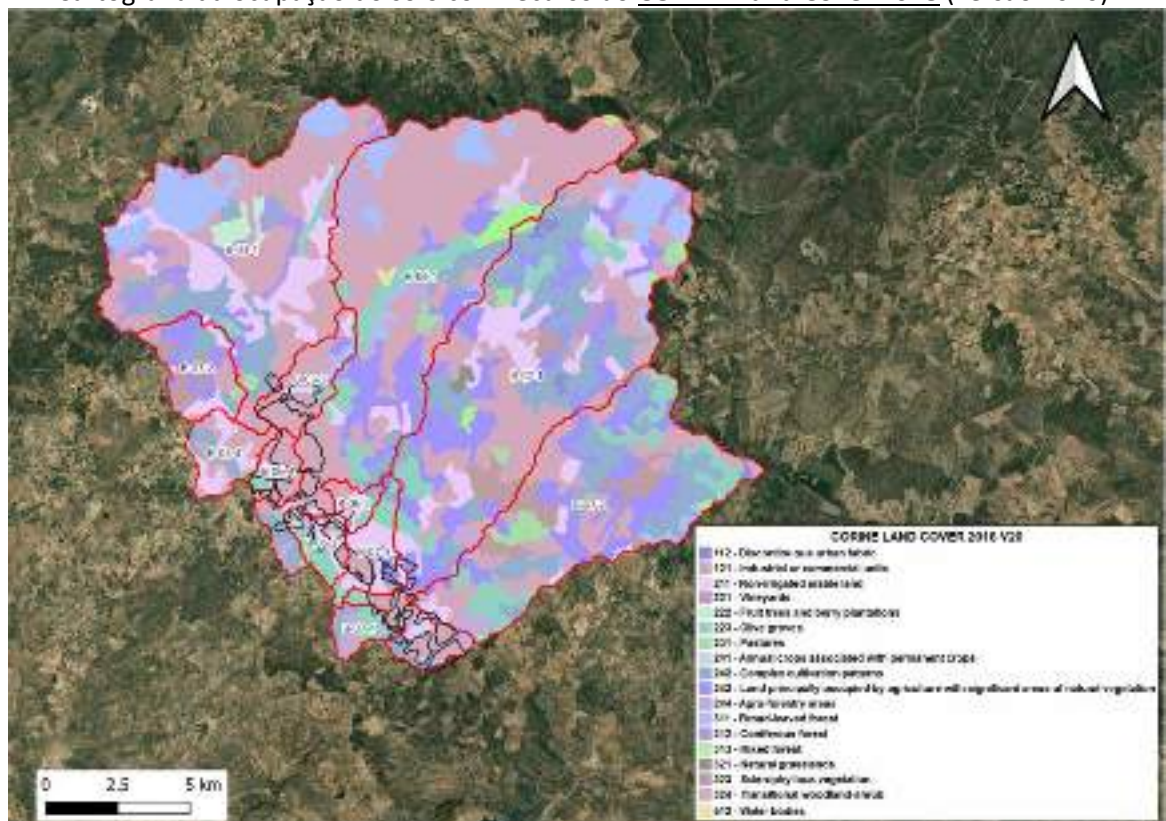


Figure 19 - Soil uses in the basins under study.

A metodologia consiste na reclassificação das coberturas raster, atribuindo um número primo distinto a cada característica base ($i < 3\% \rightarrow 1$; $i \geq 3\% \rightarrow 2$; Tipo A $\rightarrow 3$; Tipo B $\rightarrow 5$ etc).

Depois de preparadas todas as coberturas com números primos para a área de estudo, procede-se à multiplicação dos valores correspondentes em todas as camadas raster. Este processo garante que cada combinação de declive, uso do solo e tipo de solo resulte num valor único, aproveitando as propriedades dos números primos.

Com base nestes valores únicos, realiza-se uma reclassificação final segundo a tabela do Anexo I, atribuindo a cada combinação o respetivo Número de Escoamento (CN).

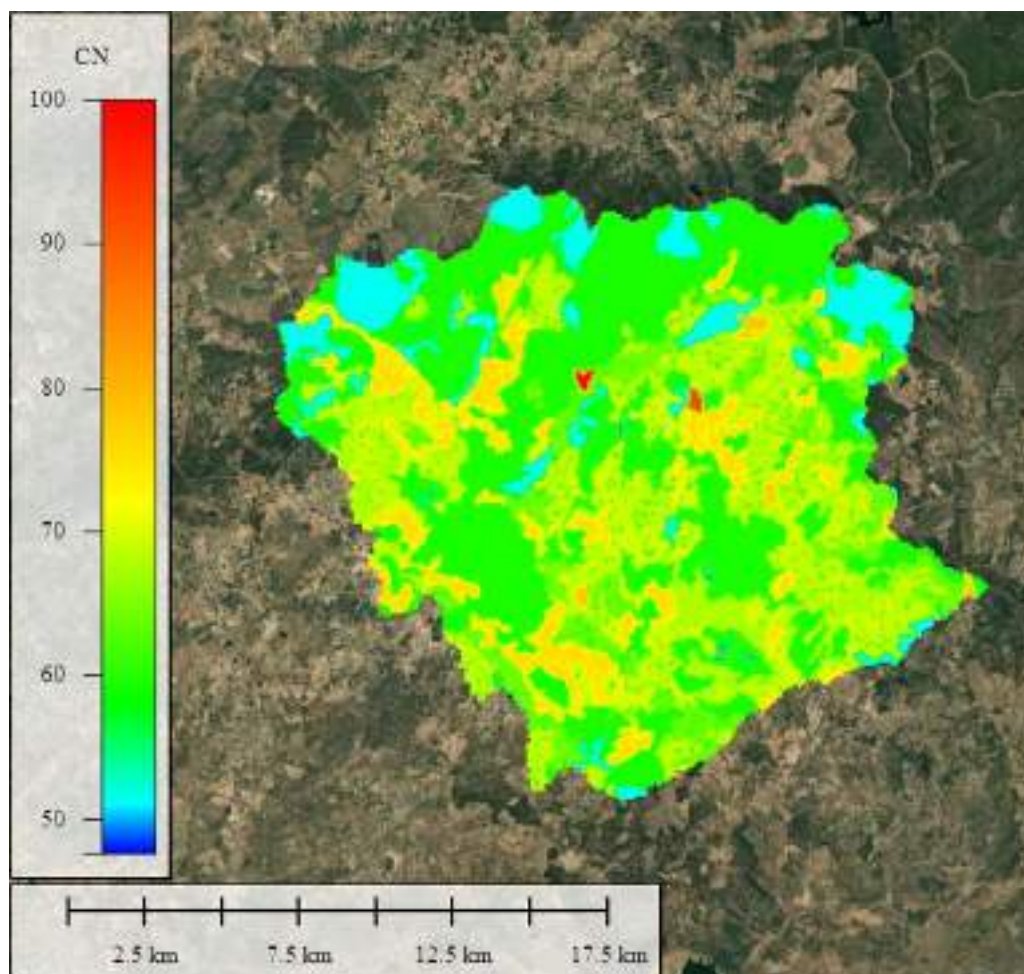


Figura 20 - Número de Escoamento (CN) nas bacias em estudo.

Os valores do CN obtidos são aplicados considerando condições médias de humidade do solo.

3.6.1. MÉTODO RACIONAL

A fórmula do Método Racional considerada é a seguinte:

$$Q = K_A \cdot \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Onde:

- $Q (m^3/s)$: Caudal de pico no ponto de descarga correspondente a um determinado período de retorno.
- C : Coeficiente de escoamento da bacia drenada.
- $I (mm/h)$: Intensidade média da precipitação correspondente ao período de retorno considerado e a um intervalo igual ao tempo de concentração.
- $A (km^2)$: Área superficial da bacia hidrográfica.
- K_A : Fator de redução areal

Redução em função da área

A maioria das análises hidrológicas exige a estimativa da precipitação sobre uma área específica, valor que normalmente é igual ou inferior ao valor pontual calculado, devido ao efeito da não simultaneidade.

Para considerar este fator, aplicou-se o fator de redução areal, conforme estimado pelo United States Weather Bureau (USWB):

$$K_A = 1.0 - [1 - \exp(-0.0021 \cdot A)] \cdot \exp(-0.53 \cdot d^{0.25})$$

Sendo A a área da bacia em km^2 e d a duração da tempestade expressa em horas (h).

3.6.1.1. Tempo de concentração

O tempo de concentração é definido como o intervalo necessário para que a precipitação ocorrida nas zonas mais distantes da bacia hidrográfica atinja o ponto de exutório. Este parâmetro é independente da configuração e intensidade da tempestade, dependendo exclusivamente das características morfológicas da bacia. Para a sua estimativa, é utilizada a fórmula de Témez, amplamente validada e reconhecida na prática hidrológica.

$$t_c = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (h)$$

Onde:

- L (km): Comprimento do percurso de escoamento mais longo na bacia.
- i : Declive médio da bacia.

Sub-bacia	A (km^2)	L (km)	J (m/m)	tc (h)
B-01	351.4	58.3	0.011	15.5
B-02-1	7.6	6.1	0.052	2.1
B-02-2	2.8	4.3	0.034	1.7
B-02-3	7.0	6.5	0.039	2.3
B-02-4	7.3	6.4	0.037	2.3
B-02-5	2.1	2.6	0.020	1.3
B-02-6	2.5	3.3	0.017	1.6
B-03-1	55.0	14.8	0.030	4.5
B-03-2	6.6	5.9	0.014	2.6
B-03-3	8.3	6.5	0.045	2.2
B-03-4	5.7	5.3	0.012	2.5
B-04	0.7	1.5	0.027	0.8
B-05-1	3.4	4.0	0.015	1.9
B-05-2	2.4	3.2	0.023	1.5
B-06-1	70.0	23.8	0.016	7.3
B-06-2	2.1	3.1	0.026	1.4
B-06-3	3.7	4.0	0.019	1.8
B-06-4	3.3	3.4	0.015	1.7
B-07-1	70.6	28.9	0.012	8.9
B-07-2	45.6	17.3	0.023	5.4

Sub-bacia	A (km ²)	L (km)	J (m/m)	tc (h)
B-07-3	5.8	5.3	0.016	2.3
B-07-4	2.9	4.0	0.025	1.7
B-08	0.3	1.0	0.048	0.5
B-09	7.6	8.4	0.042	2.8

3.6.1.2. Intensidade da precipitação

Para o cálculo do caudal, assume-se, de acordo com o método hidrometeorológico, que a situação mais crítica ocorre quando a duração da precipitação coincide com o tempo de concentração.

Como apenas se dispõe de dados de precipitação diária máxima, não é possível extrapolar valores de intensidade para eventos com diferentes durações. Assim, para determinar essas intensidades, recorre-se às curvas intensidade-duração-frequência (IDF) desenvolvidas para várias regiões de Espanha.

Este modelo espanhol foi adotado pela Administração Portuguesa no âmbito da "Elaboração de Cartografia Específica sobre o Risco de Inundação para Portugal Continental", da Agência Portuguesa do Ambiente (2014).

Através da consulta ao mapa de isolinhas dos valores I_1/I_d para Espanha, conforme estabelecido na Norma 5.2-IC, onde I_1 representa a intensidade horária e I_d a intensidade média diária, verifica-se que, na área de estudo (próxima da fronteira), este fator é igual a 10.

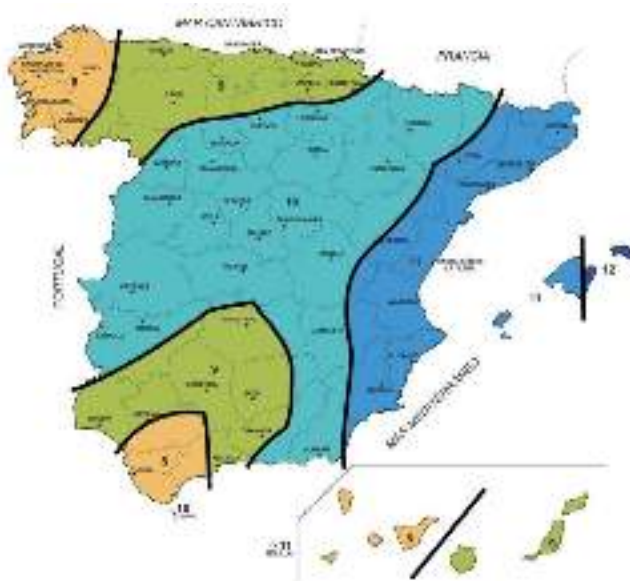


Figura 21 – Mapa de isolinhas I_1/I_d .

Para calcular a intensidade da precipitação com uma duração igual ao tempo de concentração, recorreu-se à expressão geral das curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência), onde:

$$I_t = I_d \cdot \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Sendo I_t intensidade da precipitação a considerar.

Como verificação do método, comparam-se os valores, I_{24} and $I_d (= P_{max,24h}/24)$:

$$I_{24} = I_d \cdot 10^{\frac{28^{0.1} - 24^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} = I_d \cdot 1.13$$

Assim, o modelo IDF estima uma intensidade 13% superior à obtida diretamente a partir da distribuição de extremos, o que é considerado suficientemente preciso para efeitos do presente estudo.

3.6.1.3. Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$C = \frac{(P_d - P_0) \cdot (P_d + 23P_0)}{(P_d + 11P_0)^2}$$

Onde P_d é a precipitação diária máxima associada ao período de retorno considerado e P_0 é o limiar de escoamento, dependente das características da bacia hidrográfica.

3.6.1.4. Caudais obtidos pelo método racional modificado

As tabelas seguintes apresentam os caudais obtidos para cada bacia e para cada período de retorno, de acordo com o método racional modificado.

Sub-bacia	A (km ²)	L (km)	J (m/m)	tc (h)	K _A	P ₀ (mm)	CN
B-01	351.4	58.3	0.011	15.5	0.82	32	61
B-02-1	7.6	6.1	0.052	2.1	1.0	22	69
B-02-2	2.8	4.3	0.034	1.7	1.0	21	70
B-02-3	7.0	6.5	0.039	2.3	1.0	24	68
B-02-4	7.3	6.4	0.037	2.3	0.99	25	67
B-02-5	2.1	2.6	0.020	1.3	1.00	26	65
B-02-6	2.5	3.3	0.017	1.6	1.00	20	72
B-03-1	55.0	14.8	0.030	4.5	0.95	31	62
B-03-2	6.6	5.9	0.014	2.6	1.0	32	61
B-03-3	8.3	6.5	0.045	2.2	1.0	25	67
B-03-4	5.7	5.3	0.012	2.5	0.99	25	66
B-04	0.7	1.5	0.027	0.8	1.00	22	69
B-05-1	3.4	4.0	0.015	1.9	1.0	19	72
B-05-2	2.4	3.2	0.023	1.5	1.0	21	70
B-06-1	70.0	23.8	0.016	7.3	0.94	31	62
B-06-2	2.1	3.1	0.026	1.4	1.0	25	67
B-06-3	3.7	4.0	0.019	1.8	1.0	25	67
B-06-4	3.3	3.4	0.015	1.7	1.0	29	63
B-07-1	70.6	28.9	0.012	8.9	0.94	28	64
B-07-2	45.6	17.3	0.023	5.4	1.0	27	65
B-07-3	5.8	5.3	0.016	2.3	1.0	22	69
B-07-4	2.9	4.0	0.025	1.7	1.0	28	64
B-08	0.3	1.0	0.048	0.5	1.0	18	74
B-09	7.6	8.4	0.042	2.8	1.0	25	66

T (anos) Sub-bacia	500 P _d (mm)	P _d /P ₀	C	I ₁ /I _d	t _c (h)	I(t _c) (mm/h)	Q _{p, RM} (m ³ /s)
B-01	129	4.0	0.36	10	15.46	8.6	247.3
B-02-1	129	5.7	0.49	10	2.08	34.4	34.9
B-02-2	129	6.0	0.50	10	1.72	38.7	15.0
B-02-3	129	5.5	0.47	10	2.30	32.3	29.3
B-02-4	129	5.2	0.45	10	2.29	32.4	29.3
B-02-5	129	4.9	0.43	10	1.31	45.7	11.3
B-02-6	129	6.5	0.53	10	1.63	40.1	14.5
B-03-1	129	4.1	0.37	10	4.53	20.7	111.5
B-03-2	129	4.0	0.36	10	2.61	29.8	19.7
B-03-3	129	5.2	0.45	10	2.24	32.9	34.0
B-03-4	129	5.1	0.44	10	2.47	30.9	21.7
B-04	129	5.7	0.49	10	0.83	59.6	5.4
B-05-1	129	6.6	0.54	10	1.90	36.4	18.4
B-05-2	129	6.0	0.50	10	1.48	42.5	14.2
B-06-1	129	4.2	0.38	10	7.33	14.9	102.5
B-06-2	129	5.2	0.45	10	1.41	43.7	11.5
B-06-3	129	5.2	0.45	10	1.84	37.2	17.2
B-06-4	129	4.4	0.39	10	1.70	39.0	14.0
B-07-1	129	4.6	0.41	10	8.95	12.9	96.9
B-07-2	129	4.8	0.42	10	5.37	18.5	94.6
B-07-3	129	5.7	0.49	10	2.32	32.1	25.0
B-07-4	129	4.6	0.41	10	1.75	38.4	12.5
B-08	129	7.2	0.57	10	0.54	76.0	3.1
B-09	129	5.1	0.44	10	2.77	28.7	26.8

T (anos) Sub-bacia	200 P _d (mm)	P _d /P ₀	C	I ₁ /I _d	t _c (h)	I(t _c) (mm/h)	Q _{p, RM} (m ³ /s)
B-01	114	3.6	0.32	10	15.46	7.6	194.2
B-02-1	114	5.1	0.44	10	2.08	30.5	28.2
B-02-2	114	5.3	0.46	10	1.72	34.2	12.2
B-02-3	114	4.8	0.43	10	2.30	28.6	23.5
B-02-4	114	4.6	0.41	10	2.29	28.7	23.5
B-02-5	114	4.3	0.39	11	1.31	44.3	9.8
B-02-6	114	5.7	0.49	12	1.63	41.6	13.9
B-03-1	114	3.7	0.33	10	4.53	18.4	87.8
B-03-2	114	3.6	0.32	10	2.61	26.4	15.4
B-03-3	114	4.6	0.41	10	2.24	29.1	27.3
B-03-4	114	4.5	0.40	10	2.47	27.3	17.4
B-04	114	5.1	0.44	10	0.83	52.7	4.4
B-05-1	114	5.9	0.49	10	1.90	32.3	15.0
B-05-2	114	5.3	0.46	10	1.48	37.6	11.5
B-06-1	114	3.7	0.34	10	7.33	13.2	80.8
B-06-2	114	4.6	0.41	10	1.41	38.7	9.2
B-06-3	114	4.6	0.41	10	1.84	32.9	13.8
B-06-4	114	3.9	0.35	10	1.70	34.6	11.0
B-07-1	114	4.0	0.36	10	8.95	11.4	76.9
B-07-2	114	4.2	0.38	10	5.37	16.3	75.3
B-07-3	114	5.1	0.44	10	2.32	28.4	20.1

T (anos) Sub-bacia	200 P _d (mm)	P _d /P ₀	C	I ₁ /I _d	t _c (h)	I(t _c) (mm/h)	Q _{p, RM} (m ³ /s)
B-07-4	114	4.0	0.36	10	1.75	34.0	9.9
B-08	114	6.4	0.53	10	0.54	67.3	2.6
B-09	114	4.5	0.40	10	2.77	25.4	21.5

T (anos) Sub-bacia	100 P _d (mm)	P _d /P ₀	C	I ₁ /I _d	t _c (h)	I(t _c) (mm/h)	Q _{p, RM} (m ³ /s)
B-01	103	3.2	0.29	10	15.46	6.9	157.6
B-02-1	103	4.6	0.41	10	2.08	27.5	23.5
B-02-2	103	4.8	0.42	10	1.72	31.0	10.2
B-02-3	103	4.4	0.39	10	2.30	25.9	19.5
B-02-4	103	4.2	0.38	10	2.29	25.9	19.5
B-02-5	103	3.9	0.35	11	1.31	40.0	8.1
B-02-6	103	5.2	0.45	12	1.63	37.6	11.6
B-03-1	103	3.3	0.30	10	4.53	16.6	71.4
B-03-2	103	3.2	0.29	10	2.61	23.9	12.5
B-03-3	103	4.2	0.38	10	2.24	26.3	22.6
B-03-4	103	4.1	0.37	10	2.47	24.7	14.4
B-04	103	4.6	0.41	10	0.83	47.7	3.6
B-05-1	103	5.3	0.46	10	1.90	29.2	12.6
B-05-2	103	4.8	0.42	10	1.48	34.0	9.6
B-06-1	103	3.4	0.30	10	7.33	11.9	65.8
B-06-2	103	4.2	0.38	10	1.41	35.0	7.6
B-06-3	103	4.2	0.38	10	1.84	29.8	11.4
B-06-4	103	3.5	0.32	10	1.70	31.3	9.0
B-07-1	103	3.7	0.33	10	8.95	10.3	63.0
B-07-2	103	3.8	0.34	10	5.37	14.8	62.0
B-07-3	103	4.6	0.41	10	2.32	25.7	16.8
B-07-4	103	3.7	0.33	10	1.75	30.7	8.1
B-08	103	5.8	0.49	10	0.54	60.8	2.2
B-09	103	4.1	0.37	10	2.77	23.0	17.7

T (anos) Sub-bacia	50 P _d (mm)	P _d /P ₀	C	I ₁ /I _d	t _c (h)	I(t _c) (mm/h)	Q _{p, RM} (m ³ /s)
B-01	92	2.9	0.25	10	15.46	6.1	124.5
B-02-1	92	4.1	0.37	10	2.08	24.7	19.1
B-02-2	92	4.3	0.39	10	1.72	27.8	8.3
B-02-3	92	3.9	0.35	10	2.30	23.2	15.9
B-02-4	92	3.8	0.34	10	2.29	23.3	15.7
B-02-5	92	3.5	0.31	11	1.31	35.9	6.5
B-02-6	92	4.7	0.41	12	1.63	33.8	9.5
B-03-1	92	3.0	0.26	10	4.53	14.9	56.5
B-03-2	92	2.9	0.25	10	2.61	21.4	9.9
B-03-3	92	3.8	0.34	10	2.24	23.6	18.3
B-03-4	92	3.7	0.33	10	2.47	22.2	11.6
B-04	92	4.1	0.37	10	0.83	42.8	3.0
B-05-1	92	4.8	0.42	10	1.90	26.2	10.3
B-05-2	92	4.3	0.39	10	1.48	30.5	7.8

T (anos) Sub-bacia	50 P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	t_c (h)	$I(t_c)$ (mm/h)	$Q_{p, RM}$ (m^3/s)
B-06-1	92	3.0	0.27	10	7.33	10.7	52.2
B-06-2	92	3.8	0.34	10	1.41	31.4	6.2
B-06-3	92	3.8	0.34	10	1.84	26.7	9.3
B-06-4	92	3.1	0.28	10	1.70	28.1	7.2
B-07-1	92	3.3	0.29	10	8.95	9.2	50.4
B-07-2	92	3.4	0.31	10	5.37	13.3	49.7
B-07-3	92	4.1	0.37	10	2.32	23.1	13.7
B-07-4	92	3.3	0.29	10	1.75	27.6	6.5
B-08	92	5.2	0.45	10	0.54	54.6	1.8
B-09	92	3.7	0.33	10	2.77	20.6	14.3

T (anos) Sub-bacia	25 P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	t_c (h)	$I(t_c)$ (mm/h)	$Q_{p, RM}$ (m^3/s)
B-01	82	2.6	0.22	10	15.46	5.4	94.2
B-02-1	82	3.6	0.33	10	2.08	21.9	15.0
B-02-2	82	3.8	0.34	10	1.72	24.6	6.6
B-02-3	82	3.5	0.31	10	2.30	20.6	12.4
B-02-4	82	3.3	0.30	10	2.29	20.6	12.3
B-02-5	82	3.1	0.27	10	1.31	29.1	4.6
B-02-6	82	4.1	0.37	10	1.63	25.5	6.5
B-03-1	82	2.6	0.22	10	4.53	13.2	42.9
B-03-2	82	2.6	0.22	10	2.61	19.0	7.5
B-03-3	82	3.3	0.30	10	2.24	20.9	14.2
B-03-4	82	3.2	0.29	10	2.47	19.6	9.0
B-04	82	3.6	0.33	10	0.83	37.9	2.3
B-05-1	82	4.2	0.38	10	1.90	23.2	8.2
B-05-2	82	3.8	0.34	10	1.48	27.0	6.2
B-06-1	82	2.7	0.23	10	7.33	9.4	39.7
B-06-2	82	3.3	0.30	10	1.41	27.8	4.8
B-06-3	82	3.3	0.30	10	1.84	23.7	7.2
B-06-4	82	2.8	0.24	10	1.70	24.8	5.5
B-07-1	82	2.9	0.26	10	8.95	8.2	38.8
B-07-2	82	3.0	0.27	10	5.37	11.7	38.4
B-07-3	82	3.6	0.33	10	2.32	20.4	10.7
B-07-4	82	2.9	0.26	10	1.75	24.4	5.0
B-08	82	4.6	0.41	10	0.54	48.3	1.4
B-09	82	3.2	0.29	10	2.77	18.3	11.1

T (anos) Sub-bacia	10 P _d (mm)	P _d /P ₀	C	I ₁ /I _d	t _c (h)	I(t _c) (mm/h)	Q _{p, RM} (m ³ /s)
B-01	68	2.1	0.16	10	15.46	4.5	58.9
B-02-1	68	3.0	0.27	10	2.08	18.1	10.1
B-02-2	68	3.2	0.28	10	1.72	20.4	4.5
B-02-3	68	2.9	0.25	10	2.30	17.0	8.3
B-02-4	68	2.8	0.24	10	2.29	17.1	8.2
B-02-5	68	2.6	0.22	10	1.31	24.1	3.0
B-02-6	68	3.4	0.31	10	1.63	21.1	4.4
B-03-1	68	2.2	0.17	10	4.53	10.9	27.0
B-03-2	68	2.1	0.16	10	2.61	15.7	4.7
B-03-3	68	2.8	0.24	10	2.24	17.3	9.5
B-03-4	68	2.7	0.23	10	2.47	16.3	6.0
B-04	68	3.0	0.27	10	0.83	31.4	1.6
B-05-1	68	3.5	0.31	10	1.90	19.2	5.7
B-05-2	68	3.2	0.28	10	1.48	22.4	4.2
B-06-1	68	2.2	0.18	10	7.33	7.8	25.1
B-06-2	68	2.8	0.24	10	1.41	23.0	3.2
B-06-3	68	2.8	0.24	10	1.84	19.6	4.8
B-06-4	68	2.3	0.19	10	1.70	20.6	3.5
B-07-1	68	2.4	0.20	10	8.95	6.8	25.1
B-07-2	68	2.5	0.21	10	5.37	9.7	25.1
B-07-3	68	3.0	0.27	10	2.32	16.9	7.2
B-07-4	68	2.4	0.20	10	1.75	20.2	3.2
B-08	68	3.8	0.34	10	0.54	40.0	1.0
B-09	68	2.7	0.23	10	2.77	15.1	7.3

3.6.2. MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

Os métodos propostos para a transformação precipitação-escoamento são principalmente dois: a utilização do hidrograma unitário (H.U.), que é uma função de transferência para uma precipitação de magnitude unitária distribuída por toda a bacia, tomando como entrada o hietograma e como saída o hidrograma, obtido por superposição linear de hidrogramas unitários; e a aplicação da equação da onda cinemática. Este último método é raramente utilizado devido à sua complexidade.

No método do hidrograma unitário, existem duas abordagens: aplicar um hidrograma unitário definido diretamente ou usar um dos hidrogramas unitários sintéticos disponibilizados pelo modelo HEC-HMS. Estas opções sintéticas incluem o hidrograma de Clark, o de Snyder e o hidrograma adimensional da S.C.S.

O hidrograma sintético recomendado é o Hidrograma Unitário S.C.S., que depende apenas de um parâmetro: o t_{lag} , ou tempo de atraso, que corresponde à diferença temporal entre o centroide do hietograma efetivo e o pico do hidrograma unitário. O valor de t_{lag} foi estimado utilizando a expressão empírica proposta por Témez:

$$t_{lag} = 0.35 \cdot t_c (h)$$

Foi utilizado o hidrograma unitário adimensional (H.U.) proposto pelo S.C.S., no qual tanto o caudal como o tempo são expressos como quocientes relativamente ao caudal de pico (Q_p) e ao tempo de pico (T_p), respetivamente, eliminando assim o efeito da dimensão da bacia e grande parte do efeito da sua forma.

As relações entre as diferentes variáveis são apresentadas a seguir:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_{lag}$$
$$Q_p = \frac{A}{4.8 \cdot T_p} = \frac{A}{4.8 \cdot \left(\frac{D}{2} + t_{lag}\right)}$$

Onde:

- $A (km^2)$: Área superficial da bacia.
- $T_p (h)$: Tempo de pico
- $D (h)$: Intervalo de discretização do hietograma.

3.6.2.1. Definição do sistema hidrológico

Para a aplicação do método do hidrograma unitário, foi desenvolvido um modelo de cada bacia, dividida em sub-bacias, utilizando o programa HEC-HMS 4.10. Desta forma, determina-se o hidrograma dos caudais provenientes de cada sub-bacia, permitindo estimar o caudal em circulação antes e após a confluência, a montante dos pontos de controlo.



Figura 22 – B03 Modelo hidrológico.

3.6.2.2. Construção do modelo hidrometeorológico

Modelo da bacia:

- Não é considerada a propagação do escoamento.
- Não é considerado o escoamento base.
- As perdas são calculadas pelo método do Número de Escoamento (SCS-CN).
- A transformação da precipitação em caudal é efetuada através do hidrograma unitário adimensional (U.H.) do SCS.
- Intervalo de cálculo $\Delta t = 5 \text{ min}$.

Modelo meteorológico:

- A duração da precipitação considerada é de 24 horas.
- Incremento temporal usado na discretização do hietograma $\Delta t = 5 \text{ min}$.
- Hietograma sintético em blocos alternados.

3.6.2.3. Resultados do Método do Hidrograma Unitário

Com a aplicação do método precipitação-escoamento do SCS, a partir do hidrograma de precipitação bruta obtém-se o hietograma de precipitação líquida, e com a precipitação excedentária resultante gera-se o hidrograma de caudais da bacia.

No Anexo II apresentam-se os resultados obtidos para cada bacia e período de retorno. Como exemplo, o gráfico seguinte ilustra os resultados obtidos para a bacia B-03, correspondente a um período de retorno de 500 anos:

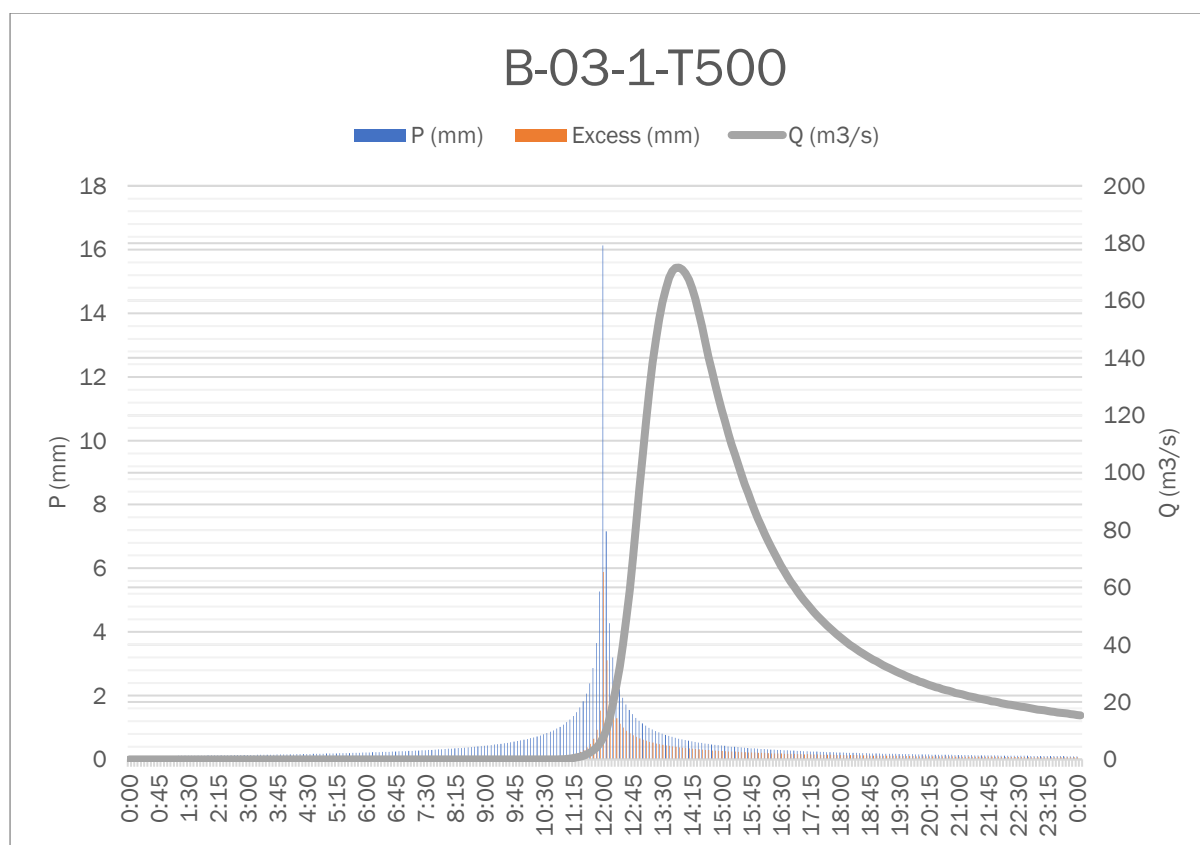


Figura 23 - Exemplo do Método do Hidrograma Unitário. B-03 T=500 anos.

3.6.3. COMPARAÇÃO: MÉTODO RACIONAL MODIFICADO – MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

Embora estes dois métodos não sejam diretamente comparáveis - dado que o método racional fornece apenas um valor de caudal de pico pontual, enquanto o método do hidrograma unitário permite obter a evolução temporal do caudal $Q(t)$ - é possível estabelecer uma comparação entre os caudais máximos (de pico) estimados por ambos os métodos.

As tabelas seguintes apresentam os caudais para cada bacia e período de retorno, assim como a variação (aumento ou redução) do caudal de pico calculado pelo método do hidrograma unitário em relação ao método racional.

T (anos) Sub-bacia	500 $Q_{p, RM}$ (m ³ /s)	$Q_{p, UH}$ (m ³ /s)	
B-01	247.3	452.6	+83.0%
B-02-1	34.9	51.6	+47.7%
B-02-2	15.0	22.2	+47.5%
B-02-3	29.3	43.8	+49.7%
B-02-4	29.3	43.4	+47.9%
B-02-5	11.3	15.6	+38.2%
B-02-6	14.5	15.1	+4.0%
B-03-1	111.5	171.5	+53.8%
B-03-2	19.7	27.3	+38.8%
B-03-3	34.0	50.3	+47.9%
B-03-4	21.7	31.3	+44.1%
B-04	5.4	7.5	+38.9%
B-05-1	18.4	27.2	+48.1%
B-05-2	14.2	20.8	+46.7%
B-06-1	102.5	159.1	+55.2%
B-06-2	11.5	16.5	+43.4%
B-06-3	17.2	24.7	+43.2%
B-06-4	14.0	19.2	+37.6%
B-07-1	96.9	172.3	+77.9%
B-07-2	94.6	144.8	+53.1%
B-07-3	25.0	32.1	+28.6%
B-07-4	12.5	12.1	-3.4%
B-08	3.1	4.3	+36.8%
B-09	26.8	39.1	+45.8%

T (anos)	200		
Sub-bacia	$Q_{p,RM}$ (m^3/s)	$Q_{p,UH}$ (m^3/s)	
B-01	194.2	344.1	+77.2%
B-02-1	28.2	40.8	+44.6%
B-02-2	12.2	17.6	+44.4%
B-02-3	23.5	34.4	+46.1%
B-02-4	23.5	33.8	+43.6%
B-02-5	9.8	12.0	+21.9%
B-02-6	13.9	12.1	-12.7%
B-03-1	87.8	129.4	+47.4%
B-03-2	15.4	20.3	+31.4%
B-03-3	27.3	39.3	+44.0%
B-03-4	17.4	24.3	+39.7%
B-04	4.4	5.9	+35.3%
B-05-1	15.0	21.8	+45.6%
B-05-2	11.5	16.5	+43.6%
B-06-1	80.8	120.6	+49.2%
B-06-2	9.2	12.9	+39.8%
B-06-3	13.8	19.3	+39.5%
B-06-4	11.0	14.5	+31.4%
B-07-1	76.9	132.6	+72.4%
B-07-2	75.3	111.7	+48.3%
B-07-3	20.1	25.3	+25.6%
B-07-4	9.9	9.2	-7.5%
B-08	2.6	3.5	+35.8%
B-09	21.5	30.3	+41.2%

T (anos)	100		
Sub-bacia	$Q_{p,RM}$ (m^3/s)	$Q_{p,UH}$ (m^3/s)	
B-01	157.6	270.3	+71.5%
B-02-1	23.5	33.1	+41.0%
B-02-2	10.2	14.4	+41.6%
B-02-3	19.5	27.8	+42.3%
B-02-4	19.5	27.2	+39.7%
B-02-5	8.1	9.5	+17.3%
B-02-6	11.6	10.0	-14.0%
B-03-1	71.4	100.8	+41.2%
B-03-2	12.5	15.6	+24.5%
B-03-3	22.6	31.6	+40.0%
B-03-4	14.4	19.4	+35.0%
B-04	3.6	4.8	+32.3%
B-05-1	12.6	18.0	+43.2%
B-05-2	9.6	13.5	+40.8%
B-06-1	65.8	94.4	+43.4%
B-06-2	7.6	10.4	+36.2%
B-06-3	11.4	15.5	+35.4%
B-06-4	9.0	11.3	+25.3%
B-07-1	63.0	105.3	+67.0%
B-07-2	62.0	88.8	+43.3%
B-07-3	16.8	20.6	+22.8%

T (anos)	100		
Sub-bacia	$Q_{p,RM}$ (m ³ /s)	$Q_{p,UH}$ (m ³ /s)	
B-07-4	8.1	7.3	-10.4%
B-08	2.2	2.9	+33.4%
B-09	17.7	24.2	+36.5%

T (anos)	50		
Sub-bacia	$Q_{p,RM}$ (m ³ /s)	$Q_{p,UH}$ (m ³ /s)	
B-01	124.5	203.7	+63.6%
B-02-1	19.1	25.9	+35.5%
B-02-2	8.3	11.4	+37.2%
B-02-3	15.9	21.6	+36.2%
B-02-4	15.7	20.9	+32.7%
B-02-5	6.5	7.2	+10.5%
B-02-6	9.5	8.0	-16.2%
B-03-1	56.5	74.8	+32.3%
B-03-2	9.9	11.3	+14.1%
B-03-3	18.3	24.3	+33.1%
B-03-4	11.6	14.8	+27.6%
B-04	3.0	3.8	+28.6%
B-05-1	10.3	14.4	+39.4%
B-05-2	7.8	10.7	+36.6%
B-06-1	52.2	70.7	+35.4%
B-06-2	6.2	8.0	+29.6%
B-06-3	9.3	11.9	+28.6%
B-06-4	7.2	8.4	+16.9%
B-07-1	50.4	80.4	+59.5%
B-07-2	49.7	67.9	+36.5%
B-07-3	13.7	16.1	+17.9%
B-07-4	6.5	5.4	-17.1%
B-08	1.8	2.3	+28.0%
B-09	14.3	18.5	+29.3%

T (anos)	25		
Sub-bacia	$Q_{p,RM}$ (m ³ /s)	$Q_{p,UH}$ (m ³ /s)	
B-01	94.2	148.9	+58.1%
B-02-1	15.0	19.7	+31.1%
B-02-2	6.6	8.7	+32.6%
B-02-3	12.4	16.3	+31.3%
B-02-4	12.3	15.7	+27.9%
B-02-5	4.6	5.2	+12.7%
B-02-6	6.5	6.3	-2.6%
B-03-1	42.9	53.5	+24.7%
B-03-2	7.5	7.9	+5.5%
B-03-3	14.2	18.2	+27.9%
B-03-4	9.0	11.0	+22.0%
B-04	2.3	2.9	+24.8%
B-05-1	8.2	11.3	+37.4%
B-05-2	6.2	8.2	+32.6%

T (anos) Sub-bacia	25 $Q_{p,RM}$ (m^3/s)	$Q_{p,UH}$ (m^3/s)	
B-06-1	39.7	51.2	+28.9%
B-06-2	4.8	5.9	+22.6%
B-06-3	7.2	8.9	+23.4%
B-06-4	5.5	5.9	+7.4%
B-07-1	38.8	59.6	+53.8%
B-07-2	38.4	50.3	+30.9%
B-07-3	10.7	12.3	+14.6%
B-07-4	5.0	3.9	-22.2%
B-08	1.4	1.9	+31.9%
B-09	11.1	13.7	+23.2%

T (anos) Sub-bacia	10 $Q_{p,RM}$ (m^3/s)	$Q_{p,UH}$ (m^3/s)	
B-01	58.9	84.3	+43.1%
B-02-1	10.1	12.0	+18.3%
B-02-2	4.5	5.4	+21.1%
B-02-3	8.3	9.7	+16.7%
B-02-4	8.2	9.2	+12.8%
B-02-5	3.0	2.8	-7.3%
B-02-6	4.4	4.0	-10.1%
B-03-1	27.0	28.8	+6.5%
B-03-2	4.7	4.0	-14.6%
B-03-3	9.5	10.6	+12.1%
B-03-4	6.0	6.3	+5.7%
B-04	1.6	1.7	+8.4%
B-05-1	5.7	7.2	+27.0%
B-05-2	4.2	5.1	+21.3%
B-06-1	25.1	28.5	+13.4%
B-06-2	3.2	3.4	+6.4%
B-06-3	4.8	5.2	+8.5%
B-06-4	3.5	3.1	-11.8%
B-07-1	25.1	34.8	+38.9%
B-07-2	25.1	29.2	+16.5%
B-07-3	7.2	7.5	+3.5%
B-07-4	3.2	2.1	-35.1%
B-08	1.0	1.2	+19.3%
B-09	7.3	7.9	+7.5%

O método do hidrograma unitário (HU) apresenta, de forma geral, valores mais conservadores do que o método racional (MR) nas sub-bacias. Por esse motivo, neste estudo, os resultados obtidos pelo método HU foram adotados como referência para as simulações hidráulicas.

4. CÁLCULO HIDRÁULICO

4.1. INTRODUÇÃO

O modelo hidráulico foi desenvolvido utilizando o software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System), uma versão atualizada do HEC-2 – Water Surface Profiles, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do U.S. Army Corps of Engineers. A versão utilizada neste estudo corresponde à 6.3.

As funcionalidades que permitem o escoamento bidimensional no HEC-RAS foram concebidas para viabilizar a modelação combinada 1D/2D. O algoritmo de modelação do escoamento 2D apresenta as seguintes características:

- **Capacidade de modelação 1D, 2D e combinada.** O HEC-RAS permite realizar simulações unidimensionais (1D), bidimensionais (2D) ou uma combinação de ambas. A possibilidade de aplicar modelação combinada num mesmo modelo em regime não permanente facilita a análise de cursos de água com extensão significativa, utilizando modelação 1D em trechos lineares e modelação 2D em zonas que requerem maior precisão no cálculo hidrodinâmico.
- **Resolução 2D por equações de águas pouco profundas ou por onda difusiva.** O programa resolve os escoamentos 2D utilizando as equações de águas pouco profundas (Shallow Water Equations) ou, em alternativa, as equações da onda difusiva. Em geral, as equações da onda difusiva permitem tempos de cálculo mais reduzidos e apresentam maior estabilidade. As equações de águas pouco profundas, embora mais exigentes em termos computacionais, aplicam-se a uma gama mais vasta de situações hidrodinâmicas.
- **Solução por algoritmo de volumes finitos implícito.** Na resolução das equações de escoamento 2D em regime não permanente, o HEC-RAS utiliza um algoritmo implícito baseado em volumes finitos. Este método permite intervalos de cálculo mais longos em comparação com métodos explícitos e oferece maior estabilidade relativamente a técnicas mais tradicionais, como o método dos elementos finitos, assegurando elevada fiabilidade na definição de zonas molhadas e secas. Assim, as zonas de escoamento 2D podem iniciar-se completamente secas e, ainda assim, resolver de forma precisa um evento de cheia, quer em regime subcrítico, supercrítico ou misto.
- **Resolução sincronizada 1D-2D.** Durante o cálculo passo a passo, a resolução dos algoritmos 1D e 2D encontra-se estreitamente acoplada, permitindo iterações de transferência de caudal entre elementos 1D e 2D no mesmo passo de cálculo. Isto assegura uma sincronização direta e coerente entre os domínios 1D e 2D em cada etapa do processo computacional.
- **Malhas estruturadas e não estruturadas.** O software está preparado para trabalhar com malhas estruturadas e não estruturadas, sendo o seu tratamento interno equivalente. Contudo, a eficiência computacional é superior quando as células são ortogonais entre si. As células podem apresentar forma triangular, quadrada, retangular ou poligonal (até um máximo de oito lados). Estas malhas são delimitadas por um polígono exterior dentro do qual são distribuídas células de diferentes tamanhos e geometrias.

Classificação das características hidráulicas detalhadas das células e das suas arestas. As células não têm de formar uma superfície plana, nem as suas arestas e bordos precisam de ser linhas rectas com uma única dimensão ou elevação. Pelo contrário, cada célula e aresta molda-se ao terreno subjacente. Estes modelos são frequentemente designados na literatura como “modelos subgrid de alta

resolução”. O termo “subgrid” indica que informações detalhadas do terreno subjacente são usadas para, através de pré-processamento, estabelecer tabelas geométricas e hidráulicas que caracterizam as células e as suas arestas com base no terreno. O pré-processamento da zona 2D gera uma relação elevação-volume em cada célula, baseada nos dados detalhados do MDT. Por isso, uma célula pode estar parcialmente molhada, dependendo do volume de água para uma dada elevação da superfície da água, segundo uma grelha de 0,5 m. Além disso, cada aresta da célula funciona como uma secção transversal e é classificada de acordo com as suas próprias características hidráulicas (rugosidade, área, perímetro molhado, etc.). O escoamento através de uma aresta (e, conseqüentemente, entre duas células) baseia-se nestes dados detalhados. Esta abordagem permite modelar com células de grandes dimensões sem perder demasiada informação detalhada sobre o terreno subjacente que controla o movimento do escoamento. Adicionalmente, a localização das arestas ao longo dos elementos de controlo do terreno (estradas, aterros, muros, etc.) melhora consideravelmente os cálculos hidráulicos, utilizando apenas algumas células.

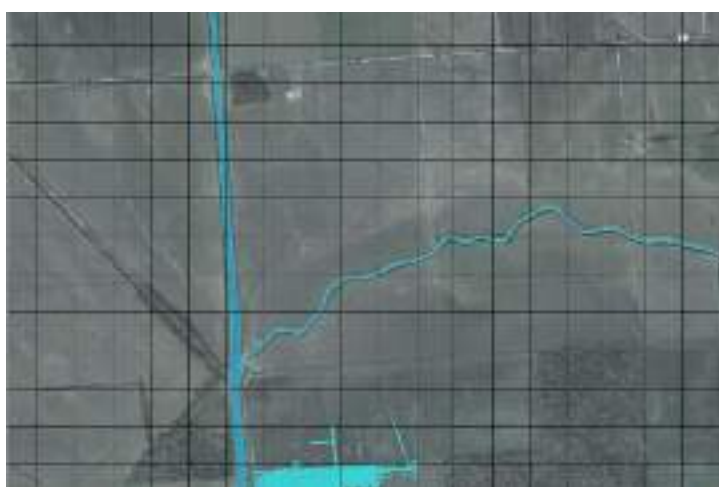


Figura 24 - Exemplo de pequenos canais a circular através de células de grandes dimensões..

4.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

4.2.1. PARÂMETROS TEMPORAIS E DADOS GERAIS

PARÂMETROS TEMPORAIS	
Tempo inicial (s)	0
Tempo máximo de simulação (s)	25200
Intervalo de resultados (s)	300
Passo de cálculo	Variável de Courant
Intervalo do número de Courant	0.5 -2.0

PARÂMETROS GERAIS	
Número de processadores	Todos os disponíveis
Equações	SWE-ELM (original /faster)
Iterações máximas	30
Tolerância no cálculo da superfície livre (m)	0.003
Tolerância no volume (m)	0.003

4.2.2. MODELO TOPOGRÁFICO

Os dados do terreno utilizados na análise hidráulica atualizada foram obtidos a partir do Centro de Dados da Direção-Geral do Território (DGT), utilizando o DGT CDD Data Downloader, com uma resolução espacial de 0,5 m por pixel. Estes dados foram importados para o HEC-RAS em formato GeoTIFF para gerar o terreno de cálculo do modelo hidráulico atualizado. A figura seguinte ilustra o terreno utilizado.

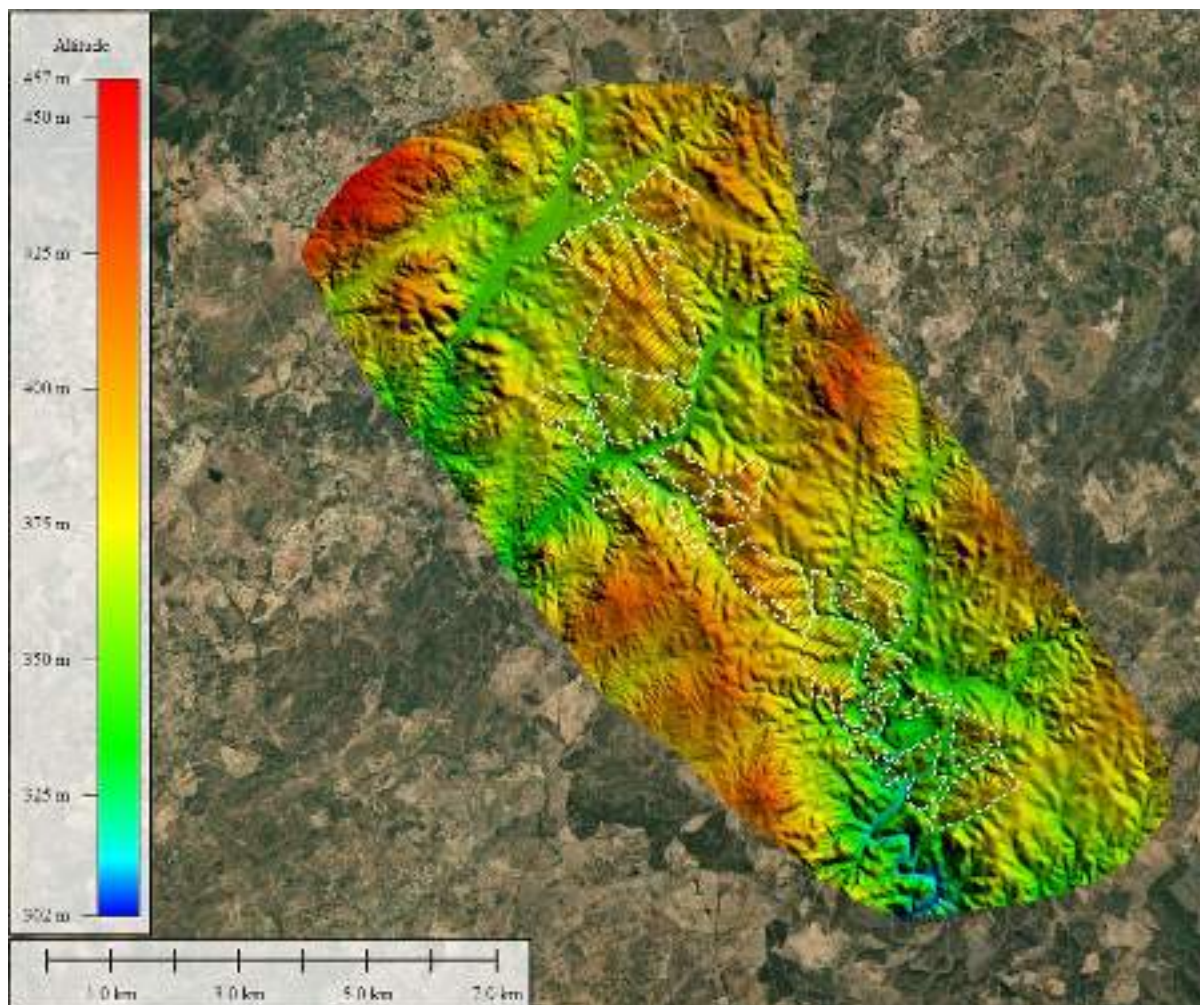


Figura 25 - Modelos digitais do terreno utilizados no cálculo hidráulico.

4.2.3. CARACTERÍSTICAS DA MALHA

As características da malha de cálculo são apresentadas na tabela seguinte:

CARACTERÍSTICAS DA MALHA	
Dimensão base da célula (m)	15
Tamanho médio da célula (m ²)	226
Tamanho máximo da célula (m ²)	547
Tamanho mínimo da célula (m ²)	177
Número de células	152364

4.2.4. RUGOSIDADE

As perdas por fricção são calculadas com base na fórmula de Manning. Sendo um modelo bidimensional, são considerados fatores como a sinuosidade e a irregularidade das secções. A tabela de referência para a definição dos valores de n de Manning é apresentada de seguida.

TABLE 5-4. Values of the Manning Coefficient n (continued)			
Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
III. Mountainous or Rugged			
A. Earth, straight, and uniform			
1. Clean, recently excavated	0.015	0.018	0.020
2. Clean, well-maintained	0.015	0.020	0.025
3. Gravel, uniform surface, clean	0.020	0.025	0.030
4. With sharp, grass-free points	0.025	0.030	0.035
B. Earth, winding and irregular			
1. No vegetation	0.030	0.035	0.040
2. Grass, dense and low	0.030	0.035	0.040
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom, not rubble-free	0.035	0.040	0.045
5. Stony bottom, not rubble-free	0.035	0.040	0.045
6. Cobble bottom, not rubble-free	0.035	0.040	0.045
C. Vegetation-covered or lodged			
1. No vegetation	0.035	0.040	0.045
2. Light brush or weeds	0.035	0.040	0.045
D. Rock cuts			
1. Smooth and uniform	0.035	0.040	0.045
2. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.045
E. Channels not maintained, weeds and brush cover			
1. Dense weeds, high at flow depth	0.035	0.040	0.045
2. Dense bottom, brush on sides	0.035	0.040	0.045
3. Dense, highest stage of flow	0.035	0.040	0.045
4. Dense brush, high stage	0.035	0.040	0.045
IV. Mountainous Rugged			
A. Plain stream, deep, with no flood stage			
B. Stream or plain			
1. Clean, straight, full stage, no effect of deep pools	0.035	0.040	0.045
2. Same as above, but with weeds and weeds	0.035	0.040	0.045
3. Clean, winding, some pools and weeds	0.035	0.040	0.045
4. Same as above, but with weeds and weeds	0.035	0.040	0.045
5. Same as above, but with weeds and weeds	0.035	0.040	0.045
6. Same as above, but with weeds and weeds	0.035	0.040	0.045
7. Shallow, rocky, steep pools	0.035	0.040	0.045
8. Shallow, rocky, steep pools, or boulders with heavy stand of trees and underbrush	0.035	0.040	0.045
C. Mountainous, no vegetation, a stream, but with steep, trees and brush along banks, no effect of high stage			
1. Bottom, gravel, cobbles, and few boulders	0.035	0.040	0.045
2. Bottom, cobbles with large boulders	0.035	0.040	0.045
D. Plain stream			
A. Clean, no brush			
1. Shallow, no brush	0.035	0.040	0.045
2. High stage	0.035	0.040	0.045
B. Vegetated stream			
1. No brush	0.035	0.040	0.045
2. Medium, low stage	0.035	0.040	0.045
3. Medium, high stage	0.035	0.040	0.045
C. Brush			
1. Medium, low, heavy brush	0.035	0.040	0.045
2. Light brush, low stage, in stream	0.035	0.040	0.045
3. Light brush, low stage, in stream	0.035	0.040	0.045
4. Medium to dense brush, in stream	0.035	0.040	0.045
D. Trees			
1. Dense brush, medium, straight	0.035	0.040	0.045
2. Dense brush, with some straight, no brush	0.035	0.040	0.045
3. Same as above, but with heavy growth of brush	0.035	0.040	0.045
4. Heavy stand of brush, a few down trees, with some growth, low stage below forest	0.035	0.040	0.045
5. Same as above, but with low stage reaching brush	0.035	0.040	0.045
E. Mountainous, top with no flood stage			
A. Clean, no brush			
1. Shallow, no brush	0.035	0.040	0.045
2. High stage	0.035	0.040	0.045
B. Vegetated stream			
1. No brush	0.035	0.040	0.045
2. Medium, low stage	0.035	0.040	0.045
3. Medium, high stage	0.035	0.040	0.045
C. Brush			
1. Medium, low, heavy brush	0.035	0.040	0.045
2. Light brush, low stage, in stream	0.035	0.040	0.045
3. Light brush, low stage, in stream	0.035	0.040	0.045
4. Medium to dense brush, in stream	0.035	0.040	0.045
D. Trees			
1. Dense brush, medium, straight	0.035	0.040	0.045
2. Dense brush, with some straight, no brush	0.035	0.040	0.045
3. Same as above, but with heavy growth of brush	0.035	0.040	0.045
4. Heavy stand of brush, a few down trees, with some growth, low stage below forest	0.035	0.040	0.045
5. Same as above, but with low stage reaching brush	0.035	0.040	0.045

Figura 26 - Coeficientes de Manning.

4.3. CONDIÇÕES INICIAIS E DE CONTORNO

4.3.1. CONDIÇÕES INICIAIS

Como condição inicial, foi adotada uma profundidade de 0 m em todo o modelo.

4.3.2. CONDIÇÕES DE CONTORNO

É definida uma condição de profundidade de escoamento normal como limite de saída nas diferentes zonas de descarga do modelo 2D atualizado. Estas zonas estão posicionadas suficientemente a jusante da área de estudo, de modo a garantir que a simulação se estabilize a montante e que se estabeleça a profundidade adequada.

Para as entradas, foi definida uma condição de afluência para cada sub-bacia que afeta a configuração revista da central, integrando os hidrogramas correspondentes previamente calculados no HEC-HMS. Os hidrogramas de entrada introduzidos no modelo HEC-RAS atualizado correspondem às sub-bacias B-03-1, B-03-2, B-06-1, B-07-1, B-07-2, B-07-3 e B-07-4. Os identificadores originais das sub-bacias foram mantidos para garantir a rastreabilidade; por este motivo, a numeração das sub-bacias não é consecutiva. Adicionalmente, foi aplicada precipitação direta na área de escoamento 2D, utilizando o hietograma médio de precipitação excedentária para cada período de retorno.

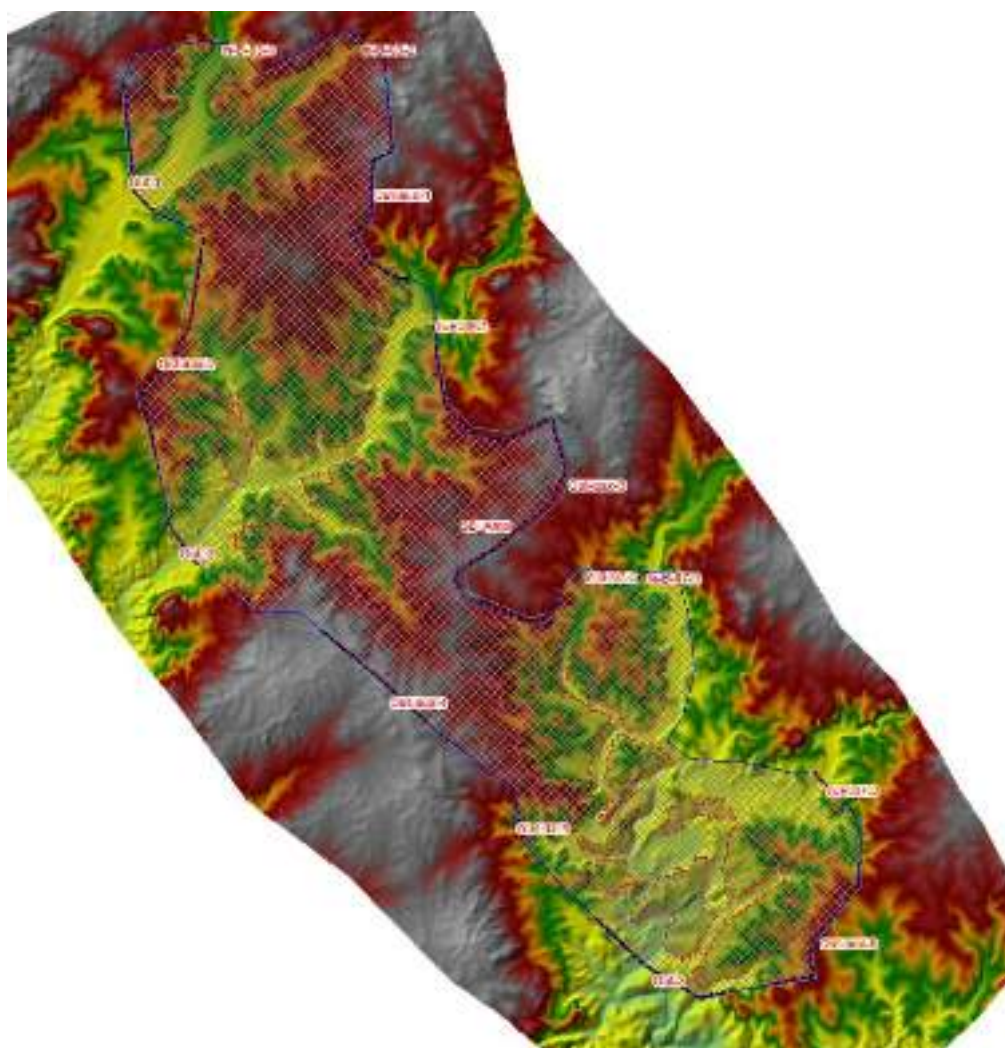


Figura 27 – Linhas de entrada e saída. Central completa.

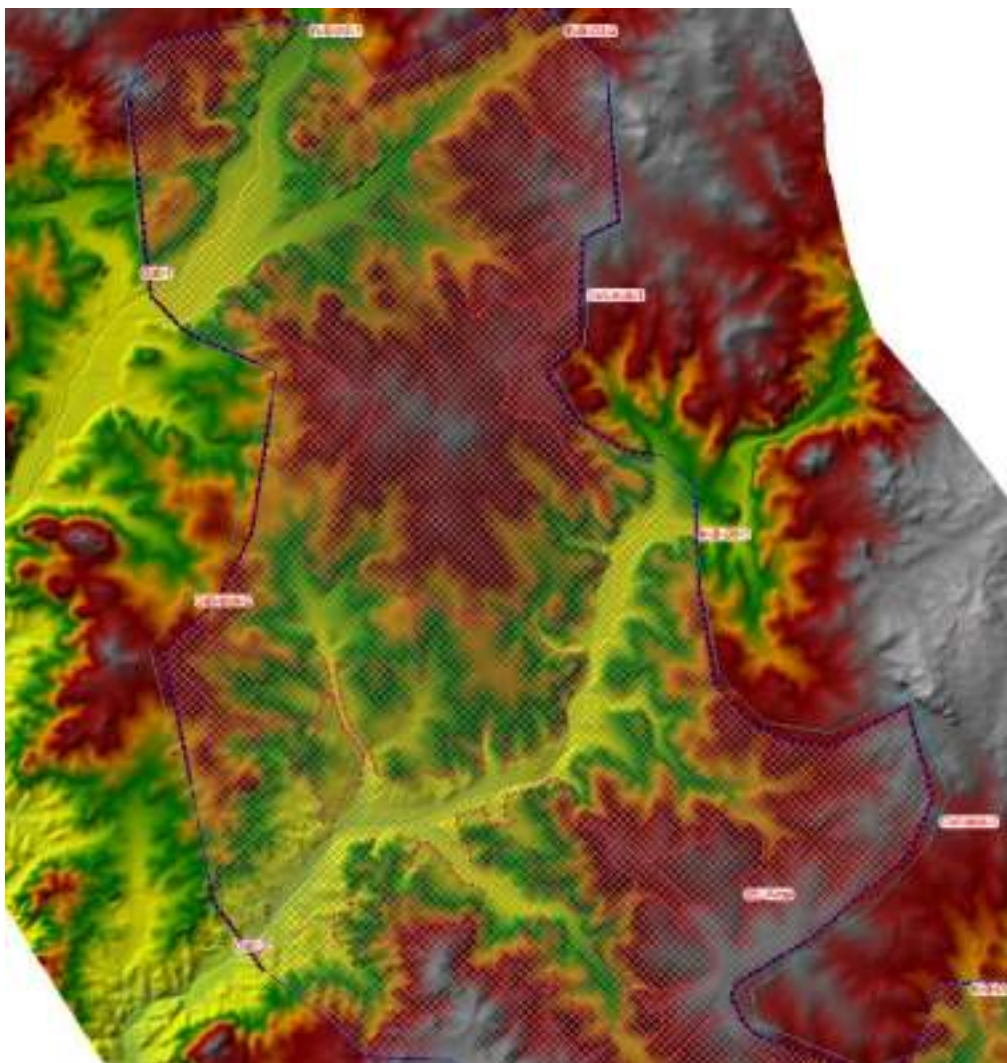


Figura 28 - Linhas de entrada e saída. Zona Norte.

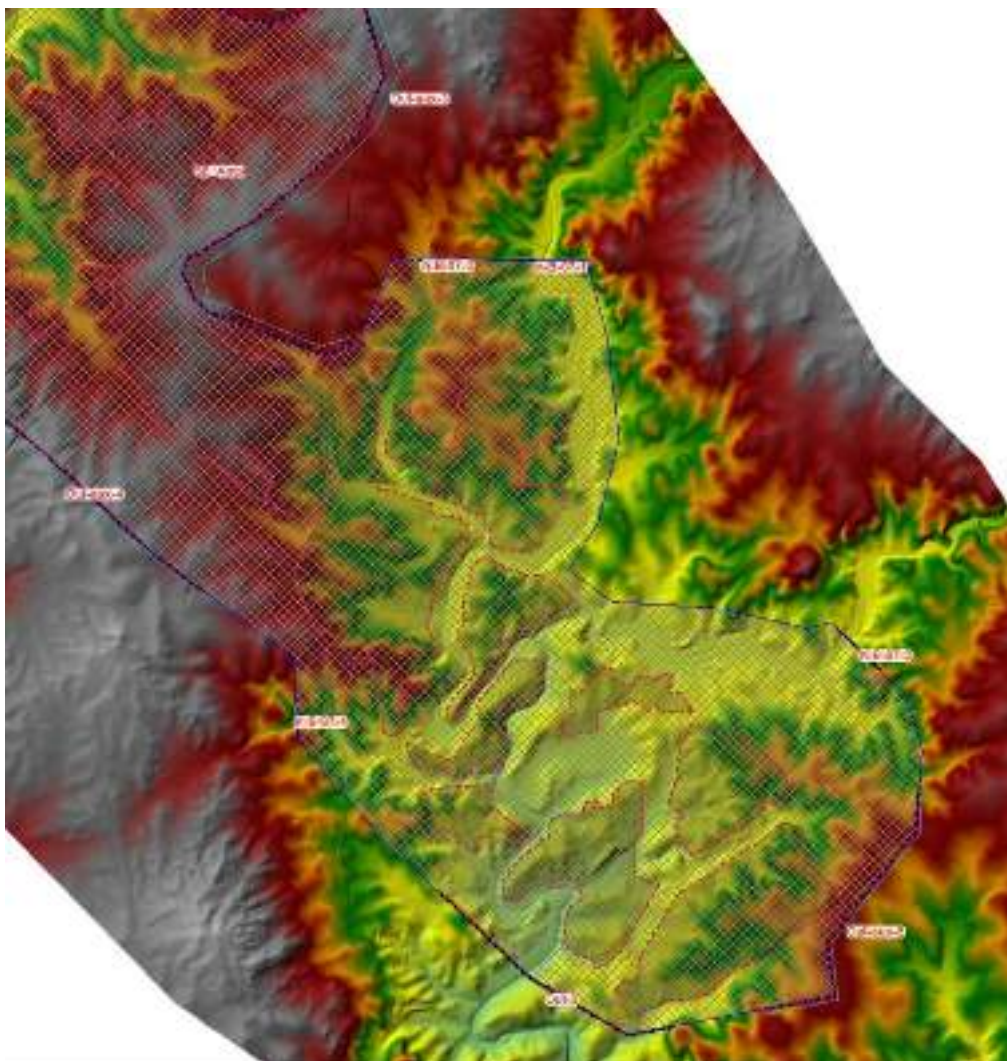


Figura 29 - Linhas de entrada e saída. Zona Sul.

5. RESULTADOS DO MODELO HIDRÁULICO

Os mapas de inundação e as velocidades para os diferentes períodos de retorno encontram-se incluídos nos mapas anexos. Abaixo resumem-se alguns dos resultados mais relevantes.

Nas várias simulações, foram identificados e analisados diversos cursos de água, com o cálculo das profundidades e velocidades máximas. Alguns destes cursos de água acompanham os limites da área do projeto, enquanto outros atravessam a própria central.

Dentro da área do projeto, os valores de profundidade e velocidade apresentam variações significativas consoante o curso de água. Destaca-se que, mesmo nos cursos de água de menor dimensão, se observaram velocidades elevadas (superiores a 2 m/s para o período de retorno de 500 anos).

Nas figuras seguintes apresentam-se os resultados referentes ao período de retorno de 100 anos.

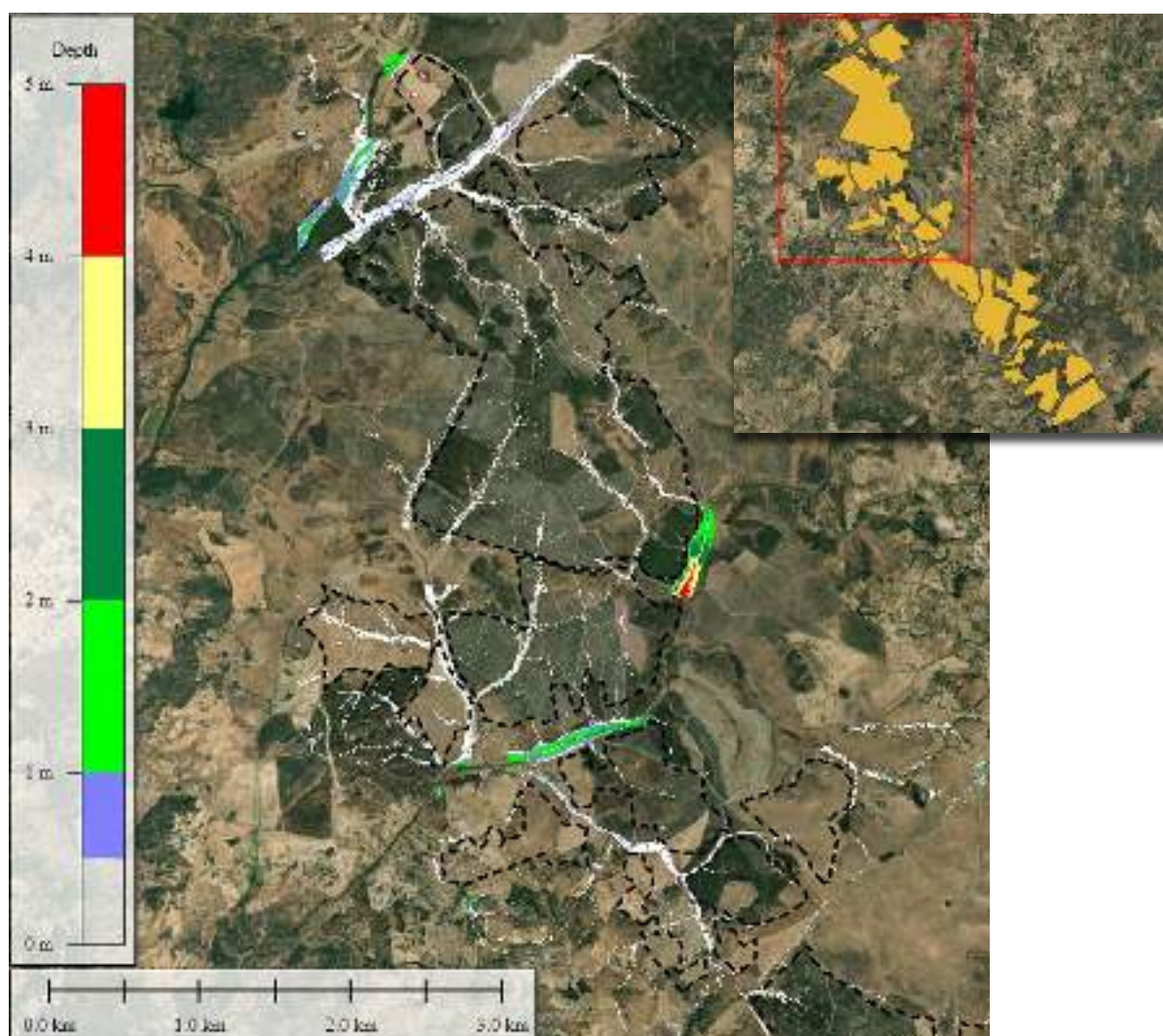


Figura 30 – Profundidade máxima. T100.

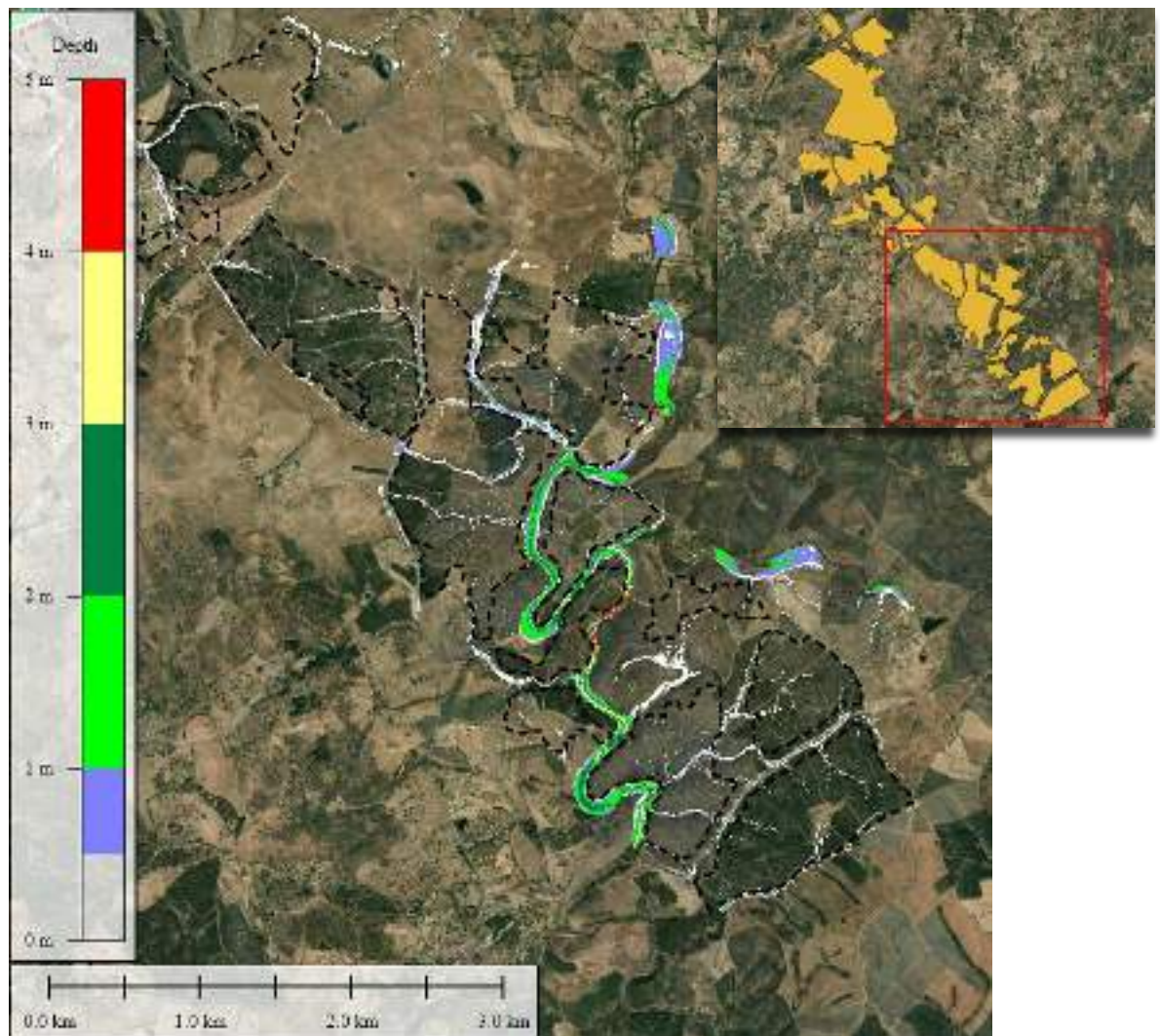


Figura 31 – Profundidade máxima. T100.

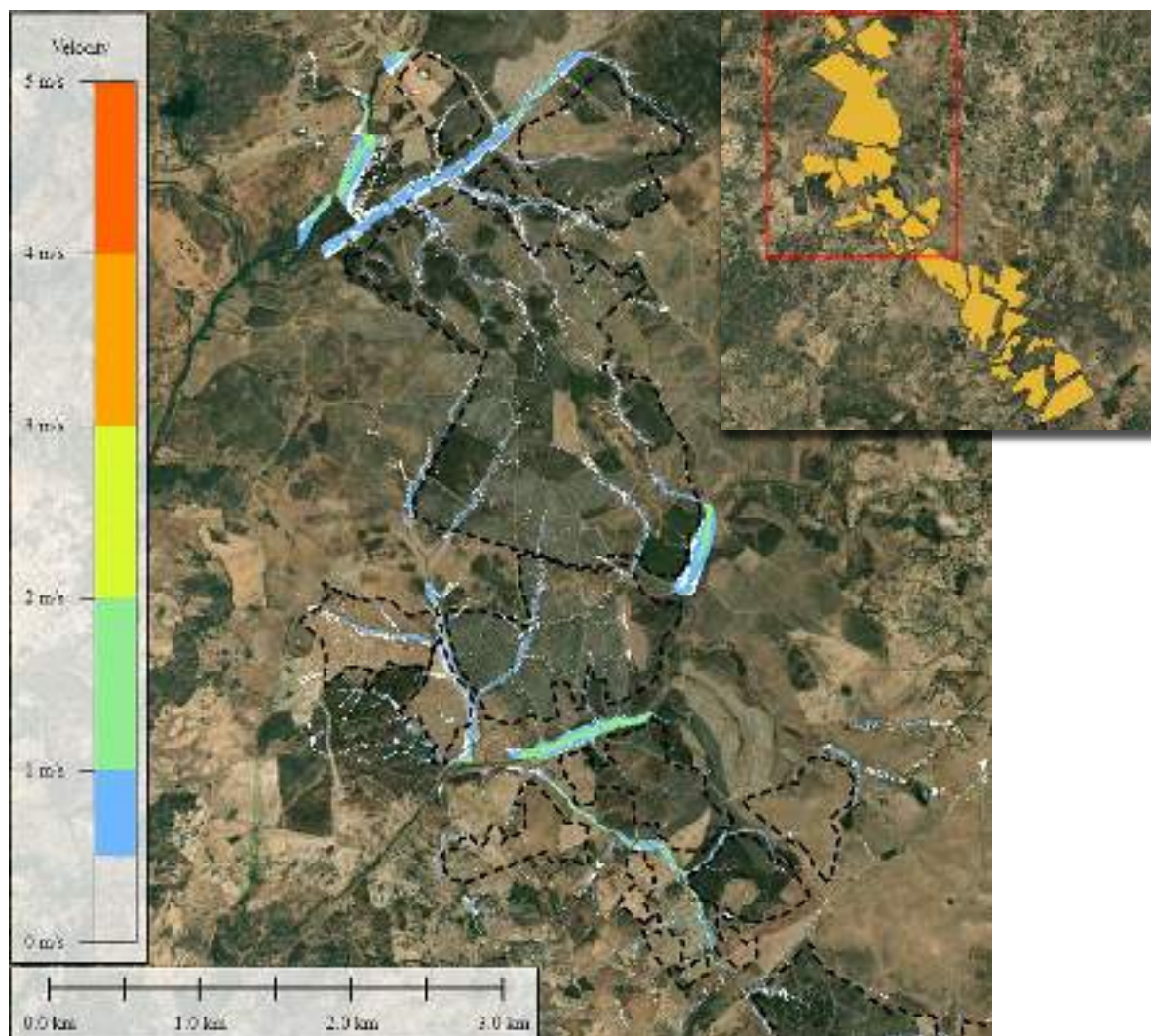


Figura 32 – Velocidade máxima. T100.

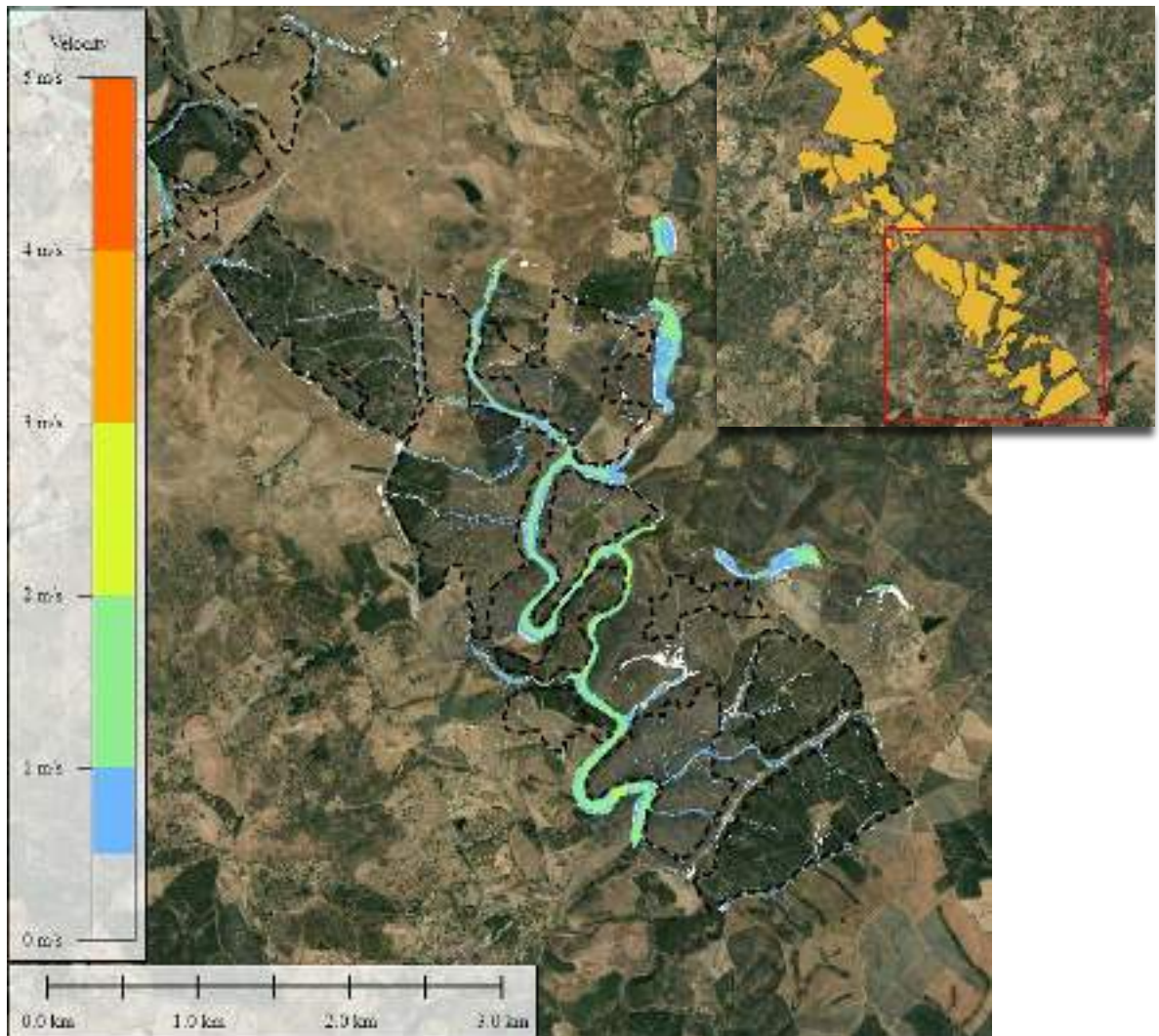


Figura 33 – Velocidade máxima. T100.

O período de retorno de 100 anos é analisado para determinar a Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundações (ARPSI) para pessoas e bens, definida como a área onde se verifica pelo menos uma das seguintes condições:

- Profundidade > 1 m.
- Velocidade > 1m/s.
- Produto da profundidade pela velocidade ($D \cdot v$) > 0.5 m²/s.

Os resultados indicam que os cursos principais das sub-bacias estudadas cumprem os critérios necessários para serem classificados como Áreas de Risco de Inundação.

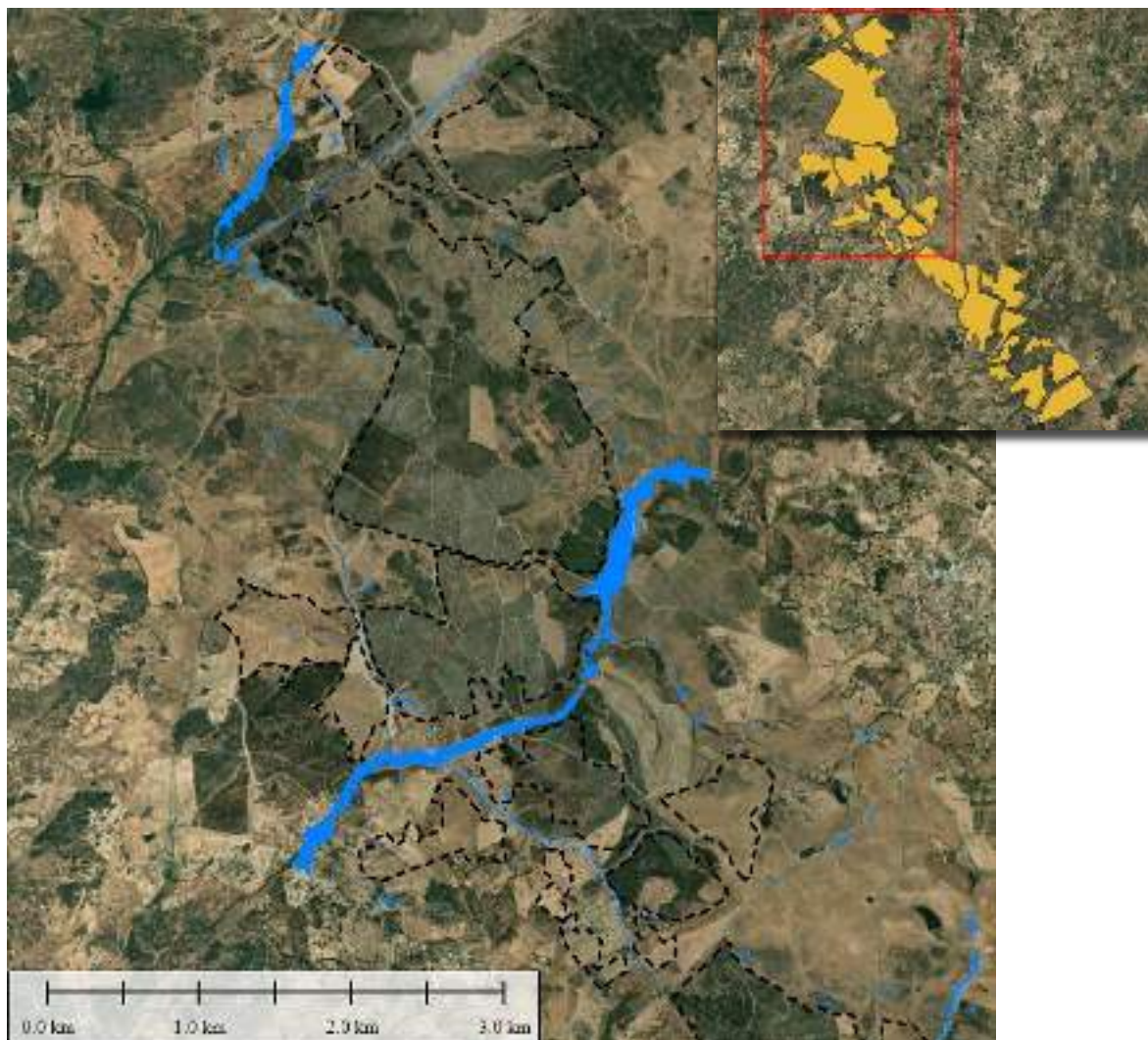


Figura 34 - ARPSI.

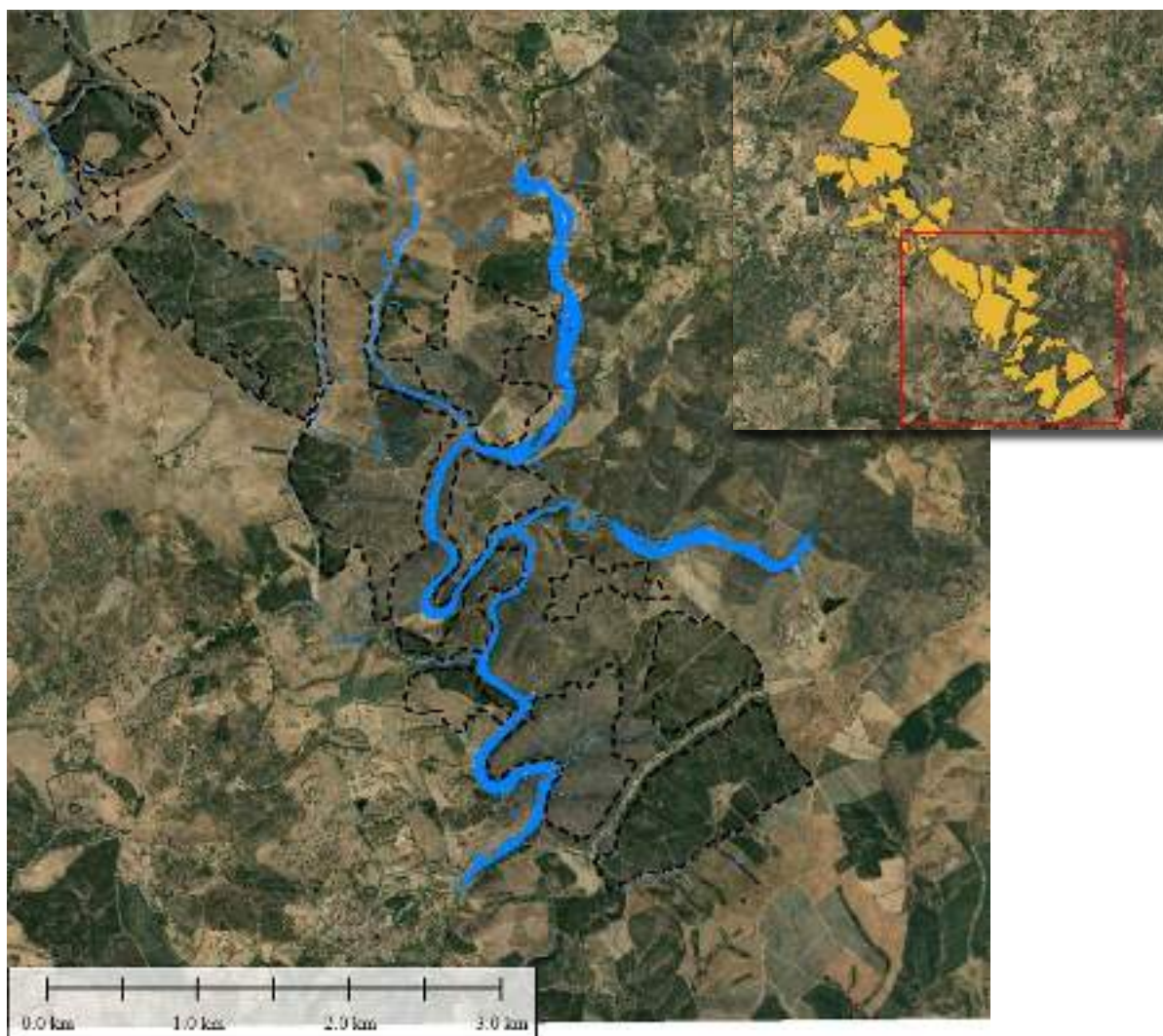


Figure 35 - ARPSI.

Finalmente, consideram-se cursos de água aquelas linhas de água que cumprem pelo menos uma das seguintes condições para um período de retorno de 100 anos (T_r):

- Profundidade > 0.25 m.
- Velocidade > 1 m/s.

Para os cursos de água mais estreitos, foi delineada uma faixa de 20 metros de largura.

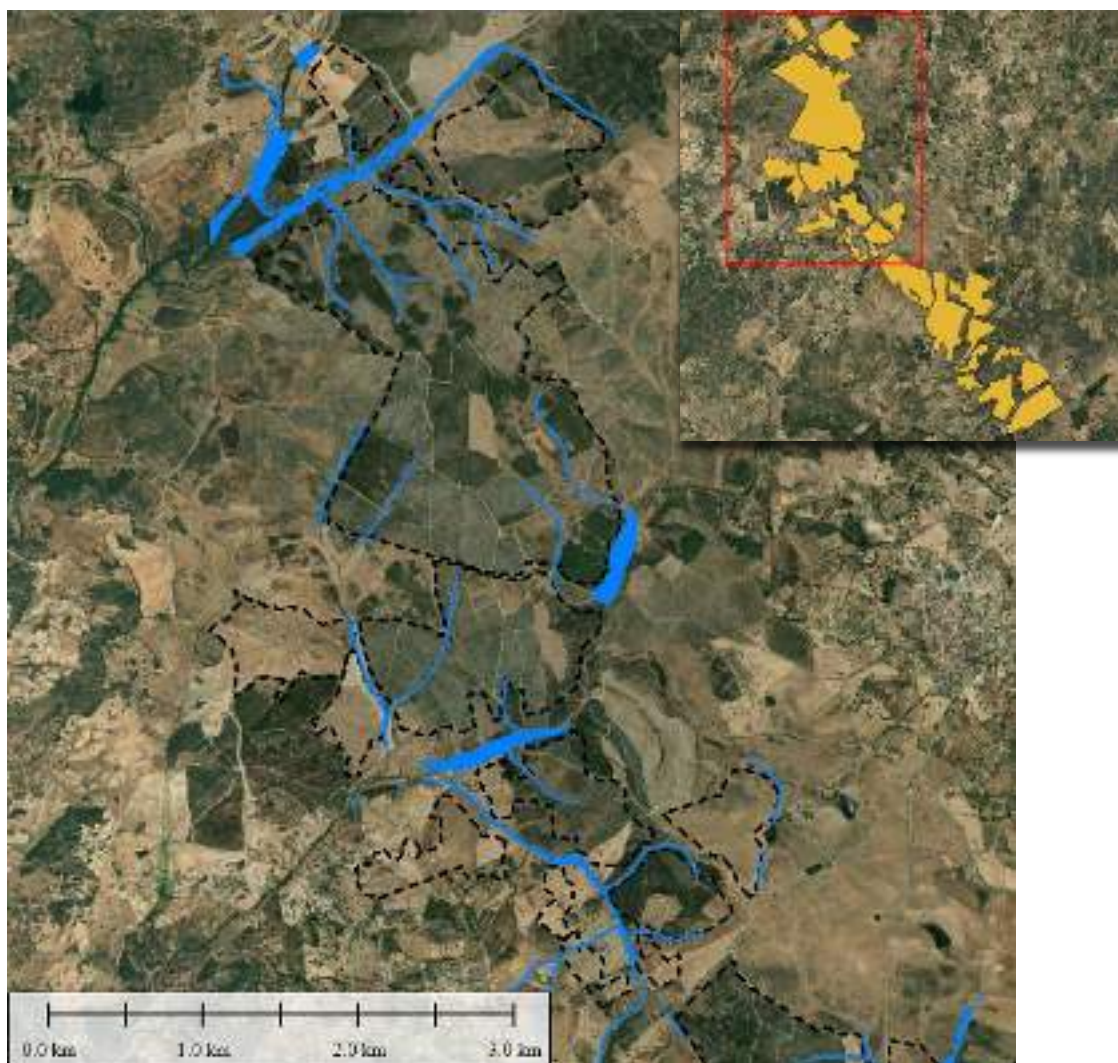


Figura 36 – Cursos de água.

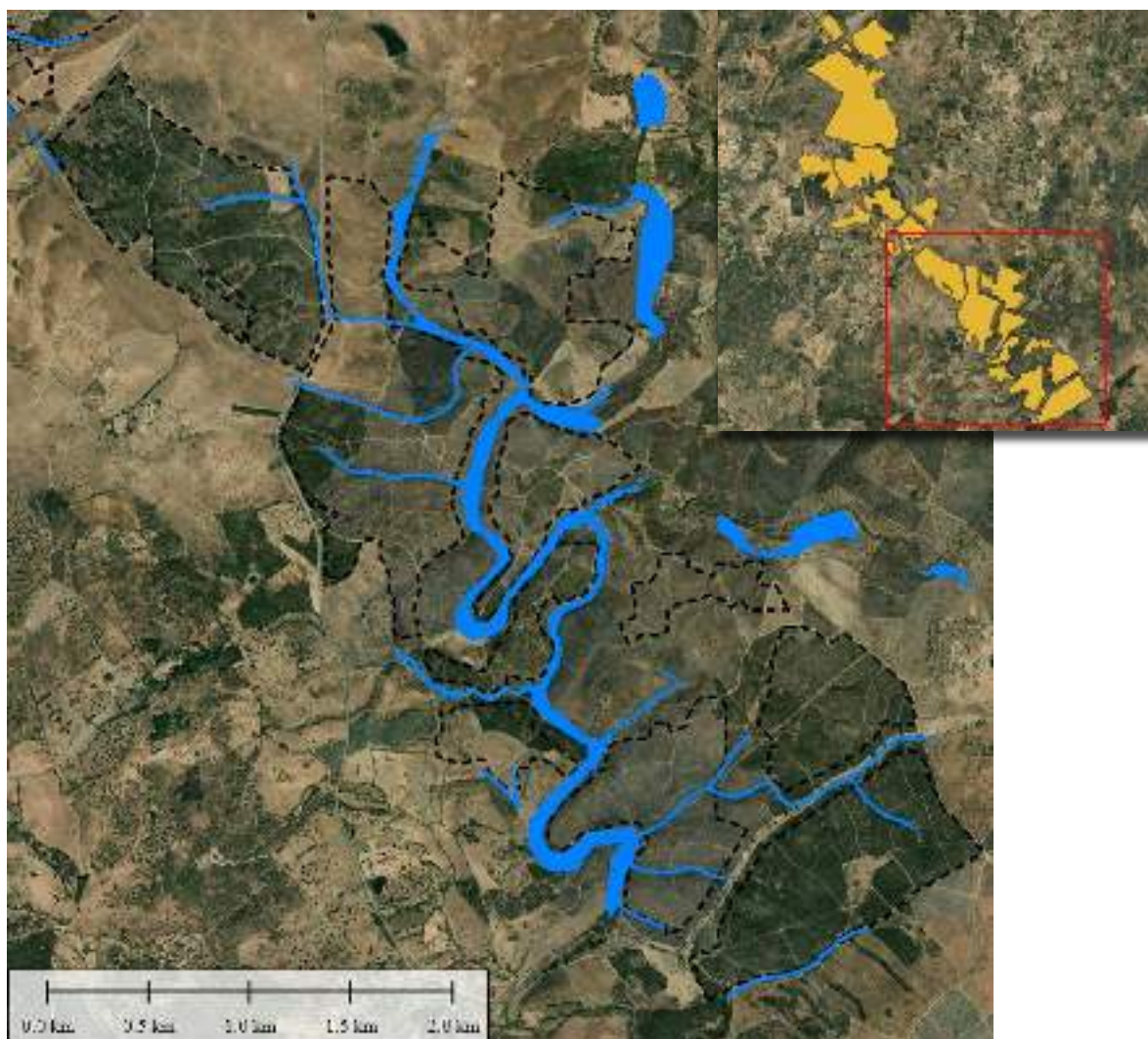


Figura 37 – Cursos de água.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base na análise hidrológica anterior e no modelo hidráulico atualizado, foram retiradas as seguintes conclusões:

- O local do projeto é atravessado por vários cursos de água, que vão desde rios até pequenos ribeiros.
- As velocidades dentro da área podem ser elevadas nos períodos de retorno mais elevados, pelo que deve ser projetado um sistema de drenagem adequado para controlar eventuais processos de erosão.
- Os principais cursos de água podem ser classificados como Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundações (ARPSI).
- Consideram-se *cursos de água* aquelas linhas em que, para um período de retorno de 100 anos(Tr), a profundidade ultrapassa 25 cm ou a velocidade excede 1 m/s.

Assim, considerando o estudo hidrológico realizado e os critérios expostos, recomenda-se evitar, nas áreas com risco de erosão, a instalação de módulos ou qualquer outro edifício ou elemento que possa obstruir o escoamento.

De acordo com a Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro, que define a titularidade dos recursos hídricos, sugere-se considerar como Domínio Público Hídrico os cursos de água que têm origem fora dos lotes de construção, conforme ilustrado nas figuras 36-37, onde a instalação de módulos e edifícios deve ser proibida numa faixa de 10 metros em ambos os lados das linhas de água.

Relativamente aos cursos de água localizados dentro dos lotes de construção onde o promotor detém direitos de exploração, estes não são legalmente considerados Domínio Público Hídrico, nos termos da Lei n.º 54/2005, com a sua última alteração pela Lei n.º 31/2016, que define, entre outros, como Domínios Públicos Hídricos “Cursos de água não navegáveis nem flutuáveis nascidos em prédios privados, logo que as suas águas transponham, abandonadas, os limites dos terrenos ou prédios onde nasceram ou para onde foram conduzidas pelo seu dono, se no final forem lançar-se no mar ou em outras águas públicas”.

Sem prejuízo do referido, e tendo em conta os resultados obtidos neste estudo, recomenda-se que [1], para os cursos de água em que a altura do escoamento e/ou a respetiva área inundável e velocidade de escoamento para um período de retorno de 100 anos sejam significativos (altura do escoamento superior a 25 cm ou velocidade superior a 1 m/s), seja respeitada a faixa legalmente definida do Domínio Público Hídrico e, consequentemente, salvaguardada a distância de 10 metros a partir das margens destes cursos de água.

Para os restantes cursos de água de natureza privada e não considerados significativos, recomenda-se a proibição da sobreposição de infraestruturas como subestações, unidades de armazenamento e estações transformadoras, salvo se forem previstas medidas de mitigação do risco de erosão com base num adequado sistema de drenagem.

ANEXO I: NÚMEROS DE ESCOAMENTO

Chapter 2

Estimating Runoff

Technical Release 55
Urban Hydrology for Small Watersheds

Table 2-2a Runoff curve numbers for urban areas ^{1/}

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area ^{2/}	A	B	C	D
Fully developed urban areas (vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ^{3/} :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc., (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ^{4/}		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas					
(pervious areas only, no vegetation) ^{5/}		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c).					

^{1/} Average runoff condition, and $I_a = 0.25$.

^{2/} The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system; impervious areas have a CN of 98; and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition. CN's for other combinations of conditions may be computed using figure 2-3 or 2-4.

^{3/} CN's shown are equivalent to those of pasture. Composite CN's may be computed for other combinations of open space cover type.

^{4/} Composite CN's for natural desert landscaping should be computed using figures 2-3 or 2-4 based on the impervious area percentage (CN = 98) and the pervious area CN. The pervious area CN's are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

^{5/} Composite CN's to use for the design of temporary measures during grading and construction should be computed using figure 2-3 or 2-4 based on the degree of development (impervious area percentage) and the CN's for the newly graded pervious areas.

Table 2-2b Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands ²

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Treatment ^{2/}	Hydrologic condition ^{3/}	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	86	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	76	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	86
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

¹ Average runoff condition, and $I_a = 0.25$
² Crop residue cover applies only if residue is on at least 75% of the surface throughout the year.

³ Hydraulic condition is based on combination factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of year-round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes, (d) percent of residue cover on the land surface (good $\geq 20\%$), and (e) degree of surface roughness.

Poor: Factors impair infiltration and tend to increase runoff.

Good: Factors encourage average and better than average infiltration and tend to decrease runoff.

Table 2-2c Runoff curve numbers for other agricultural lands ¹

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing ²	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	60	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed grass mixture with brush the major element ³	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ⁴	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ⁵	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ⁶	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ⁴	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	50	74	82	85

¹ Average runoff condition, and $I_p = 0.25$.

² Poor: <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

³ Poor: <50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: >75% ground cover.

⁴ Actual curve number is less than 30; use CN = 30 for runoff computations.

⁵ CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

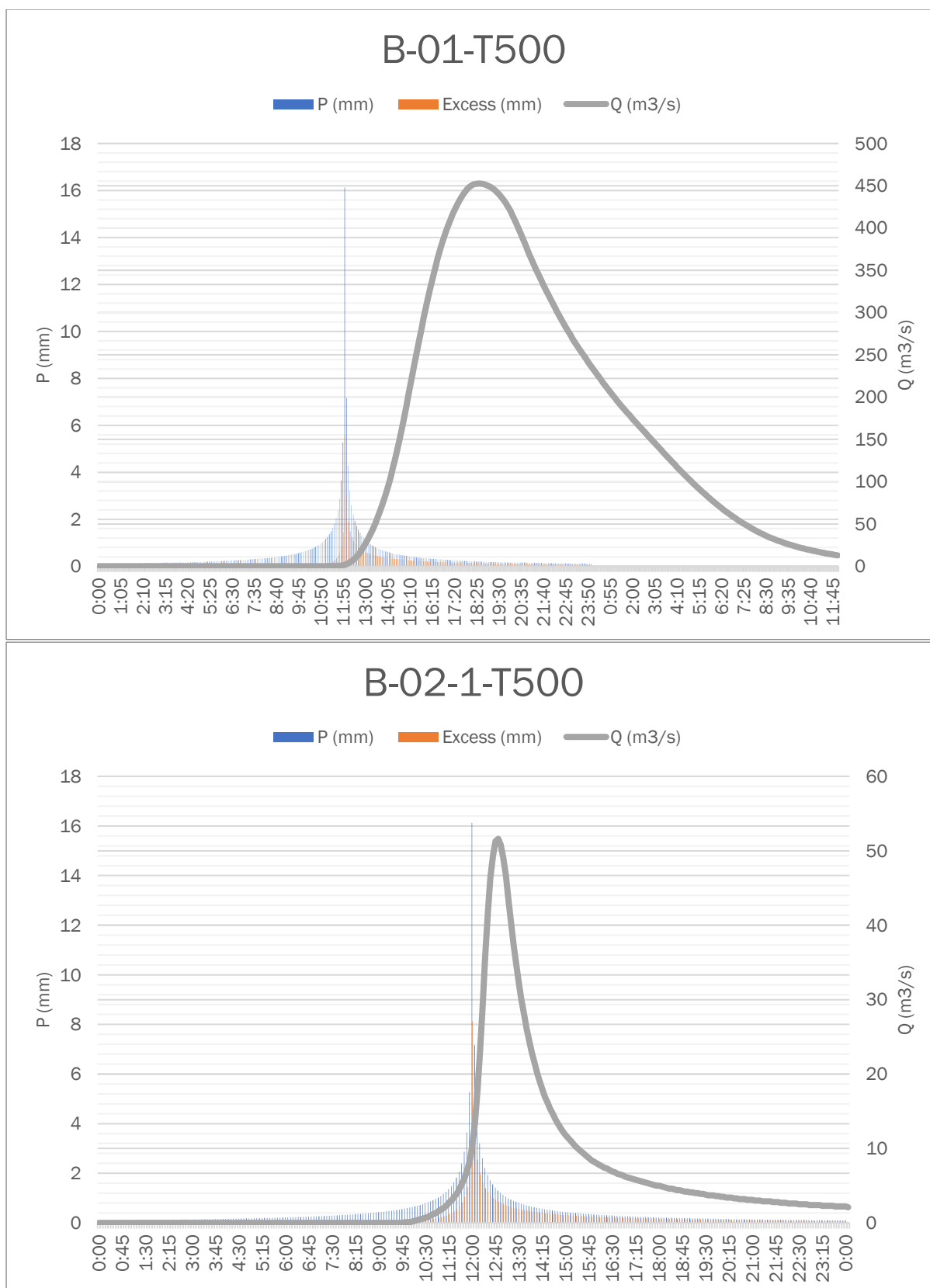
⁶ Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

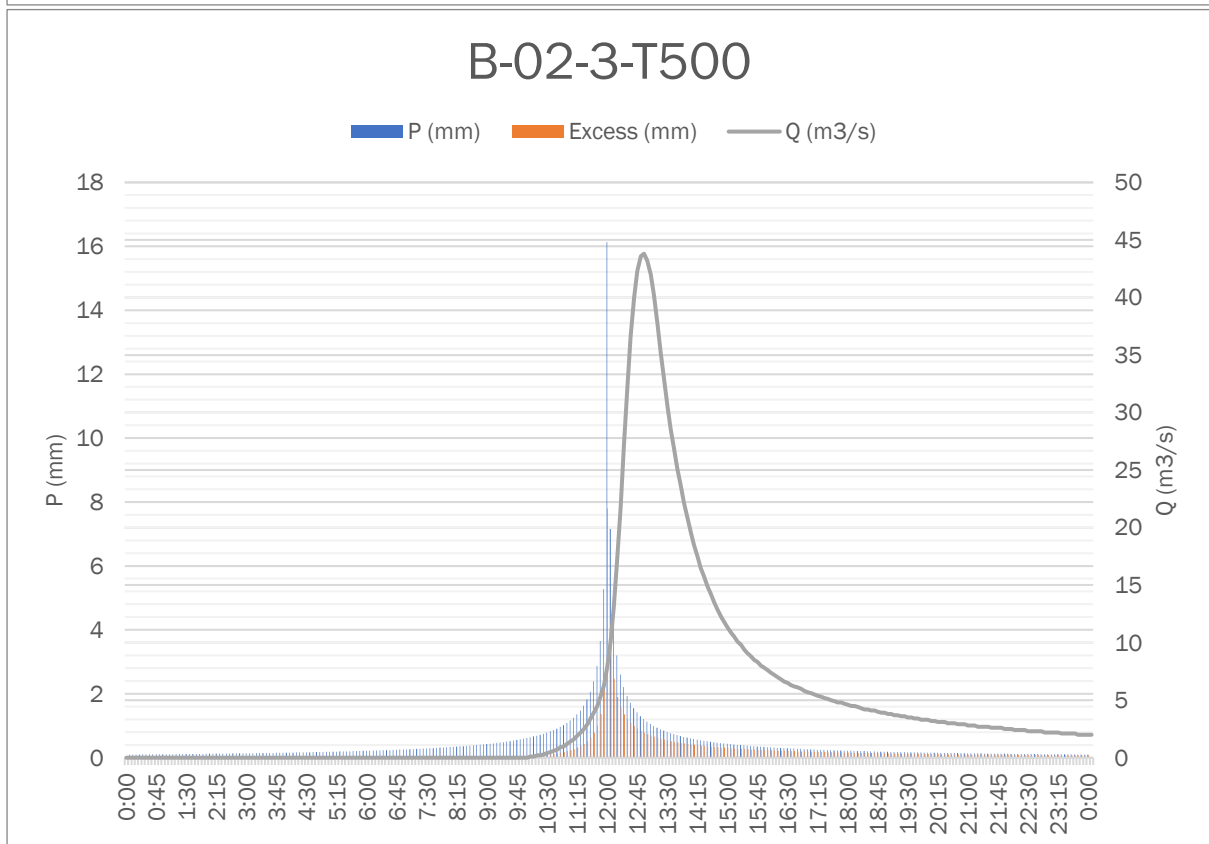
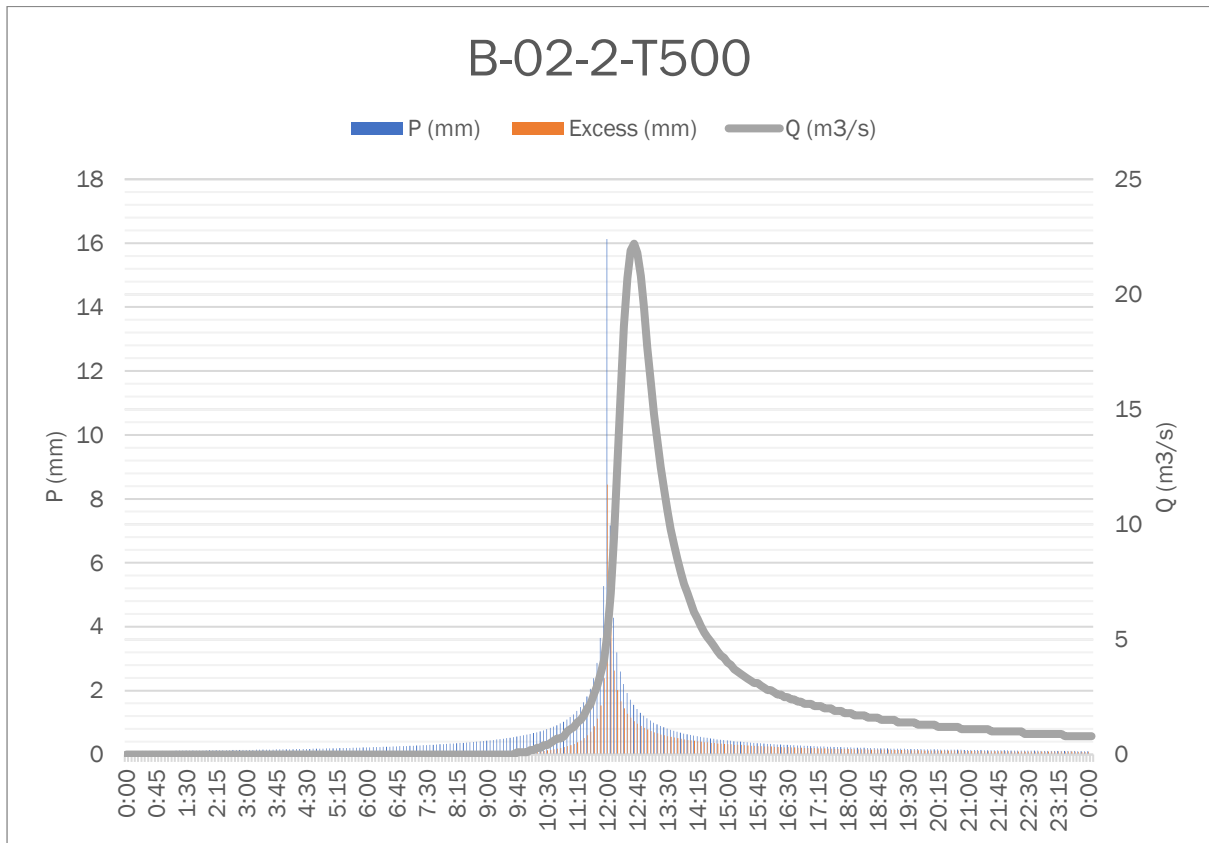
Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

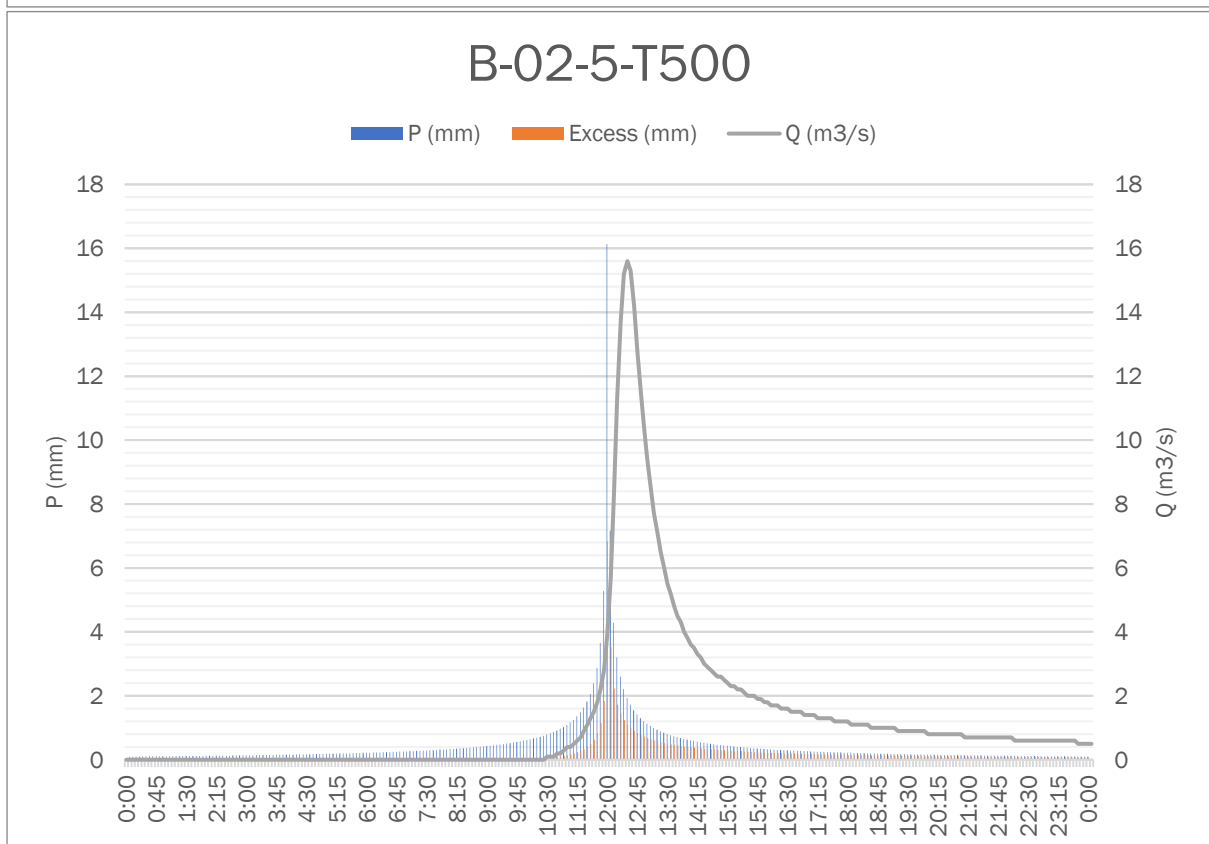
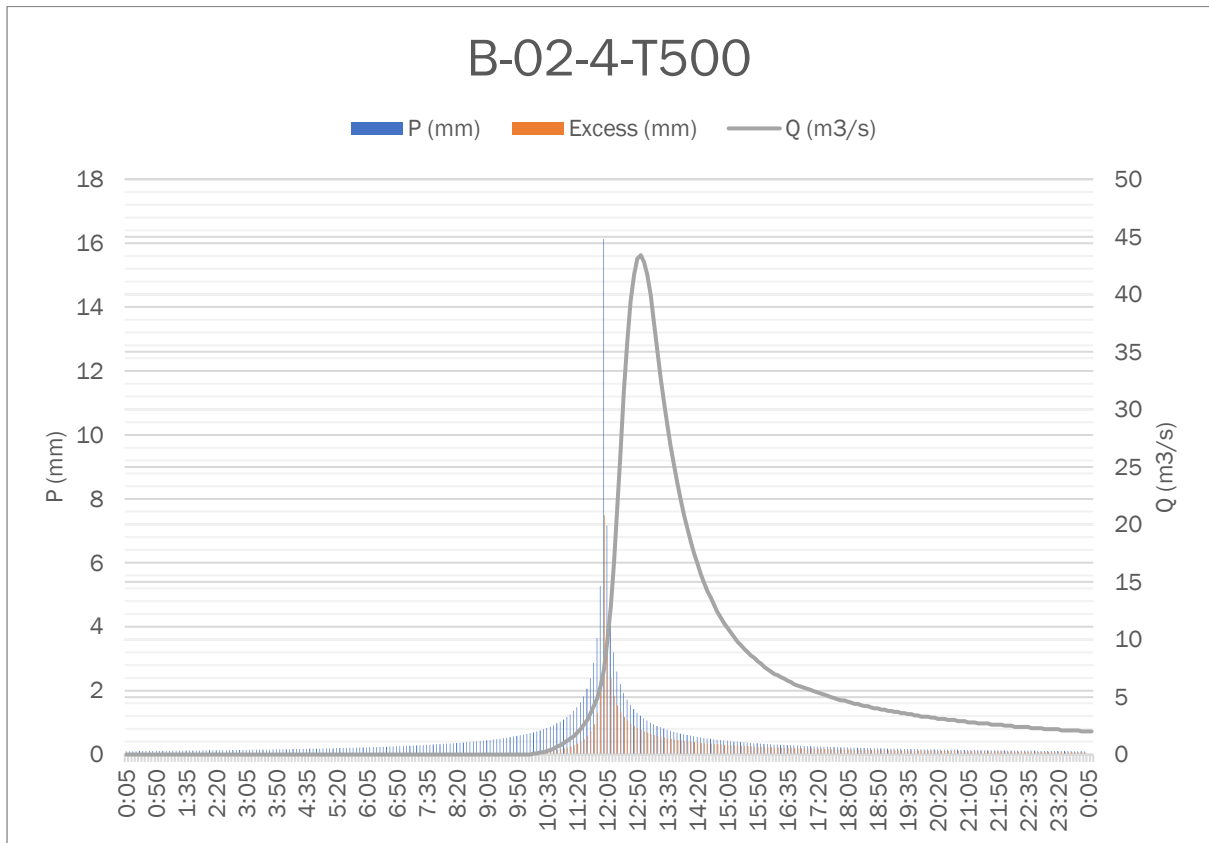
Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

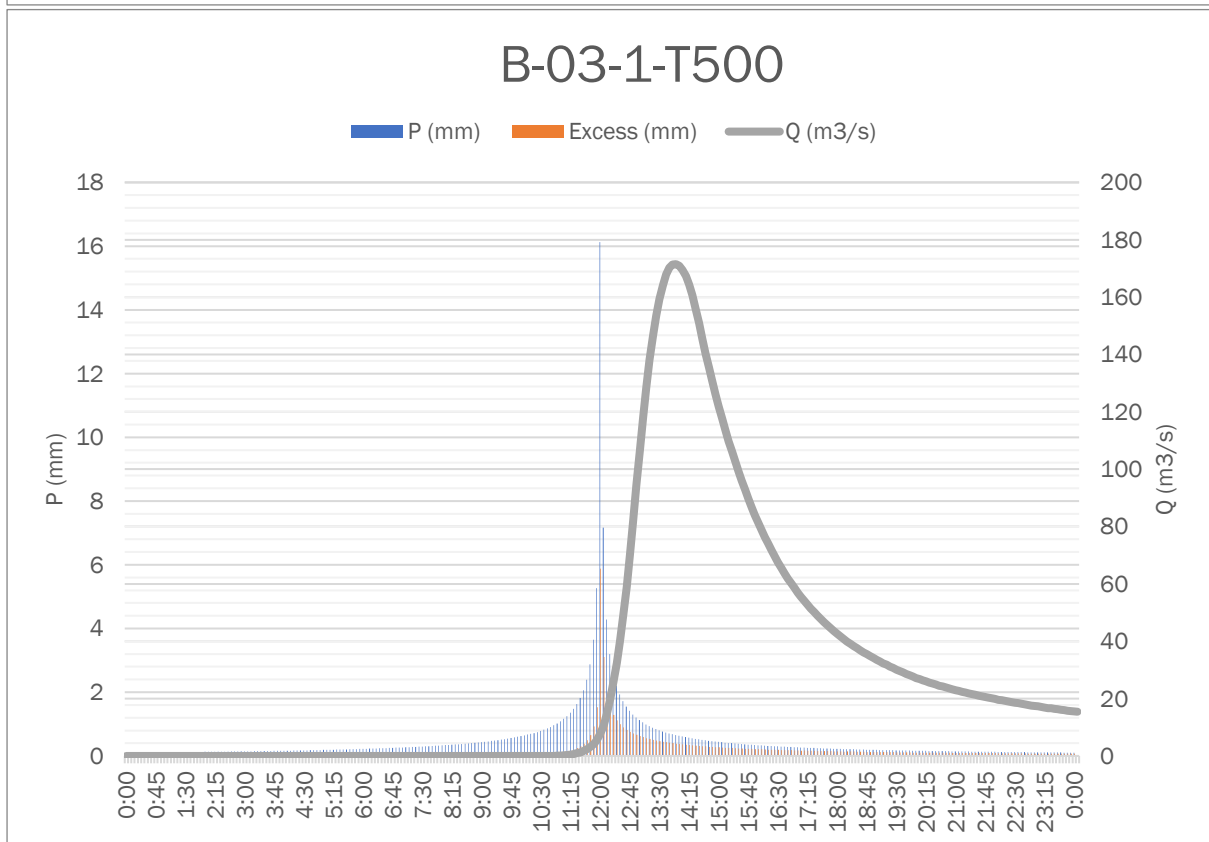
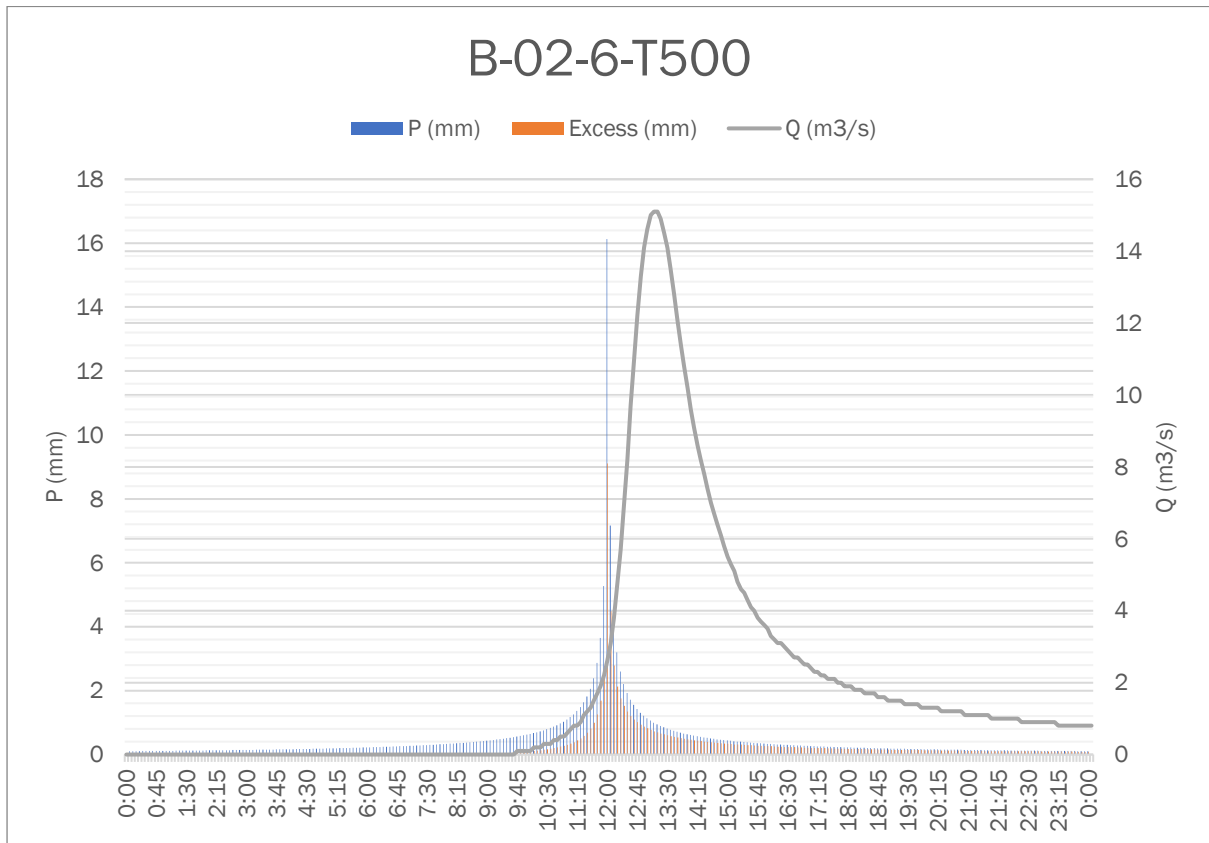
ANEXO II: HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS

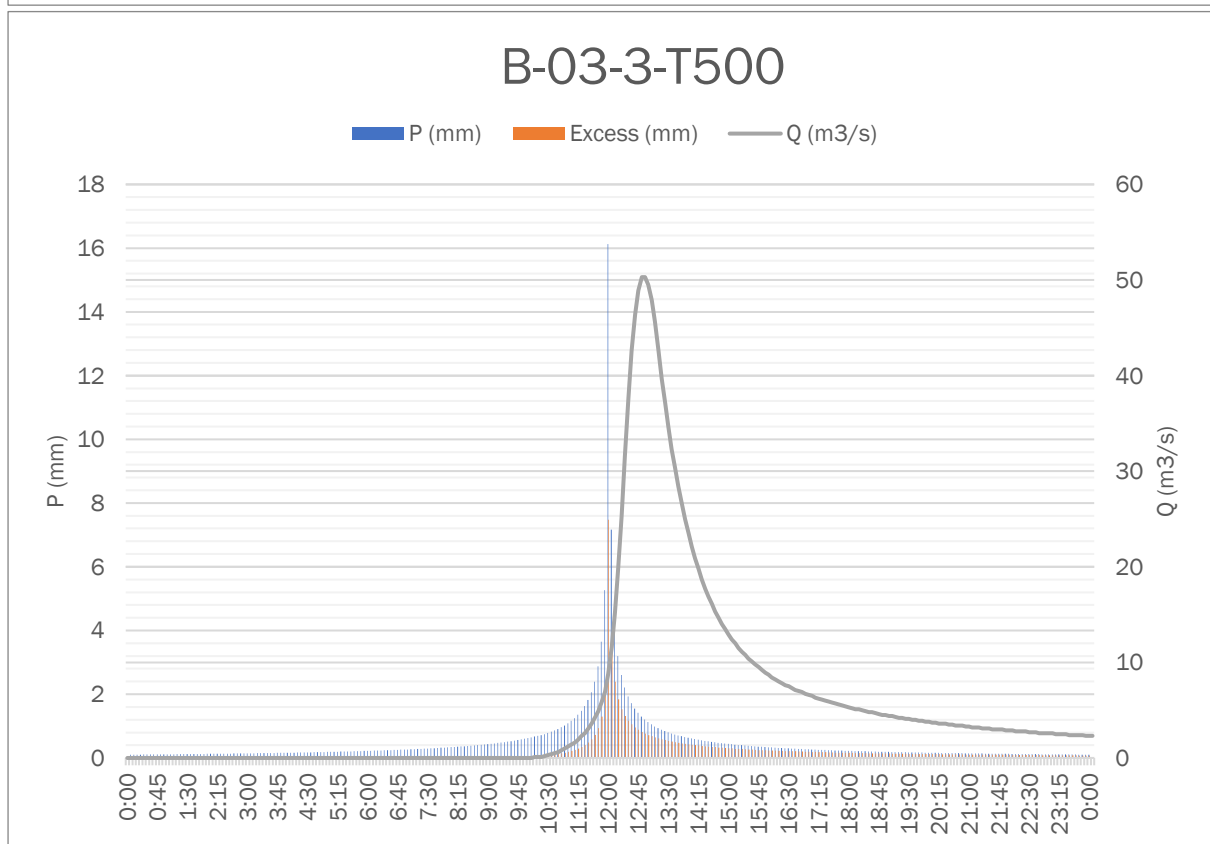
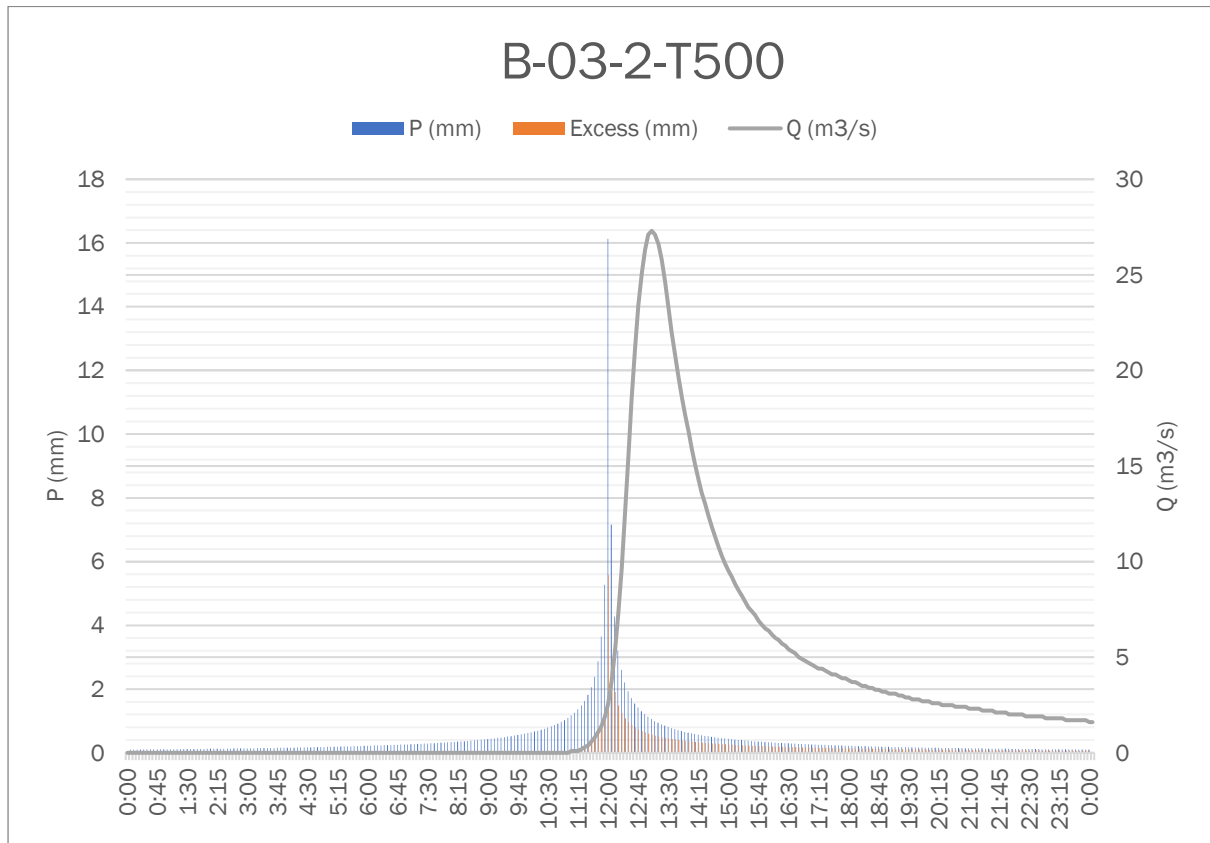
PERÍODO DE RETORNO DE 500 ANOS

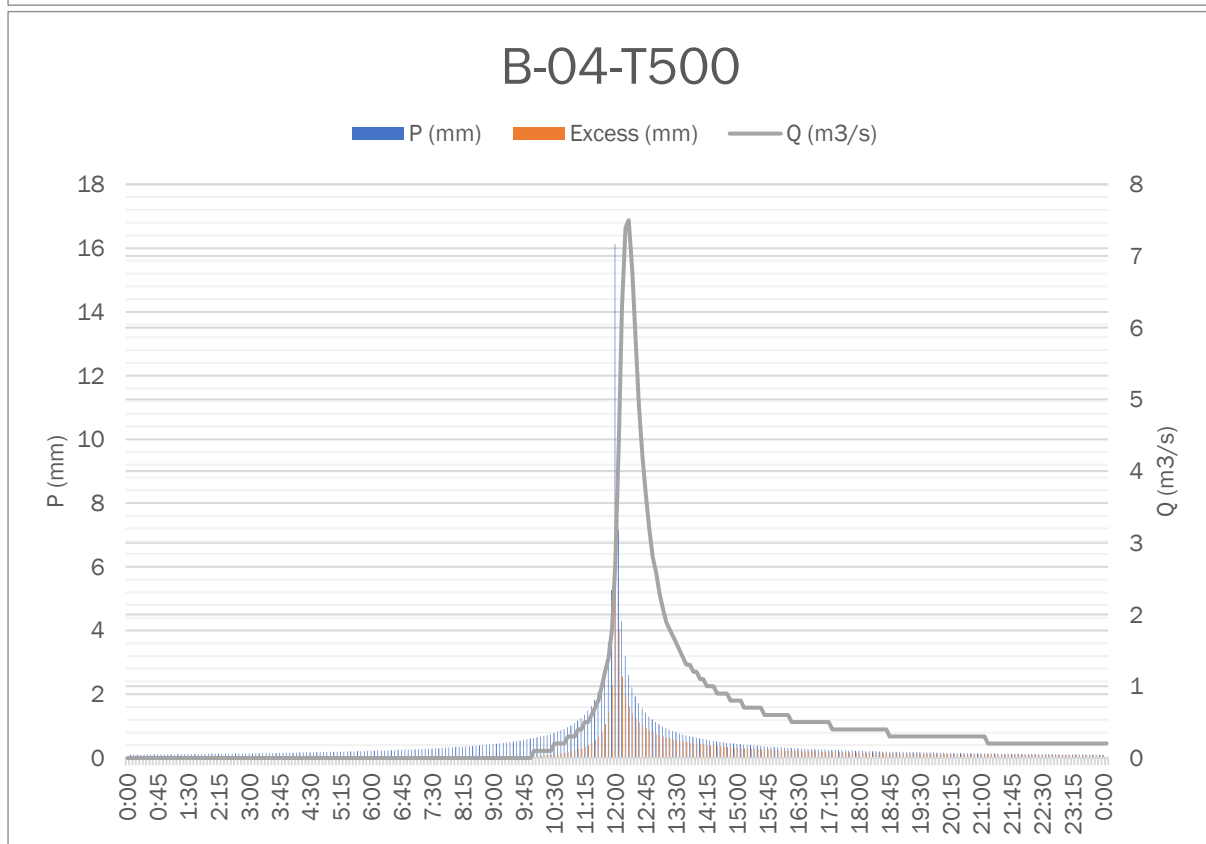
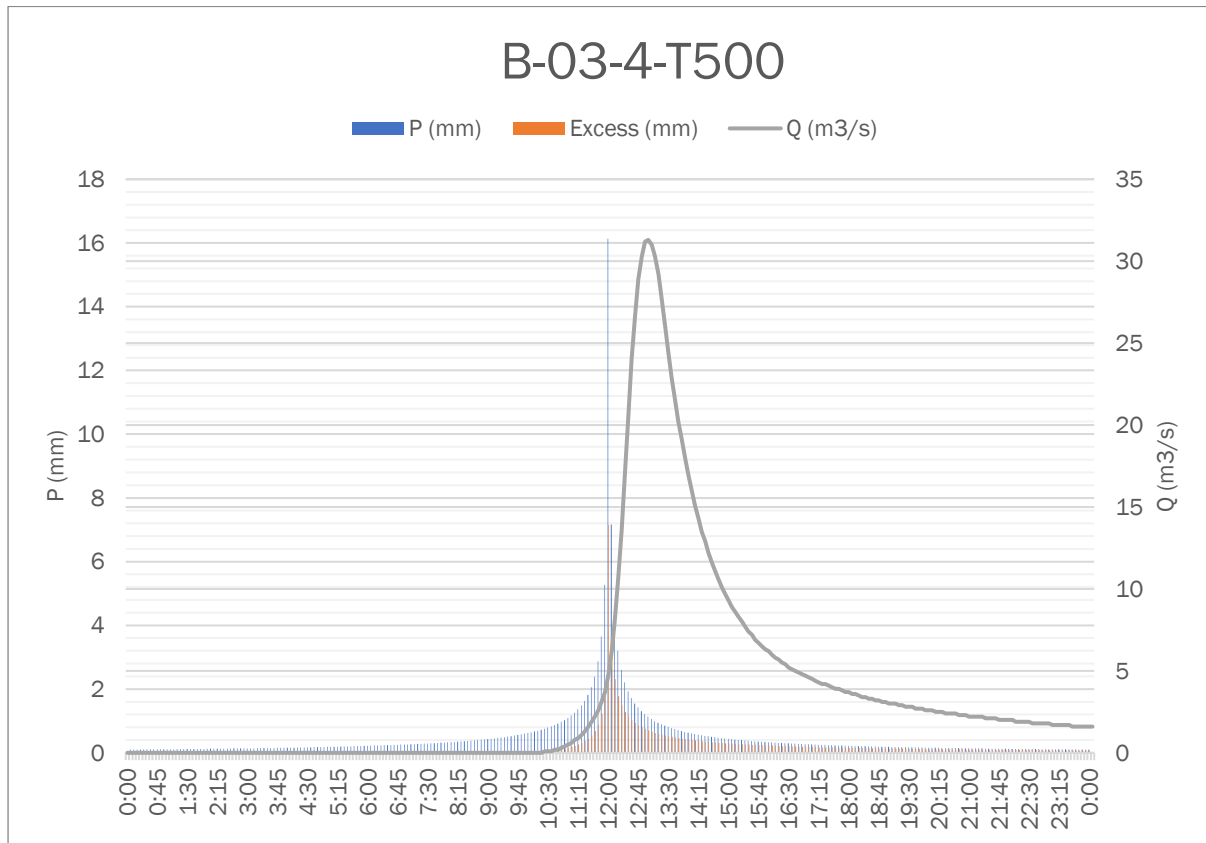


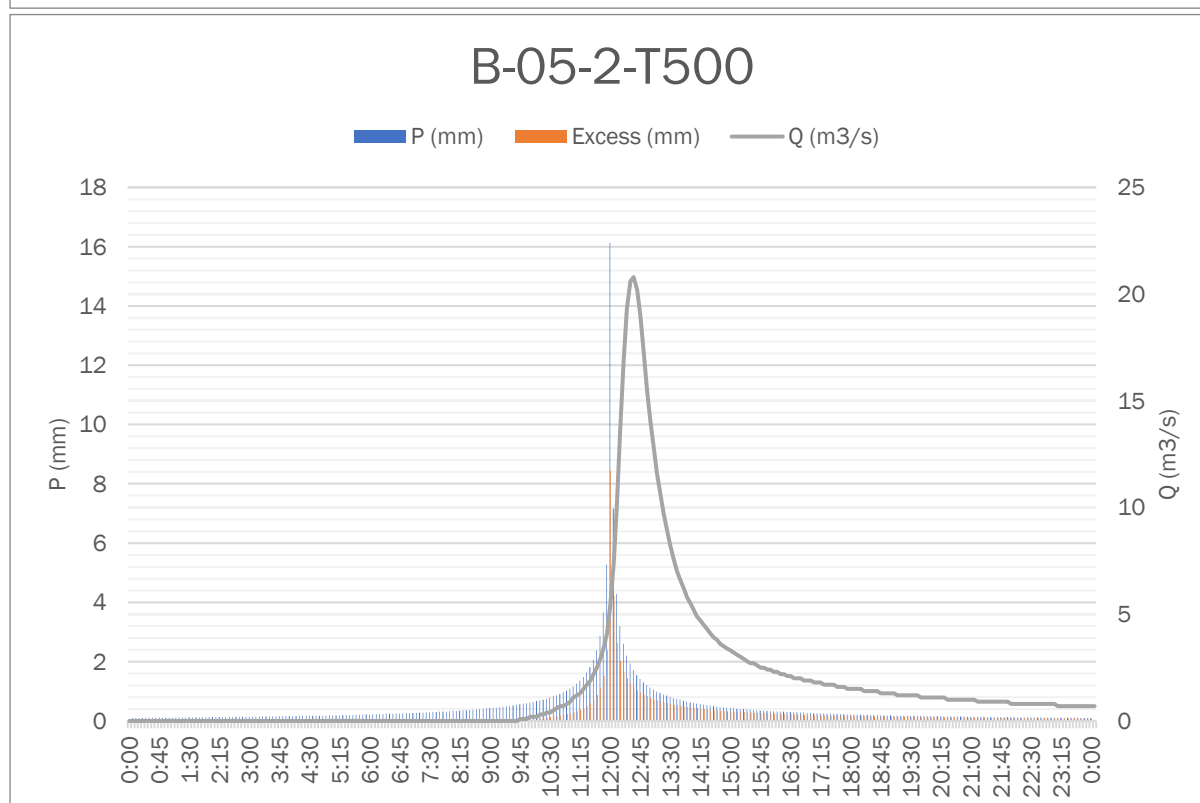
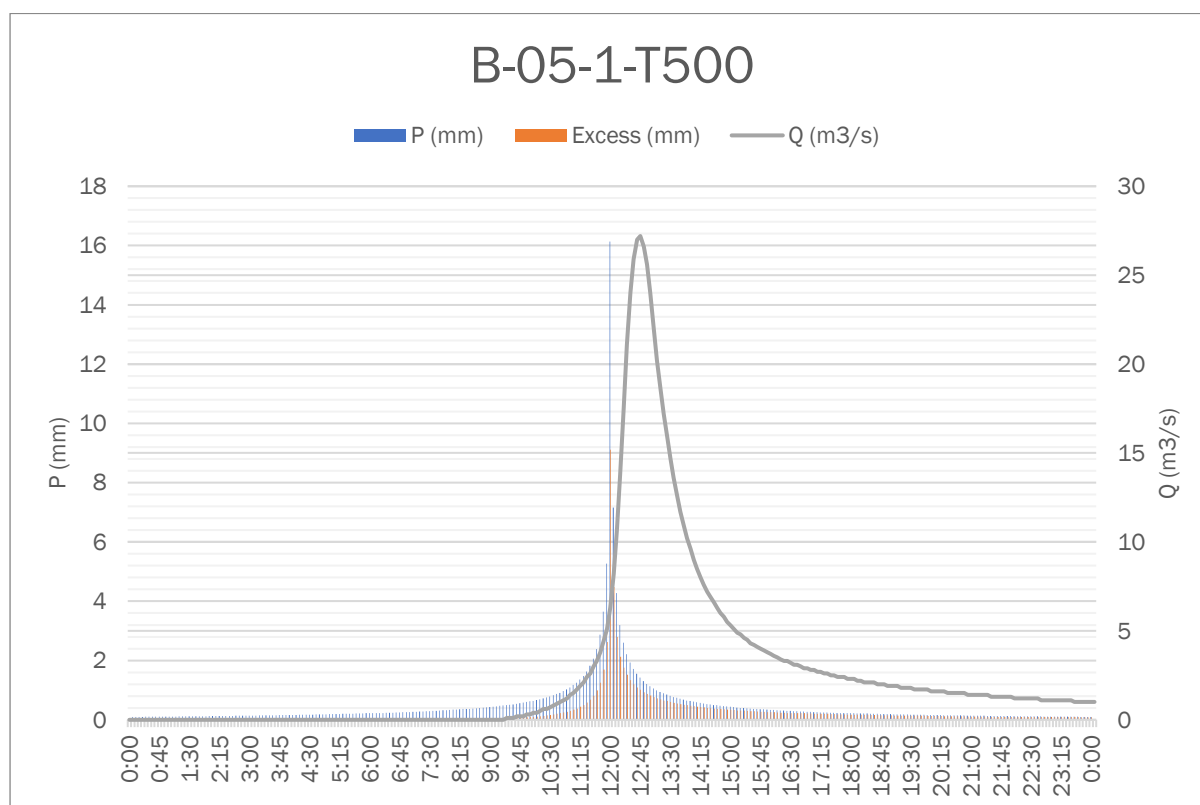


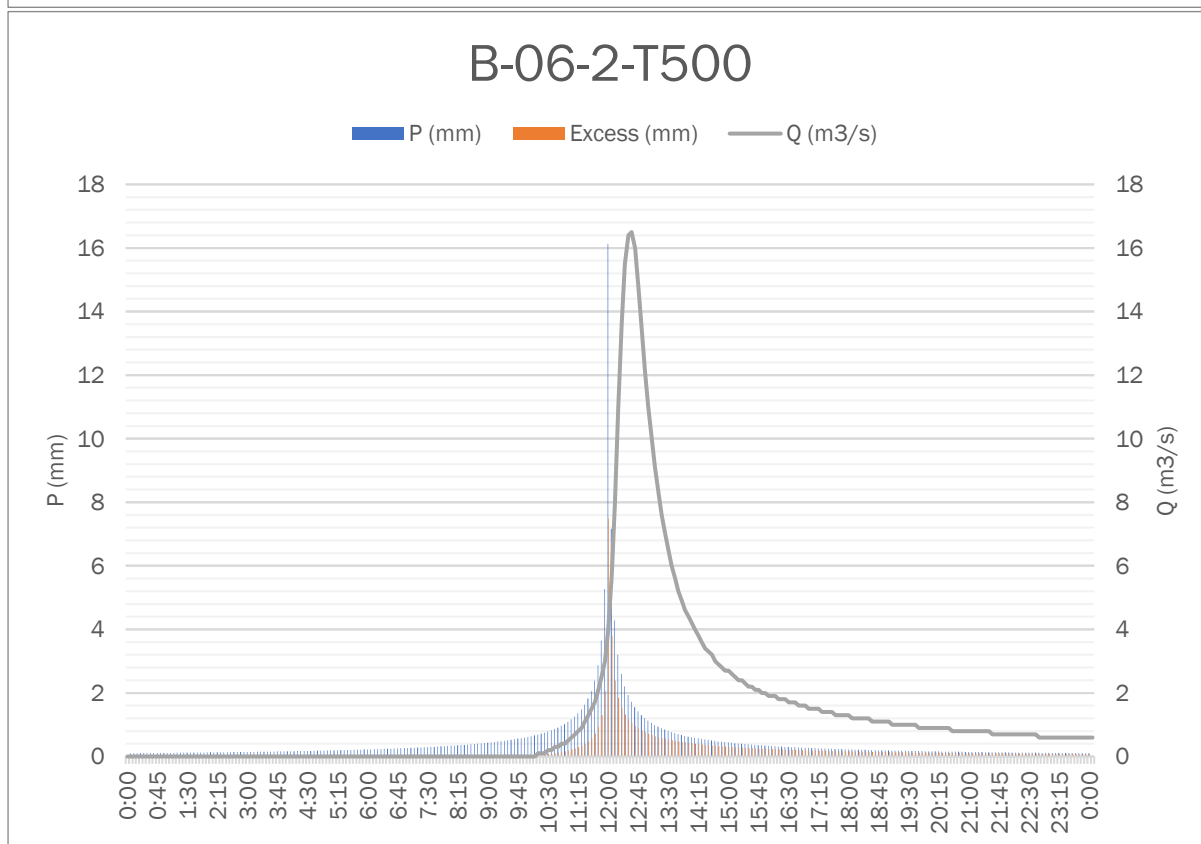
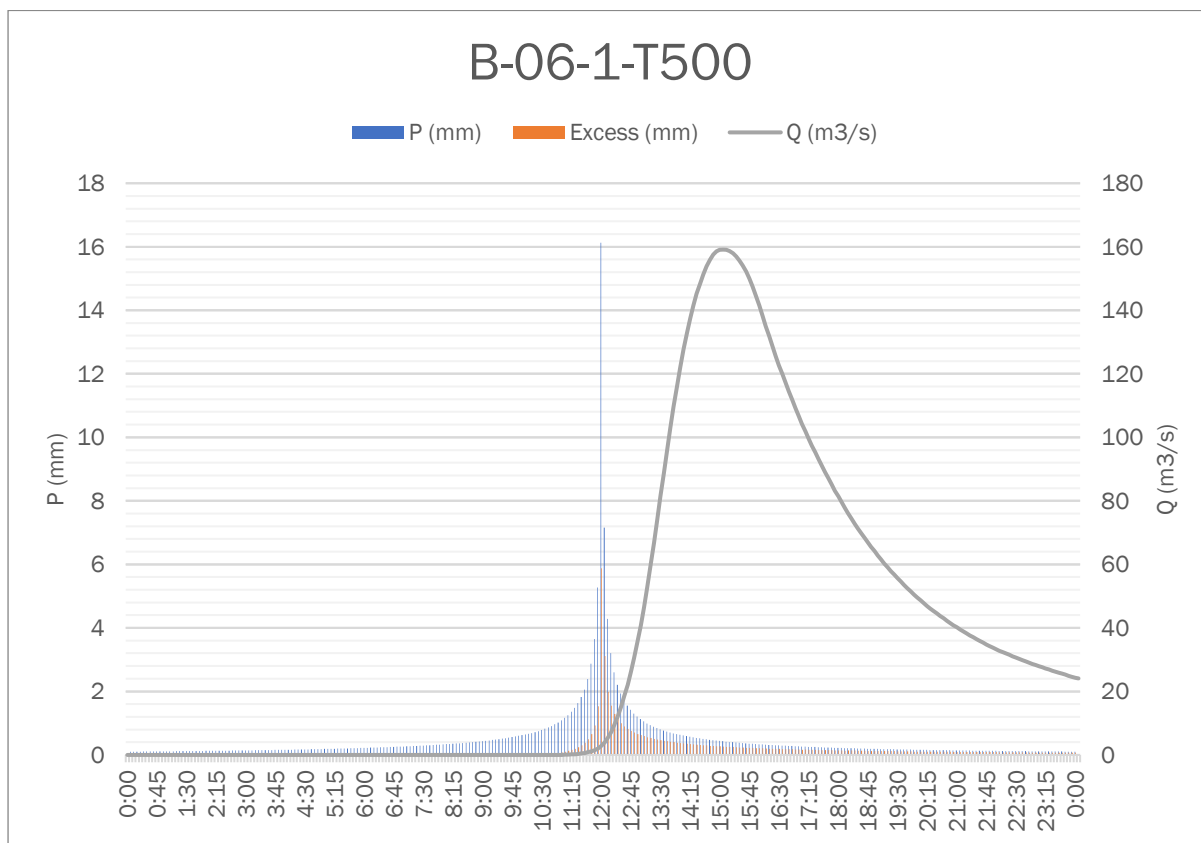


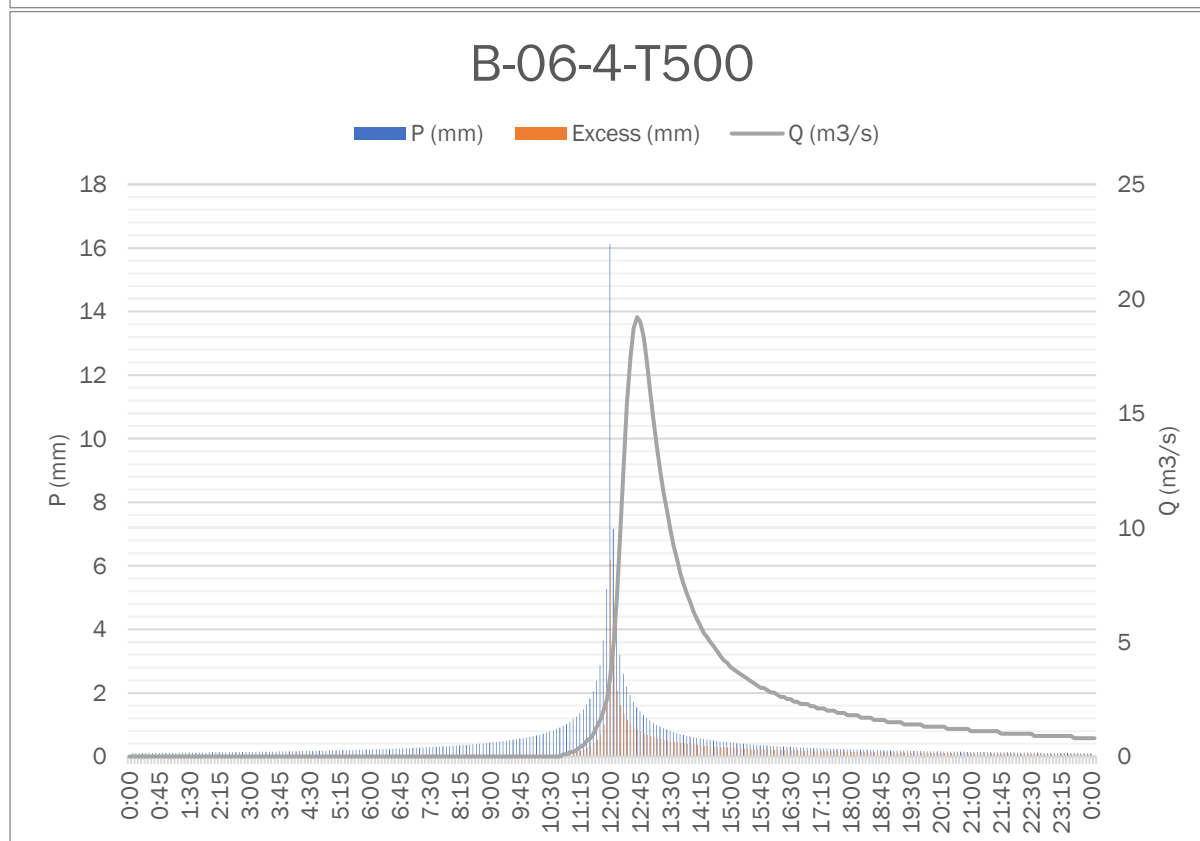
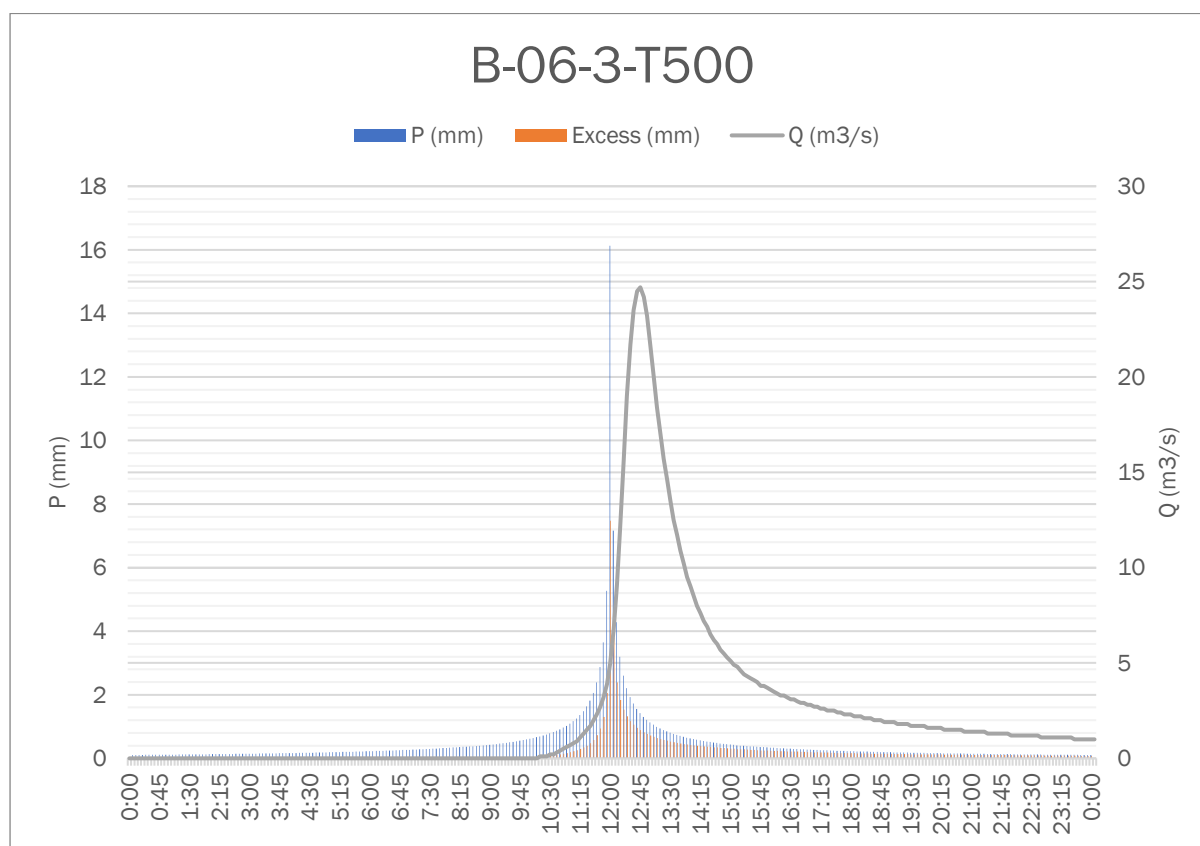


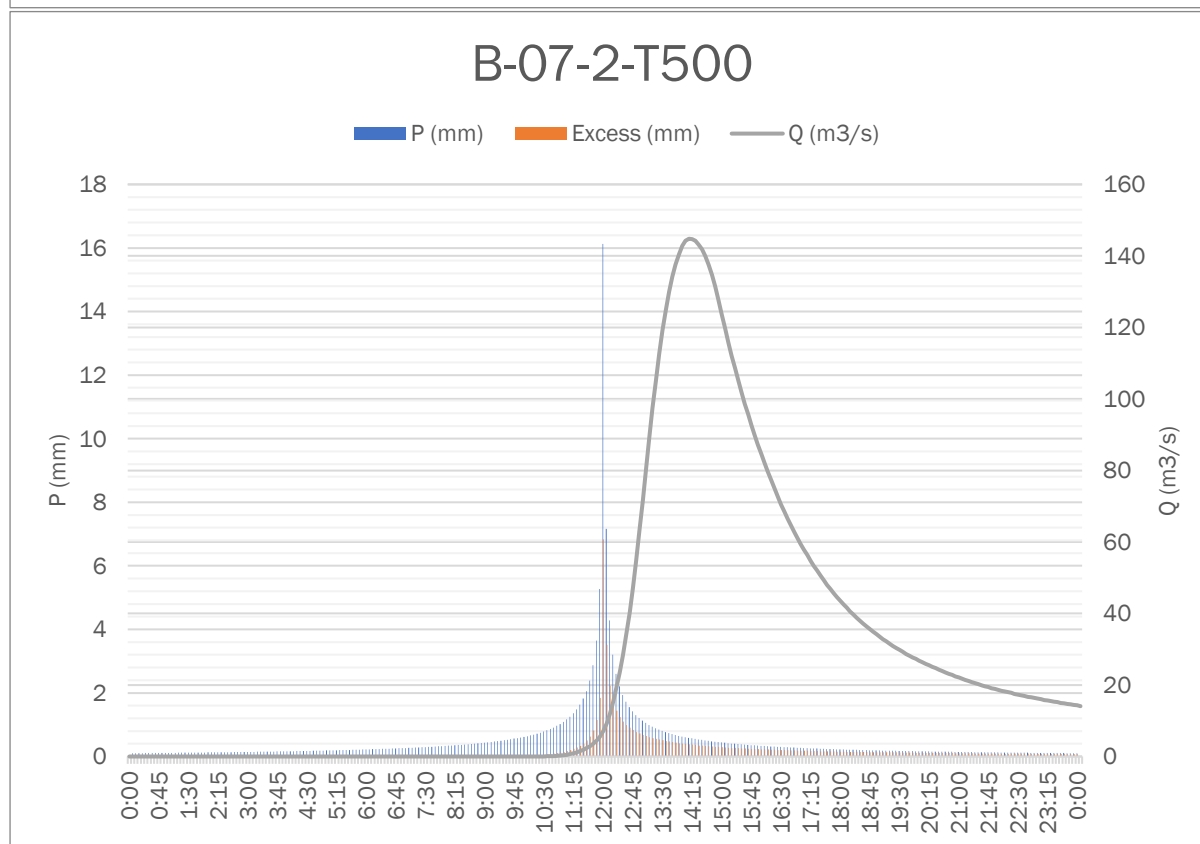
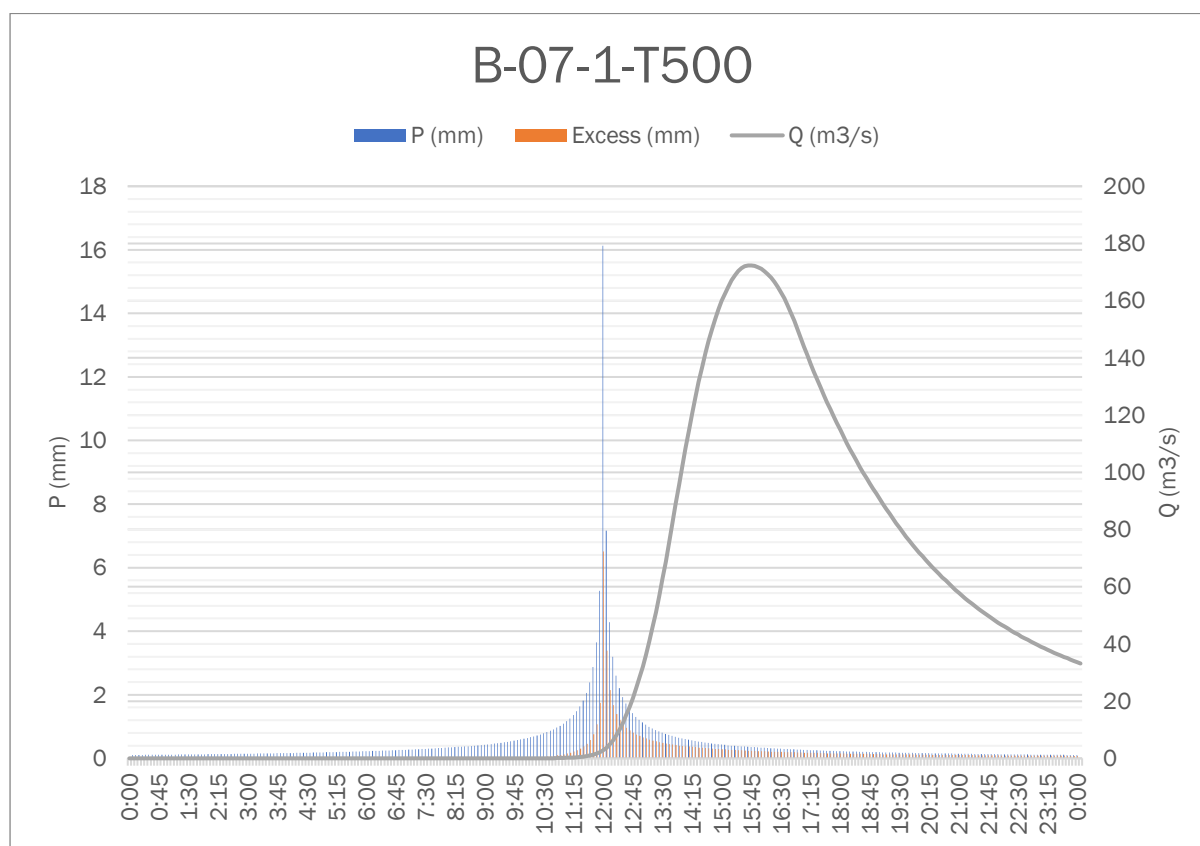


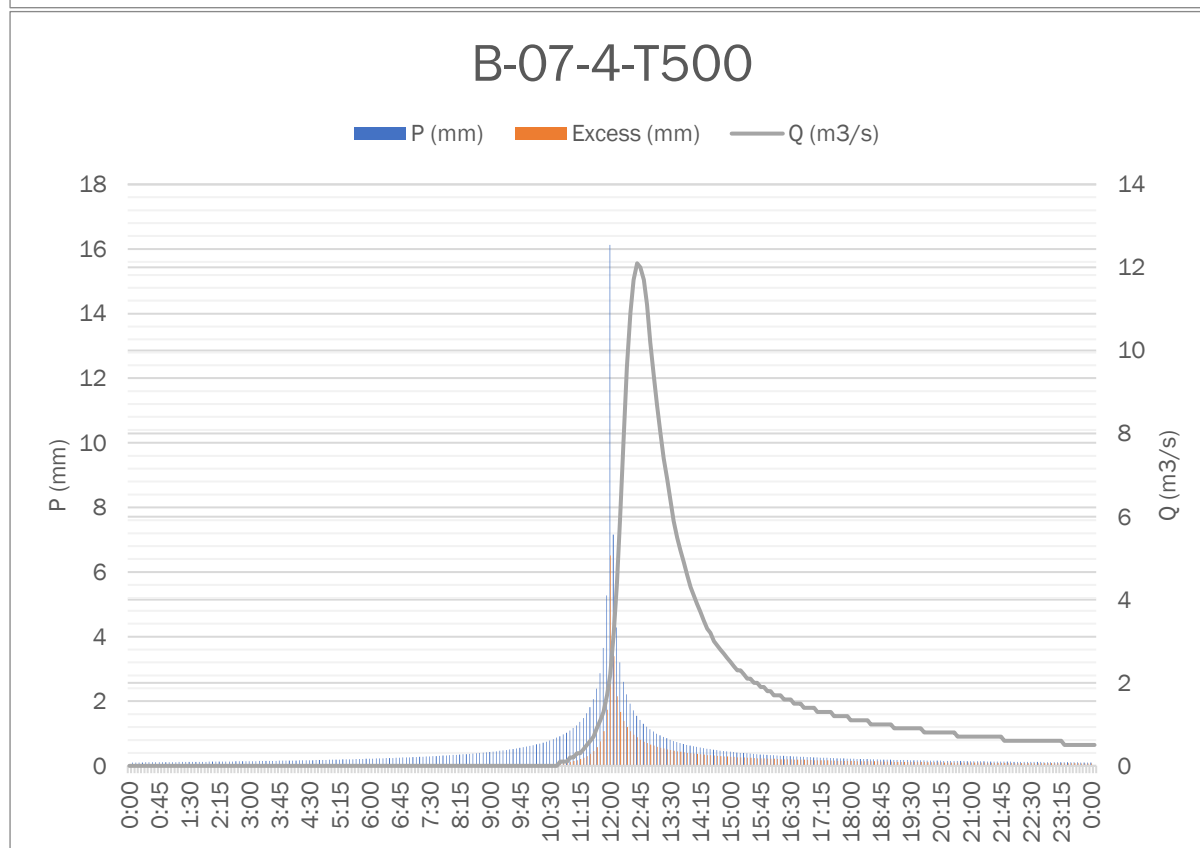
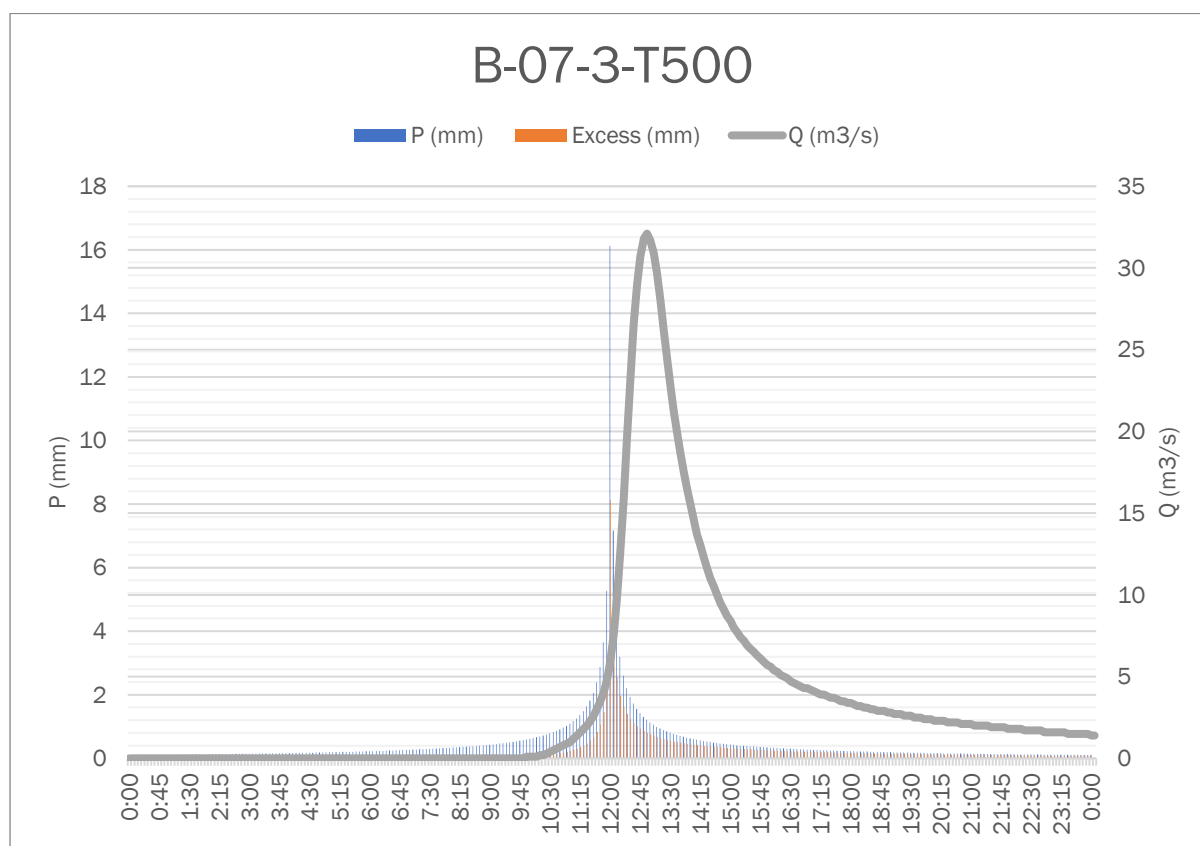


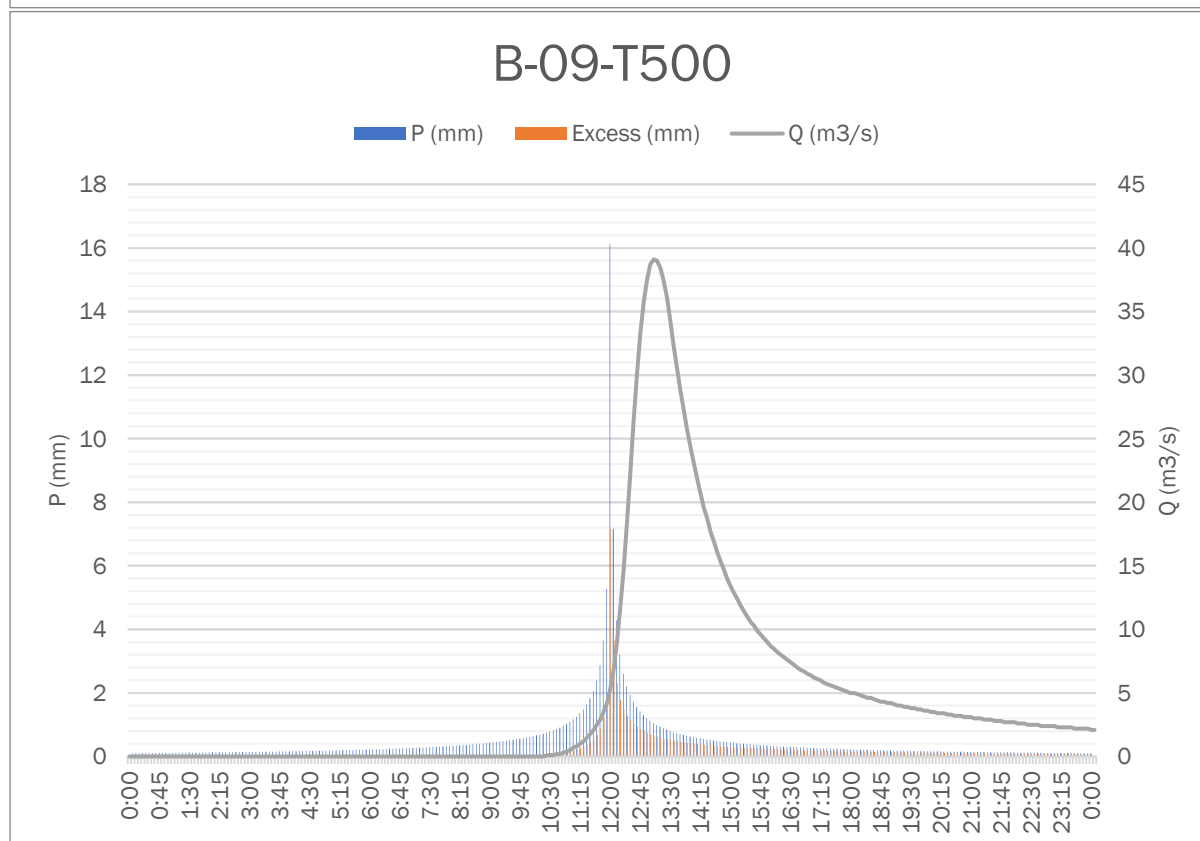
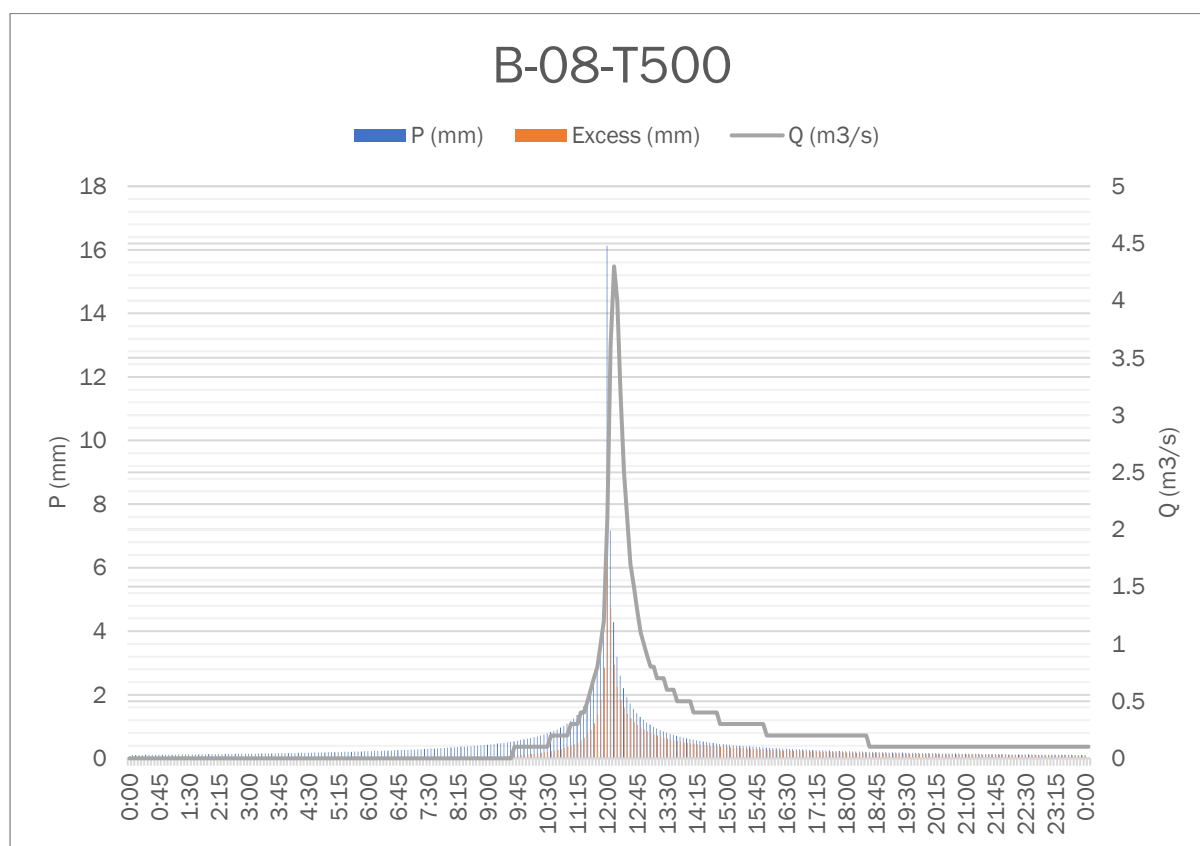




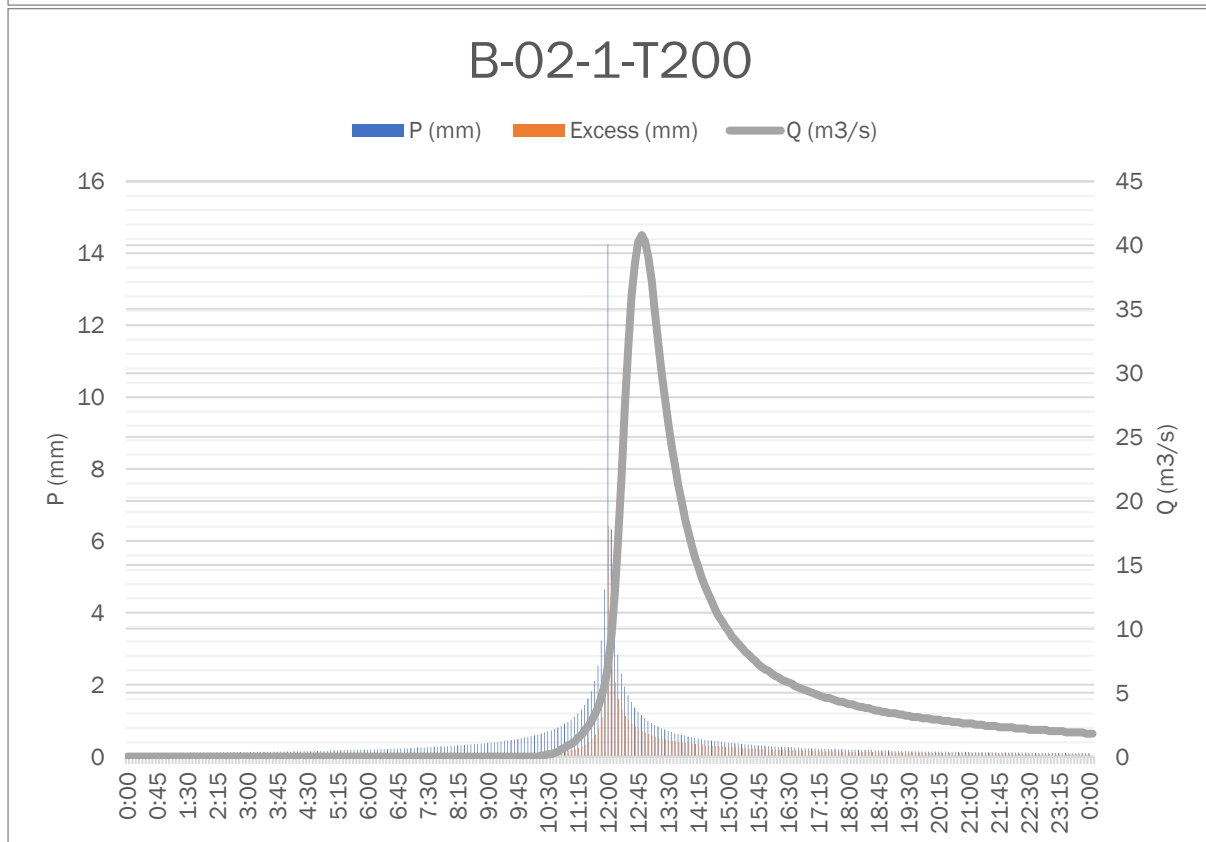
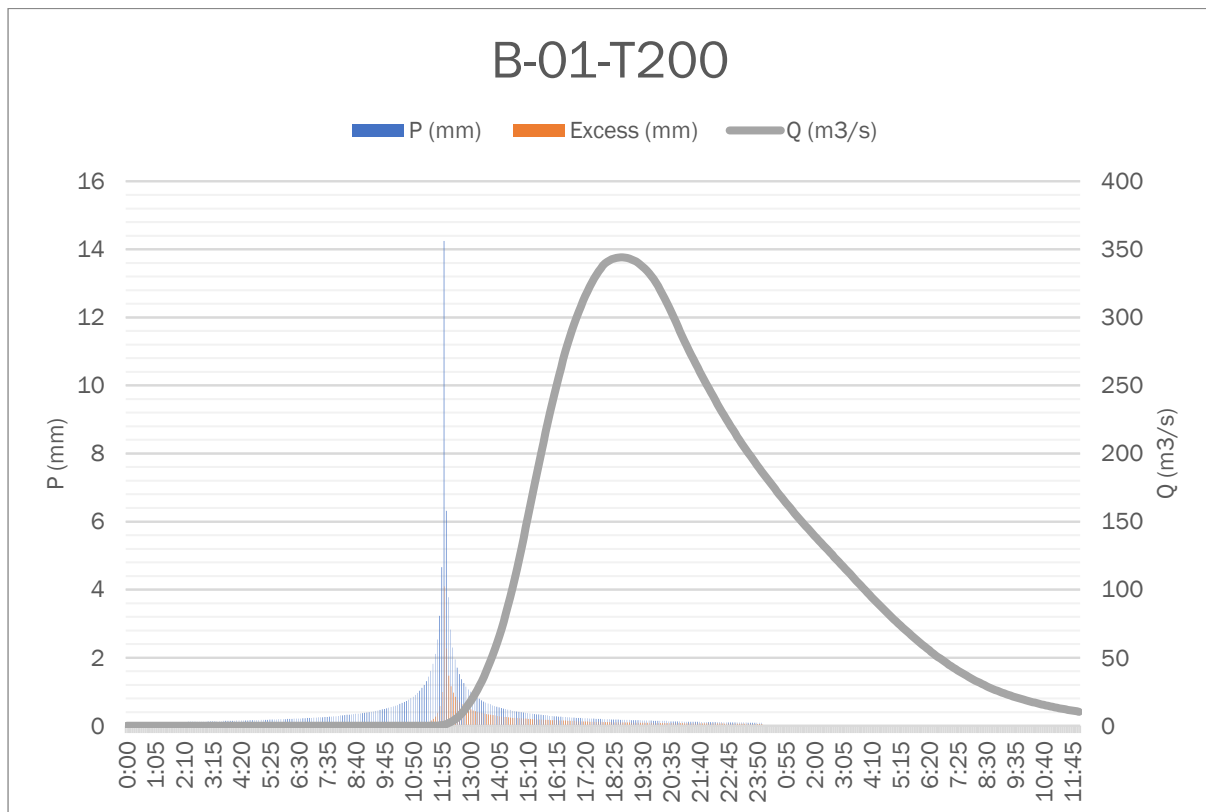


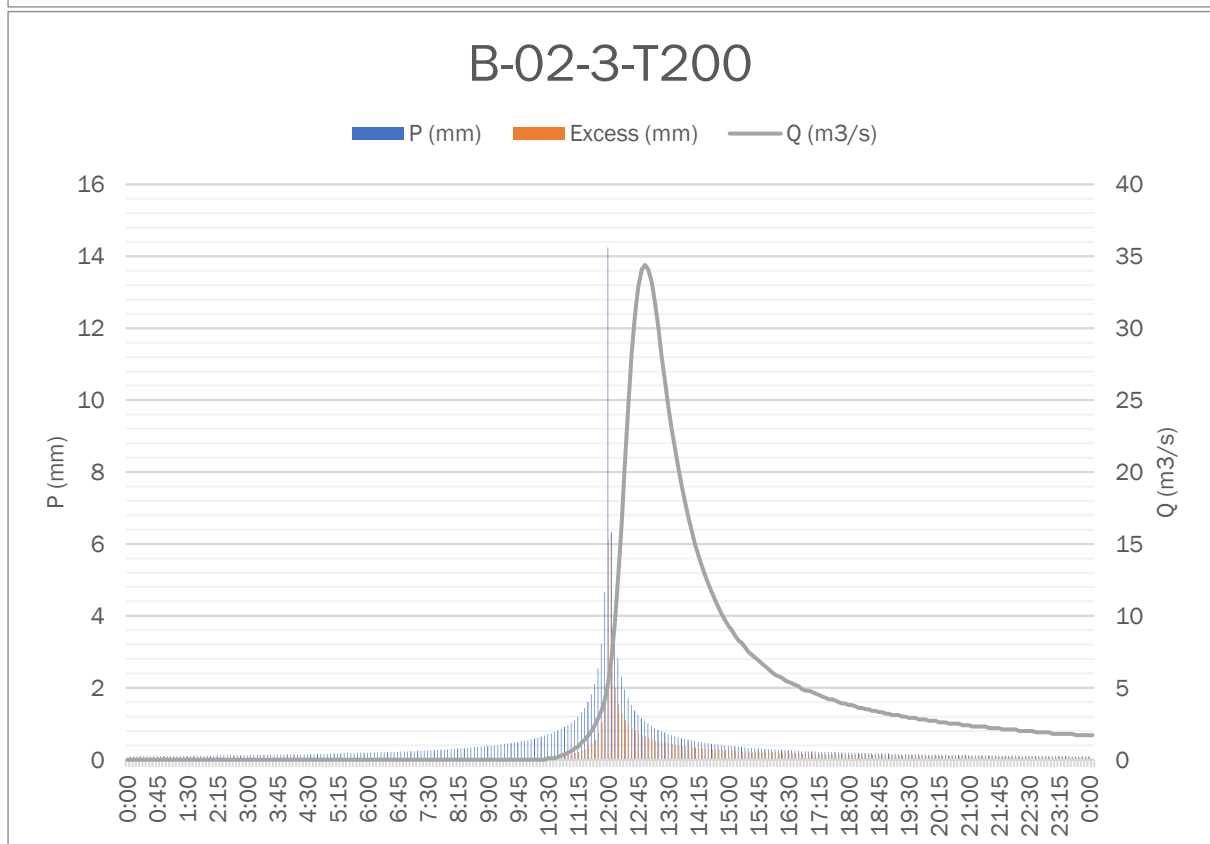
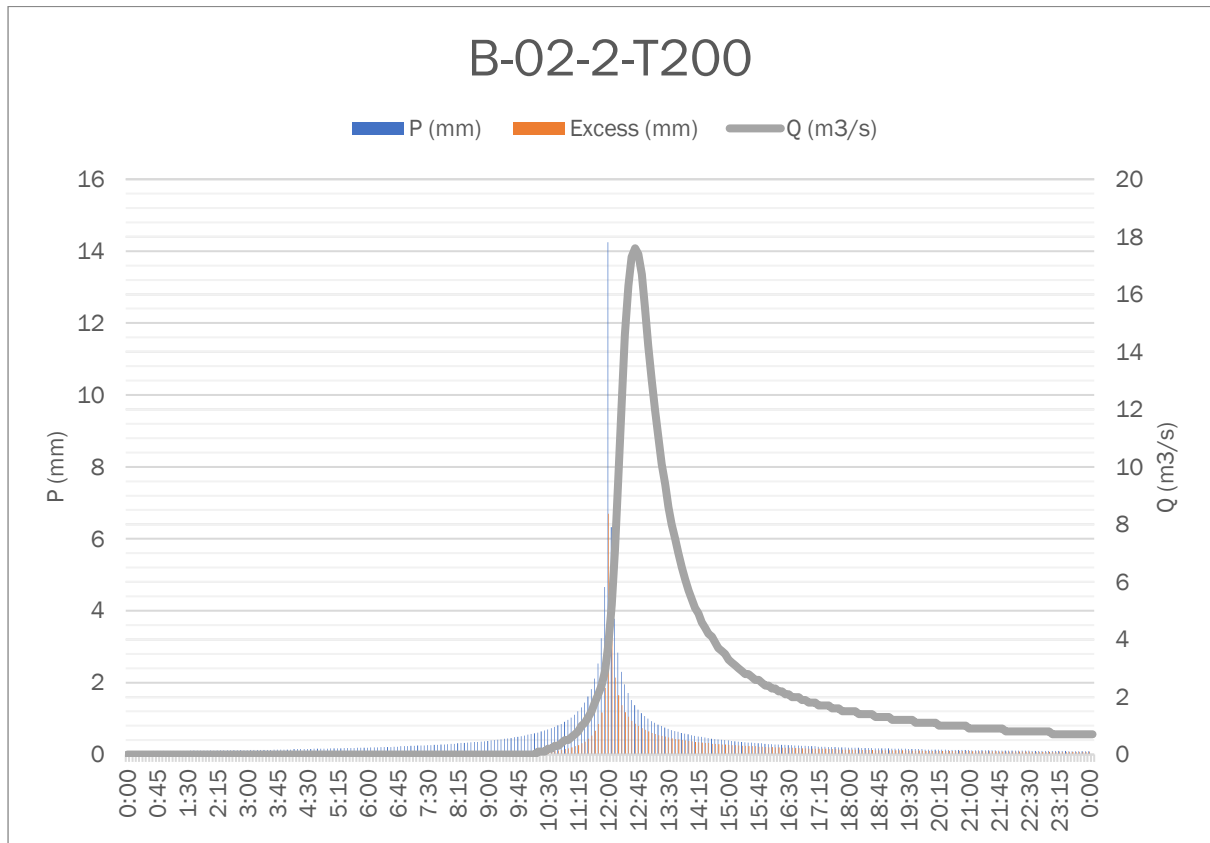


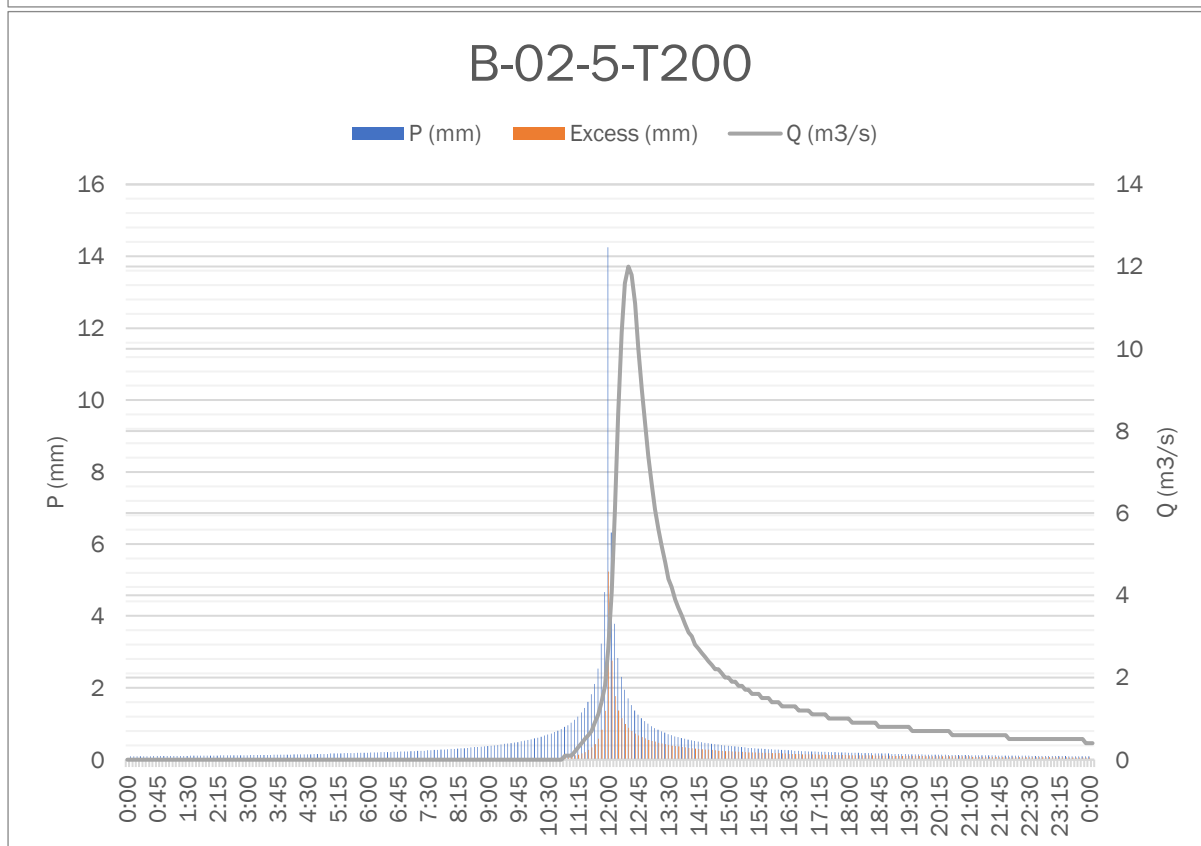
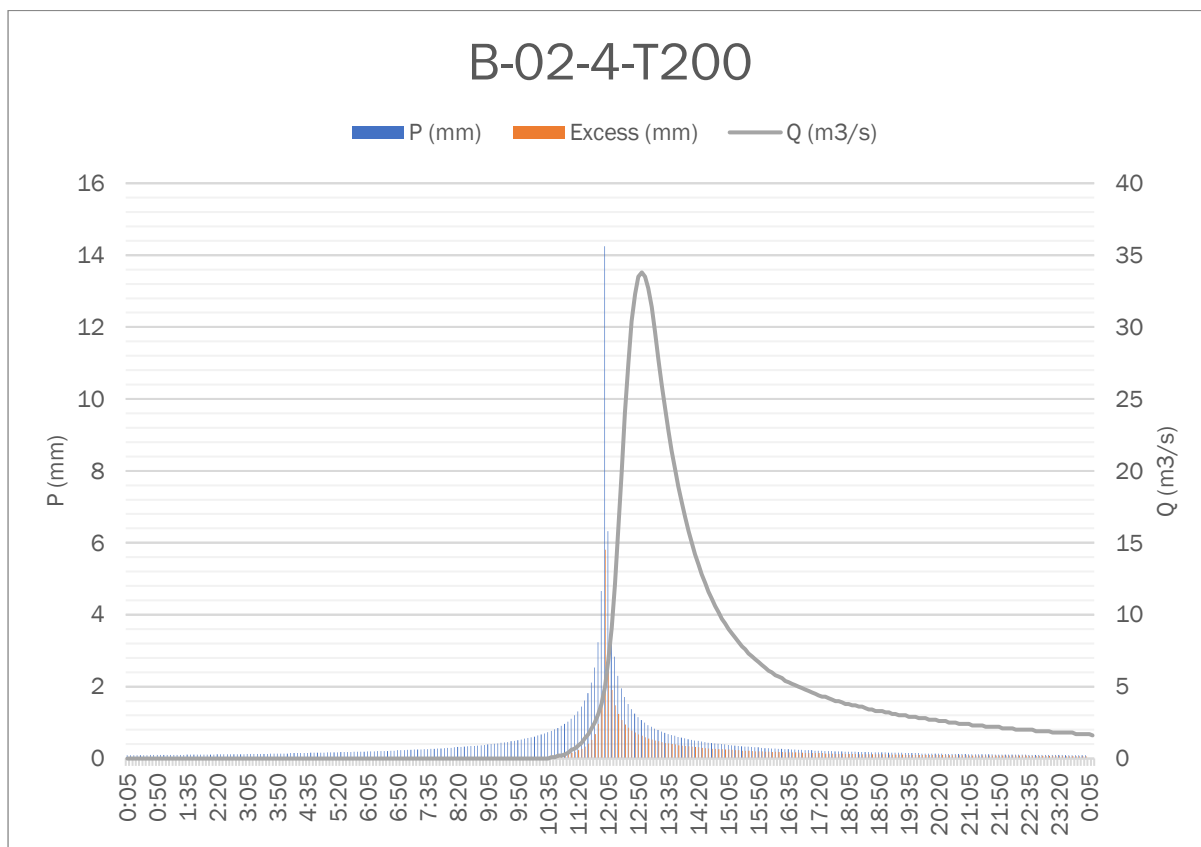


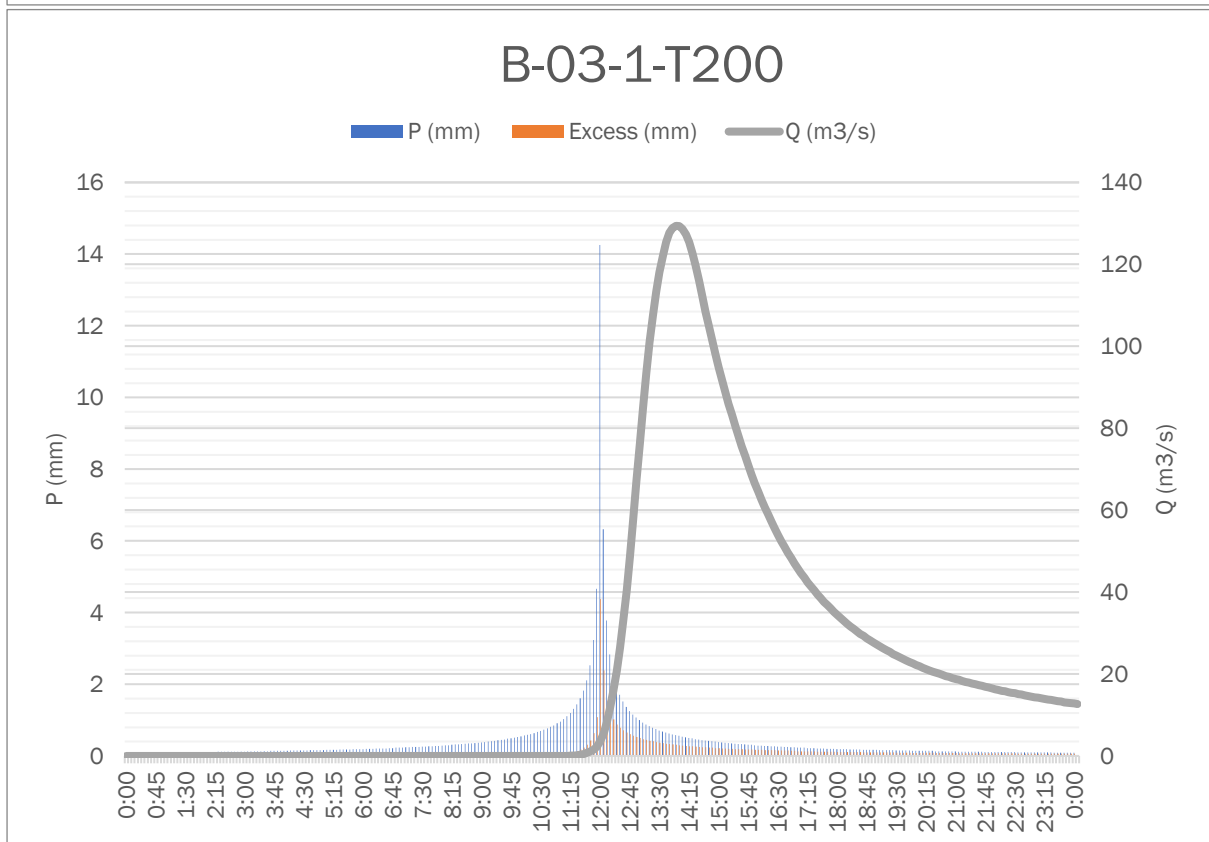
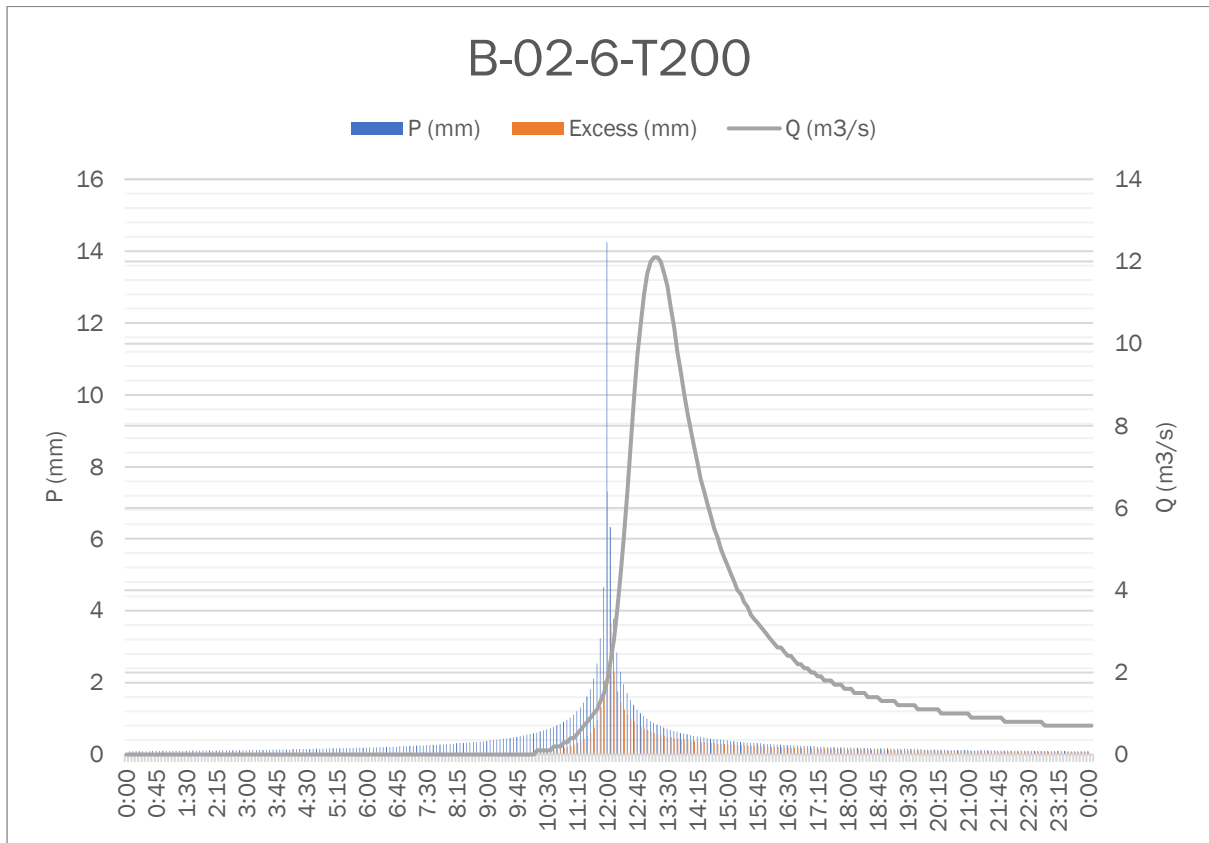


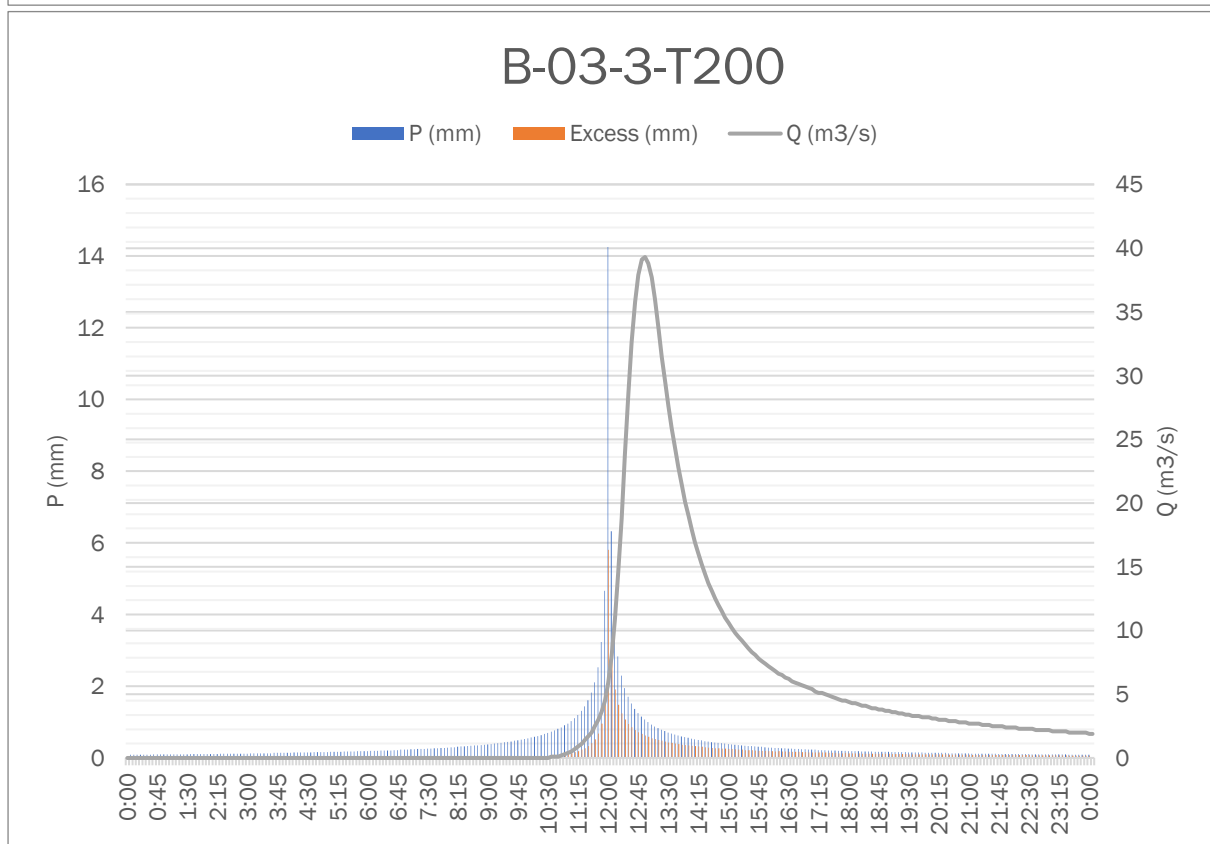
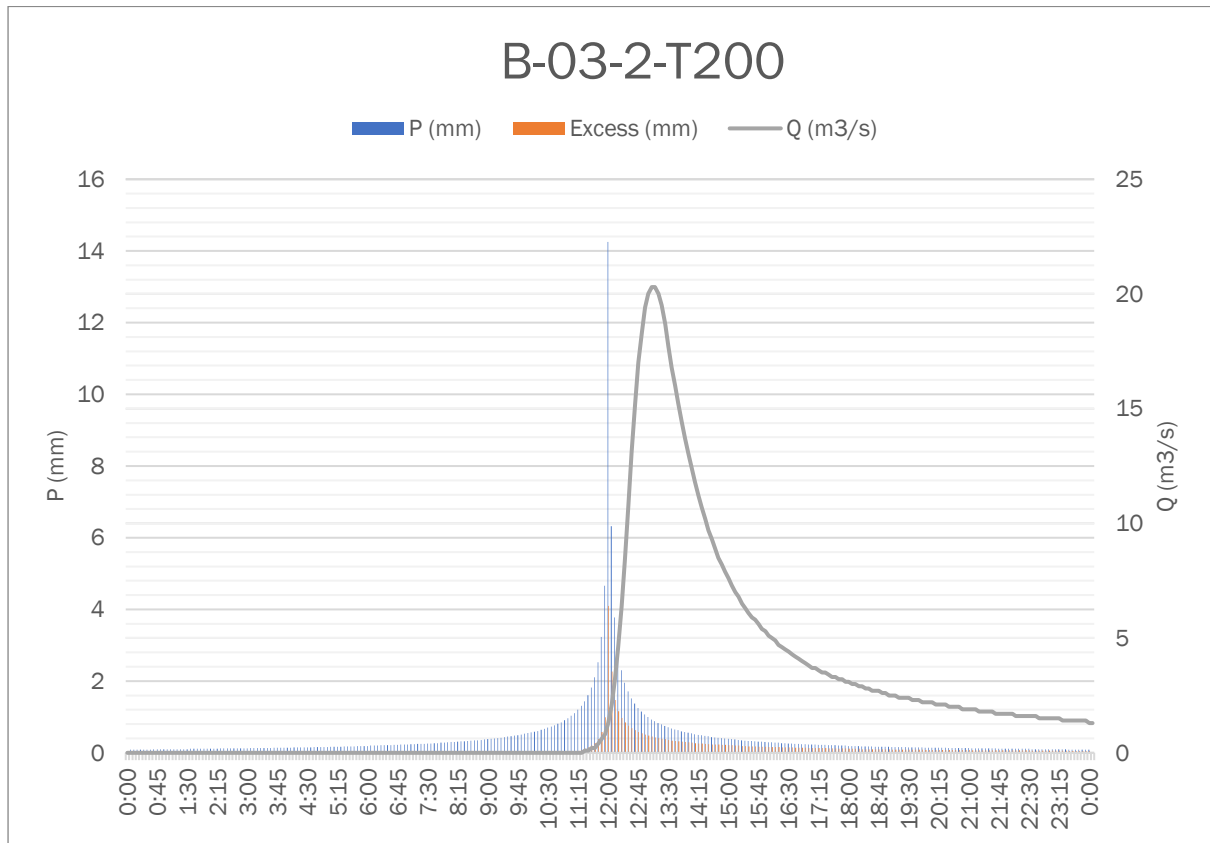
PERÍODO DE RETORNO DE 200 ANOS

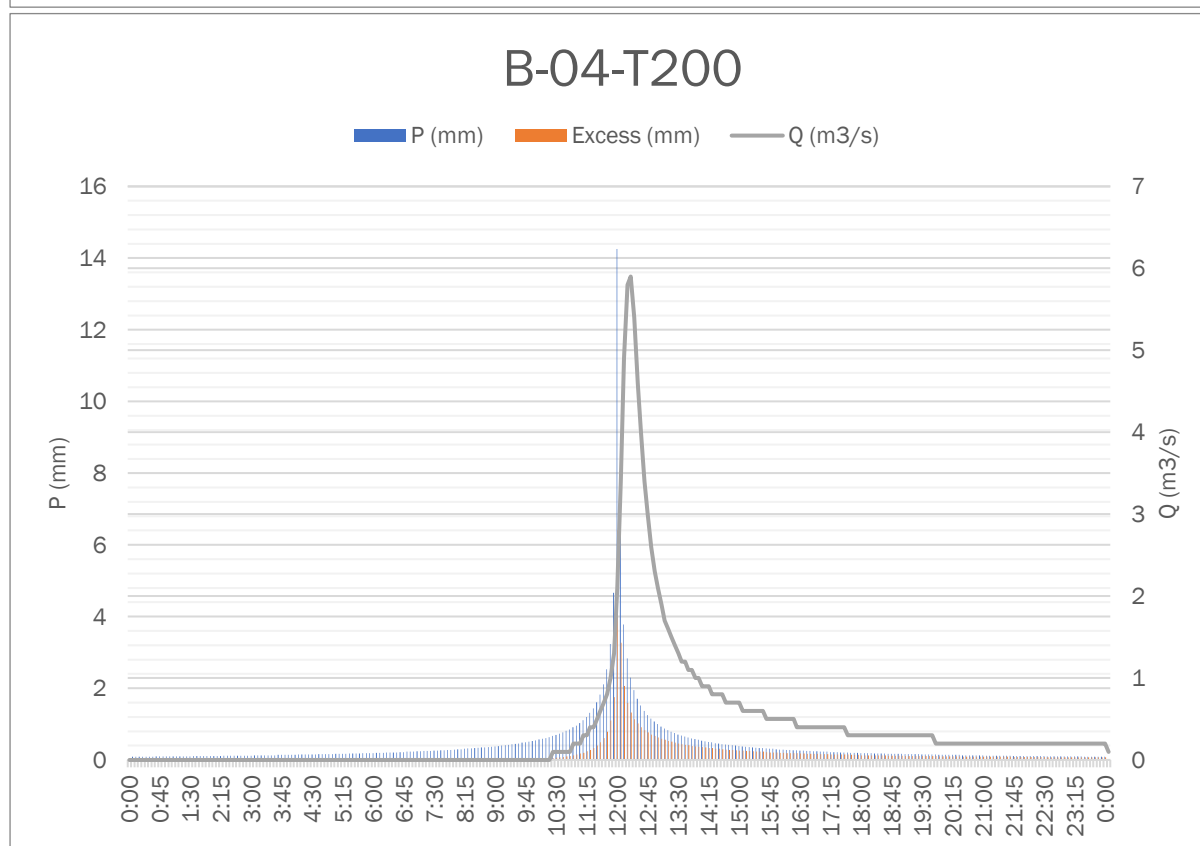
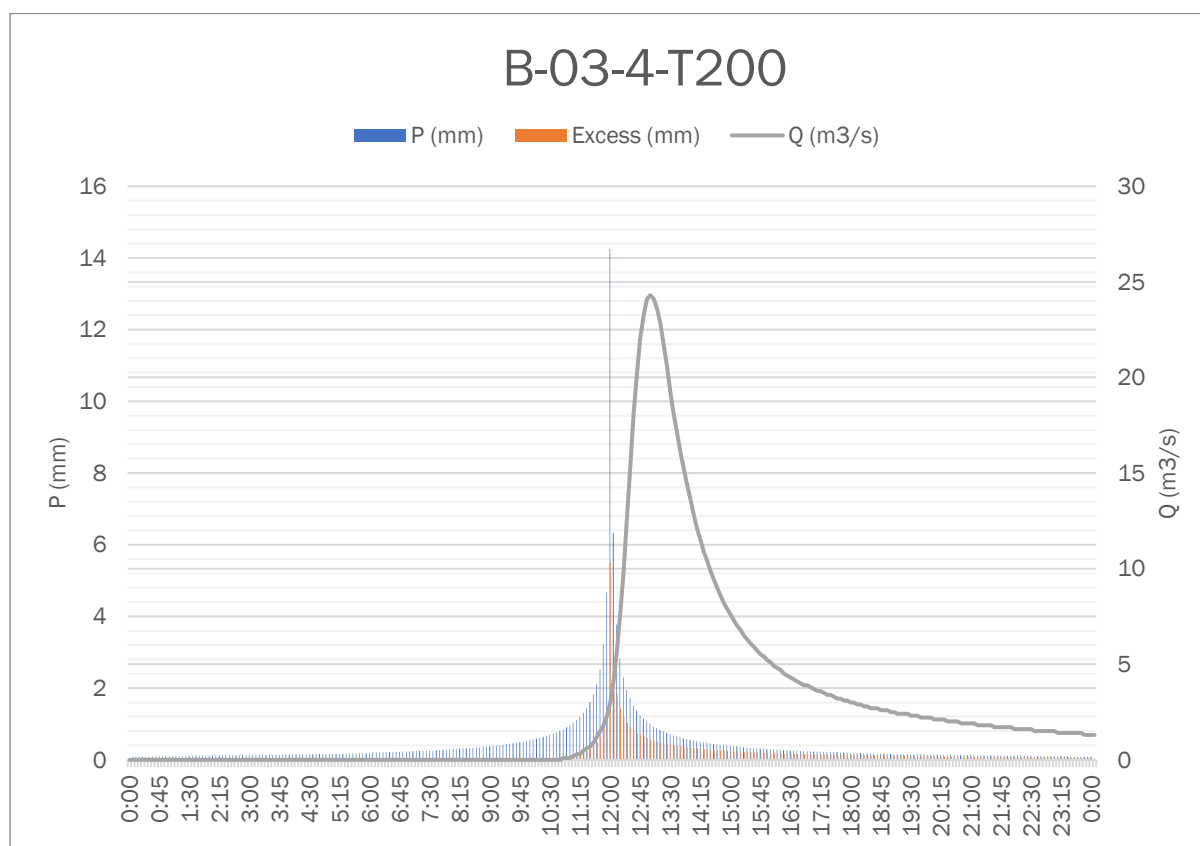


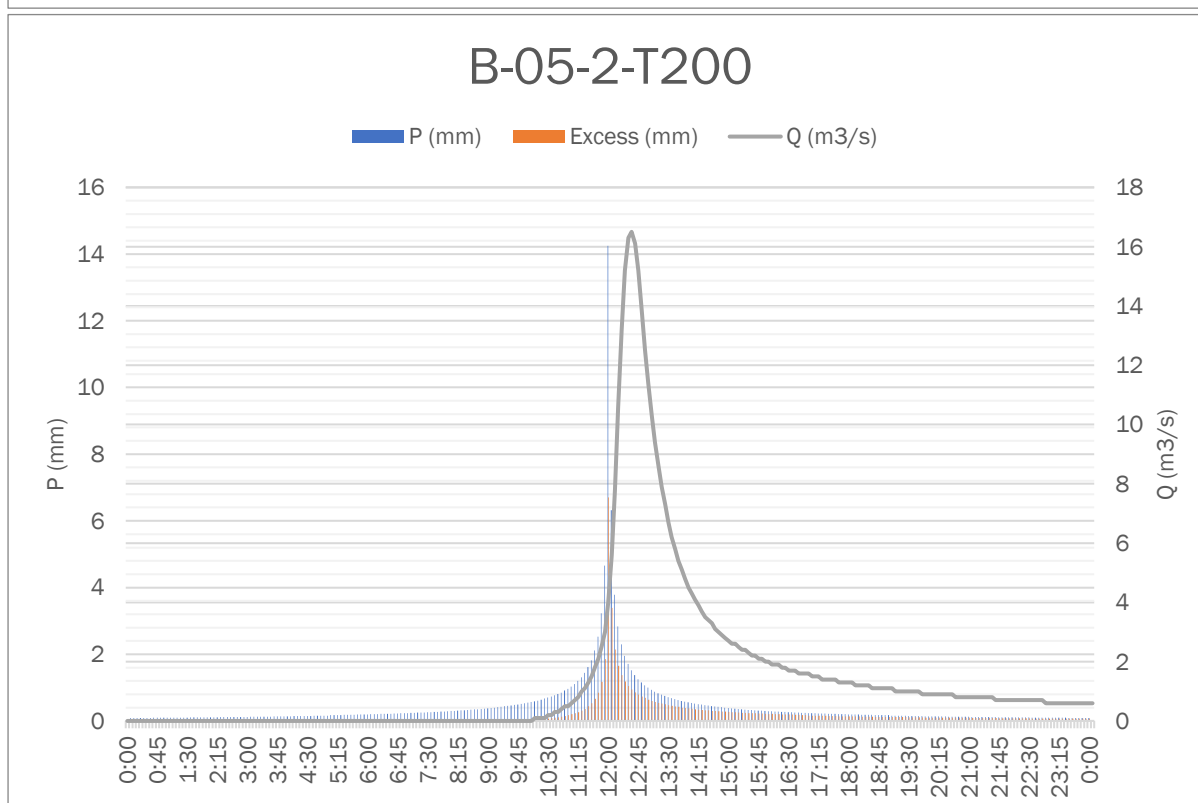
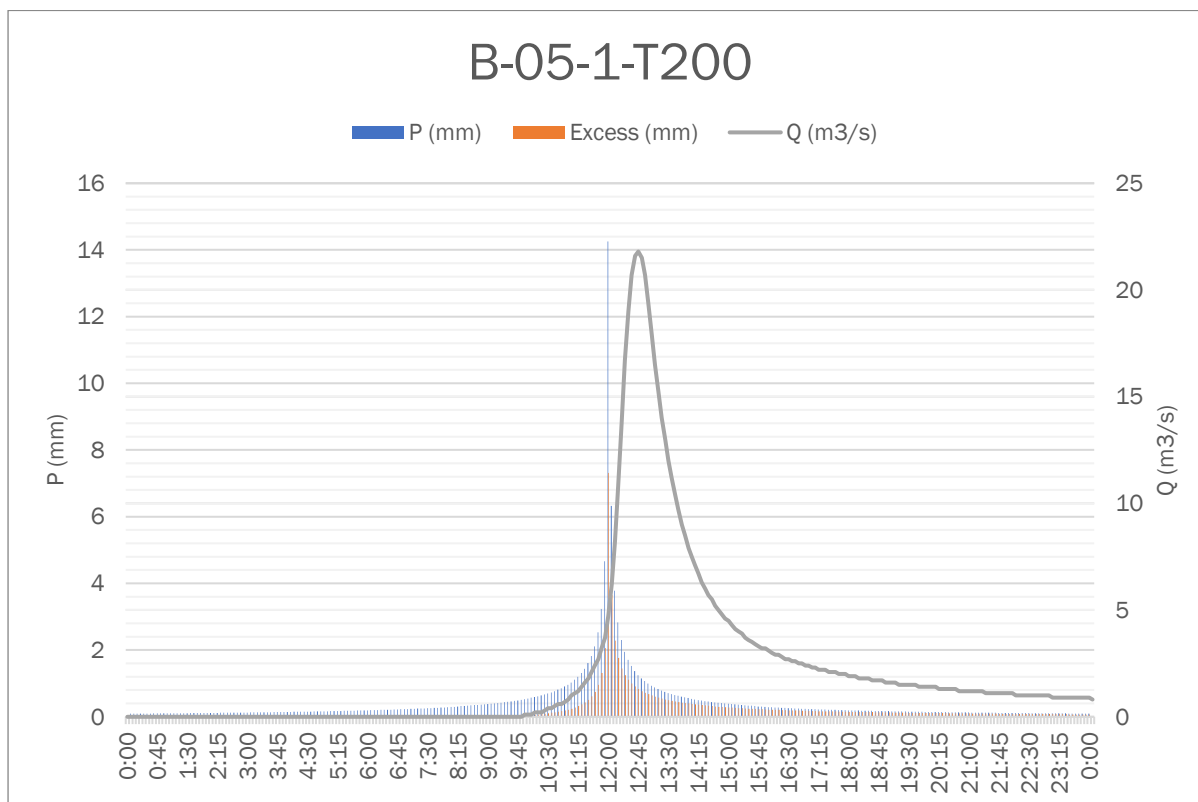


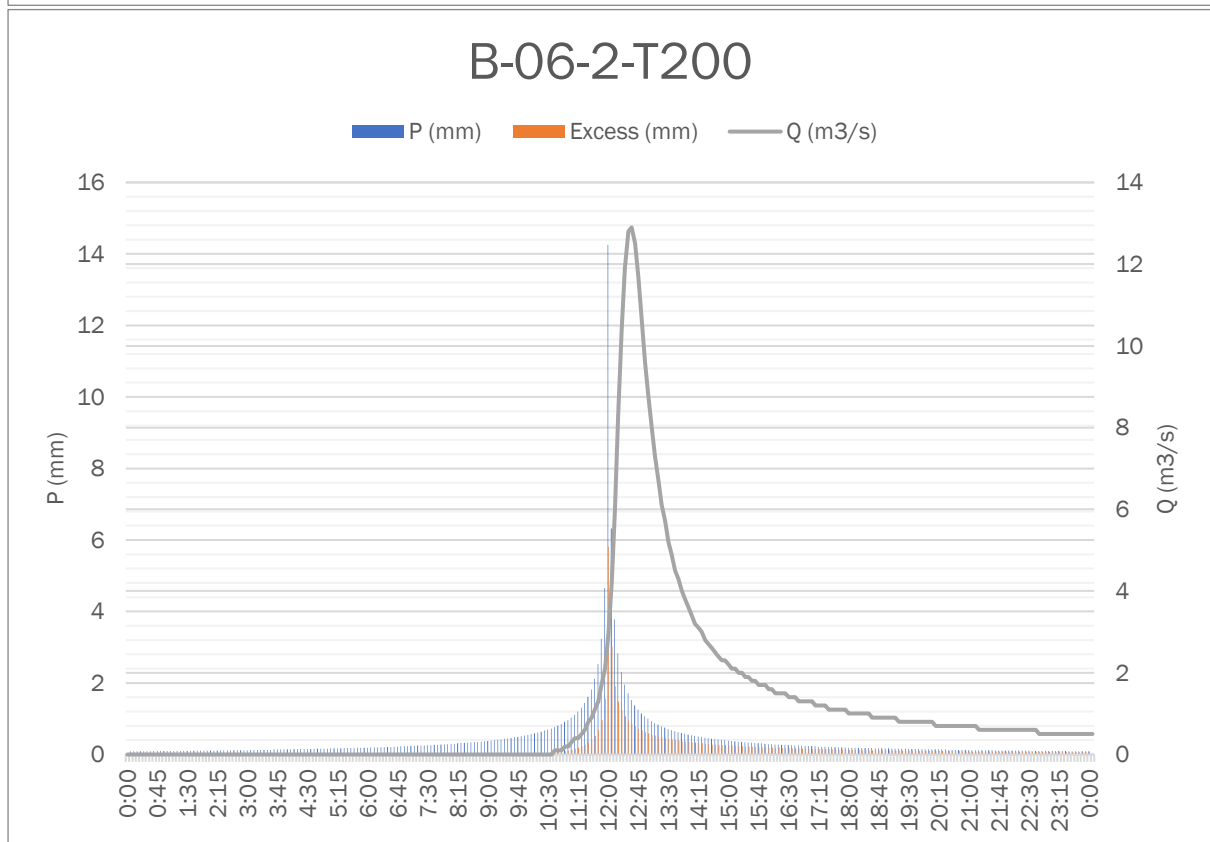
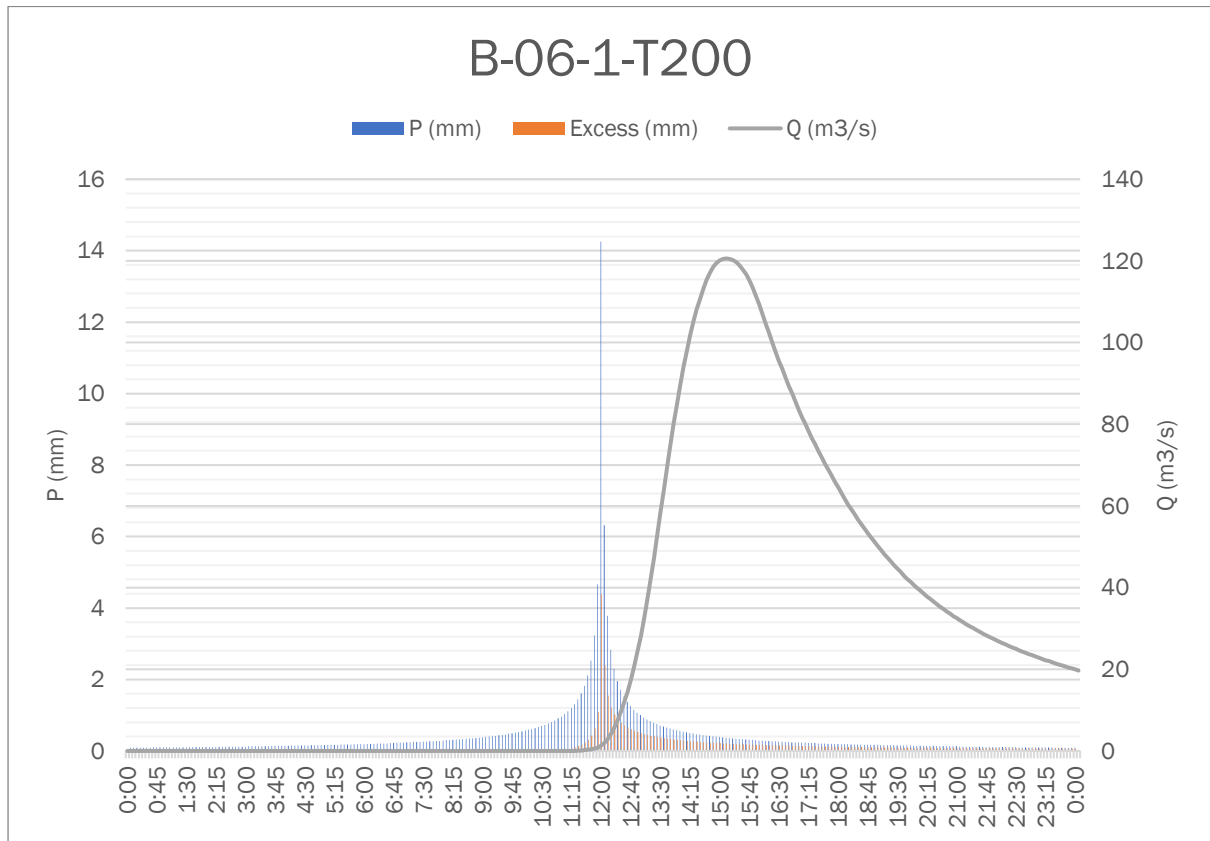


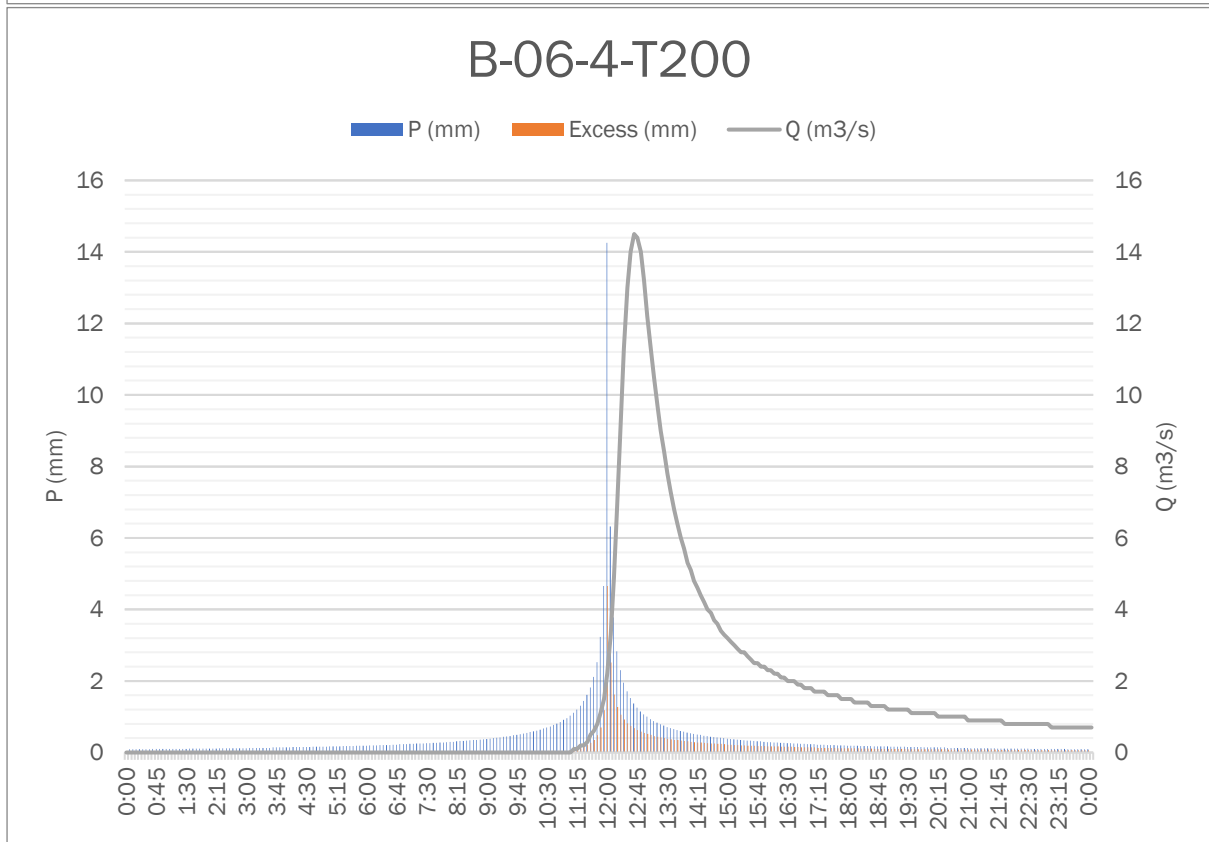
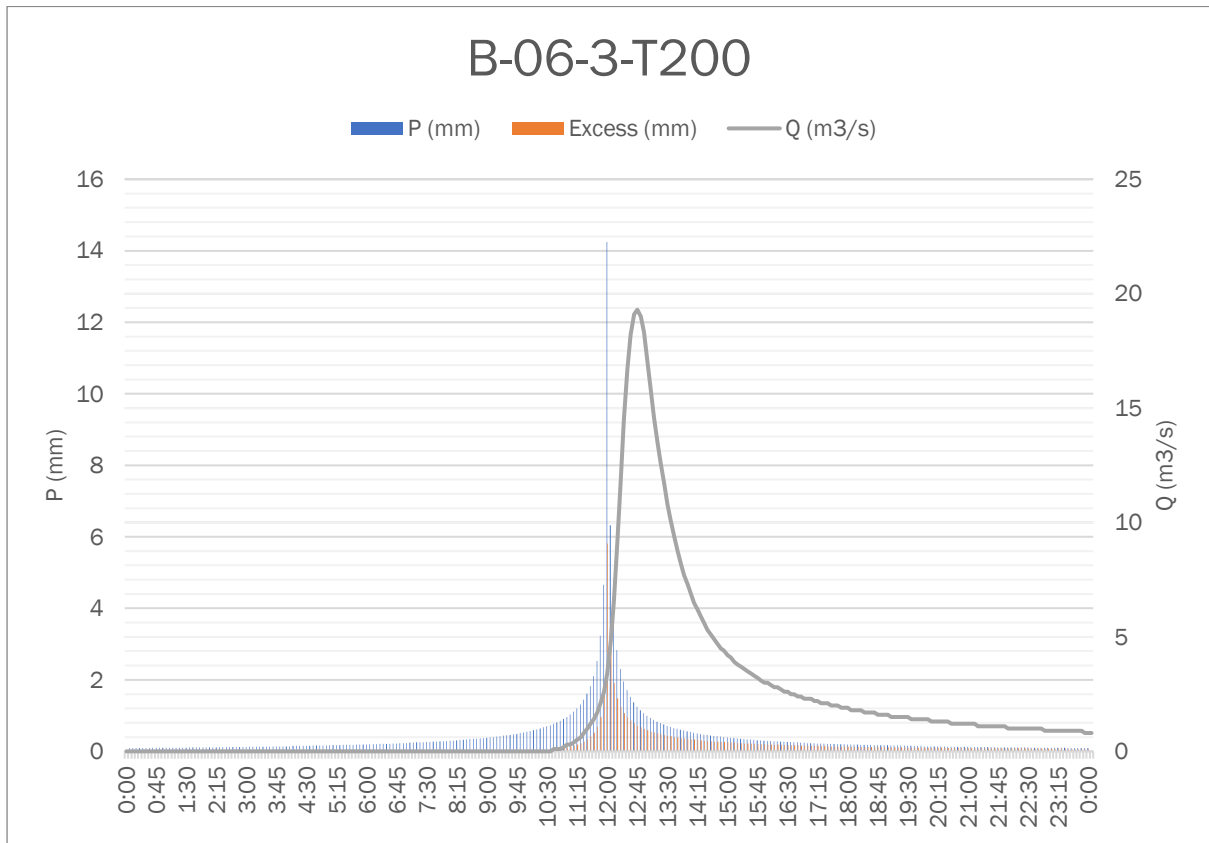


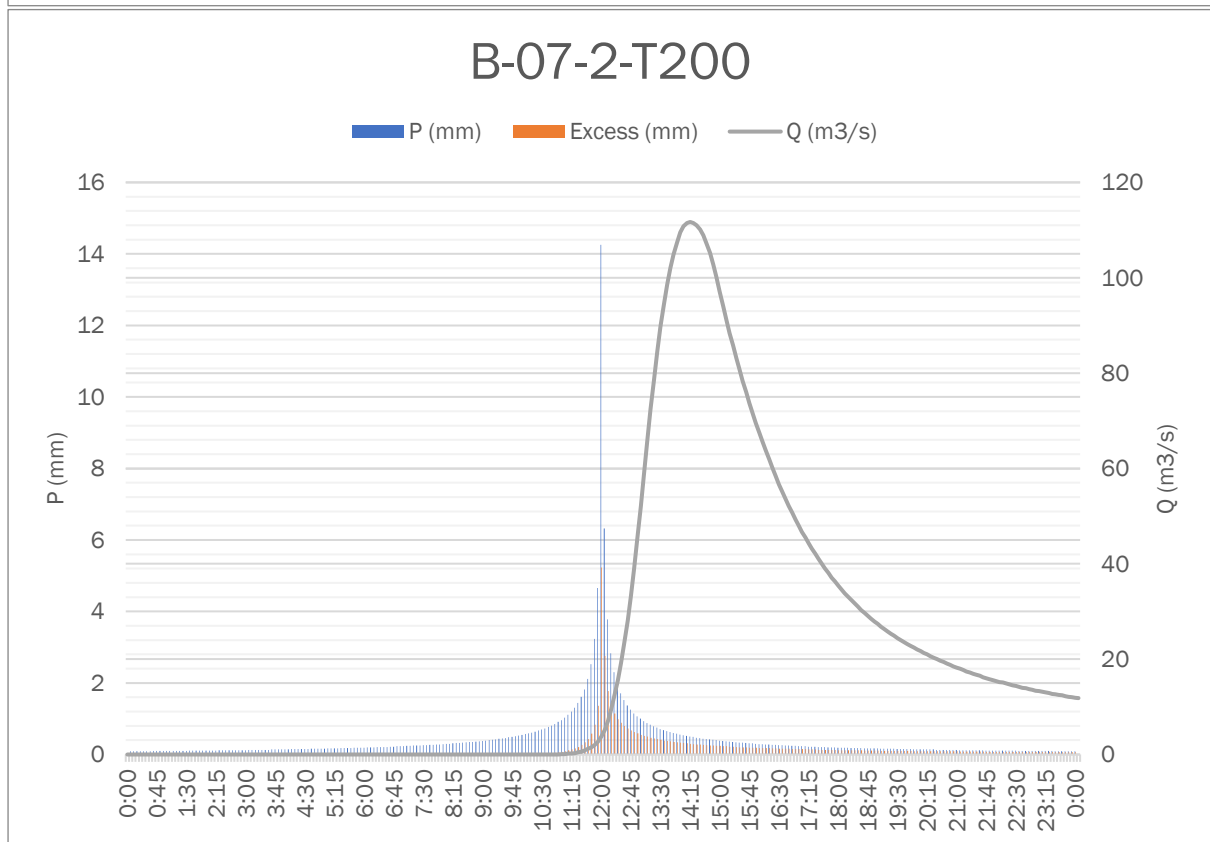
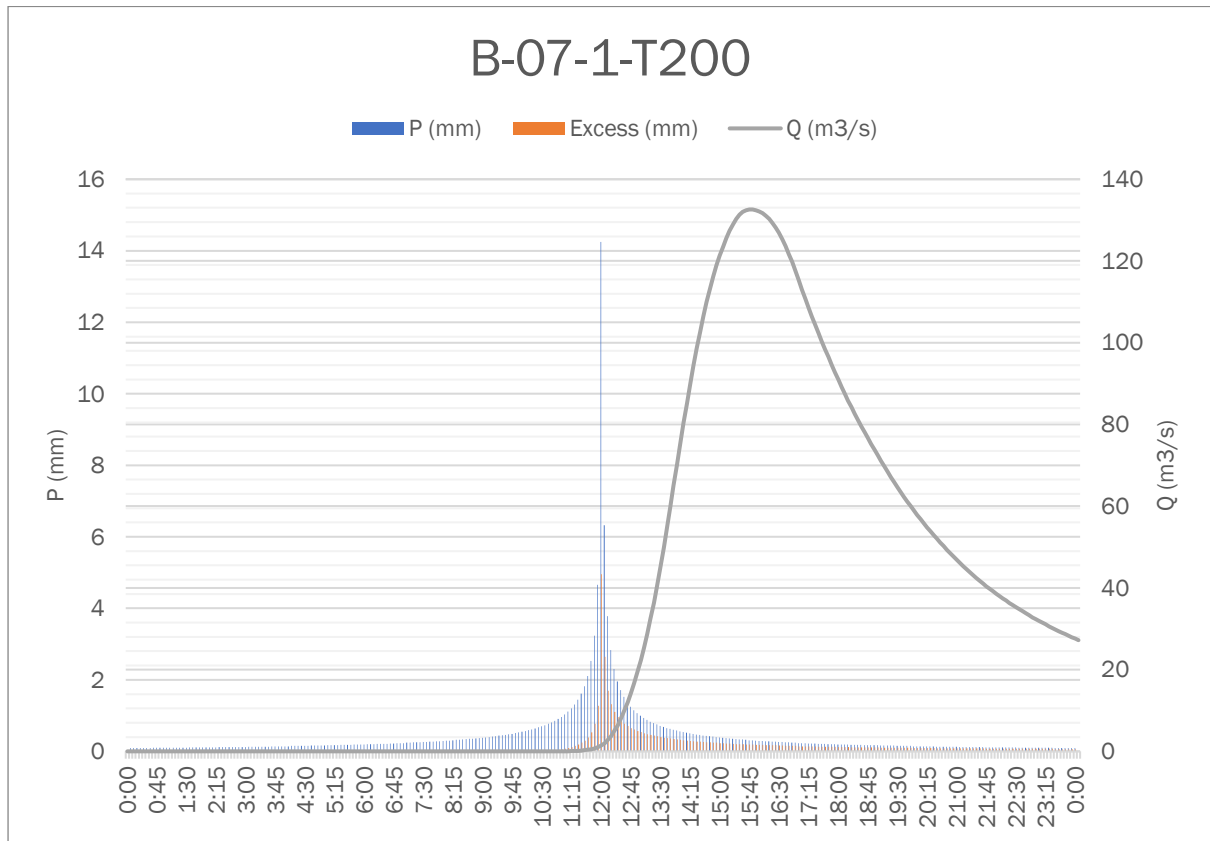


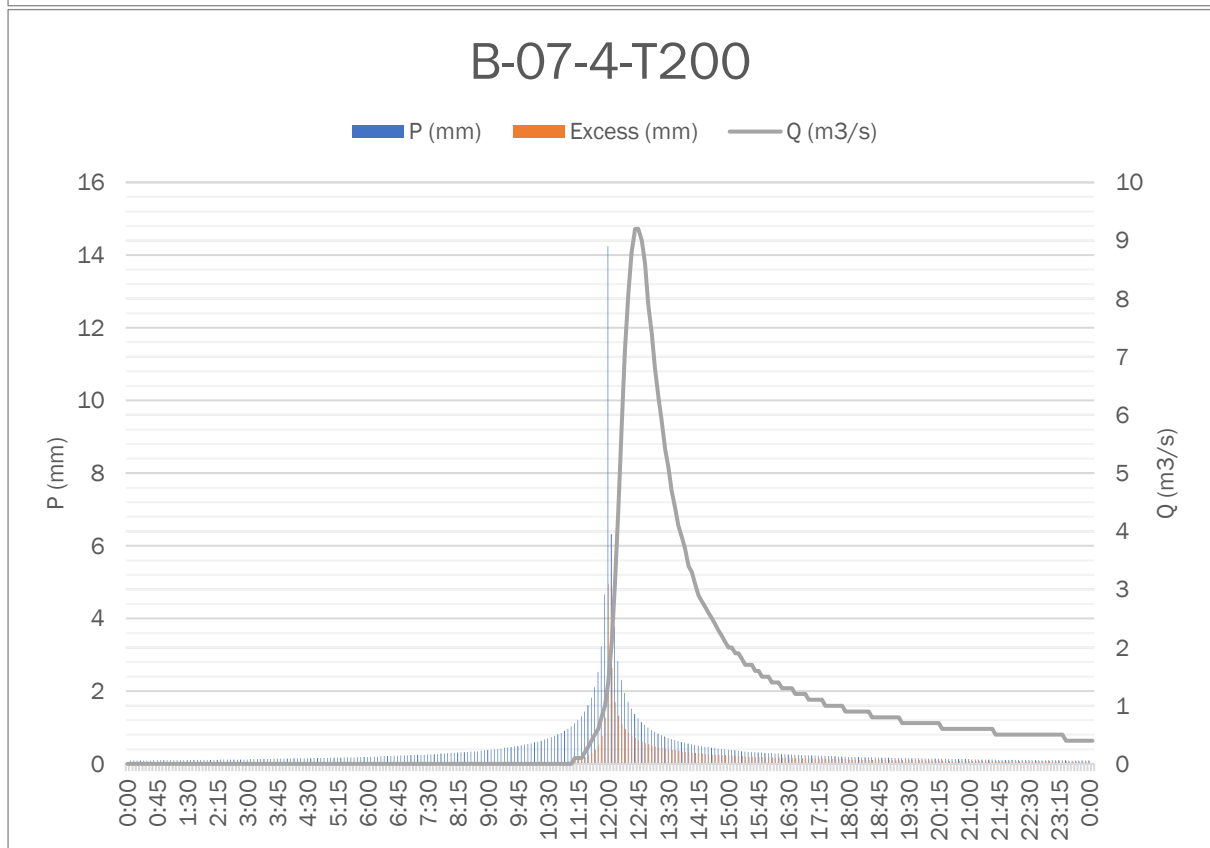
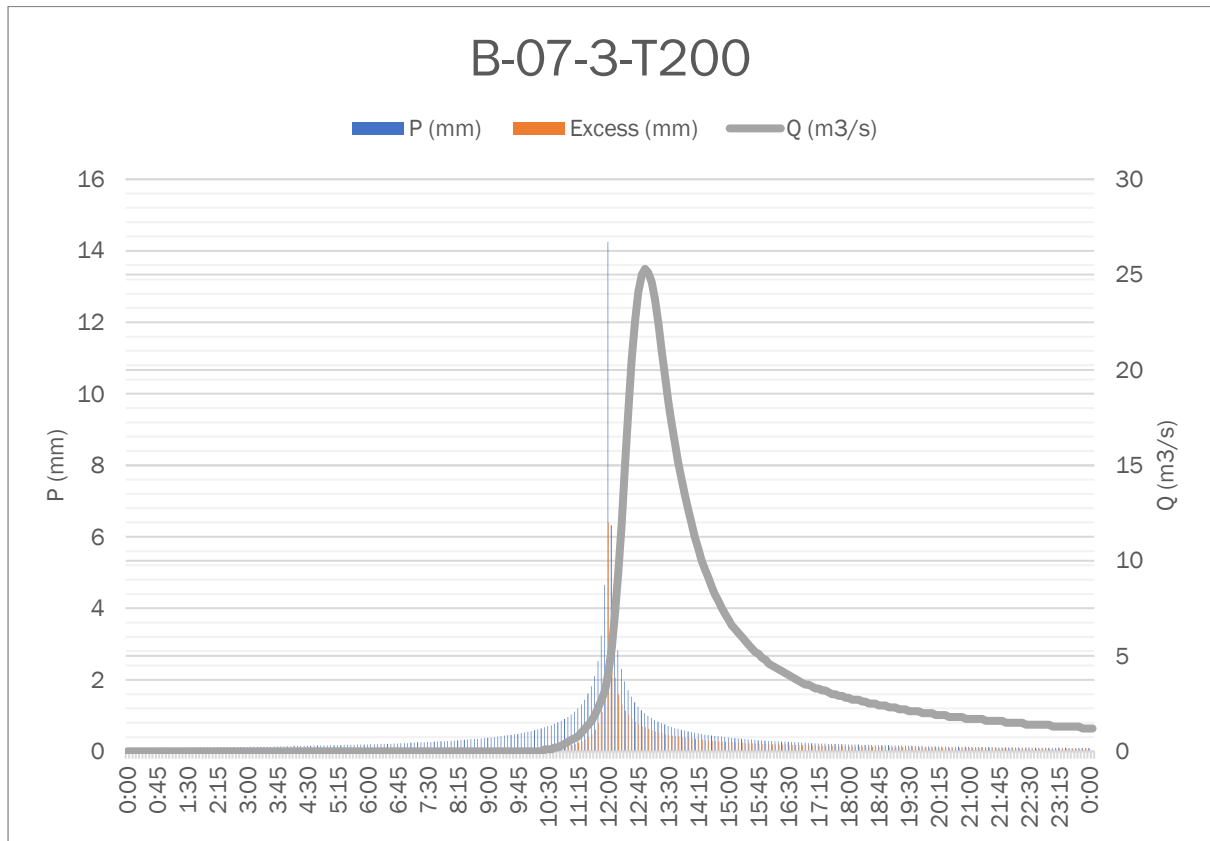


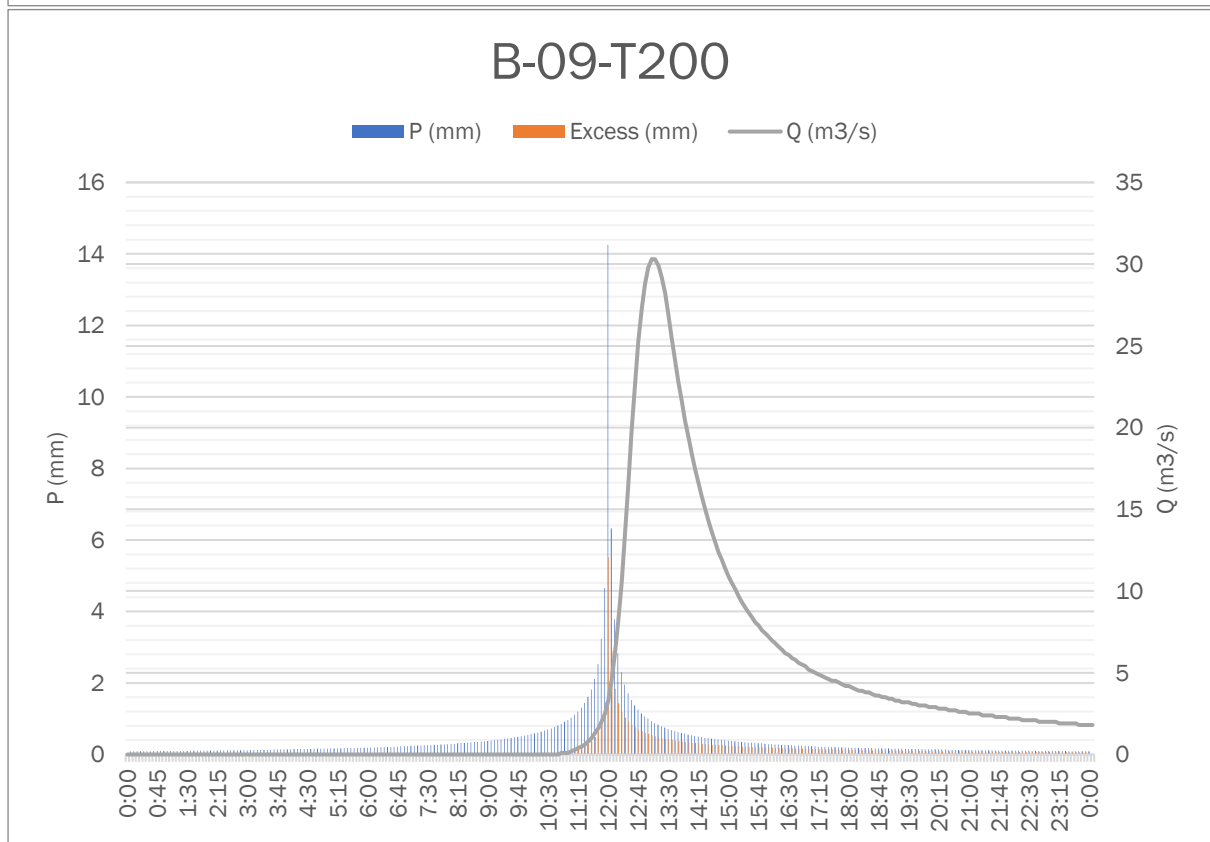
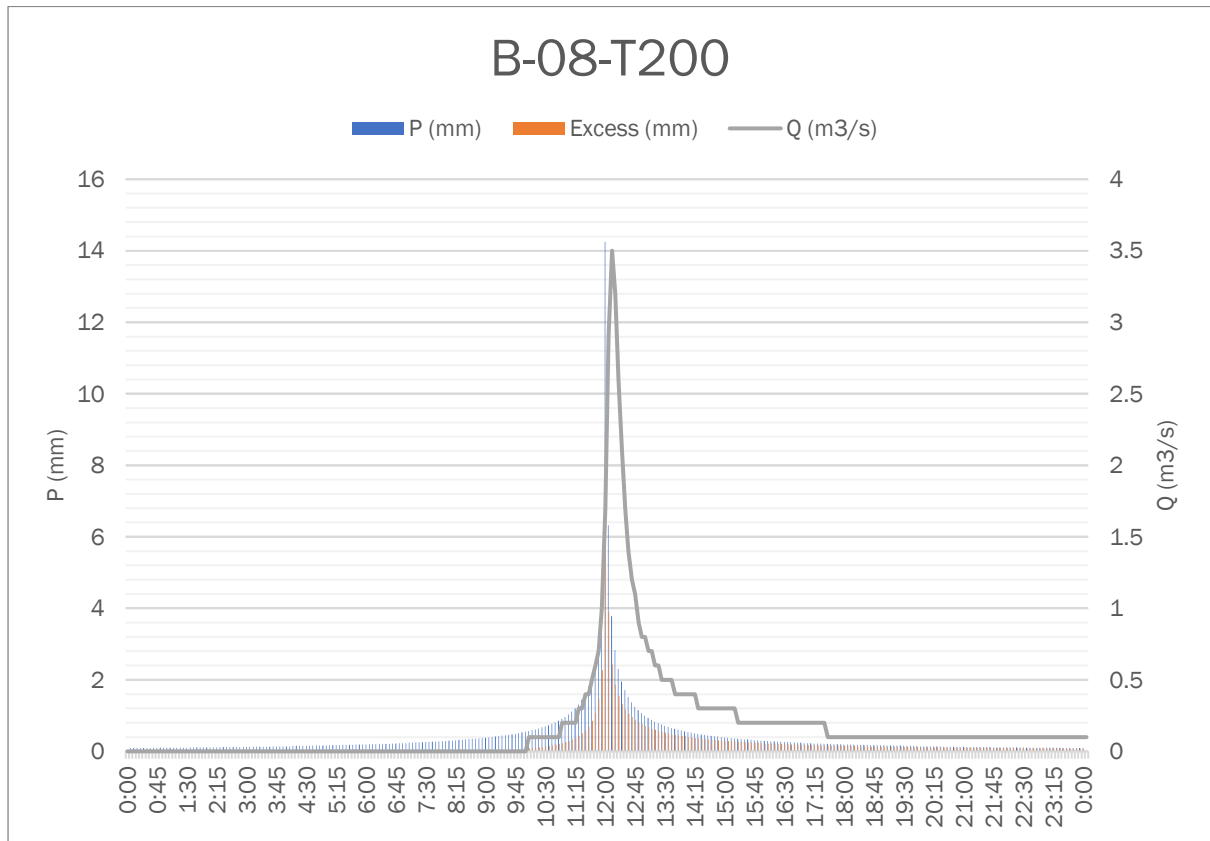




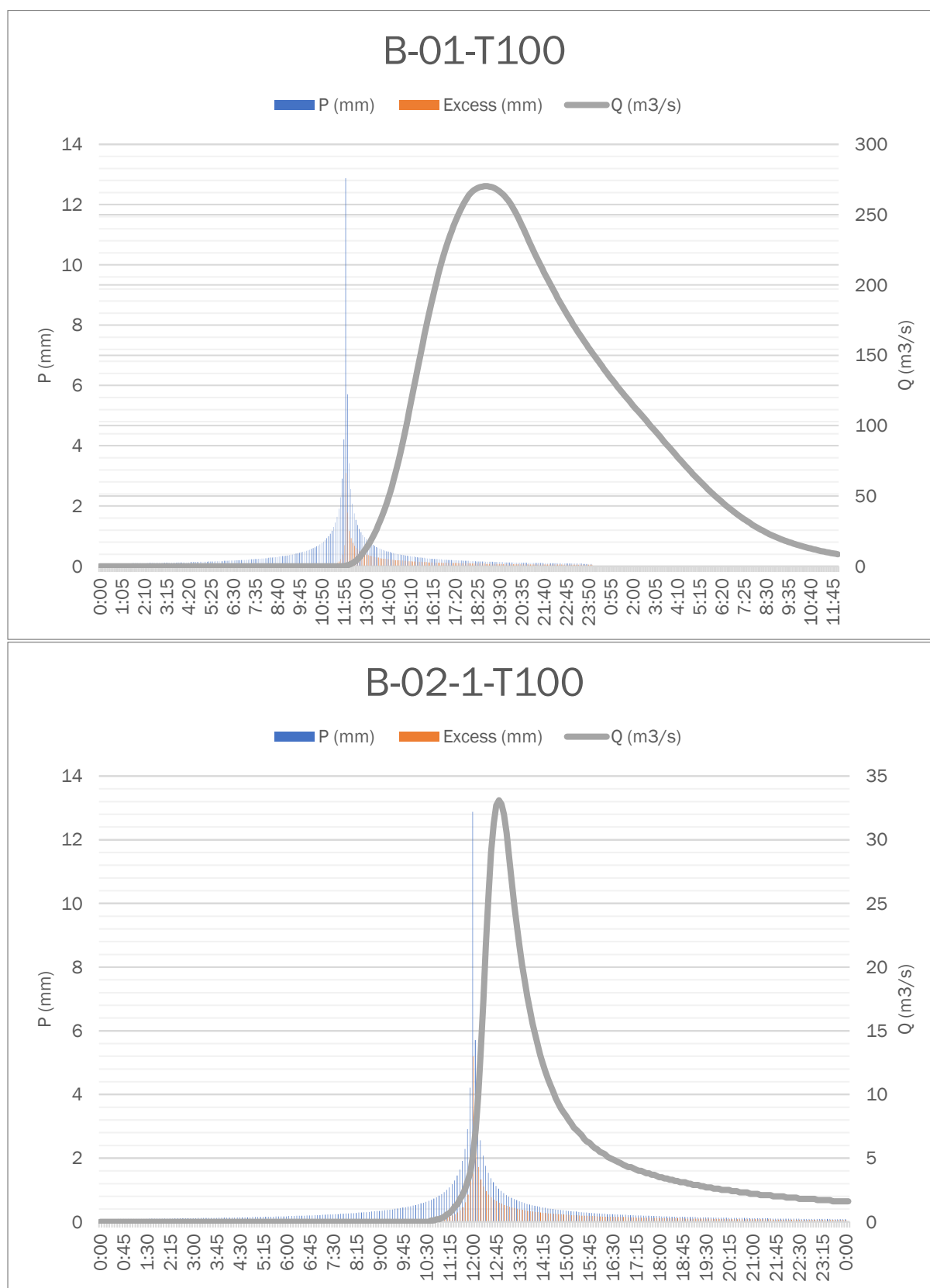


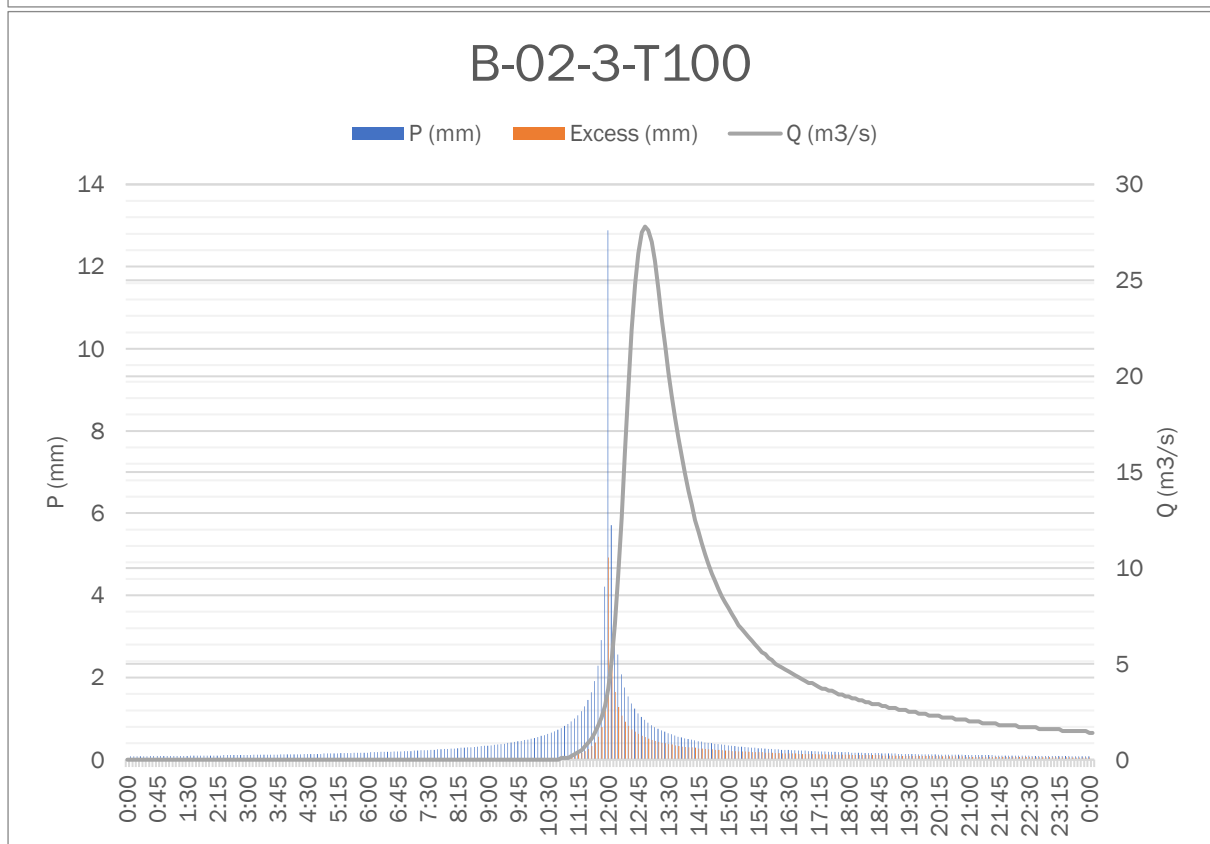
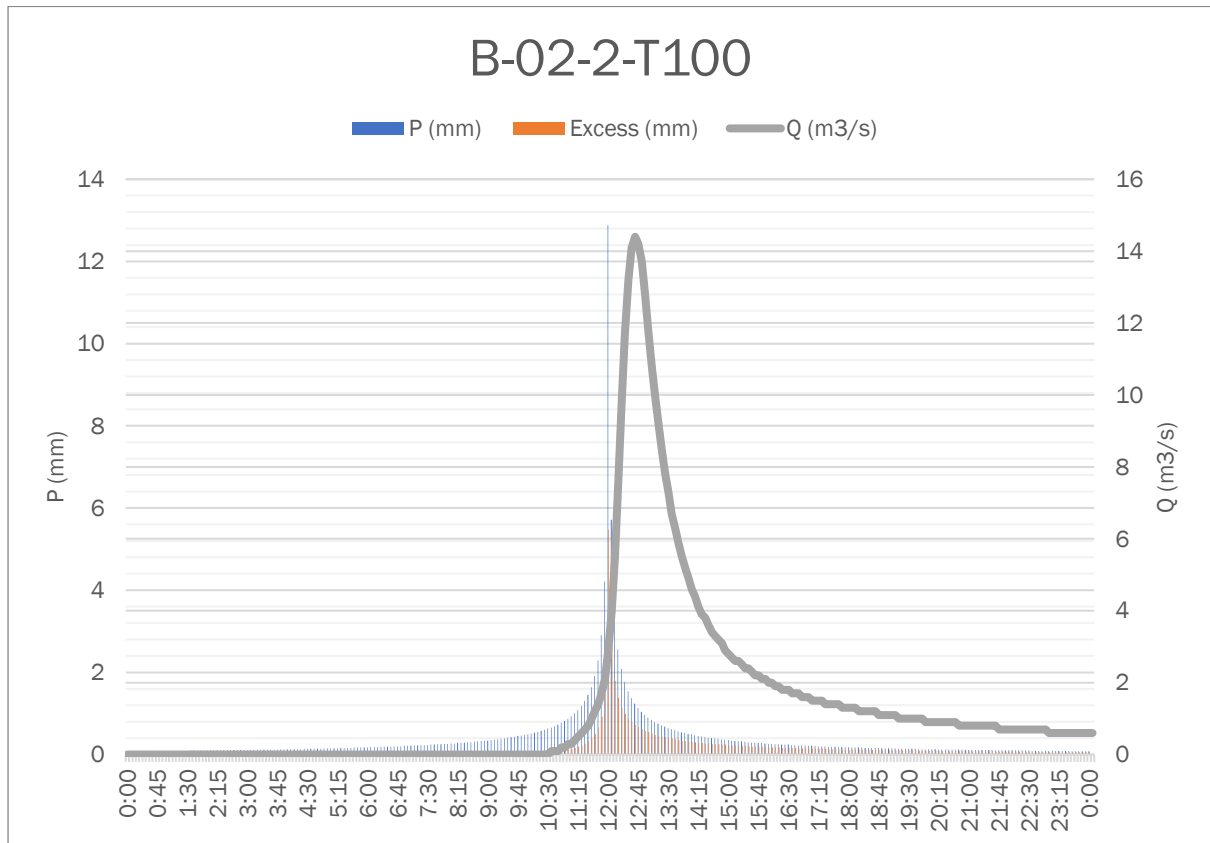


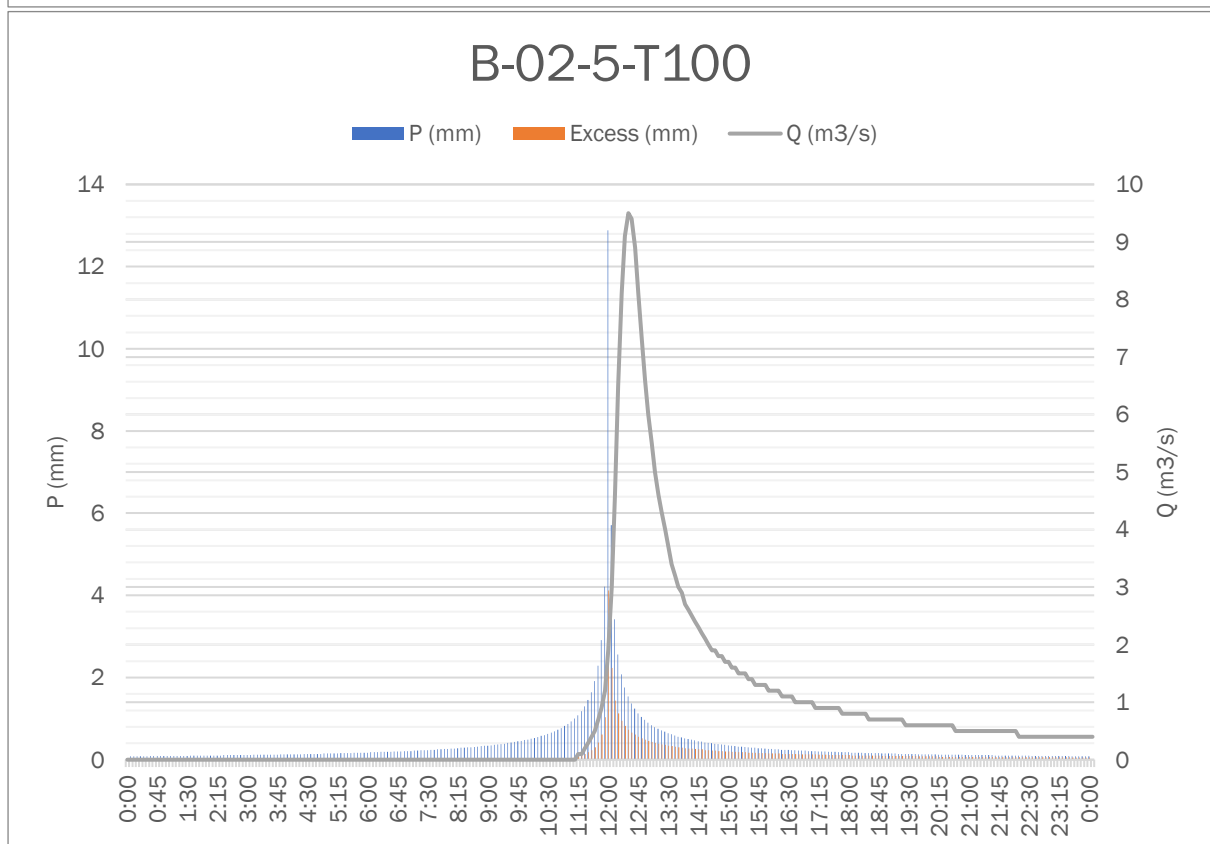
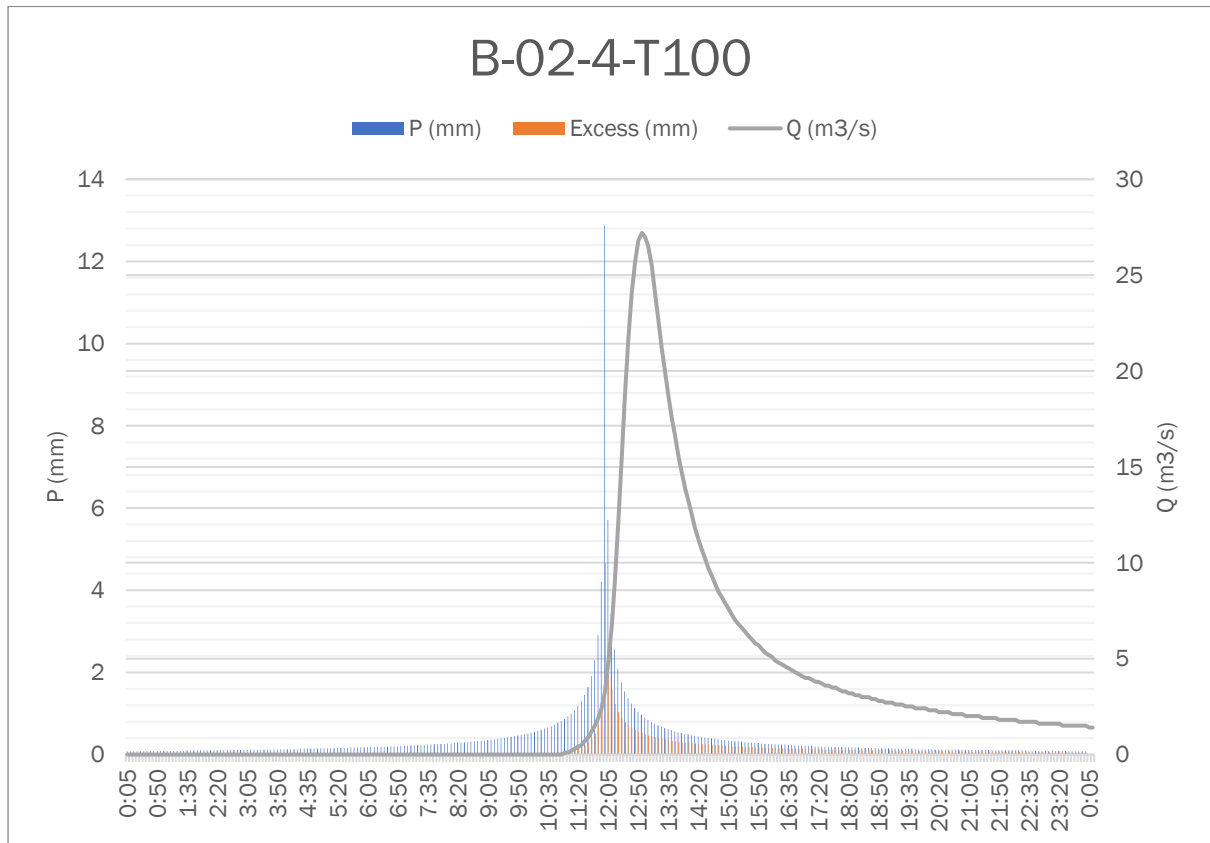


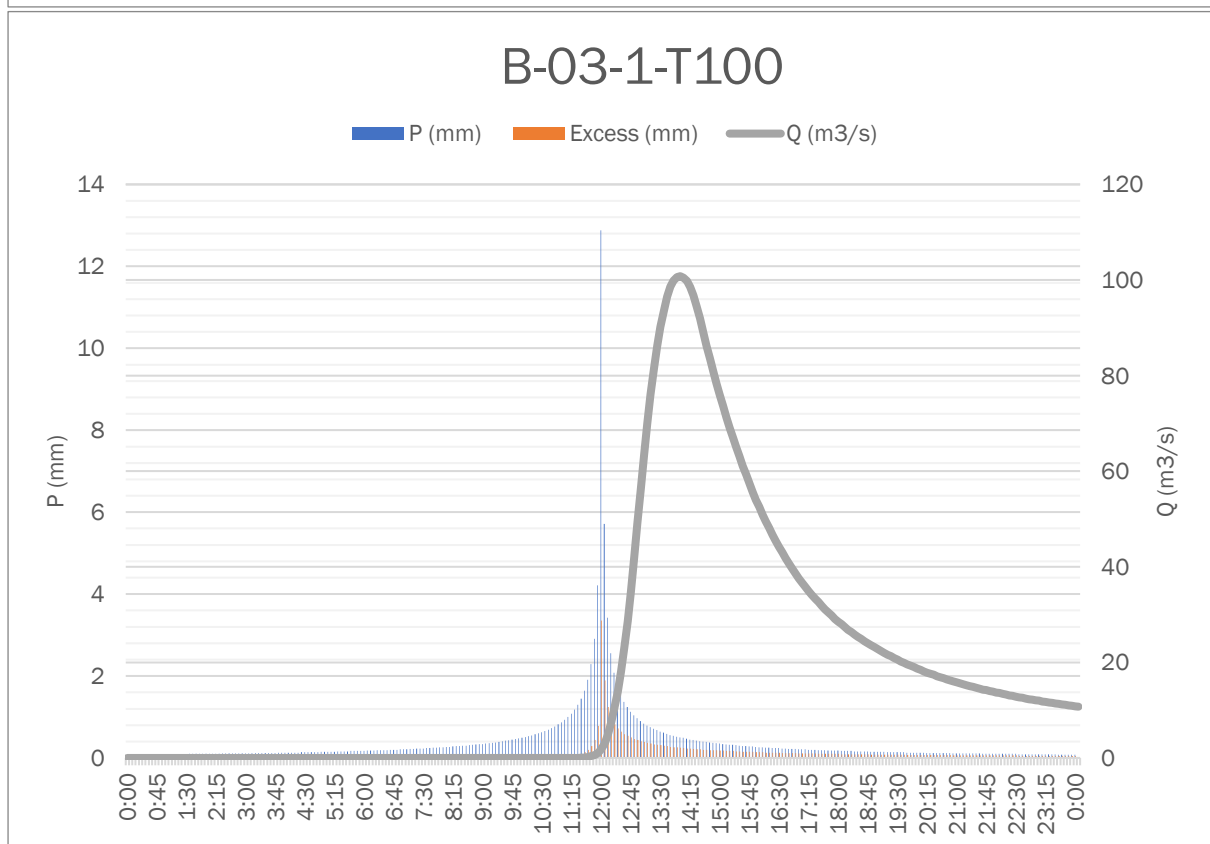
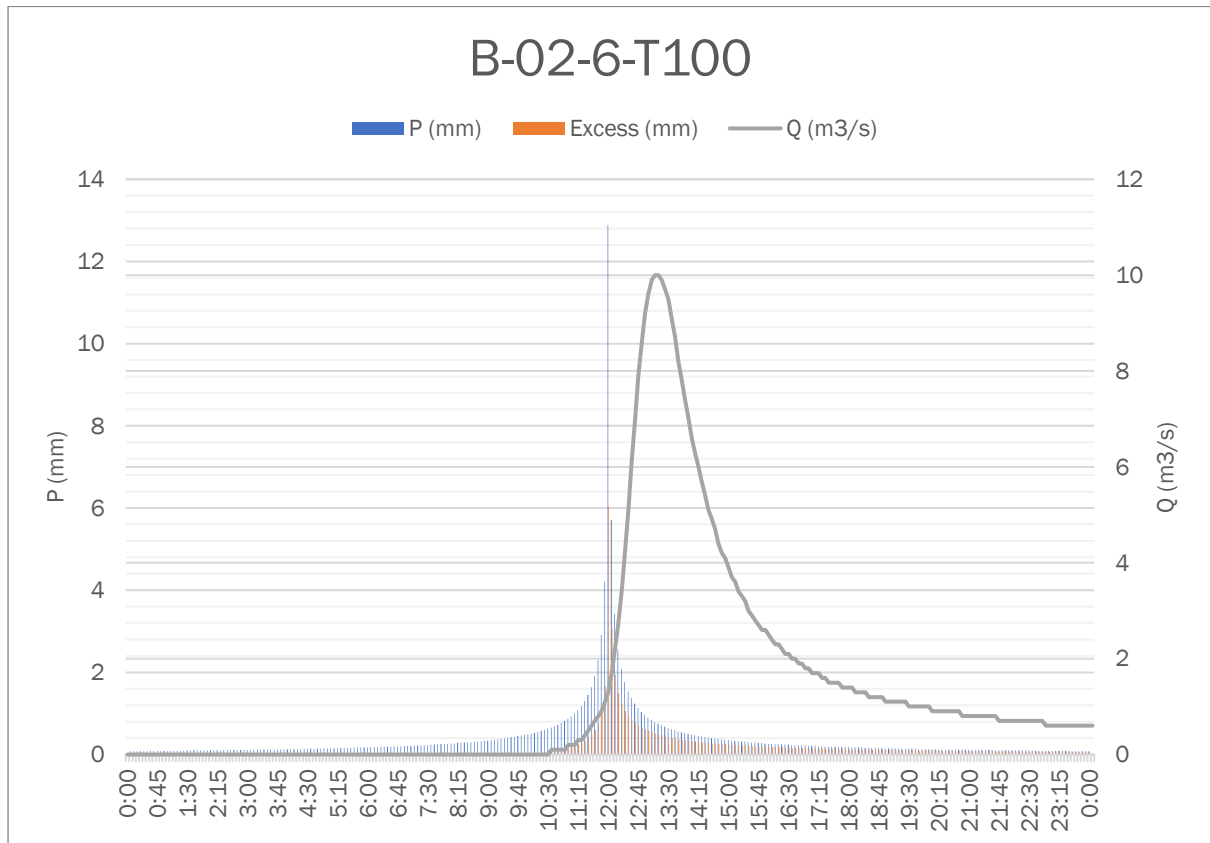


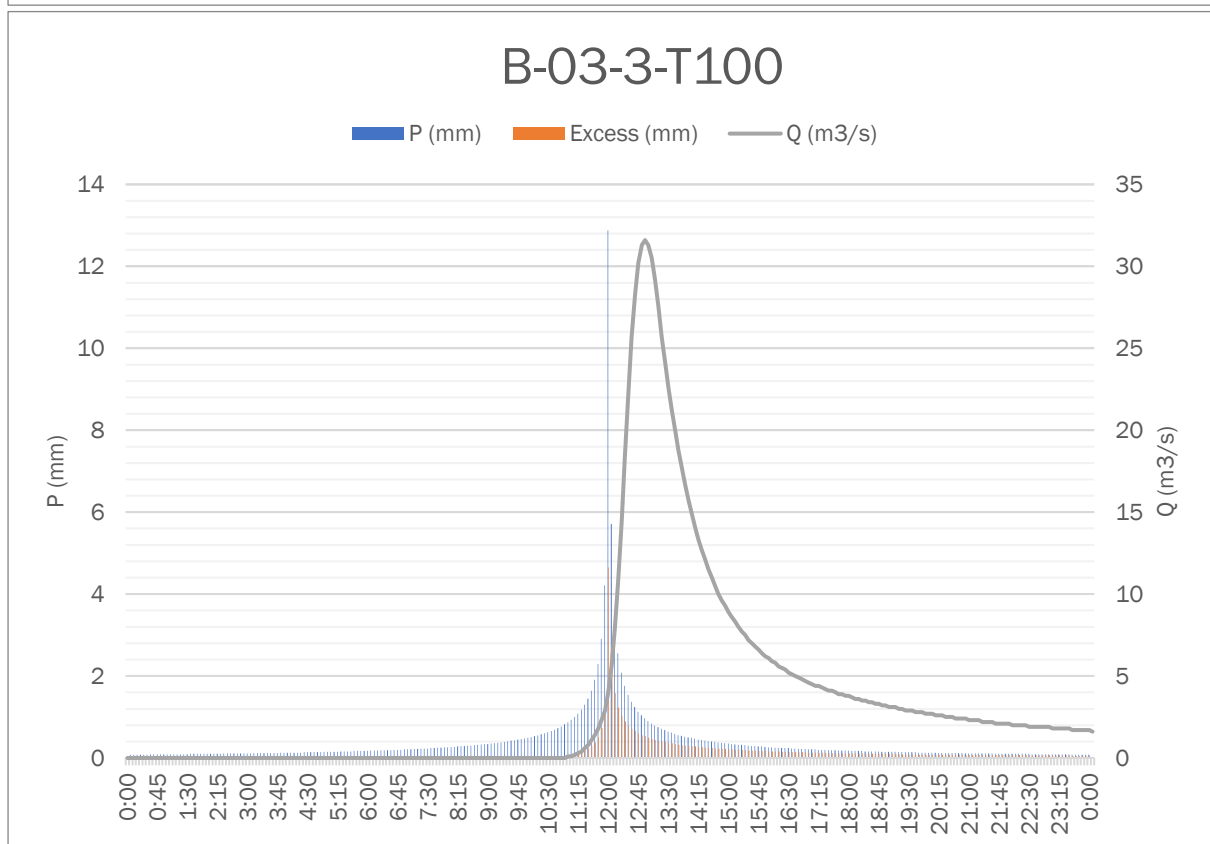
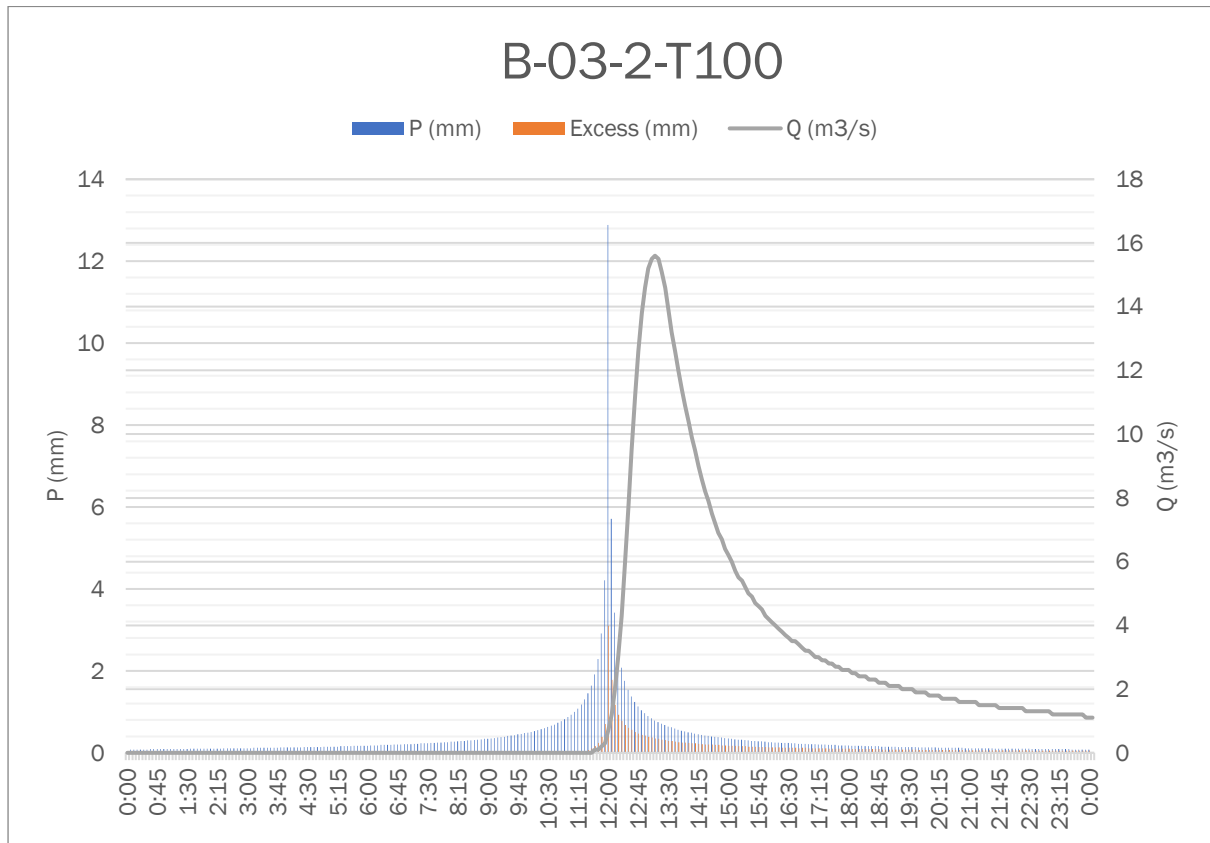
PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS

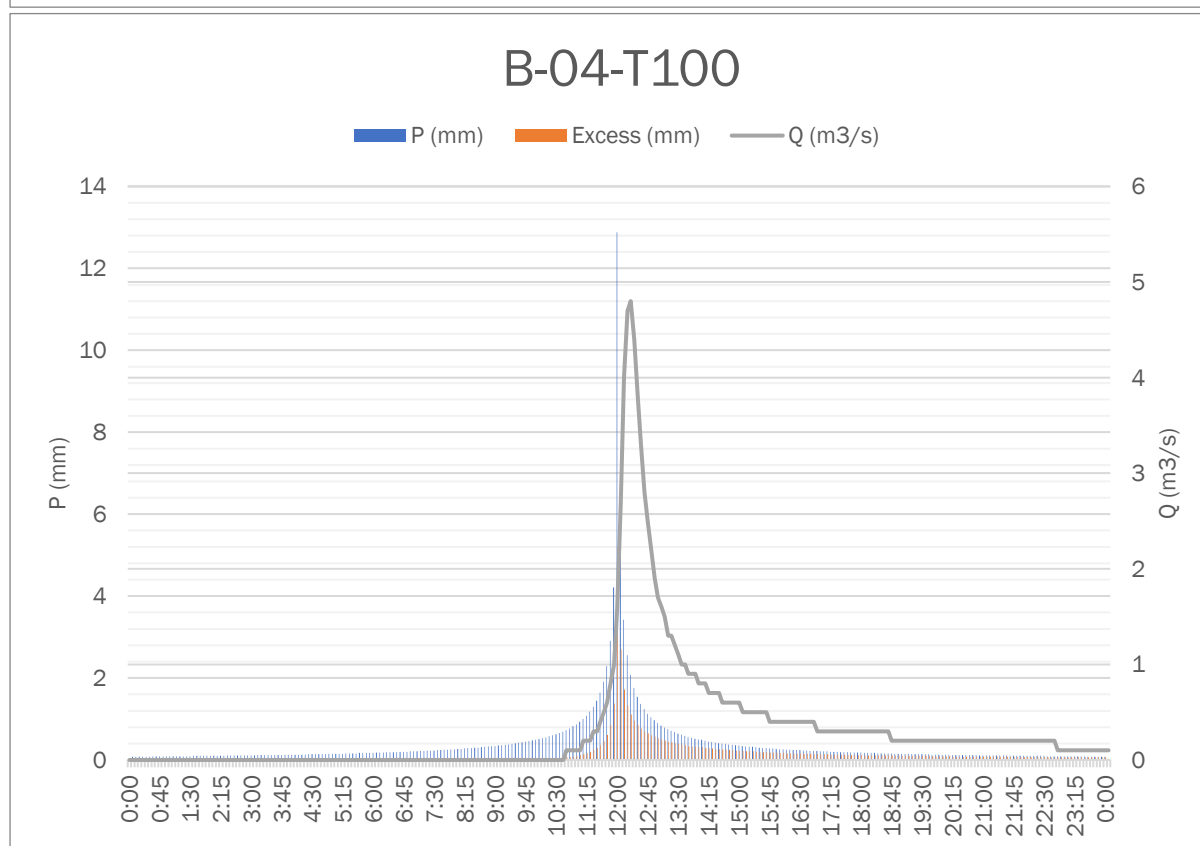
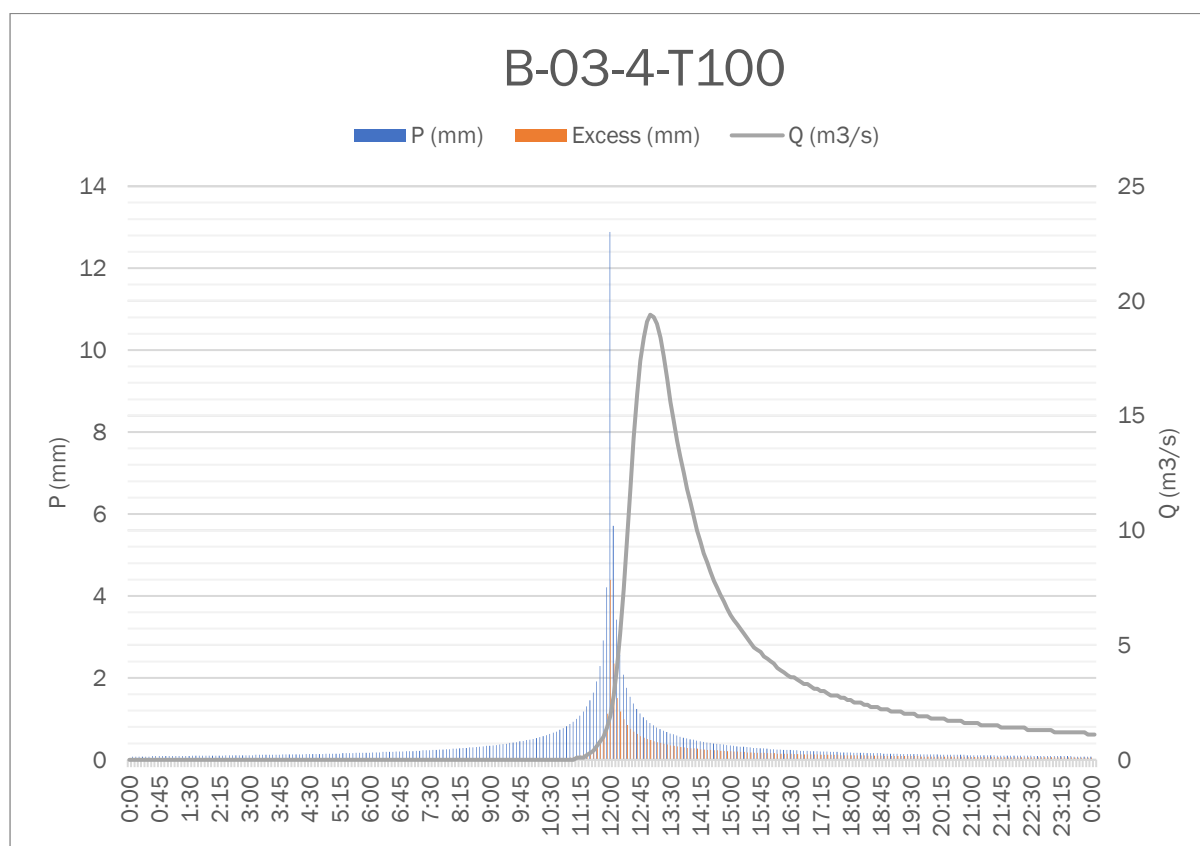


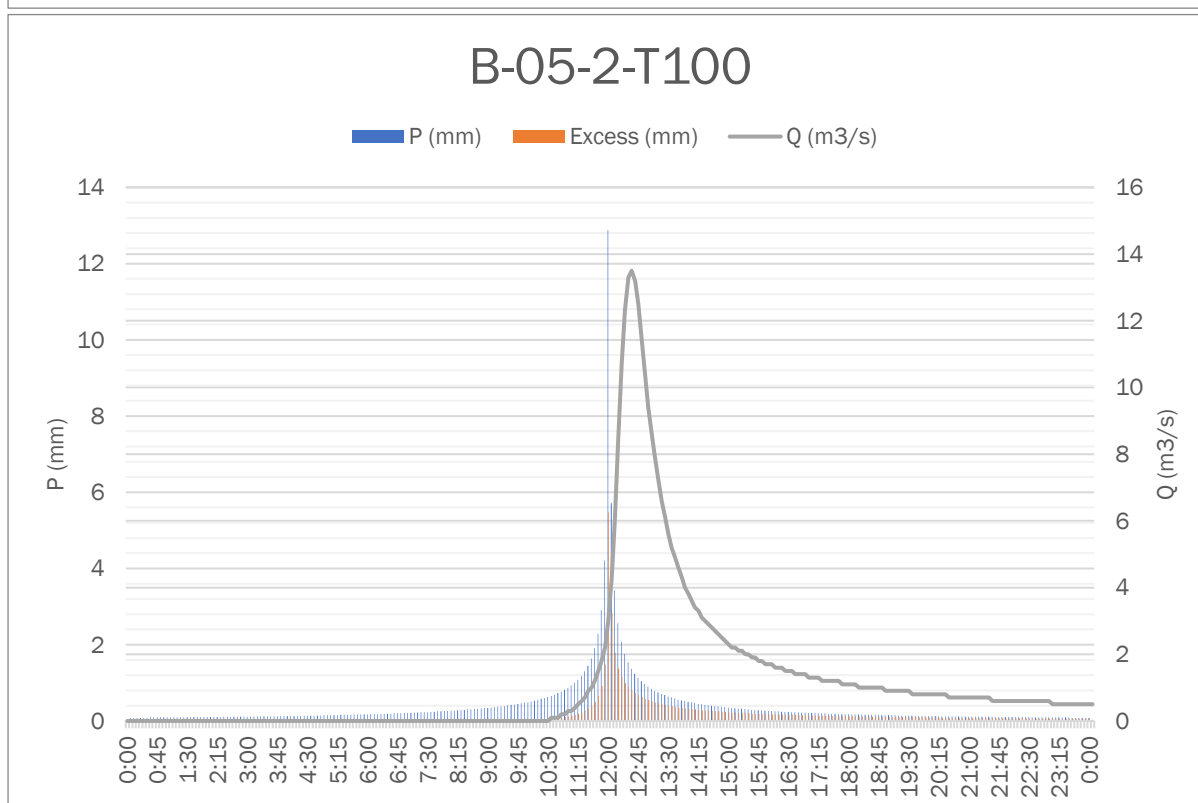
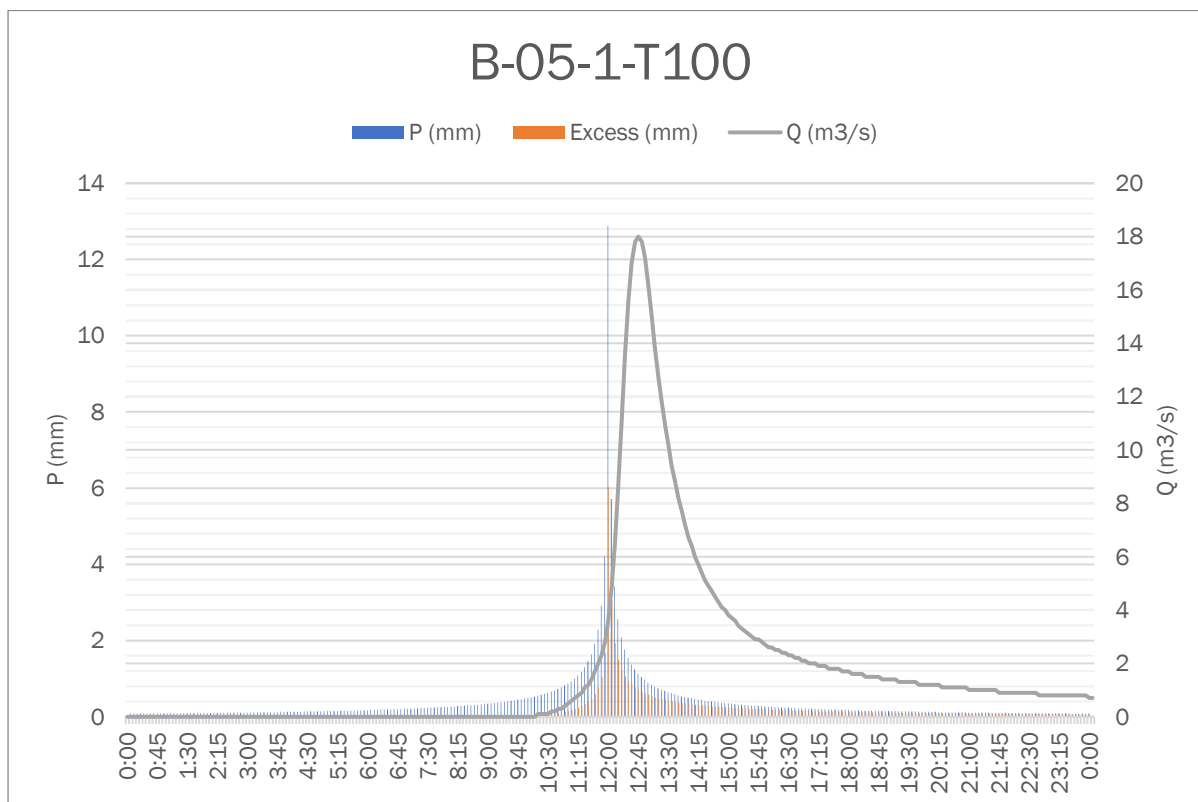


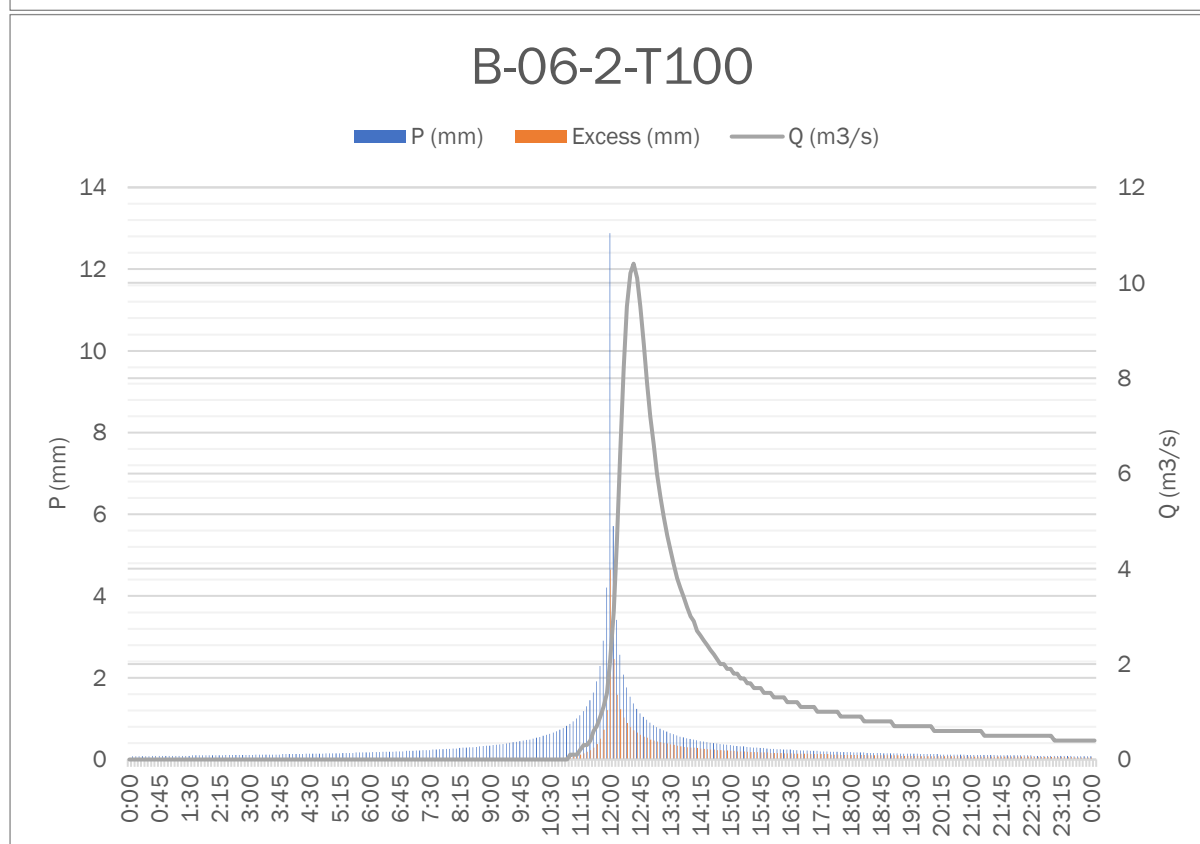
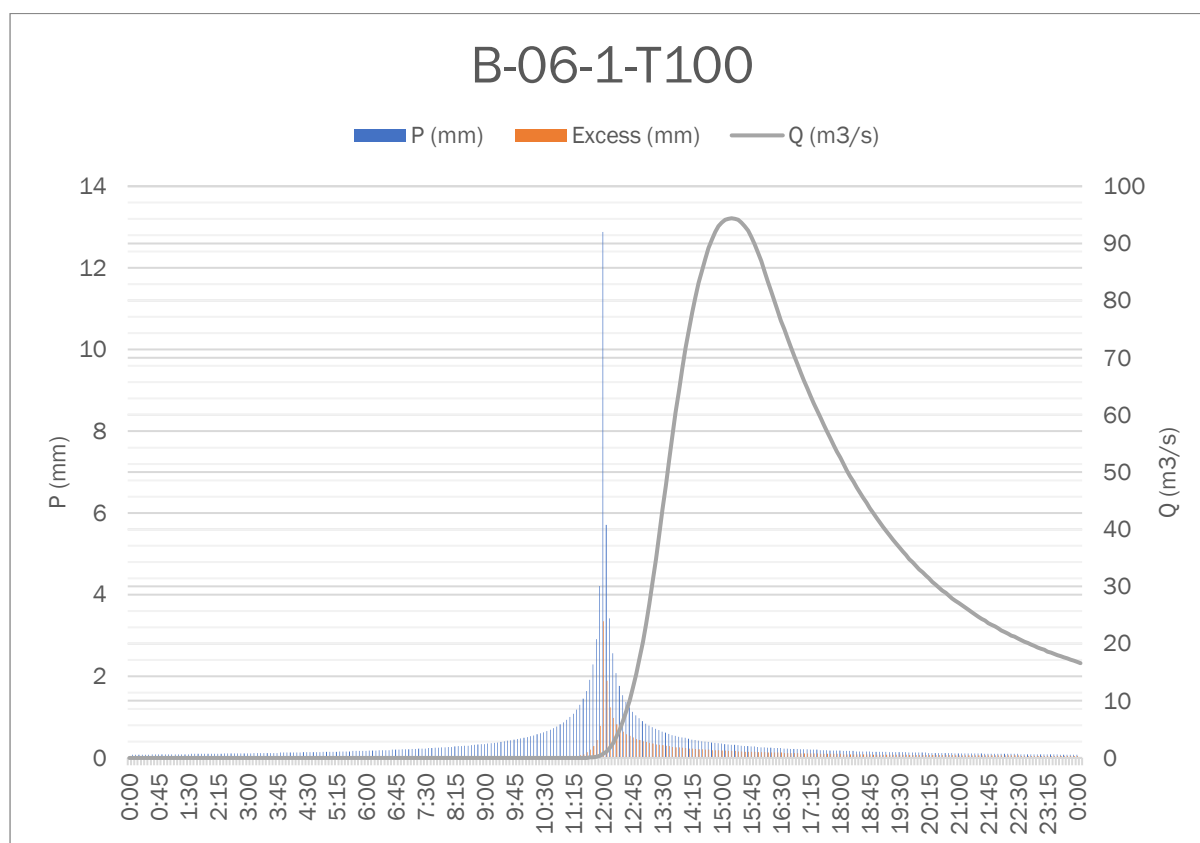


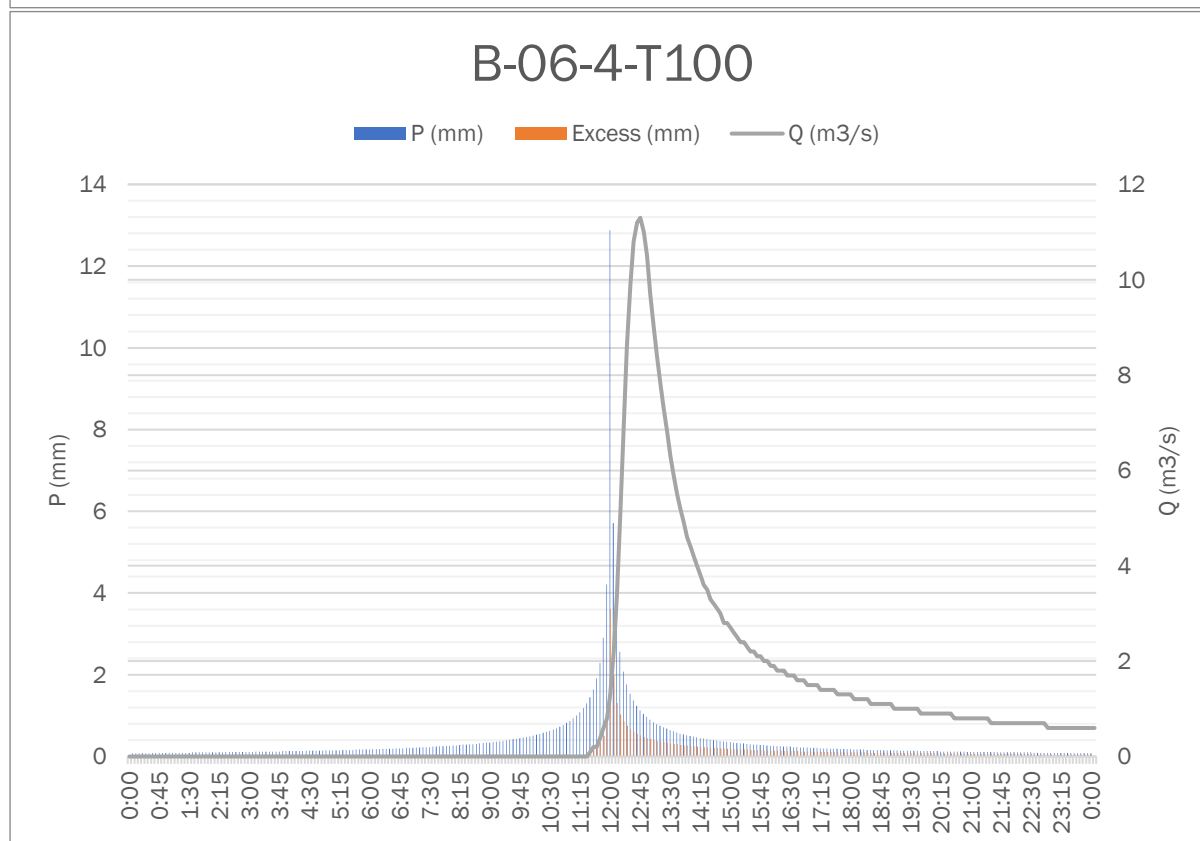
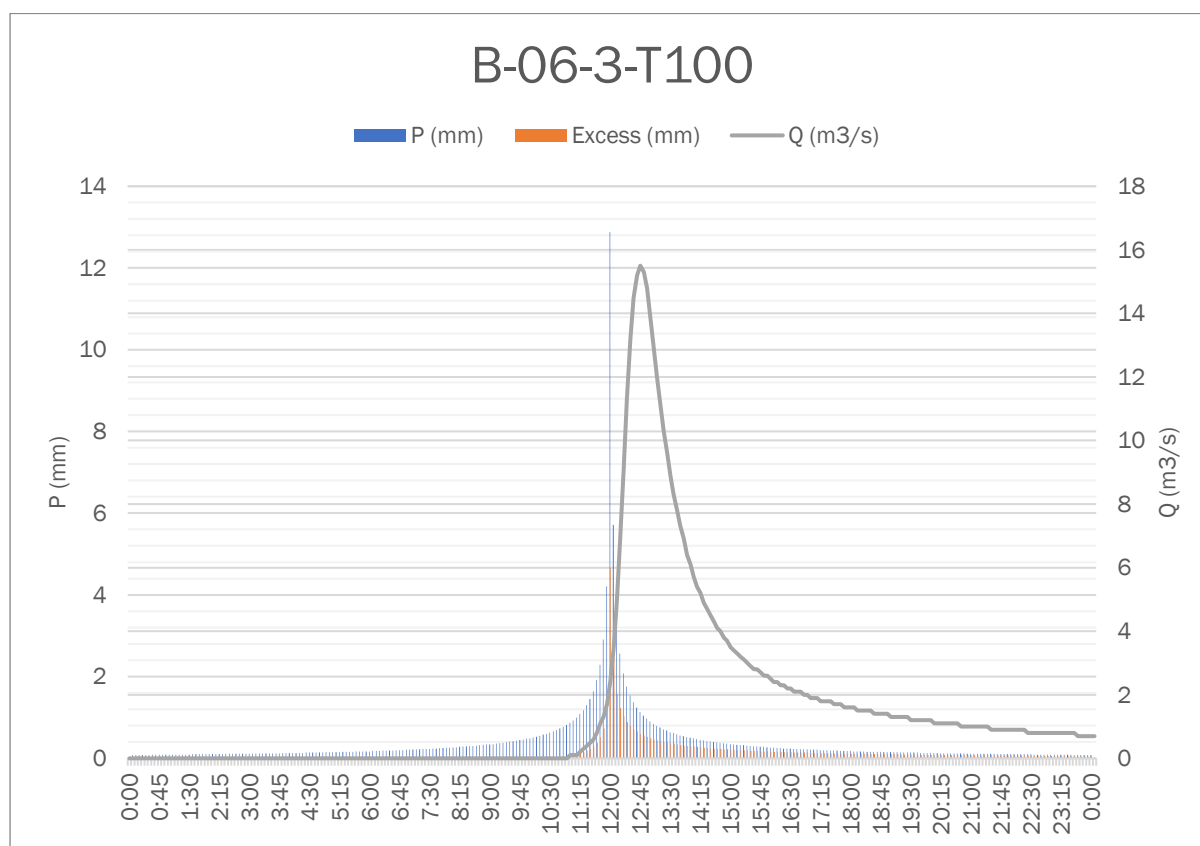


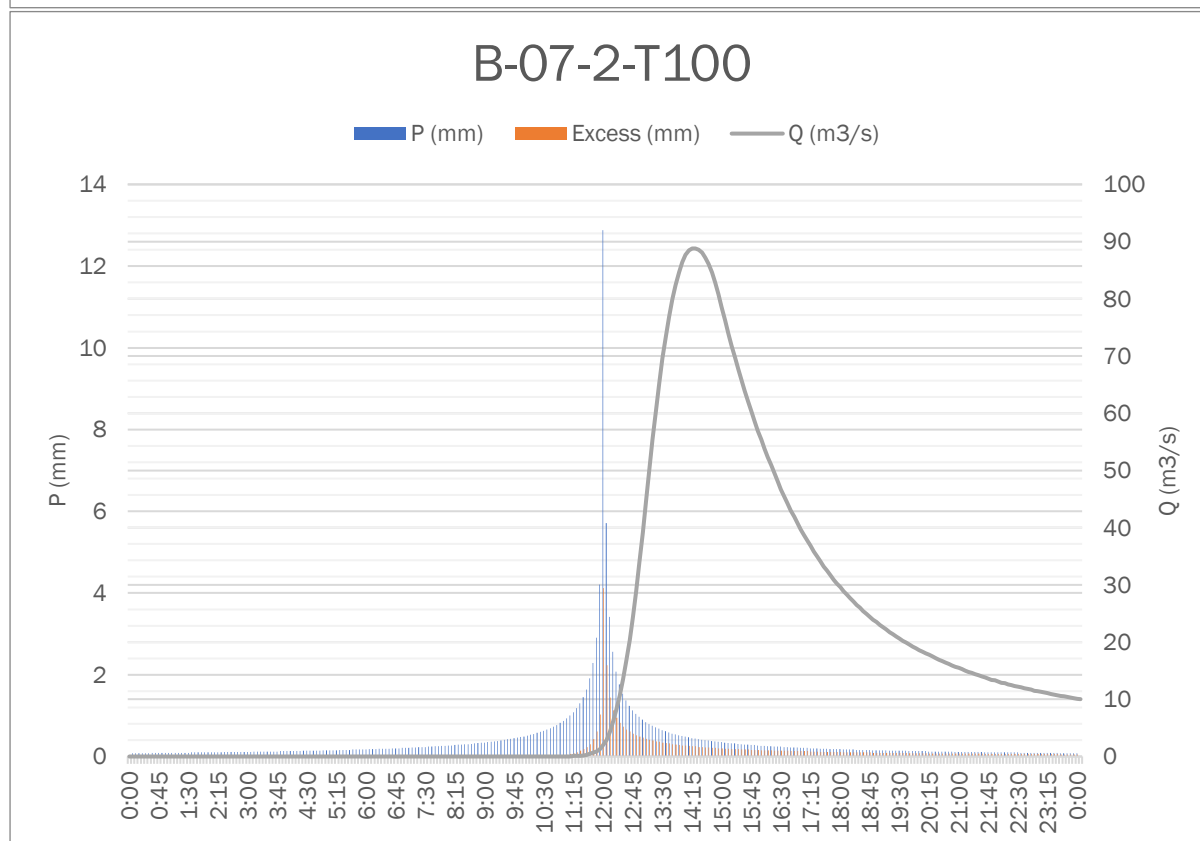
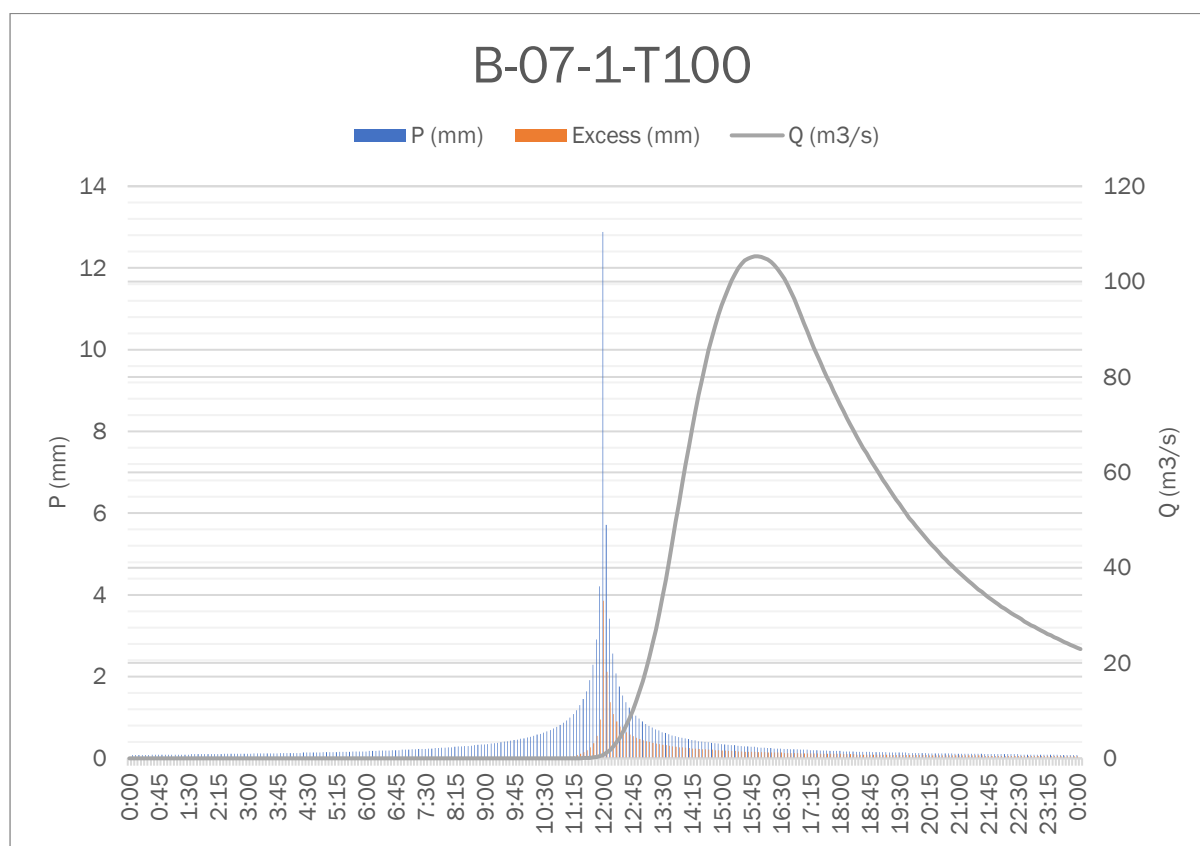


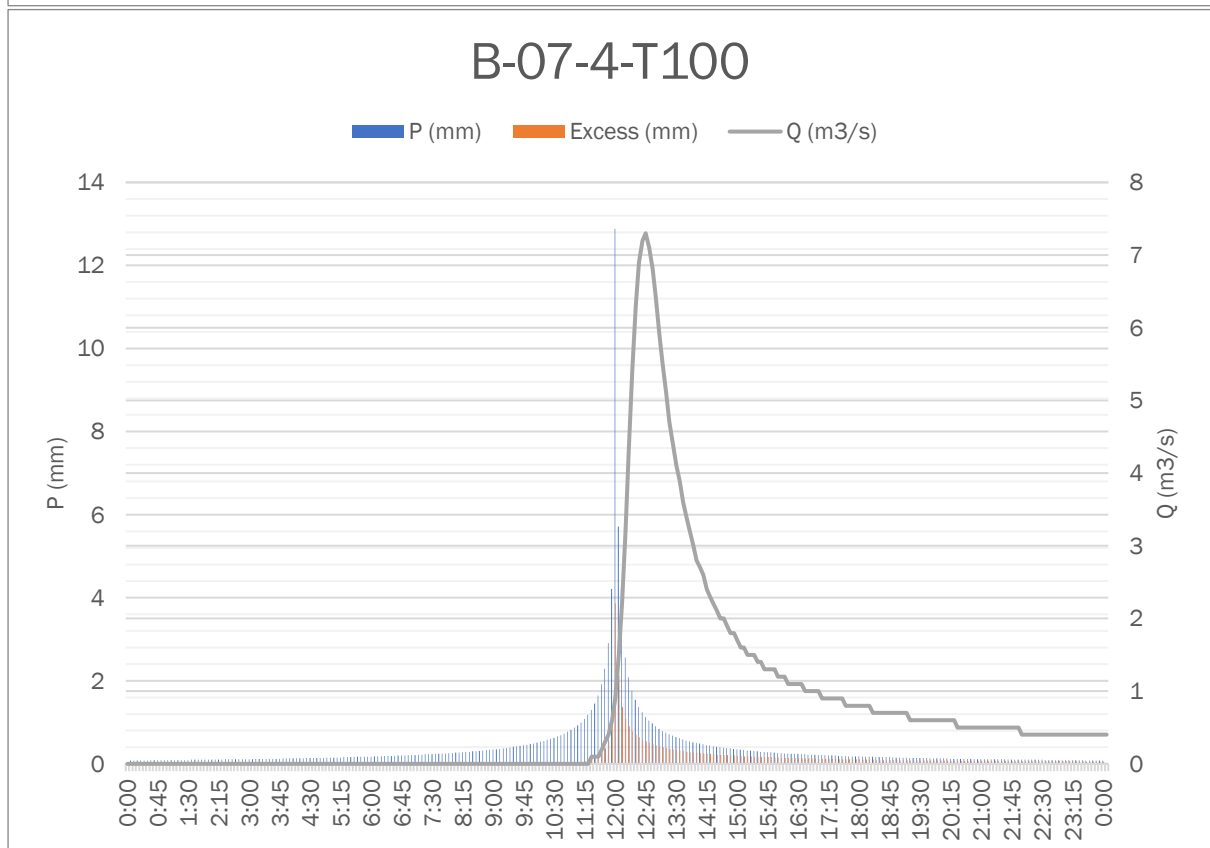
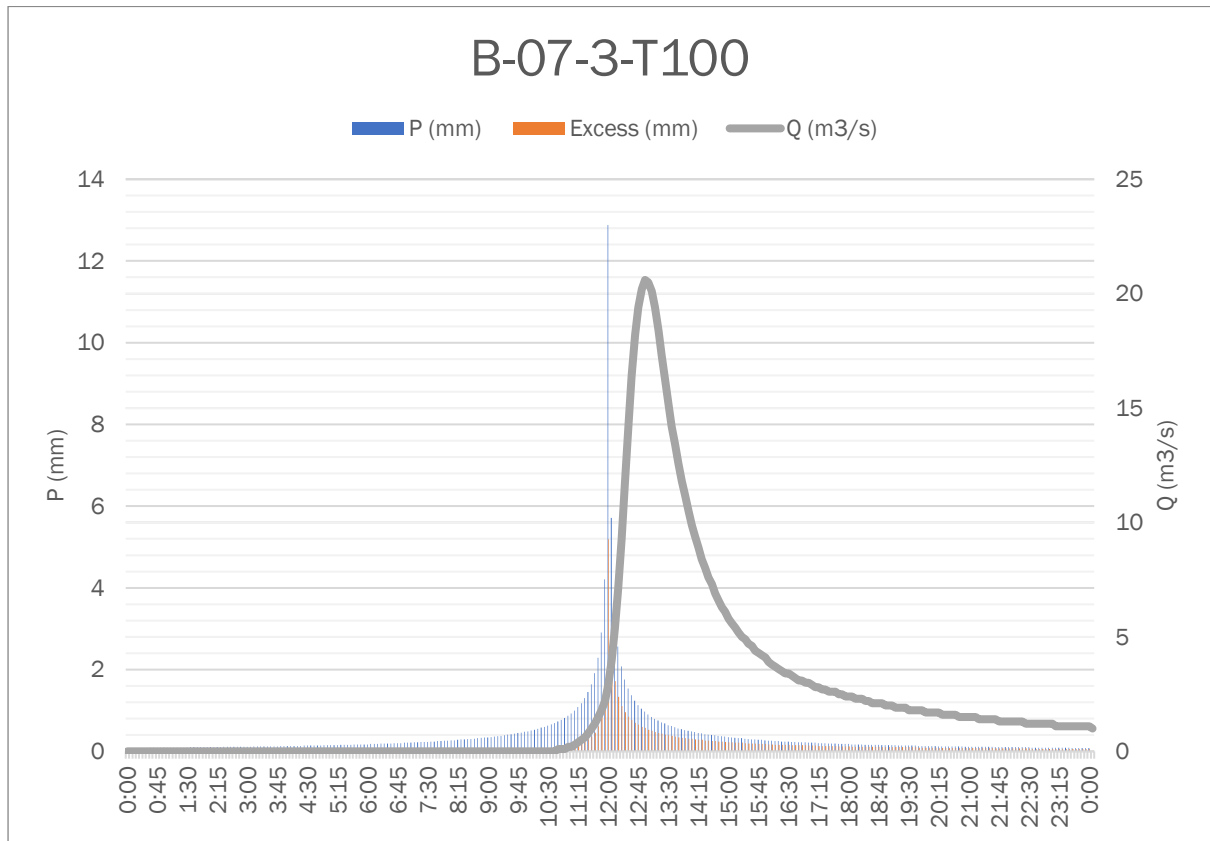


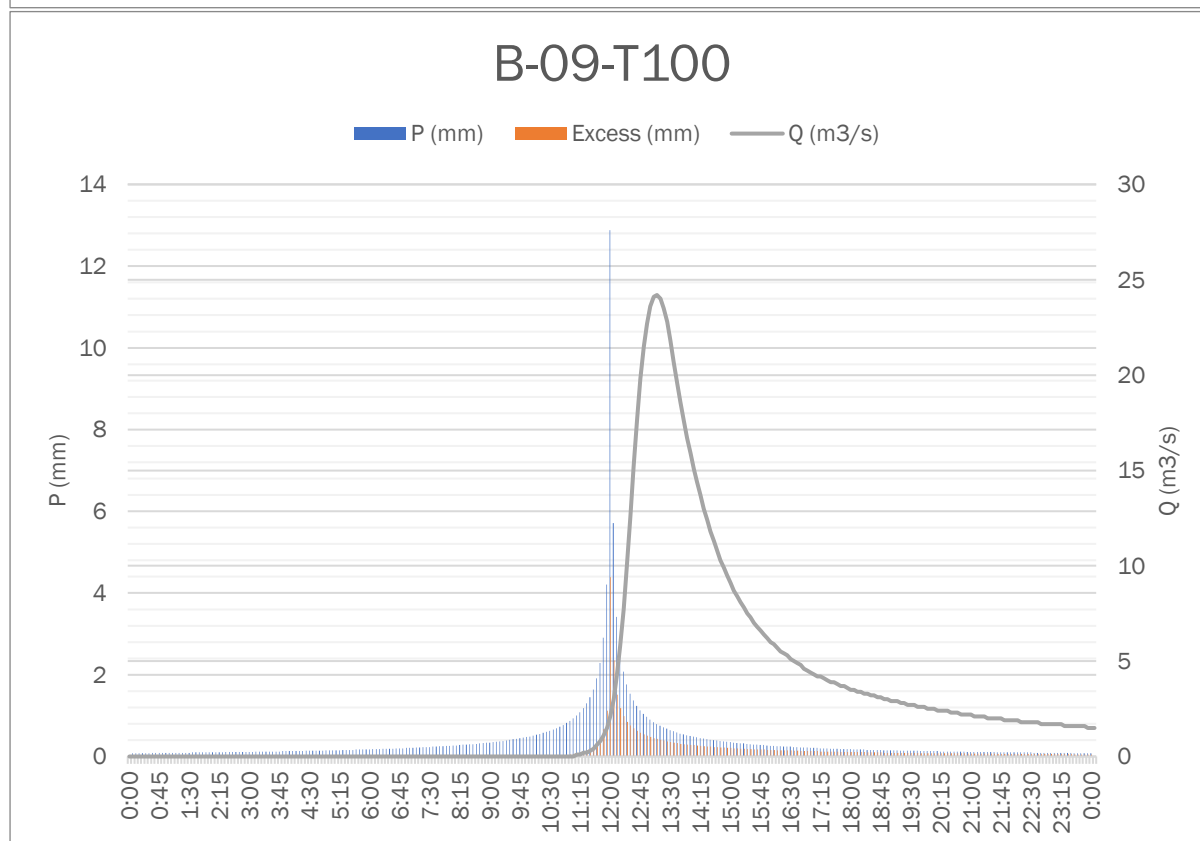
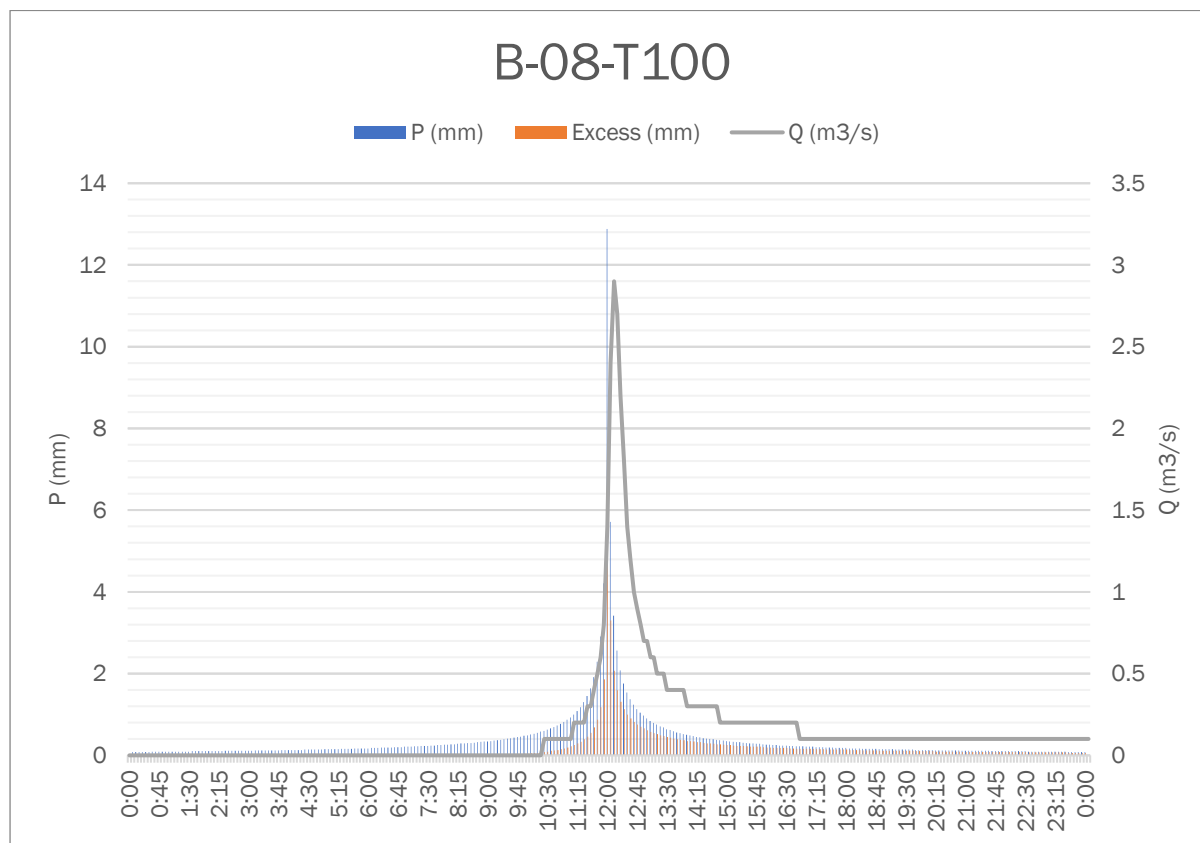




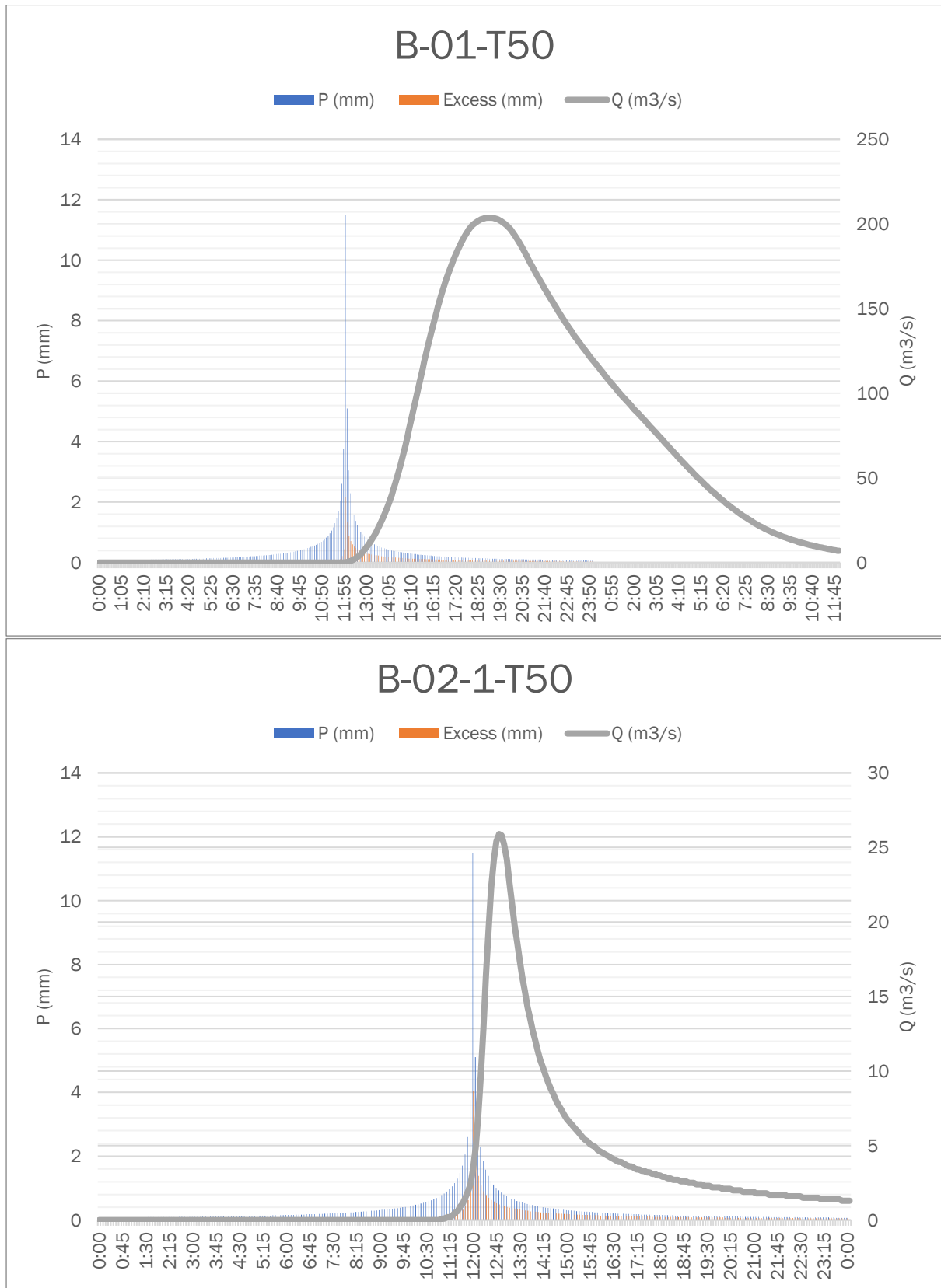


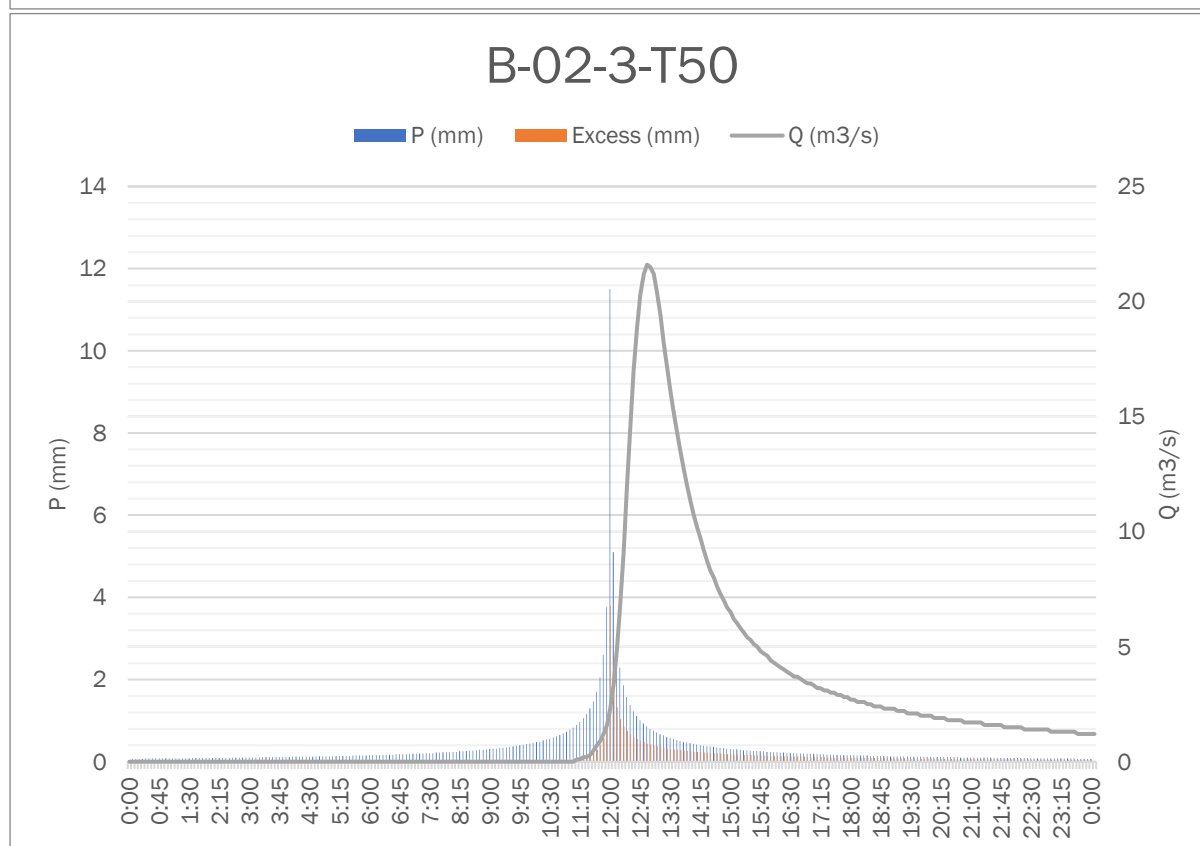
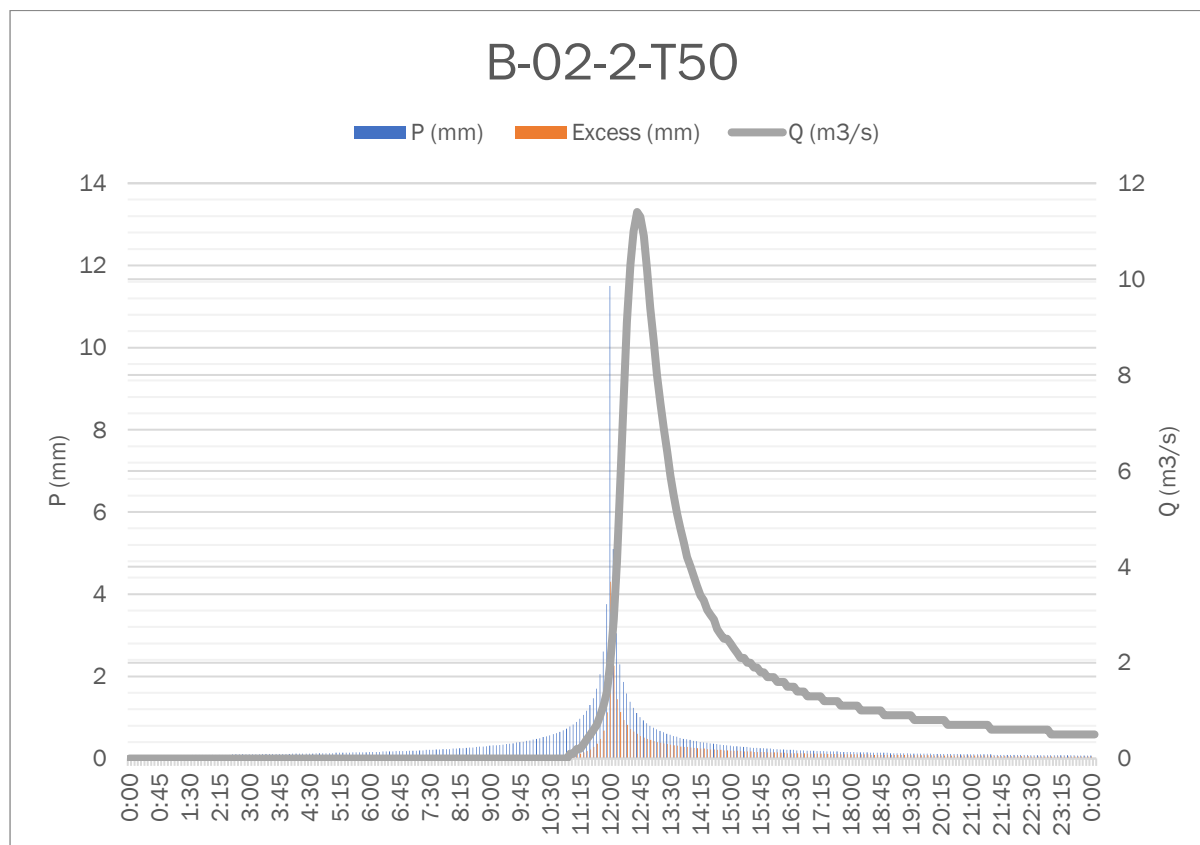


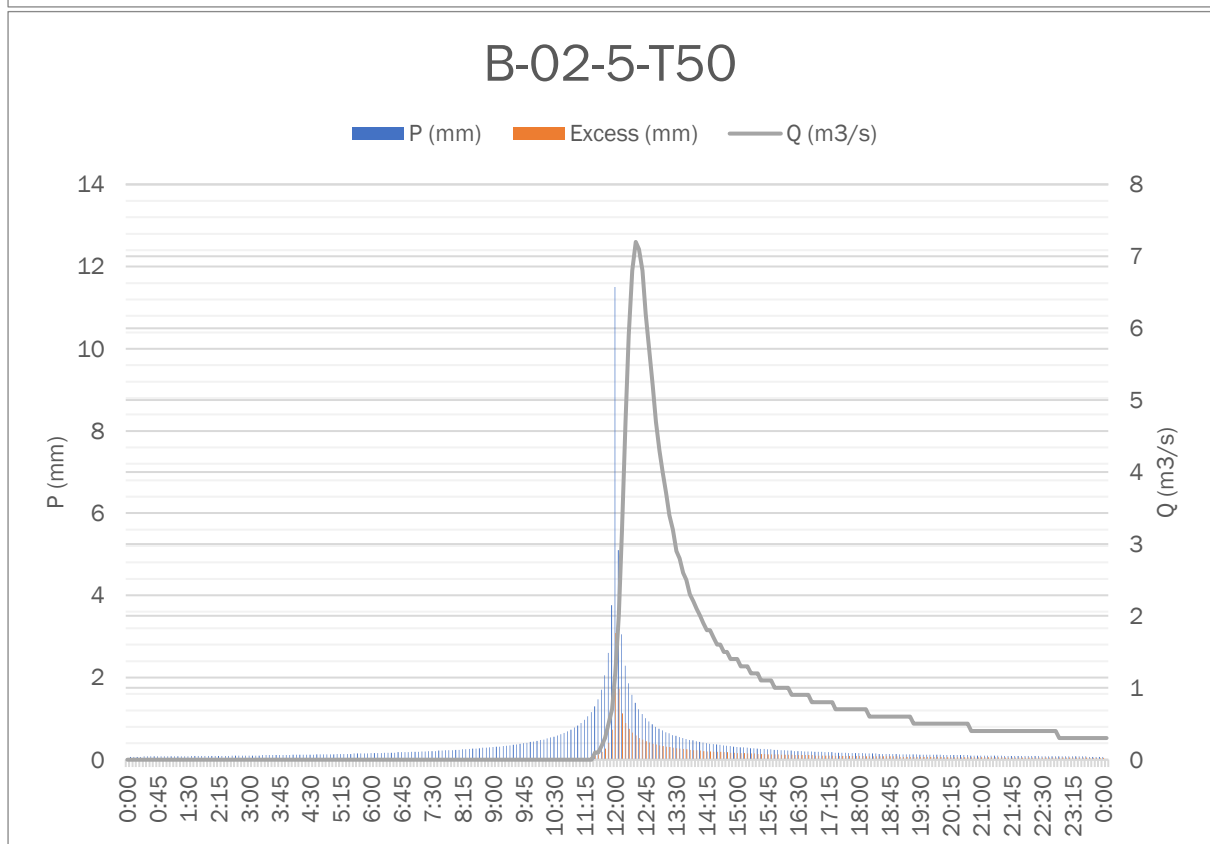
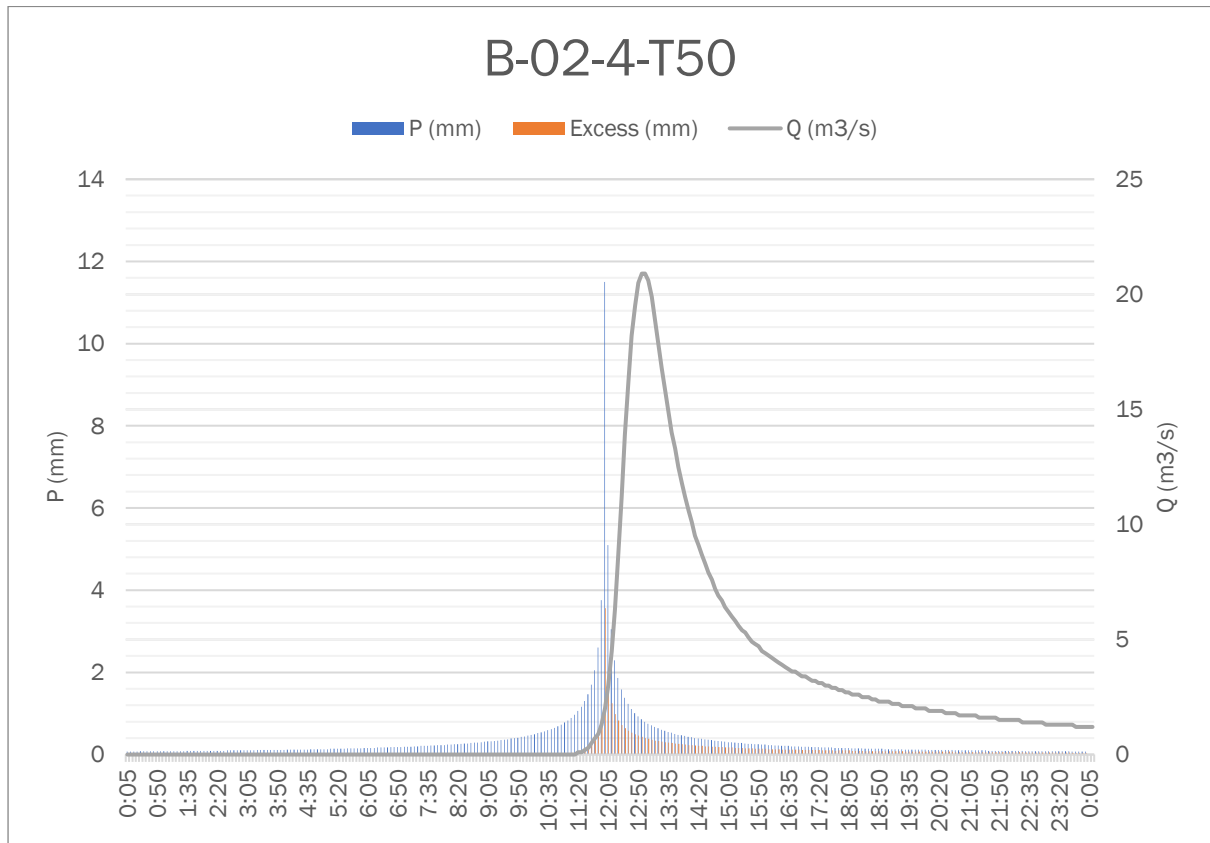


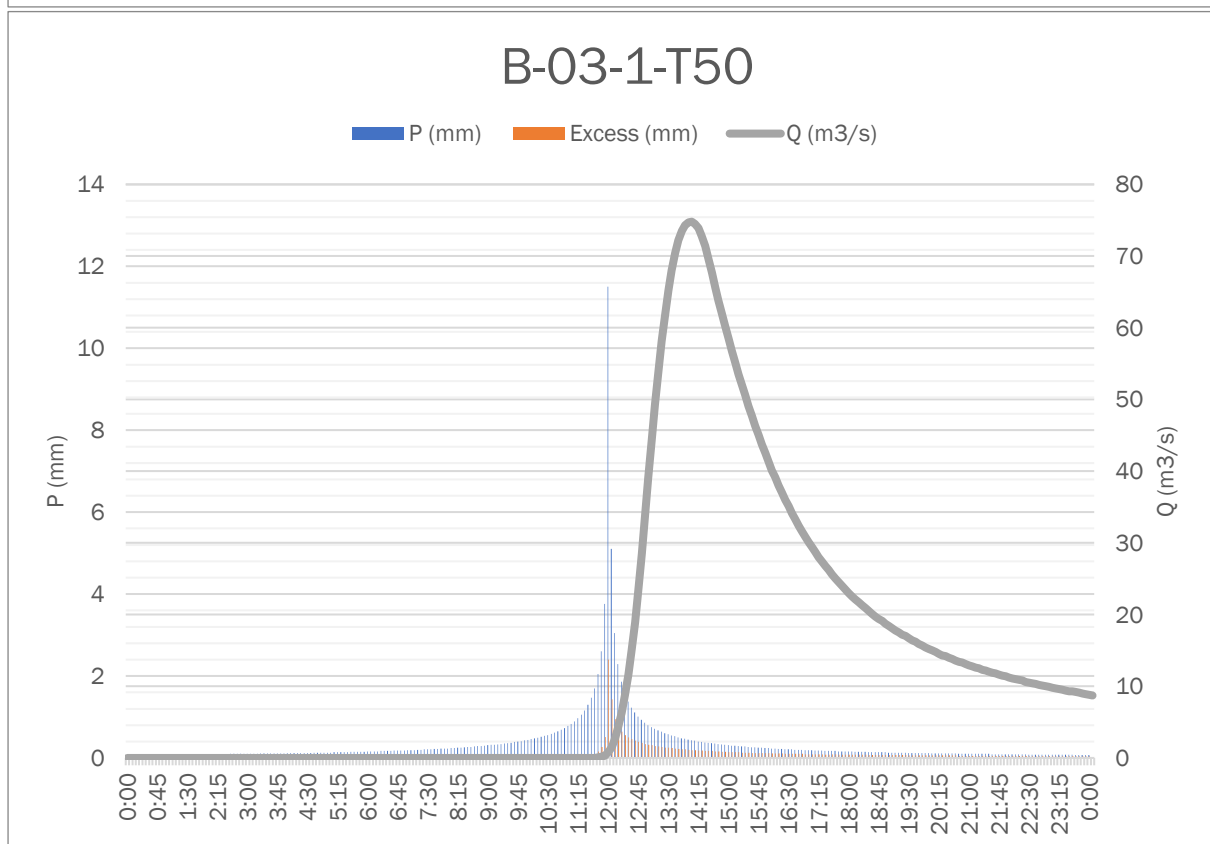
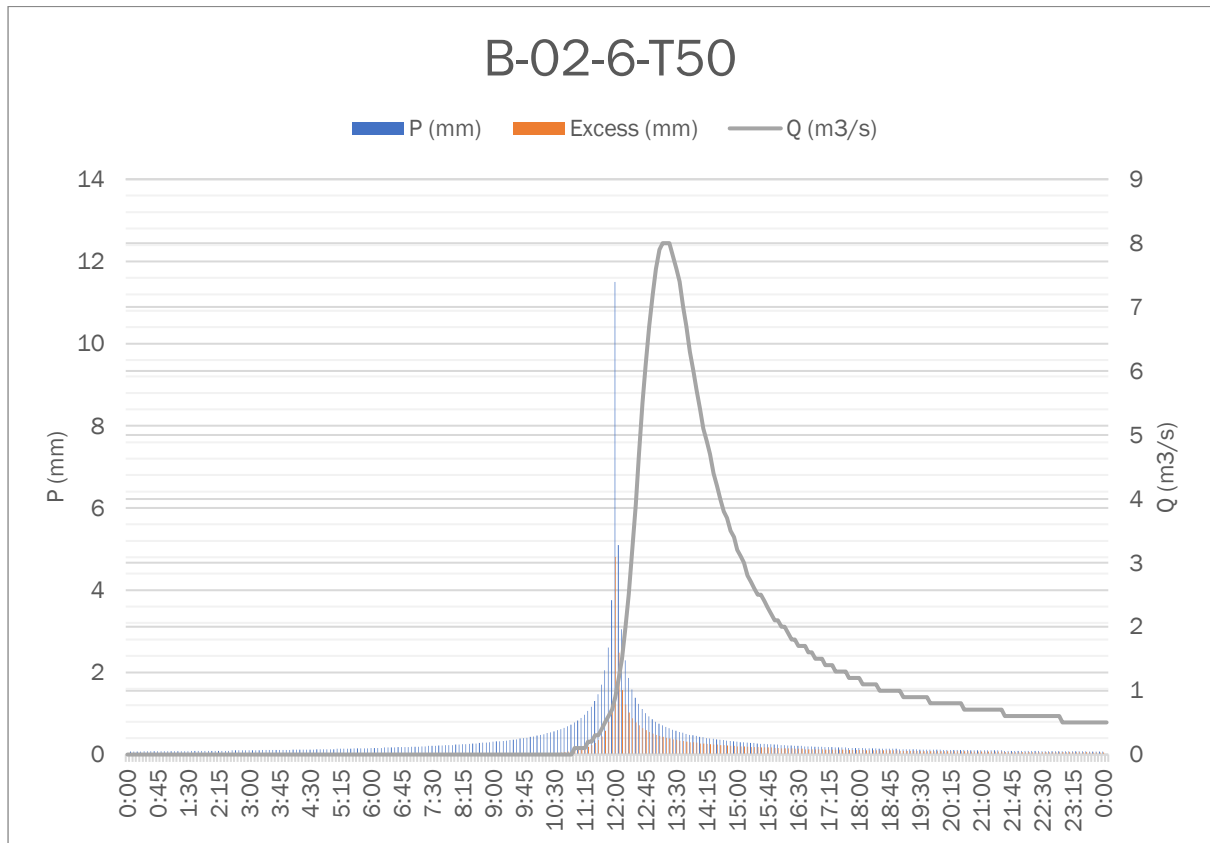


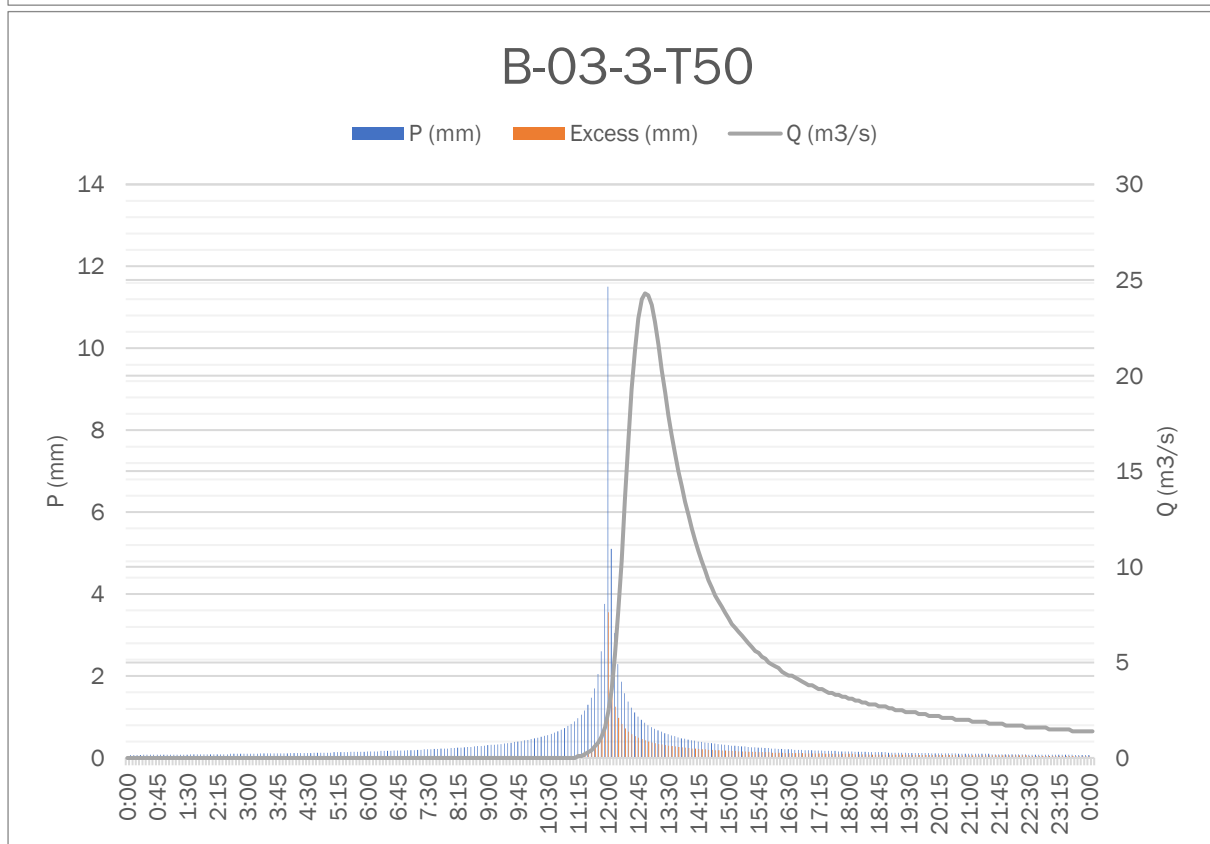
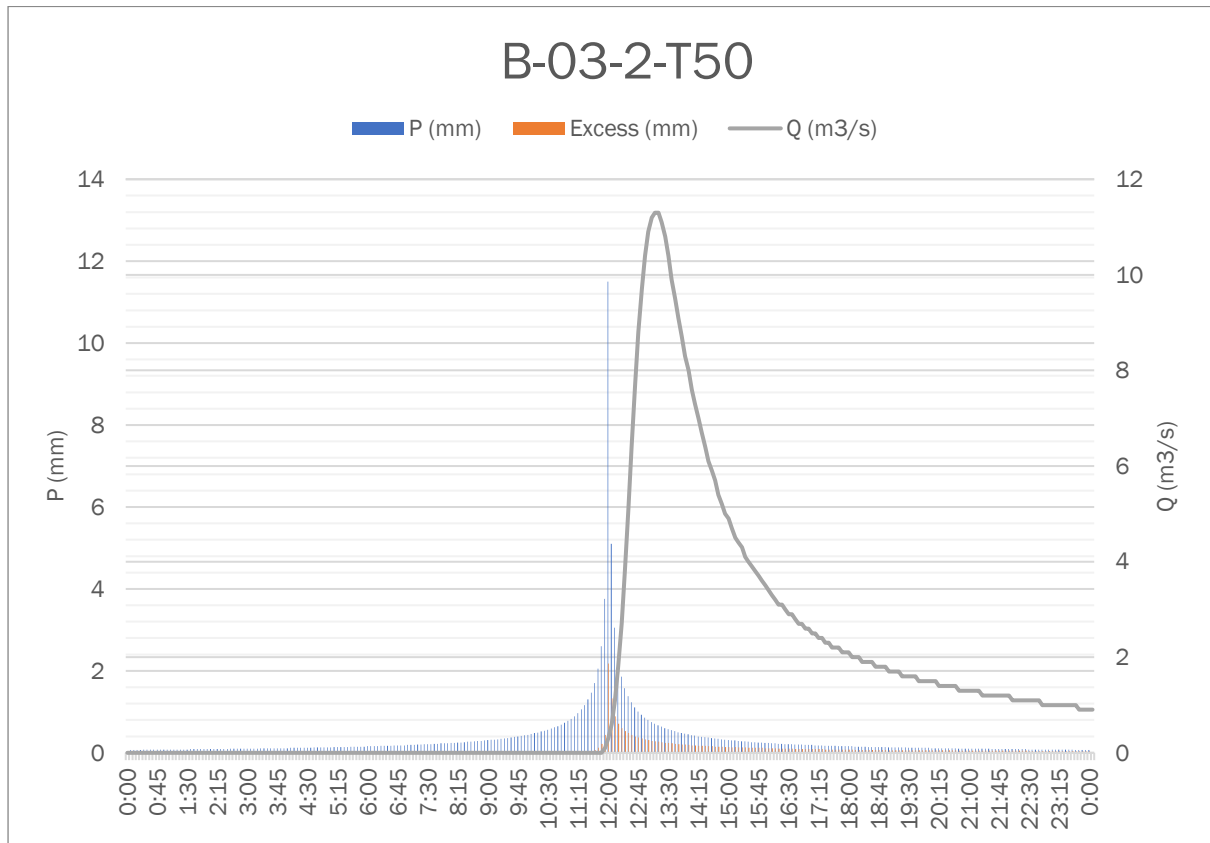
PERÍODO DE RETORNO DE 50 ANOS

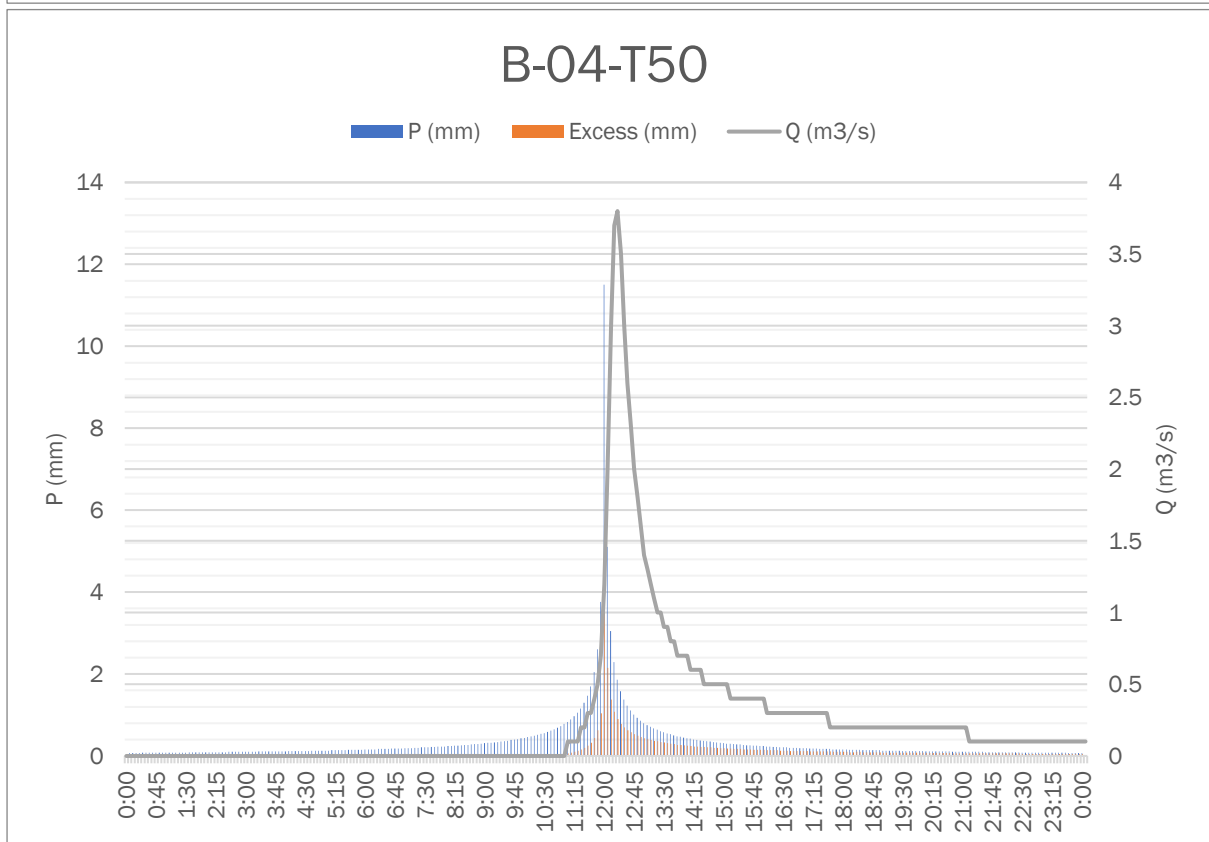
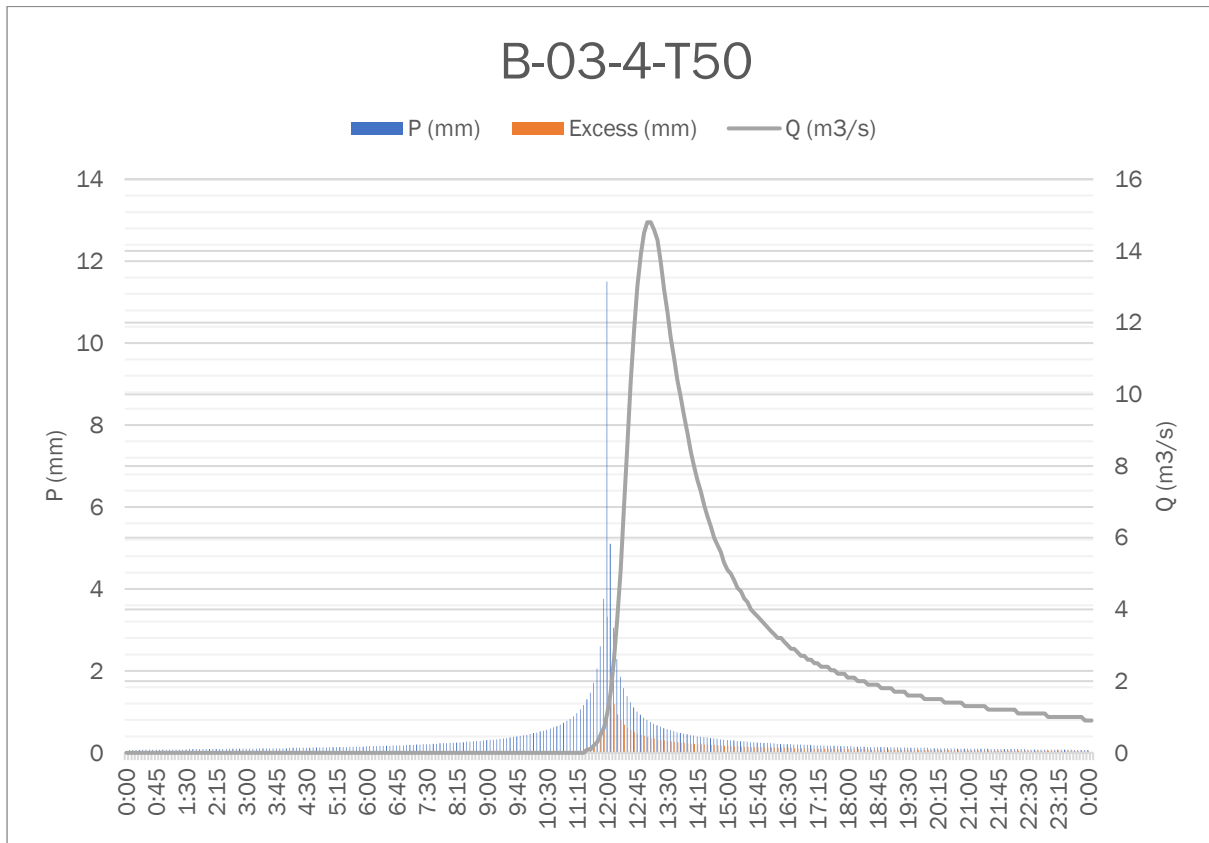


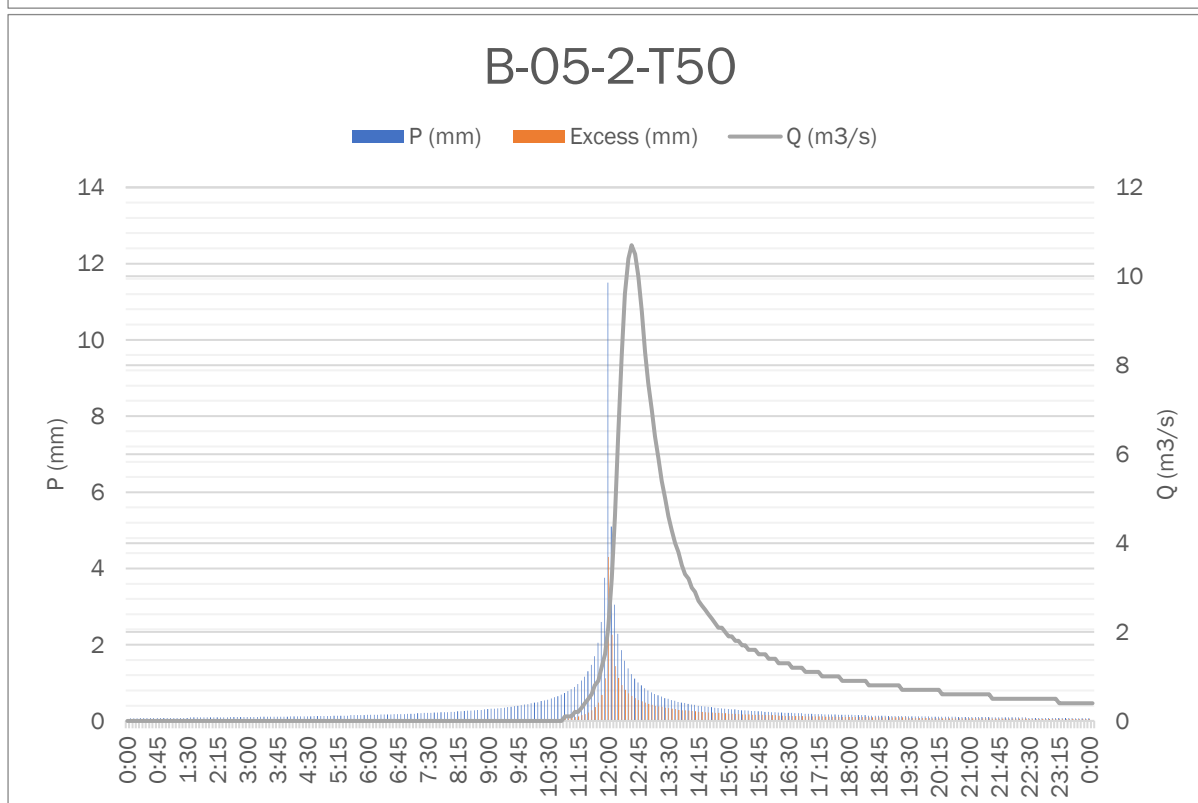
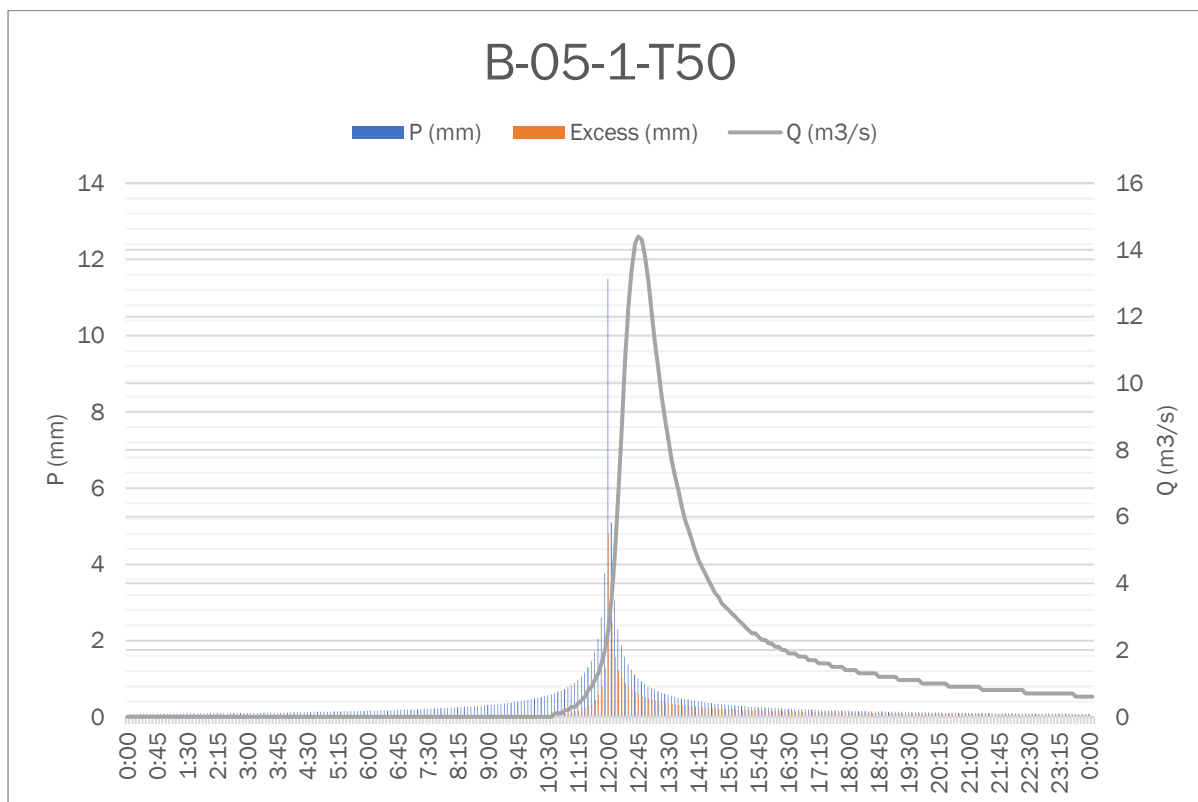


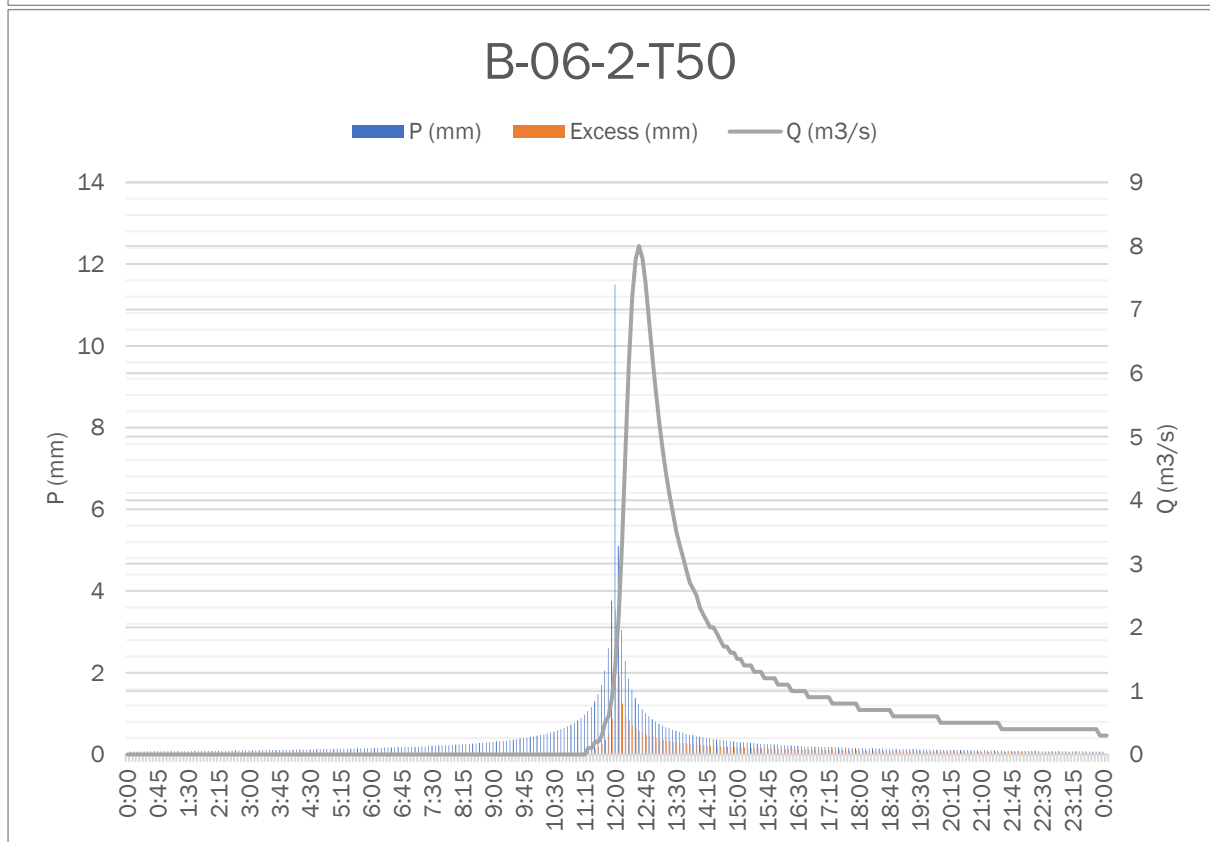
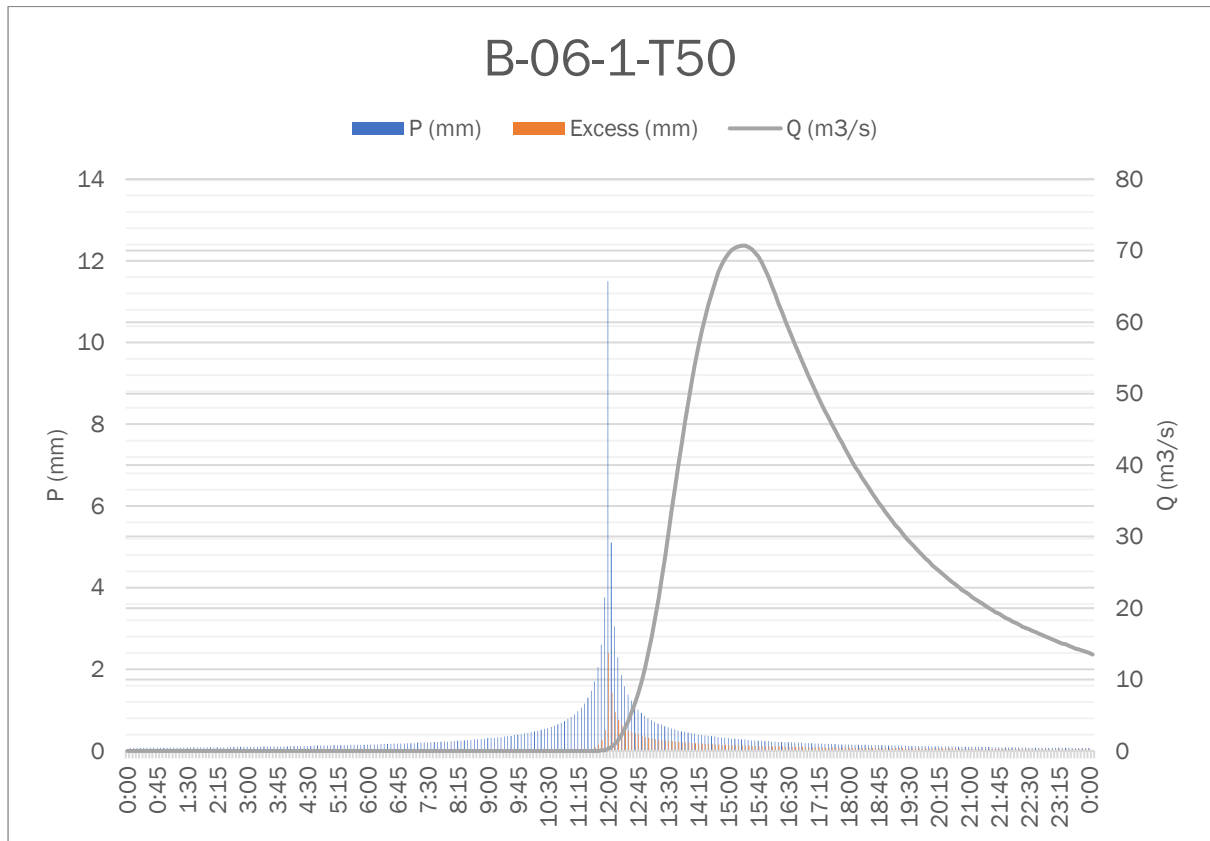


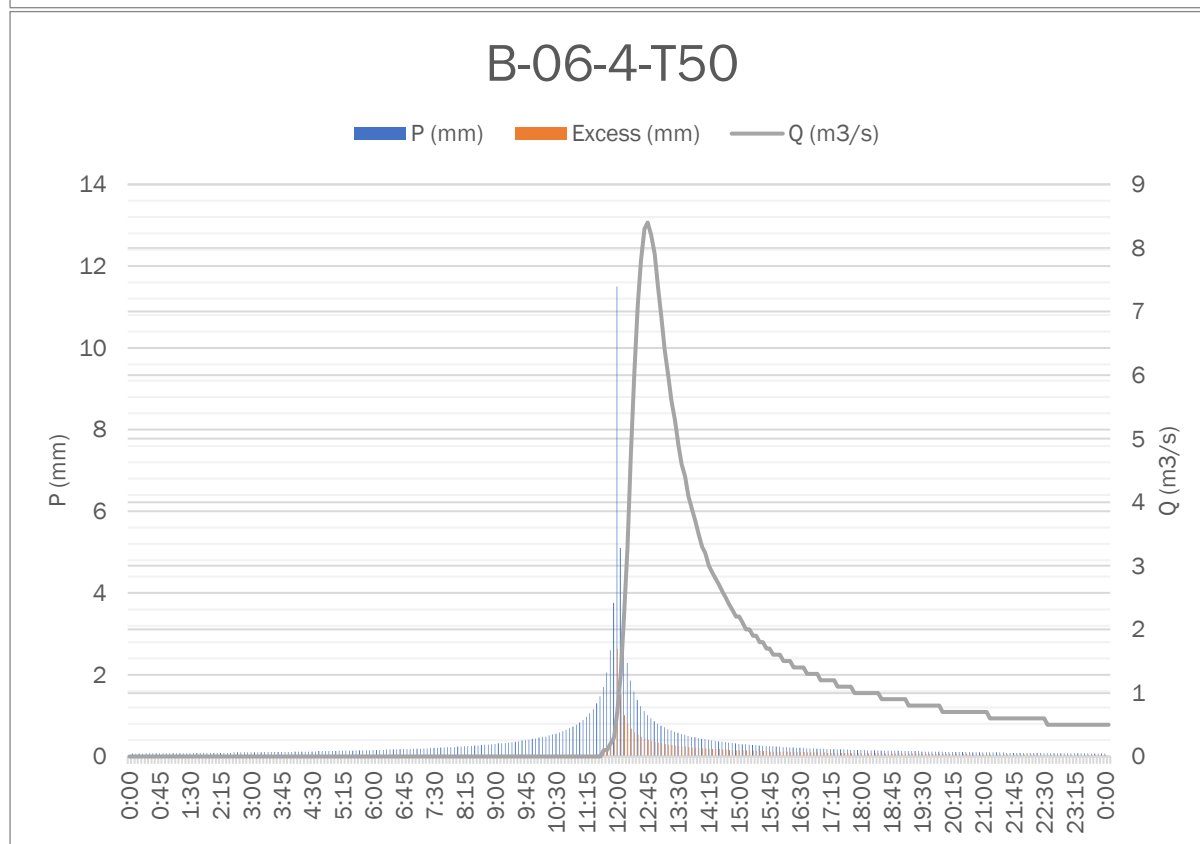
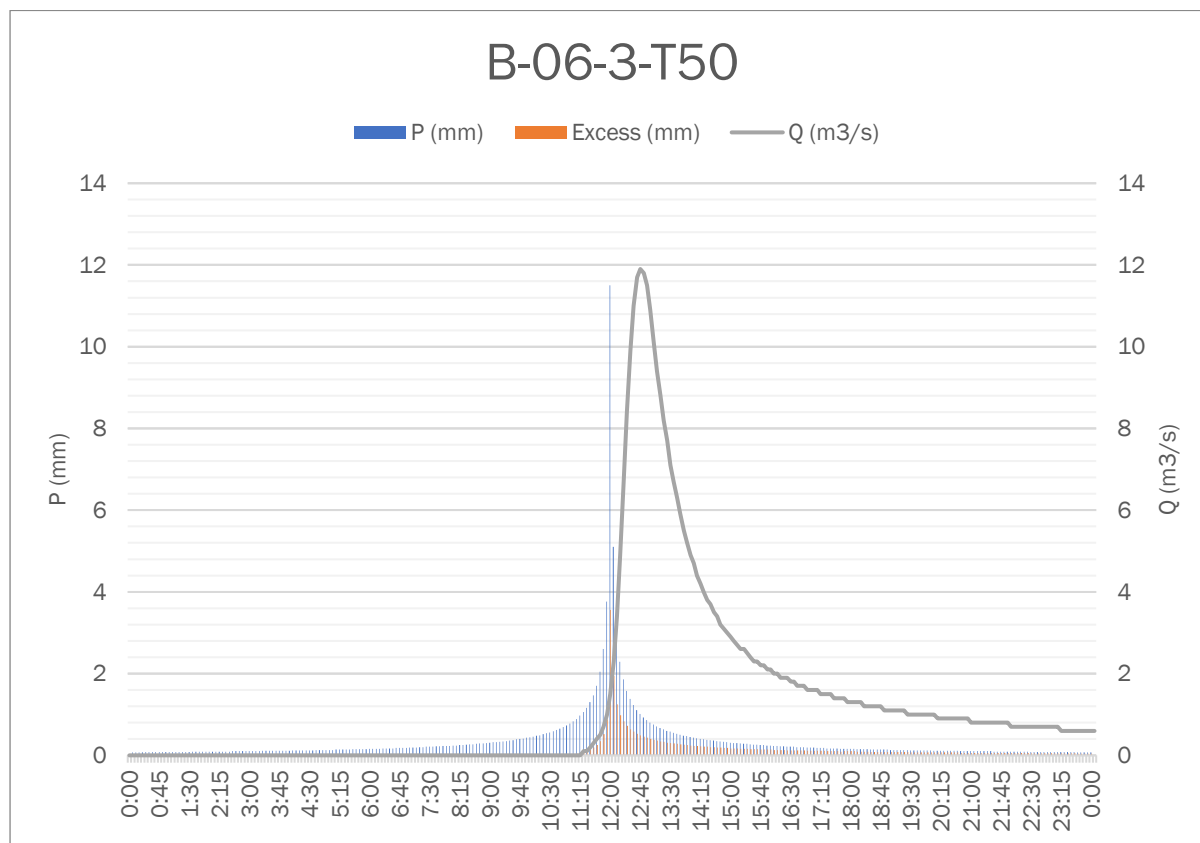


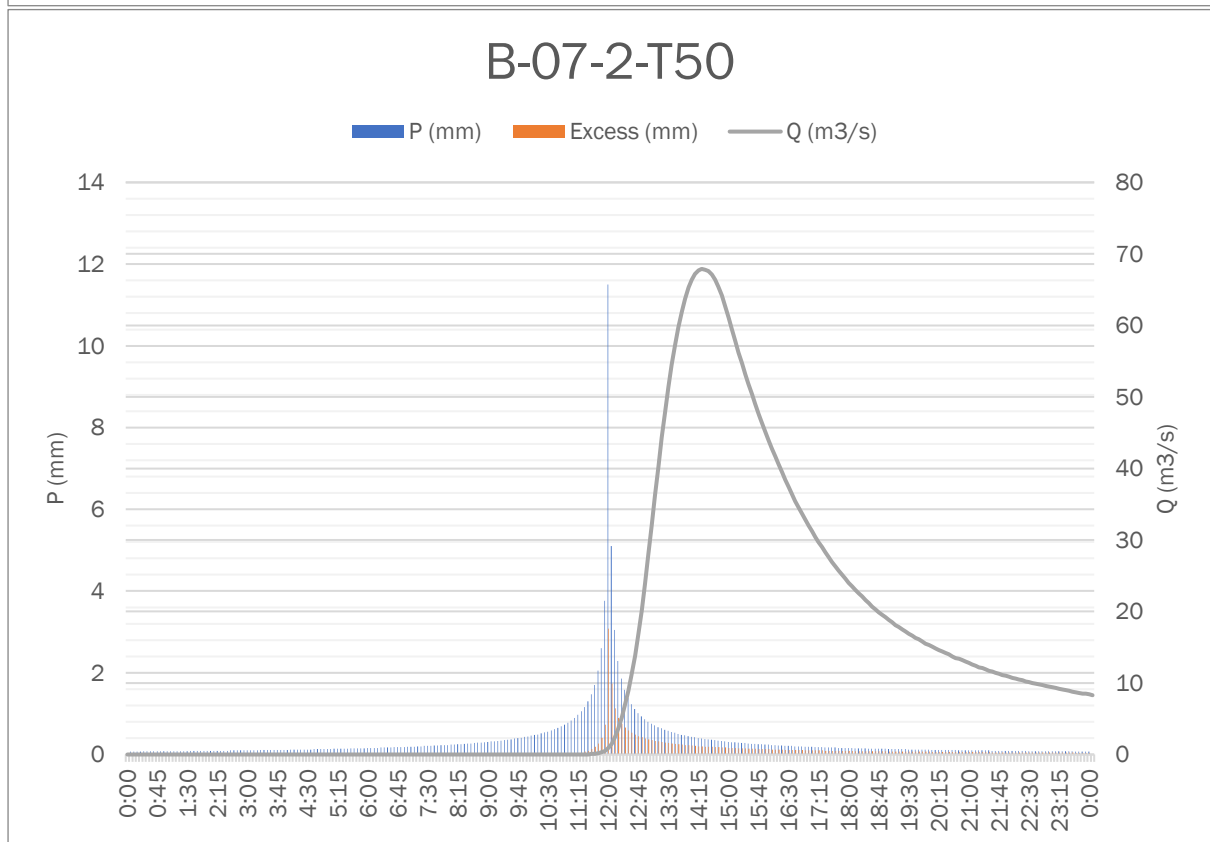
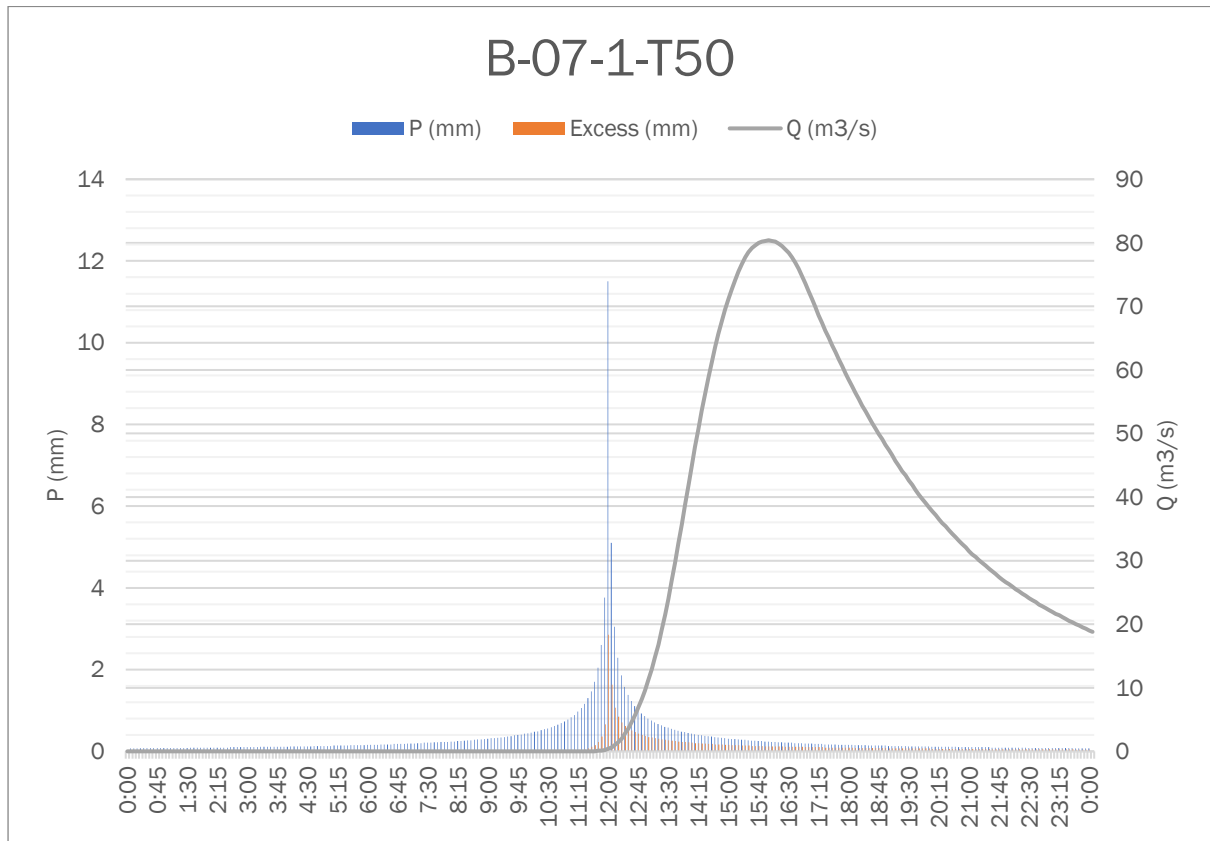


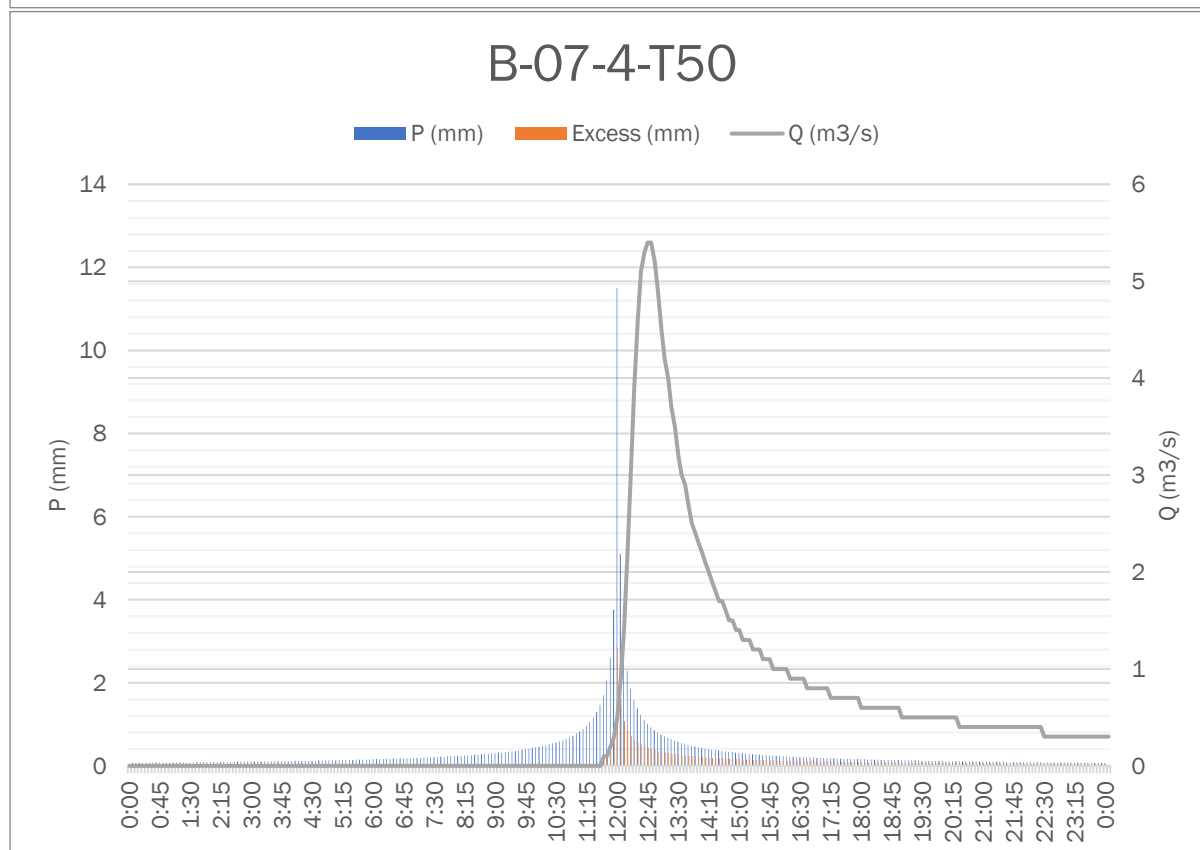
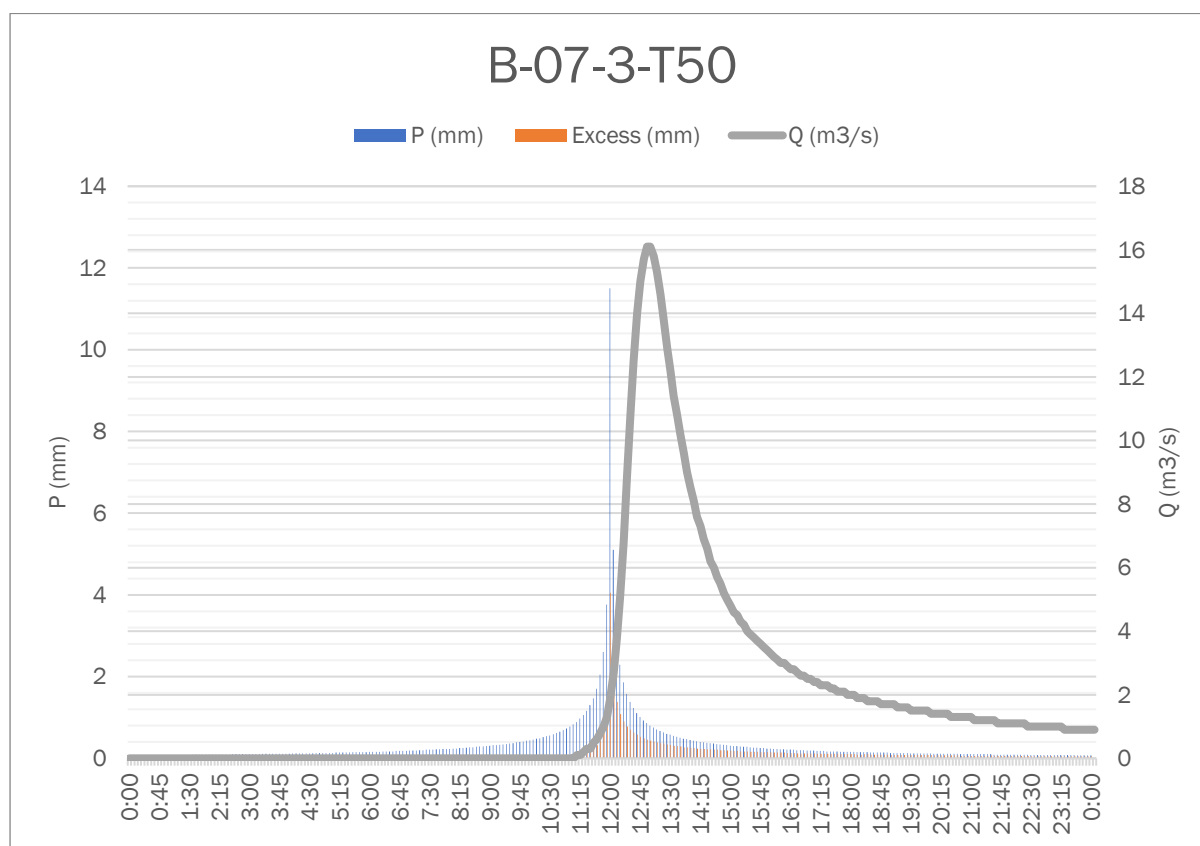


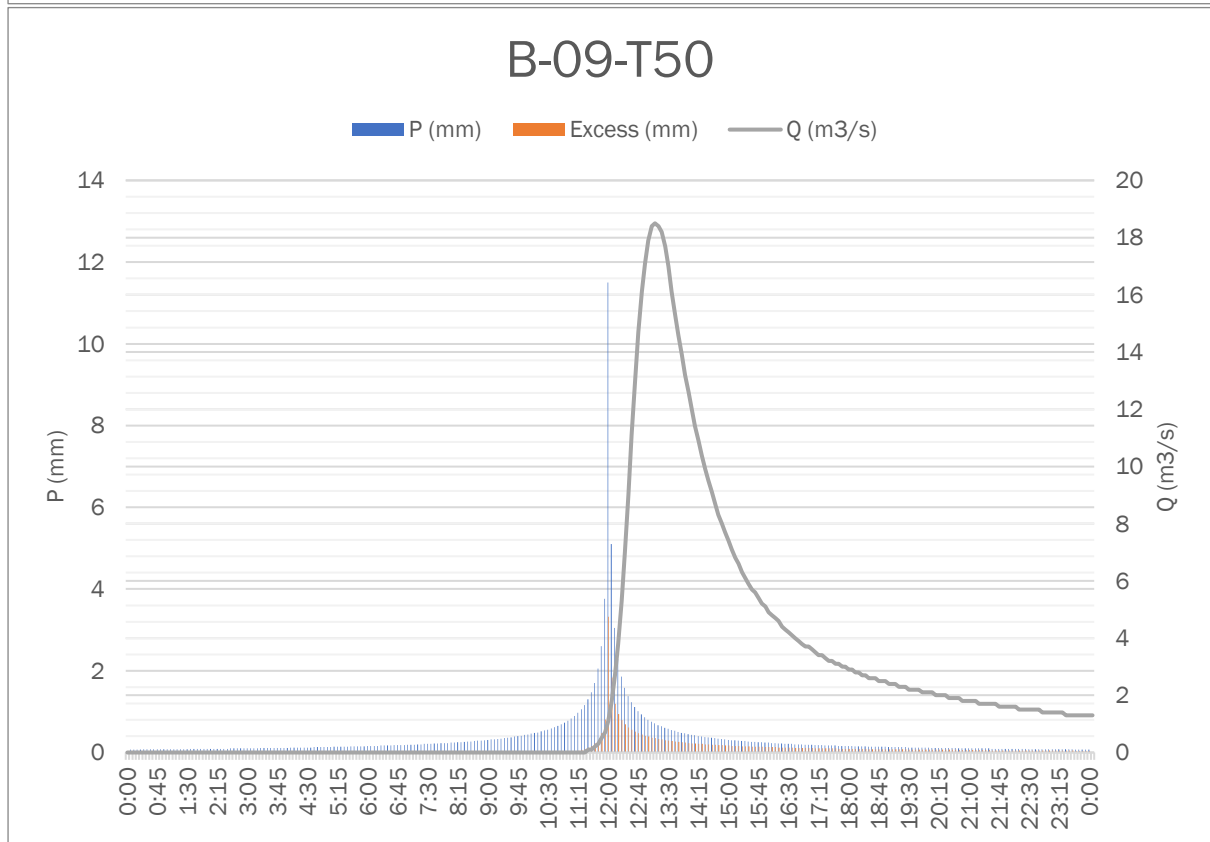
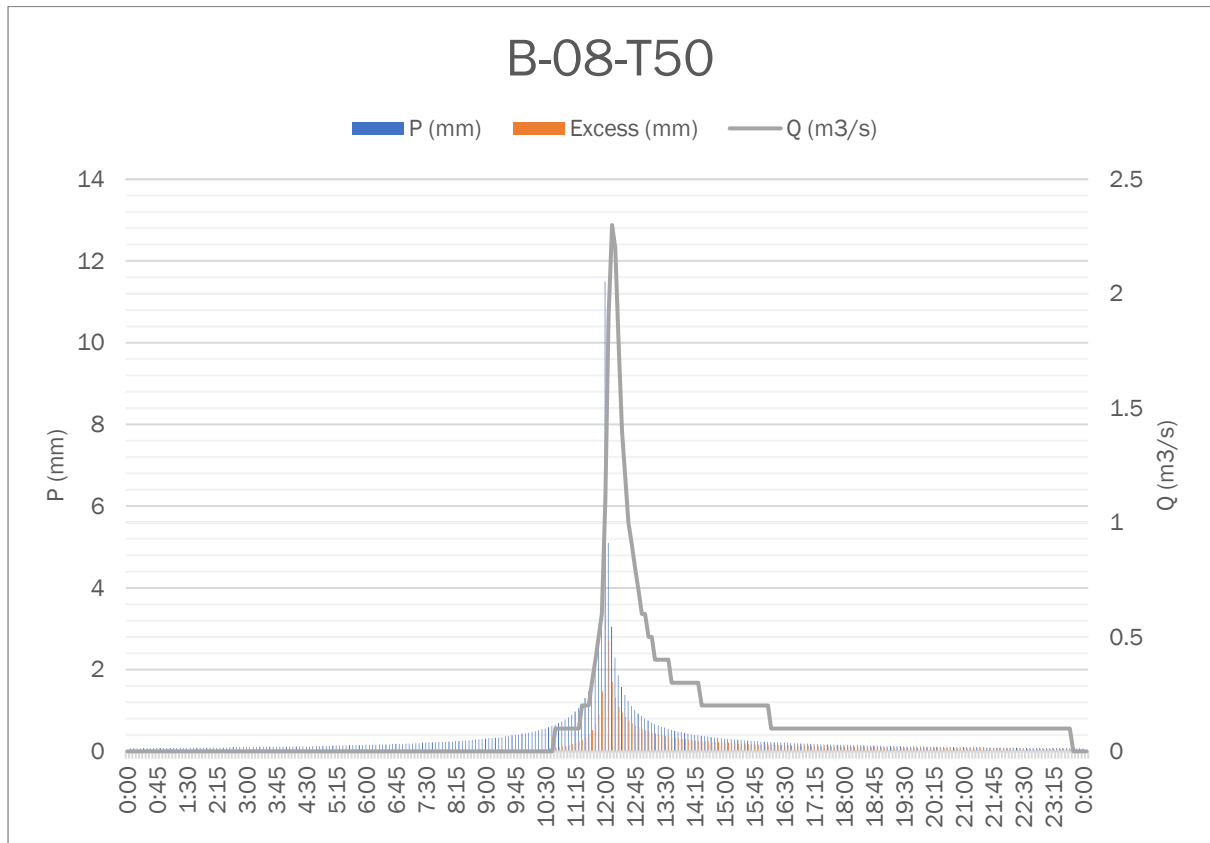




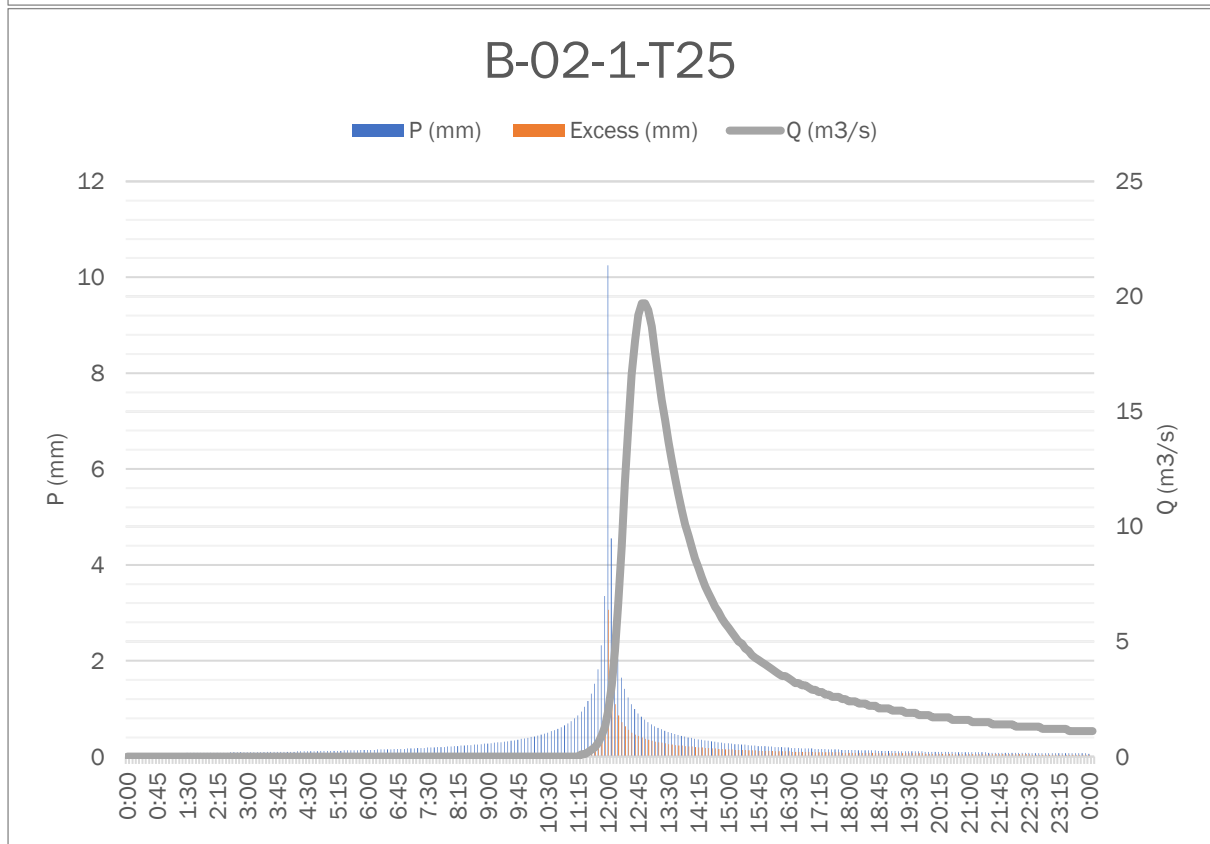
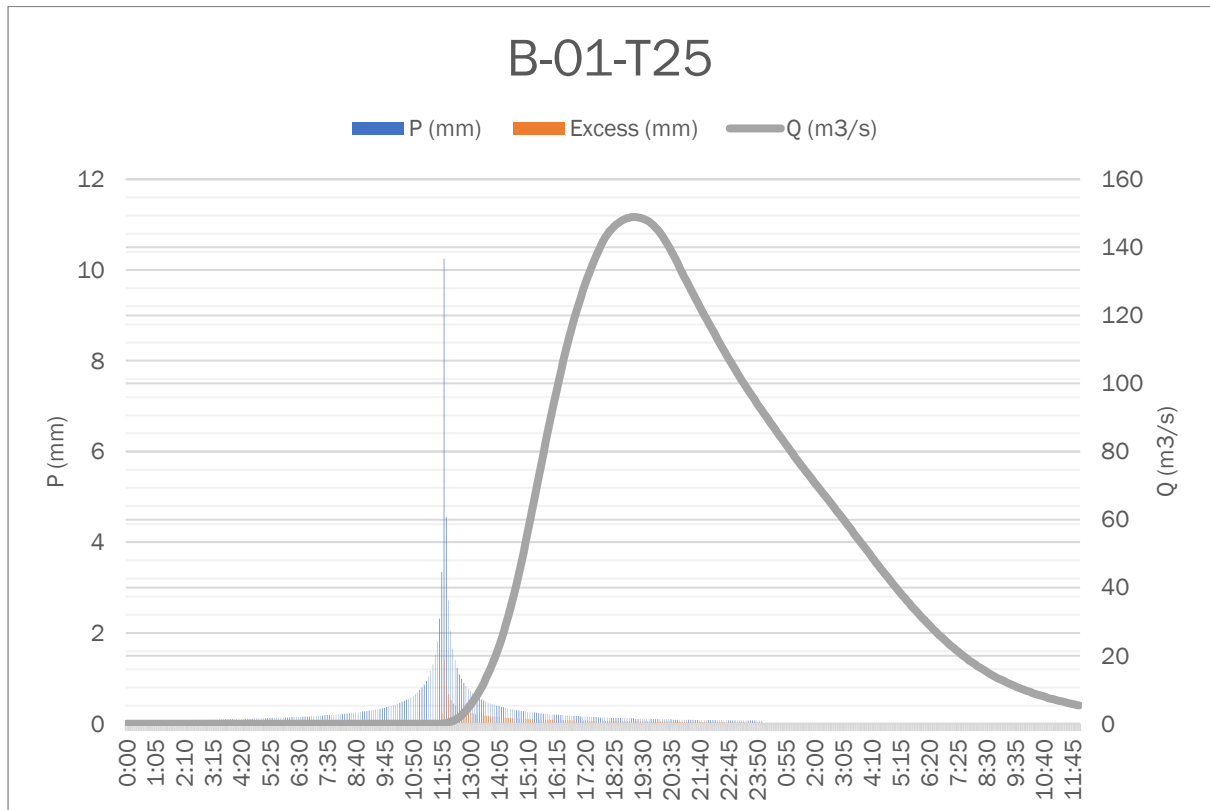


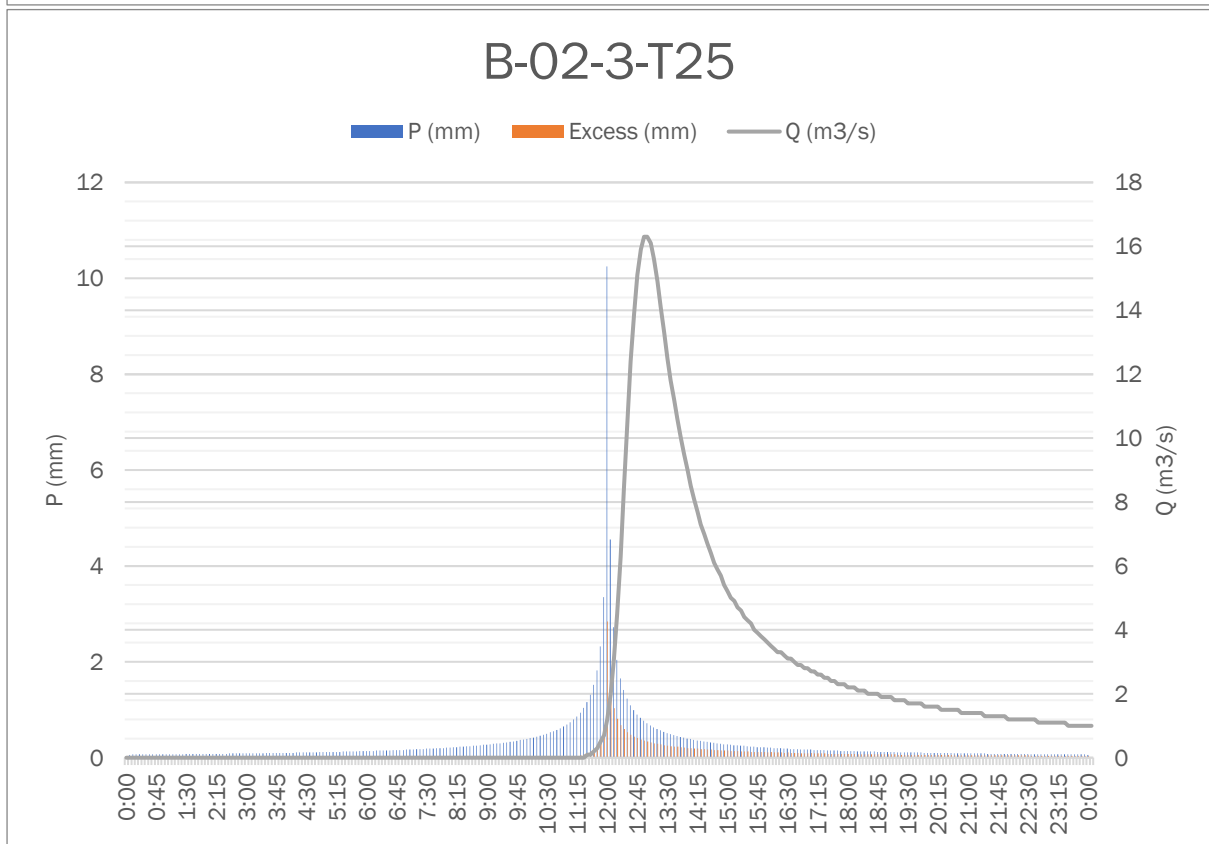
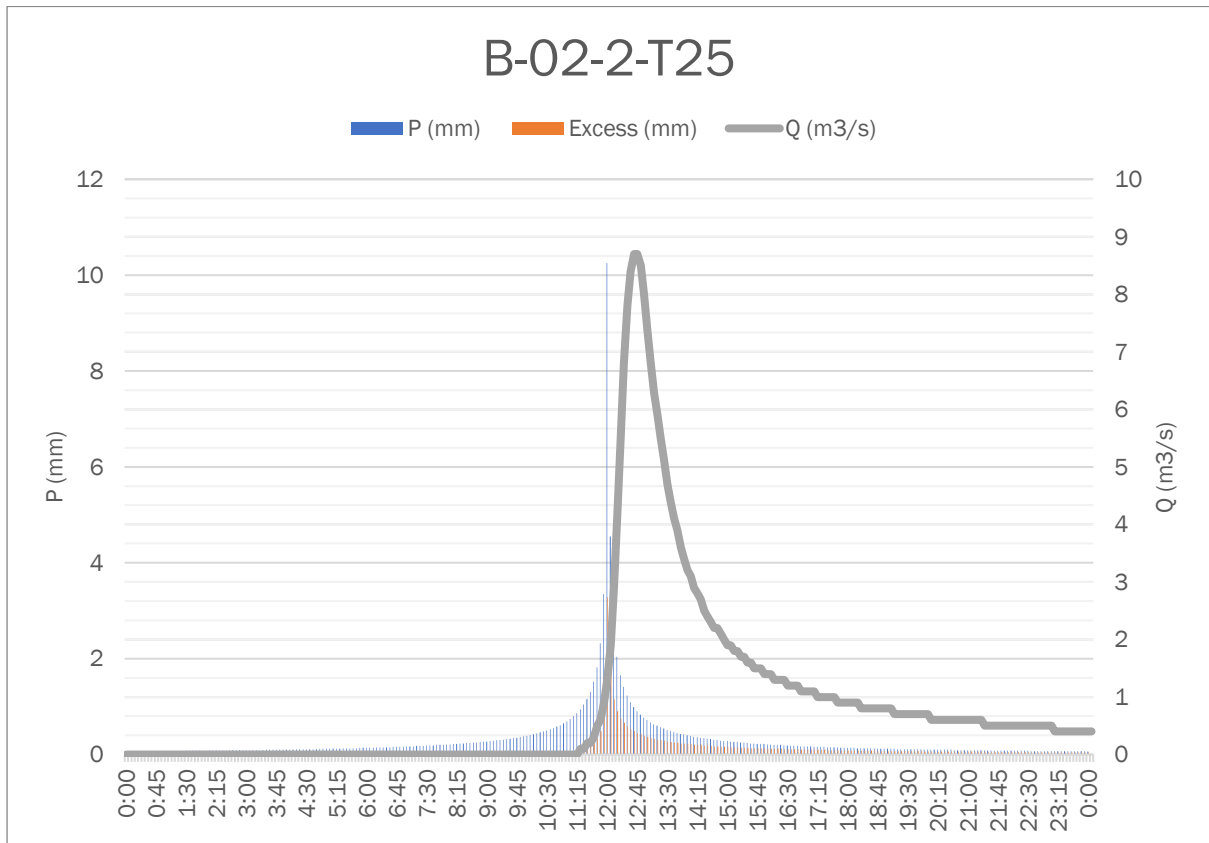


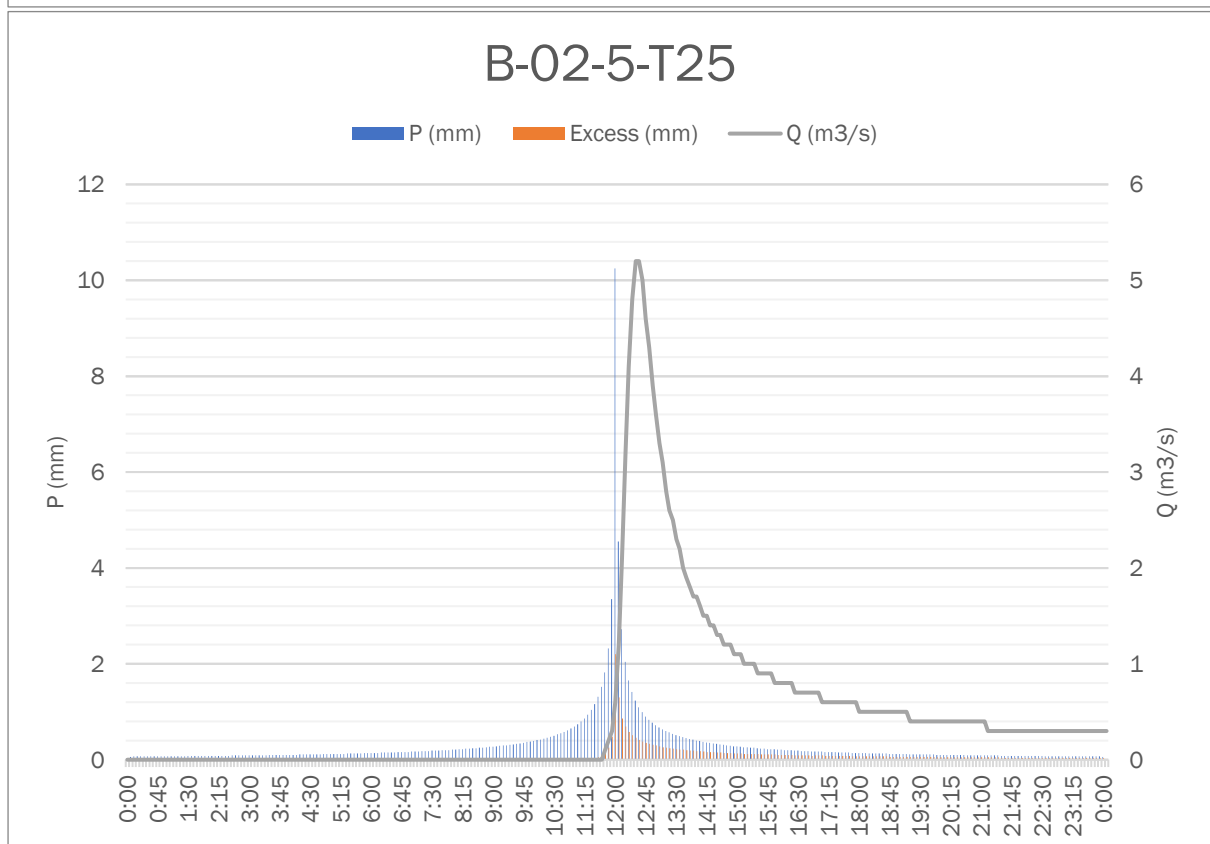
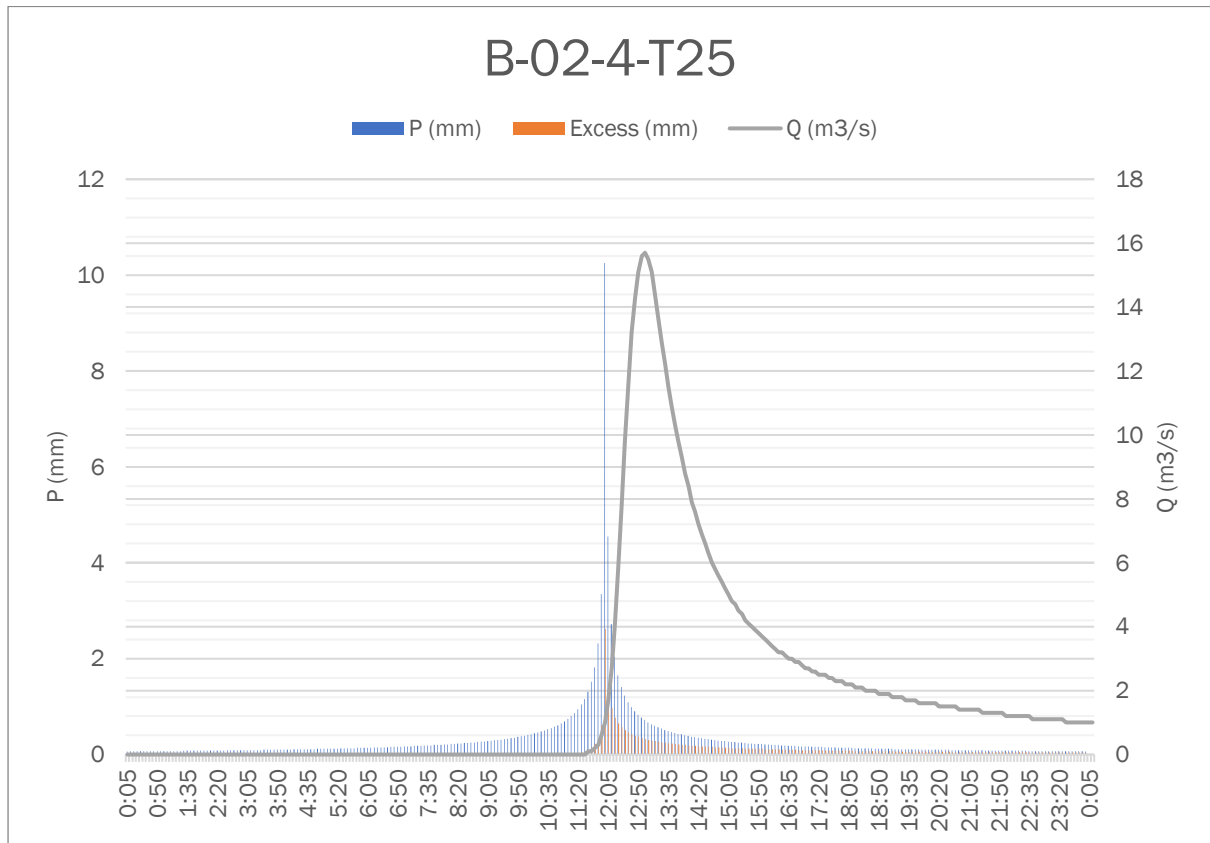


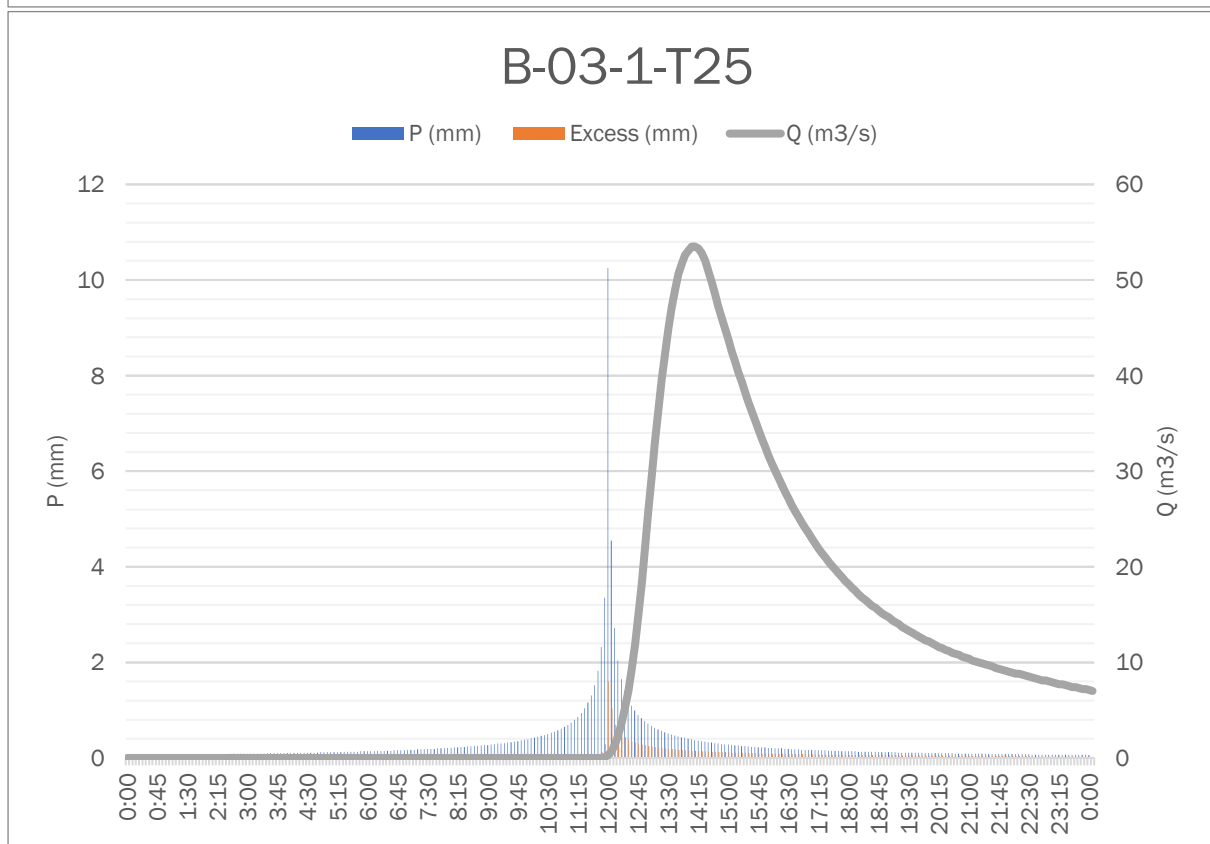
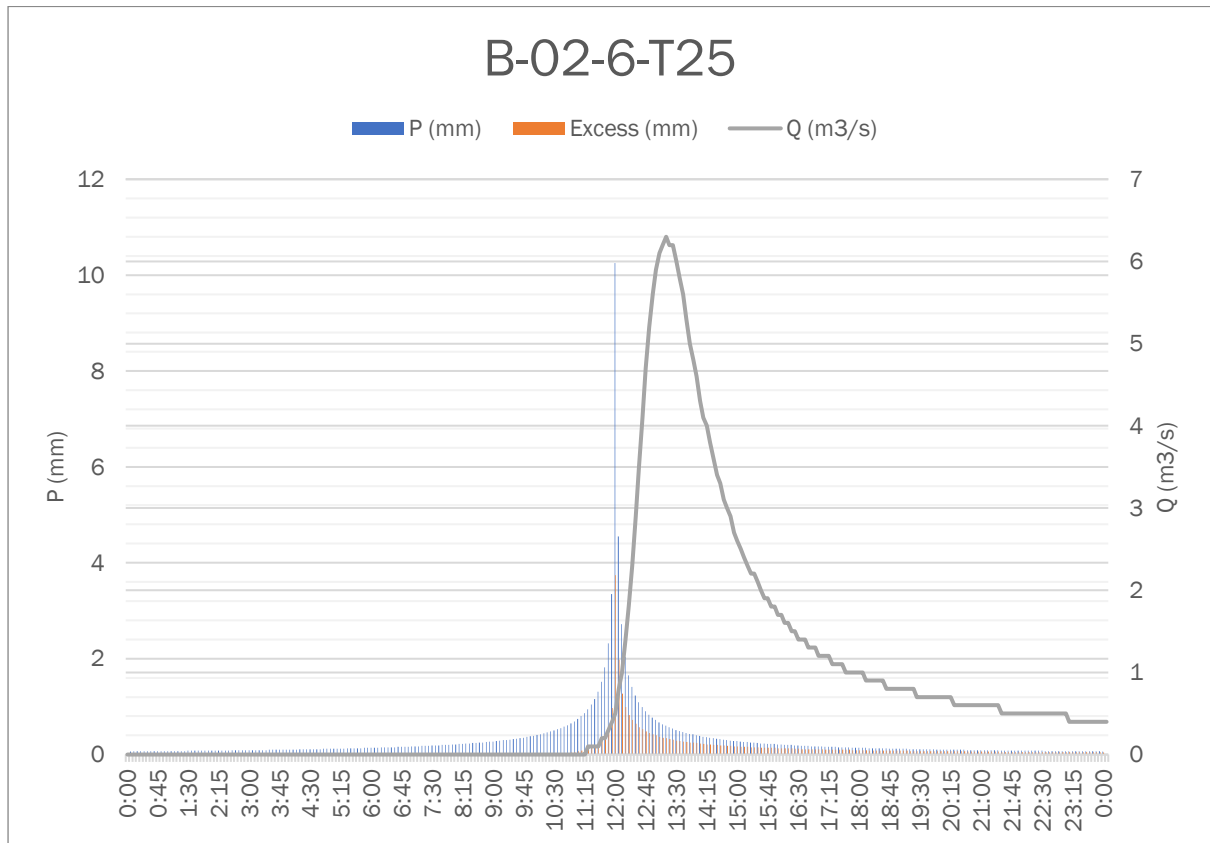


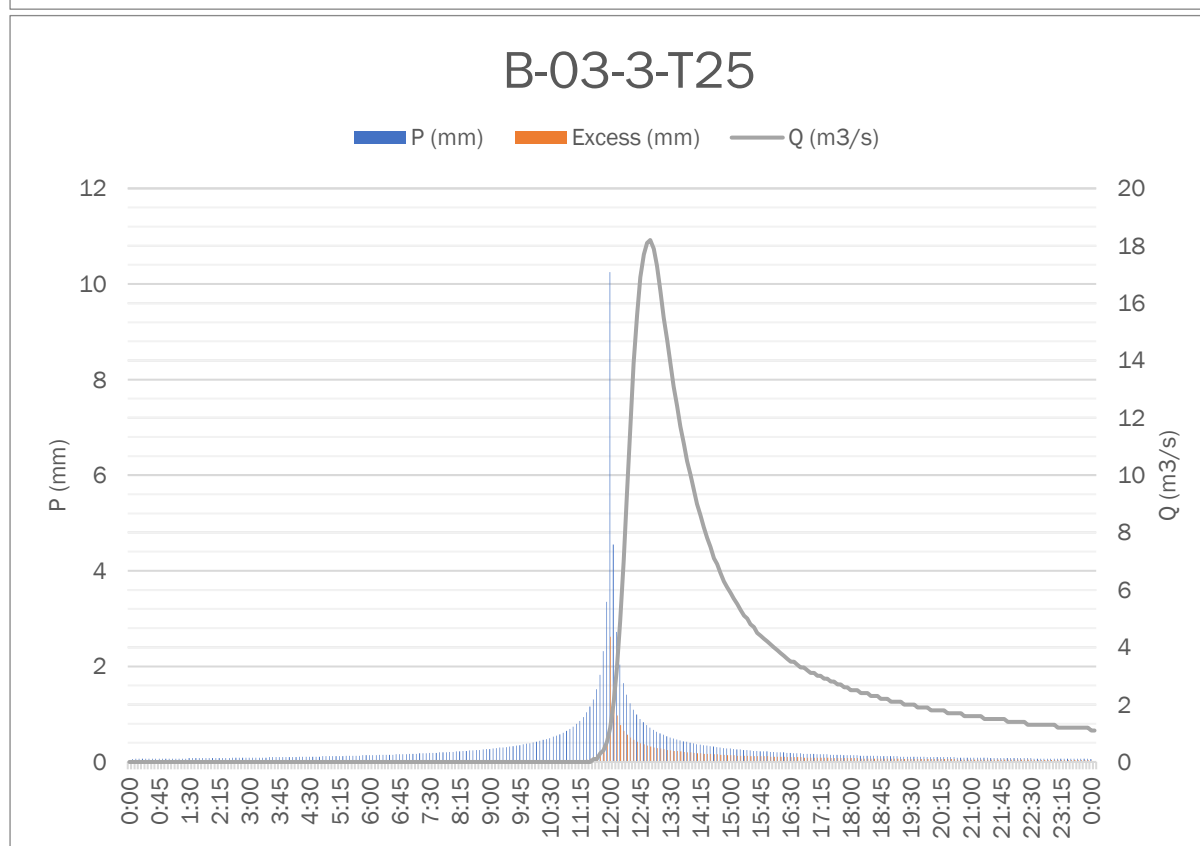
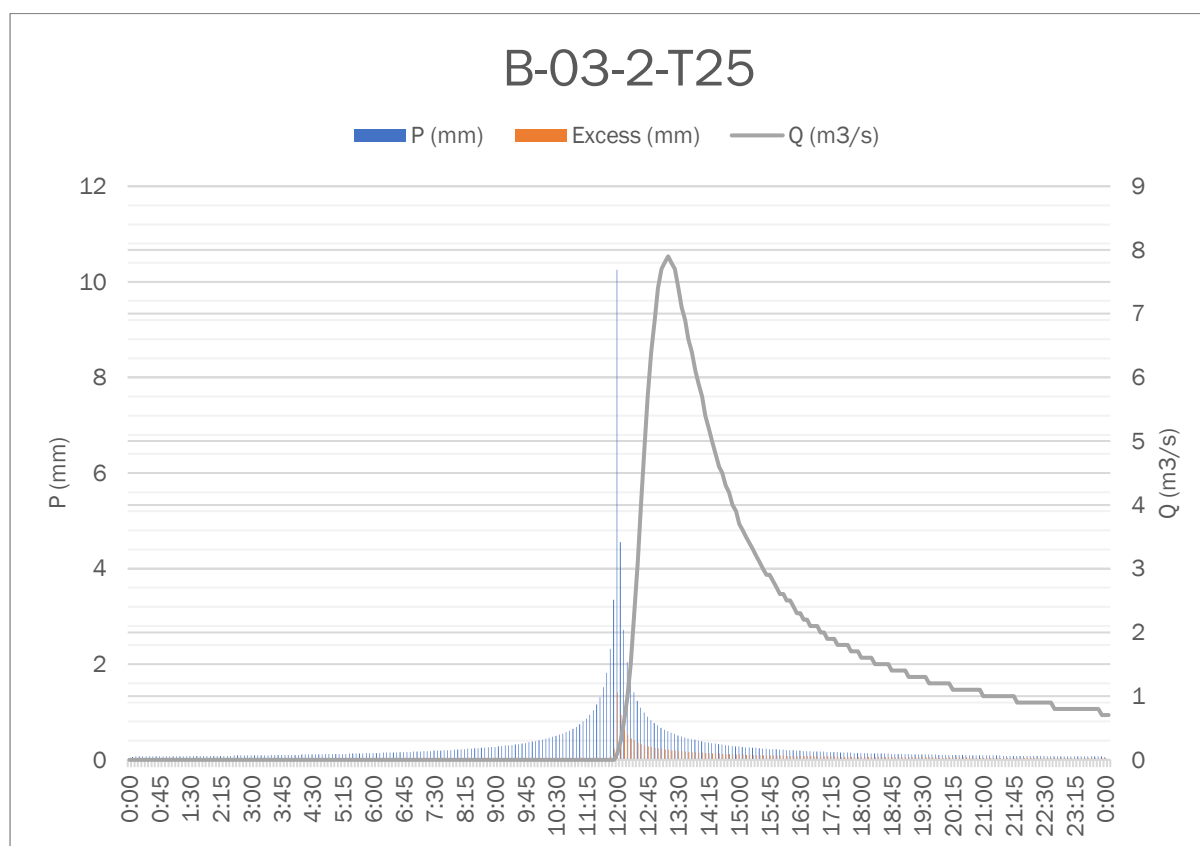
PERÍODO DE RETORNO DE 25 ANOS

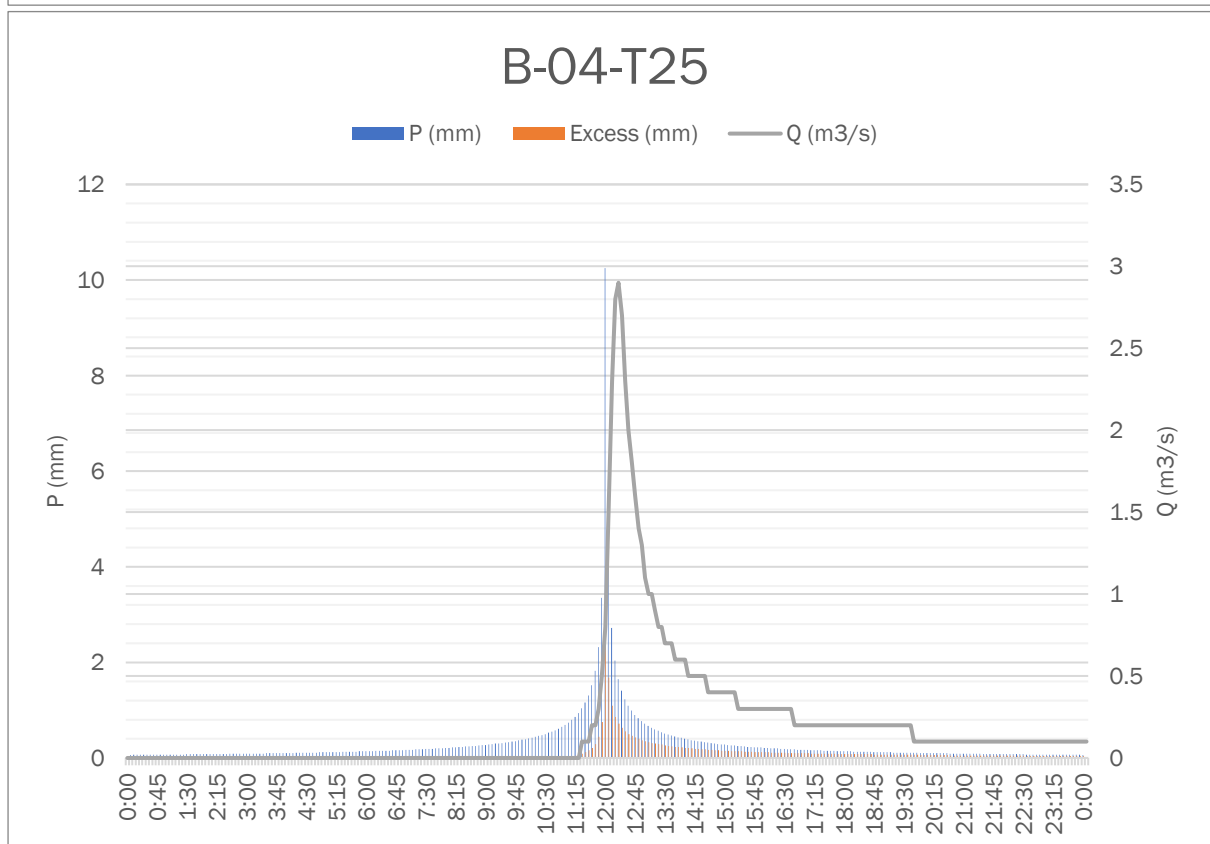
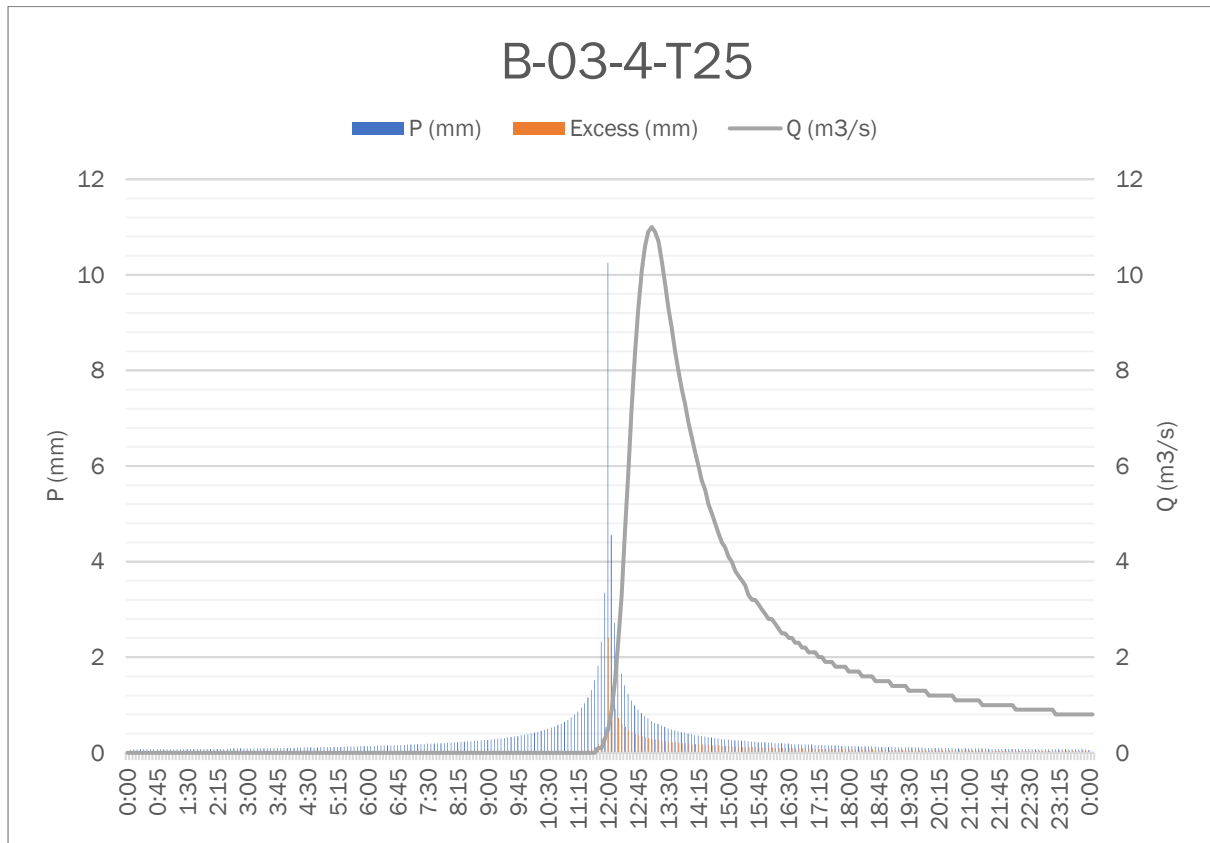


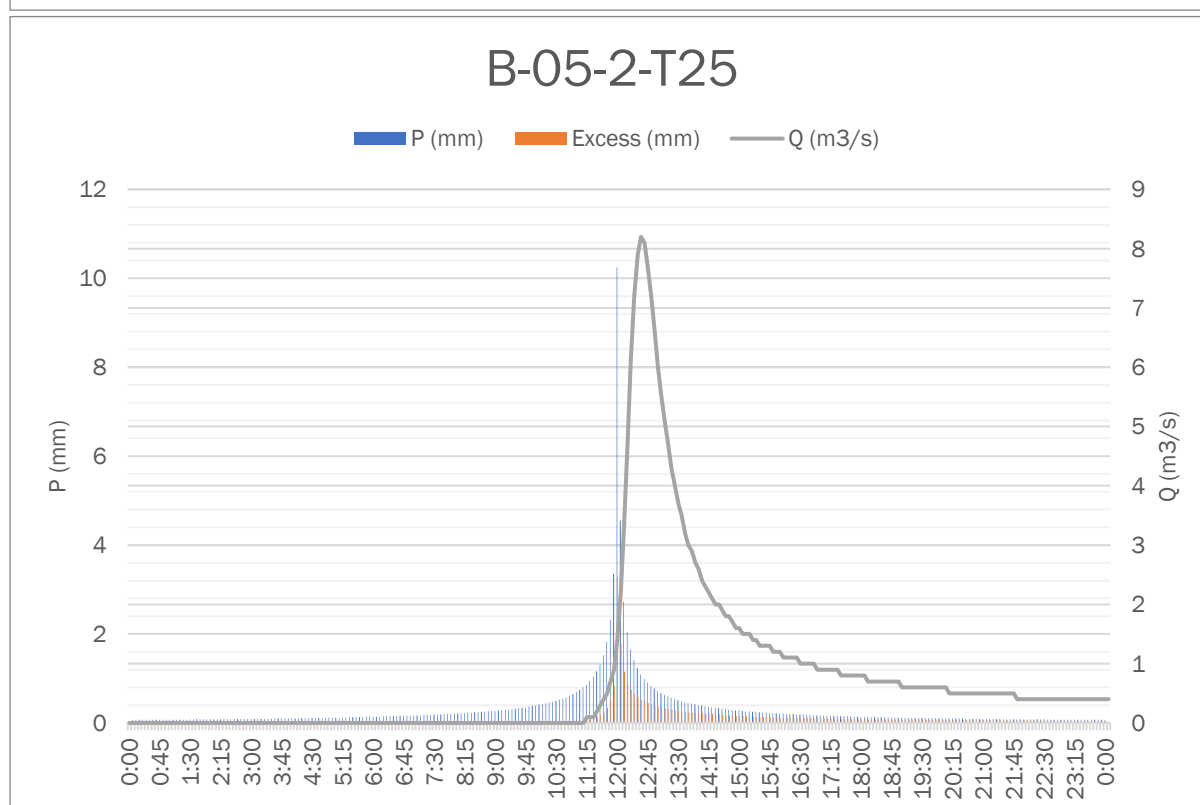
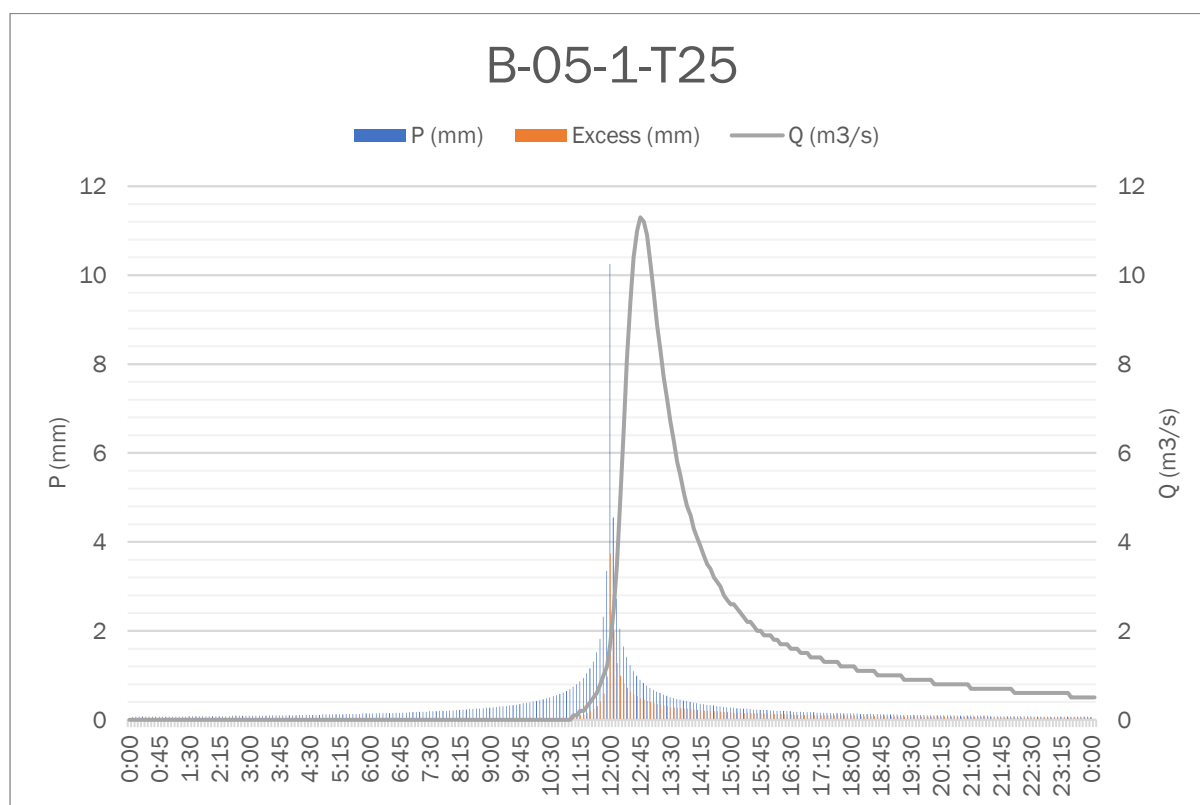


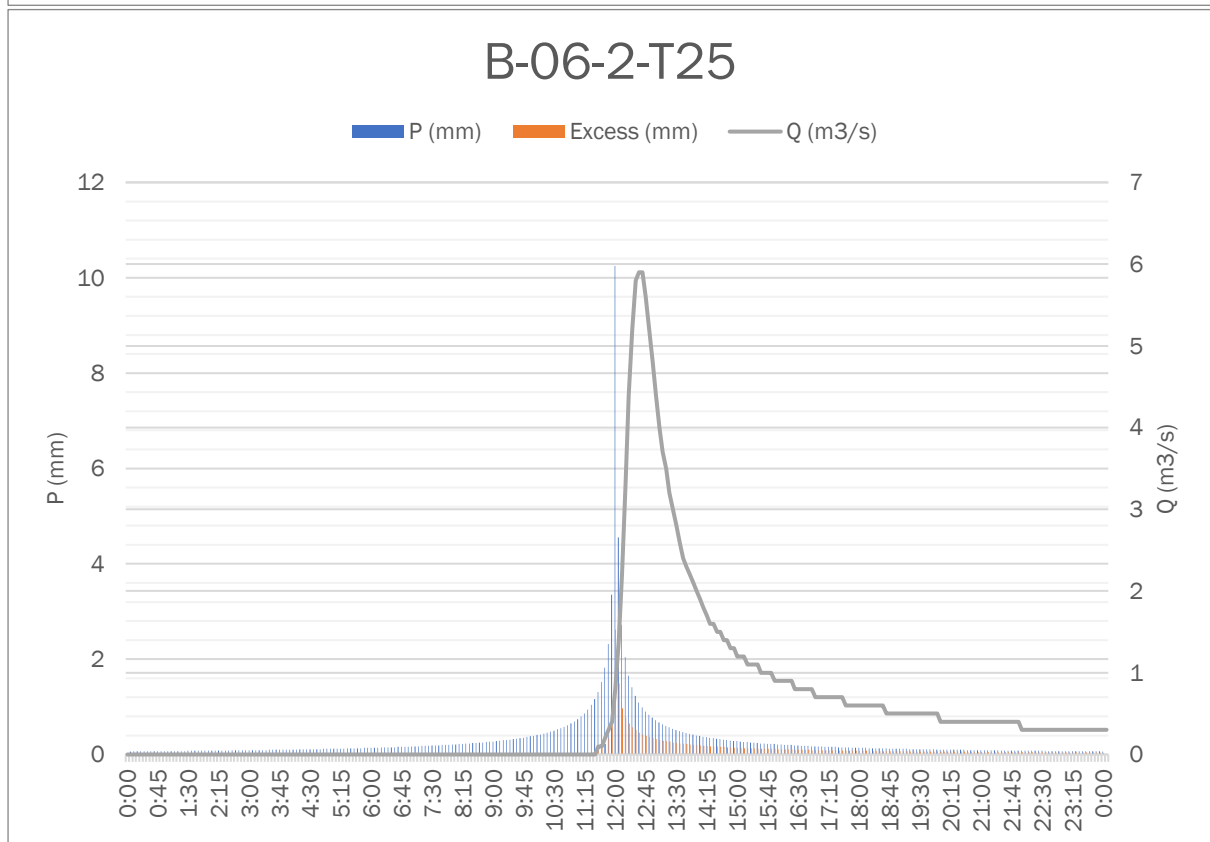
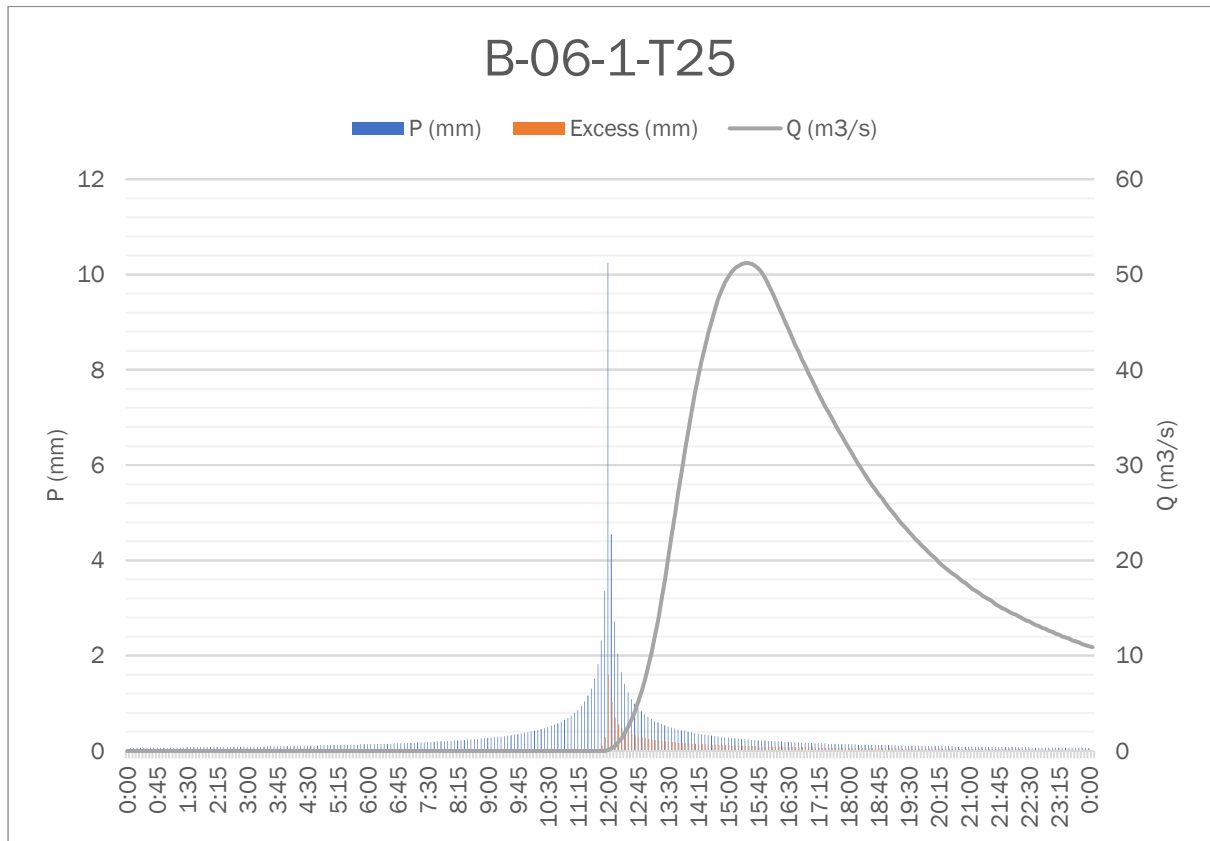


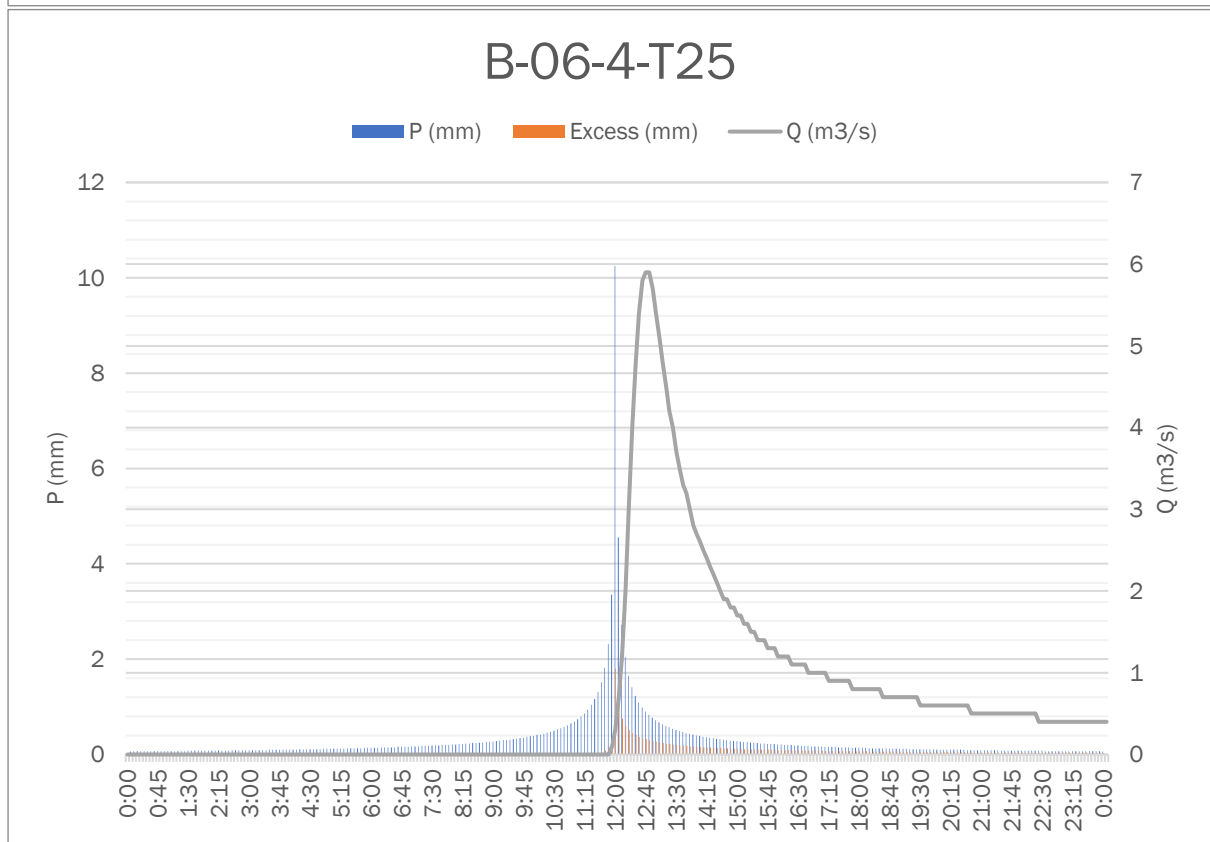
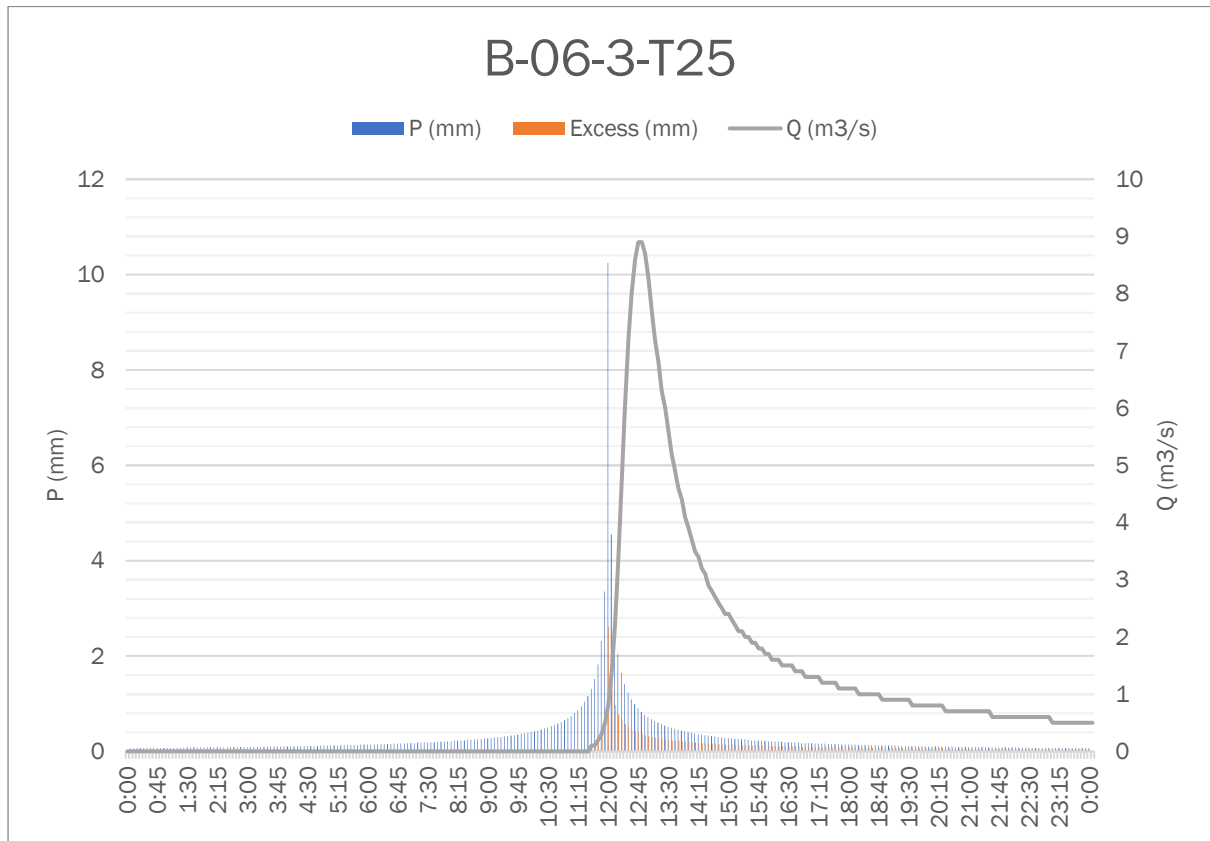


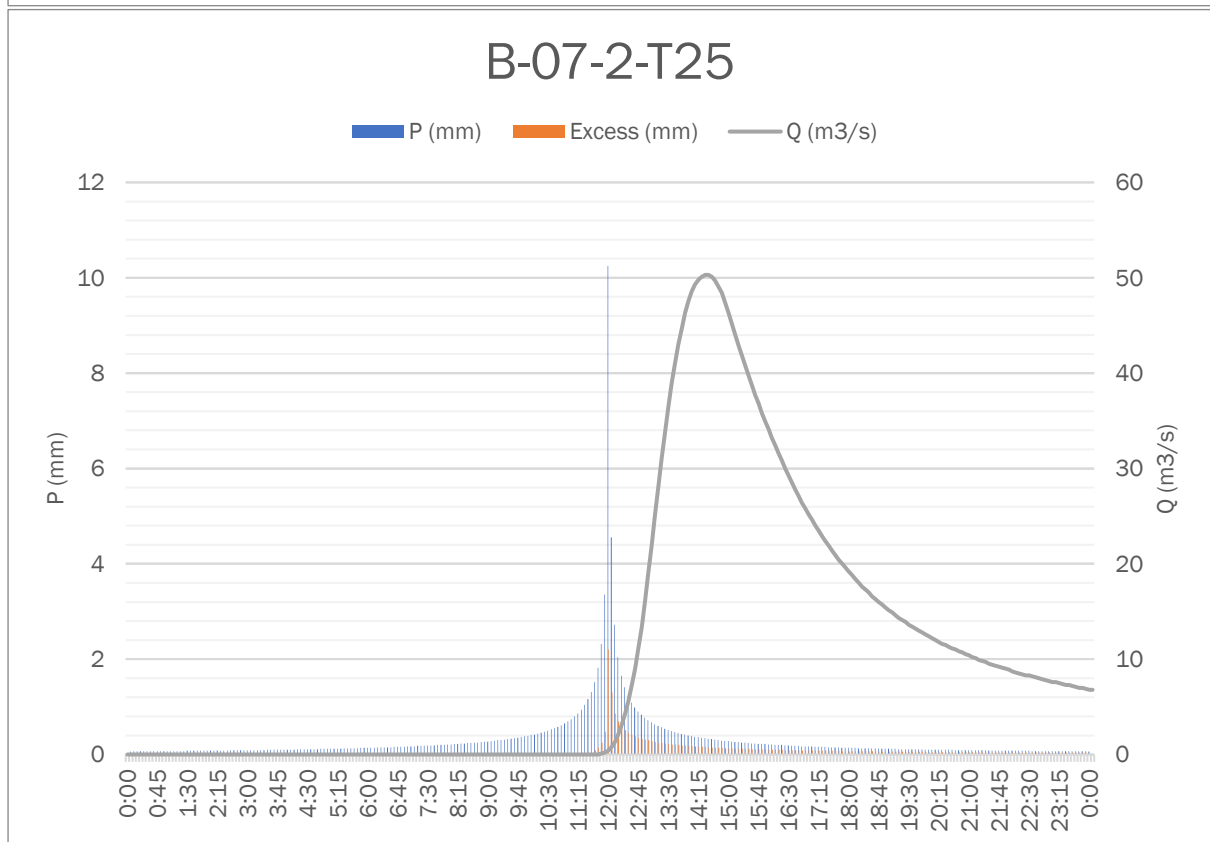
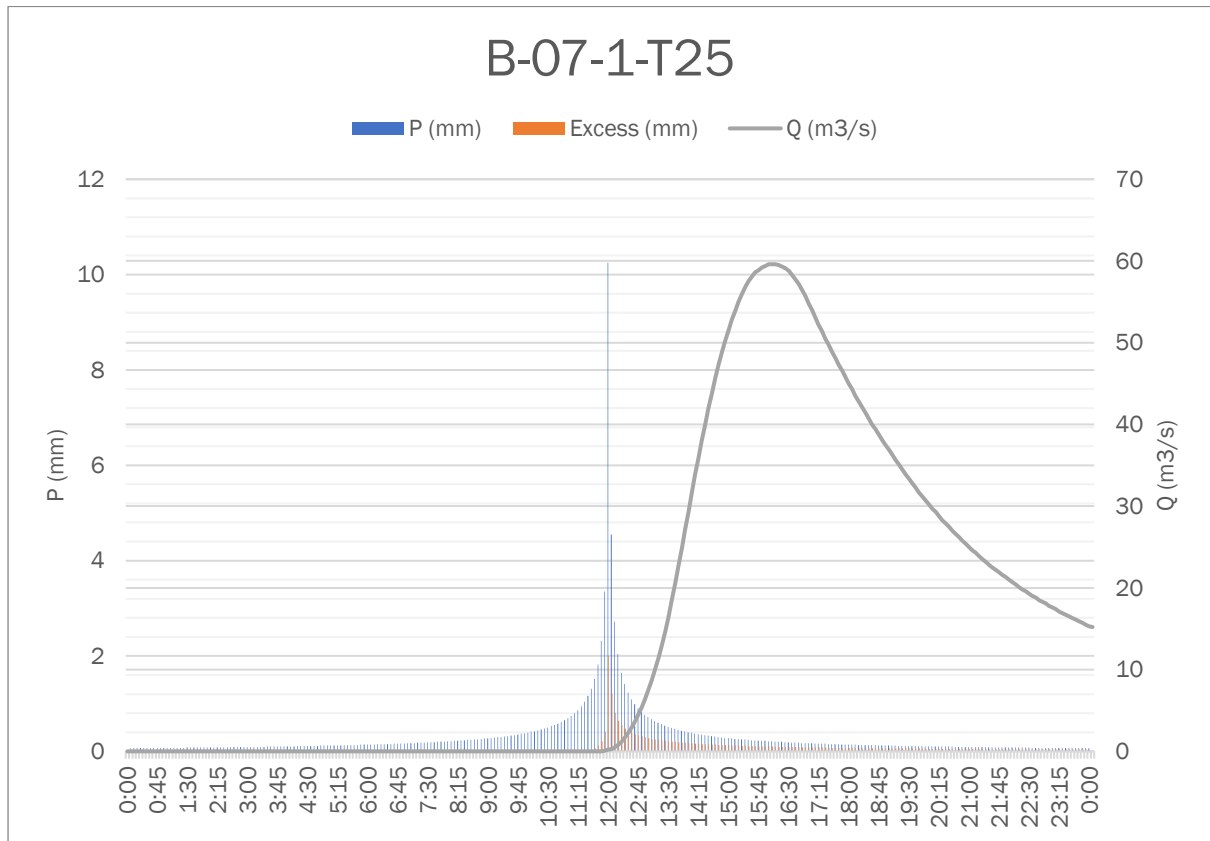


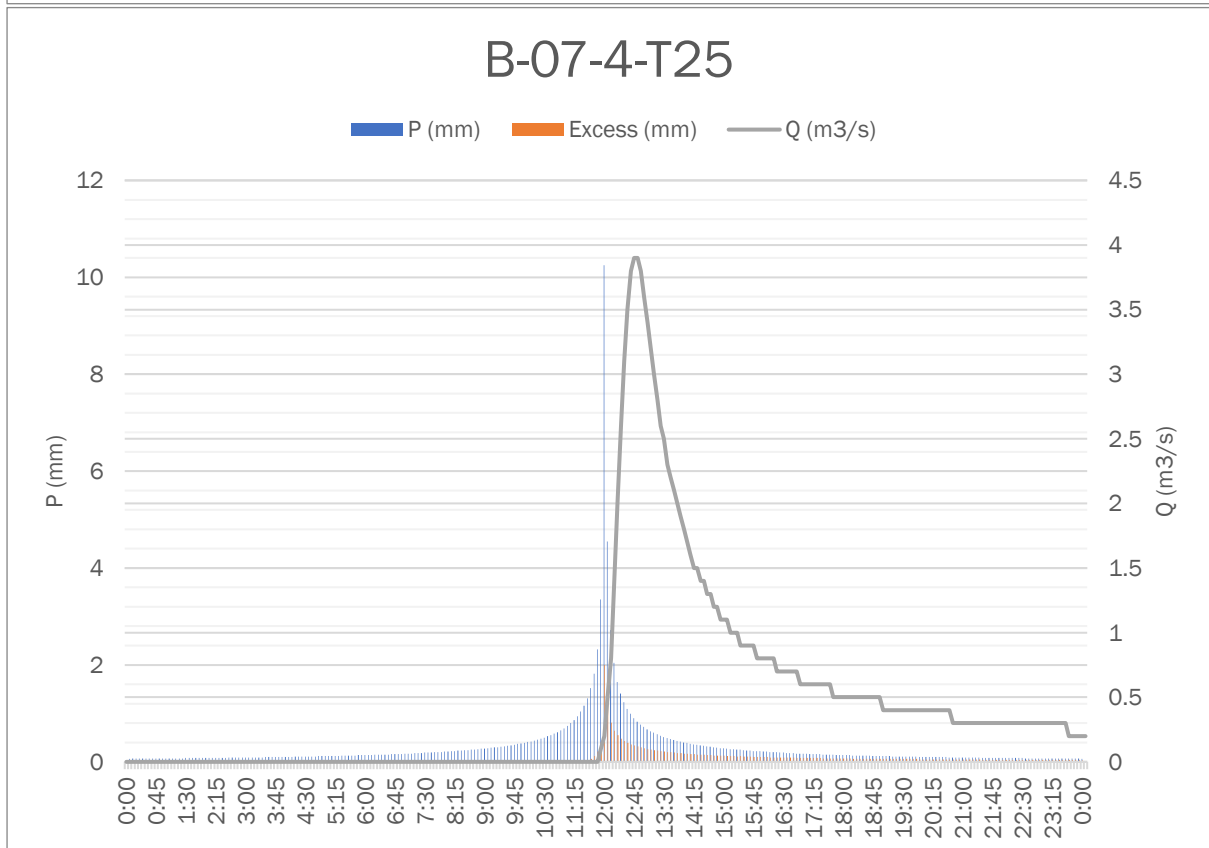
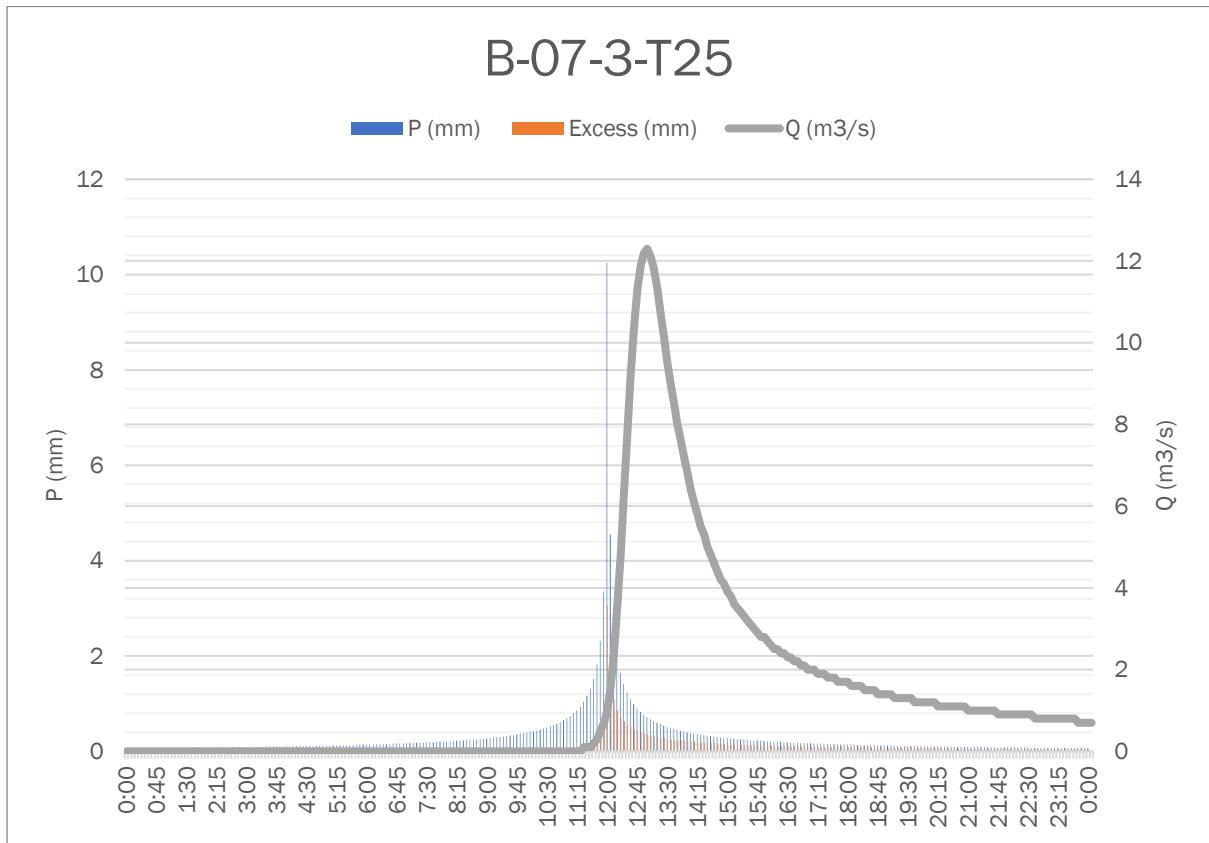


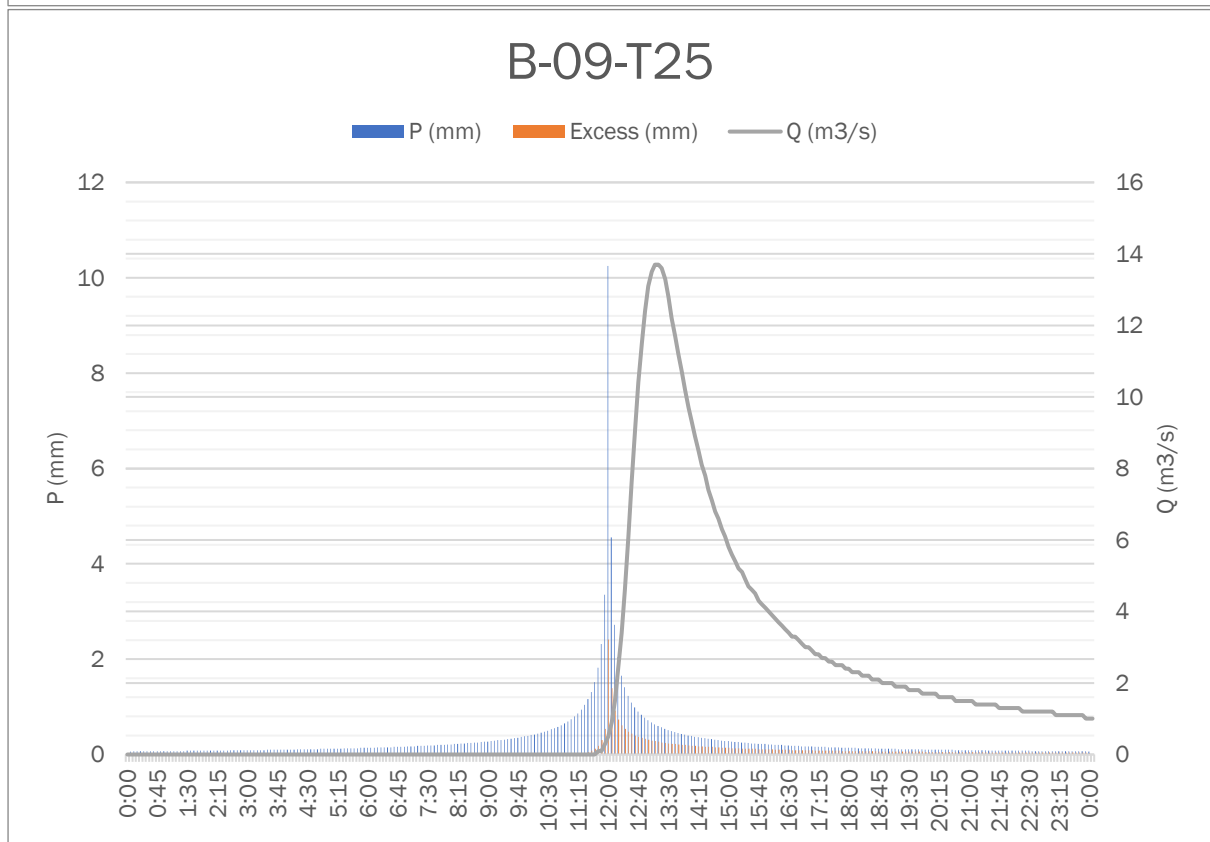
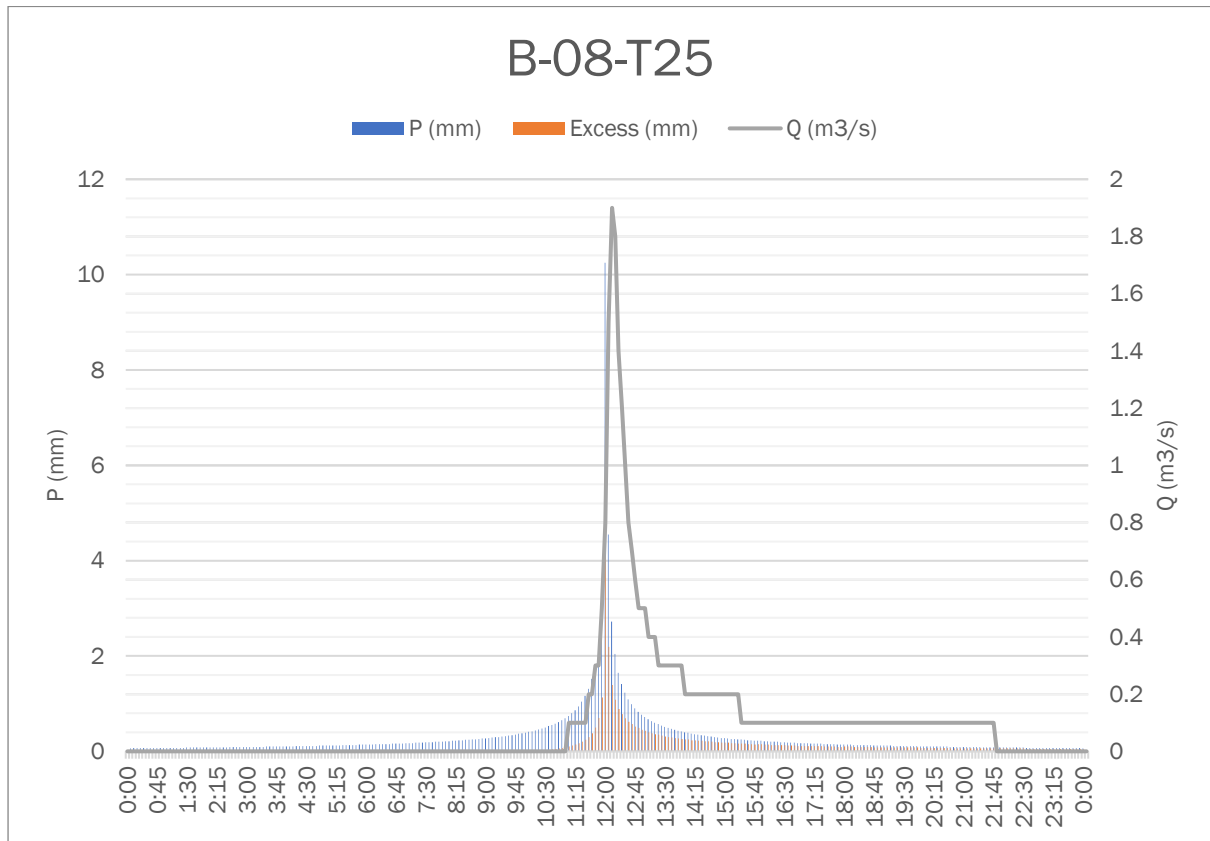




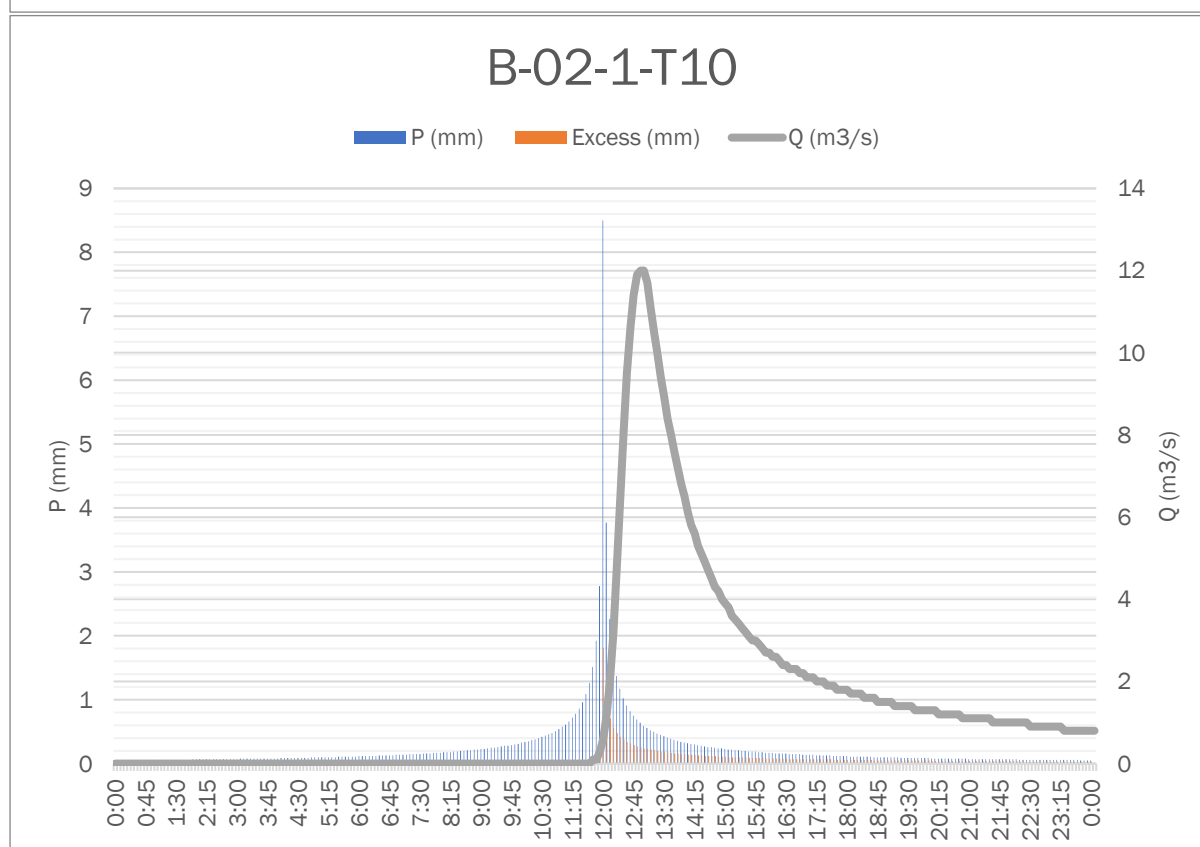
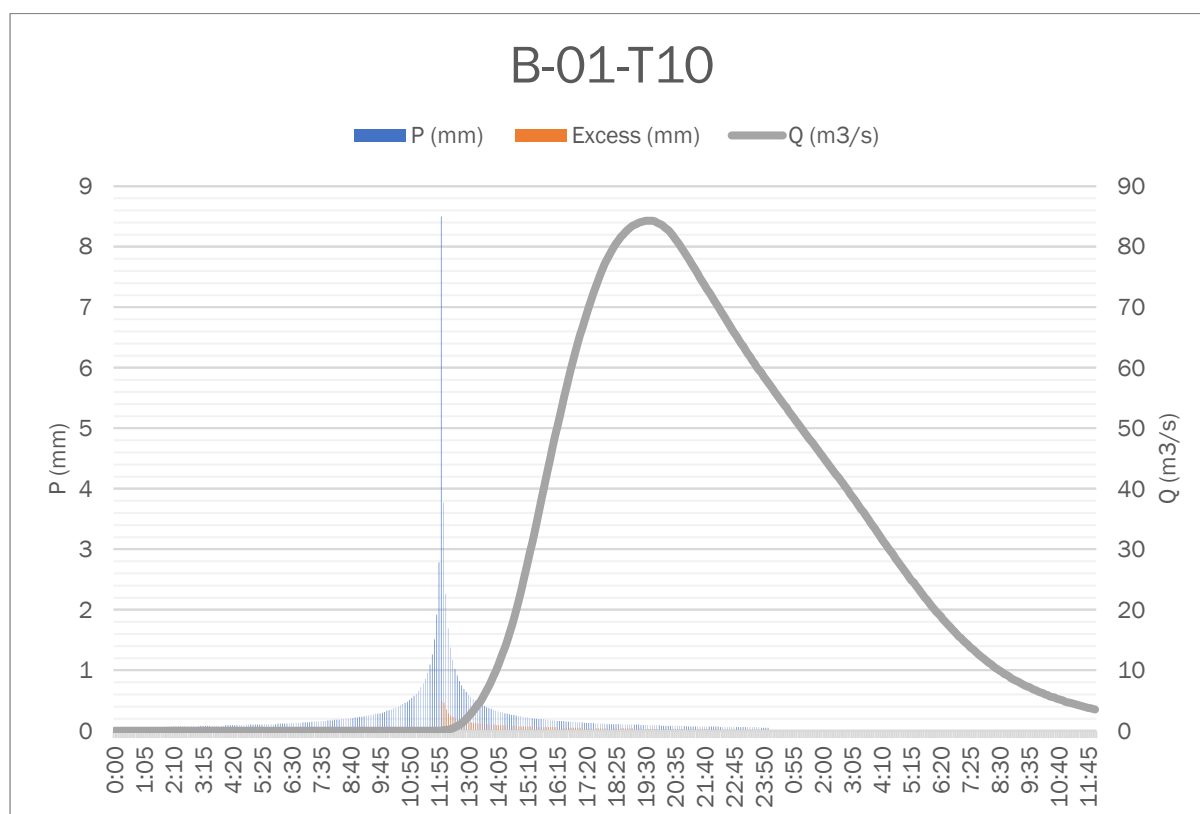


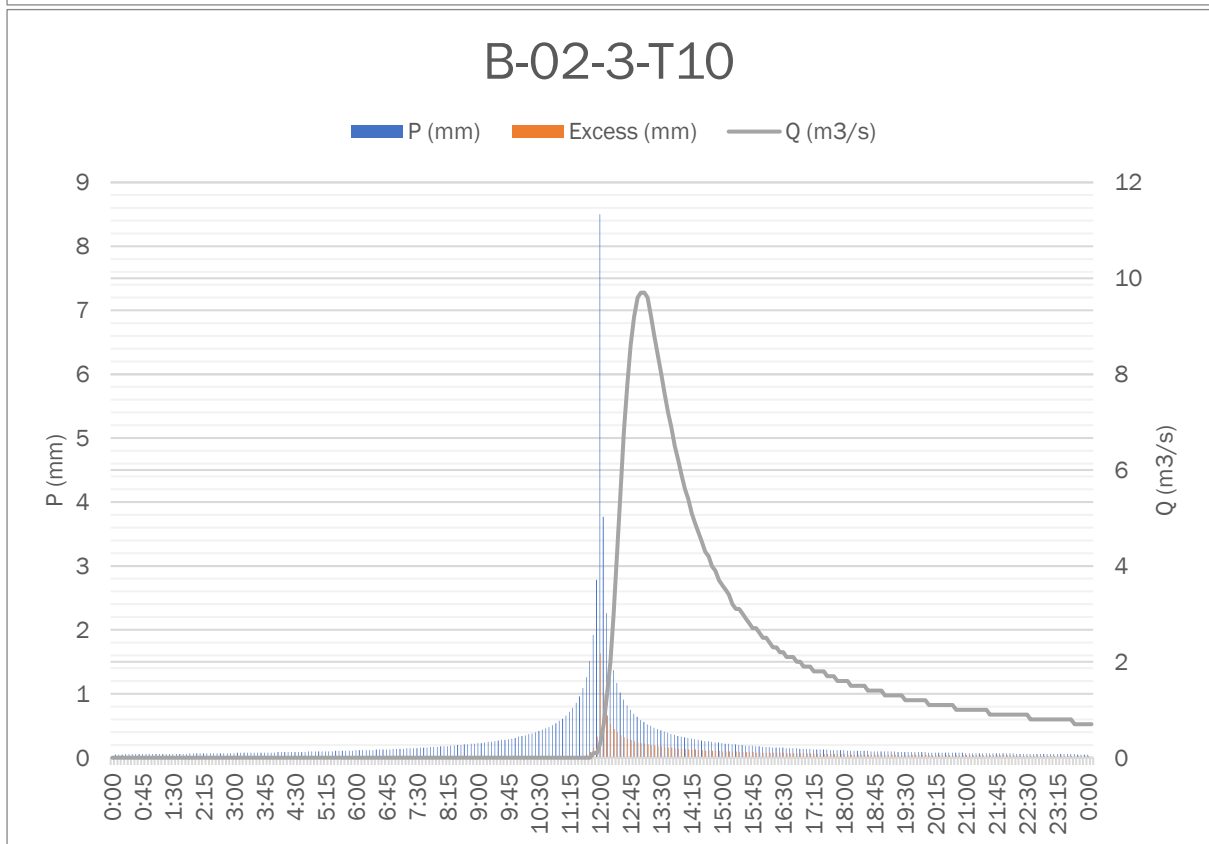
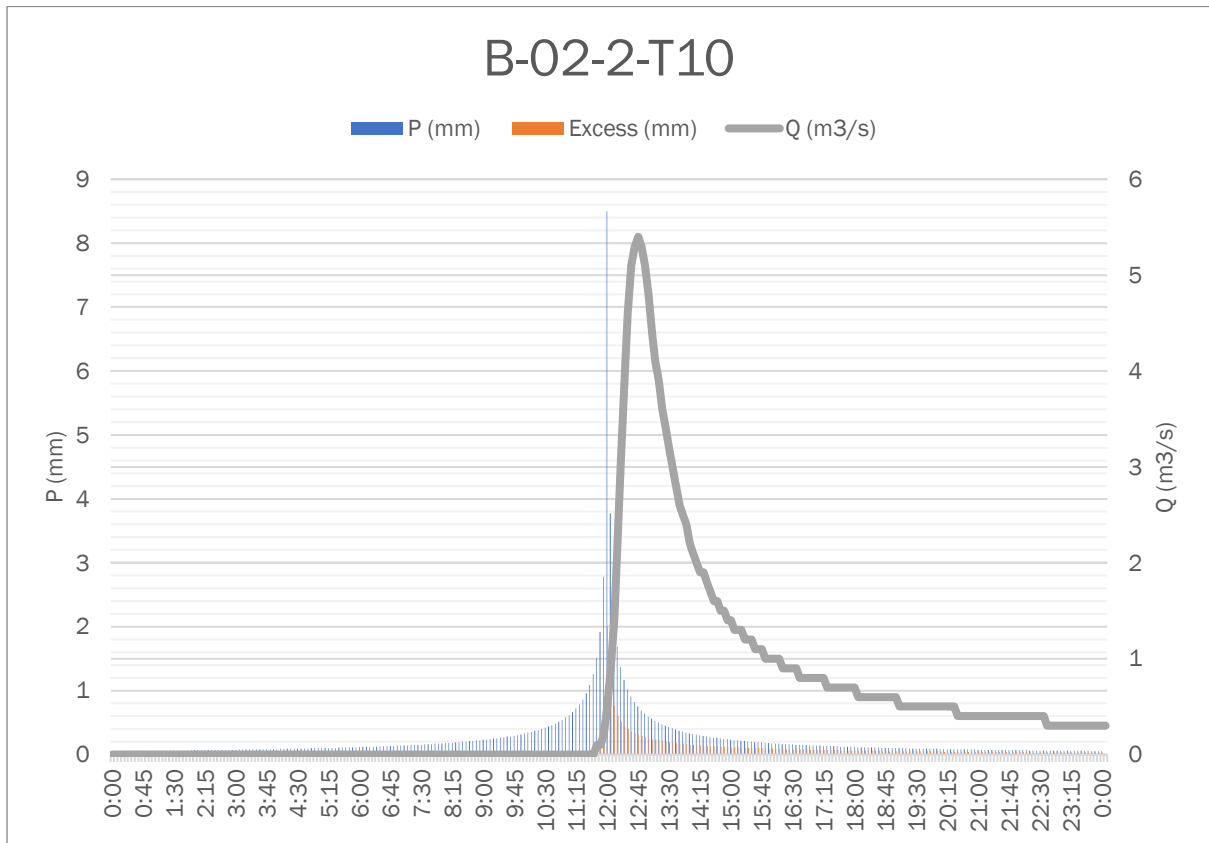


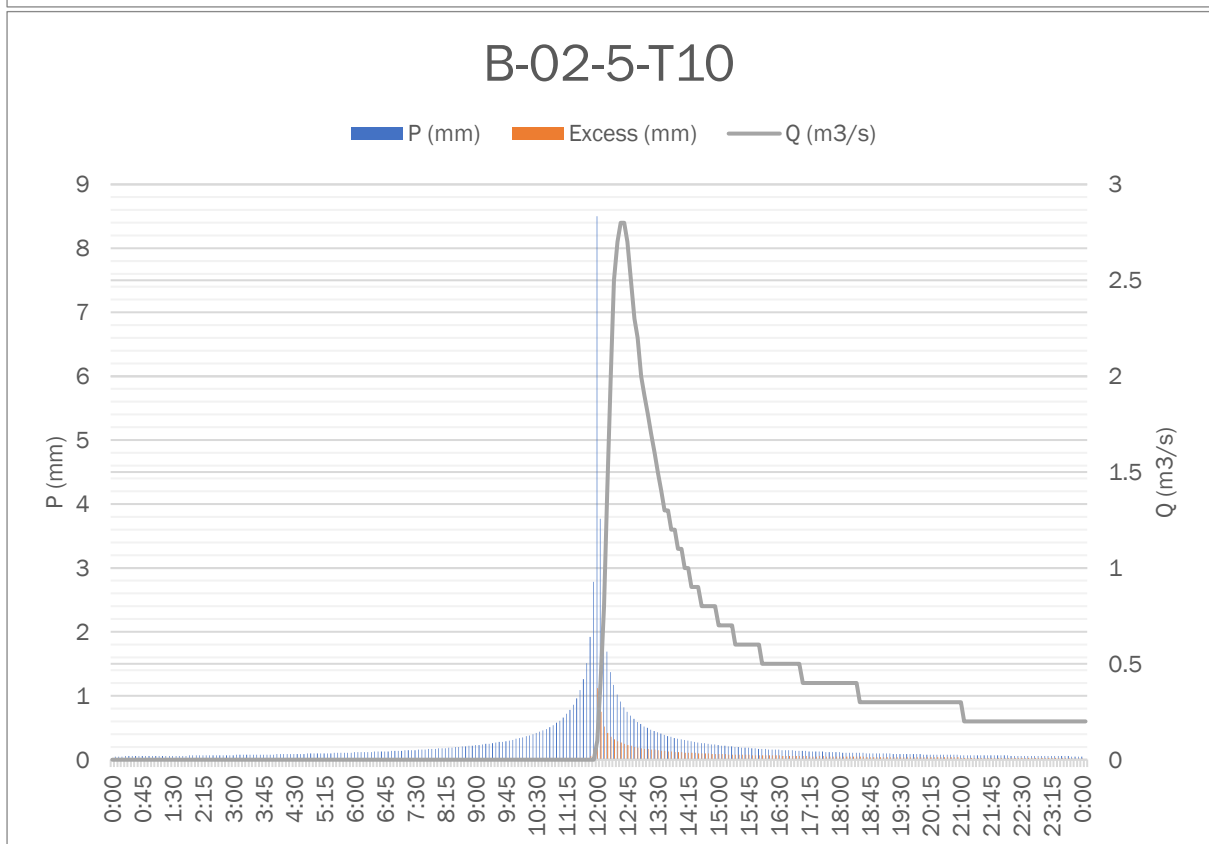
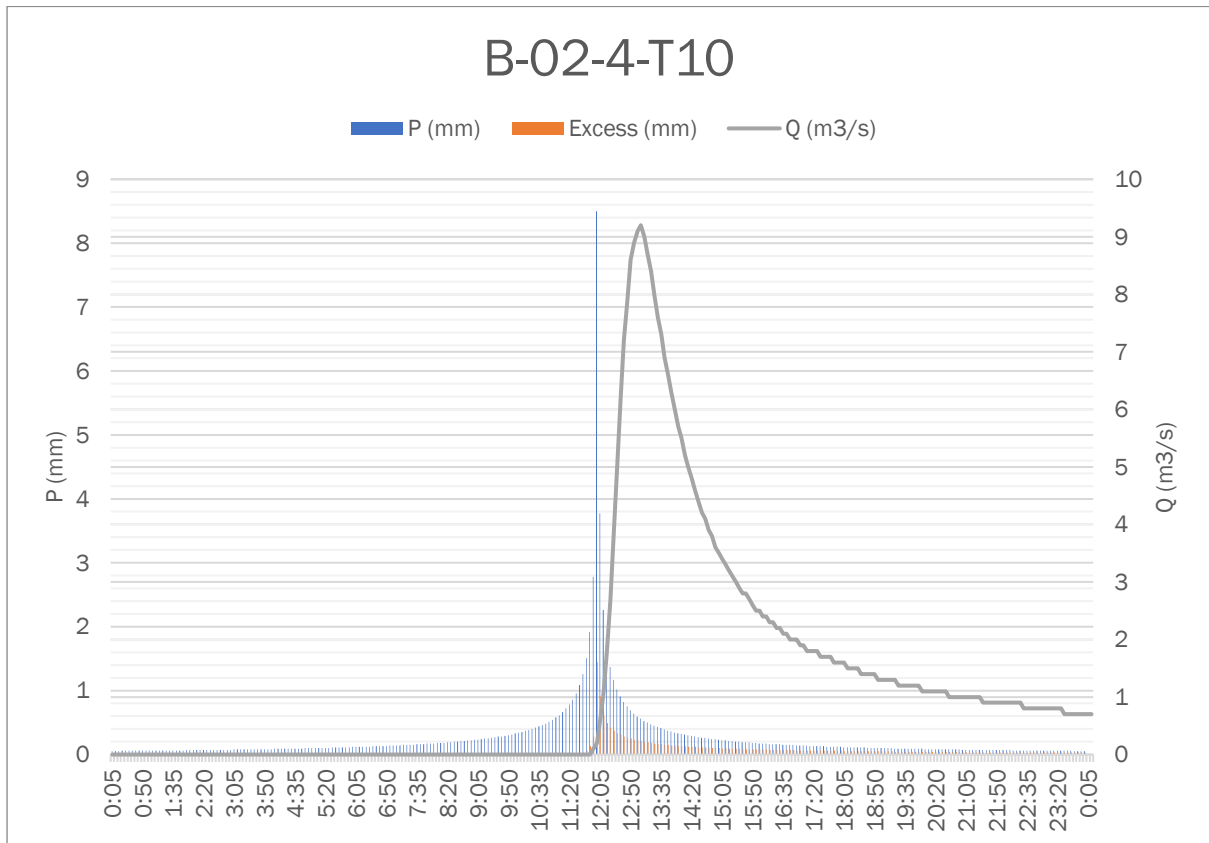


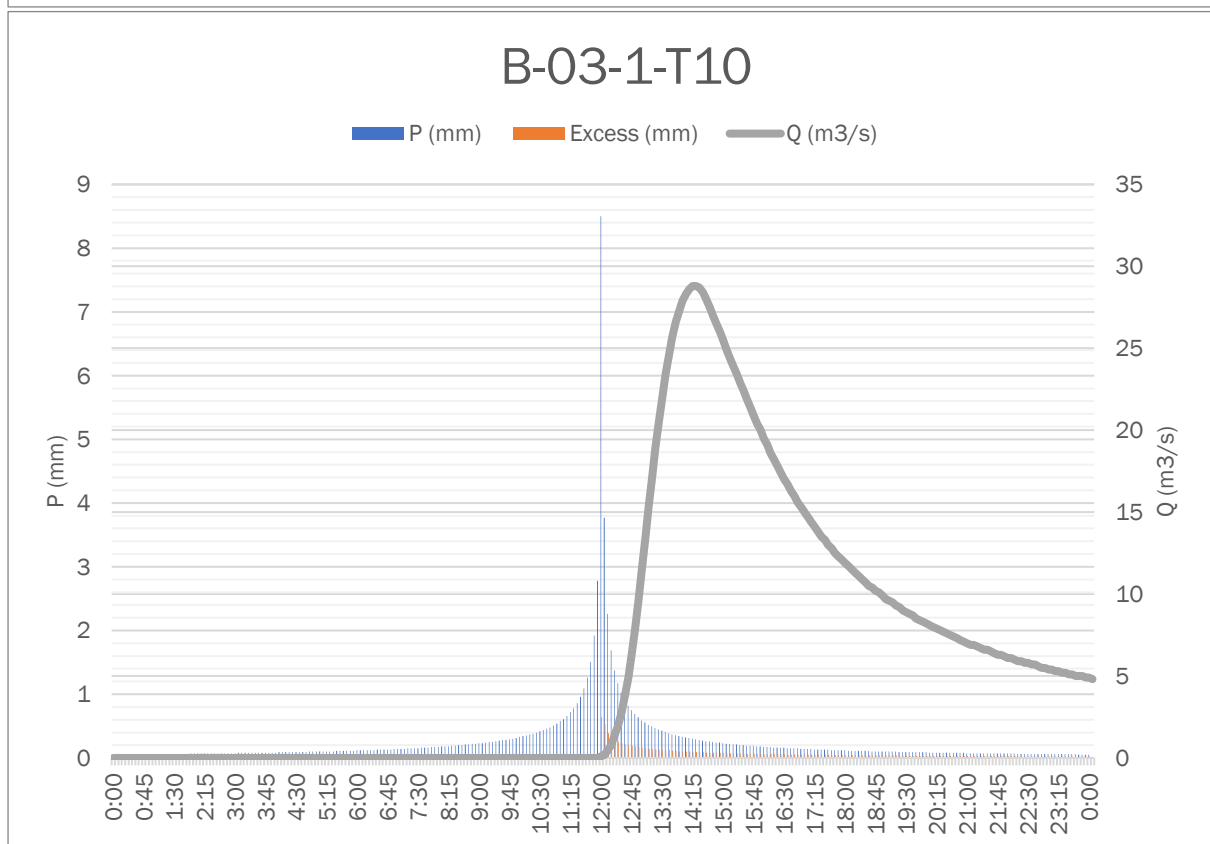
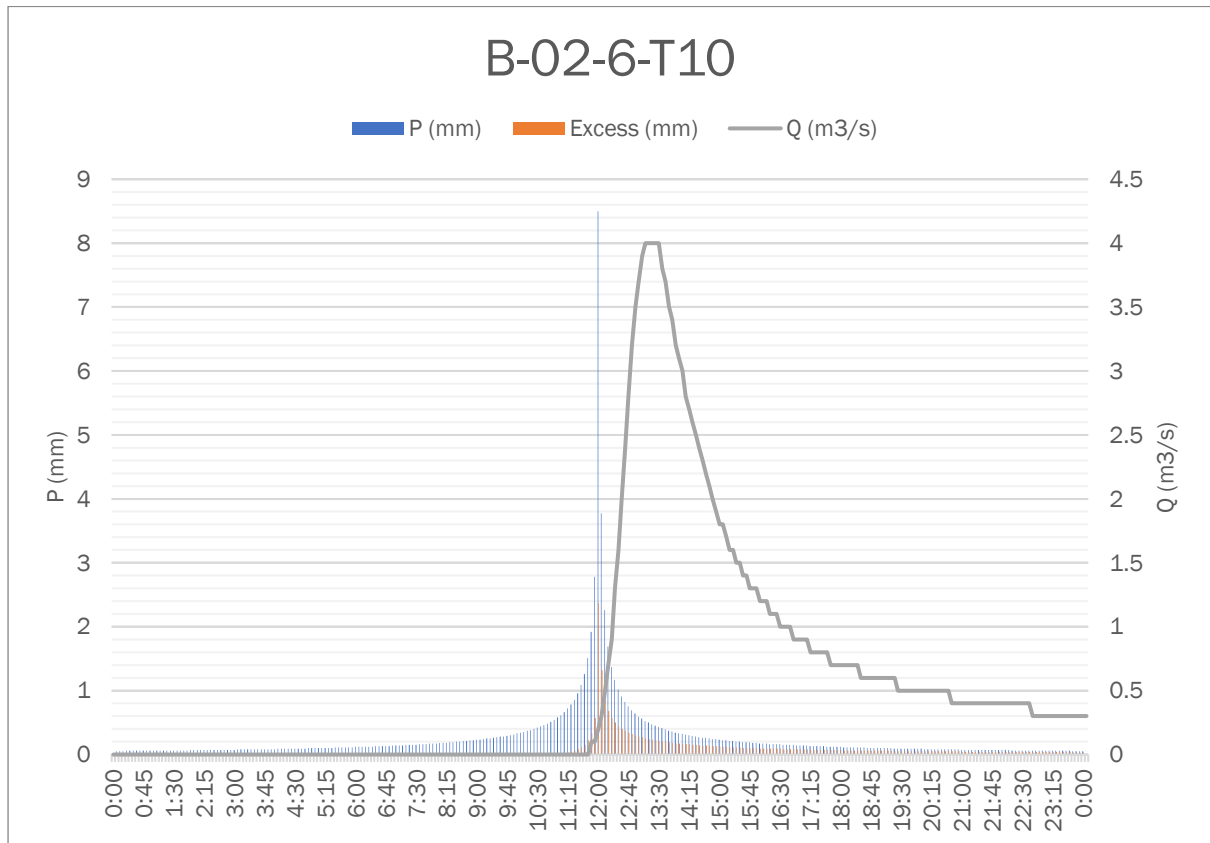


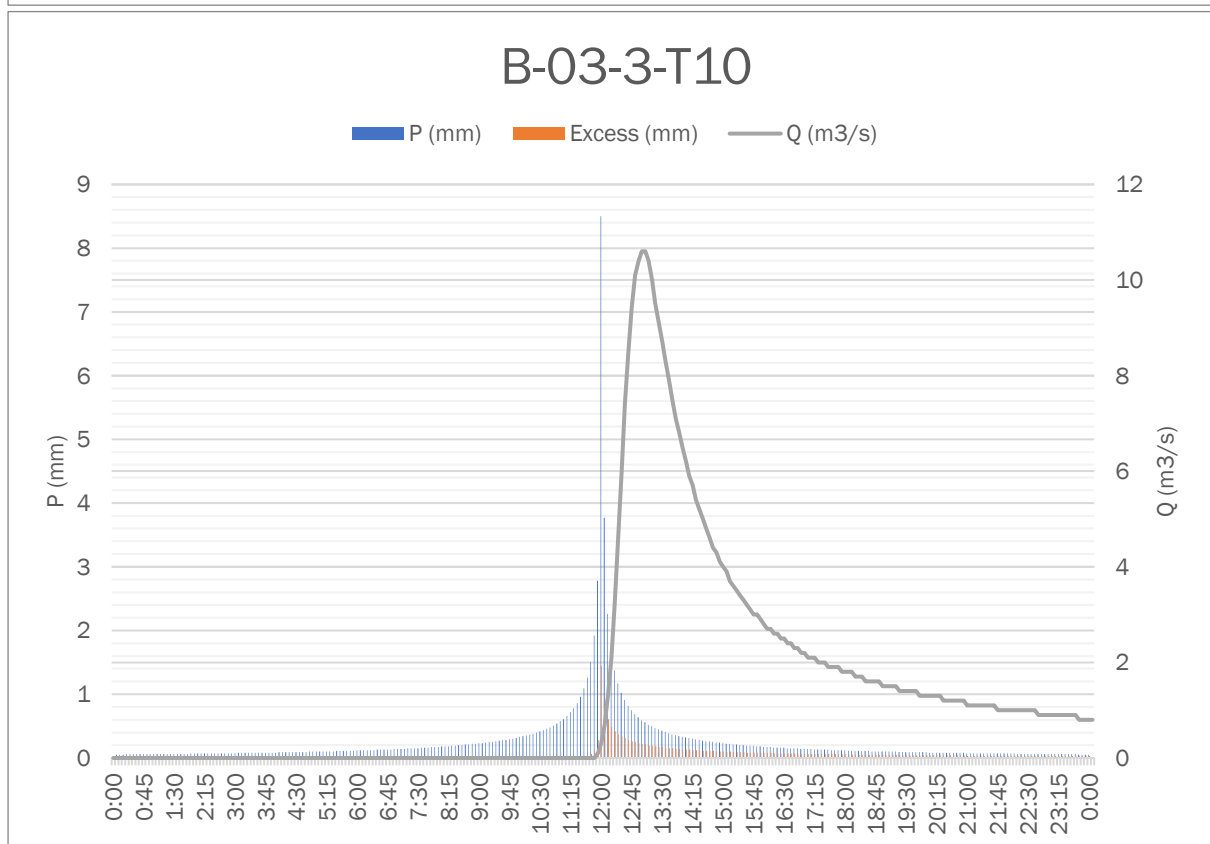
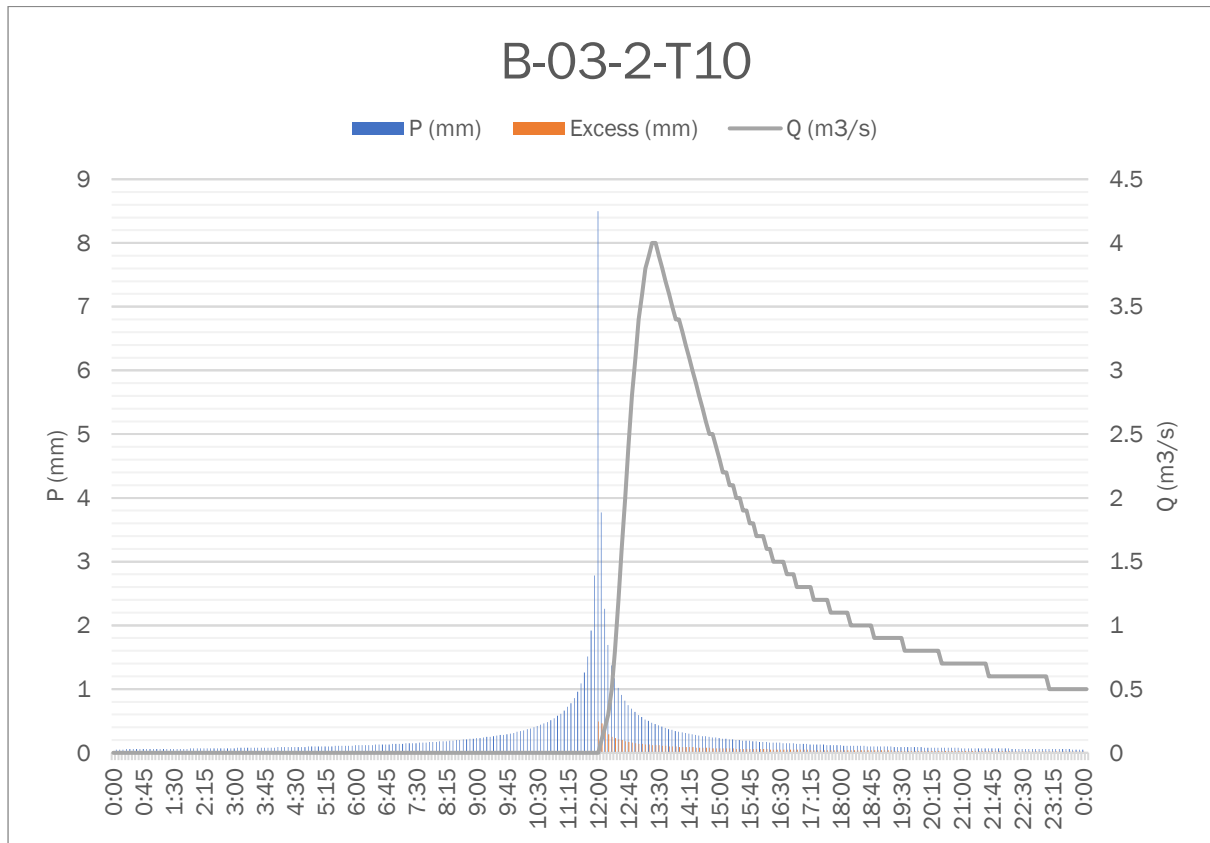
PERÍODO DE RETORNO DE 10 ANOS

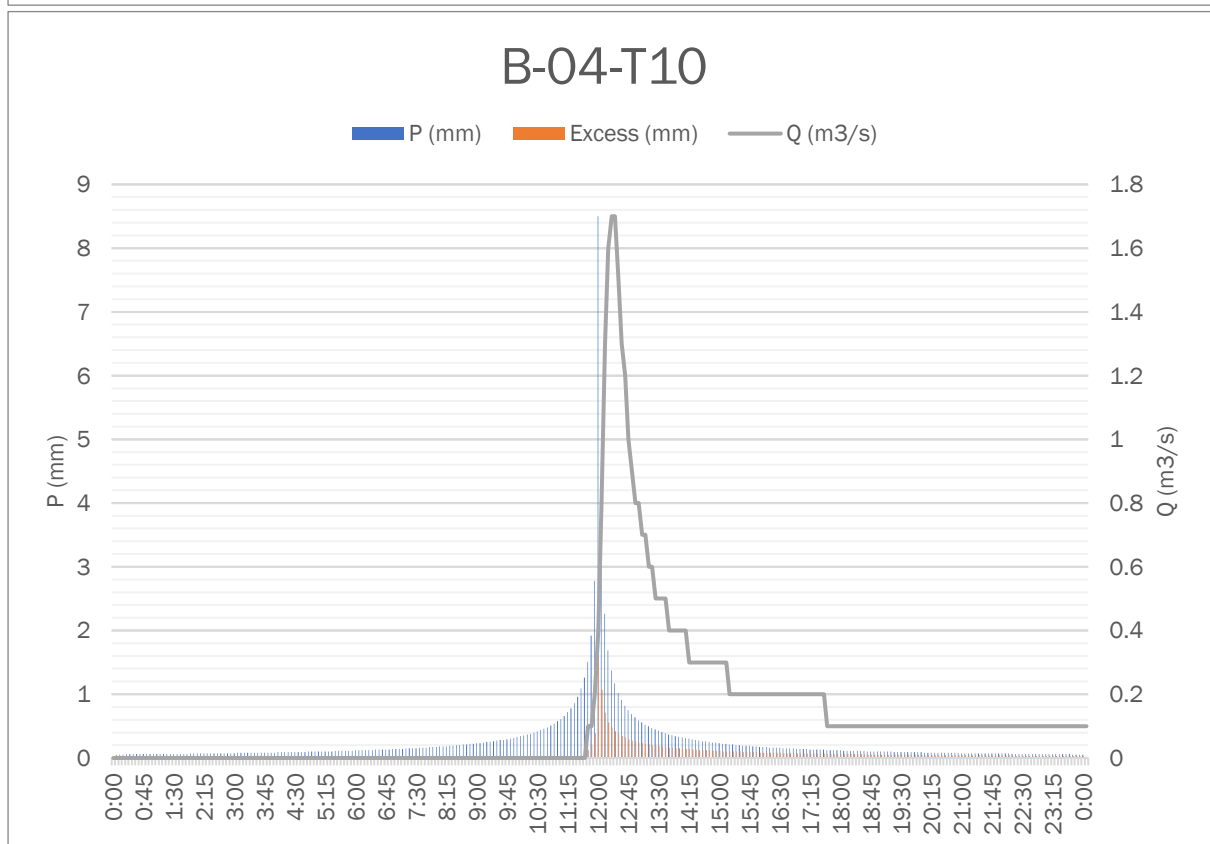
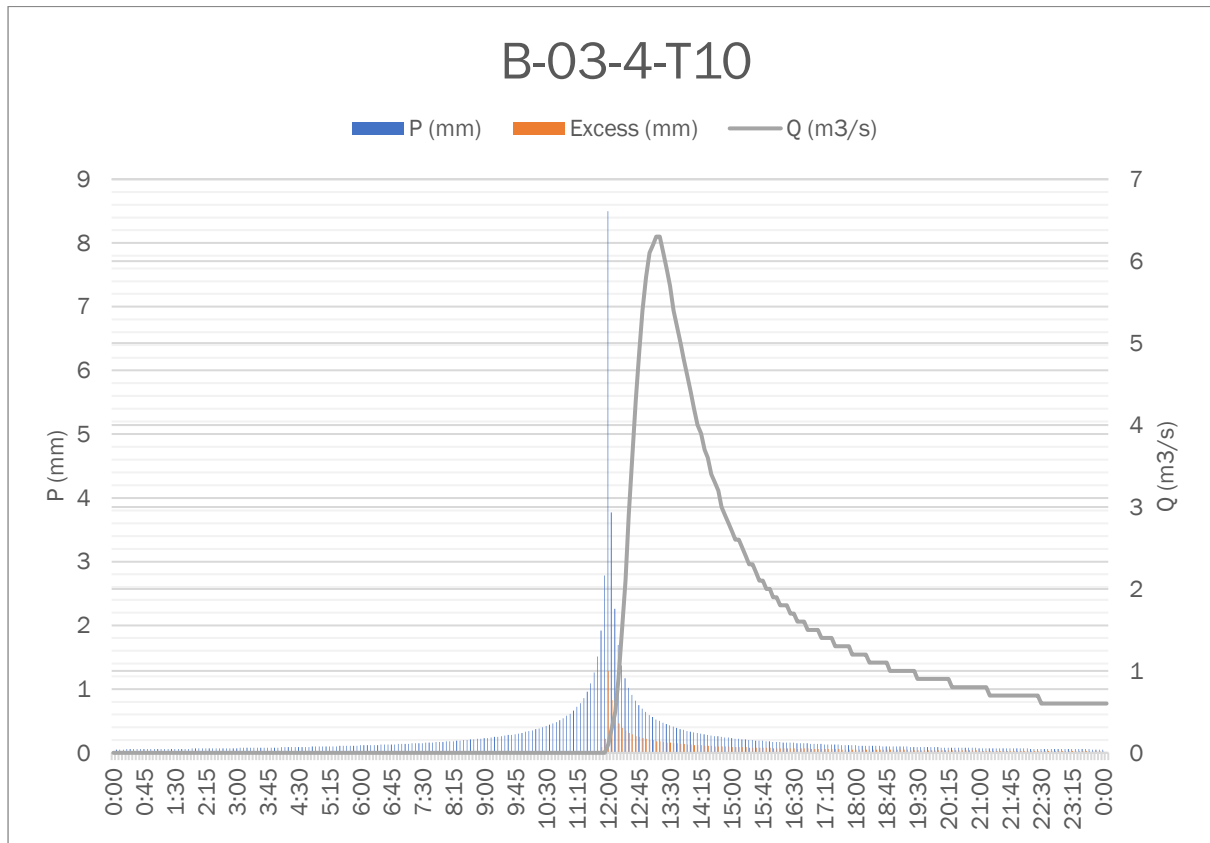


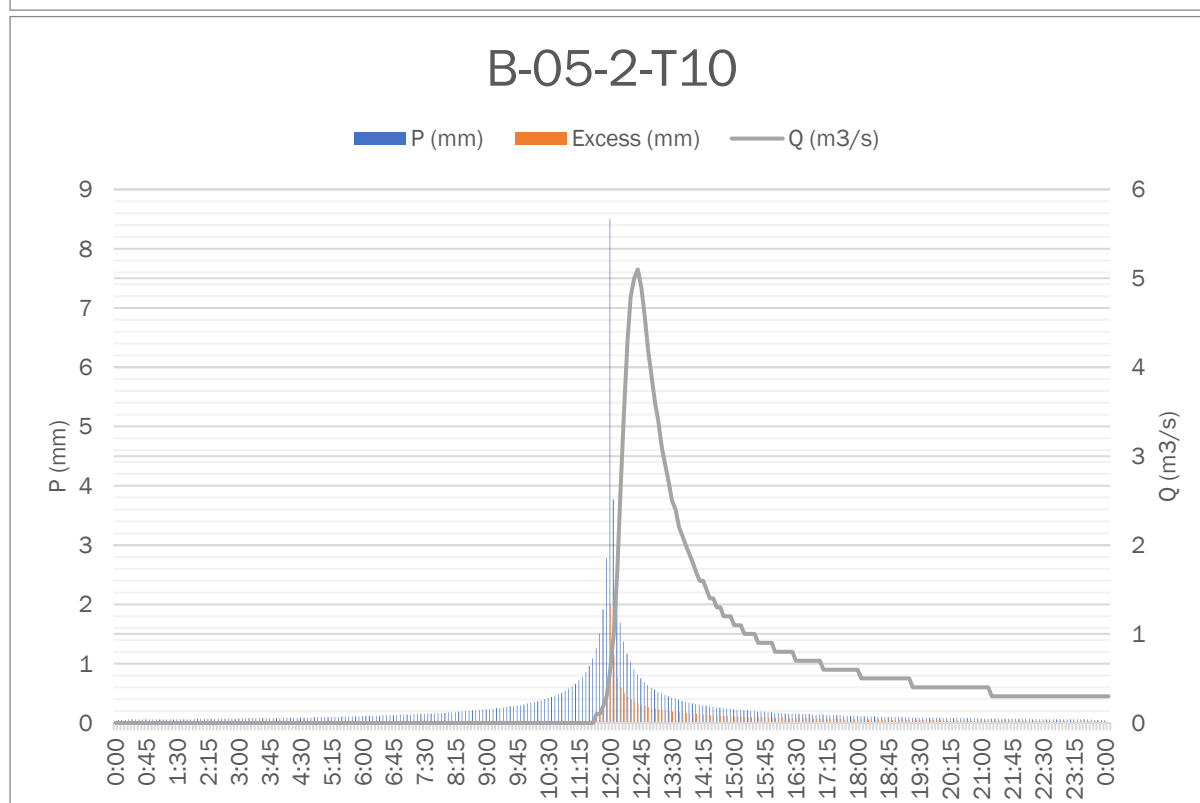
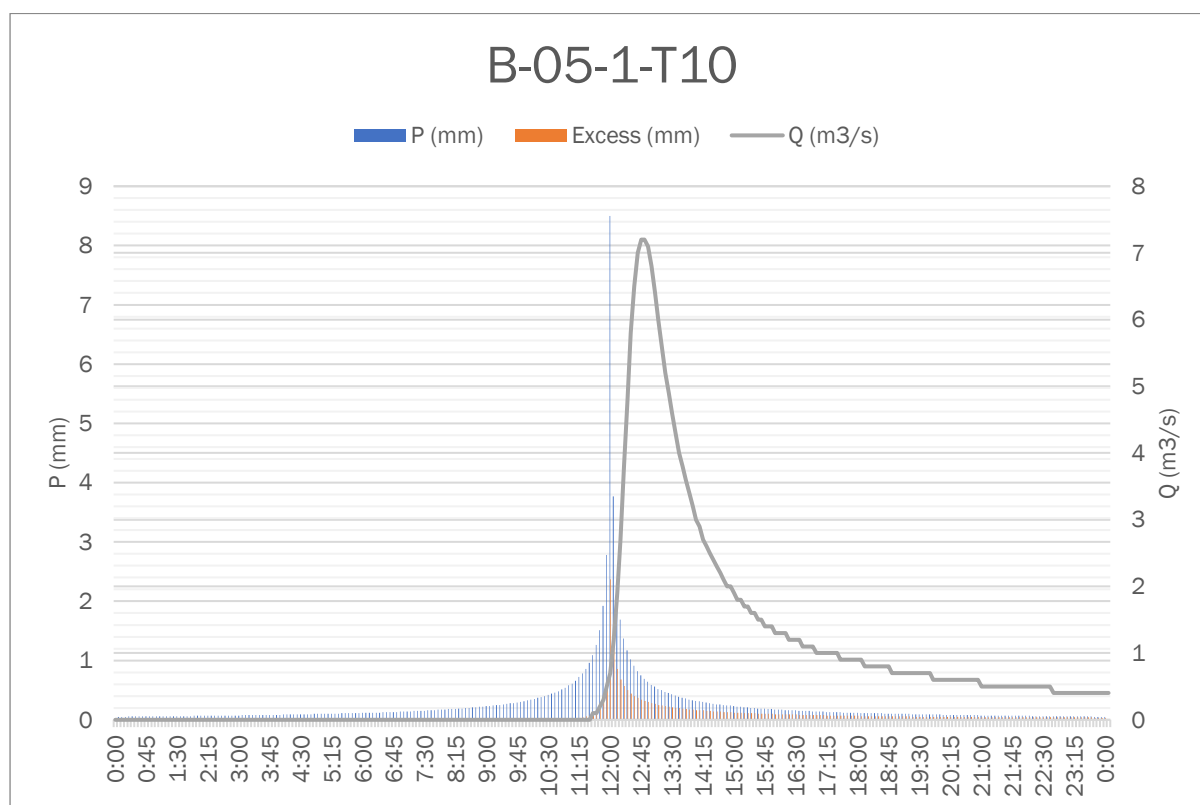


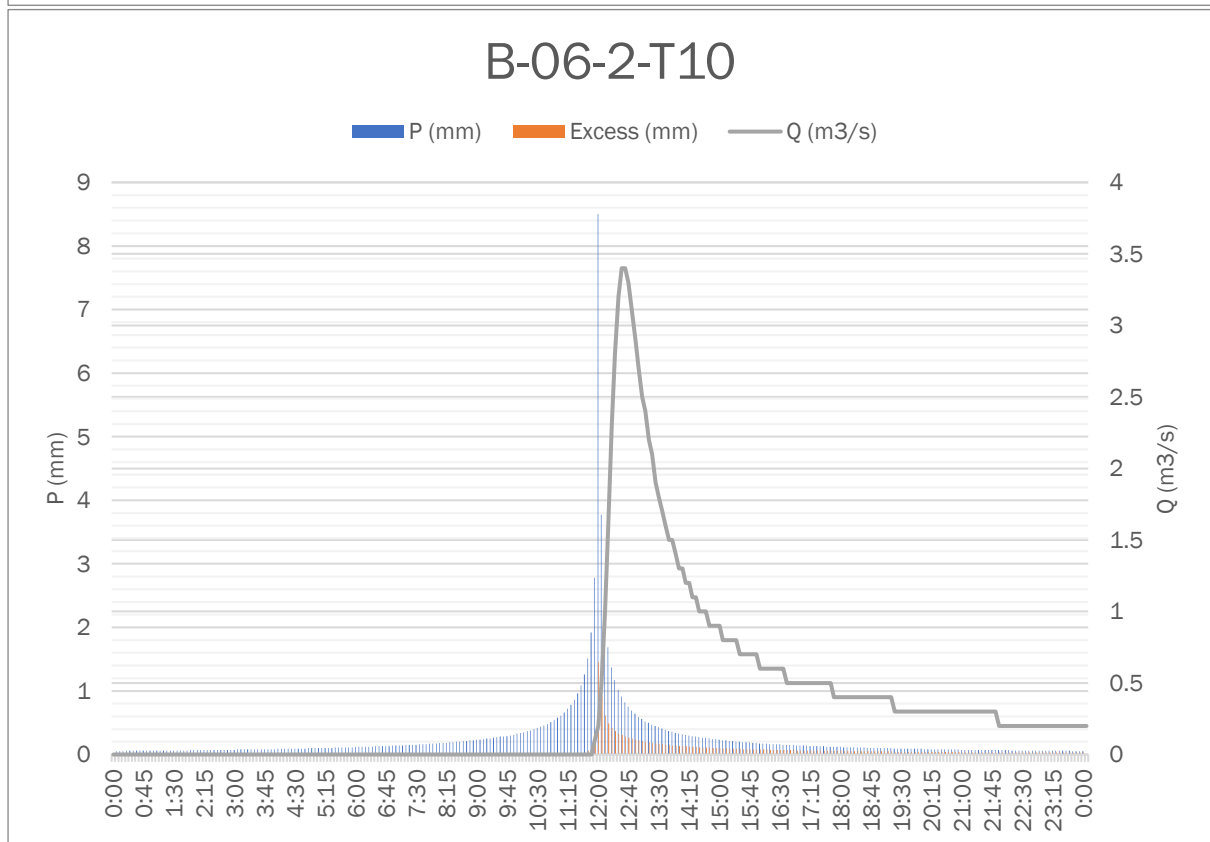
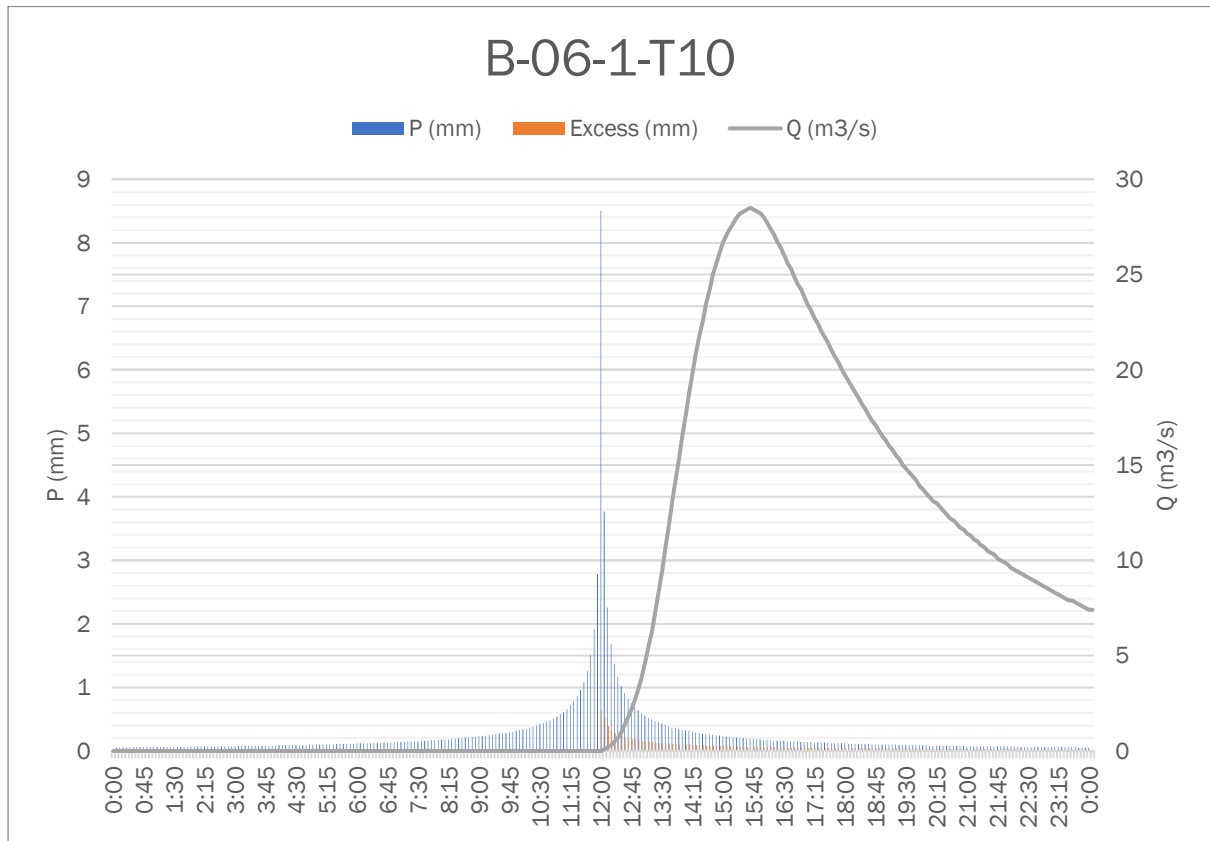


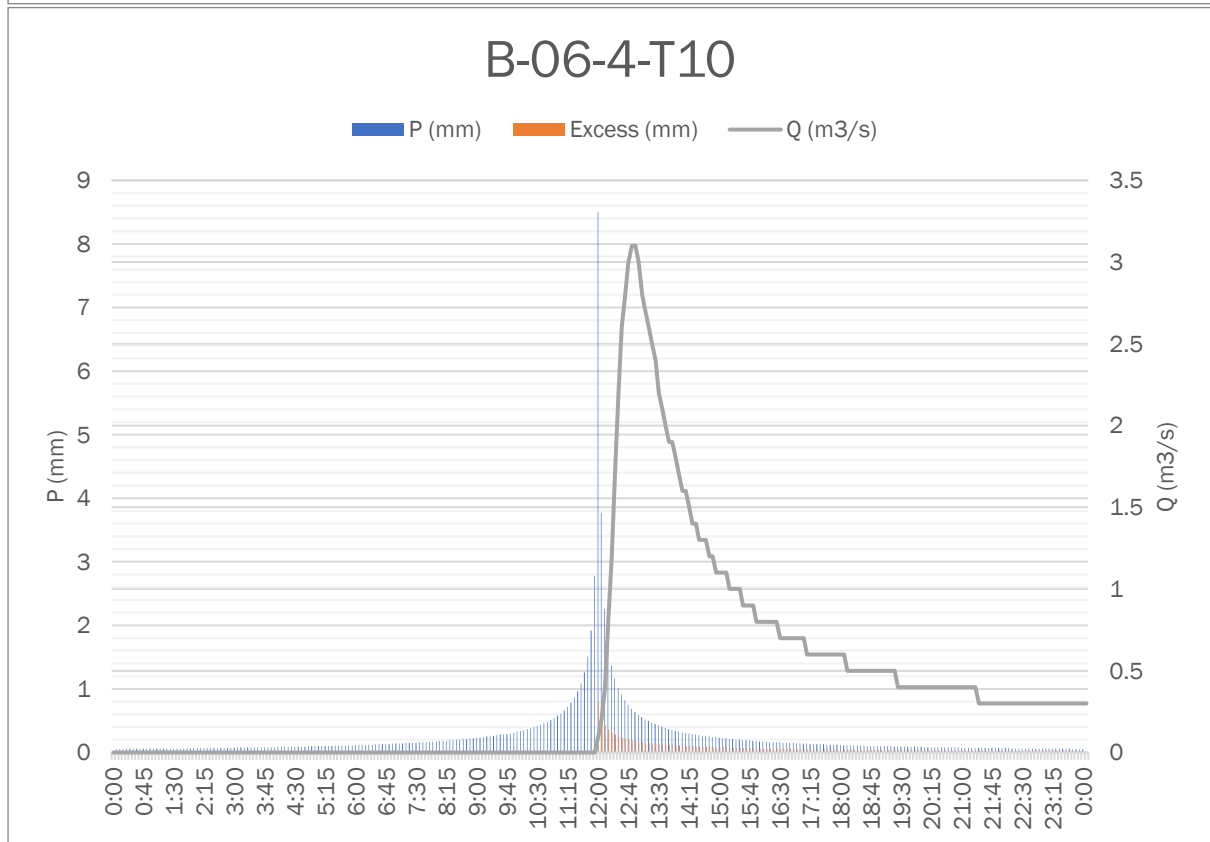
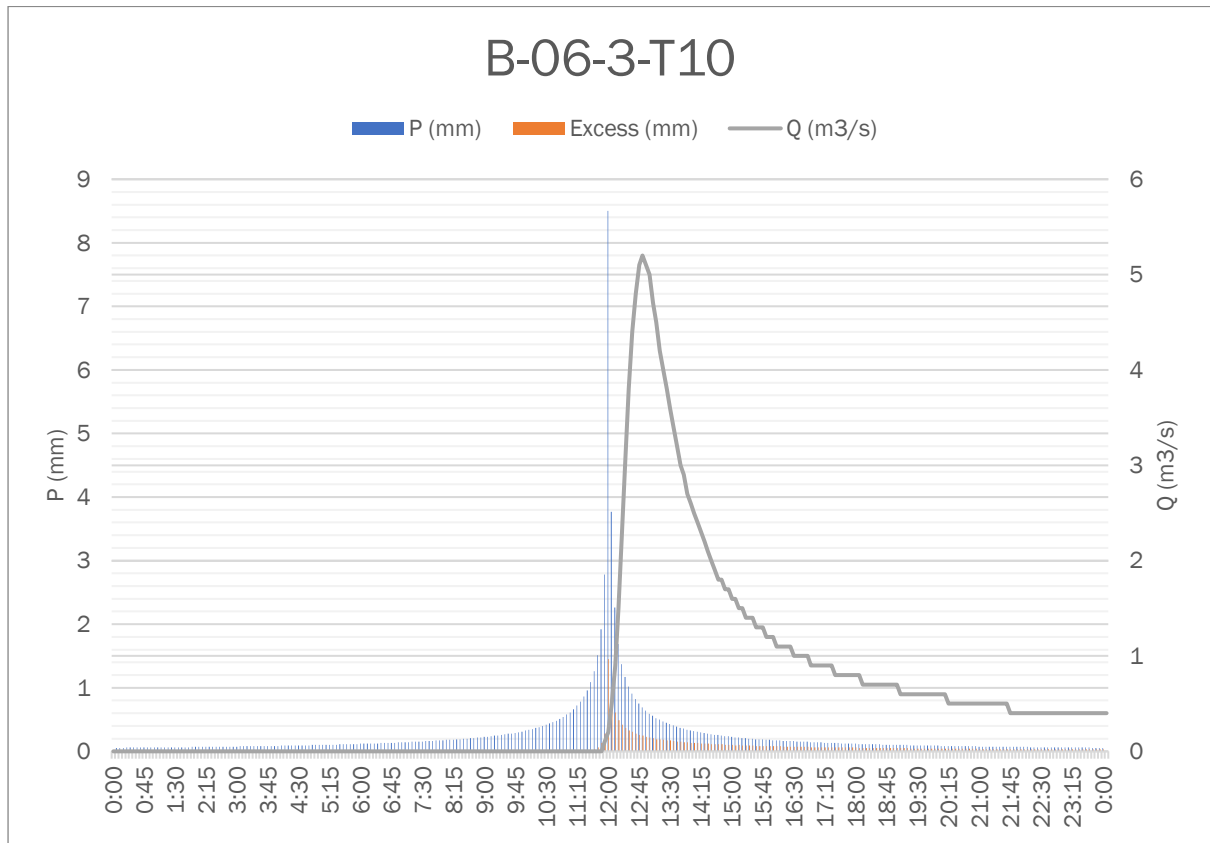


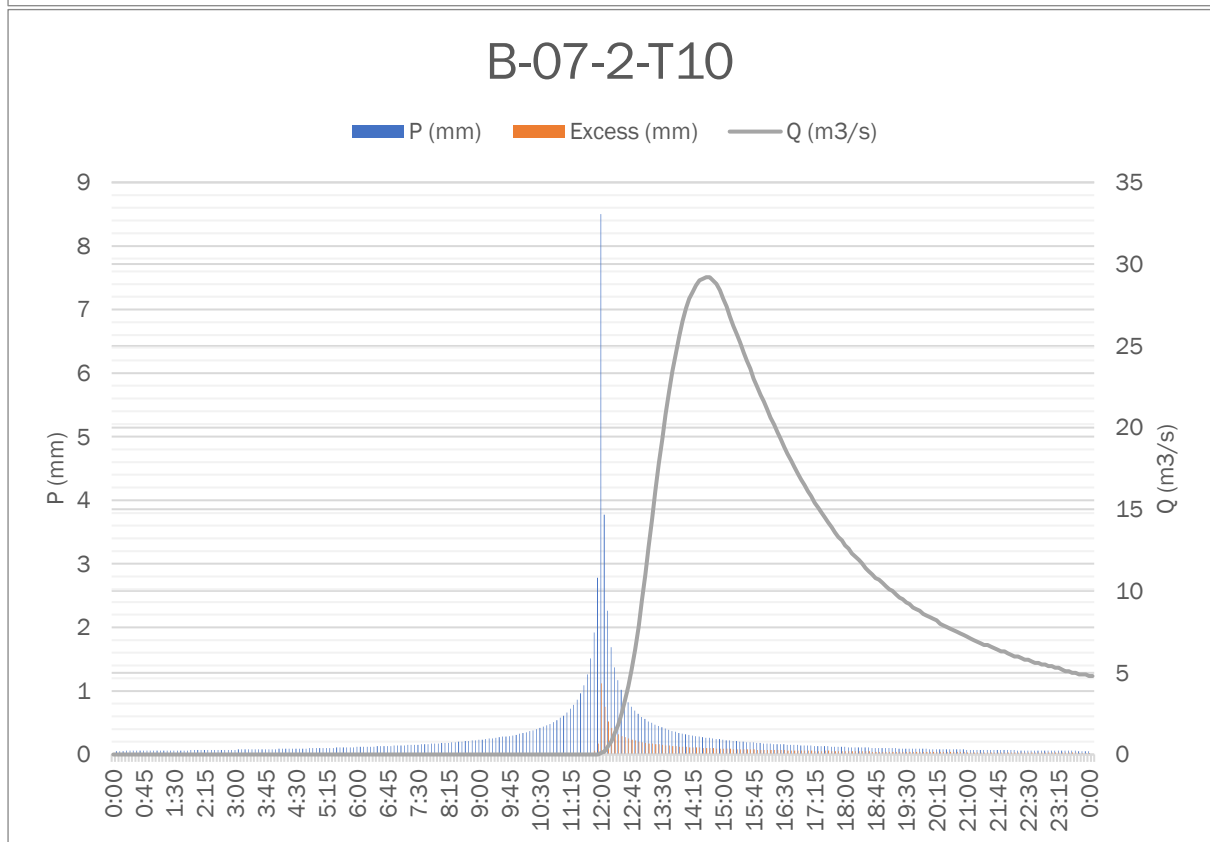
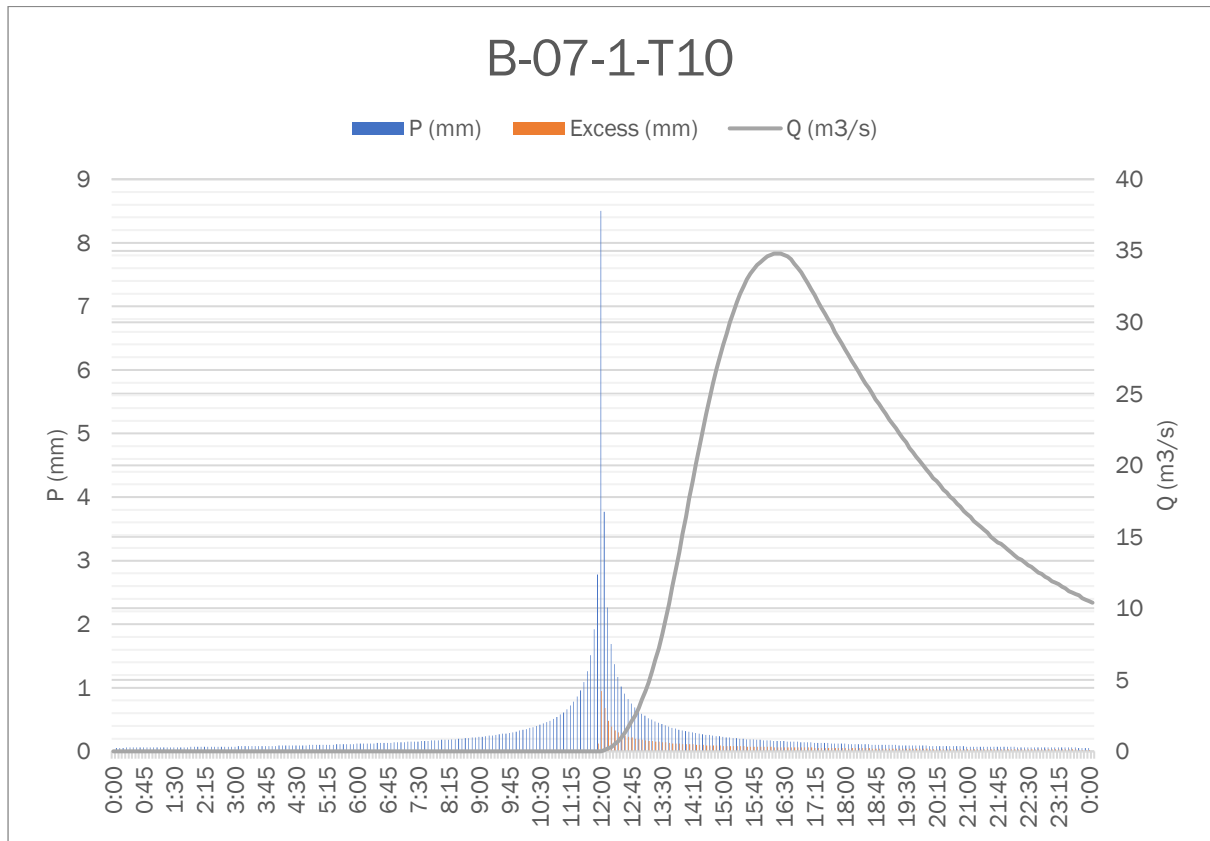


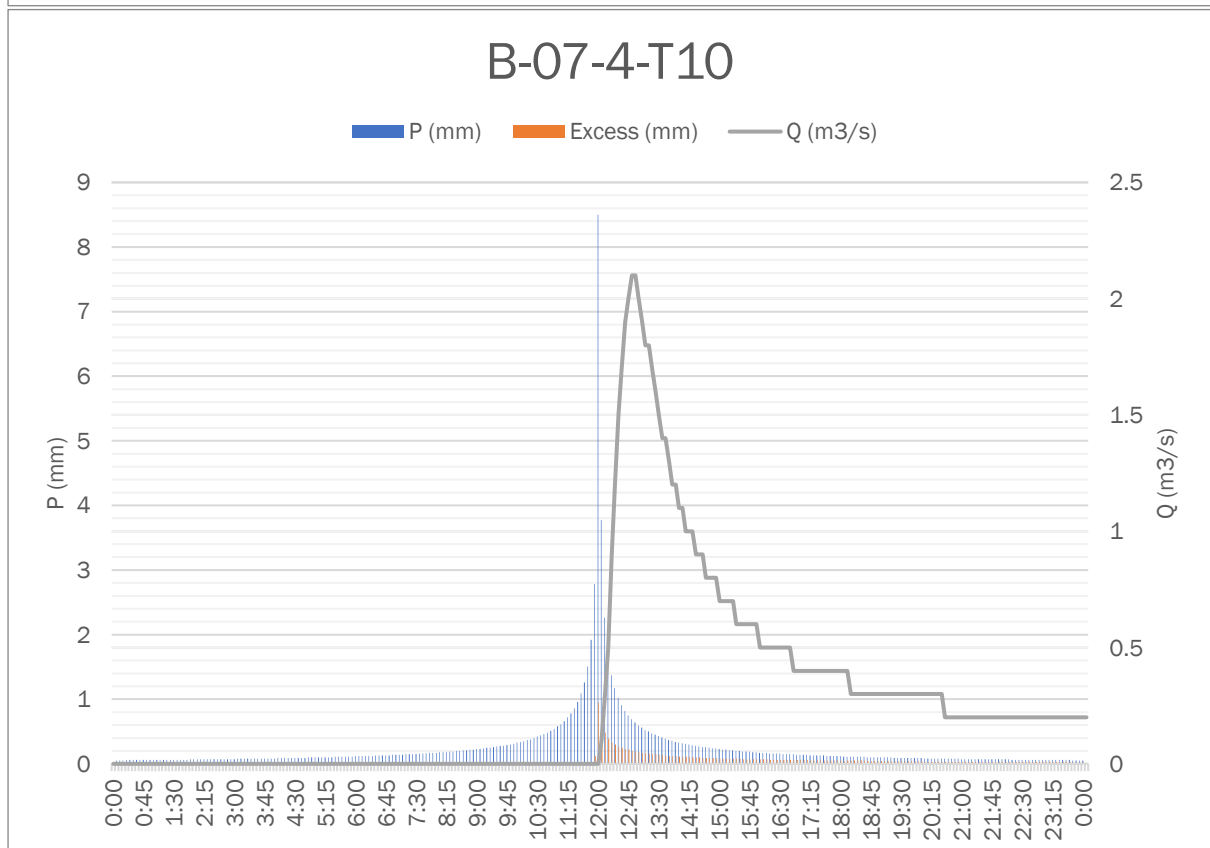
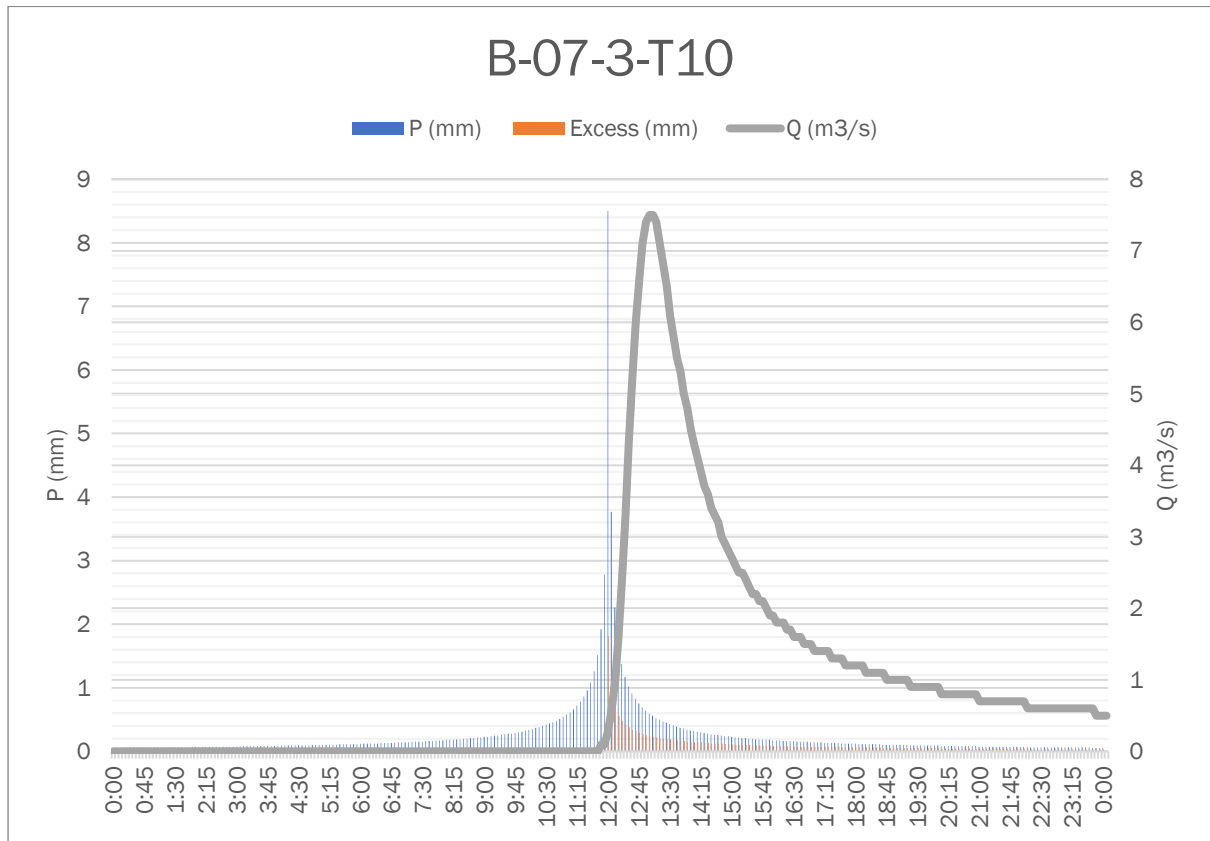


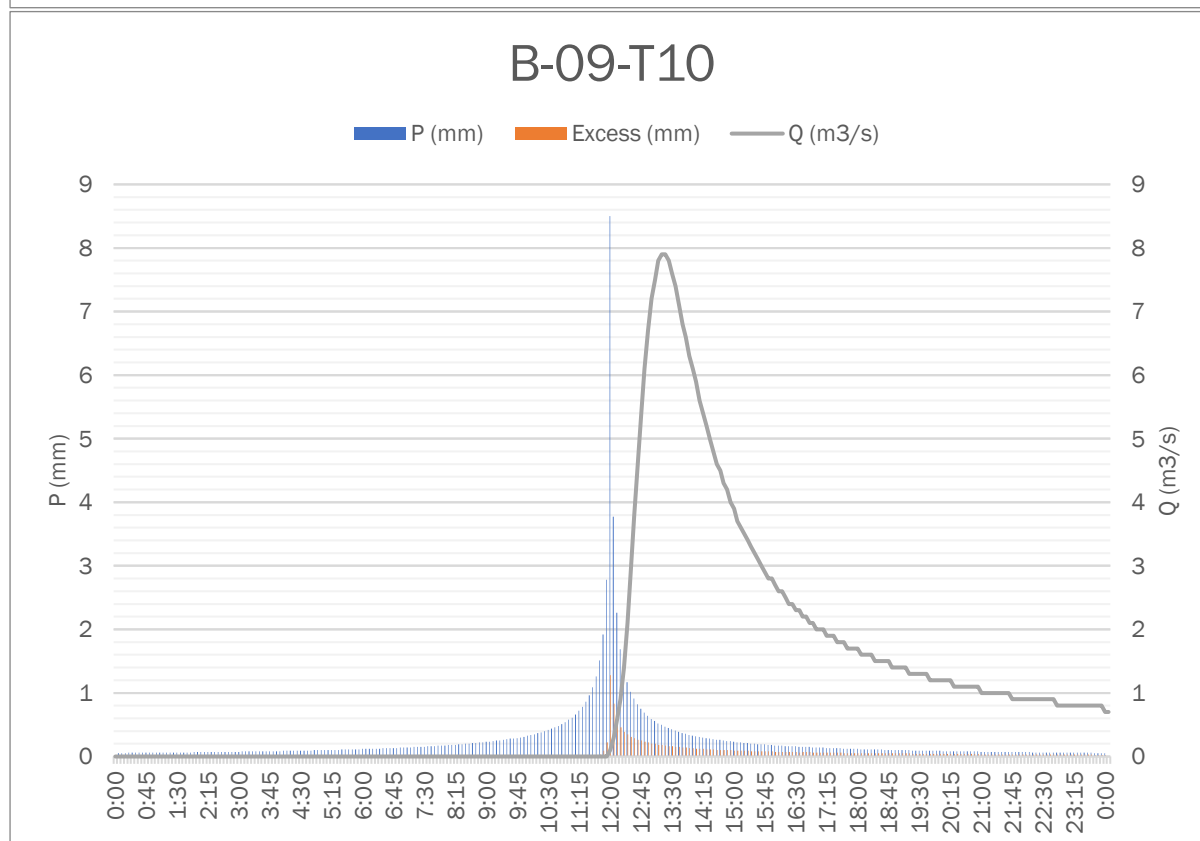
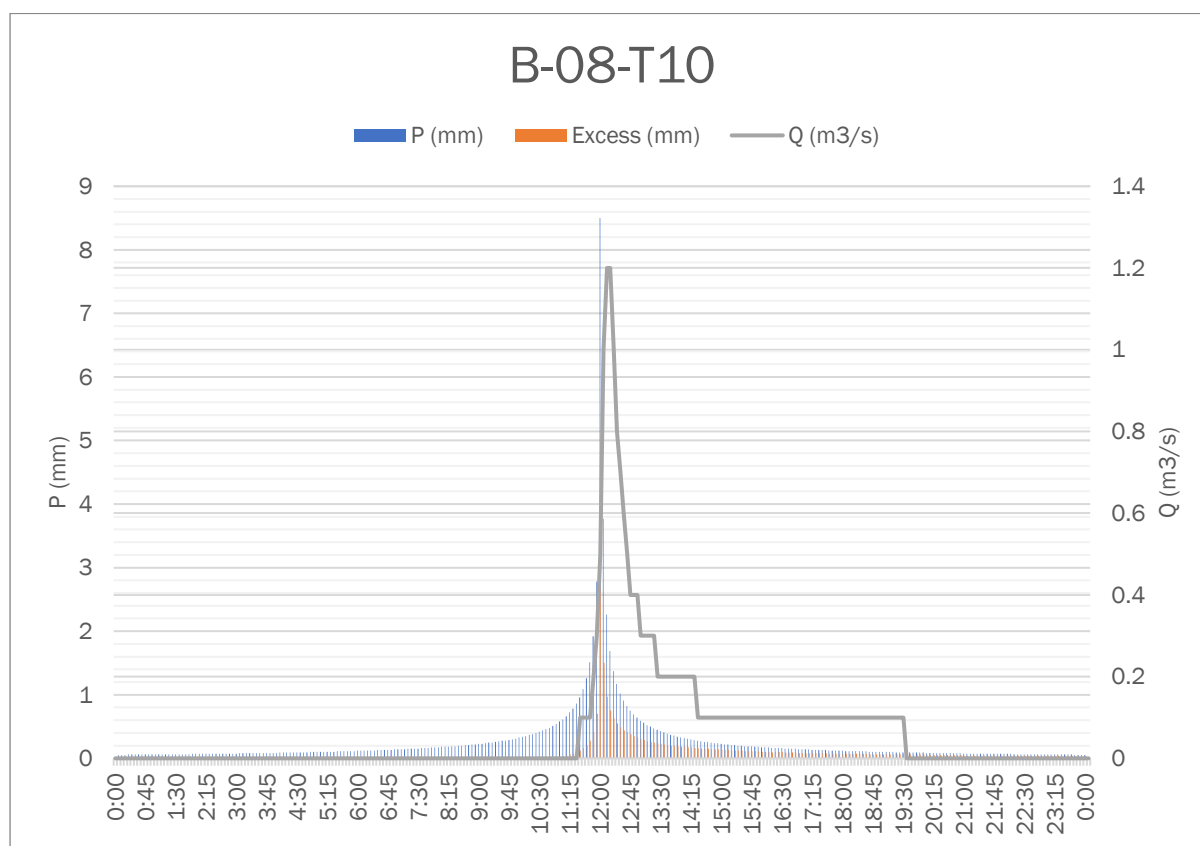












PLANTAS