

17/07/2023

ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA A USINA DE ENERGIA SOLAR PV PESSOA

Fundão, Penamacor and Indaha-a-
Nova, Castelo Branco, Portugal



VERSÃO	DATA	AUTOR	REVISOR	APROVADO
00	31/05/2023	PCF	DFD	DFD
01	03/07/2023	PCF	DFD	DFD
02	17/07/2023	DFD	PCF	PCF

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO E ESCOPO.....	4
2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.2. CLIMATOLOGIA.....	8
3. CÁLCULO HIDROLÓGICO.....	10
3.1. INTRODUÇÃO.....	10
3.2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	10
3.3. DEFINIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	11
3.4. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA	14
3.4.1. ESTAÇÕES CONSIDERADAS	14
3.4.2. SELEÇÃO DE ESTAÇÕES.....	15
3.4.3. DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADA	15
3.5. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE.....	16
3.5.1. AJUSTES DE DISTRIBUIÇÃO	16
3.5.2. CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA DO AJUSTE.....	17
3.5.3. SELEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO MAIS ADEQUADA. MÉTODO GRÁFICO	17
3.5.4. PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PARA CADA PERÍODO DE RETORNO	19
3.6. DETERMINAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	19
3.6.1. Método Racional	23
3.6.2. Método da Hidrograma	29
3.6.1. Comparação: Método Racional Modificado - Método do Hidrograma Unitário	31
4. CÁLCULO HIDRÁULICO.....	35
4.1. INTRODUÇÃO.....	35
4.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO	36
4.2.1. Parâmetros de tempo e dados gerais.....	36
4.2.2. Modelo Topográfico	38
4.2.3. Características da Malha	39
4.2.4. Rugosidade	40
4.3. CONDIÇÕES INICIAIS E DE FRONTEIRA	42
4.3.1. Condições Iniciais	42
4.3.2. Condições de Fronteira.....	42
5. RESULTADOS DO MODELO HIDRÁULICO.....	44
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	55

ANEXO I: CURVAS DE NÚMERO DE ESCOAMENTO	57
ANEXO II: HETOGRAFIAS E HIDROGRAMAS	60
PLANOS	114

1. INTRODUÇÃO E ESCOPO

A CE RENEWABLES apresenta este relatório de estudo Hidrológico e Hidráulico por solicitação da Lightsource Renewable Global Development Limited (**Cliente**).

A Cliente entregou a seguinte documentação:

- *LSBP Hydrological and Flooding Study_v0_Pessoa.pdf.*
- *Pessoa - Area para Topo + buffer.kmz.*
- *“Levantamento Topográfico por LiDAR”. Topographical survey (.pdf, .dwg, .kml, ...).*

Com base nesta documentação, foi desenvolvido o estudo hidrológico e hidráulico para a Usina de Energia Solar "Pessoa", localizada em Fundão, Penamacor e Indaha-a-Nova, Castelo Branco, Portugal. O cálculo foi realizado com um modelo precipitação-escoamento superficial, e os seguintes períodos de retorno foram estudados:

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

2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do projeto está localizada no distrito de Castelo Branco, entre os concelhos de Fundão, Penamacor e Idanha-a-Nova.

Esta é uma área de orografia ondulada, cujos principais cursos de água são a Ribeira das Taliscas, o rio Torto, a Ribeira de Ceife, o Ribeiro do Taveiro e a Ribeira da Meimoa, que correm de noroeste a sudeste.

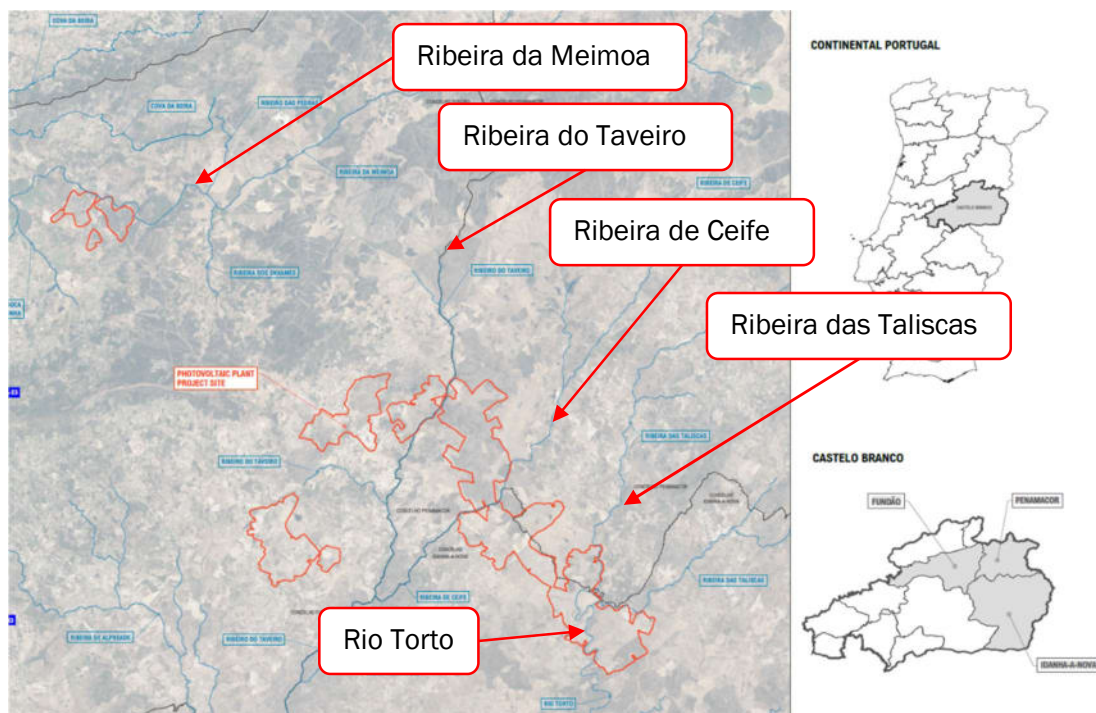


Figura 1 - Localização.

De acordo com a Servidão e Restrição de Utilidade Pública (SRUP), a Ribeira da Meimosa está localizada dentro do Domínio Público Hídrico (como um afluente do Rio Zêzere). Portanto, a parte norte do local do projeto é afetada por uma Zona de Ocupação Condicionada, conforme mostrado na próxima figura.

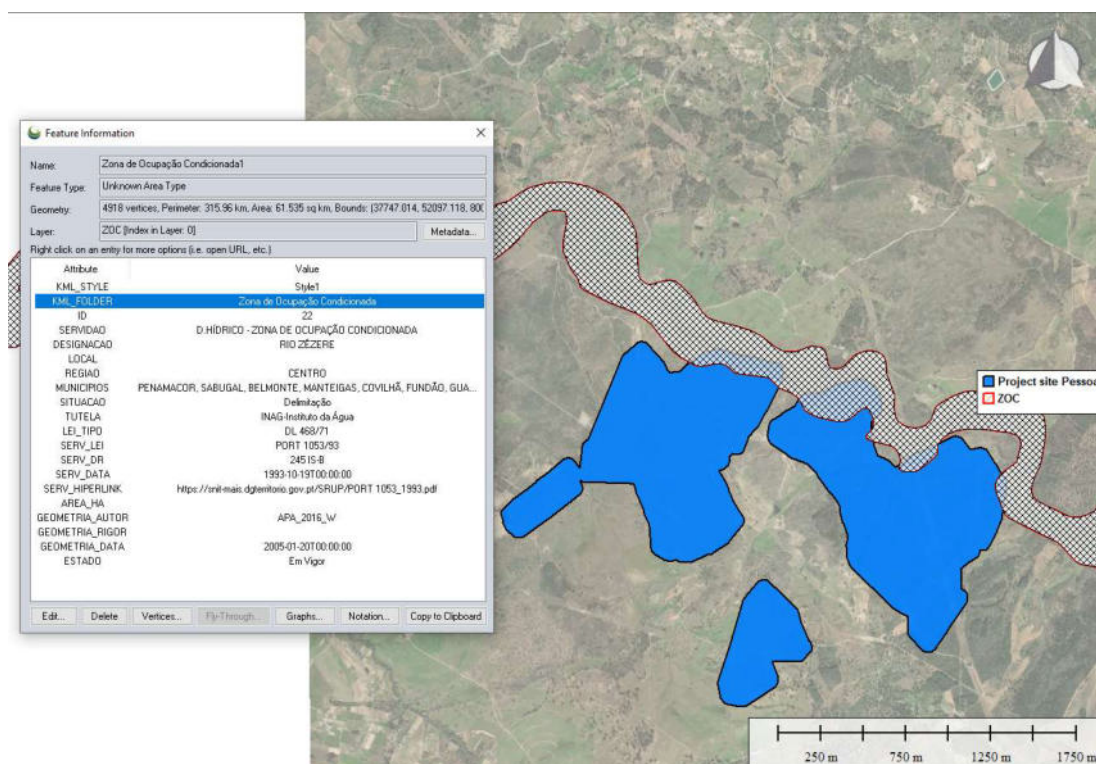


Figura 1 – Zona de Ocupação Condicionada.

Além dos principais cursos de água, vários pequenos reservatórios foram identificados na área. Mesmo que nenhum deles pareça ser represado por uma grande barragem, eles podem representar um risco potencial em caso de rompimento da barragem. Na maioria dos casos, os reservatórios estão localizados a montante do local do projeto, enquanto dois deles estão dentro da usina de energia solar (PV).

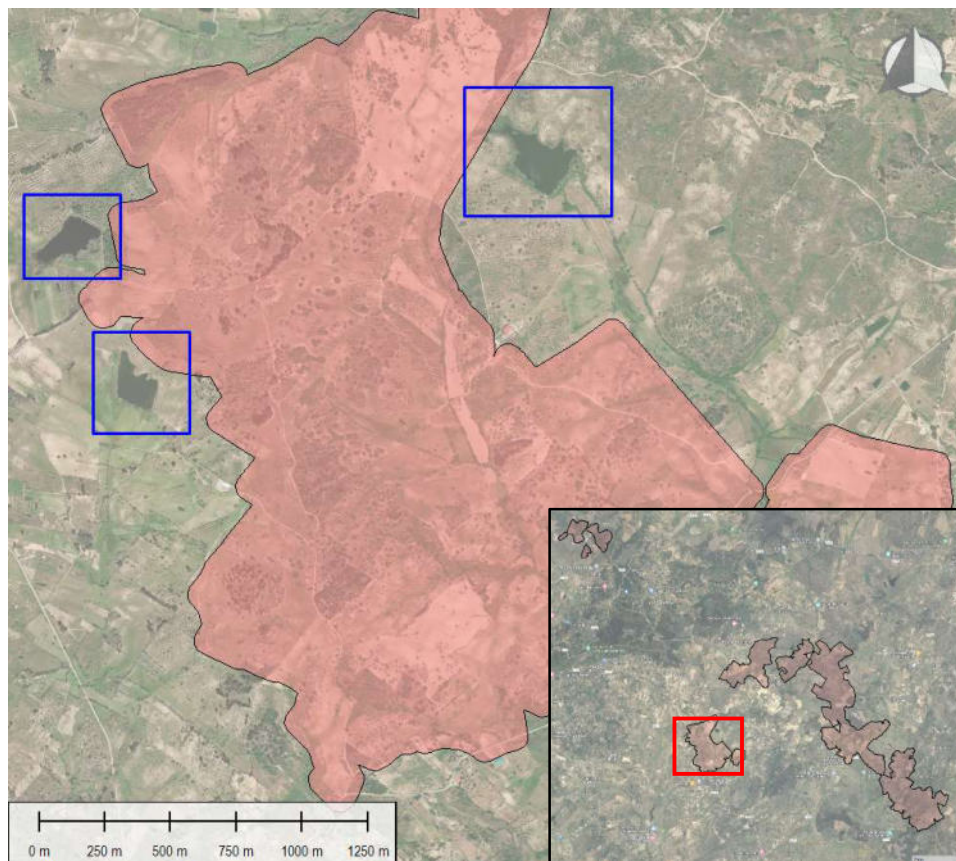


Figura 2 - Reservatórios detectados.

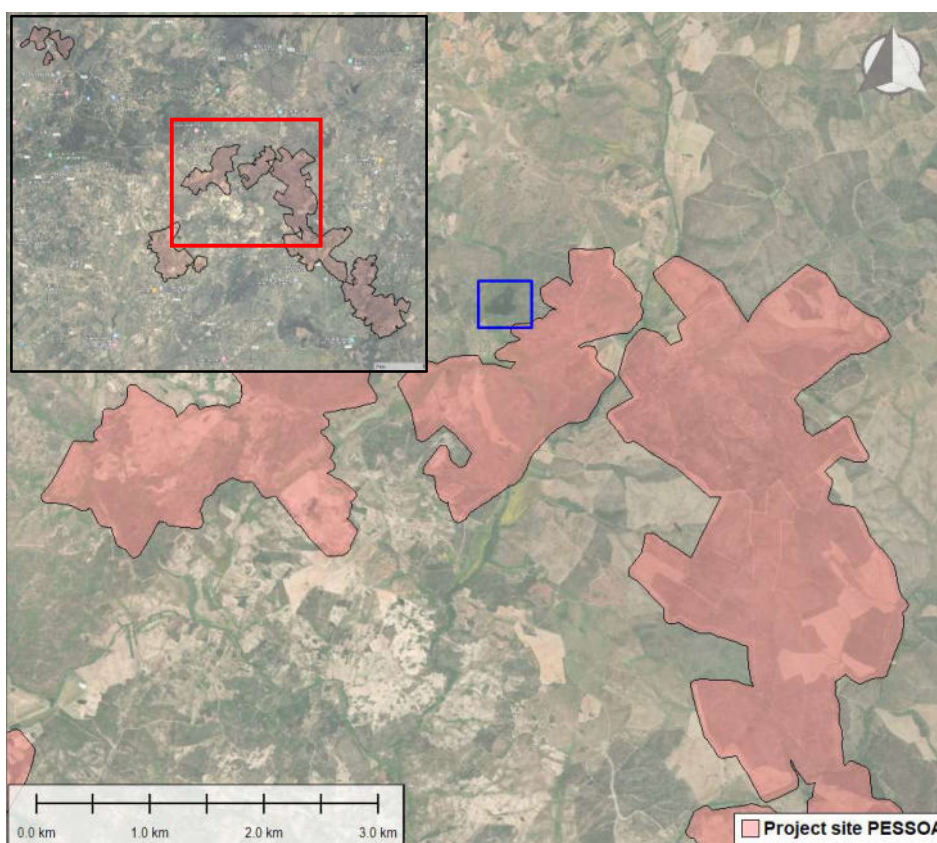


Figura 4 - Reservatórios detectados.

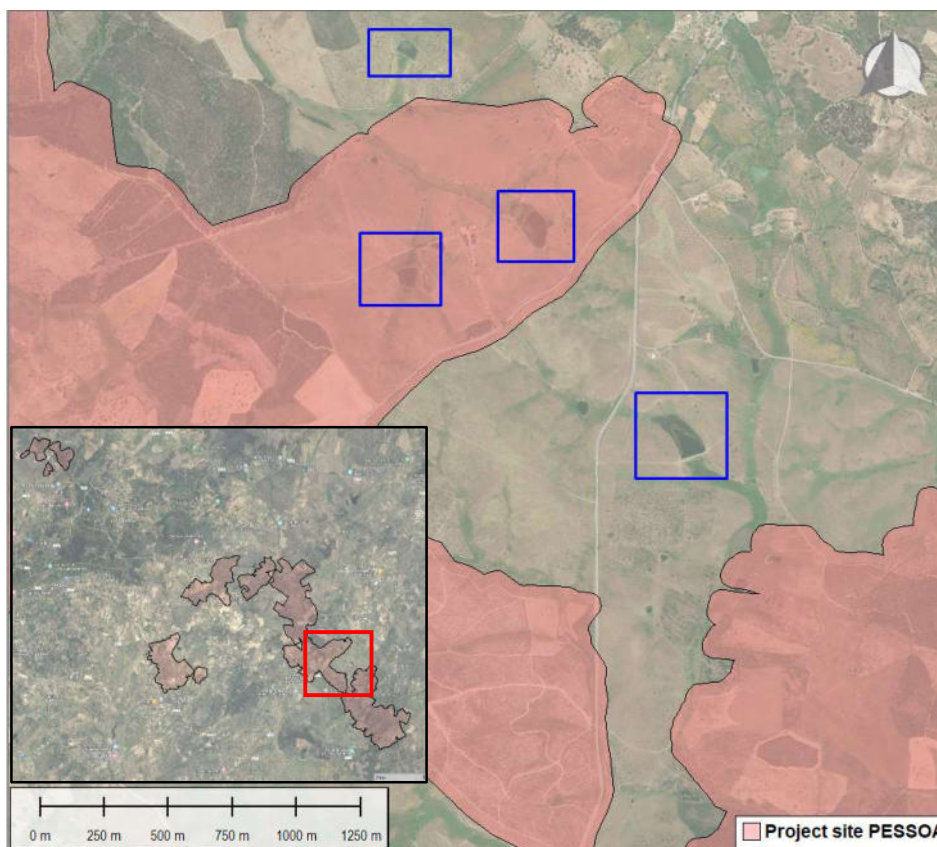


Figura 3 - Reservatórios detectados.

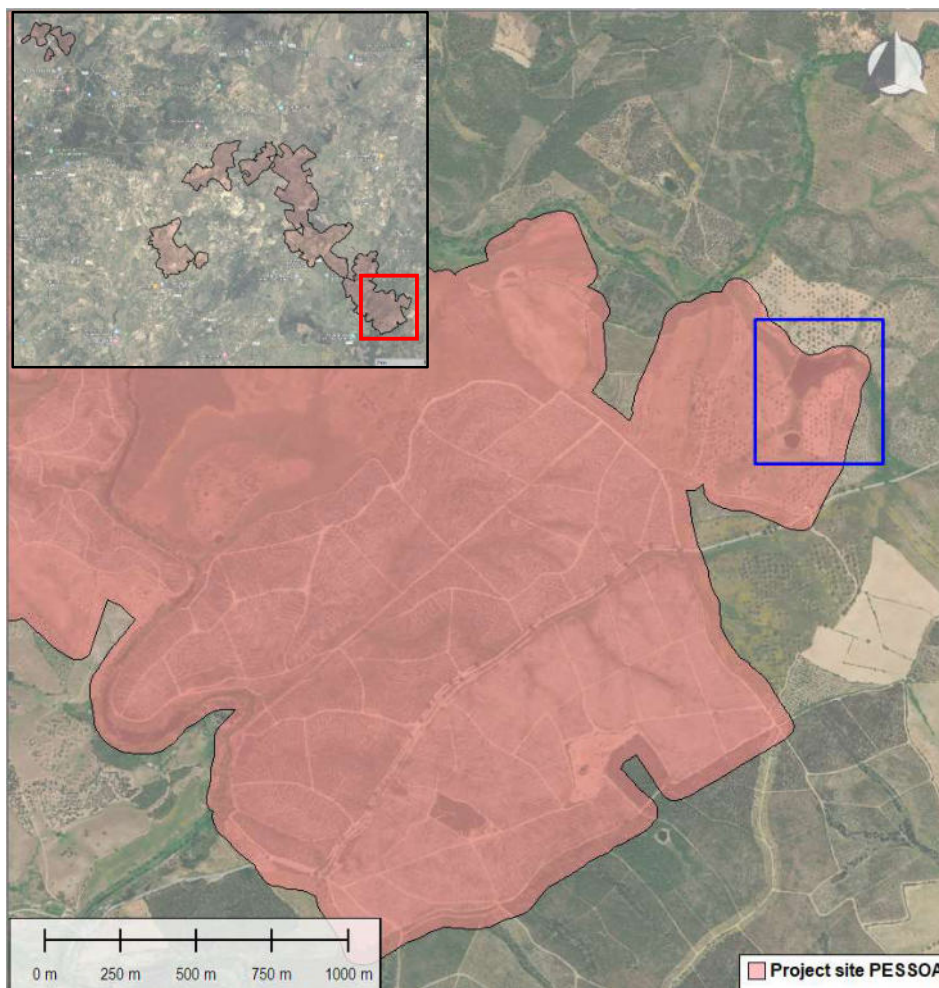


Figura 4 – Reservatórios detectados.

2.2. CLIMATOLOGIA

Na área do projeto, os verões são curtos, quentes, secos e geralmente ensolarados, enquanto os invernos são longos, frios, húmidos e parcialmente nublados. Ao longo do ano, a temperatura varia geralmente de 2 °C a 31 °C e raramente cai abaixo de -3 °C ou ultrapassa 36 °C.

A temporada quente dura cerca de 2,8 meses, de 21 de junho a 14 de setembro, com uma temperatura média diária máxima acima de 80°F (aproximadamente 27°C). O mês mais quente do ano na área do projeto é agosto, com uma temperatura média máxima de 86°F (aproximadamente 30°C) e mínima de 60°F (aproximadamente 15°C).

A temporada fresca dura cerca de 3,7 meses, de 15 de novembro a 5 de março, com uma temperatura média diária máxima abaixo de 58°F (aproximadamente 14°C). O mês mais frio do ano na área do projeto é janeiro, com uma temperatura média mínima de 35°F (aproximadamente 2°C) e máxima de 51°F (aproximadamente 11°C).

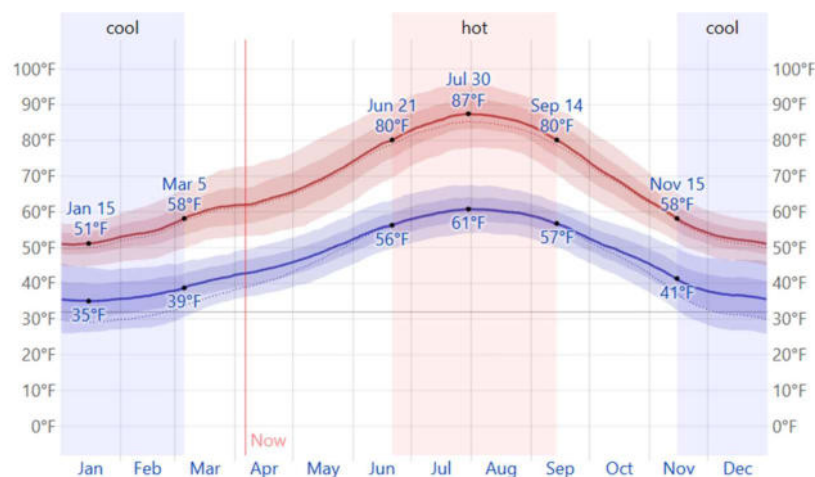


Figura 5 – Temperatura Média na Área do Projeto.

Um dia húmido é aquele com pelo menos 0,04 polegadas de precipitação líquida ou equivalente líquido. A probabilidade de dias húmidos na área do projeto varia ao longo do ano.

A estação mais húmida dura 8,1 meses, de 23 de setembro a 27 de maio, com mais de 19% de chance de um determinado dia ser um dia húmido. O mês com mais dias húmidos na área do projeto é novembro, com uma média de 9,4 dias com pelo menos 0,04 polegadas de precipitação.

A estação mais seca dura 3,9 meses, de 27 de maio a 23 de setembro. O mês com menos dias húmidos na área do projeto é julho, com uma média de 1,5 dias com pelo menos 0,04 polegadas de precipitação.

Entre os dias húmidos, distinguimos entre aqueles que experimentam apenas chuva, apenas neve ou uma mistura entre os dois. O mês com mais dias de chuva exclusiva na área do projeto é novembro, com uma média de 9,4 dias. Com base nessa categorização, a forma mais comum de precipitação ao longo do ano é a chuva exclusiva, com uma probabilidade máxima de 34% em 31 de outubro.

Para demonstrar a variação dentro dos meses e não apenas os totais mensais, apresentamos a precipitação acumulada em um período deslizante de 31 dias centrado em torno de cada dia do ano. A área do projeto experimenta uma variação sazonal extrema na precipitação mensal.

O período de precipitação do ano dura 10 meses, de 21 de agosto a 30 de junho, com uma precipitação acumulada em um período deslizante de 31 dias de pelo menos 0,5 polegadas. O mês com mais chuva na área do projeto é novembro, com uma precipitação média de 4,5 polegadas.

O período sem precipitação do ano dura 1,7 meses, de 30 de junho a 21 de agosto. O mês com menos chuva na área do projeto é julho, com uma precipitação média de 0,3 polegadas.

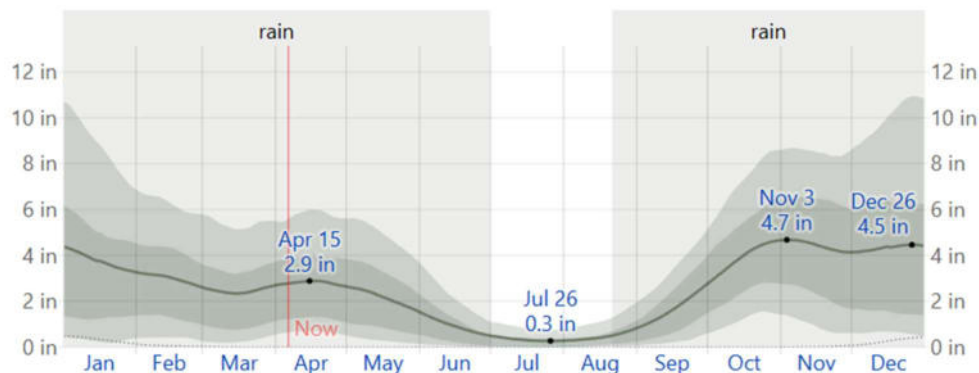


Figura 6 – Precipitação média na área do projeto.

3. CÁLCULO HIDROLÓGICO

3.1. INTRODUÇÃO

O estudo hidrológico determina a vazão do escoamento superficial que ocorrem como consequência da ocorrência de um evento de tempestade extrema na bacia hidrográfica.

A caracterização hidrológica é composta por dois processos: determinação da precipitação extrema e o processo de formação do escoamento superficial (runoff).

A determinação da precipitação extrema aborda duas questões principais: por um lado, a quantidade máxima de precipitação é definida como função da probabilidade de sua ocorrência e, por outro lado, estima-se como será a distribuição temporal ao longo da duração da tempestade. Em resumo, o estudo da precipitação responde a quanto escoamento superficial e como ele é distribuído ao longo do tempo.

3.2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O Modelo Digital de Elevação (DEM) utilizado para a análise hidrológica foi obtido a partir do produto ASF Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR, com resolução de 12,5 m x 12,5 m.



Os produtos obtidos a partir das medições de radar (SAR) fornecem as informações básicas para representar pontualmente a morfologia das áreas de risco hidrogeológico.

Portanto, ele constitui o suporte básico para as atividades de modelagem hidráulica, para a delimitação das áreas de potencial inundação de grandes rios e para a modelagem hidrológica e identificação das áreas mais expostas ao perigo em caso de enchentes.

3.3. DEFINIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A partir do Modelo Digital de Elevação (DEM) da área de estudo, o software HEC-HMS 4.10, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE), é utilizado para a definição das bacias hidrográficas na área de localização da usina de energia solar. O software delimita as bacias e também obtém suas principais características hidrológicas, como área de escoamento superficial, comprimento do curso d'água de maior extensão, declividade média, etc.

A seguir, uma breve descrição da sequência de atividades necessárias para o processamento dos dados e as saídas gráficas do modelo, caracterizado apenas por seus parâmetros geométricos de elevação orográfica

1. Geração do terreno com base nos dados do Modelo Digital de Elevação (DEM).
2. Determinação da direção de vazão.

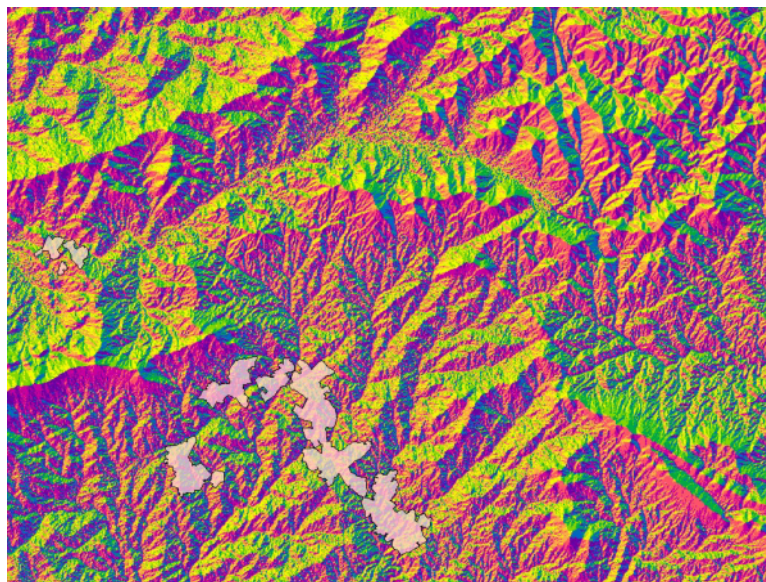


Figura 7 –Fluxo de direção.

3. Identificação de cursos d'água (ribeiras ou rios).



Figura 8 – Cursos d'água identificados.

4. Delimitação das bacias hidrográficas.

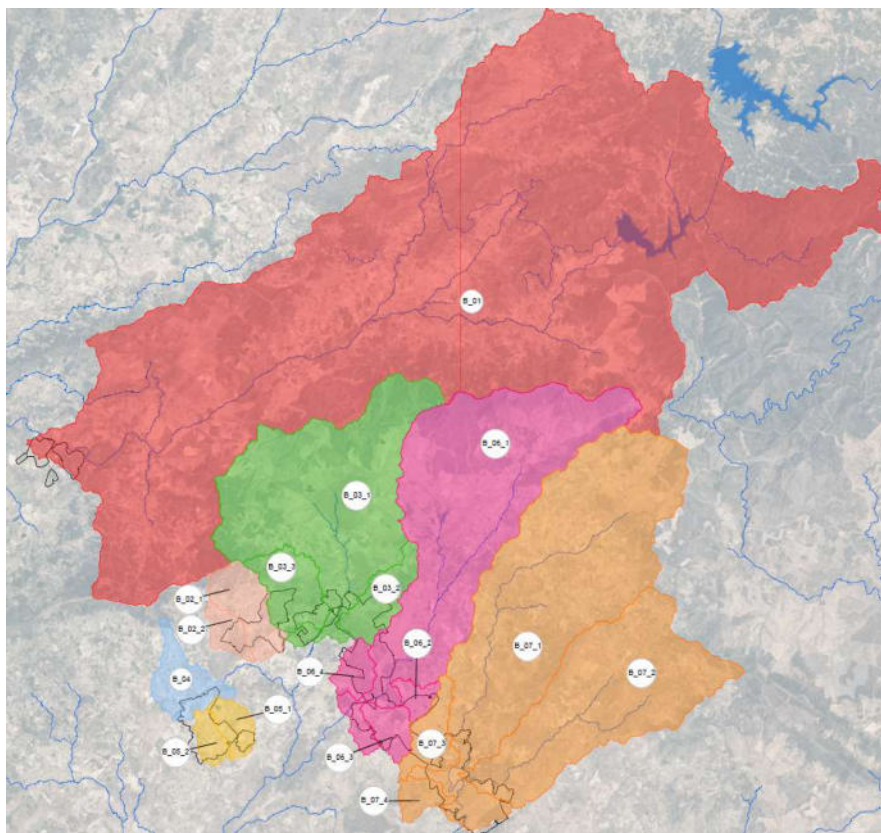


Figura 9 - Bacias hidrográficas e sub-bacias delineadas.

A usina Pessoa tem contribuição de sete bacias, que foram divididas em 17 sub-bacias.

Bacia	Curso d'água (ribeira ou rio)	A (km ²)	L (km)	J (m/m)
B-01	Ribeira da Meimosa	351.4	58.3	0.011
B-02-1		7.60	6.11	0.052
B-02-2		2.80	4.28	0.034
B-03-1	Ribeiro do Taveiro	56.10	15.37	0.029
B-03-2		6.60	5.87	0.014
B-03-3		8.30	6.48	0.045
B-04		7.00	6.46	0.039
B-05-1		3.40	3.96	0.015
B-05-2		2.40	3.16	0.023
B-06-1	Ribeira de Ceife	70.00	23.83	0.016
B-06-2		2.10	3.10	0.026
B-06-3		3.70	4.01	0.019
B-06-4		3.30	3.41	0.015
B-07-1	Ribeira das Taliscas / Rio Torto	70.60	28.86	0.012
B-07-2		45.60	17.29	0.023
B-07-3	Ribeiro do Toção	5.80	5.26	0.016
B-07-4		2.90	4.02	0.025

Enquanto a Ribeira da Meimosa e o Rio Torto podem ser considerados rios, também foram estudados córregos muito pequenos com o objetivo de detectar todos os cursos d'água relevantes que possam afetar o local do projeto.

3.4. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

3.4.1. ESTAÇÕES CONSIDERADAS

A escolha da estação meteorológica é baseada em dois critérios principais:

- Distância em relação à área de estudo: as estações cuja localização está mais próxima da área de estudo serão mais representativas.
- Quantidade de dados registados: se a estação tiver menos de 30 anos completos de registos, as inferências estatísticas a serem feitas sobre essa amostra serão insuficientes.

O conjunto de estações identificadas na área de estudo é mostrado na tabela a seguir:

NOME	CÓDIGO	ALTURA (m)	COORD_X (m)	COORD_Y (m)	BACIA	CONCELHO	SITUAÇÃO	N. DATA PM24
ALCARIA	12L/04UG	413	252249.933	359363.418	TEJO	FUNDÃO	ACTIVO	14
ARAÑAS	13O/02UG	489	286495.285	349528.595	TEJO	PENAMACOR	ACTIVO	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	ACTIVO	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 DE ESTAÇÕES

Com base nos critérios acima, a estação cujos dados serão aplicados às bacias em estudo será:

NOME	CÓDIGO	ALTURA (m)	COORD_X (m)	COORD_Y (m)	BACIA	CONCELHO	SITUAÇÃO	N. DATA PM24
PENAMACOR	120/01UG	463	282807.855	355317.808	TEJO	PENAMACOR	ATIVA	64

3.4.3. DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADA

Os dados correspondentes às estações anteriores, fornecidos pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, são mostrados abaixo.

PENAMACOR 120/01UG					
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		

3.4.3.1. GRÁFICO DE DADOS OBSERVADOS

Ao plotar os dados observados para a estação meteorológica com influência na área de estudo, o seguinte gráfico de barras é obtido:

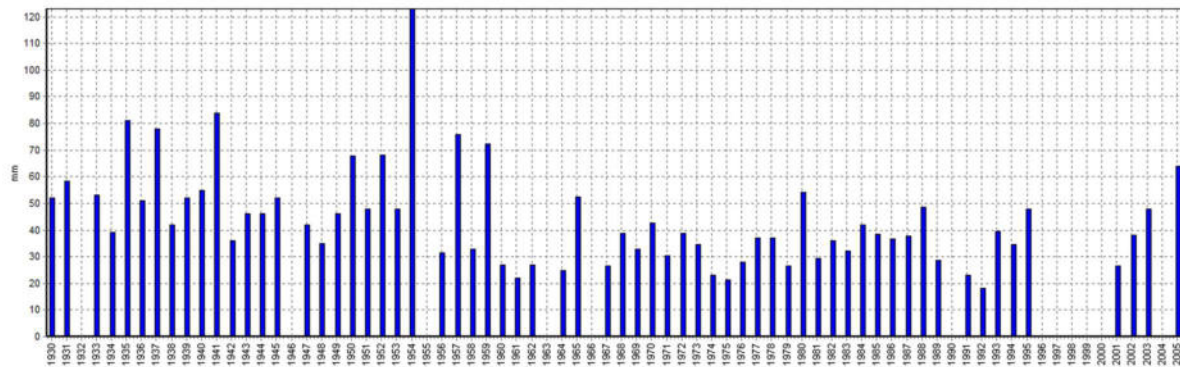


Figura 10 - Dados de precipitação observados.

3.5. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

Após analisar os dados de precipitação, a análise estatística é usada para encontrar as relações de probabilidade entre as possíveis máximas de precipitação diária para diferentes períodos de retorno.

A análise de frequência foi realizada usando o valor máximo registado para as taxas de precipitação diárias que ocorreram durante o ano.

A análise é realizada por meio de testes para tentar aproximar a amostra às melhores distribuições estatísticas conhecidas e, assim, determinar qual distribuição representa o evento de forma mais precisa. Essa distribuição é então aplicada 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. AJUSTES DE DISTRIBUIÇÃO

3.5.1.1. PENAMACOR 120/01UG

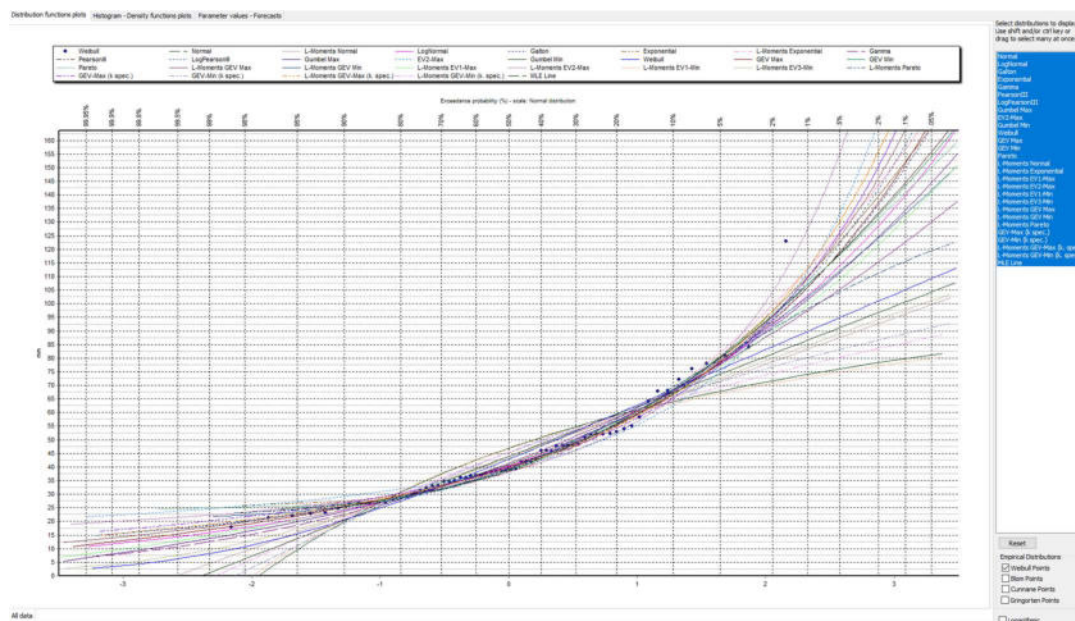


Figura 11 - Ajuste da distribuição aos dados observados.

3.5.2. CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA DO AJUSTE

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

Distribution functions plots	Histogram - Density functions plots		Parameter values - Forecasts		
Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	31.4844%	0.12005
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24.5532%	0.12795
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.2452%	0.05385
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9850%	0.04223
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	63.4449%	0.09321
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	65.7373%	0.09151
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.7799%	0.07369
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.4447%	0.06724
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9624%	0.04425
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.6540%	0.05969
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24.9118%	0.12751
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	REJECT	REJECT	2.29405%	0.18683
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	50.4599%	0.10308
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.9417%	0.04533
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.7580%	0.07372
Pareto	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.38038
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.8755%	0.04741
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.8572%	0.06156
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.5904%	0.06397
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	59.6557%	0.09603
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	REJECT	REJECT	1.96080%	0.19009
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	41.0795%	0.11089
Pareto (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.54373%	0.21483
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.2778%	0.06273
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	11.9208%	0.14842
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.4449%	0.05735
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	9.11493%	0.15533

Figura 12 - Teste de Kolmogorov-Smirnov

3.5.3. SELEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO MAIS ADEQUADA. MÉTODO GRÁFICO

Entre as distribuições com melhor ajuste no teste de Kolmogorov-Smirnov, é feita uma comparação gráfica para determinar a distribuição escolhida.

3.5.3.1. PENAMACOR 120/01UG.

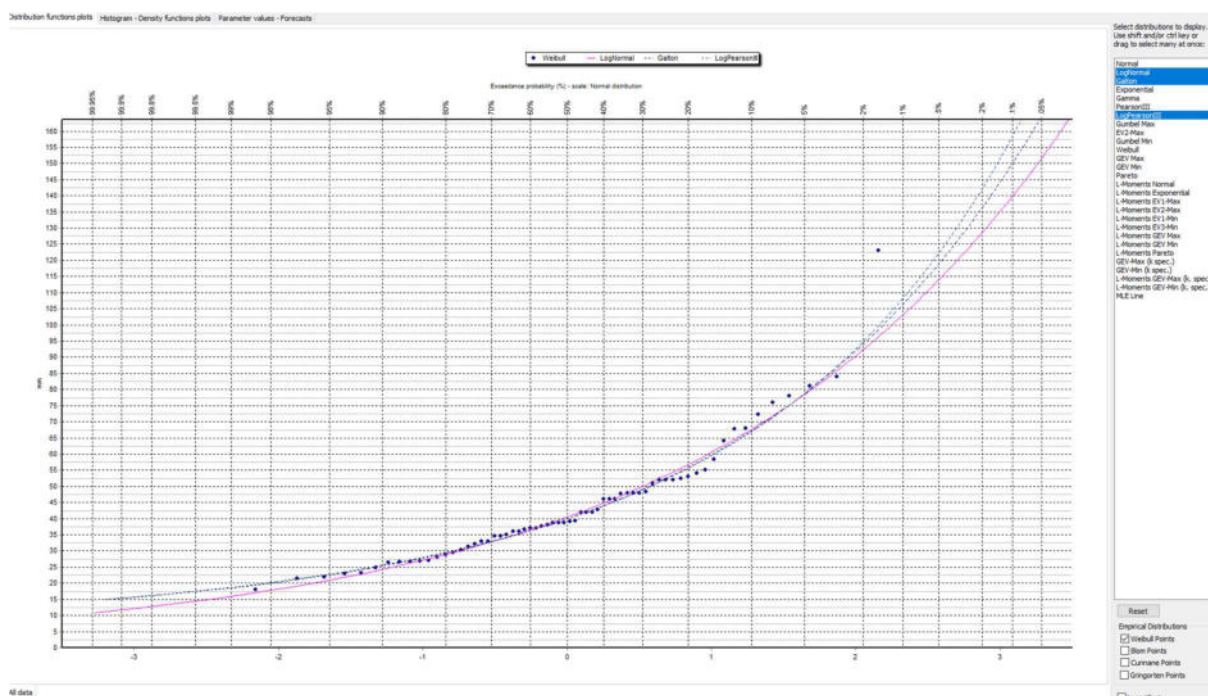


Figura 13 - Seleção das distribuições com melhor ajuste.

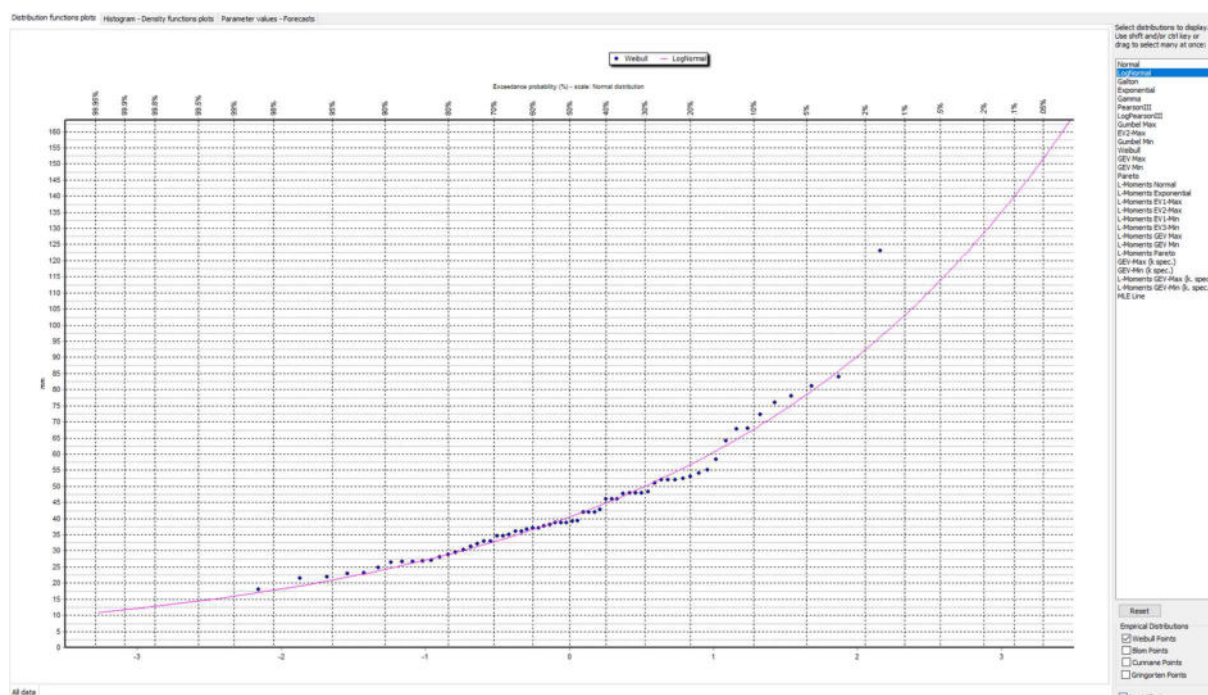


Figura 14 - Distribuições com melhor ajuste.

3.5.4. PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PARA CADA PERÍODO DE RETORNO

3.5.4.1. PENAMACOR 120/01UG.

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 DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

E escoamento superficial é determinado usando o método do Número de Curva, desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo. Portanto, o parâmetro fundamental usado para estimar infiltrações no solo é o *CN* (Número de Curva).

O Número de Curva é uma função do tipo de solo, utilidade do solo e inclinação do terreno. Assim, cada uso corresponde a *CN*, dependendo do tipo de solo e da inclinação onde está localizado. Para atribuir os valores do *CN*, tabelas incluídas no Anexo I foram utilizadas.

Uma vez que *CN* é calculado, a cobertura limiar de escoamento superficial (P_0), que faz mais sentido físico intuitivo do que o *CN*, é calculado usando a seguinte expressão:

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

Os dados sobre inclinações, utilidade do solo e tipos de solo são obtidos a partir de:

- **DTM (ver 3.2).** Seu tratamento com ferramentas SIG possibilita obter as inclinações do terreno e gerar uma cobertura que diferencia as áreas com uma inclinação menor ou maior que 3% (valor de referência).

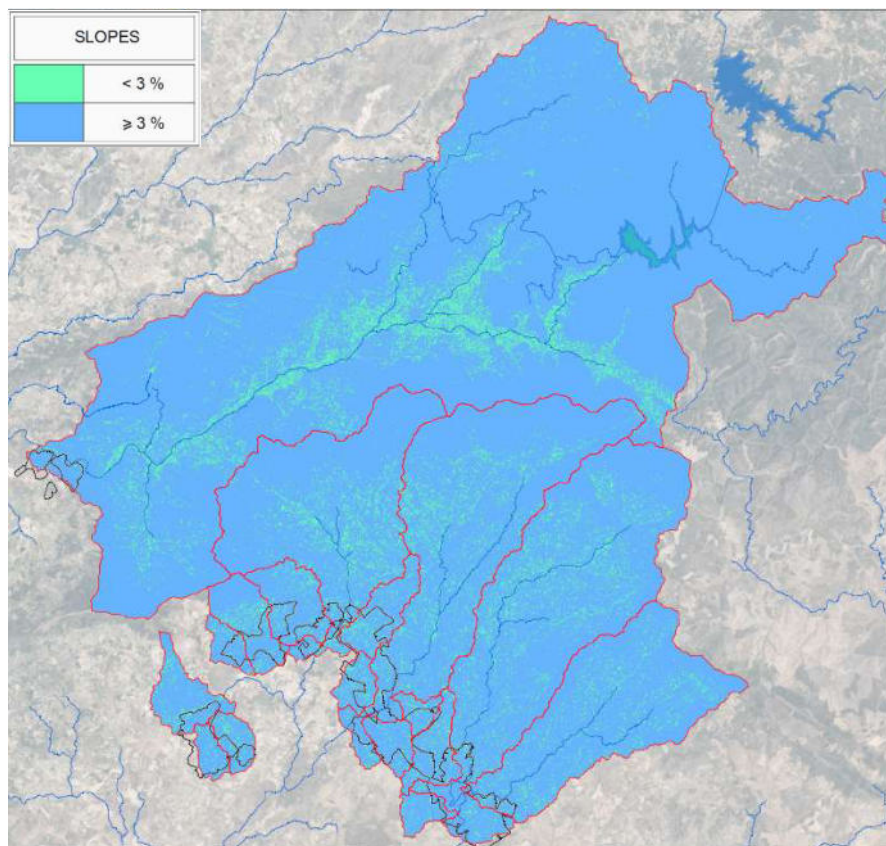


Figura 15 - Inclinações obtidas nas bacias em estudo.

— **Os Grupos Hidrológicos de Solo (HSGs)** são classificados em quatro grupos principais com a seguinte descrição.

- **o Grupo (A) Baixa taxa de escoamento superficial:** Composto por tipo de solos arenosos, argiloso-arenosos ou argiloso-arenosos arenosos. Possuem baixo potencial de escoamento superficial e altas taxas de infiltração (maiores que 7,62 mm/h). Consistem principalmente de areias profundas ou cascalhos, bem drenados até excessivamente drenados, e têm uma alta taxa de transmissão de água.
- **o Grupo (B) Escoamento Superficial Moderado:** Composto por solos argilosos arenosos ou argilosos. Possui uma taxa de infiltração moderada (entre 3,81 e 7,62 mm/h) quando completamente húmido e consiste principalmente em solos de moderadamente profundos a profundos, moderadamente bem drenados a bem drenados, com texturas moderadamente finas a moderadamente grossas.
- **o Grupo (C) Taxa de infiltração baixa:** Composto por solos argilosos-arenosos. Possuem baixas taxas de infiltração (entre 1,27 e 3,81 mm/h) quando bem humedecidos e consistem principalmente em solos com uma camada que impede o movimento descendente da água e solos com estrutura moderadamente fina a fina.
- **o Grupo (D) Índice de escoamento superficial elevado:** Solos são argiloso-arenosos, limo-argilosos, argilosos arenosos, argilosos limosos ou argilosos. Este HSG possui o maior potencial de escoamento superficial. Eles possuem taxas de infiltração muito baixas quando completamente encharcados e consistem principalmente em solos argilosos com alto potencial de expansão, solos com lençol freático

permanentemente alto, solos com uma camada argilosa na superfície ou próxima dela, e solos rasos sobre material quase 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; These 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 16 - Grupos Hidrológicos de Solo

A partir da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), é possível obter um mapa digital de solos do mundo, uma classificação pedológica dos solos e sua correspondência com os grupos hidrológicos marcados pelo SCS.

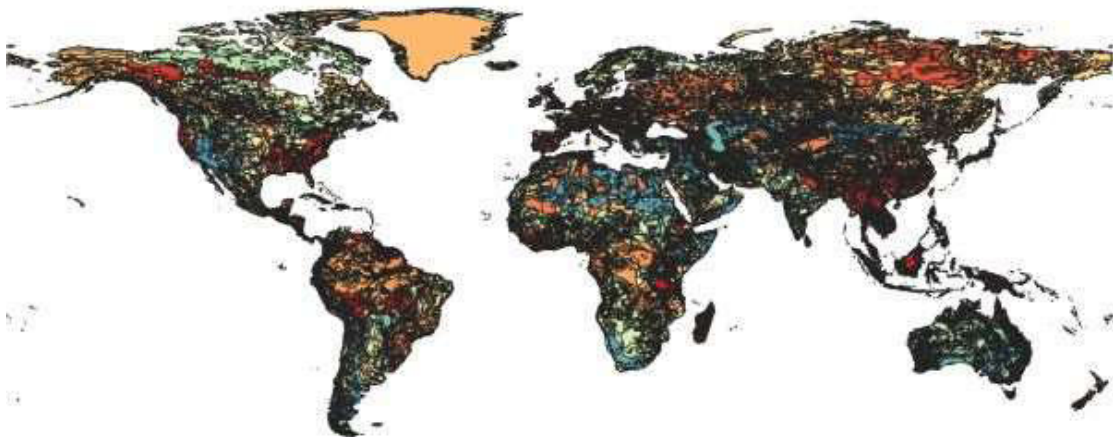


Figura 17 - Mapa digital de solos

O grupo hidrológico das bacias como um todo é: **Grupo (B) Escoamento Superficial Moderado.**

— Mapeamento da ocupação do solo CORINE Land Cover, versão 2018

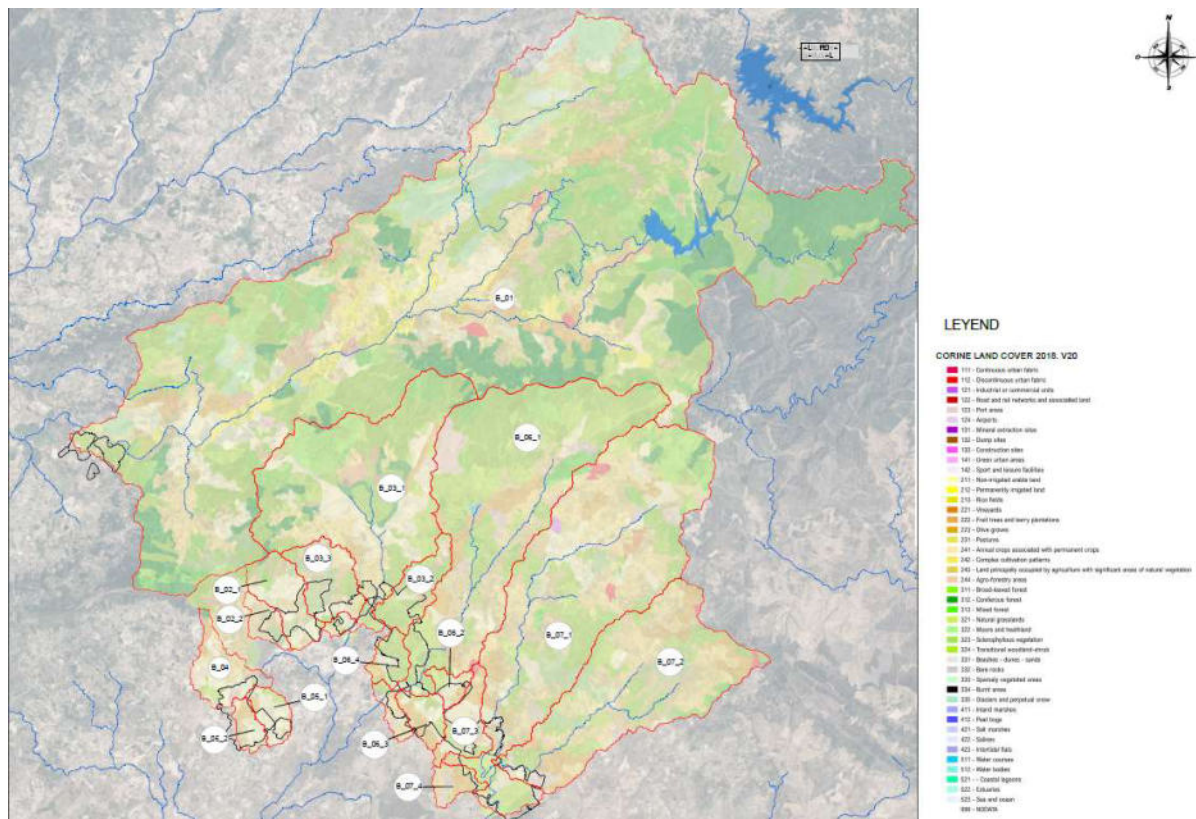


Figura 18 - Utilidade do solo nas bacias em estudo

A metodologia é baseada na reclassificação de coberturas do terreno em formato de raster para atribuição a cada característica básica de um número primo diferente. ($i < 3\% \rightarrow 1$; $i \geq 3\% \rightarrow 2$; Tipo A $\rightarrow 3$; Tipo B $\rightarrow 5$ etc.).

Uma vez que todas as coberturas do terreno de números primos na área de estudo estão disponíveis, é realizada uma operação de multiplicação nos valores de todas as camadas de raster envolvidas, de modo que cada combinação de inclinação, utilidade do solo e tipo de solo terá um valor único diferente de todos os outros (propriedade de número primo).

A partir desses valores únicos, é feita uma reclassificação usando a tabela no Anexo I, de forma que cada valor de combinação corresponda a um valor de CN.

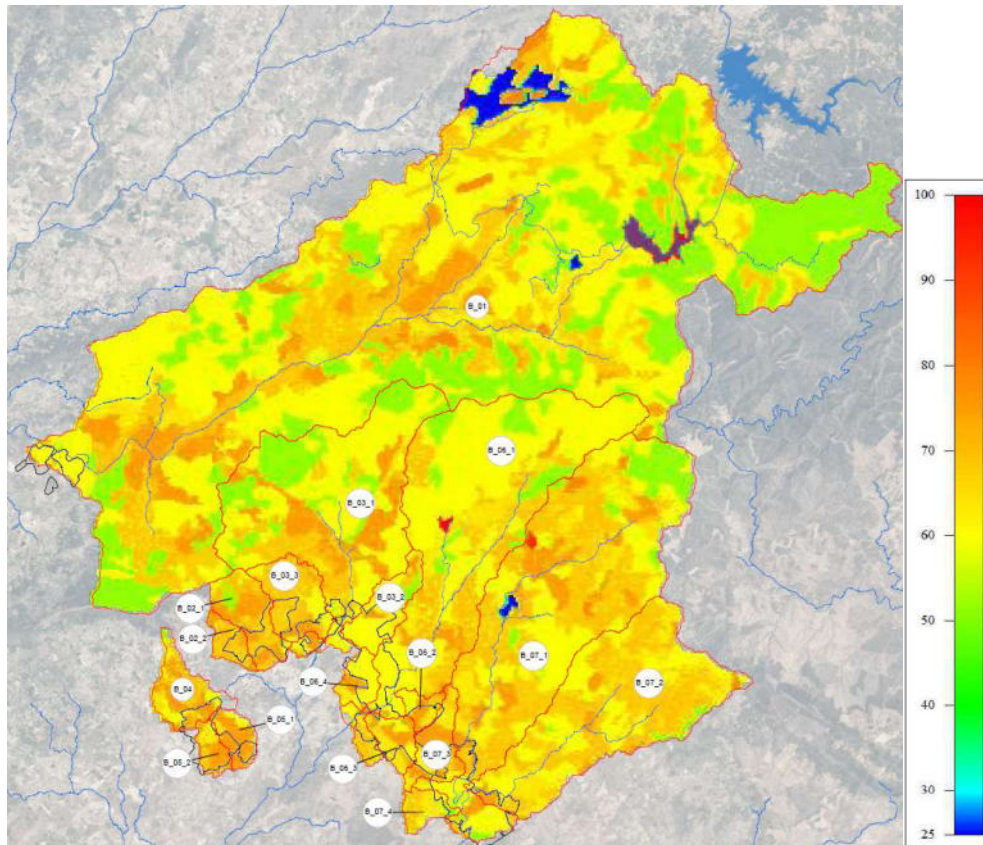


Figura 19 - Valor do Número de Curva (CN) nas bacias em estudo.

Os valores do Número de Curva CN obtidos são adotados para condições de humidade média.

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: C = Coeficiente de escoamento superficial (adimensional) I = Intensidade de precipitação (em mm/h) A = Área da bacia (em hectares):

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

Redução por área

A maior parte dos trabalhos hidrológicos requer a estimativa da precipitação sobre uma determinada área, a qual será, obviamente, igual ou menor do que o valor pontual calculado correspondente, devido ao efeito de não simultaneidade.

O fator de redução de área estimado pelo Serviço Meteorológico dos Estados Unidos (USWB) foi aplicado:

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

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

3.6.1.1. Tempo de concentração

O tempo de concentração é definido como o tempo necessário para que a precipitação nas partes mais externas da bacia alcance o ponto de drenagem. Esse tempo é independente da configuração e magnitude do evento de precipitação associado a um tempo de retorno, dependendo apenas das características morfológicas da bacia. Para estimá-lo, utiliza-se a fórmula de Témez, que tem sido amplamente contrastada:

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

Onde:

- L (km): Comprimento do curso d'água 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-03-1	56.1	15.4	0.029	4.7
B-03-2	6.6	5.9	0.014	2.6
B-03-3	8.3	6.5	0.045	2.2
B-04	7.0	6.5	0.039	2.3
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
B-07-3	5.8	5.3	0.016	2.3
B-07-4	2.9	4.0	0.025	1.7

3.6.1.2. Intensidade de precipitação

Para o cálculo da vazão, foi considerado, de acordo com o método hidrometeorológico, que o caso mais adverso é aquele em que o evento de precipitação associado a um tempo de retorno tem uma duração igual ao tempo de concentração.

Como apenas os dados de precipitação máxima diária estão disponíveis, não é possível extrapolar os valores das intensidades dos eventos de precipitação associado a um tempo de retorno de diferentes durações. Portanto, para determiná-las, é necessário recorrer às curvas intensidade-duração-frequência (IDF) elaboradas para um conjunto de estações meteorológicas espanholas.

Este modelo espanhol tem sido utilizado pela Administração Portuguesa na ELABORAÇÃO DE CARTOGRAFIA ESPECÍFICA SOBRE O RISCO DE INUNDAÇÃO PARA PORTUGAL CONTINENTAL, pela Agência Portuguesa do Ambiente (2014).

Consultando o mapa de curvas de nível dos valores I_1/I_d ara a Espanha, conforme fornecido no Padrão 5.2-IC, onde I_1 é a intensidade horária e I_d é a intensidade média diária, obteve-se que **na área de estudo bastante próxima à fronteira), esse fator é igual a 10**

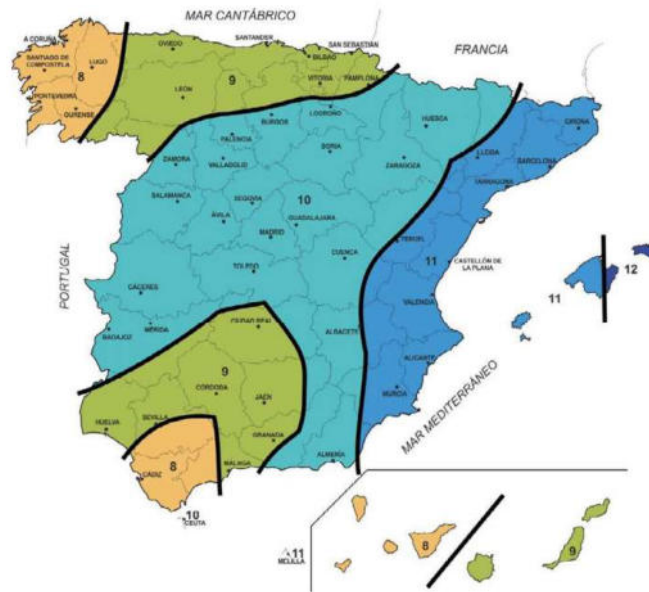


Figura 20 - Mapa de curvas de nível I_1/I_d .

ara calcular a intensidade correspondente a um evento de precipitação associado a um tempo de retorno, foi utilizada a expressão geral para as curvas IDF (curvas de intensidade-duração-frequência), onde:

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

I_t sendo a intensidade do evento de precipitação associado a um tempo de retorno a ser considerado.

Como uma verificação do método, I_{24} e $I_d (= P_{max,24h}/24)$ são comparados:

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

Assim, o modelo IDF estimaria uma intensidade 13% mais alta do que aquela obtida diretamente da distribuição extrema, o que é considerado suficientemente preciso.

3.6.1.3. Coeficiente de escoamento superficial

O coeficiente de escoamento superficial 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 total para o período de retorno considerado e P_0 é o limiar de escoamento superficial correspondente às características da bac

3.6.1.4. Vazões obtidas pelo método racional modificado

As tabelas abaixo mostram as vazões obtidas para cada bacia e cada período de retorno seguindo o método racional modificado.

Sub-bacia	A (km ²)	L (km)	J (m/m)	t _c (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-03-1	56.1	15.4	0.029	4.7	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-04	7.0	6.5	0.039	2.3	1.0	24	68
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

T (anos)	500						
Sub-bacia	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-03-1	129	4.2	0.38	10	4.69	20.3	112.8
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-04	129	5.5	0.47	10	2.30	32.3	29.3
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

T (anos)	200						
Sub-bacia	P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	tc (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-03-1	114	3.7	0.34	10	4.69	17.9	88.9
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-04	114	4.8	0.43	10	2.30	28.6	23.5
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
B-07-4	114	4.0	0.36	10	1.75	34.0	9.9

T (anos)	100						
Sub-bacia	P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	tc (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-03-1	103	3.4	0.30	10	4.69	16.2	72.4
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-04	103	4.4	0.39	10	2.30	25.9	19.5
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

T (anos)	50						
Sub-bacia	P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	tc (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-03-1	92	3.0	0.27	10	4.69	14.6	57.4
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-04	92	3.9	0.35	10	2.30	23.2	15.9
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
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

T (anos)	25						
Sub-bacia	P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	tc (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-03-1	82	2.7	0.23	10	4.69	12.9	43.7
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-04	82	3.5	0.31	10	2.30	20.6	12.4
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

T (anos)	10						
Sub-bacia	P_d (mm)	P_d/P_0	C	I_1/I_d	tc (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-03-1	68	2.2	0.18	10	4.69	10.7	27.7
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-04	68	2.9	0.25	10	2.30	17.0	8.3
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

3.6.2. Método da Hidrograma

Os métodos propostos para a transformação precipitação-escoamento superficial são principalmente dois: o uso do hidrograma unitário (U.H.), uma função de transferência de uma precipitação de magnitude igual a um em toda a bacia, que utiliza o hietograma como entrada e retorna o hidrograma como uma superposição linear de hidrogramas unitários; e a aplicação da equação da onda cinemática. O último método é raramente utilizado devido à complexidade de seu uso.

Existem duas opções ao considerar o método do hidrograma unitário: impor diretamente um hidrograma unitário ou usar um dos hidrogramas unitários sintéticos propostos pelo modelo HEC-HMS: o hidrograma de Clark, o hidrograma de Snyder ou o hidrograma adimensional do S.C.S. (Serviço de Conservação do Solo).

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

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

O Hidrograma Unitário adimensional (U.H.) proposto pelo S.C.S. foi utilizado, no qual tanto o fluxo quanto o tempo são expressos como um quociente em relação a vazão máxima (Q_p) e o tempo de pico (T_p) é definido como intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazão máxima respectivamente, removendo assim o efeito do tamanho da bacia e grande parte do efeito de sua forma.

As relações entre as diferentes quantidades são apresentadas abaixo:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_{lag}$$

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

Onde:

- $A (km^2)$: Área superficial da bacia.
- $T_p (h)$: Tempo de pico é definido como intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazão máxima
- $D (h)$: Intervalo de discretização do hidrograma

3.6.2.1. Definição do sistema hidrológico

Para o desenvolvimento do método do hidrograma unitário, foi realizado um modelo de cada bacia dividida em sub-bacias usando o programa HMS 4.10. Dessa forma, o hidrograma de fluxos de cada uma das sub-bacias é determinado, permitindo estimar o fluxo circulante antes e após a confluência a montante dos pontos de controle.

3.6.2.2. Construção do modelo hidrometeorológico

Modelo da bacia:

- Nenhuma seção de propagação é considerada.
- Nenhum escoamento base é considerado.
- As perdas são calculadas utilizando o método do Número de Curva (SCS-CN).
- Transformação da precipitação em escoamento utilizando o hidrograma unitário adimensional do SCS.
- Intervalo de cálculo $\Delta t = 5 \text{ min}$.

Modelo meteorológico:

- A duração da tempestade é de 24 horas.
- Aumento de tempo utilizado na discretização do hidrograma $\Delta t = 5 \text{ min}$.
- Hidrograma sintético de blocos alternados.

3.6.2.3. Resultados do Método do Hidrograma Unitário

Com a aplicação do método de precipitação-escoamento superficial do SCS e a partir do hidrograma de precipitação bruta, obtém-se um hidrograma de precipitação líquida e, com o excedente de precipitação resultante, o hidrograma de escoamento de uma bacia.

O Anexo II mostra os resultados obtidos para cada bacia e período de retorno. Como exemplo, o seguinte gráfico mostra os resultados obtidos para a bacia B-01 para um período de retorno de 500 anos:

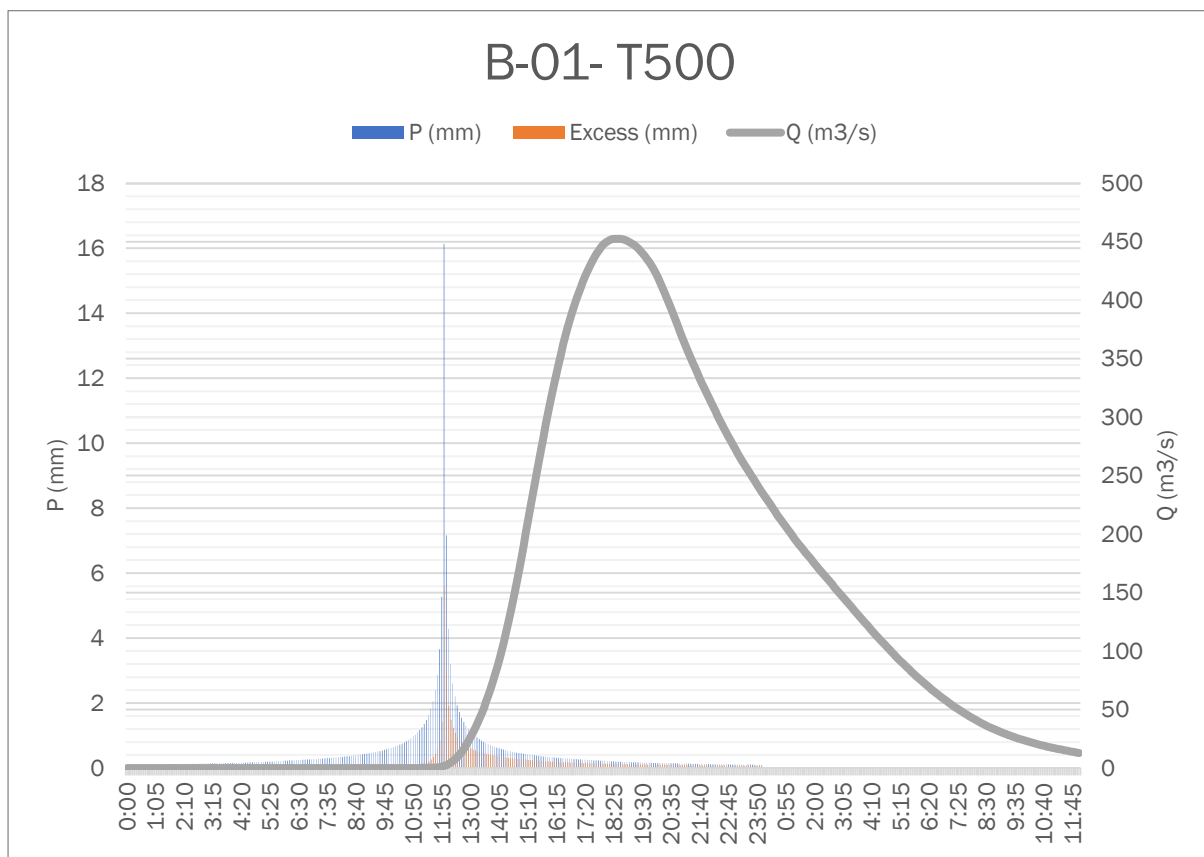


Figura 21 - Exemplo do Método do Hidrograma Unitário. B-01 T=500 anos.

3.6.1. Comparação: Método Racional Modificado - Método do Hidrograma Unitário

Esses dois métodos não podem ser comparados diretamente, pois o resultado do método racional é um fluxo máximo, enquanto no método do hidrograma unitário é uma função $Q(t)$. No entanto, uma comparação pode ser feita entre os fluxos resultantes do método racional e as vazões máximas obtidas com o hidrograma sintético.

As seguintes tabelas mostram tanto os fluxos para cada bacia e período de retorno, como também o aumento ou diminuição da vazão máxima do HU (Hidrograma Unitário) em relação ao RM (Método Racional).

T (anos)	500		
Sub-bacia	$Q_{p, RM}$ (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-03-1	112.8	171.4	+51.9%
B-03-2	19.7	27.3	+38.8%
B-03-3	34.0	50.3	+47.9%
B-04	29.3	43.8	+49.7%
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%

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-03-1	88.9	129.4	+45.5%
B-03-2	15.4	20.3	+31.4%
B-03-3	27.3	39.3	+44.0%
B-04	23.5	34.4	+46.1%
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%

T (anos)	100		
Sub-bacia	$Q_{p, RM} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{p, UH} \text{ (m}^3/\text{s)}$	
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-03-1	72.4	100.7	+39.1%
B-03-2	12.5	15.6	+24.5%
B-03-3	22.6	31.6	+40.0%
B-04	19.5	27.8	+42.3%
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%
B-07-4	8.1	7.3	-10.4%

T (anos)	50		
Sub-bacia	$Q_{p, RM} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_{p, UH} \text{ (m}^3/\text{s)}$	
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-03-1	57.4	74.8	+30.2%
B-03-2	9.9	11.3	+14.1%
B-03-3	18.3	24.3	+33.1%
B-04	15.9	21.6	+36.2%
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%

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-03-1	43.7	53.6	+22.7%
B-03-2	7.5	7.9	+5.5%
B-03-3	14.2	18.2	+27.9%
B-04	12.4	16.3	+31.3%
B-05-1	8.2	11.3	+37.4%
B-05-2	6.2	8.2	+32.6%
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%

T (anos)	10		
Sub-bacia	$Q_{p,RM}$ (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-03-1	27.7	28.9	+4.5%
B-03-2	4.7	4.0	-14.6%
B-03-3	9.5	10.6	+12.1%
B-04	8.3	9.7	+16.7%
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%

Como pode ser observado, de forma geral, foram obtidos valores mais conservadores com o Método do Hidrograma Unitário (UH) do que com o Método Racional (RM) para as sub-bacias. Portanto,

neste estudo, os resultados obtidos com o método do UH são tomados como referência para as simulações hidráulicas.

4. CÁLCULO HIDRÁULICO

4.1. INTRODUÇÃO

O modelo hidráulico foi criado utilizando o software HEC-RAS (Sistema de Análise de Rios do Centro de Engenharia Hidrológica). Este modelo matemático é uma versão atualizada do modelo HEC-2, Perfis de Superfície de Água, desenvolvido no Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. A versão utilizada é a 6.3.

As capacidades que sustentam o escoamento bidimensional no HEC-RAS foram desenvolvidas para permitir a modelagem combinada 1D/2D. O algoritmo de modelagem de fluxo 2D possui as seguintes características:

- **Ele pode realizar simulações 1D, 2D e uma combinação de ambas.** O HEC-RAS pode realizar as seguintes simulações: unidimensional, bidimensional e uma combinação de ambas as possibilidades. A capacidade de realizar modelagem combinada no mesmo modelo em estado não permanente facilita o trabalho em rios de determinado comprimento, utilizando a modelagem 1D e a modelagem 2D para áreas que exigem maior precisão no cálculo hidrodinâmico.
- **Resolução 2D por meio das equações de Águas Rasas ou pelas equações de onda difusiva.** O programa resolve em 2D usando as equações de Águas Rasas ou as equações de onda difusiva. Em geral, as equações de onda difusiva são computadas mais rapidamente e exibem maior estabilidade. As equações de Águas Rasas podem ser aplicadas a uma gama mais ampla de situações, mas requerem mais esforço computacional.
- **Solução do algoritmo de volume finito implícito.** Para a solução das equações de escoamento não estacionário em 2D, o programa utiliza um algoritmo implícito de volumes finitos, o qual permite intervalos computacionais mais longos do que os métodos explícitos e oferece maior estabilidade em relação a outros métodos mais tradicionais, como o método dos elementos finitos, tornando a determinação de inundação e secagem de um elemento 2D muito confiável. Dessa forma, zonas de escoamento em 2D podem começar completamente secas e resolver uma situação de inundação, seja através de escoamentos subcríticos, supercríticos ou mistos.
- **Resolução sincronizada em 1D e 2D do algoritmo.** Na computação passo a passo, a resolução dos algoritmos 1D e 2D está intimamente conectada, com a opção de iteração de transferência de fluxo 1D para 2D no mesmo passo computacional, de modo que sempre haja uma sincronização e correlação direta entre os elementos 1D e 2D em cada etapa de cálculo.
- **Malhas estruturadas e não estruturadas.** O software é projetado para resolver tanto malhas estruturadas quanto não estruturadas, uma vez que seu tratamento é idêntico, mas a eficiência é maior se as células forem ortogonais entre si. As células podem ser triangulares, quadradas, retangulares ou poligonais, com um máximo de 8 lados. Essas malhas são delimitadas ao longo do perímetro por um polígono dentro do qual células de tamanhos e formas diferentes são distribuídas.

- **Classificação das características hidráulicas detalhadas para células e suas bordas.** As células não precisam formar uma superfície plana, assim como suas bordas e fronteiras não precisam ser linhas retas com uma única dimensão ou elevação. Ao contrário, cada célula e borda se molda ao terreno abaixo dela. Tais modelos são frequentemente referidos na literatura como "modelos de subgrade de alta resolução". O termo "subgrade" significa que informações detalhadas do terreno subjacente são usadas para estabelecer, por meio de pré-processamento, tabelas geométricas e hidráulicas que caracterizam as células e suas bordas com base no terreno. O pré-processamento da zona 2D gera uma relação elevação-volume em cada célula com base nos dados detalhados do MDE (Modelo Digital de Elevação). Portanto, uma célula pode ser parcialmente alagada, dependendo do volume de água para uma determinada elevação da superfície da água com base na grade de 0,5 m. Além disso, cada borda da célula funciona como uma seção transversal e é classificada de acordo com suas próprias características hidráulicas (rugosidade, área, perímetro molhado, ...). O fluxo através de uma borda (e consequentemente entre duas células) é baseado nesses dados detalhados. Isso permite a modelagem com tamanhos de célula grandes sem perder muitas informações detalhadas sobre o terreno subjacente que controla o movimento do fluxo. Além disso, a localização das bordas ao longo dos elementos de controle do terreno (estradas, taludes, muros, ...) melhora consideravelmente os cálculos hidráulicos usando apenas algumas células.



Figura 22 - Exemplo de canais pequenos circulando por células grandes.

4.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

4.2.1. Parâmetros de tempo e dados gerais

PARÂMETROS DE TEMPO	
Tempo Inicial (s)	0
Tempo Máximo de Simulação (s)	43.200
Intervalo de Resultados (s)	300
"Passo de Cálculo"	Variável Courant
Intervalo de Números de Courant	0.5 -2.0

PARÂMETROS GERAIS	
Número de processadores	Todos disponíveis
Equações	SWE-ELM (original / mais rápido)
Máximo de Iterações	30
A tolerância de cálculo da superfície livre (m)	0,003
A tolerância em volume (m)	0,003

4.2.2. Modelo Topográfico

O levantamento topográfico recebido do cliente foi utilizado como a principal fonte para criar os Modelos Digitais de Terreno (DTMs) necessários. Com esses dados topográficos e o Modelo Digital de Elevação (DEM) do ALOS PALSAR descrito na seção 3.2, foram criados quatro DTMs em formato GeoTIFF para simular os cursos d'água. Esses DTMs são introduzidos no software para gerar os terrenos de cálculo. A figura a seguir mostra os DTMs.

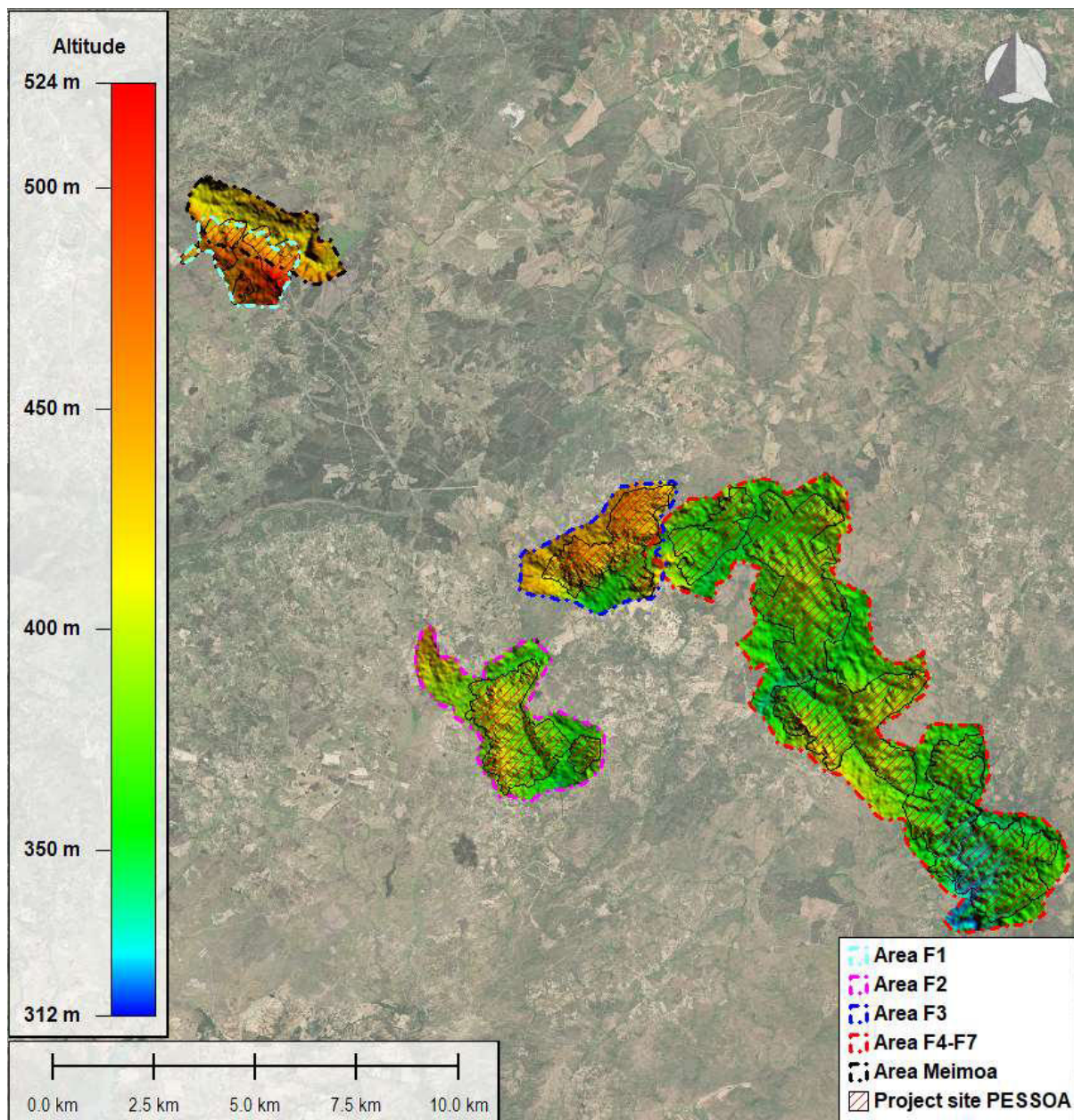


Figura 23 - Modelos Digitais de Terreno (MDTs) utilizados para o cálculo hidráulico.

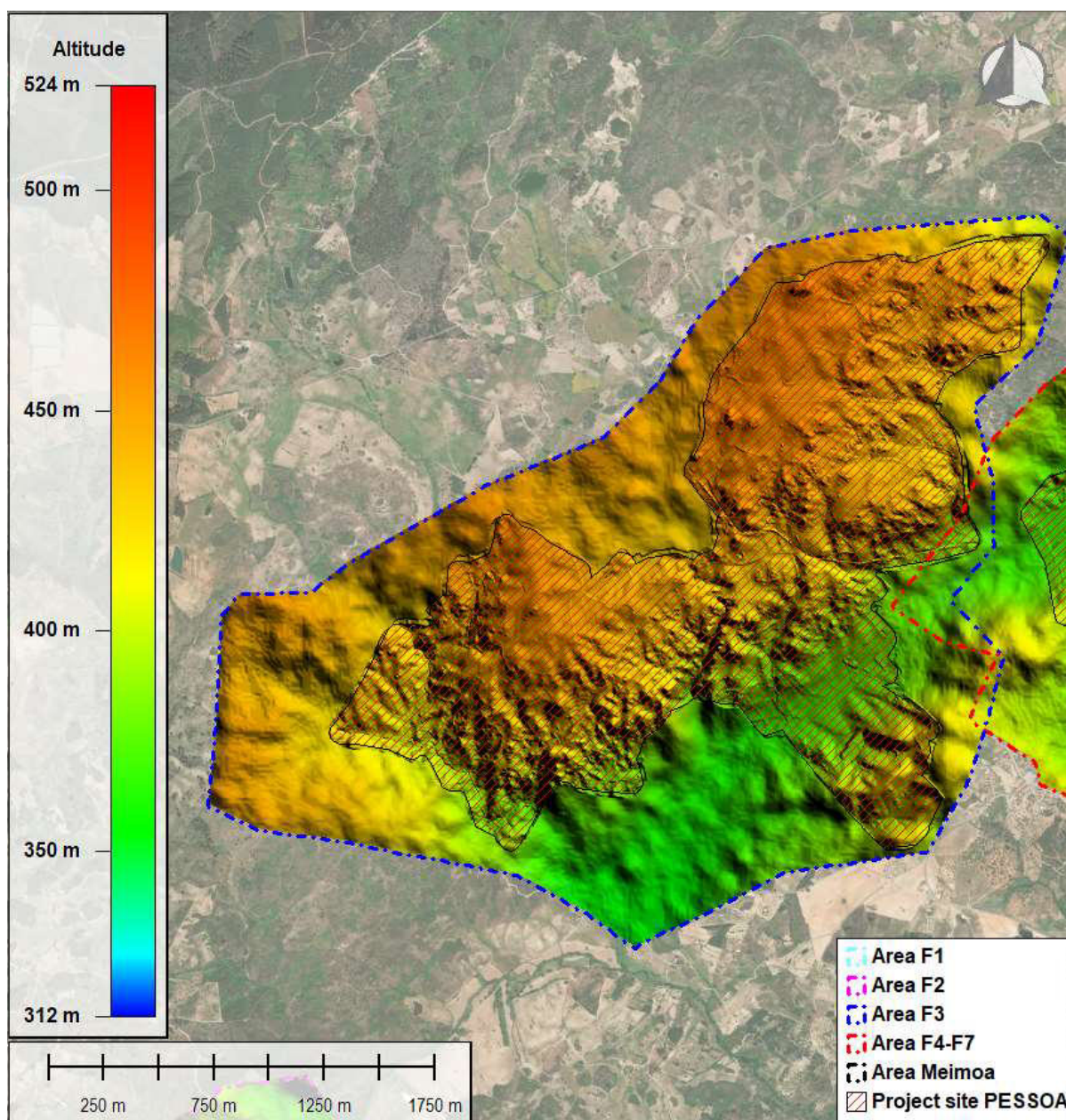


Figura 24 - Modelo Digital de Terreno (MDT) usado para o cálculo hidráulico. Área F3.

4.2.3. Características da Malha

As malhas de cálculo são formadas principalmente por células de formato quadrado. As características das quatro malhas estão incluídas na seguinte tabela:

CARACTERÍSTICAS DA MALHA – ÁREA F1	
Tamanho da base(m)	15
Tamanho médio das células (m ²)	221.96
Tamanho máximo da célula (m ²)	462.75
Tamanho mínimo da célula (m ²)	462.75
Número de células	15,698

CARACTERÍSTICAS DA MALHA – ÁREA MEIMOA	
Tamanho da base(m)	5
Tamanho médio das células (m ²)	25.06
Tamanho máximo da célula (m ²)	55.31
Tamanho mínimo da célula (m ²)	20.39
Número de células	201,018

CARACTERÍSTICAS DA MALHA – ÁREA F2	
Tamanho da base(m)	15
Tamanho médio das células (m ²)	226.34
Tamanho máximo da célula (m ²)	402.76
Tamanho mínimo da célula (m ²)	63.15
Número de células	42,536

CARACTERÍSTICAS DA MALHA – ÁREA F3	
Tamanho da base(m)	15
Tamanho médio das células (m ²)	226.34
Tamanho máximo da célula (m ²)	406.49
Tamanho mínimo da célula (m ²)	178.08
Número de células	33,190

CARACTERÍSTICAS DA MALHA – ÁREA F4-F7	
Tamanho da base(m)	15
Tamanho médio das células (m ²)	224.76
Tamanho máximo da célula (m ²)	582.25
Tamanho mínimo da célula (m ²)	41.88
Número de células	172,700

4.2.4. Rugosidade

As perdas por atrito são calculadas utilizando a equação de Manning. Como se trata de um modelo bidimensional, o próprio modelo leva em consideração fatores como sinuosidade e irregularidade nas seções. A tabela de referência é utilizada para definir os coeficientes de rugosidade n os valores estão incluídos abaixo.

TABLE 5-5. VALUES OF THE ROUGHNESS COEFFICIENT n (continued)

Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
C. EXCAVATED OR DREDGED			
a. Earth, straight and uniform			
1. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth, winding and sluggish			
1. No vegetation	0.023	0.025	0.030
2. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
c. Dragline-excavated or dredged			
1. No vegetation	0.025	0.025	0.033
2. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
d. Rock cuts			
1. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
e. Channels not maintained, weeds and brush uncut			
1. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. Same, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
D. NATURAL STREAMS			
D-1. Minor streams (top width at flood stage <100 ft)			
a. Streams on plain			
1. Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
2. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
3. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
4. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
5. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
6. Same as 4, but more stones	0.045	0.050	0.060
7. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
8. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150

TABLE 5-6. VALUES OF THE ROUGHNESS COEFFICIENT n (continued)

Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
b. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
1. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
2. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070
D-2. Flood plains			
a. Pasture, no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
2. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
3. Same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
4. Heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
5. Same as above, but with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160
D-3. Major streams (top width at flood stage >100 ft). The n value is less than that for minor streams of similar description, because banks offer less effective resistance.			
a. Regular section with no boulders or brush	0.025		0.060
b. Irregular and rough section	0.035		0.100

Figura 25 - Coeficientes de Manning.

4.3. CONDIÇÕES INICIAIS E DE FRONTEIRA

4.3.1. Condições Iniciais

Como condição inicial, é adotada a profundidade zero em todo o modelo.

4.3.2. Condições de Fronteira

Uma opção de profundidade de fluxo normal ou estacionário é introduzida como uma condição de saída nas diferentes zonas de escoamento dos modelos, posicionada suficientemente a jusante da área de estudo para que a simulação possa se estabilizar a montante e adotar a profundidade apropriada.

Quanto as vazões de entrada, foi criada uma condição de entrada para cada sub-bacia, introduzindo os hidrogramas correspondentes previamente calculados. Além disso, foi aplicada precipitação direta aos modelos (hidrogramas médios de excesso para cada intervalo de tempo T_r), exceto para a Área Meimoa. Algumas das sub-bacias (B-06-2, B-06-3, B-06-4) estão completamente dentro das áreas de cálculo, portanto, nenhum hidrograma de entrada é introduzido para elas.

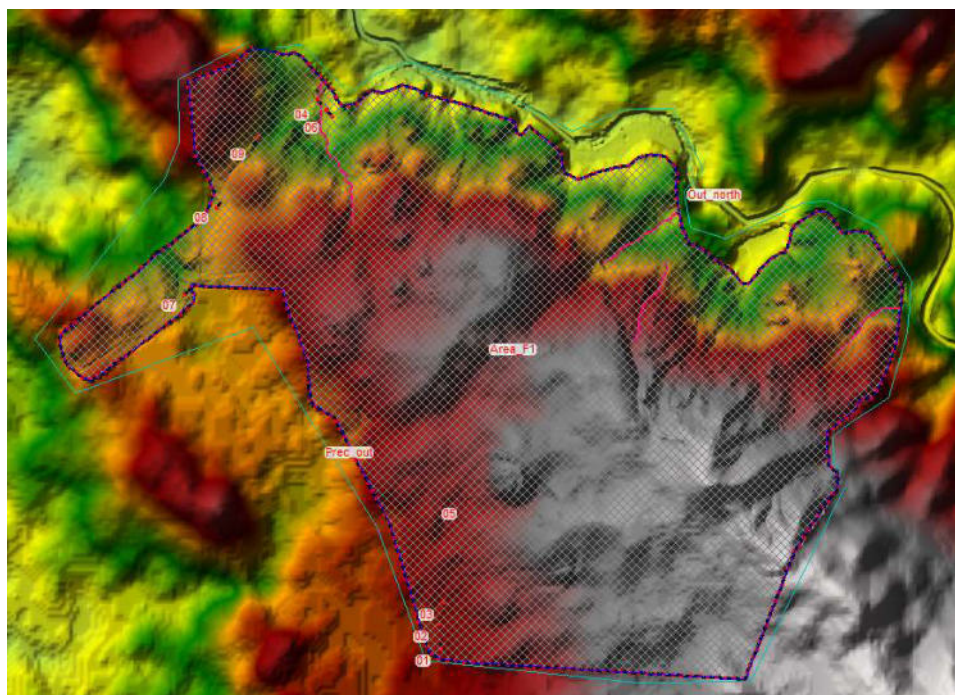


Figura 26 – Linhas de saída. Área F1.

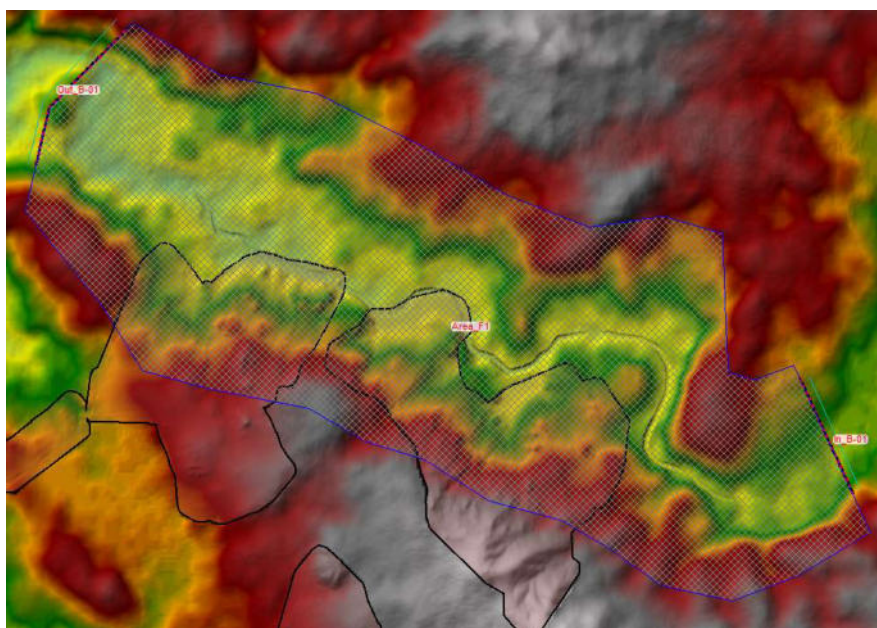


Figura 27 - Linhas de entrada e saída. Área Meimoa.

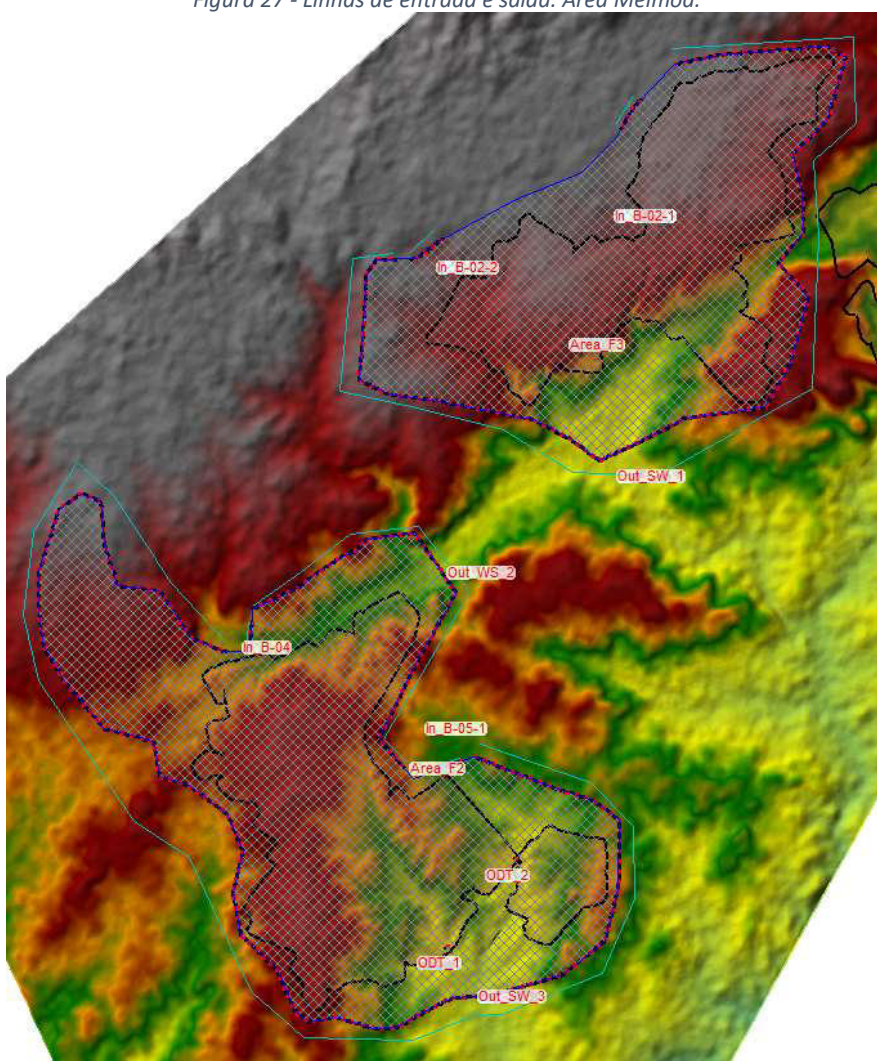


Figura 28 - Linhas de entrada e saída. Área F2 e Área F3.

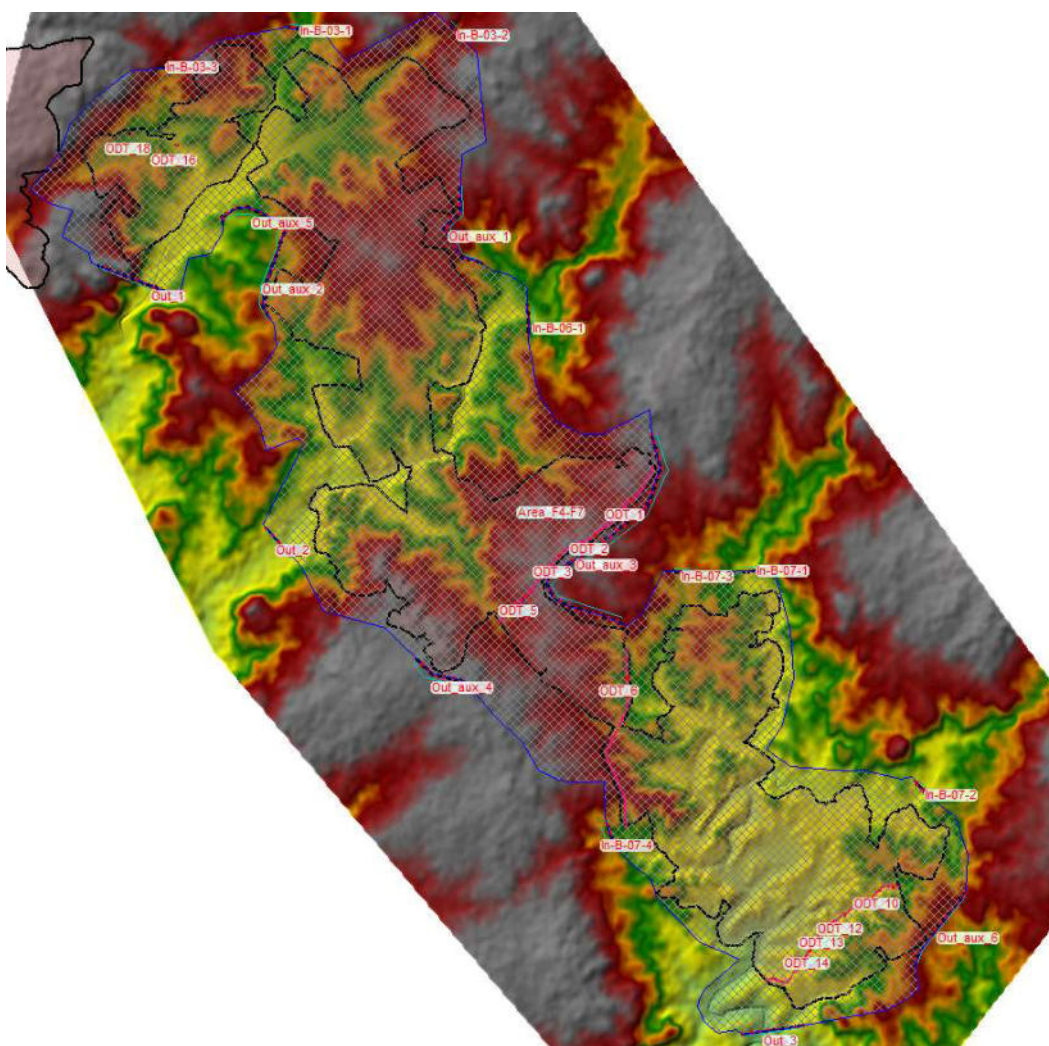


Figura 29 - Linhas de entrada e saída. Área F4-F7.

5. RESULTADOS DO MODELO HIDRÁULICO

Mapas de inundação e velocidades para diferentes períodos de retorno estão incluídos nos planos anexados. Abaixo estão apresentados alguns dos resultados mais relevantes.

A partir das diferentes simulações, vários cursos d'água foram identificados e estudados, calculando-se as profundidades e velocidades máximas. Alguns deles fluem por diferentes bordas do local do projeto, enquanto outros atravessam a própria instalação.

Dentro da instalação, as variações de profundidade e velocidade são bastante amplas, dependendo do curso d'água. No entanto, é importante observar que, mesmo nos cursos d'água menores, foram detectadas altas velocidades (acima de 2 m/s para 500 anos).

As próximas figuras mostram os resultados obtidos para o período de retorno de 100 anos.

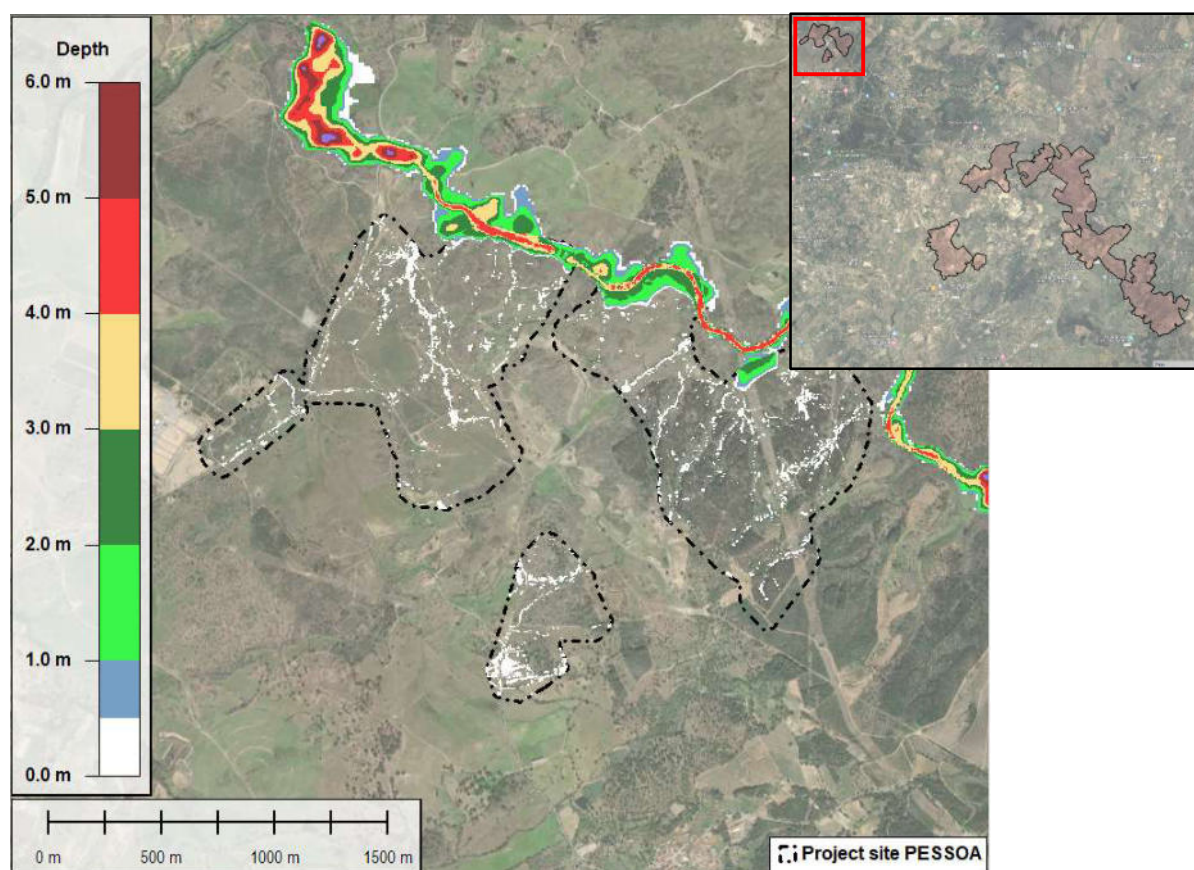


Figura 30 – Profundidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

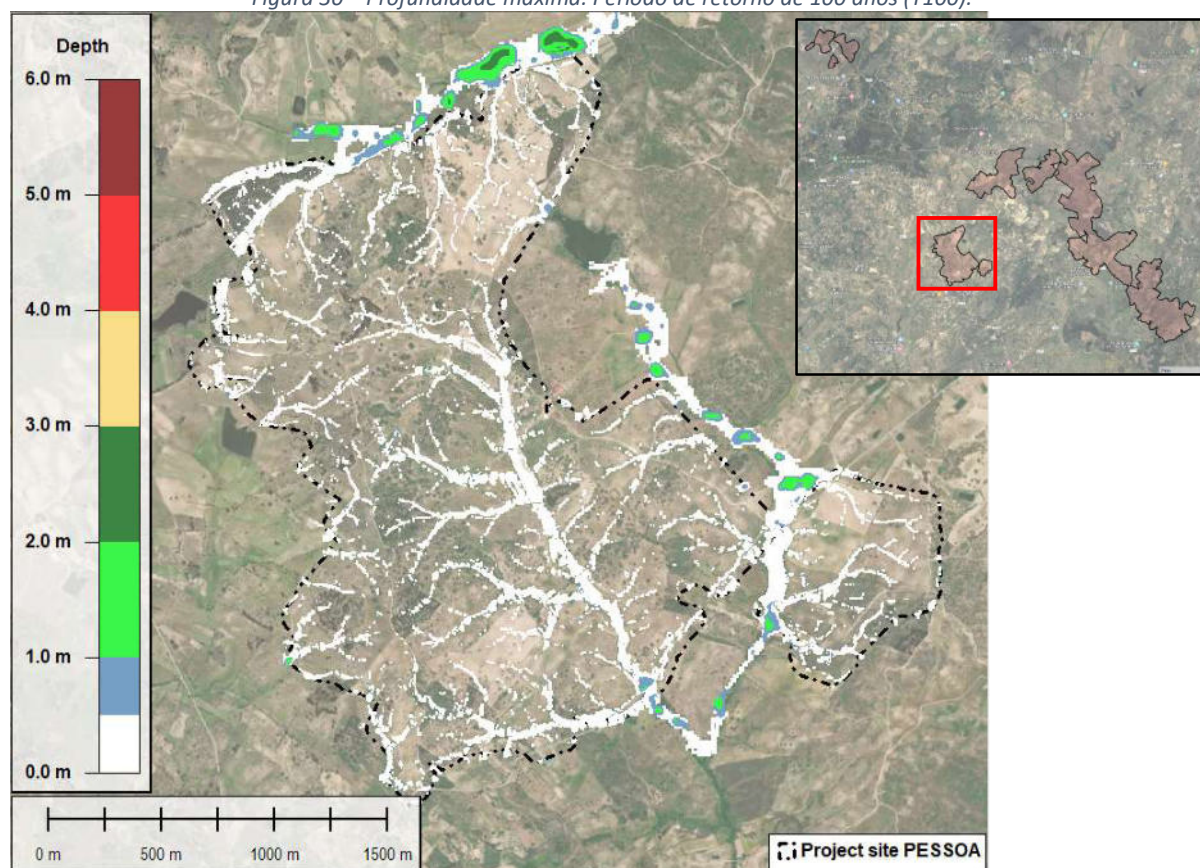


Figura 31 – Profundidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

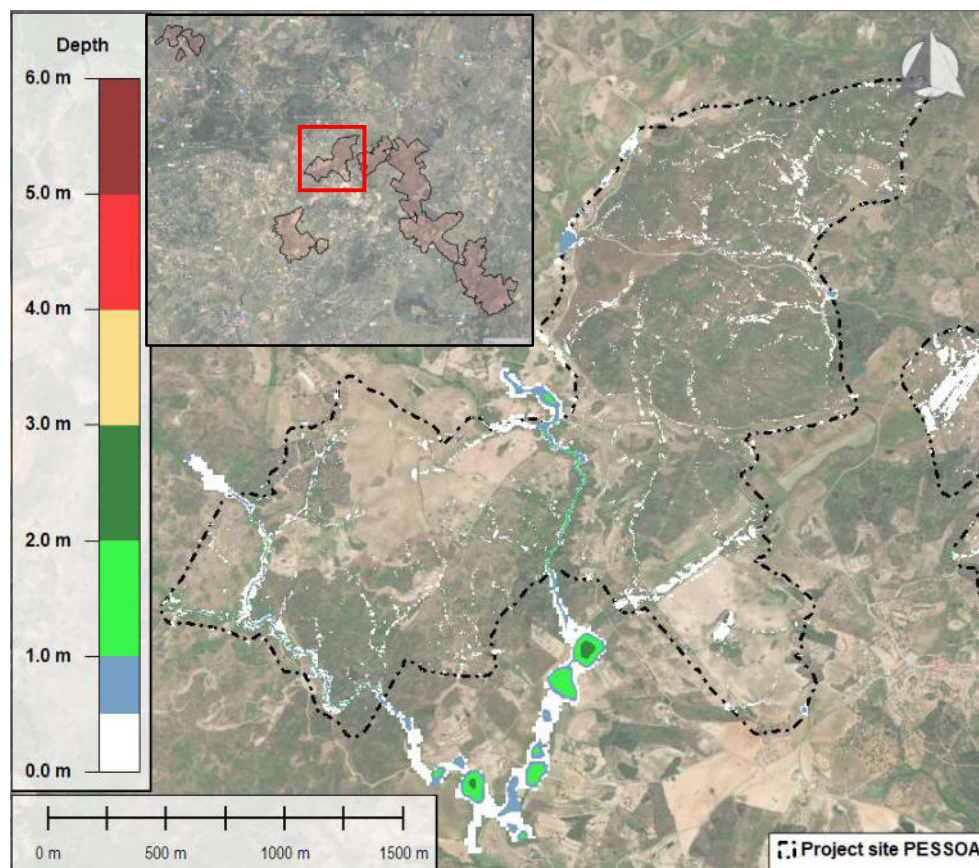


Figura 32 – Profundidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

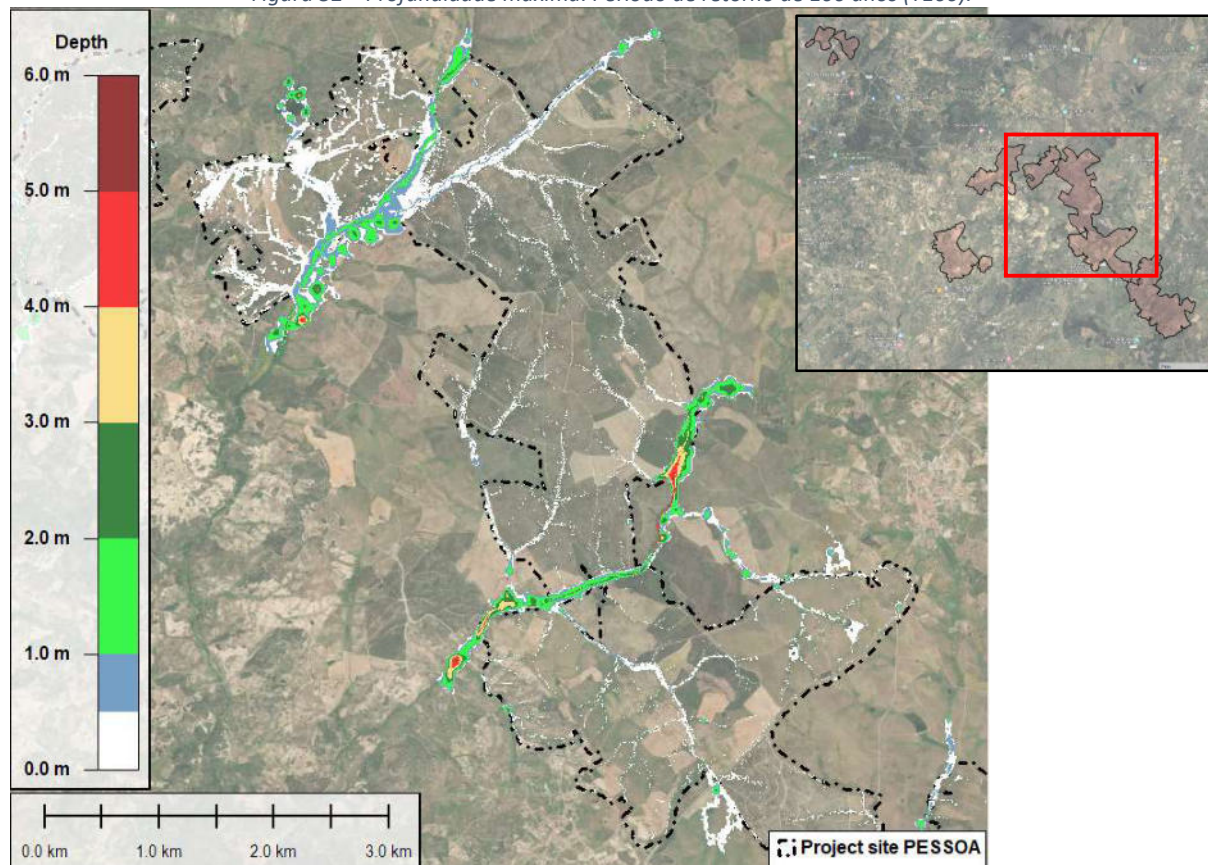


Figura 33 – Profundidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

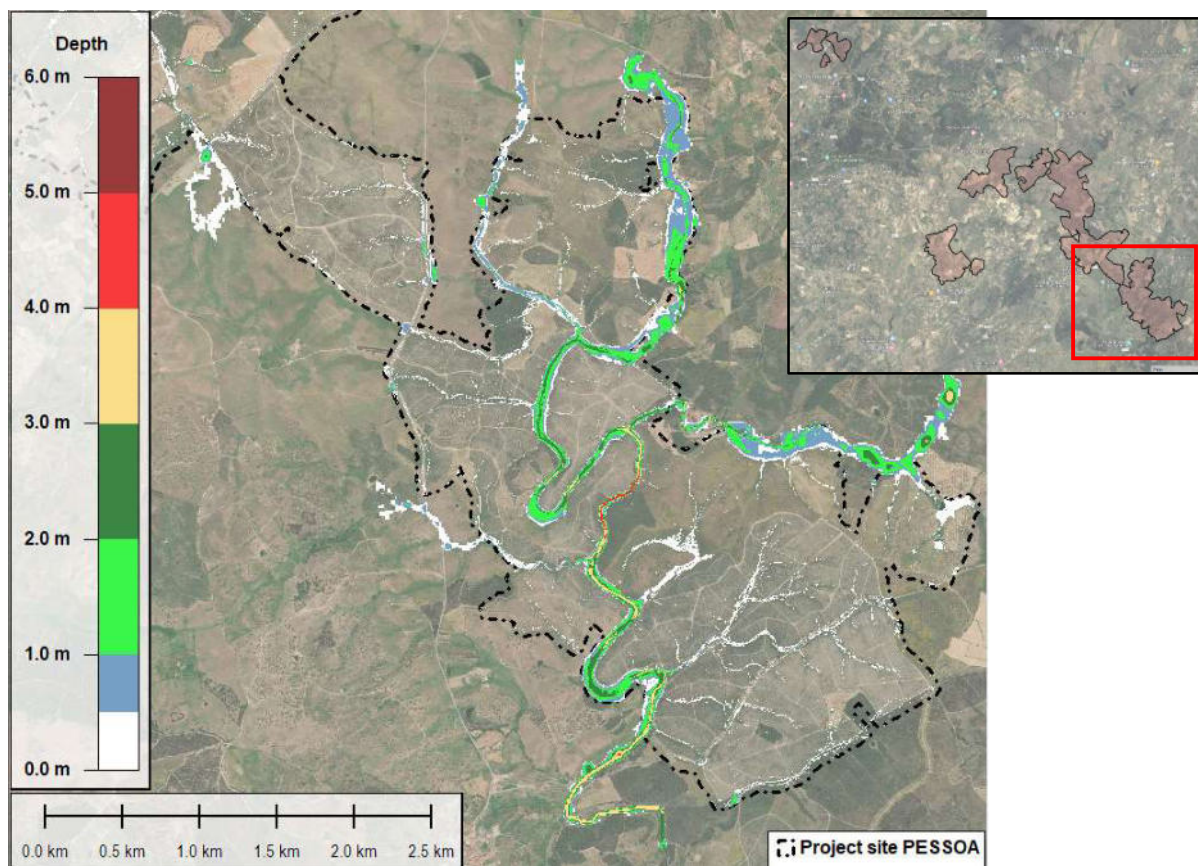


Figura 34 – Profundidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

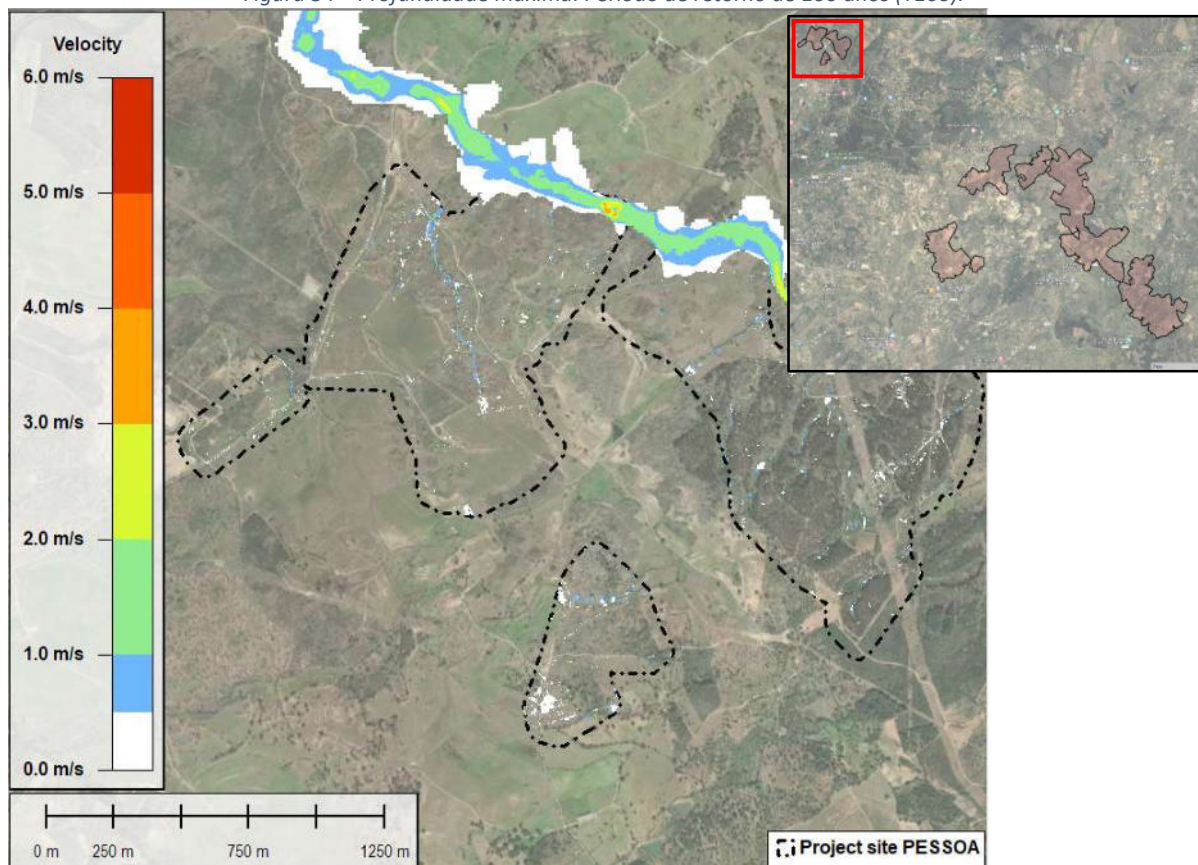


Figura 35 – Velocidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

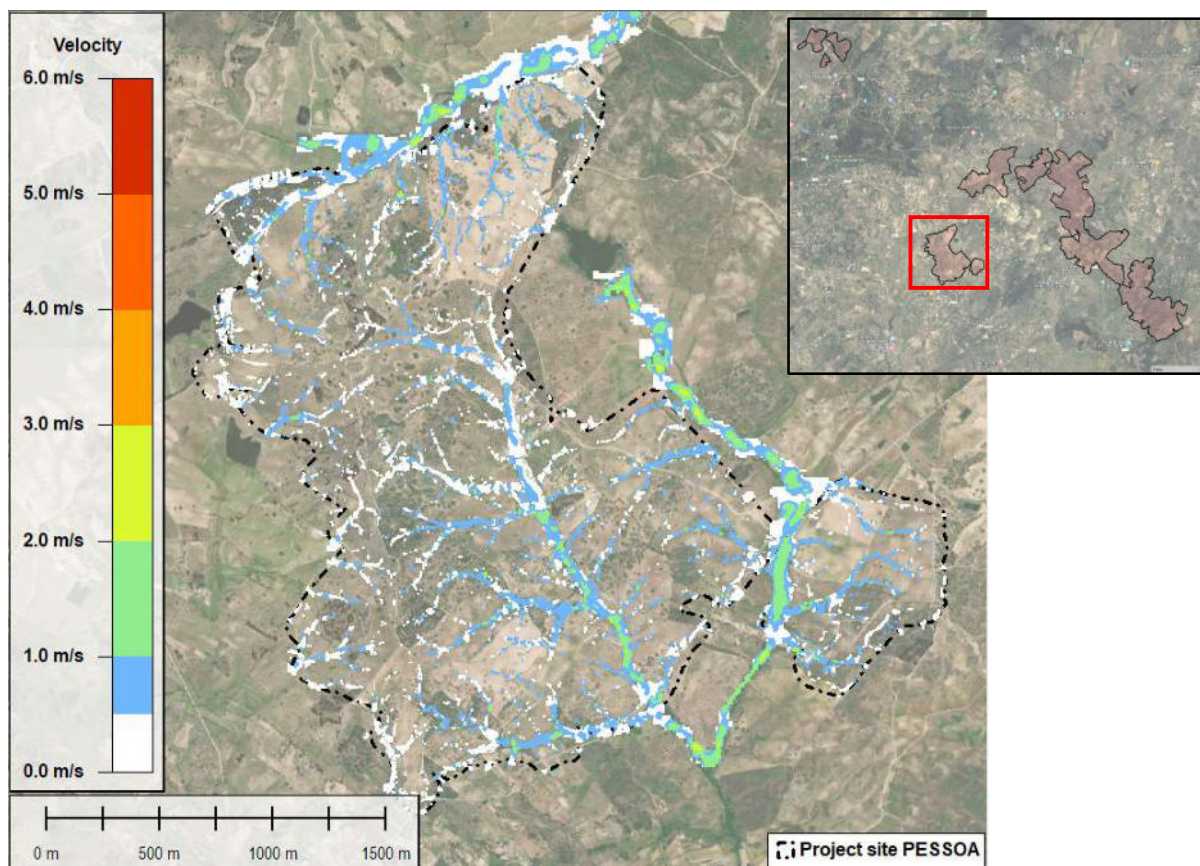


Figura 36 – Velocidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

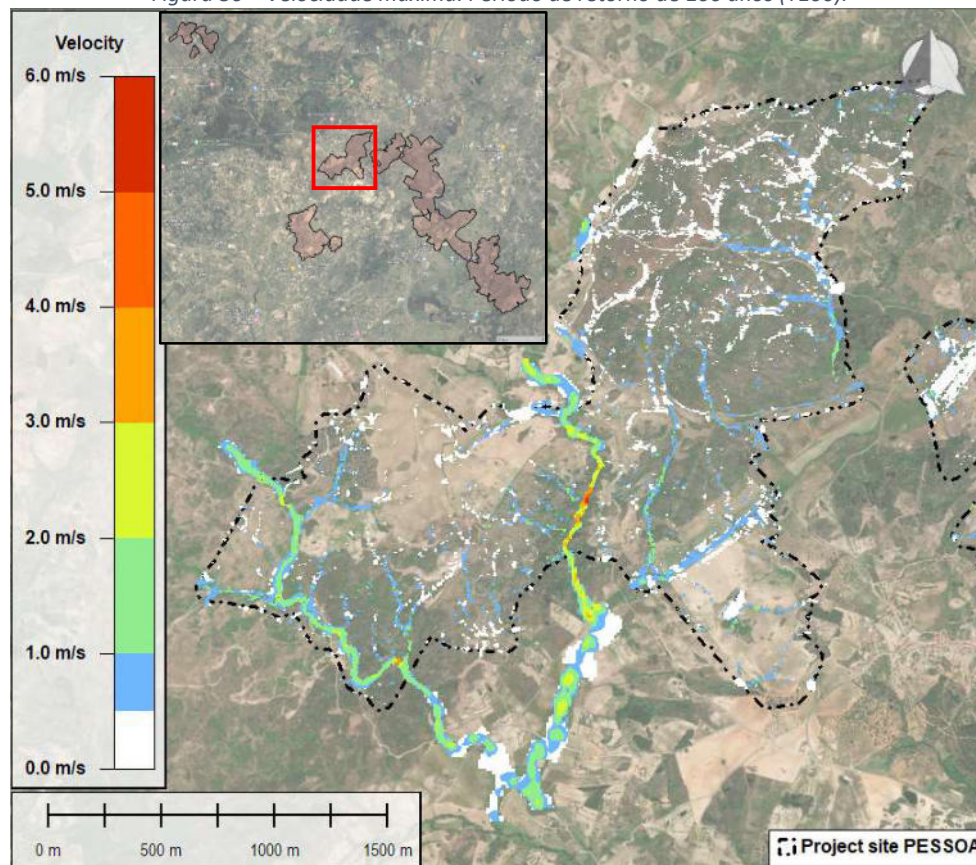


Figura 37 – Velocidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

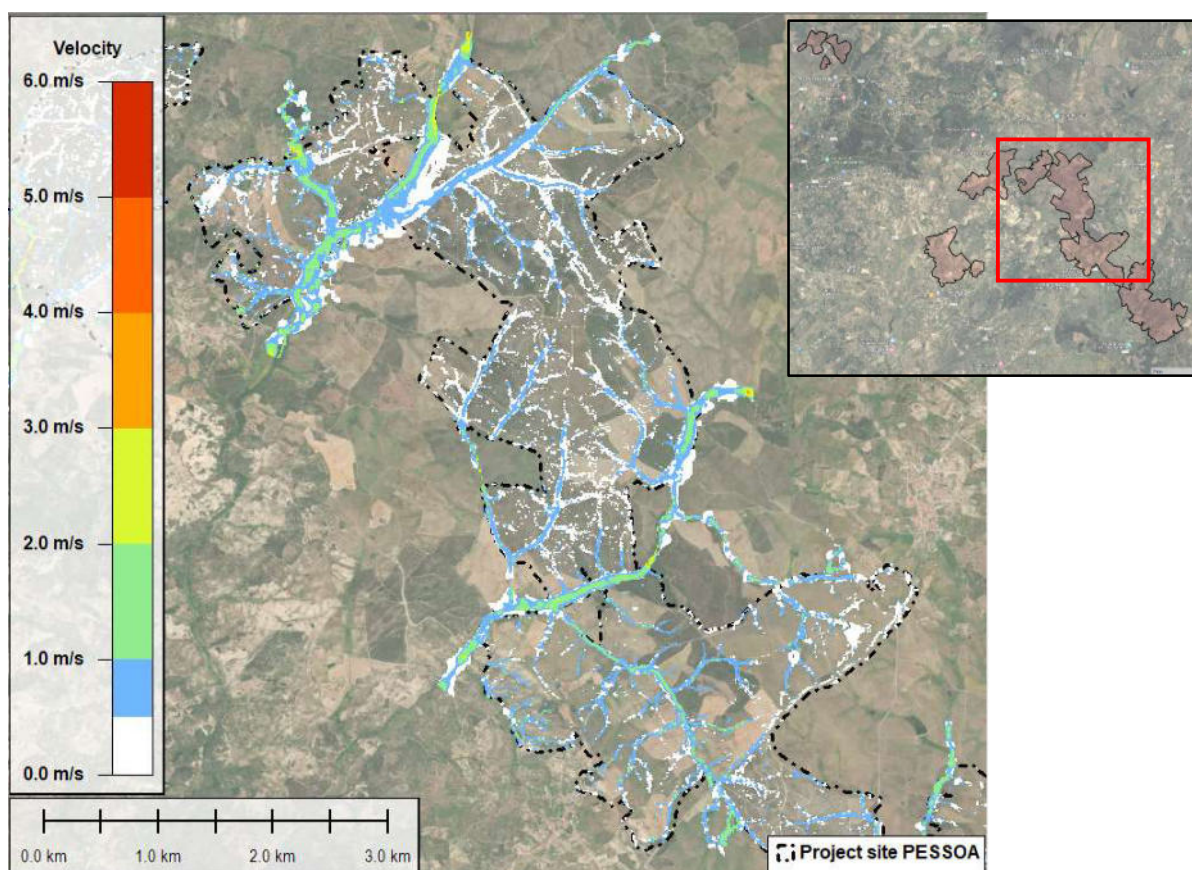


Figura 38 – Velocidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

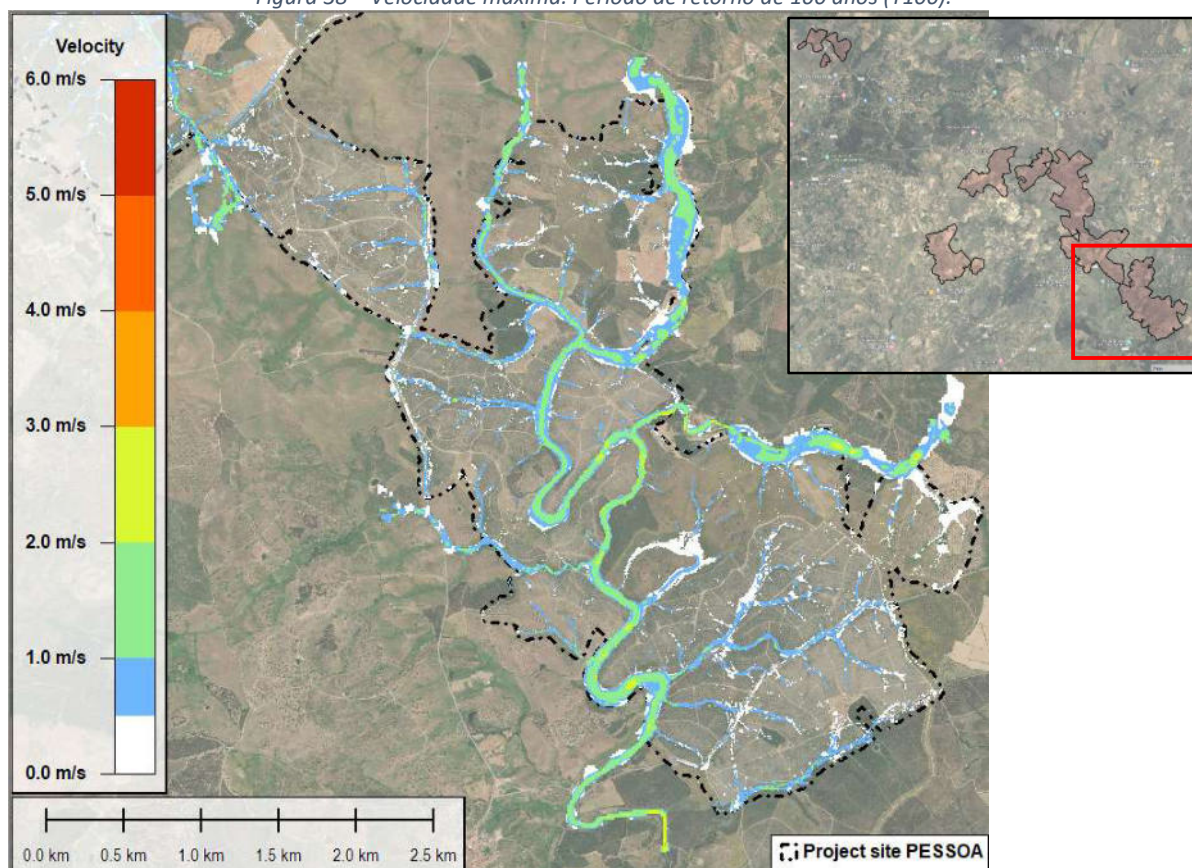


Figura 39 – Velocidade máxima. Período de retorno de 100 anos (T100).

O período de retorno de 100 anos é analisado para encontrar a Área de Risco de Inundação (SFHA - Significant Flood Hazard Area) para pessoas e propriedades, definida como a área onde está presente pelo menos uma das seguintes condições:

- Profundidade > 1 m.
- Velocidade > 1m/s.
- Produto da Profundidade pela Velocidade > 0.5 m²/s.

Os resultados indicam que os principais cursos d'água das sub-bacias estudadas atendem às condições necessárias para serem considerados como Área de Risco de Inundação (Flood Hazard Area).

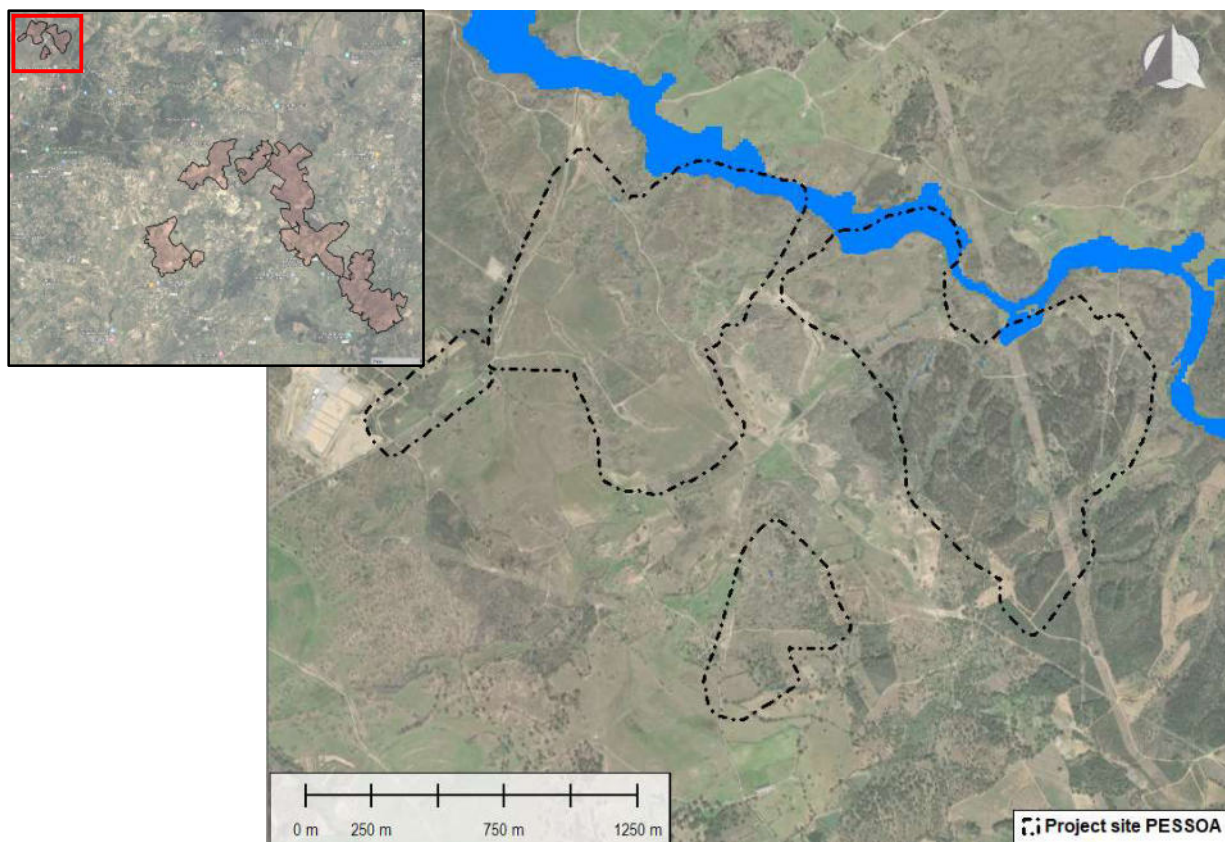


Figura 40 Área de Risco de Inundação (Significant Flood Hazard Area - SFHA).

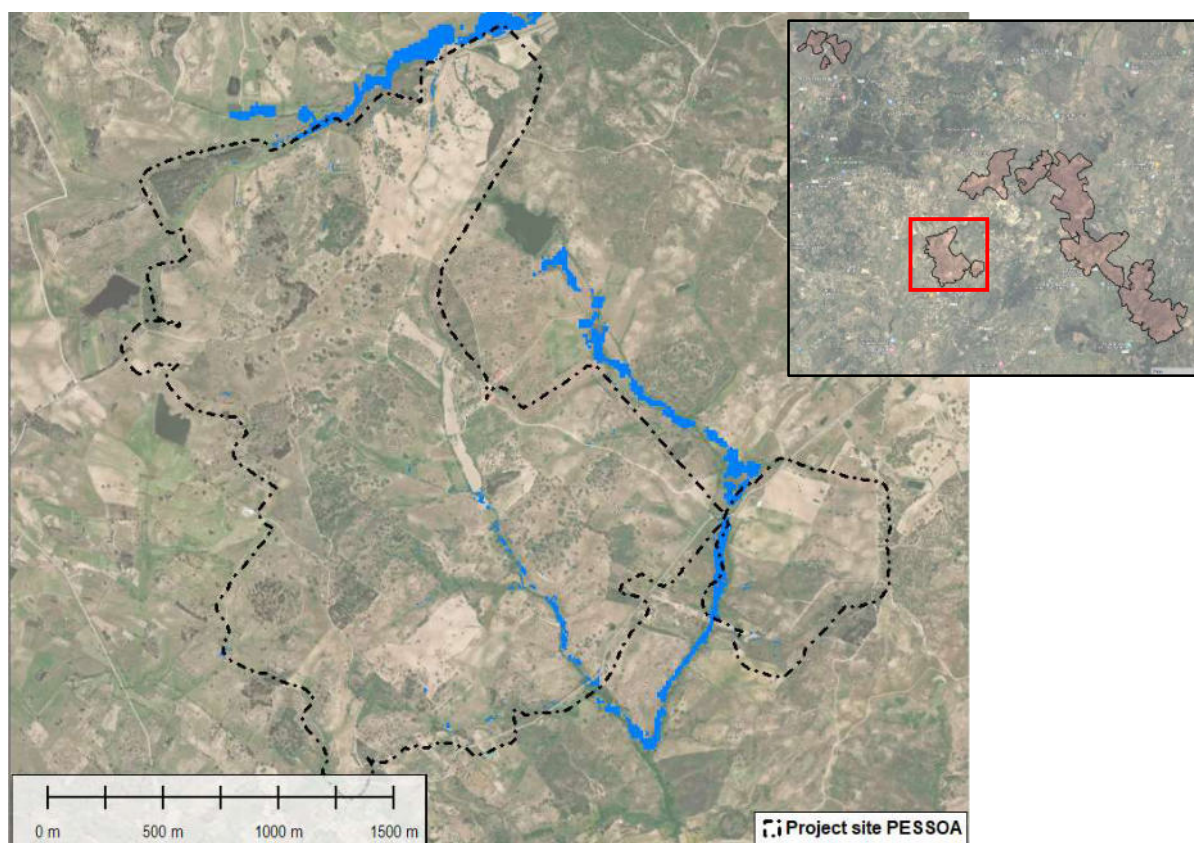


Figura 41 - Área de Risco de Inundação (Significant Flood Hazard Area - SFHA).

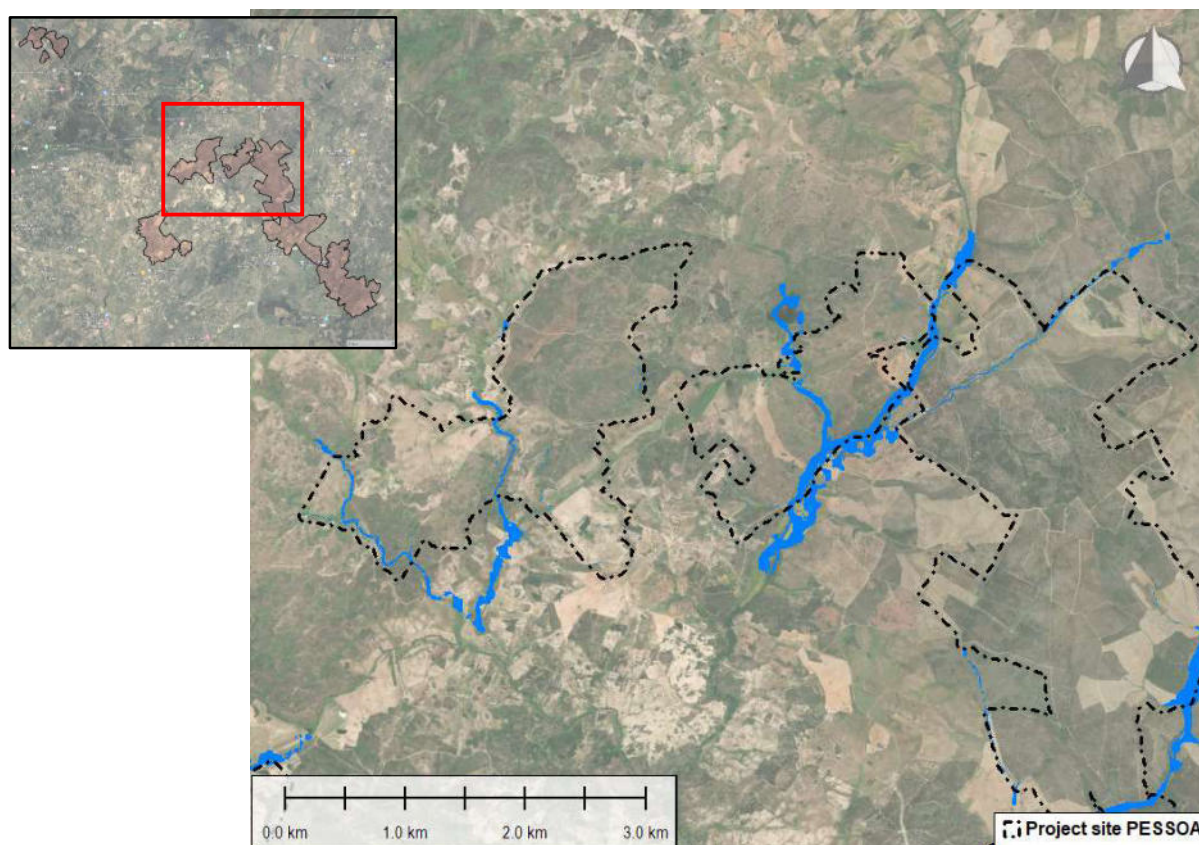


Figura 42 - Área de Risco de Inundação (Significant Flood Hazard Area - SFHA).

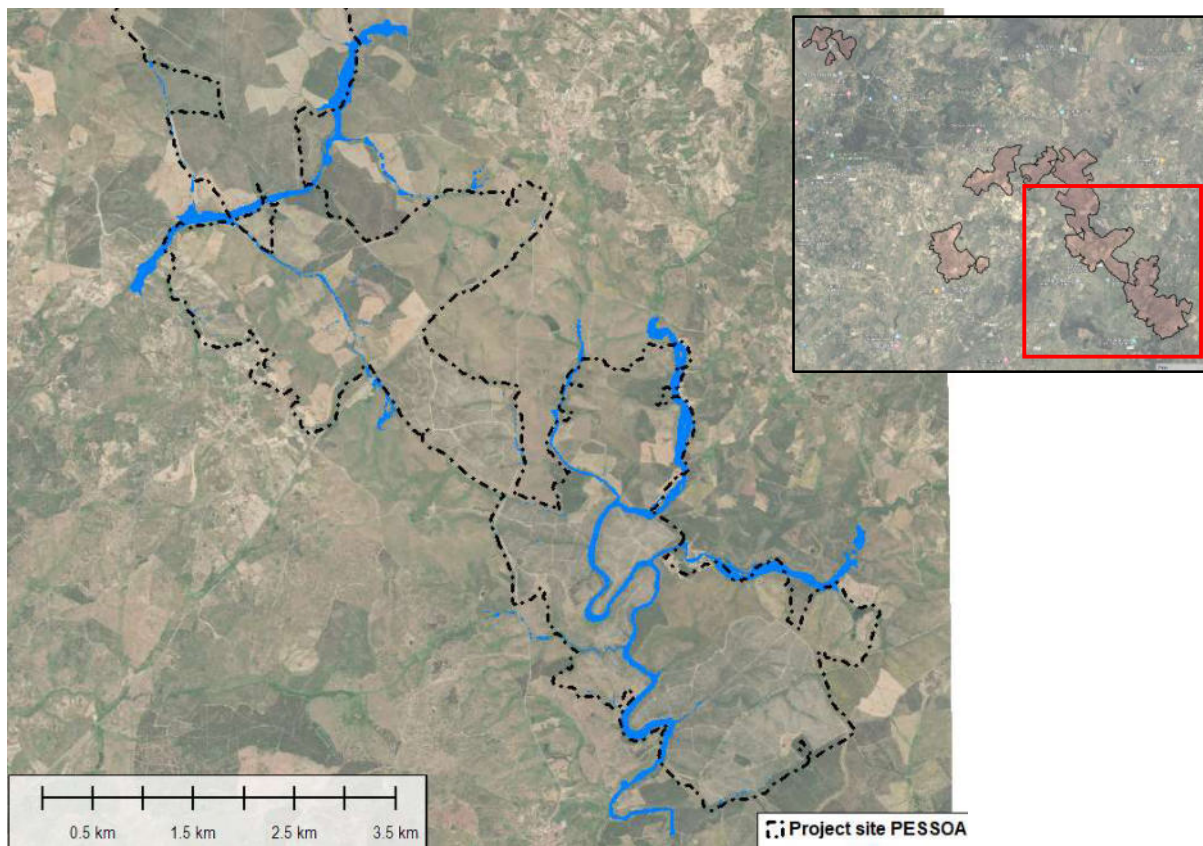


Figura 43 - Área de Risco de Inundação (Significant Flood Hazard Area - SFHA).

Finalmente, as vazões do escoamento superficial são identificadas como aquelas linhas de água que cumprem, para o período de retorno de 100 anos ($T_r=100$ anos), pelo menos uma das seguintes condições:

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

Para os cursos d'água mais estreitos, foi desenhada uma faixa de 20 metros.

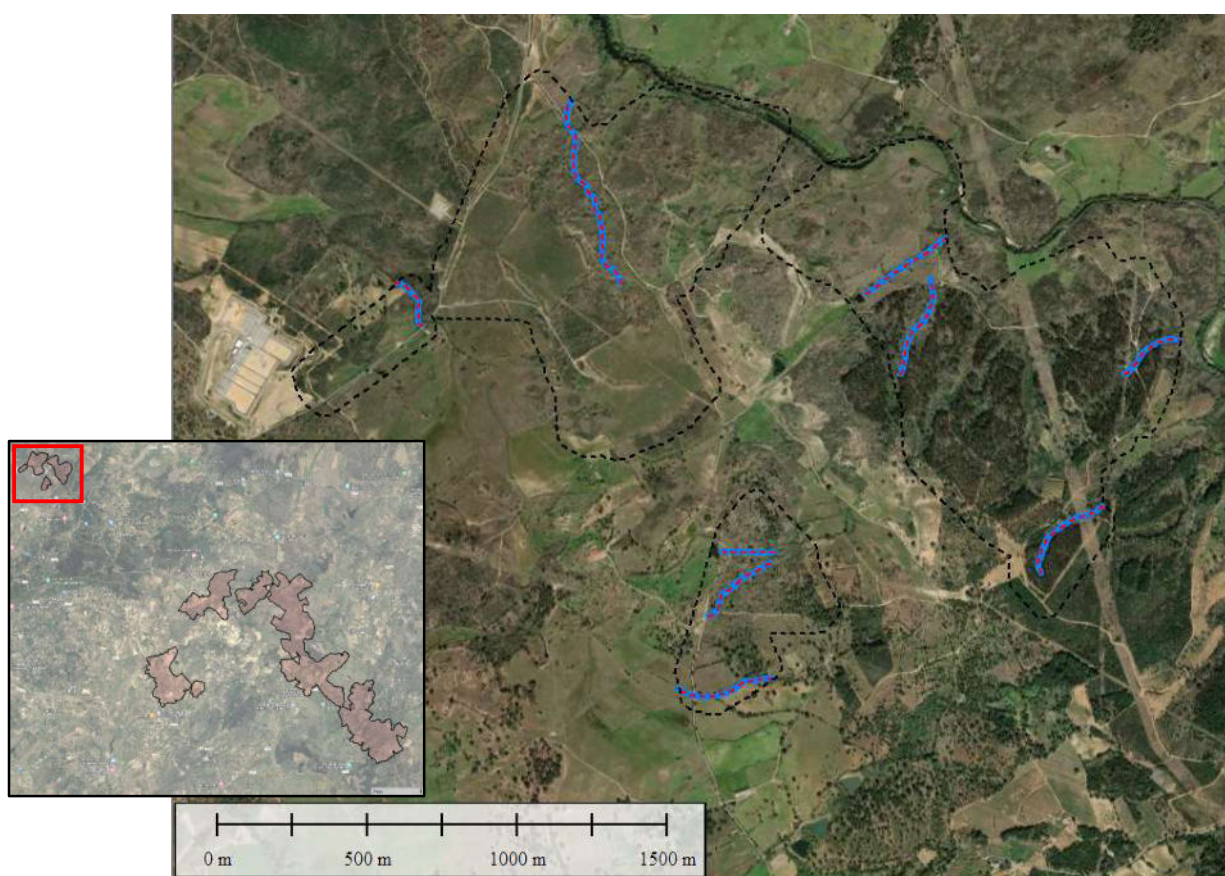


Figura 44 – Cursos d'água.

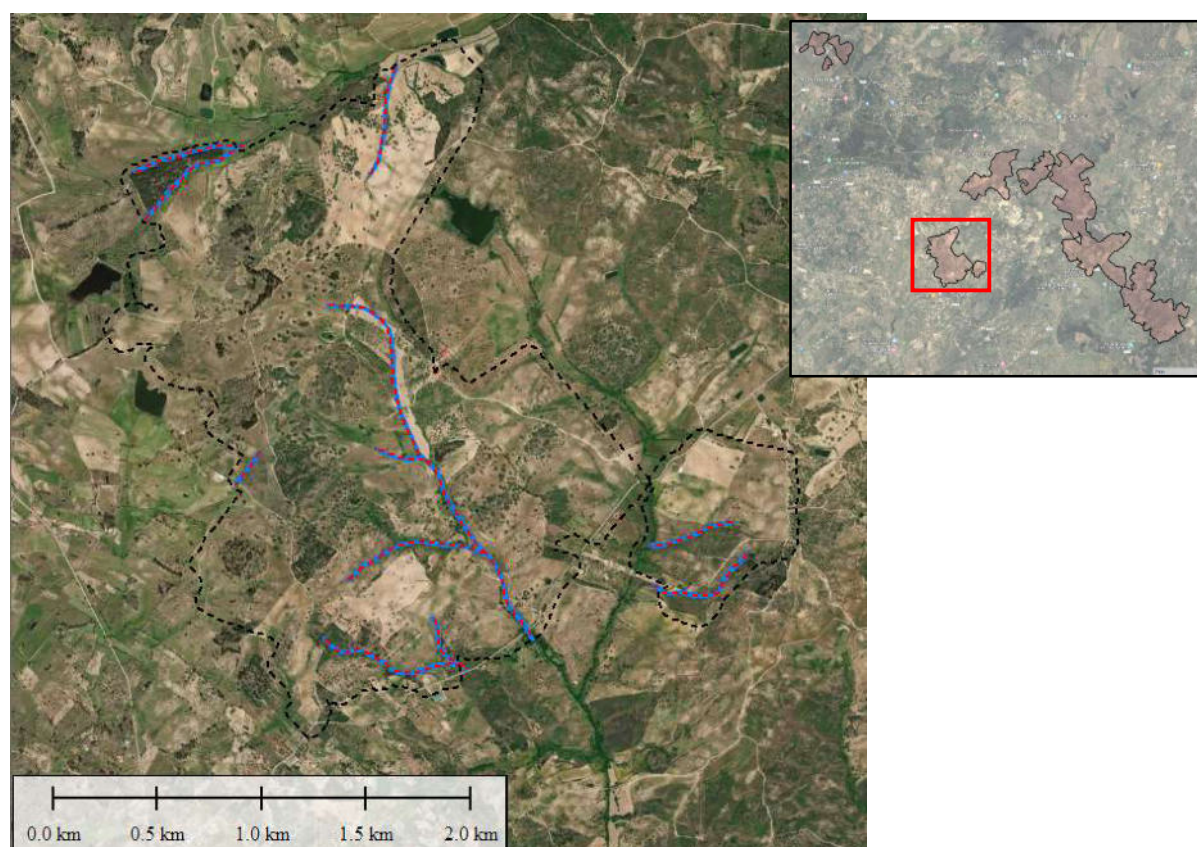


Figura 45 – Cursos d'água.

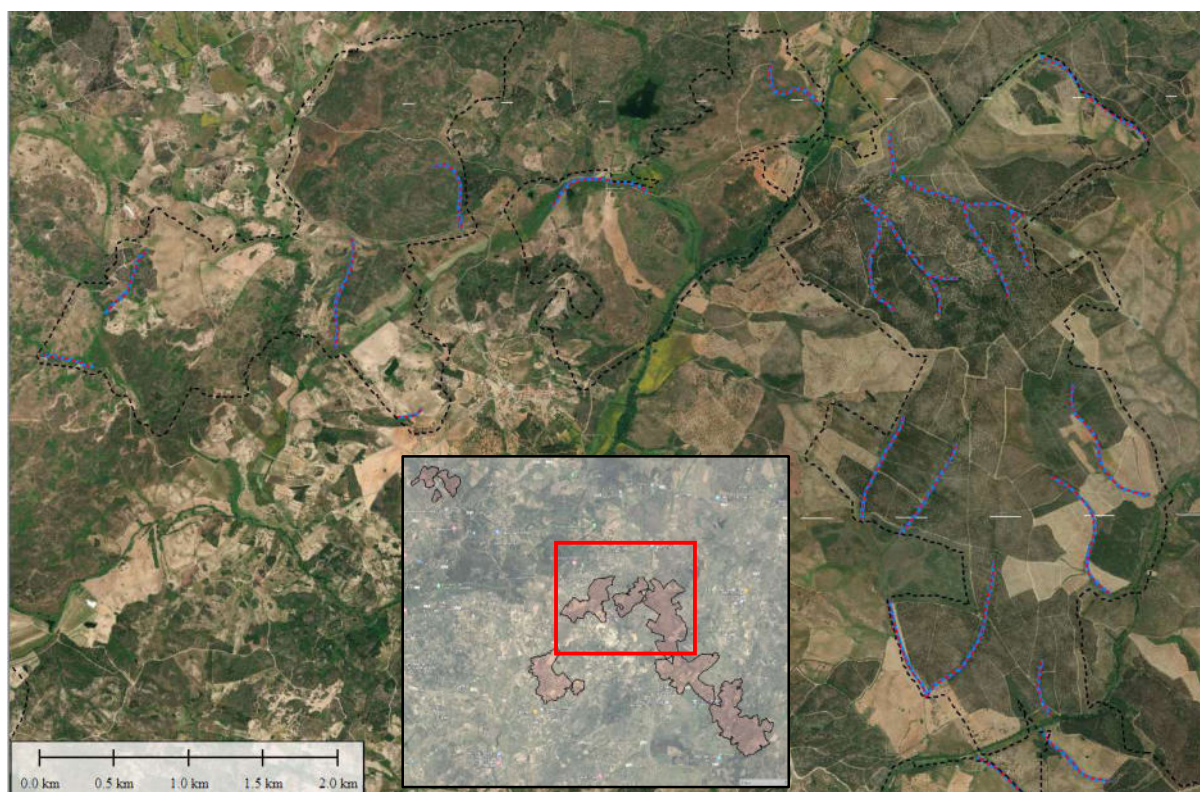


Figura 46 – Cursos d'água.

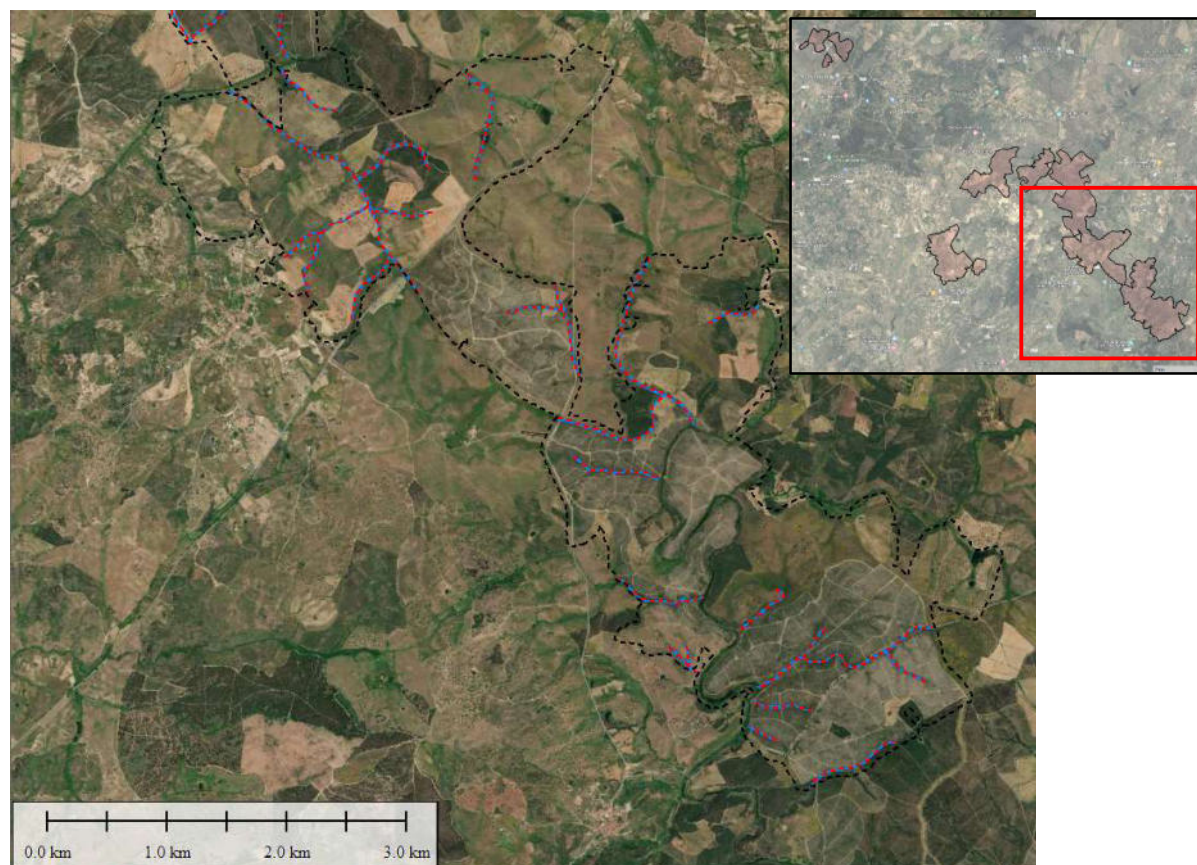


Figura 47 – Cursos d'água.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após a criação de um modelo hidrológico-hidráulico, as conclusões obtidas são as seguintes:

- O local do projeto é afetado por vários cursos d'água, que variam de rios a pequenos córregos.
- As velocidades dentro da instalação são altas para os maiores períodos de retorno, e um sistema de drenagem adequado pode ser projetado para controlar os potenciais processos de erosão.
- Os cursos d'água principais podem ser considerados como Área de Risco de Inundação (SFHA).
- Os cursos d'água foram definidos como aquelas linhas de água onde, para o período de retorno de 100 anos ($T_r=100$ anos), são atingidas profundidades superiores a 25 cm ou velocidades superiores a 1 m/s.

Portanto, pode-se afirmar o seguinte:

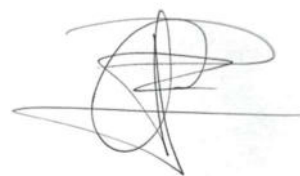
Levando em consideração o estudo hidrológico realizado e os critérios expostos, é recomendado evitar, nas áreas com risco de erosão, a instalação de módulos ou qualquer outro edifício ou elemento que possa bloquear o escoamento superficial da água pluvial.

Considerando a "Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro", que define a titularidade dos recursos hídricos, é sugerido considerar como Domínio Público Hídrico os cursos d'água que têm origem fora das parcelas de construção, conforme mostrado nas figuras 46-49, onde a instalação de módulos e edifícios não deve ser permitida em uma faixa de 10 m de ambos os lados das linhas de água.

Para as linhas de água dentro das parcelas de construção, nas quais o proponente possui direitos de exploração, elas não são legalmente definidas como Domínio Público Hídrico nos termos da "Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro", com sua última modificação pela "Lei n.º 31/2016, de 23 de agosto". Essa lei define, entre outras coisas, como Domínios Públicos Hídricos, os "Cursos de água não navegáveis nem fluviáveis 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 acima mencionado e dependendo dos resultados obtidos neste estudo, é recomendado [1] que nas linhas de água em que a altura do escoamento superficial e/ou a área de inundação correspondente e a velocidade do fluxo para um período de retorno de 100 anos forem significativas (altura do fluxo maior que 25 cm ou velocidade do fluxo maior que 1 m/s), seja respeitada a faixa legalmente definida como Domínio Público Hídrico, portanto, a distância de 10 m das margens dessas linhas de água deve ser preservada.

Sem prejuízo do acima mencionado, para as demais linhas de água de natureza privada e que não sejam consideradas significativas, é recomendado proibir a sobreposição de infraestrutura de subestação, unidades de armazenamento e estações transformadoras, a menos que sejam previstas medidas para mitigar o risco de erosão com base no projeto de drenagem.



Assinado: Pablo Castillo Falcón
Engenheiro Civil, Mestre
Registro Profissional N° 33792

ANEXO I: CURVAS DE NÚMERO 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 ^{1/}

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	88	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	75	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	C&T+ CR	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
	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
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T+ CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

^{1/} Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$
^{2/} Crop residue cover applies only if residue is on at least 5% 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	69	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.	—	59	74	82	86

^{1/} Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

^{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.

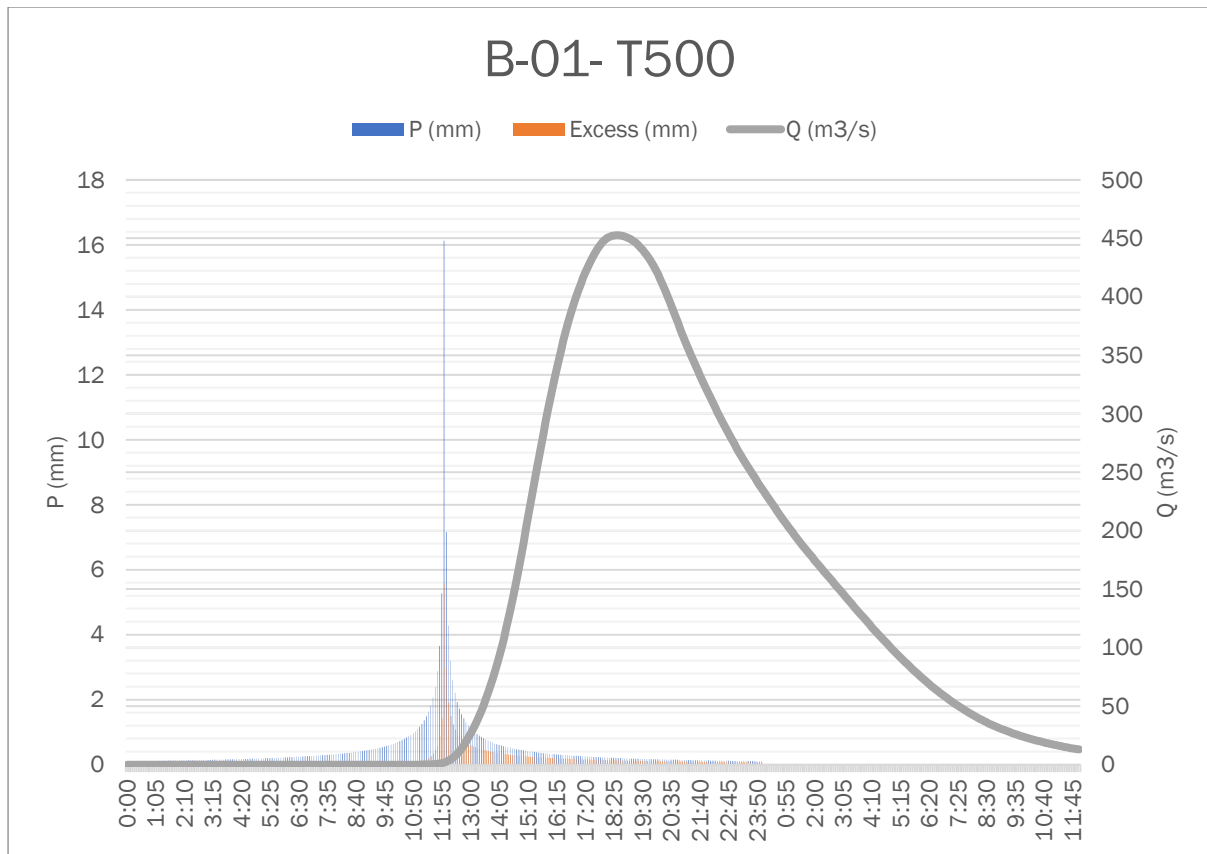
^{6/} **Poor:** Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

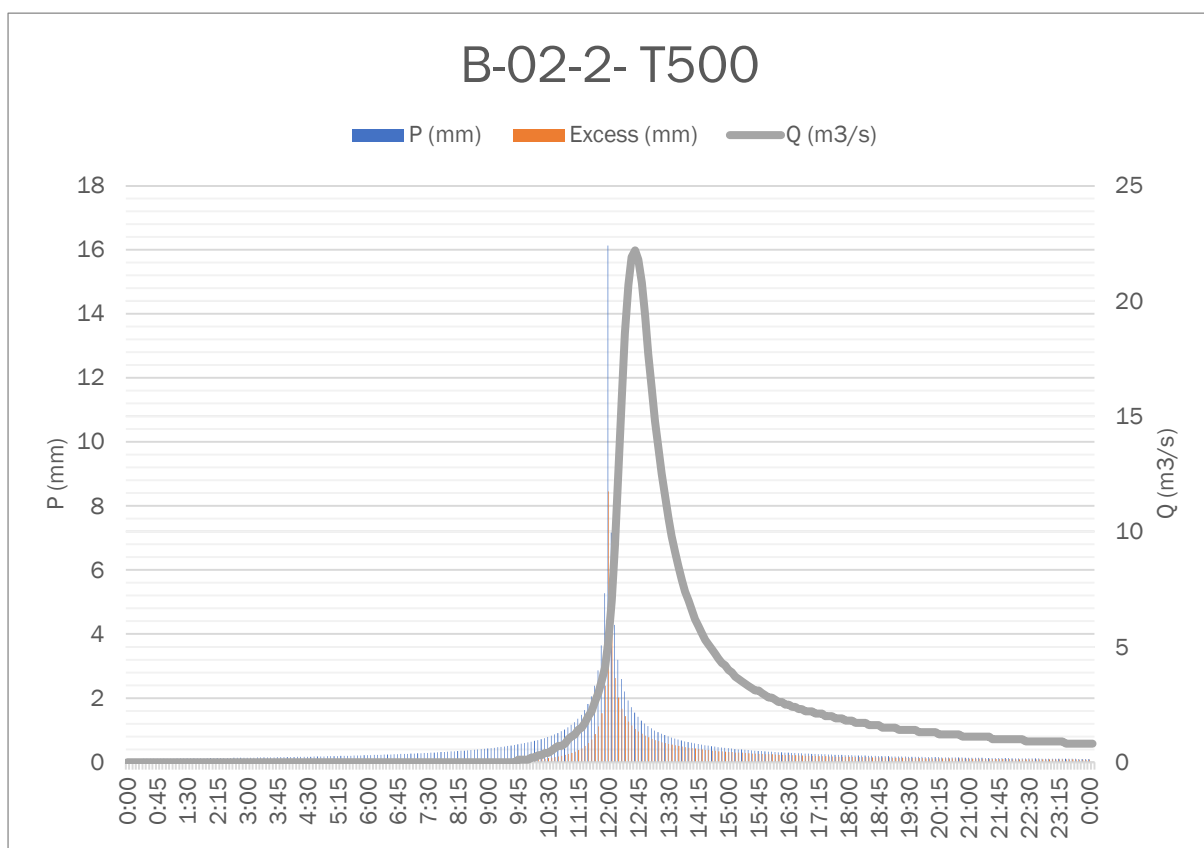
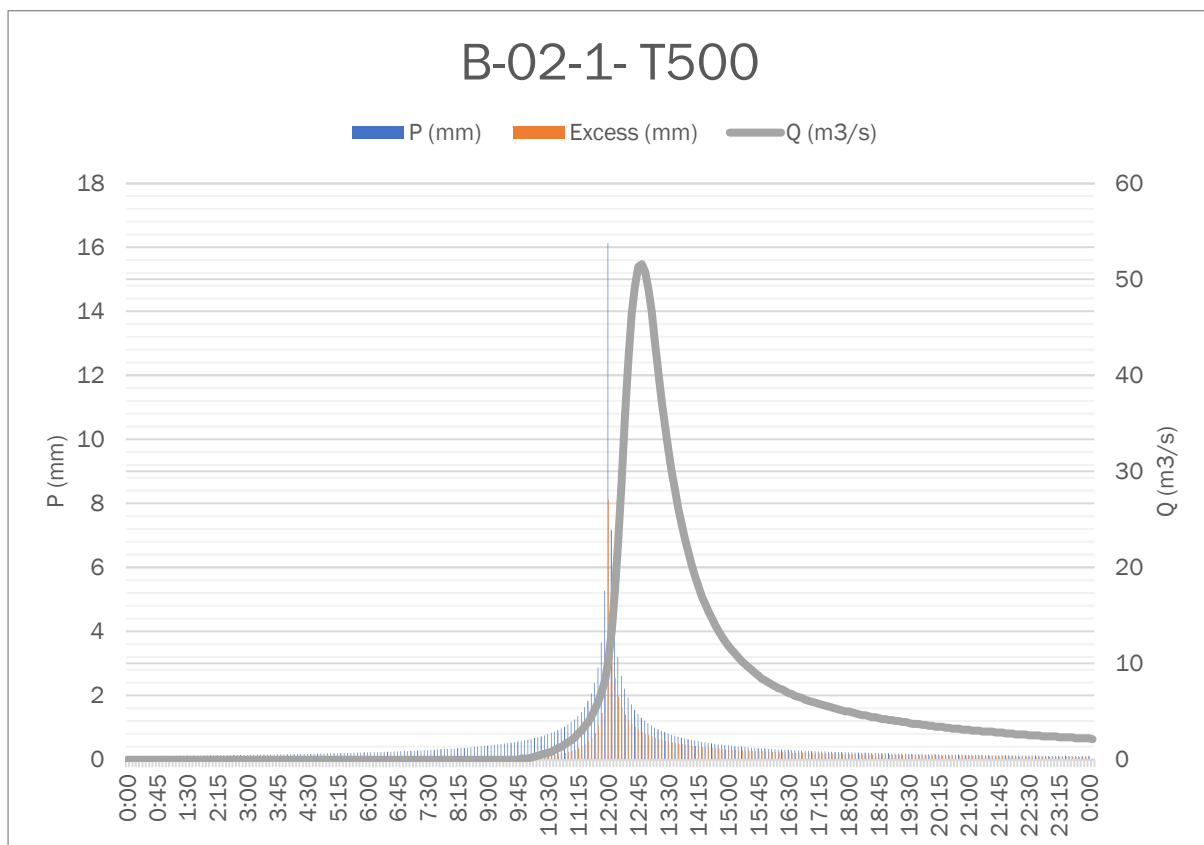
Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.

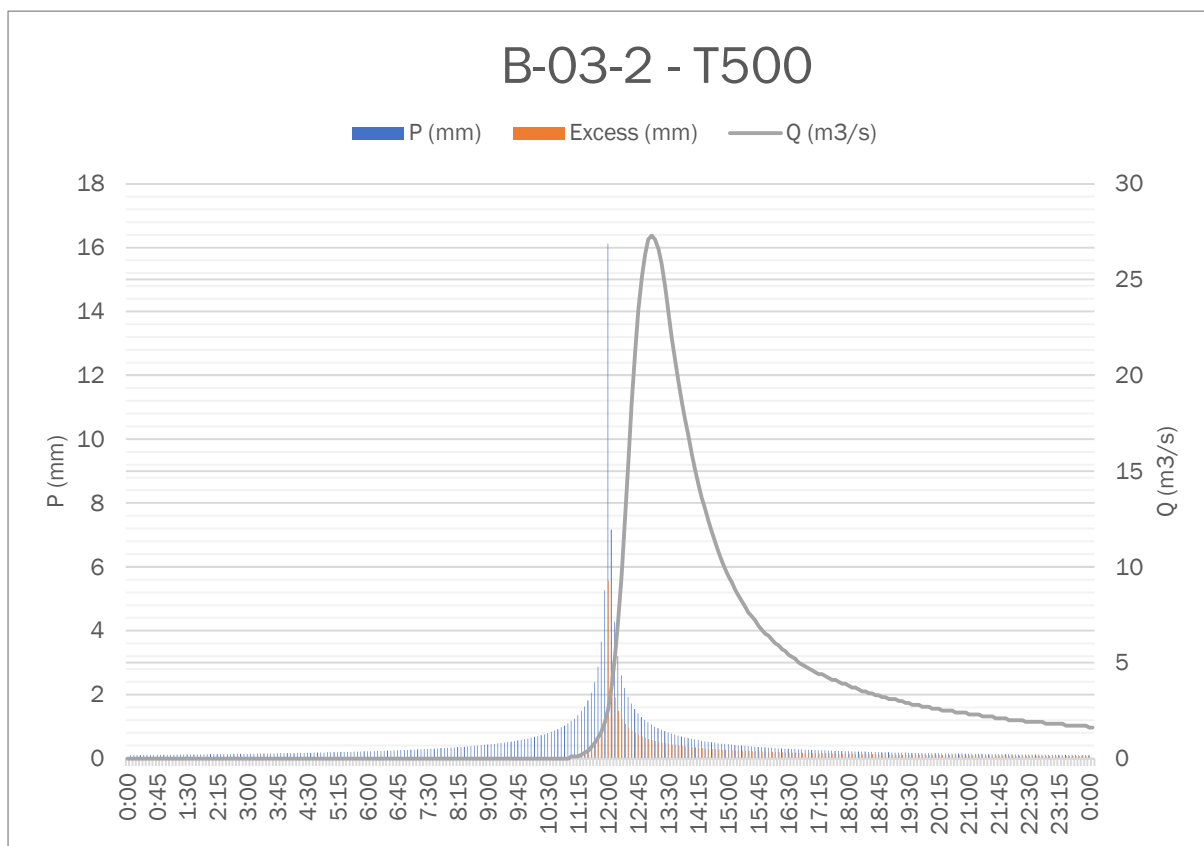
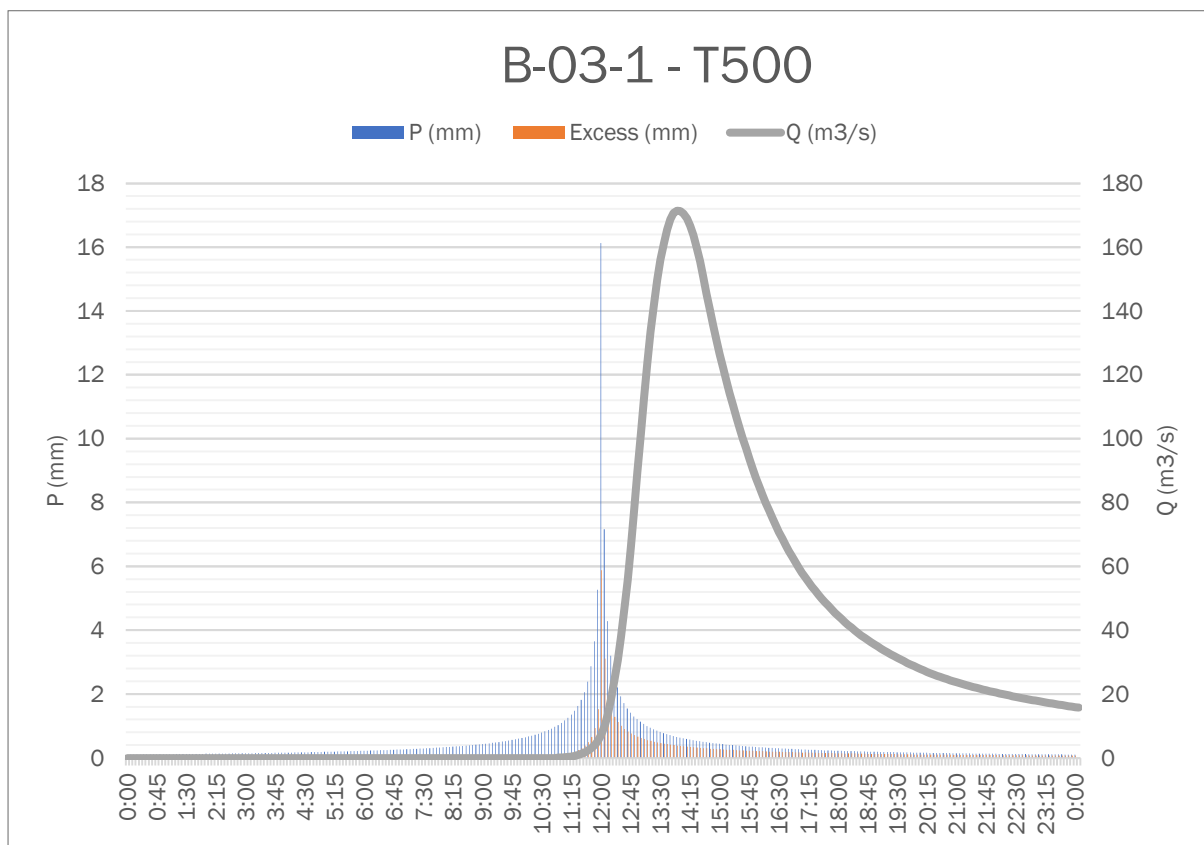
Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

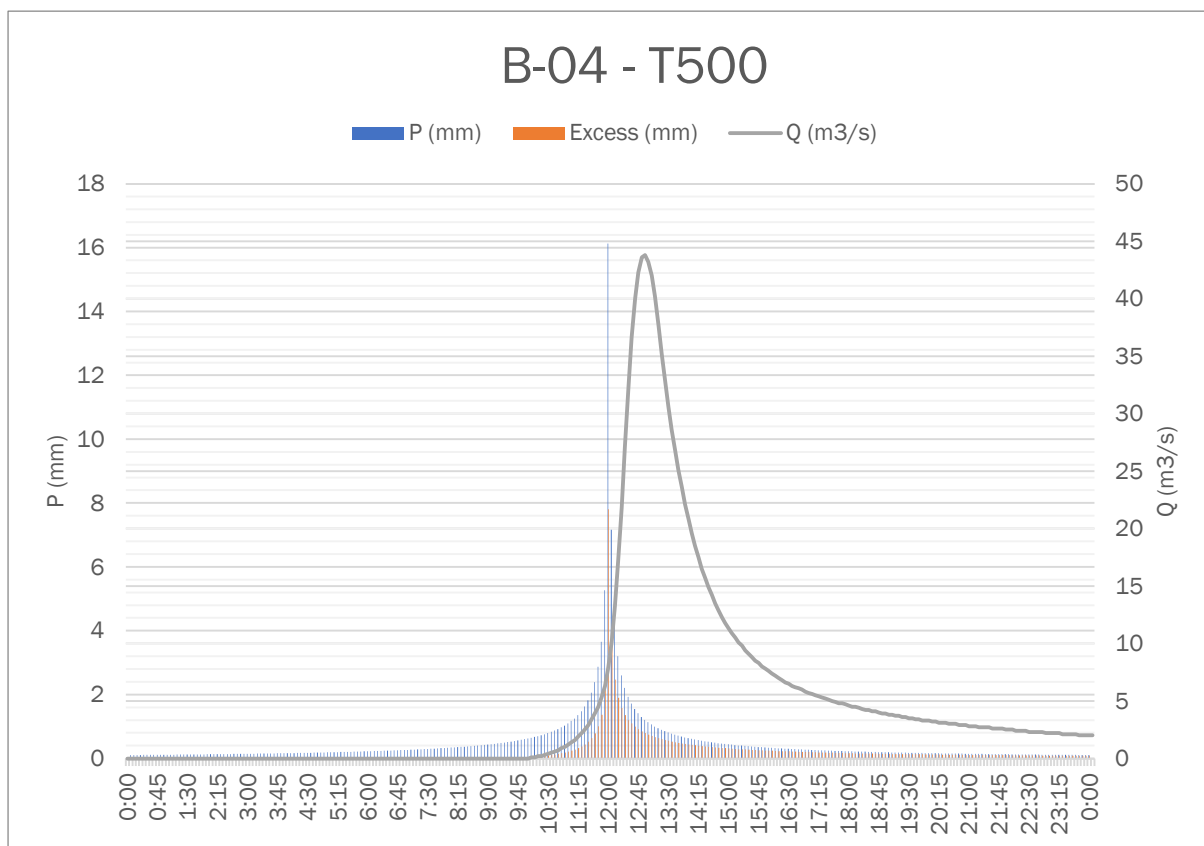
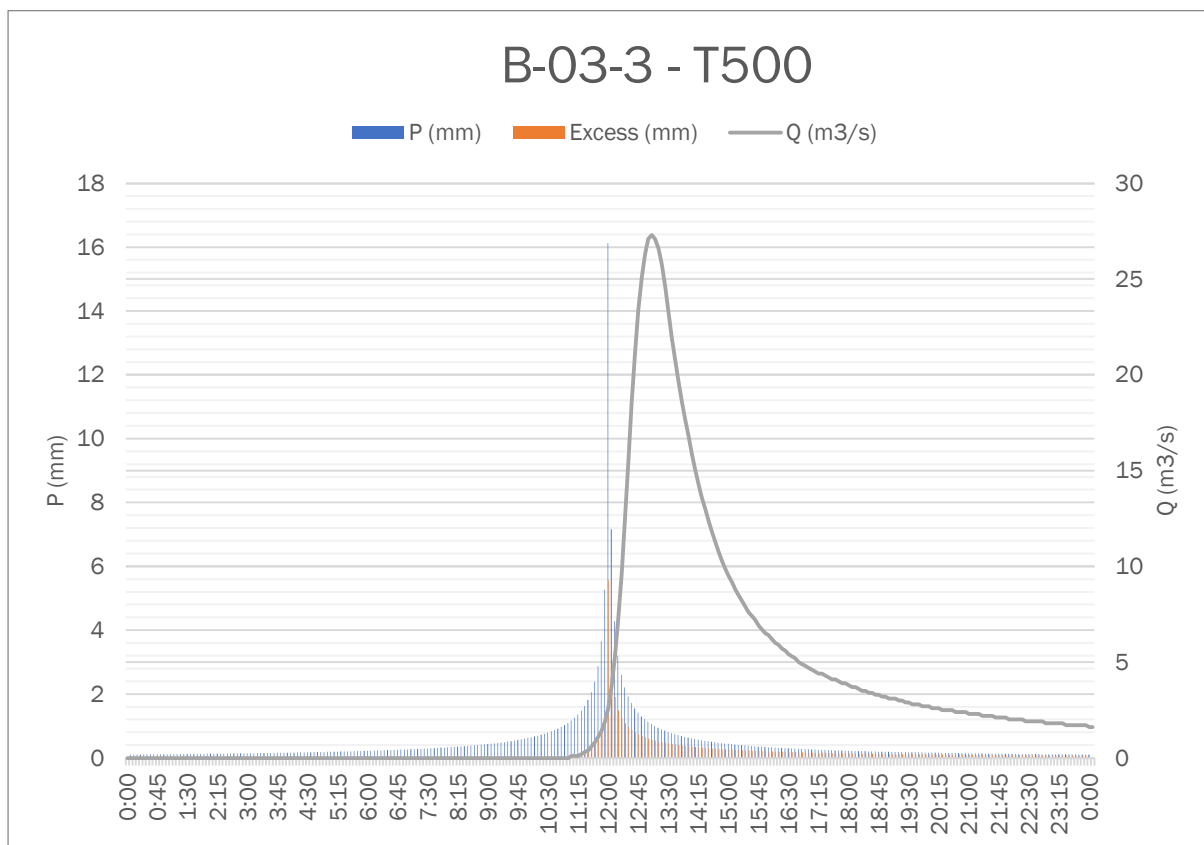
ANEXO II: HETOGRAFIAS E HIDROGRAMAS

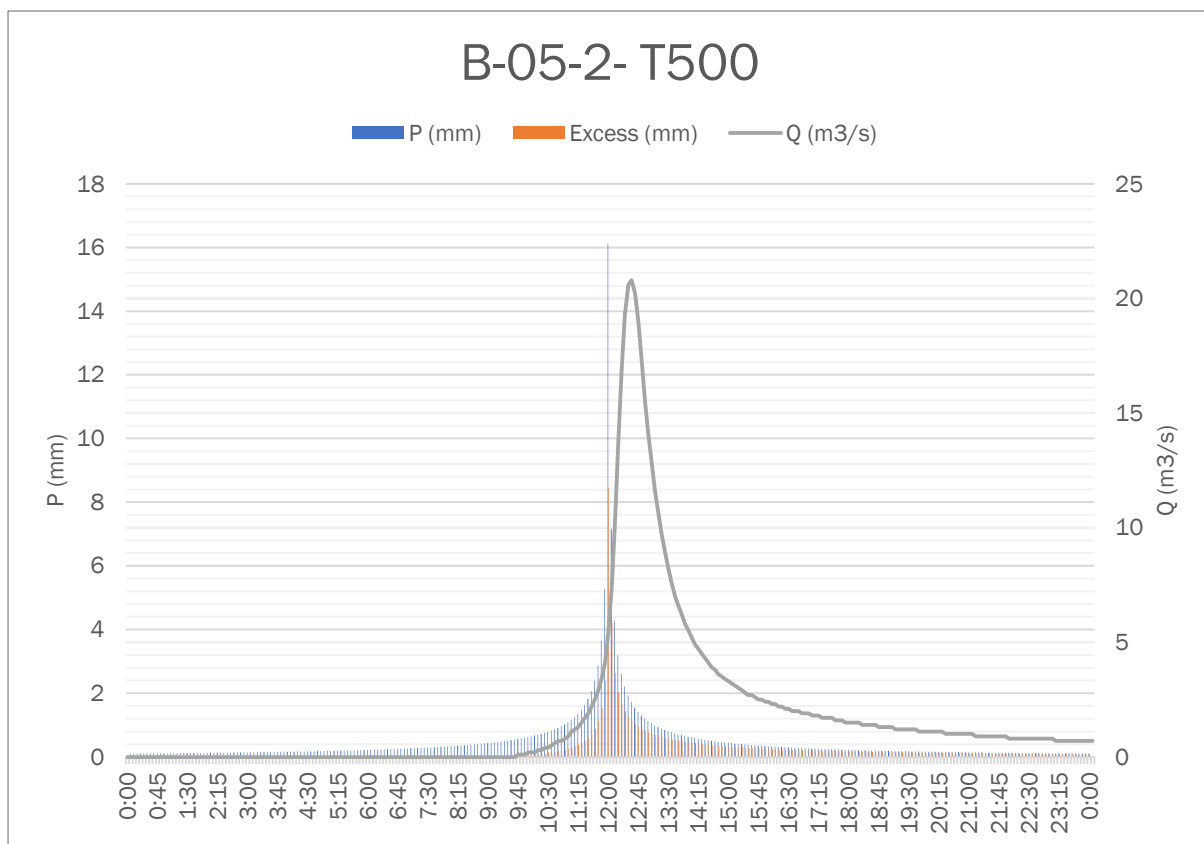
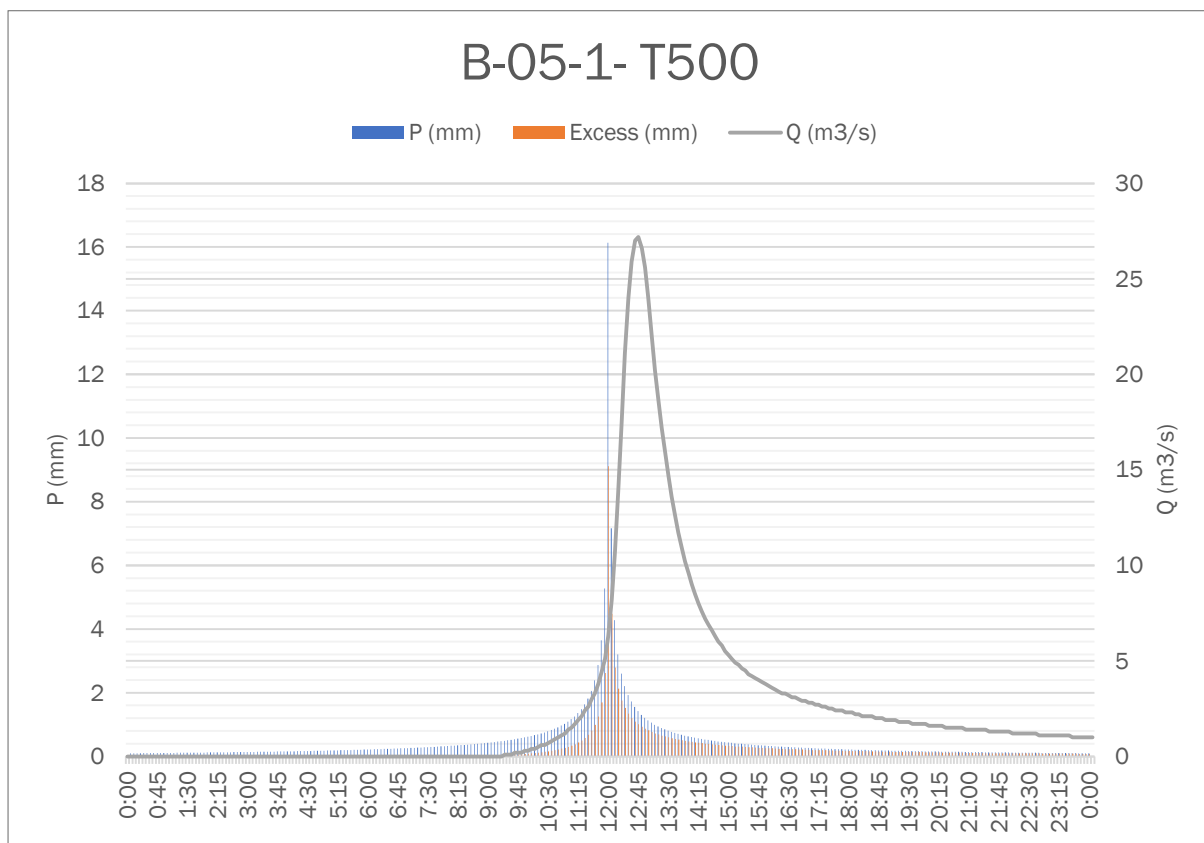
PERÍODO DE RETORNO DE 500 ANOS

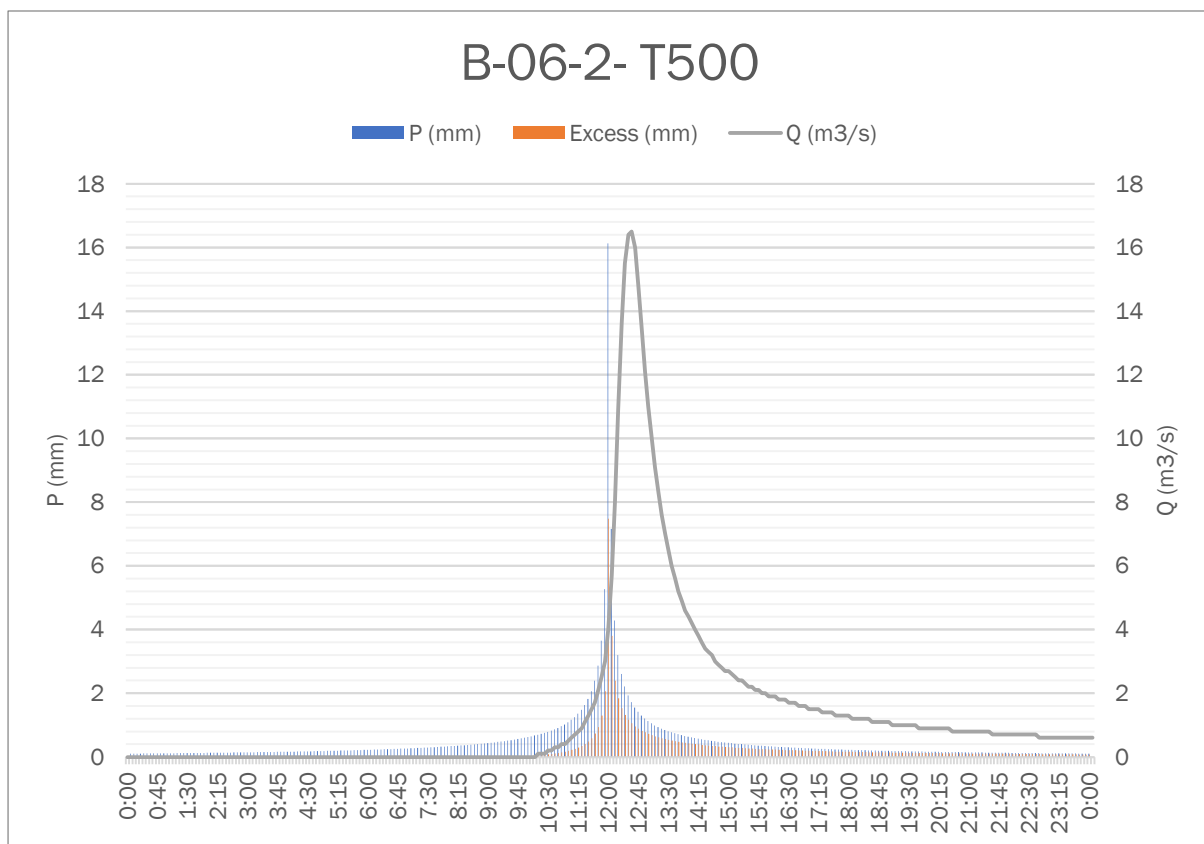
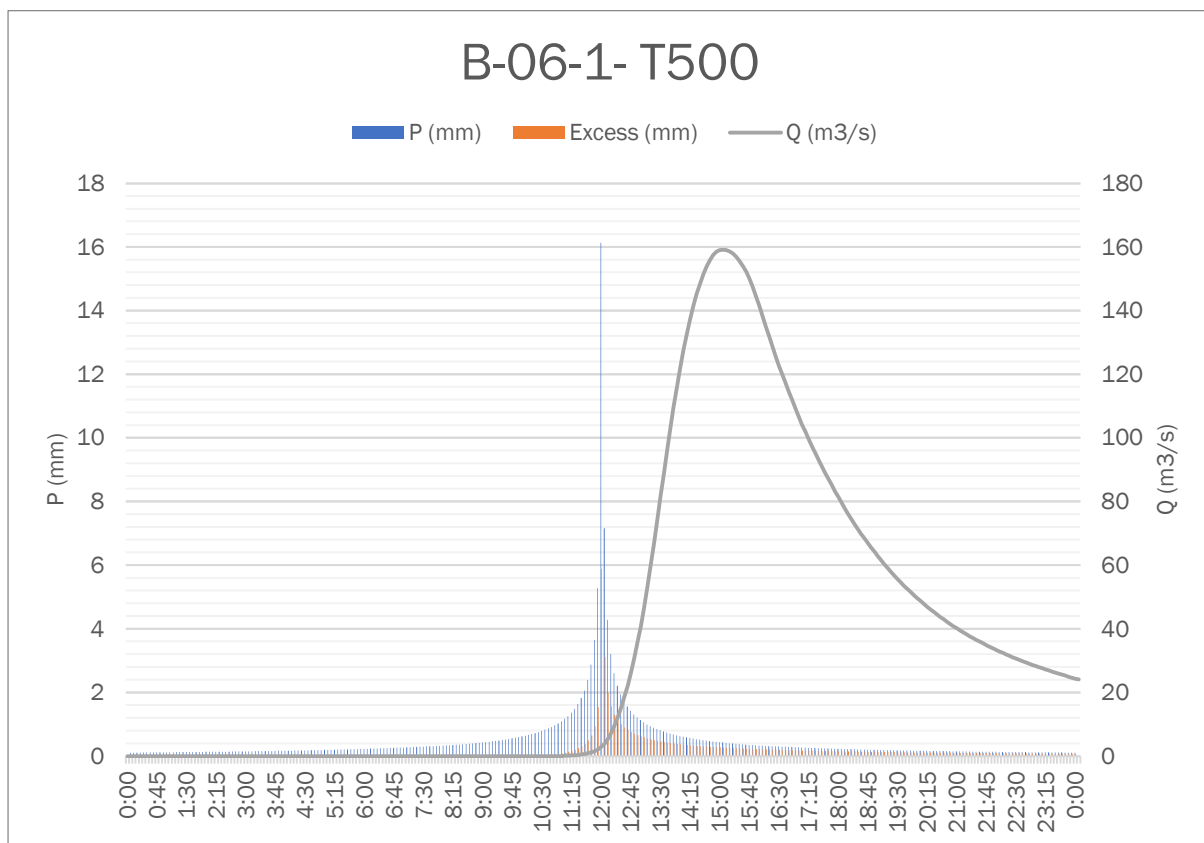


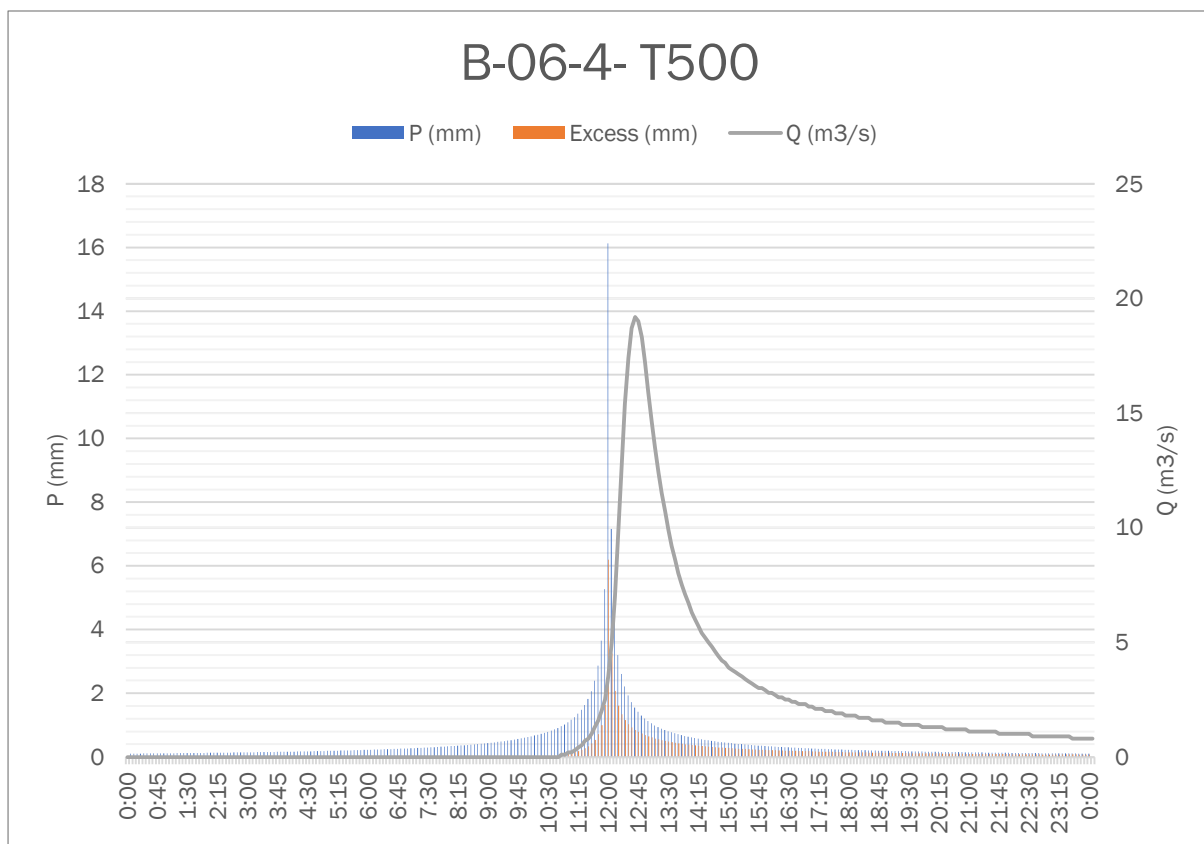
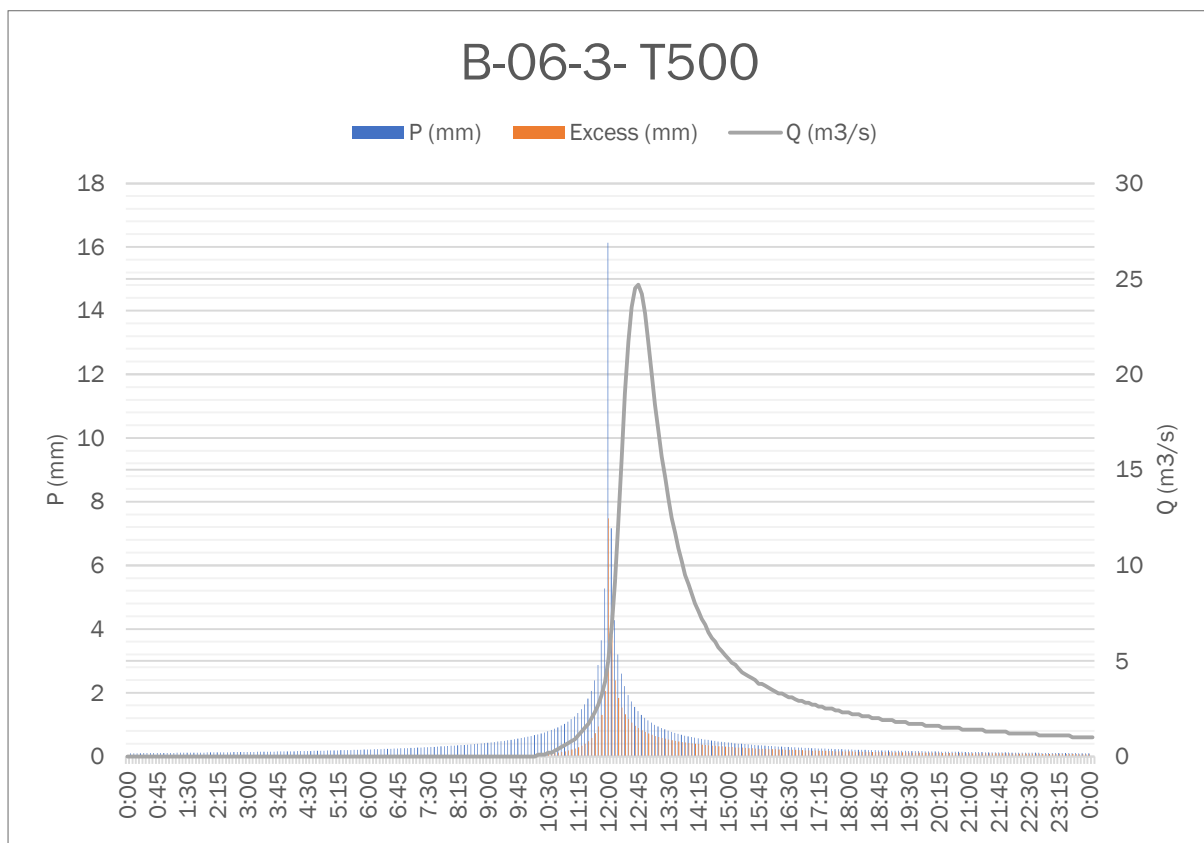


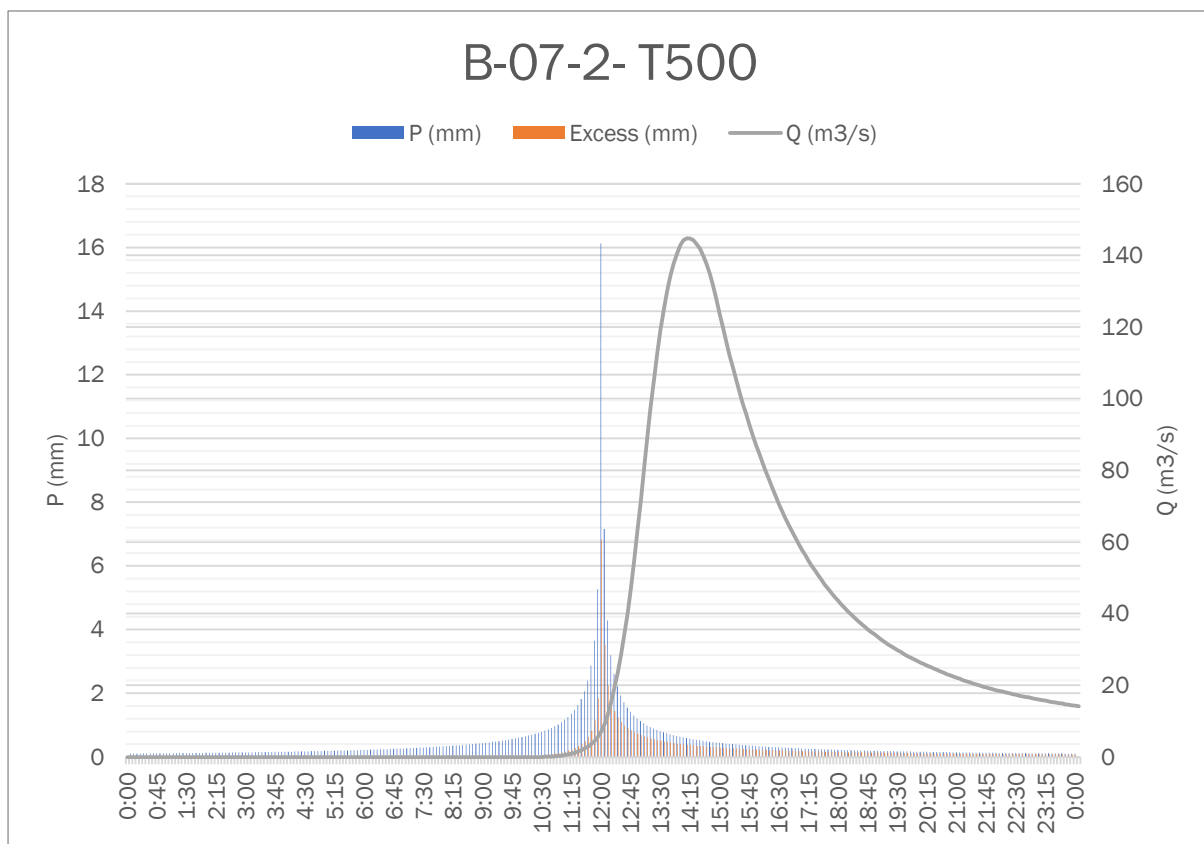
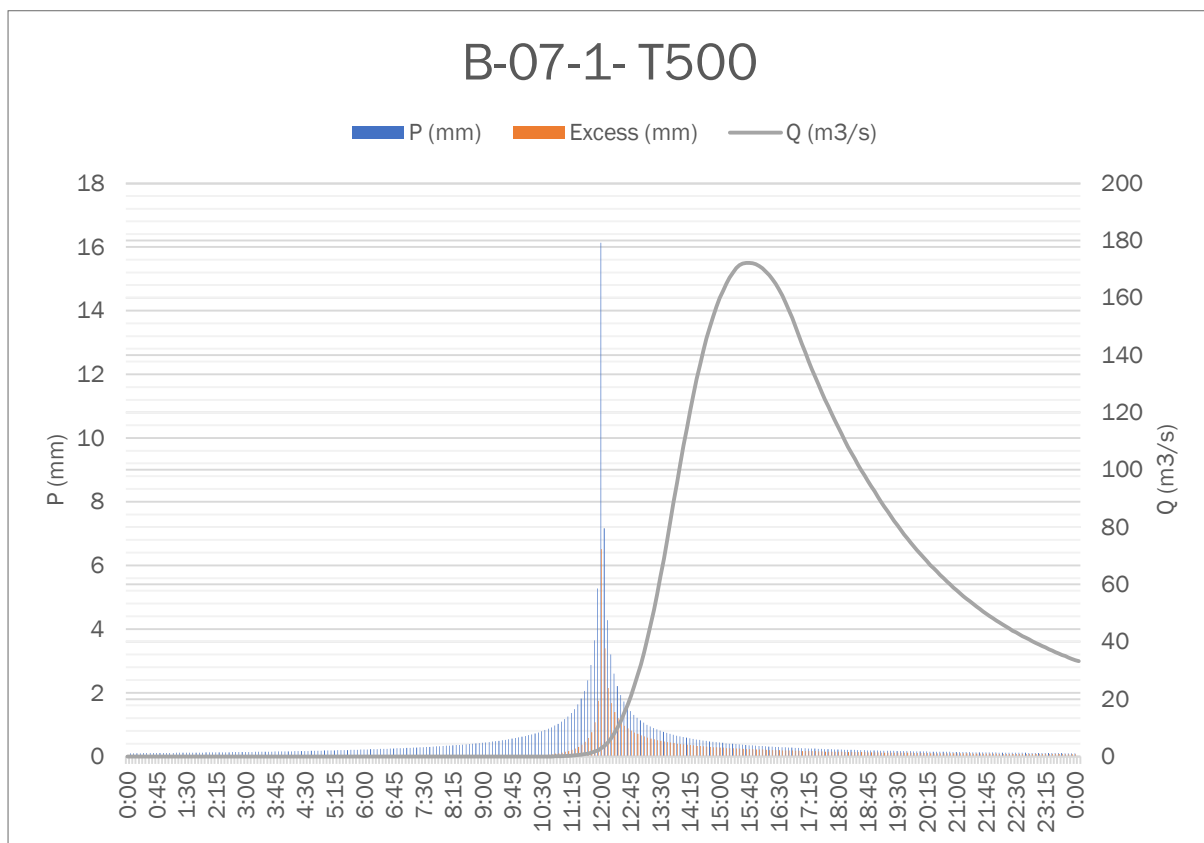


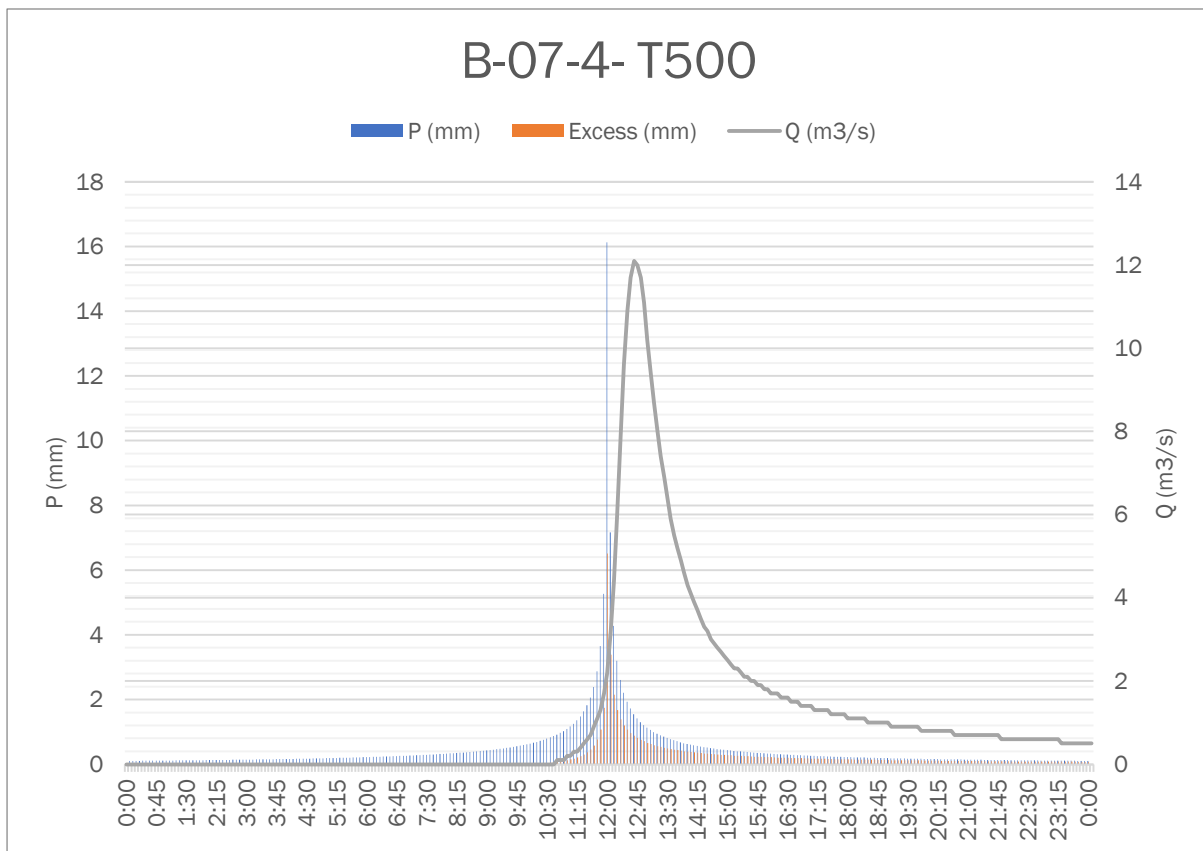
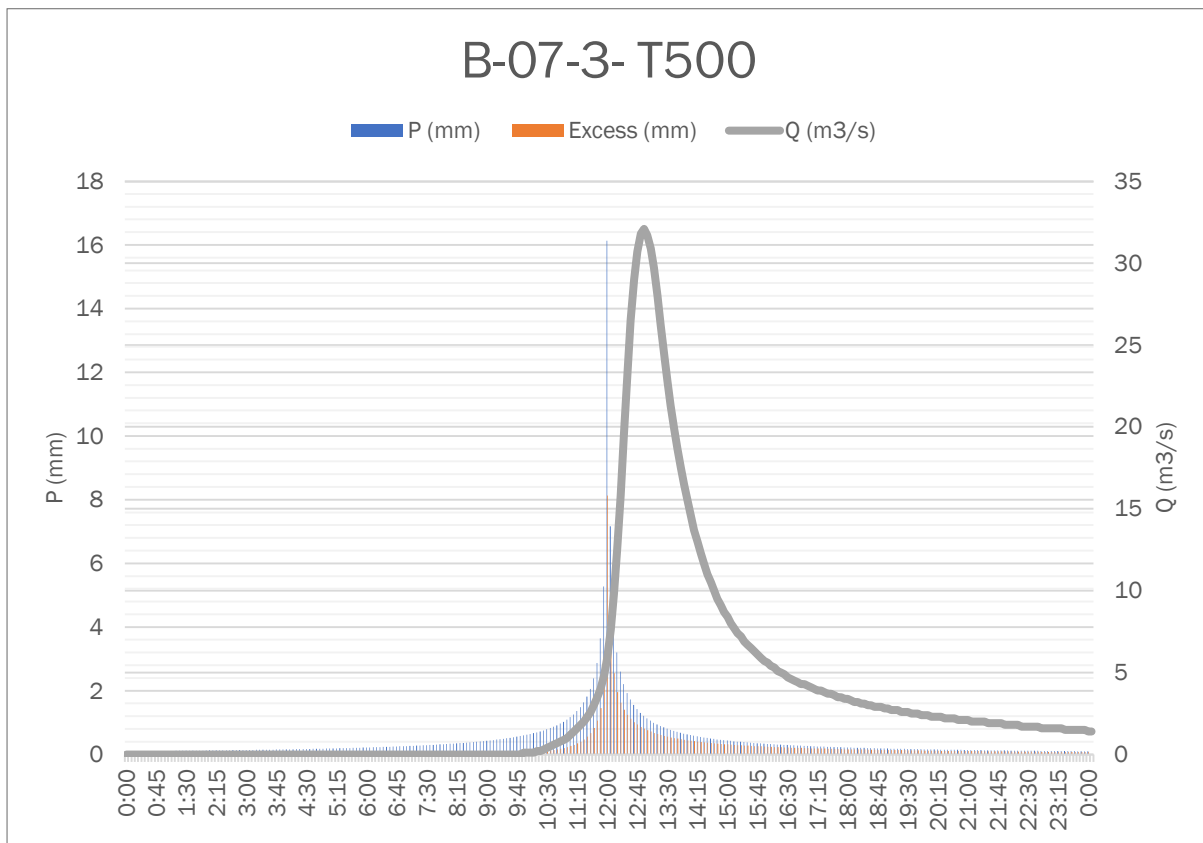




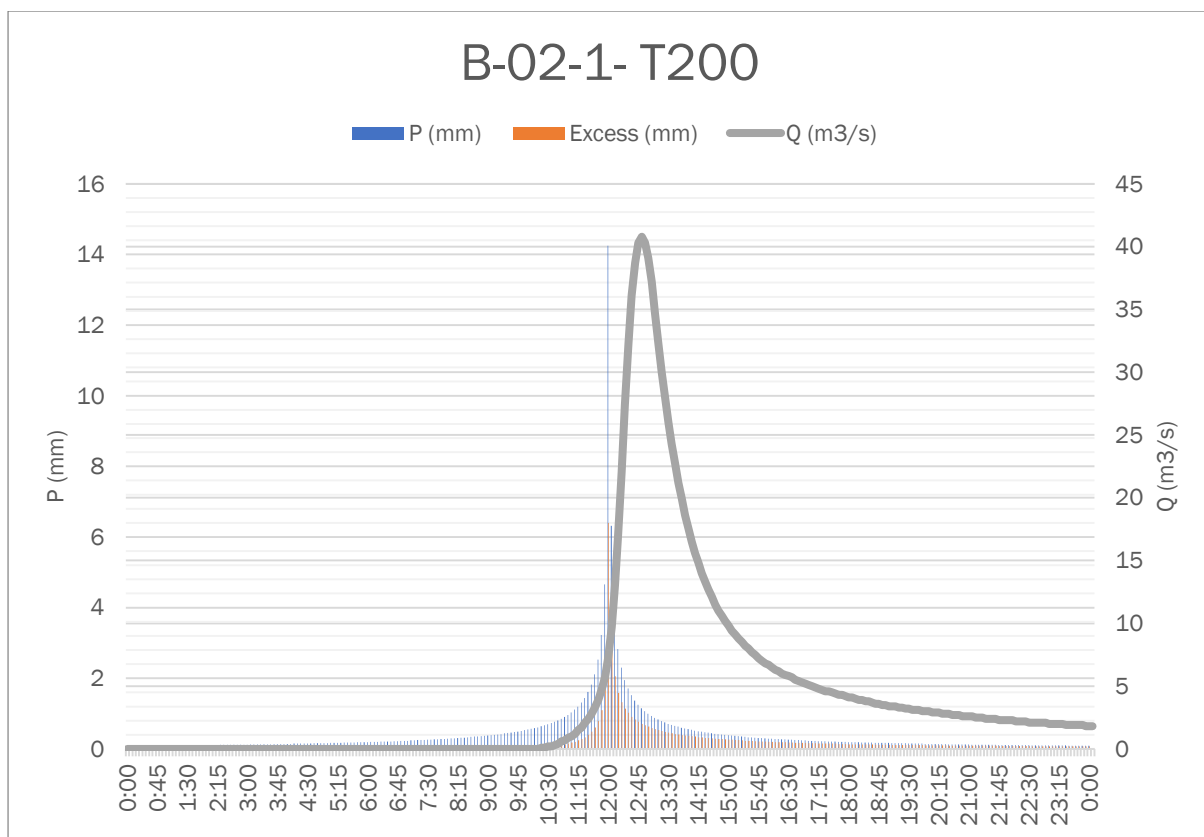
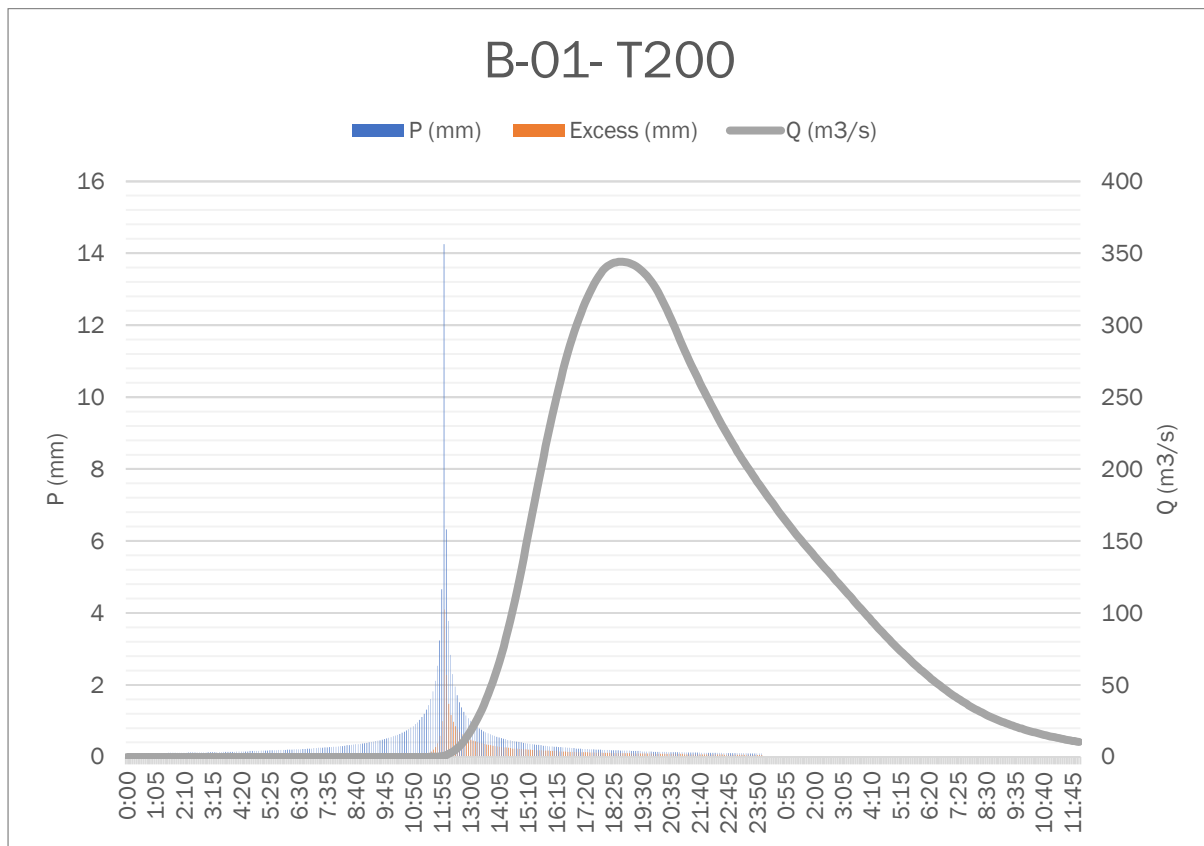


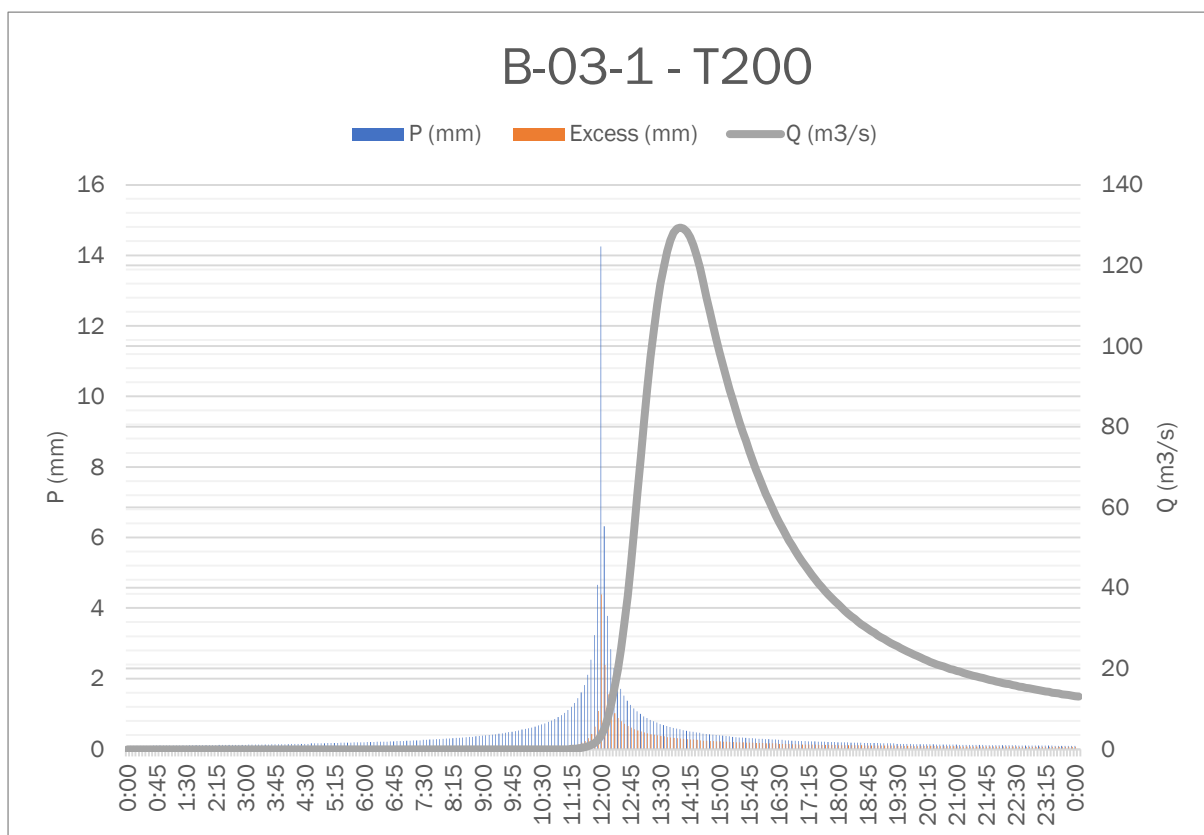
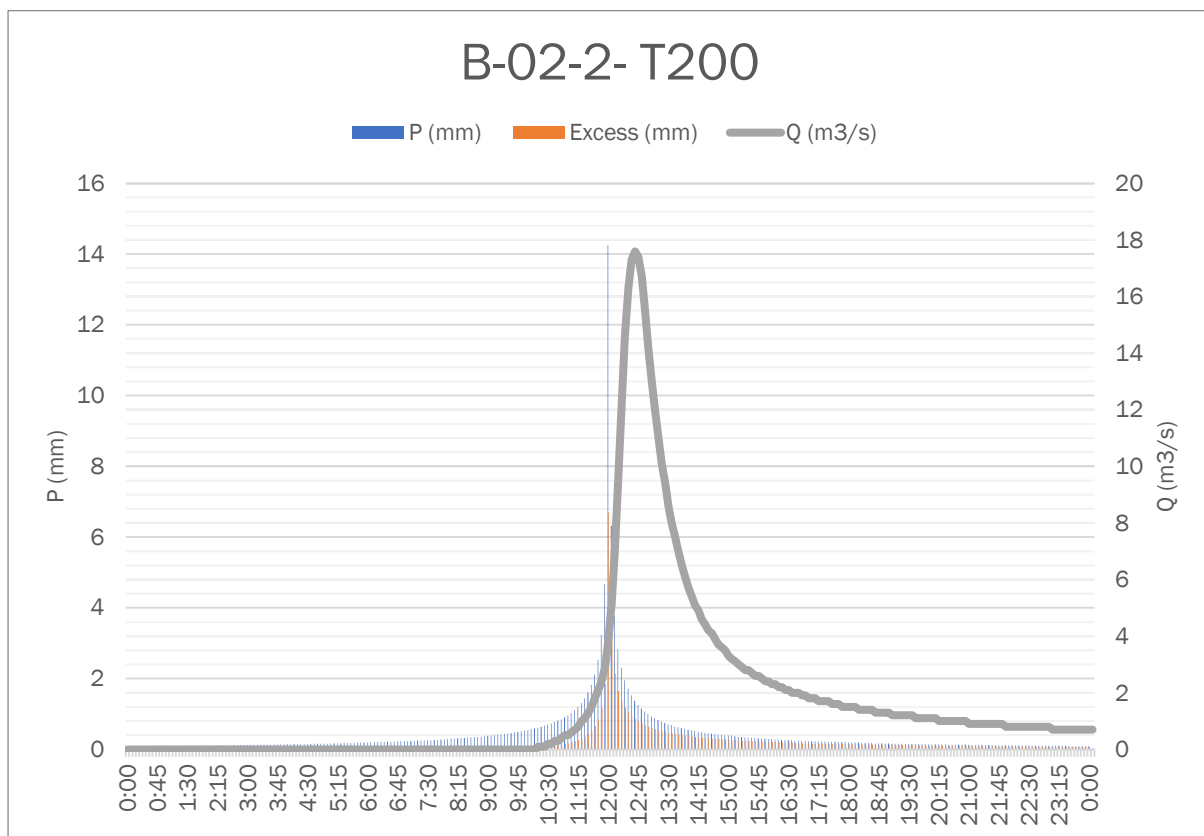


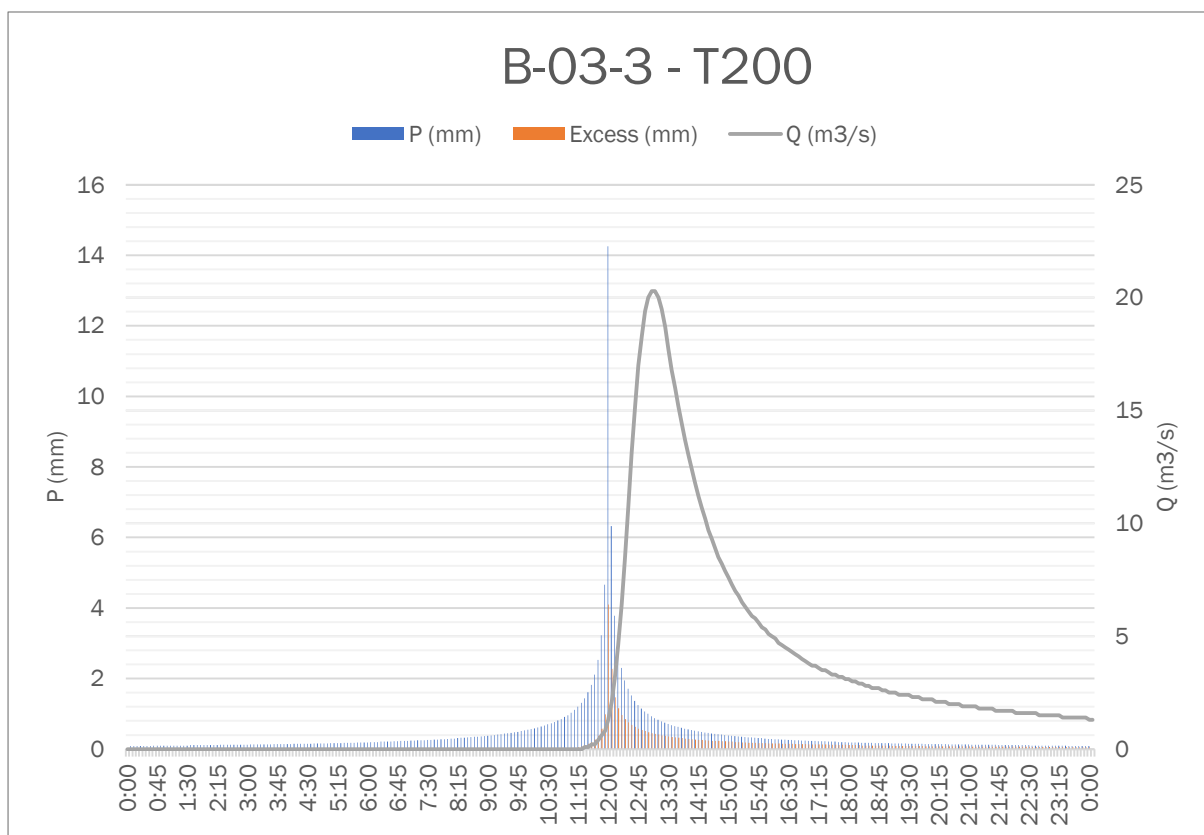
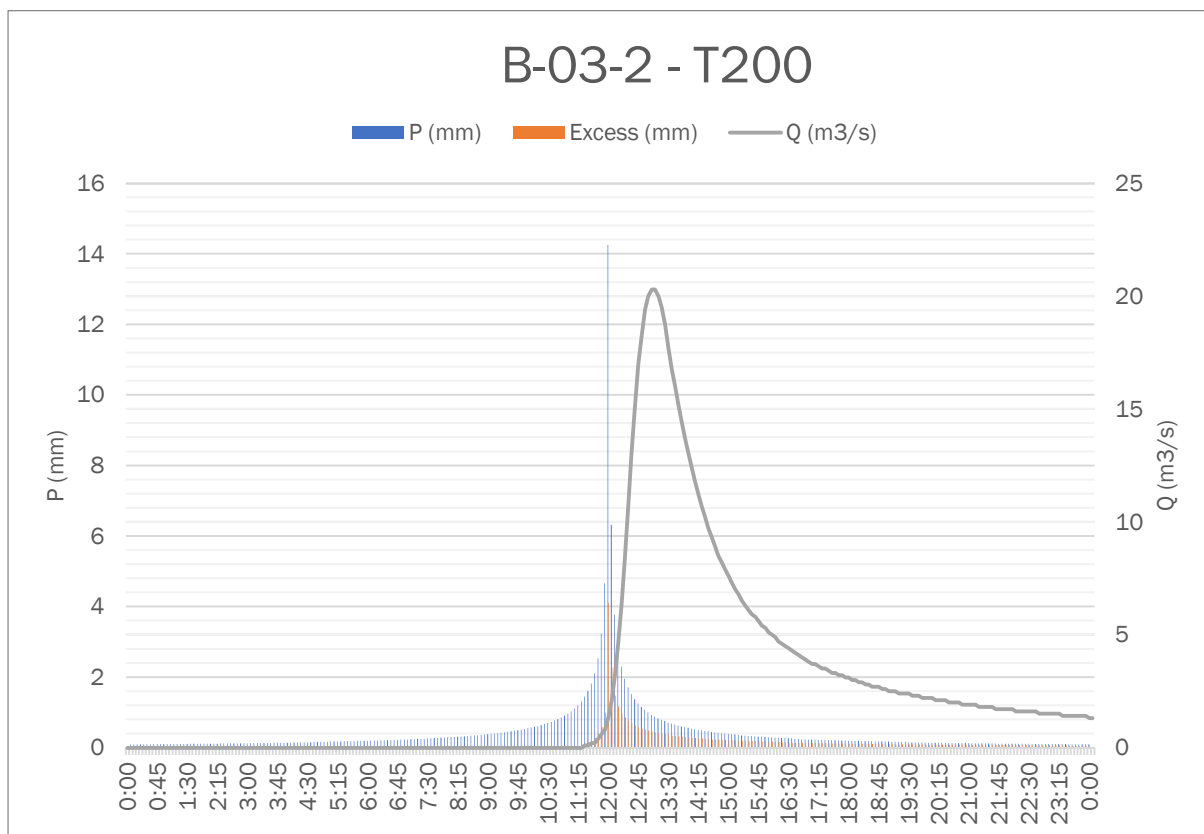


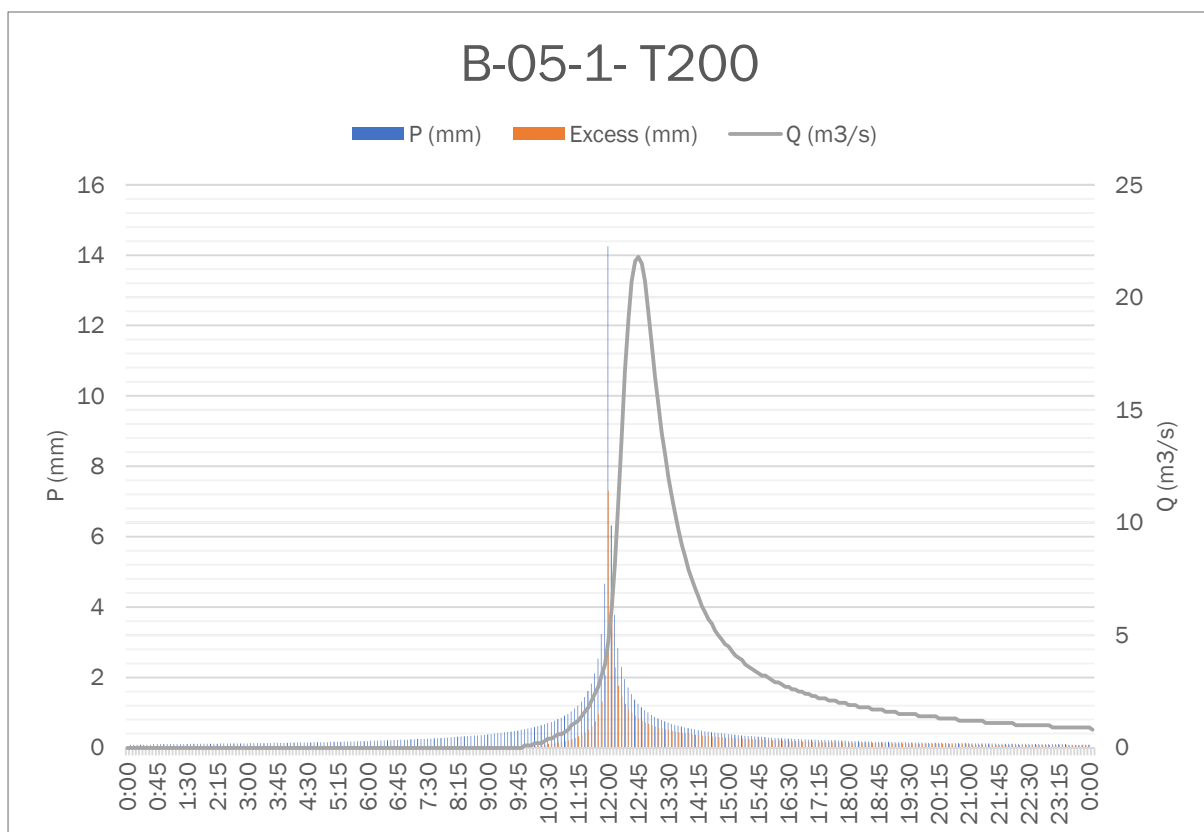
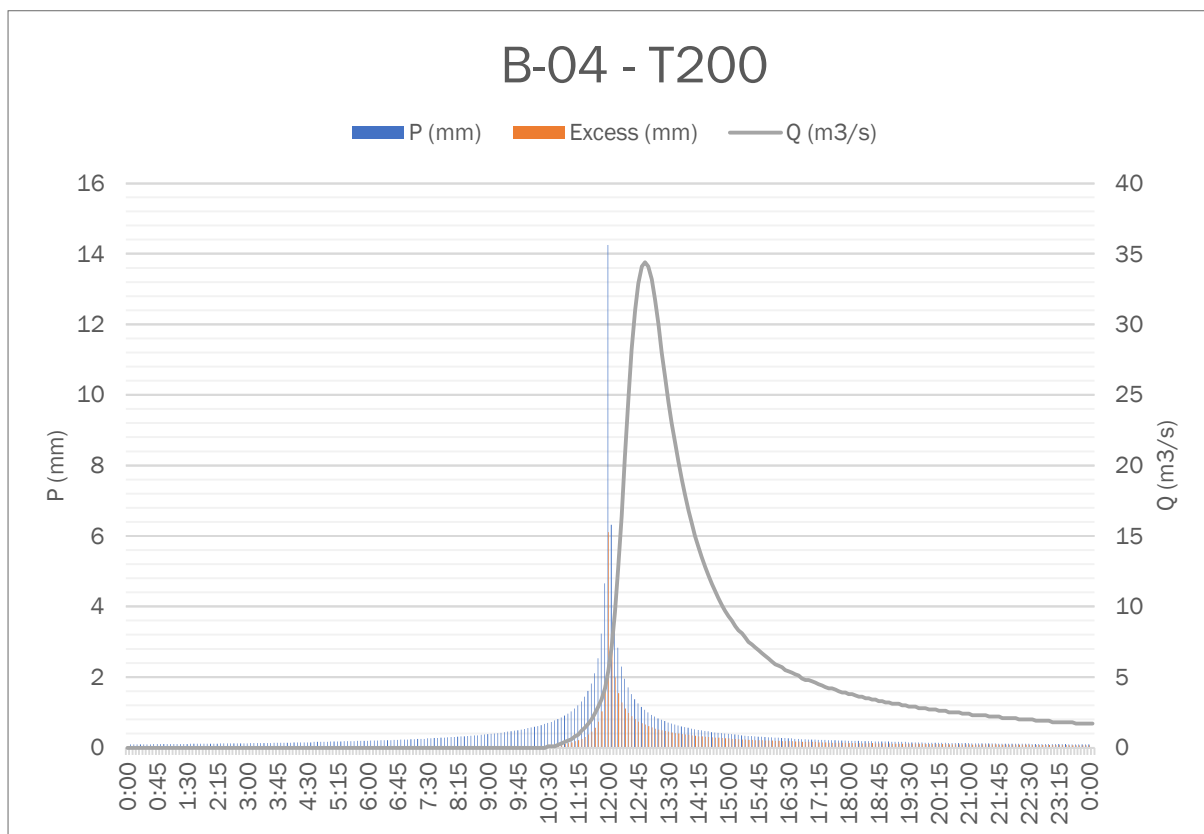


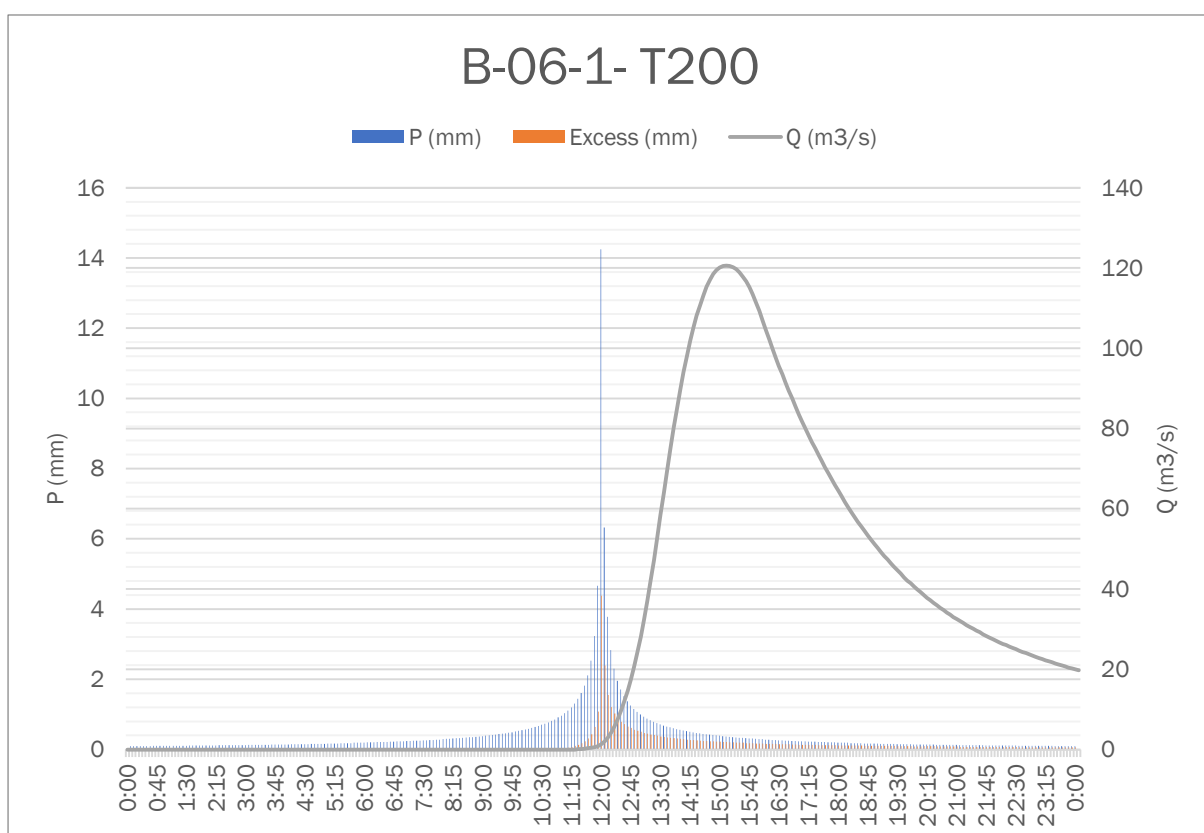
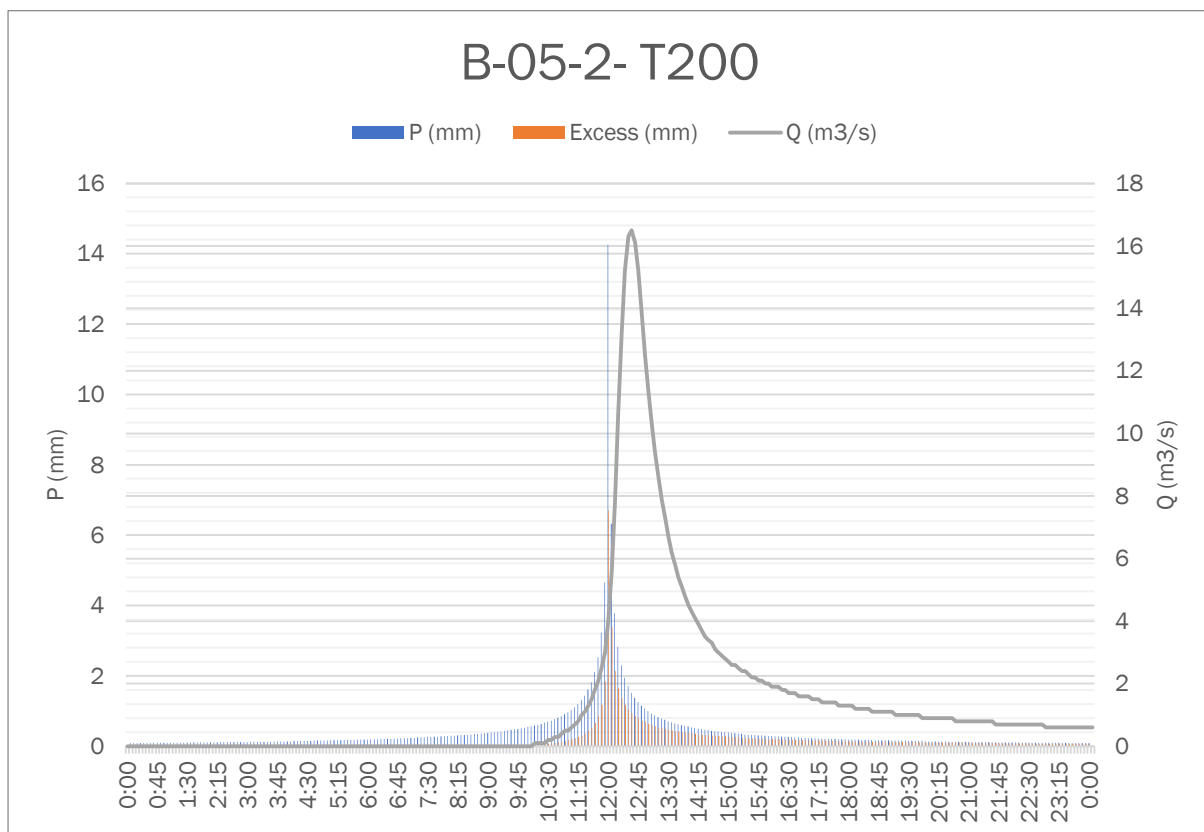
PERÍODO DE RETORNO DE 200 ANOS

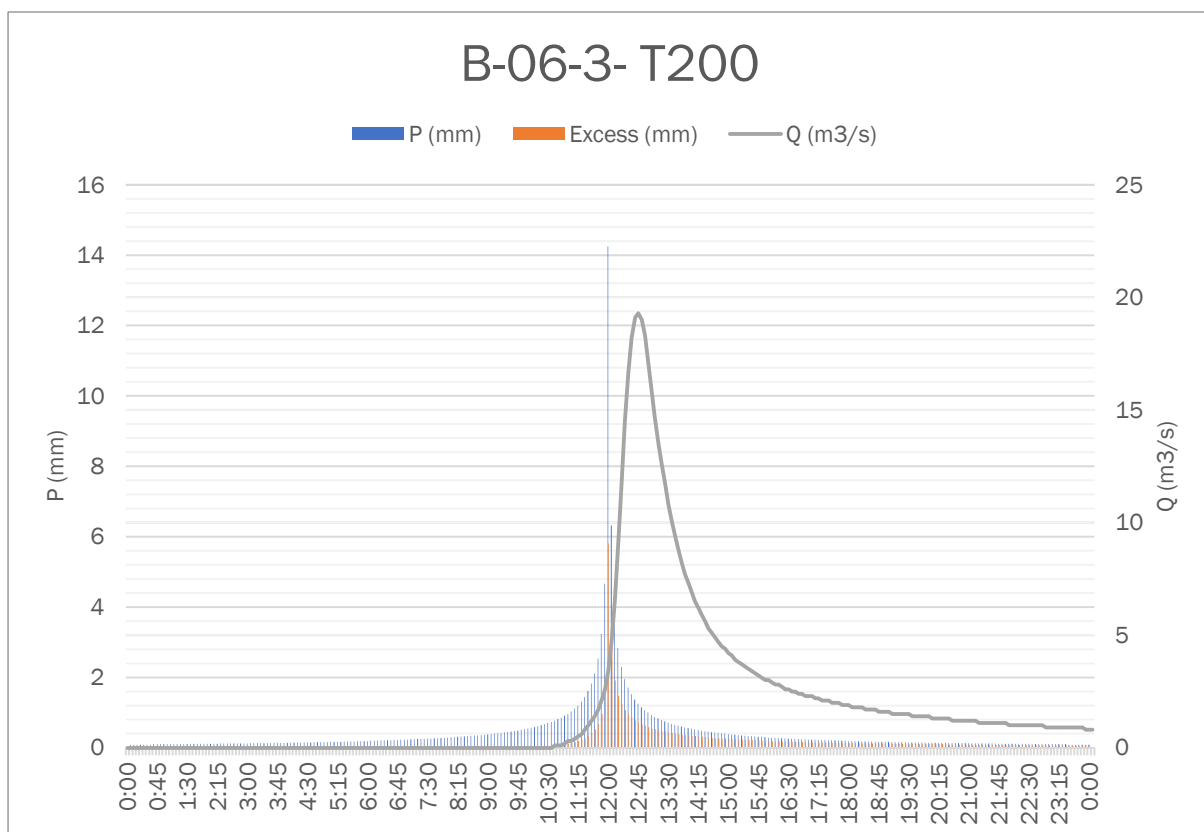
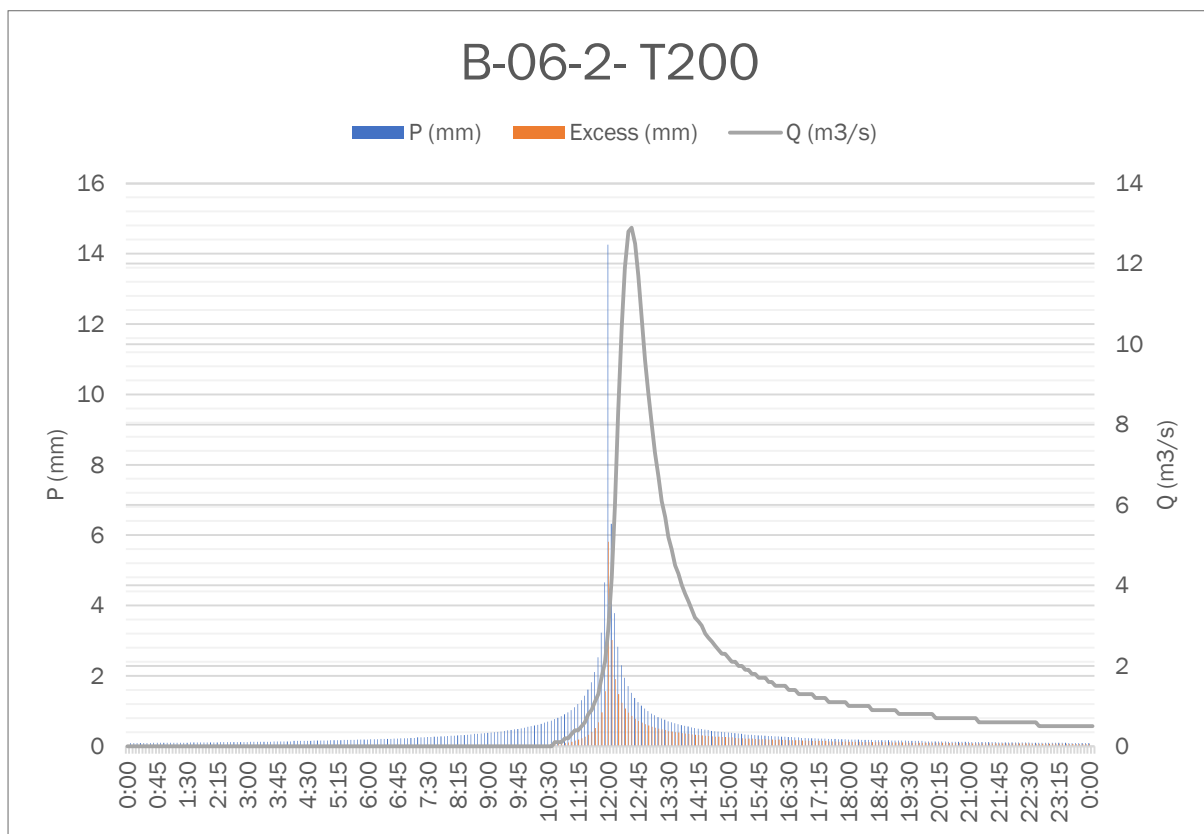


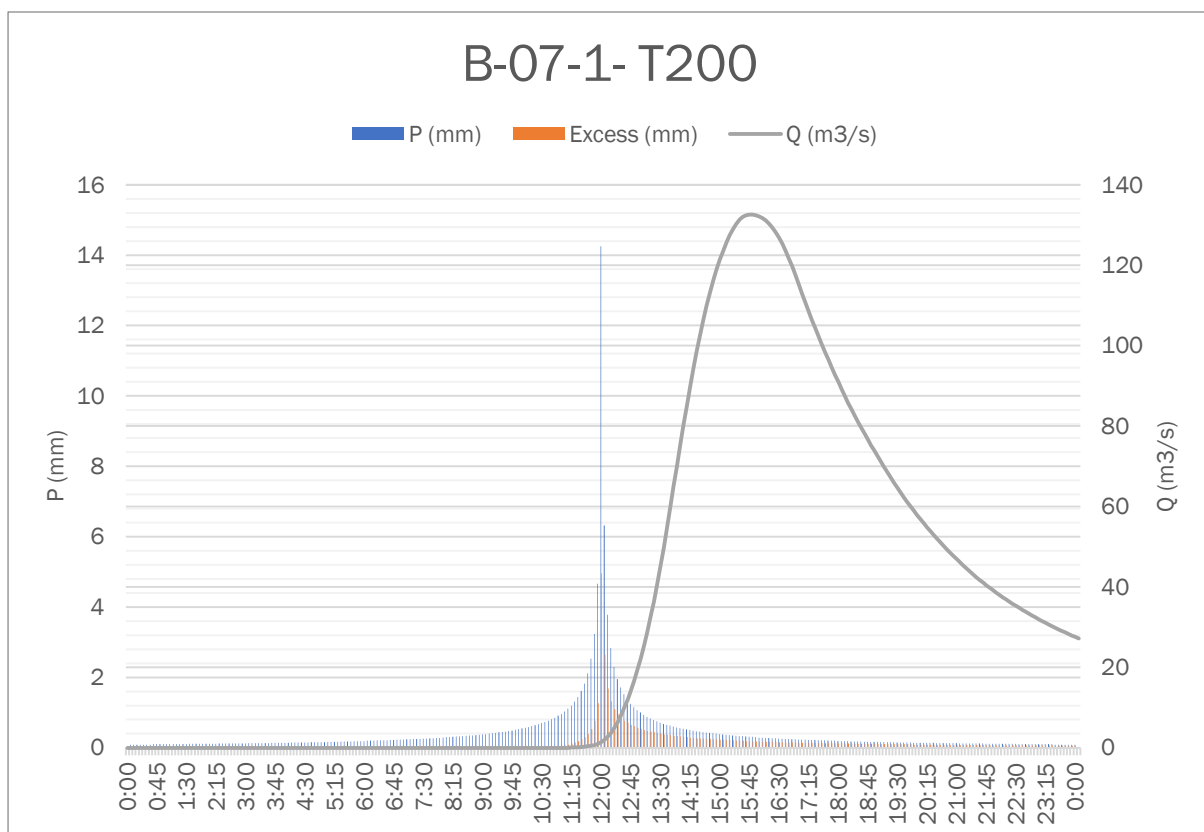
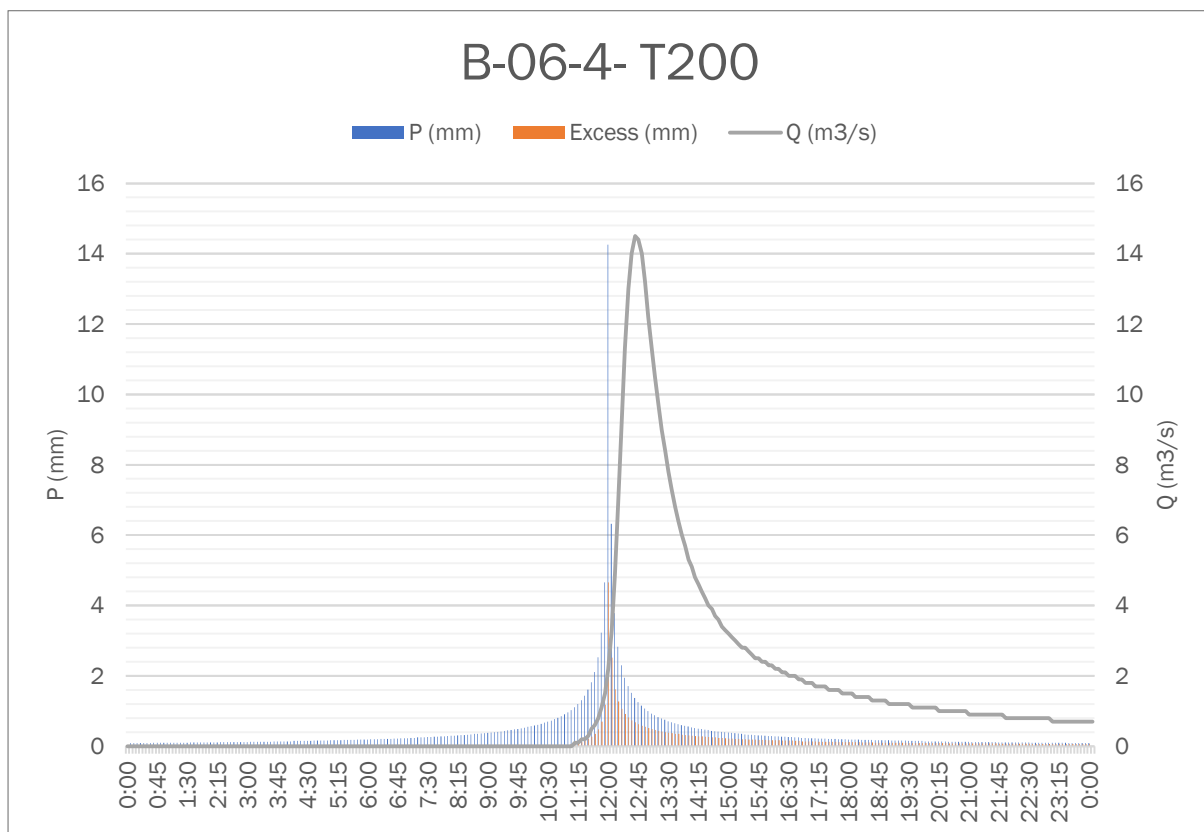


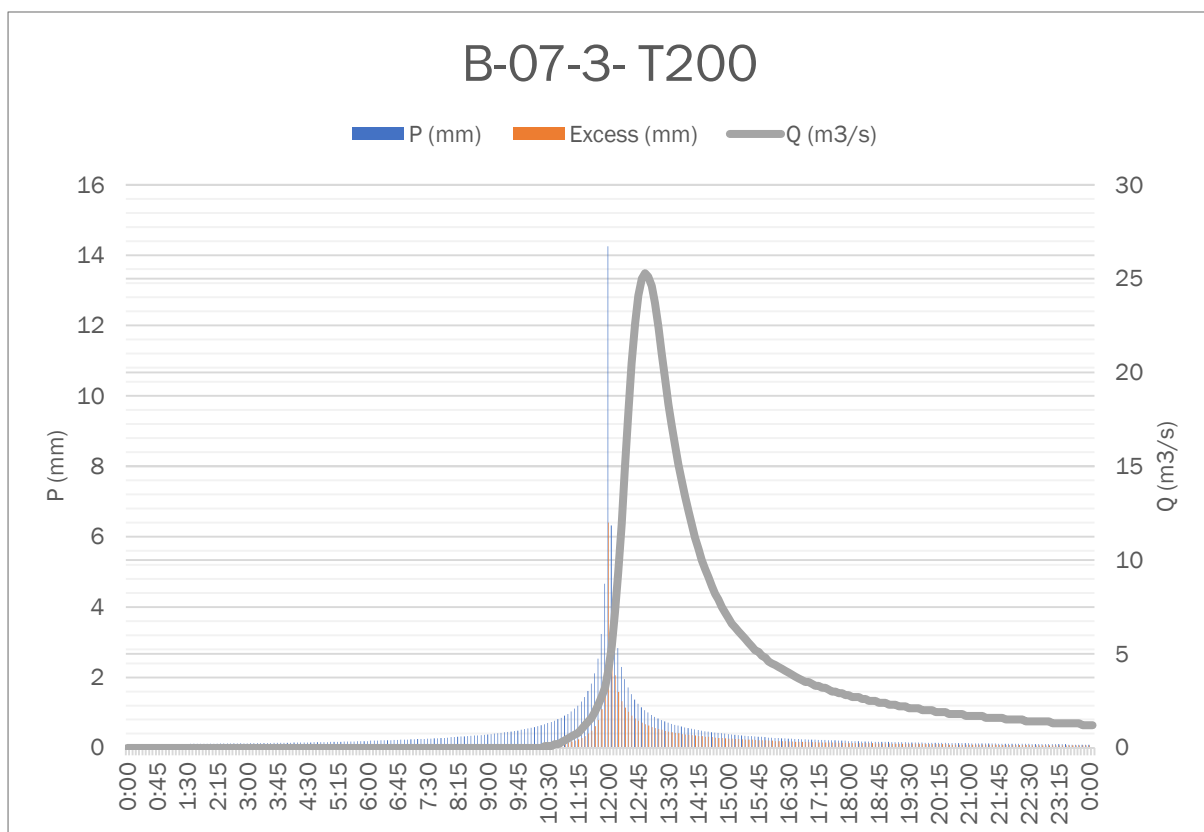
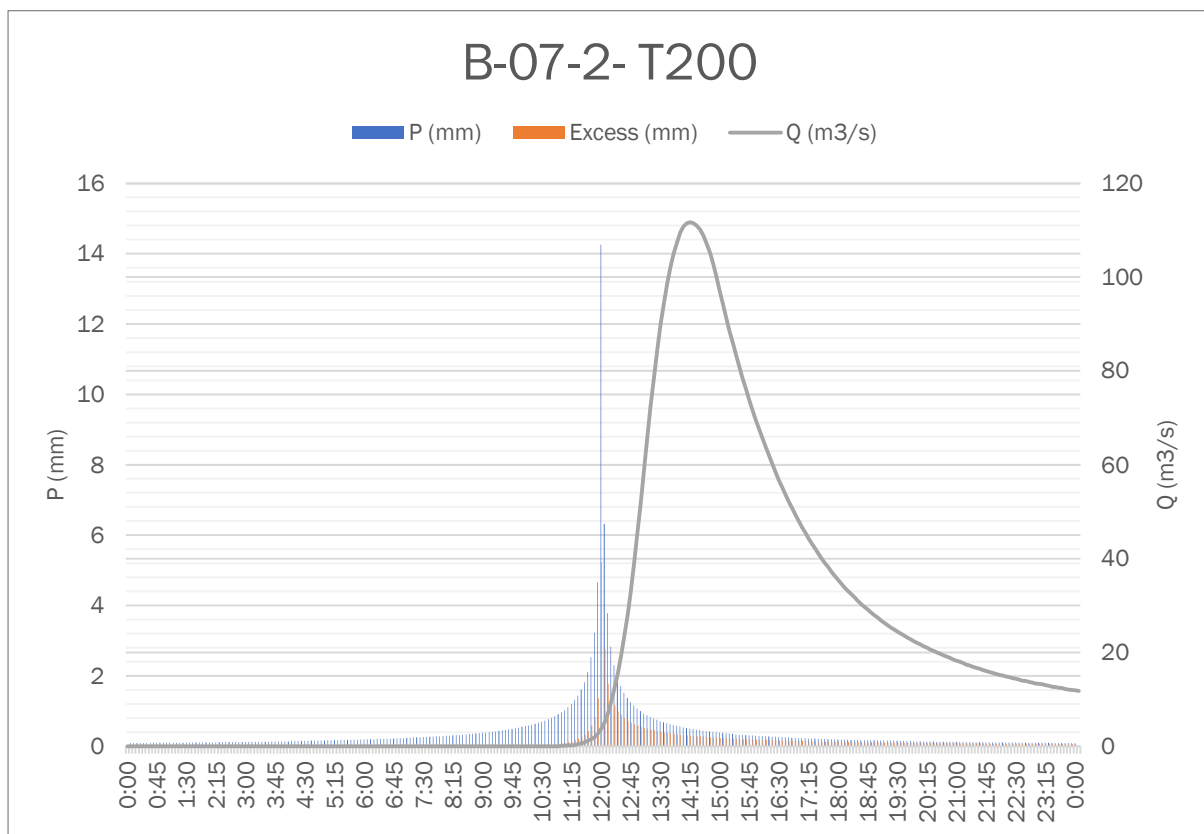


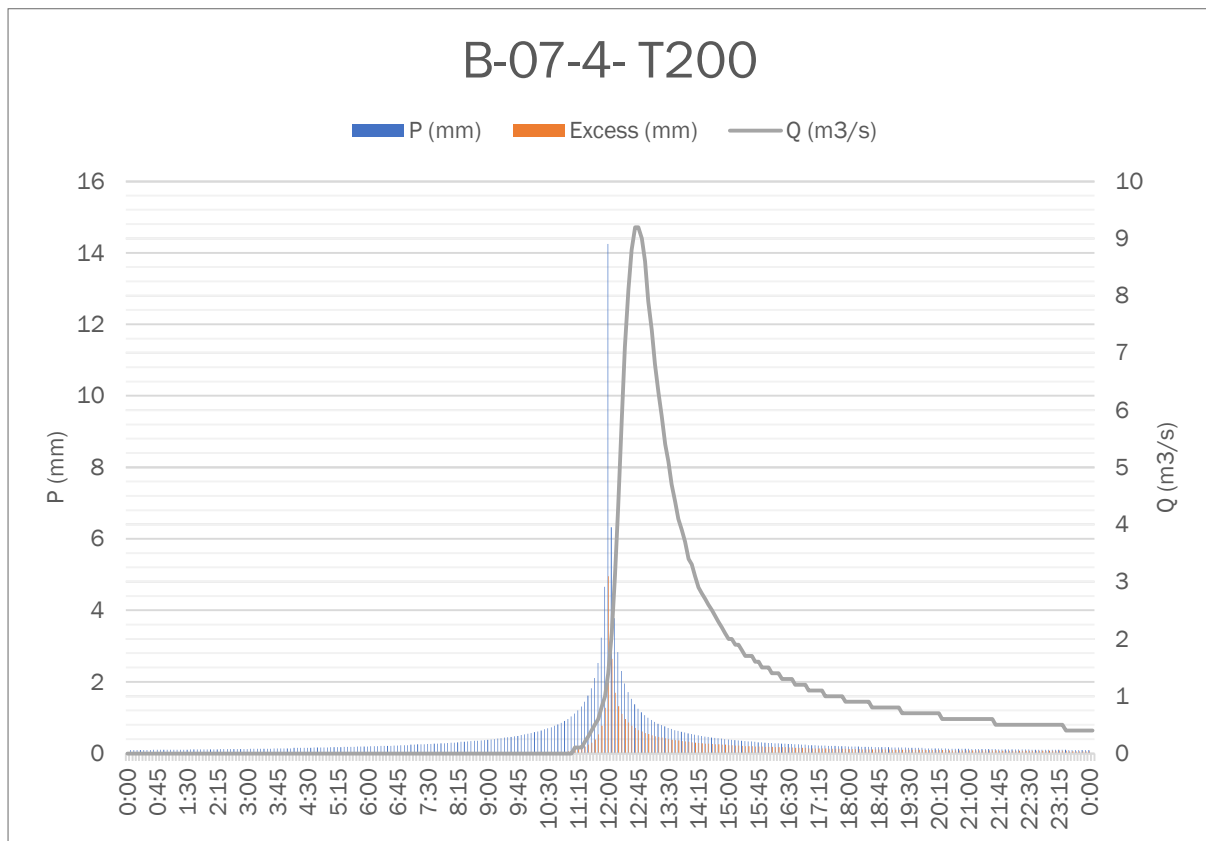




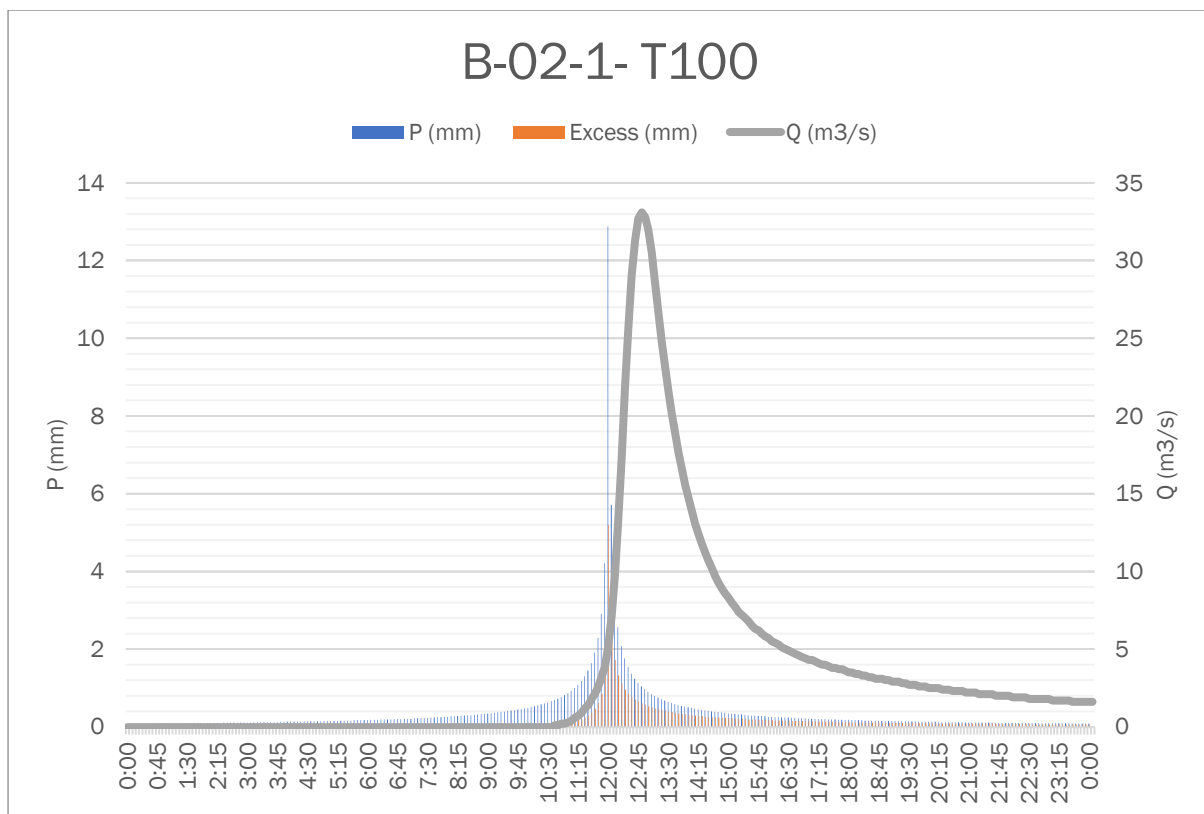
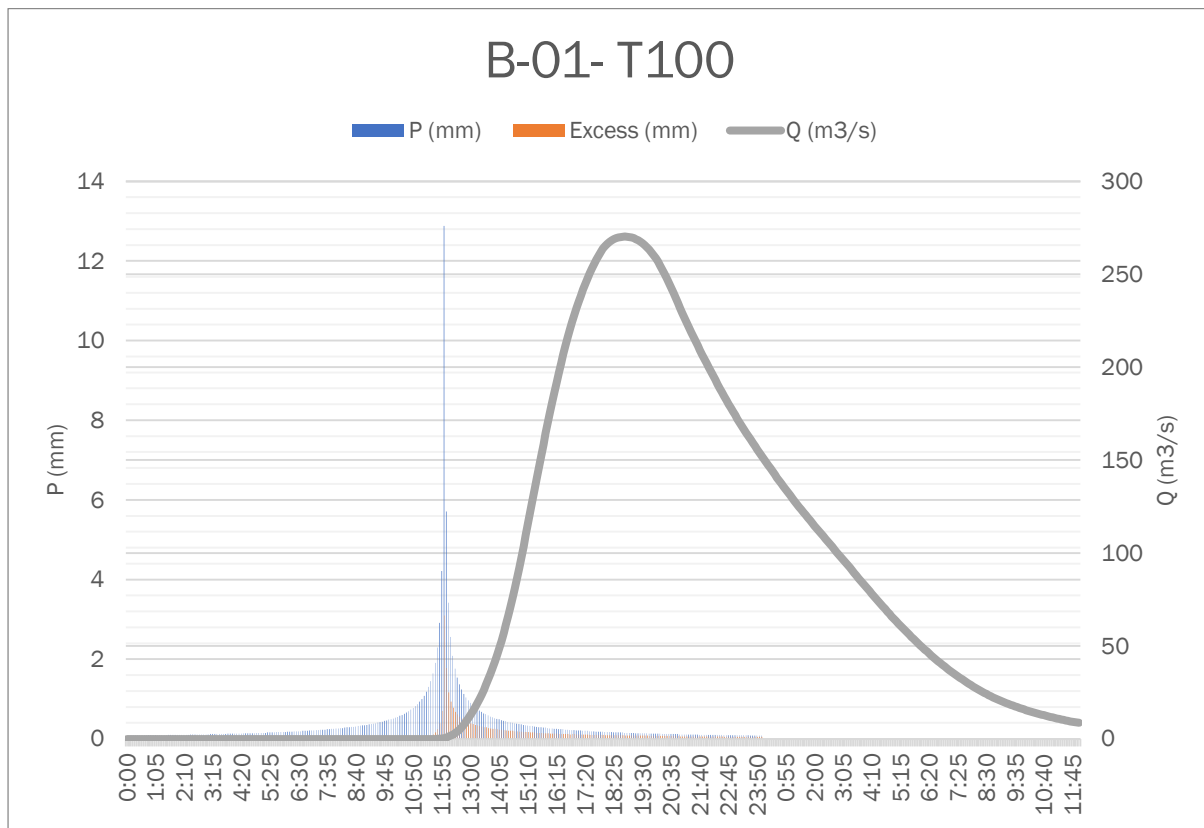


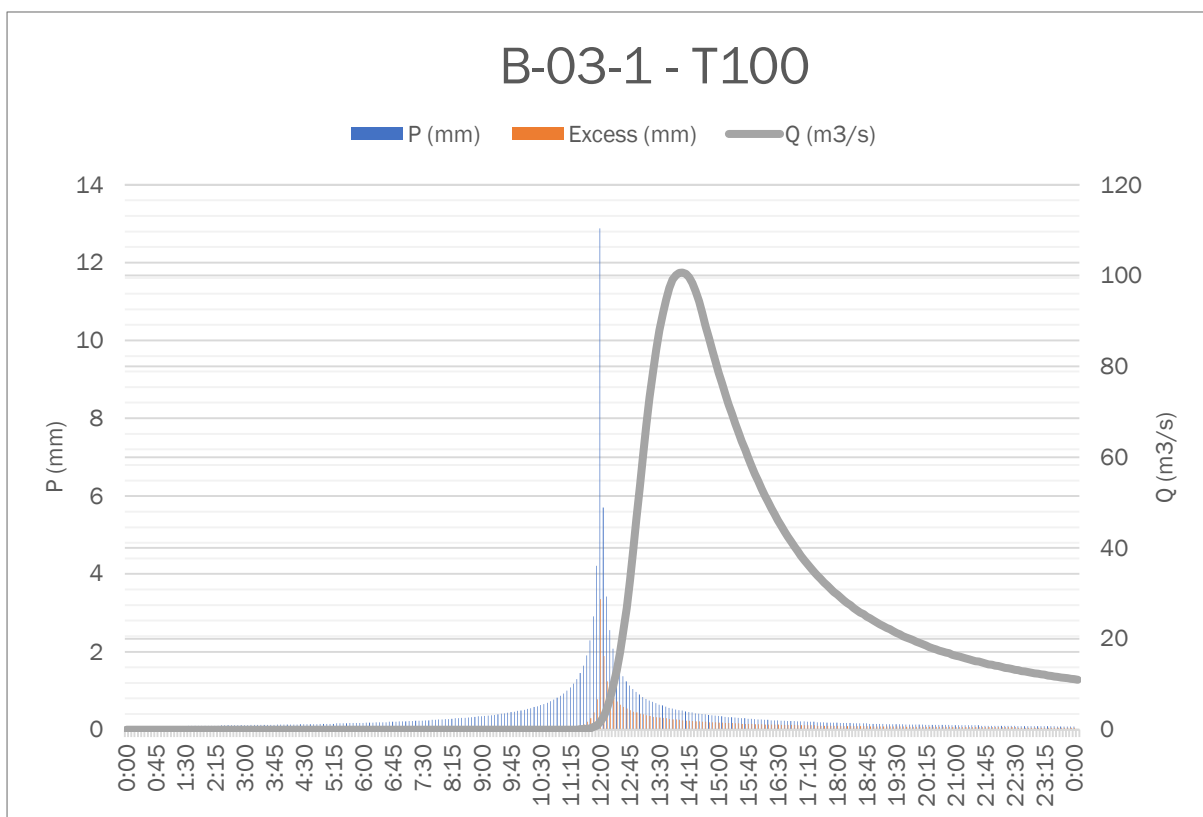
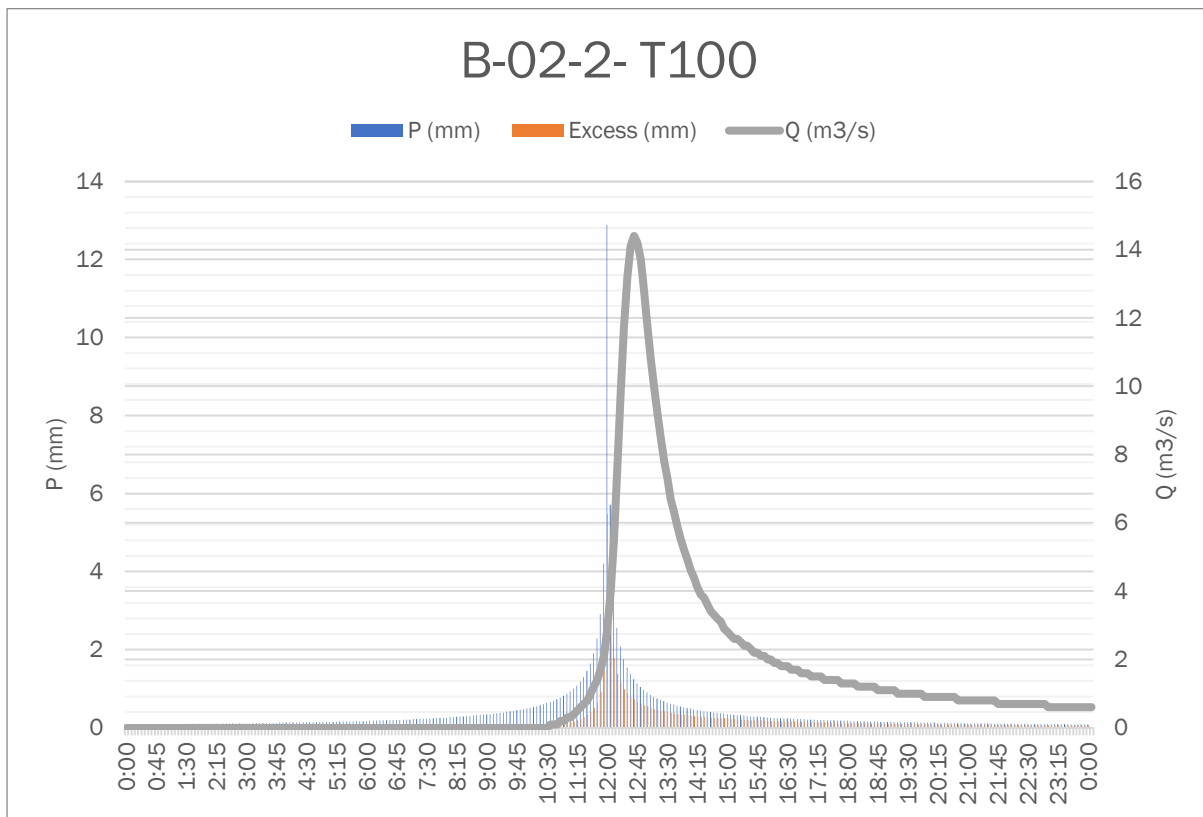


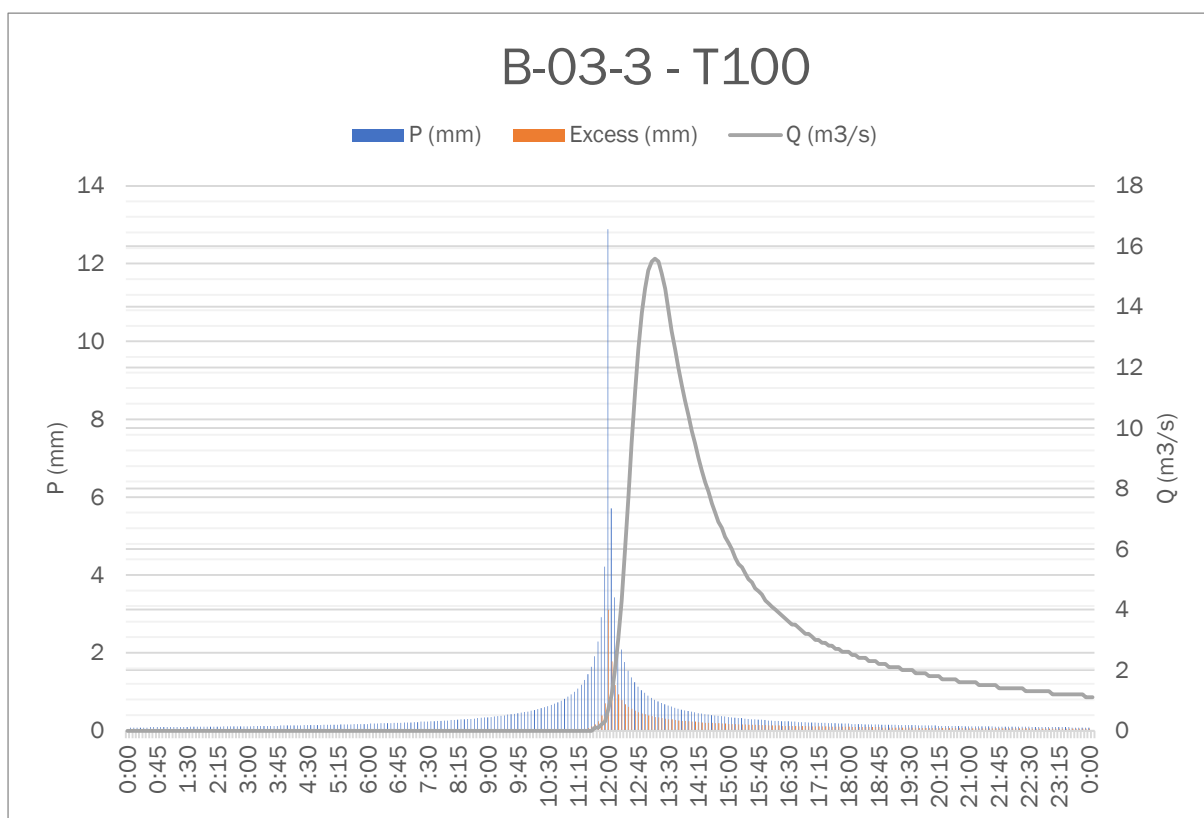
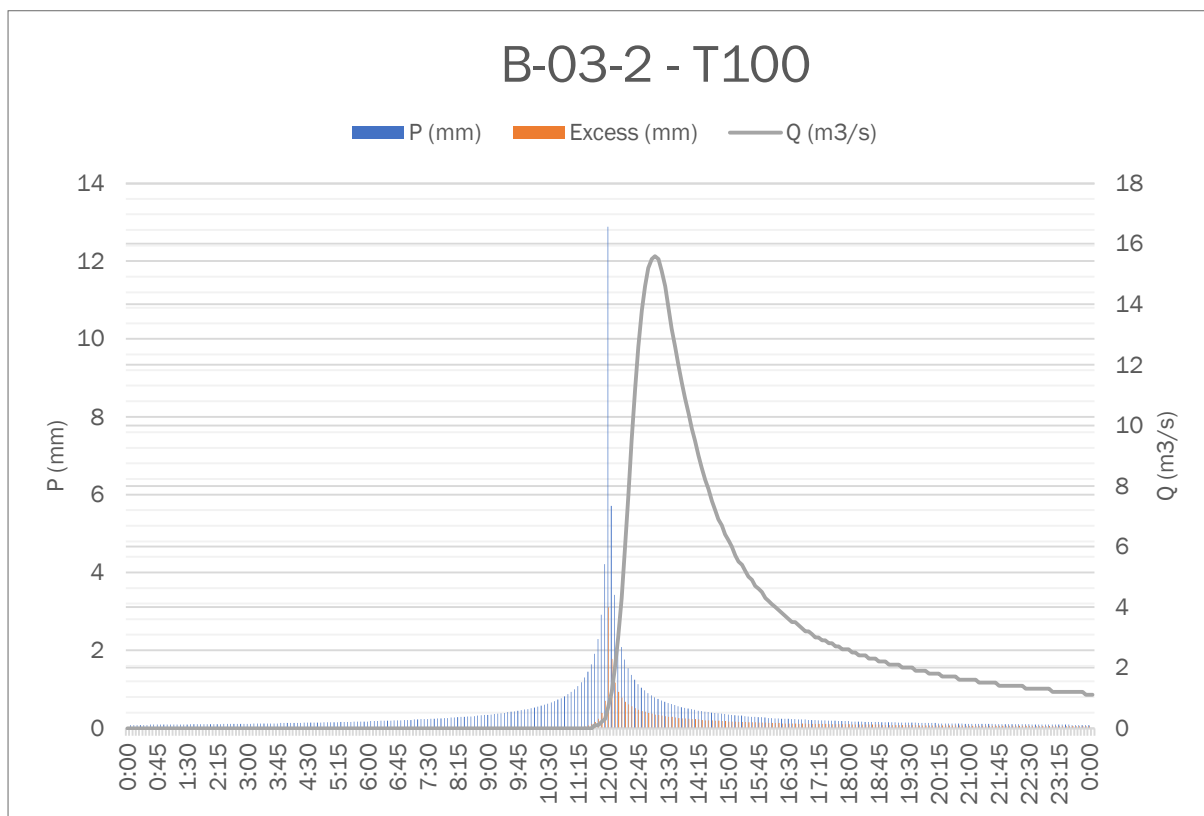


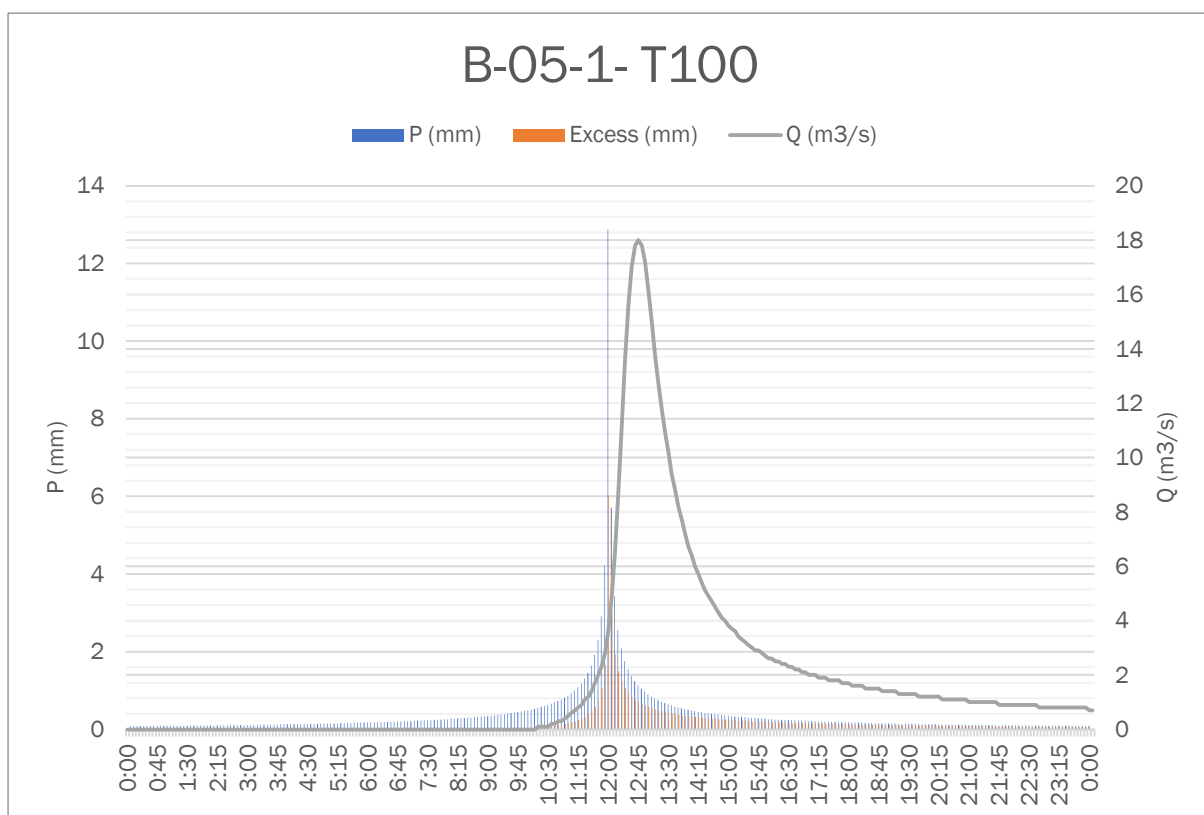
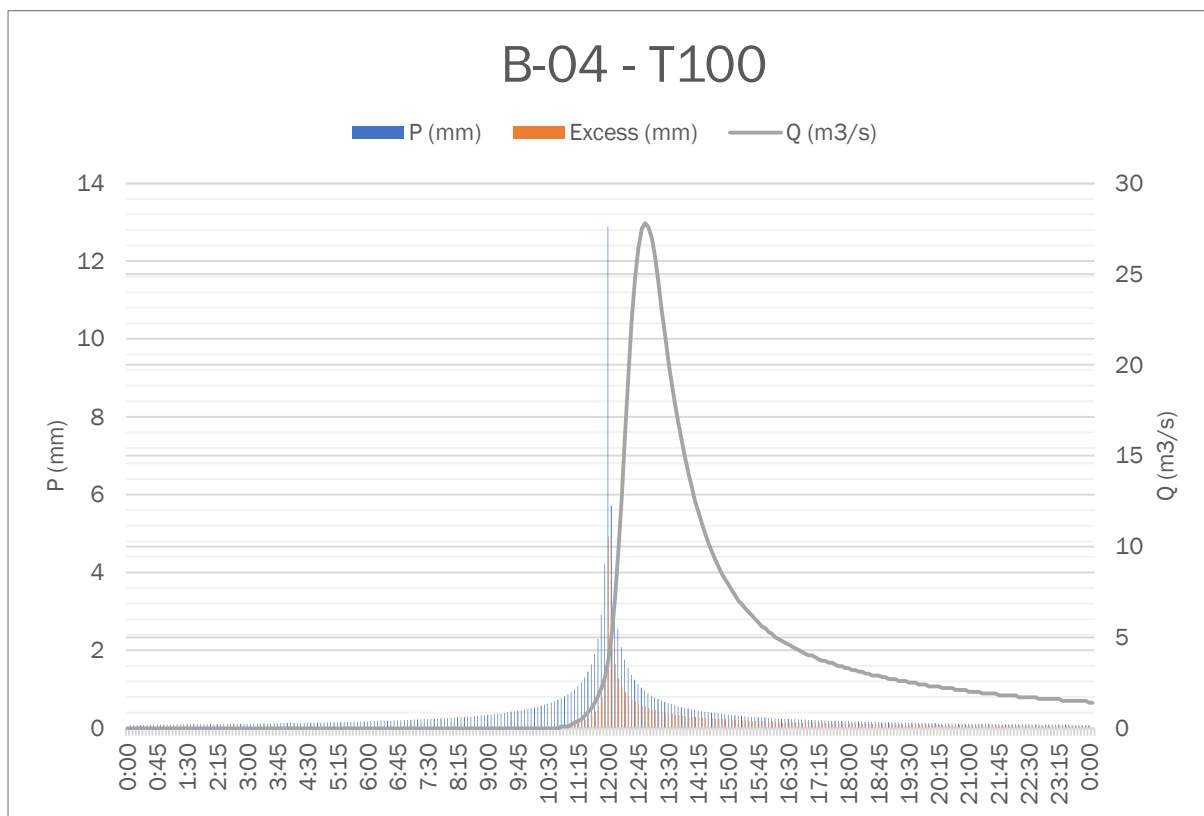


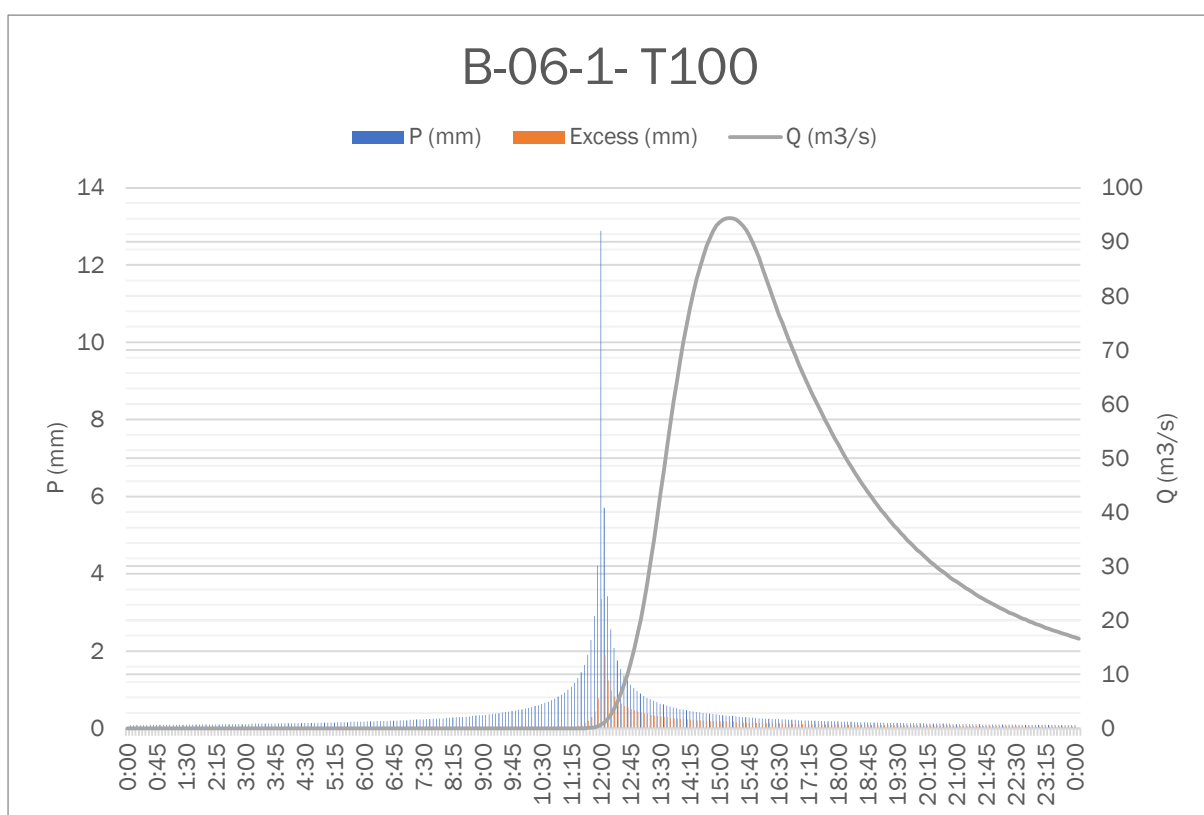
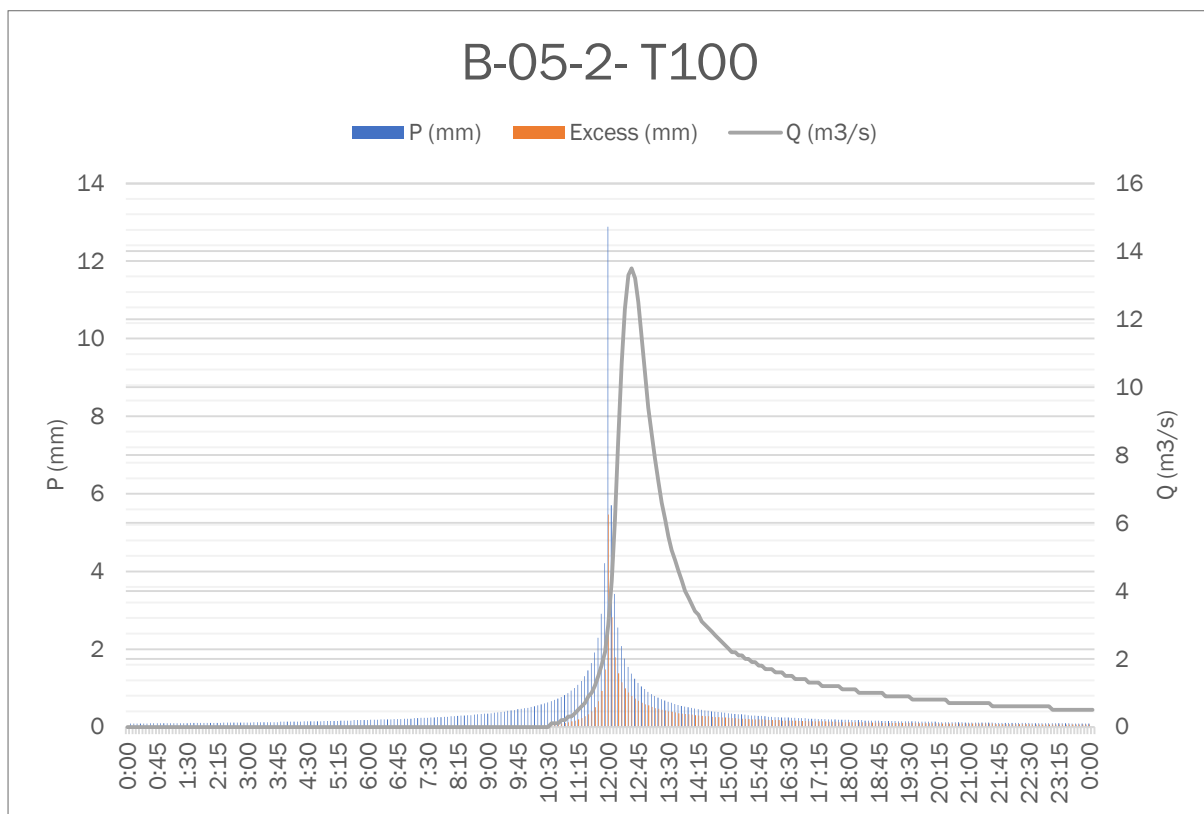
PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS

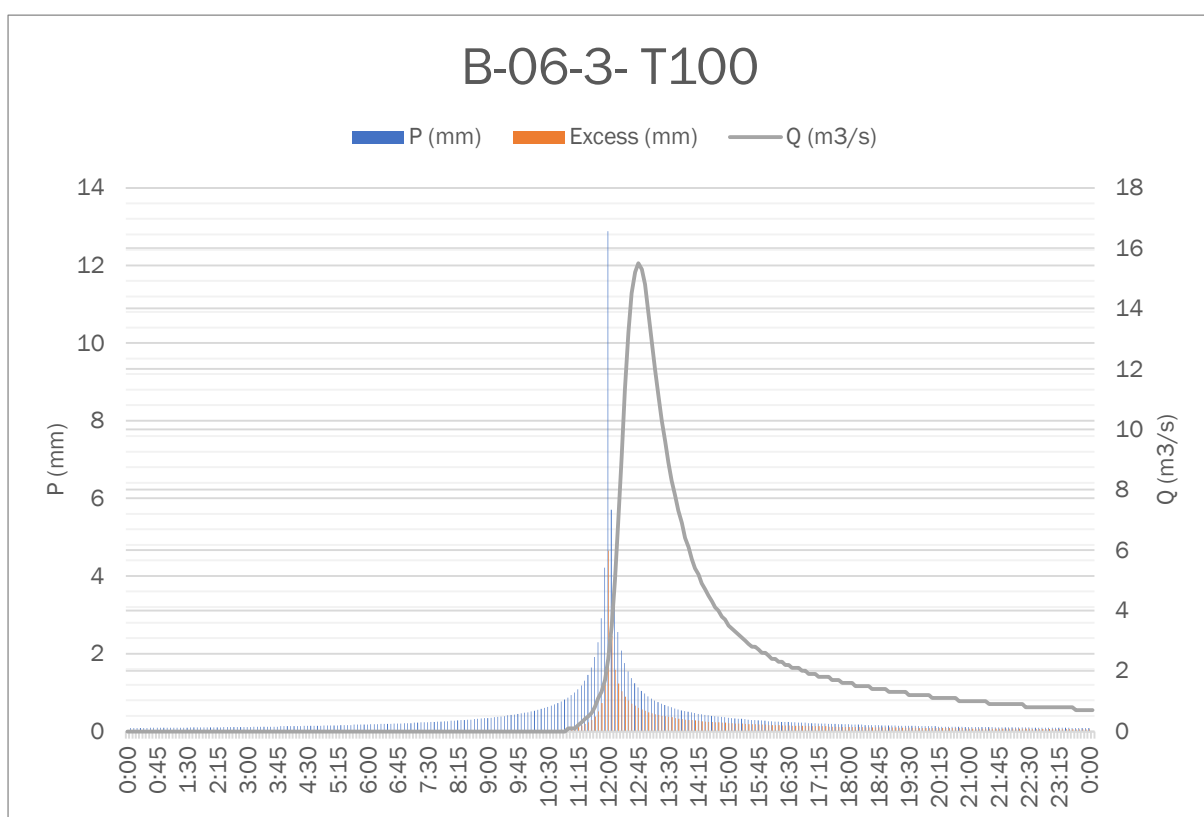
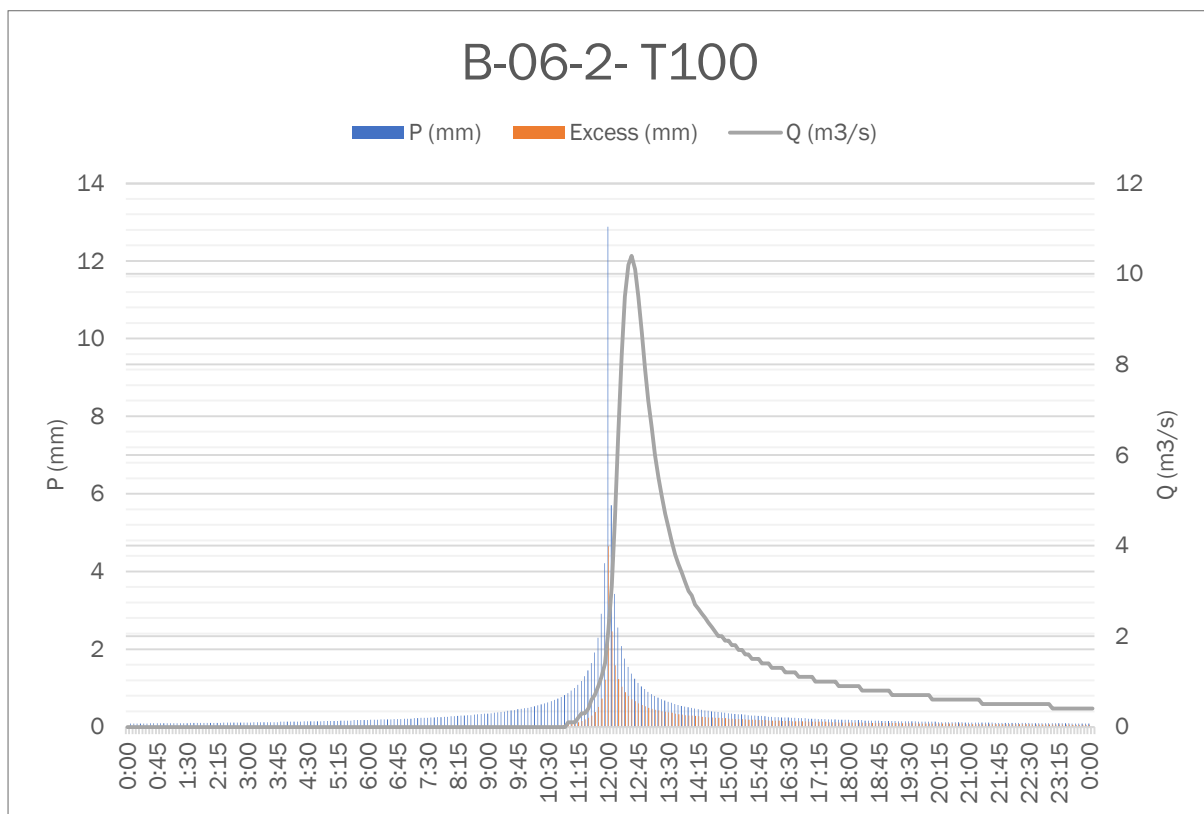


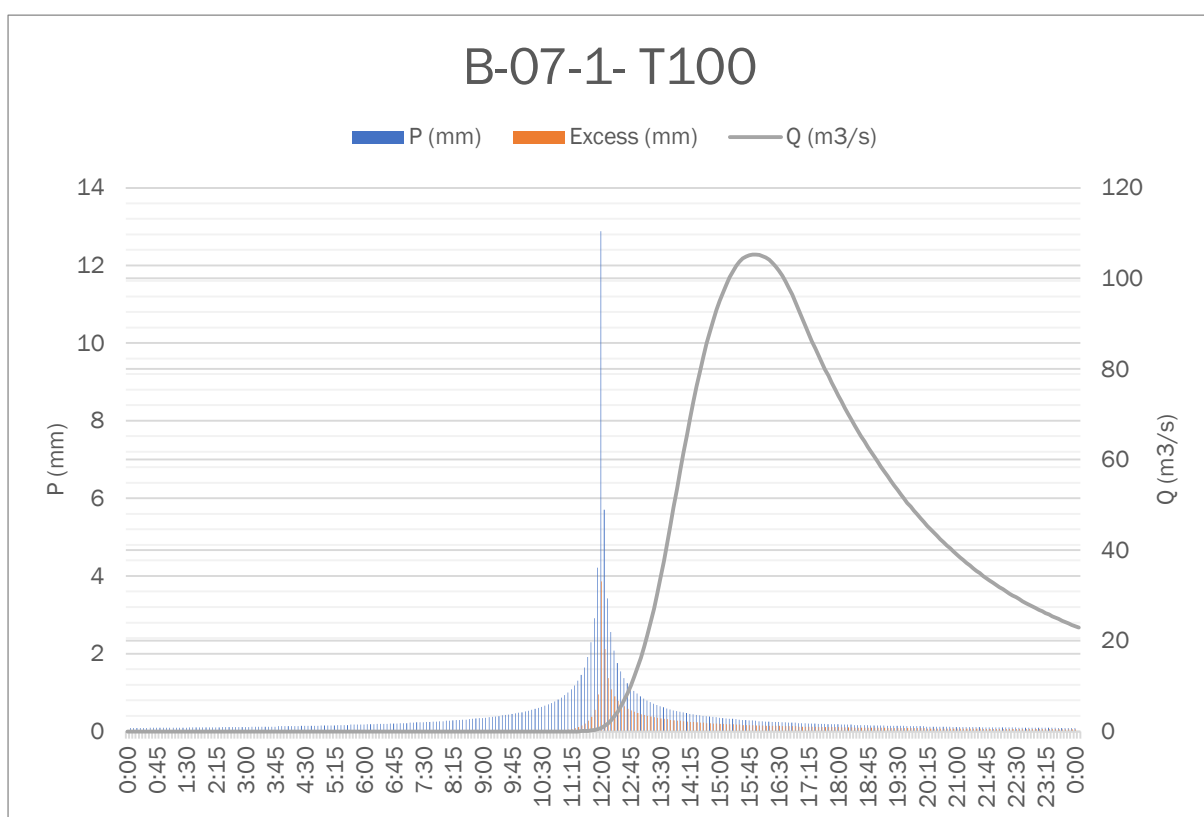
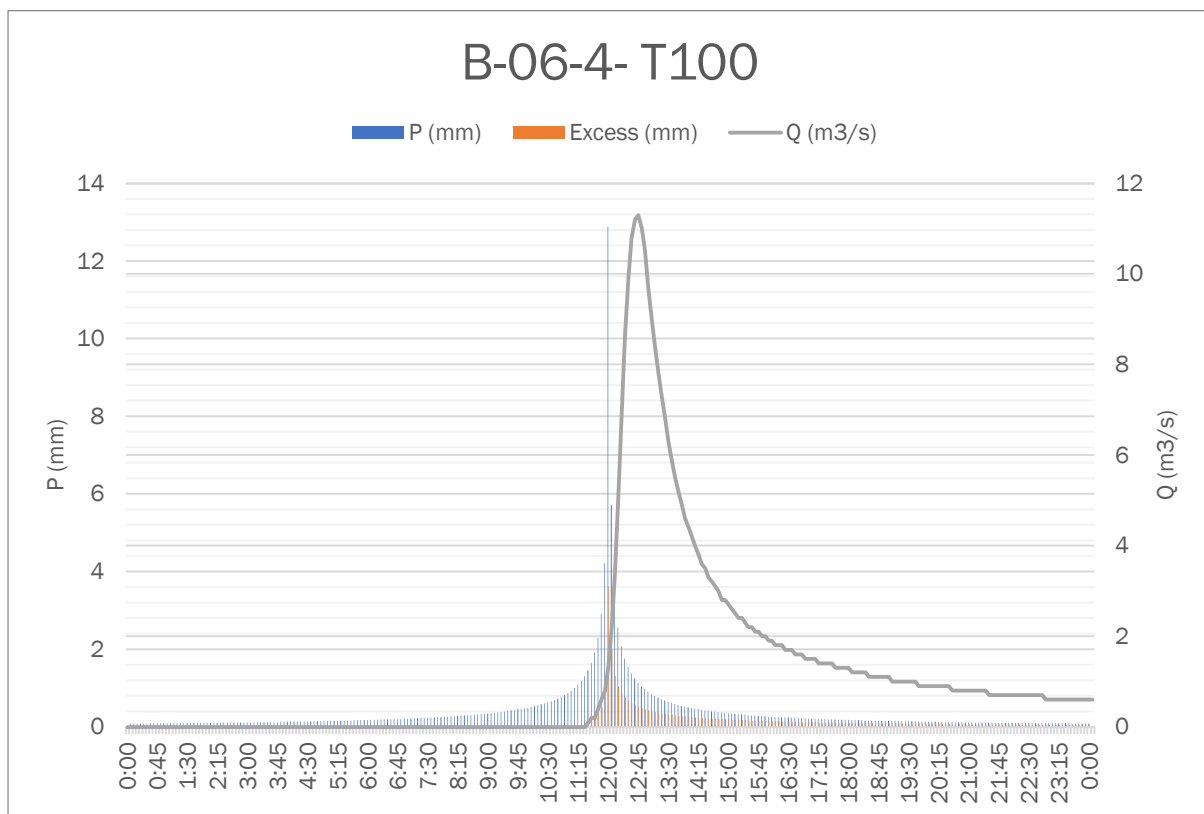


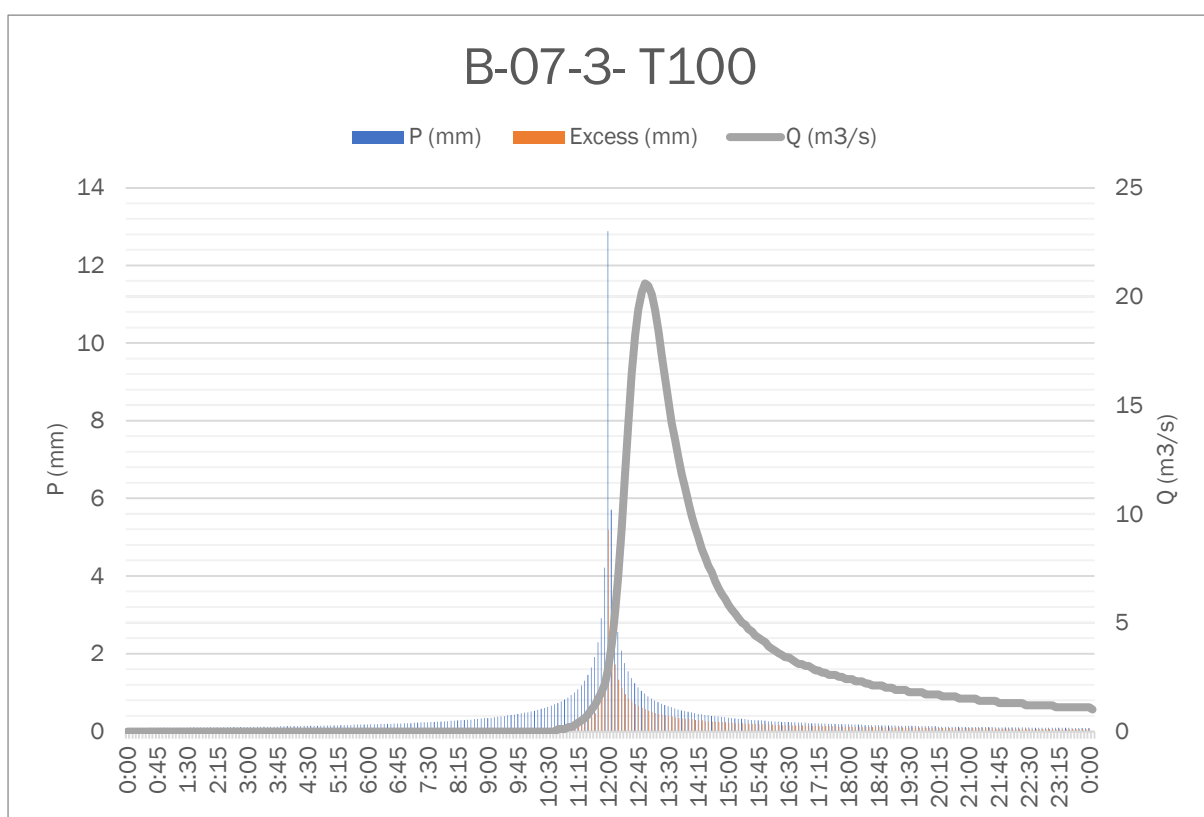
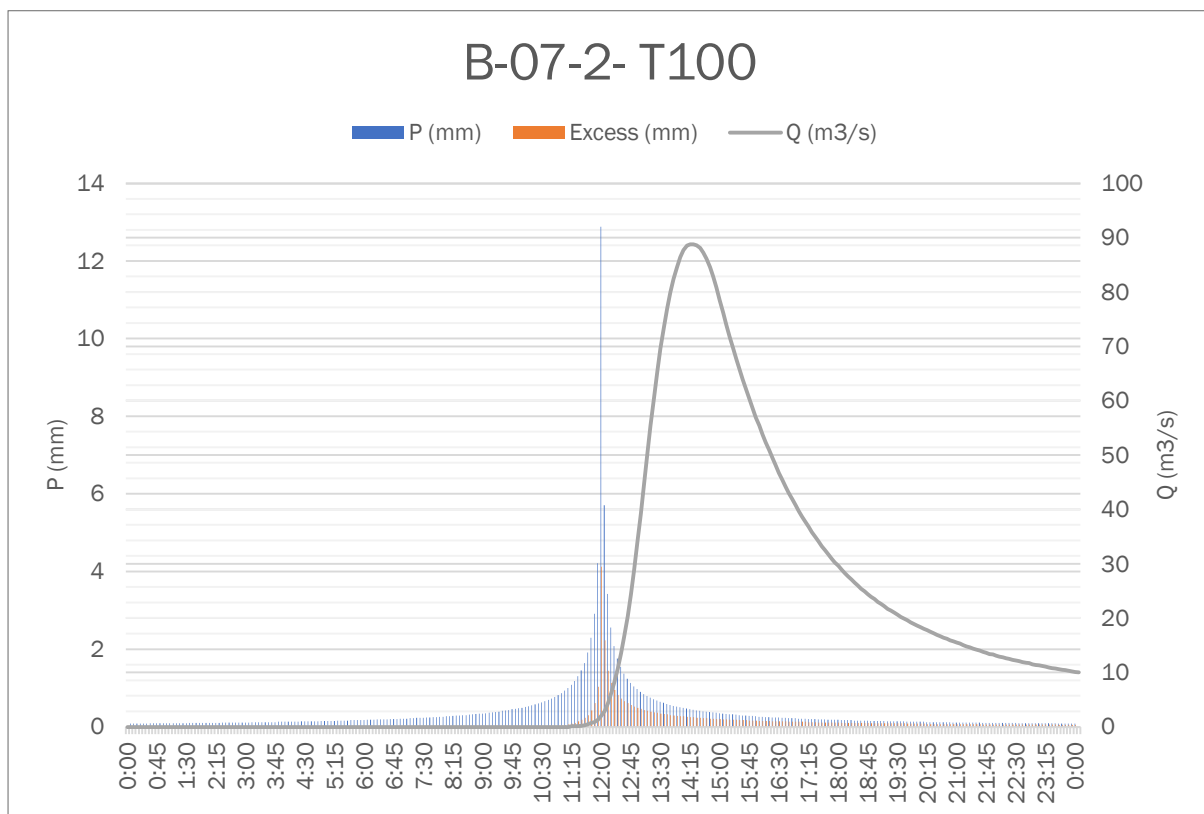


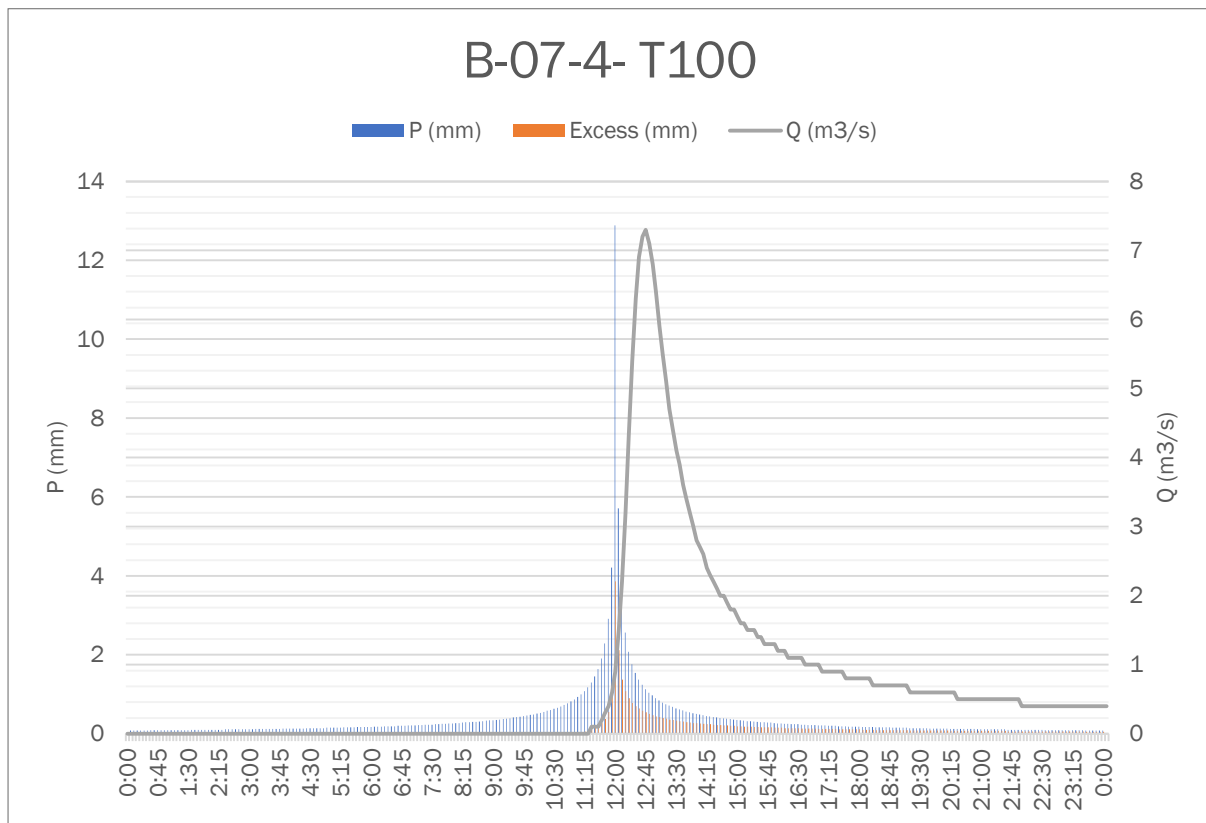




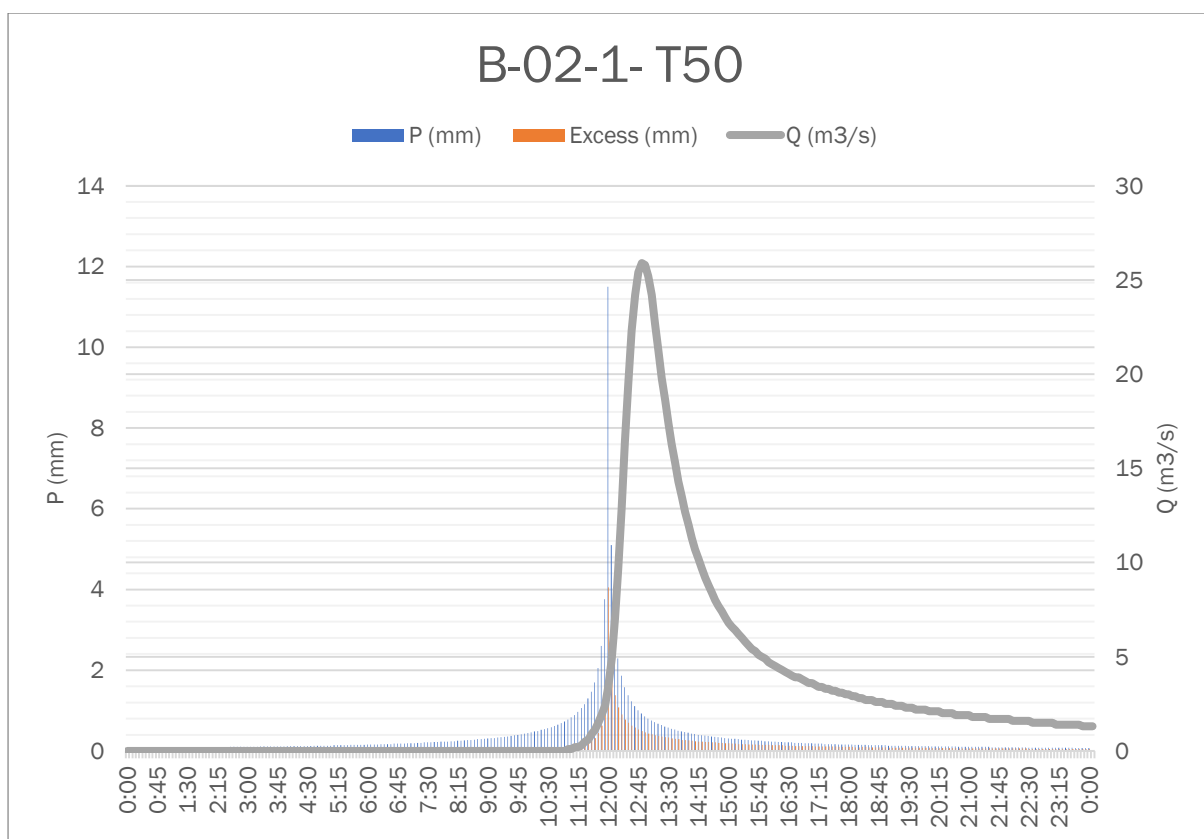
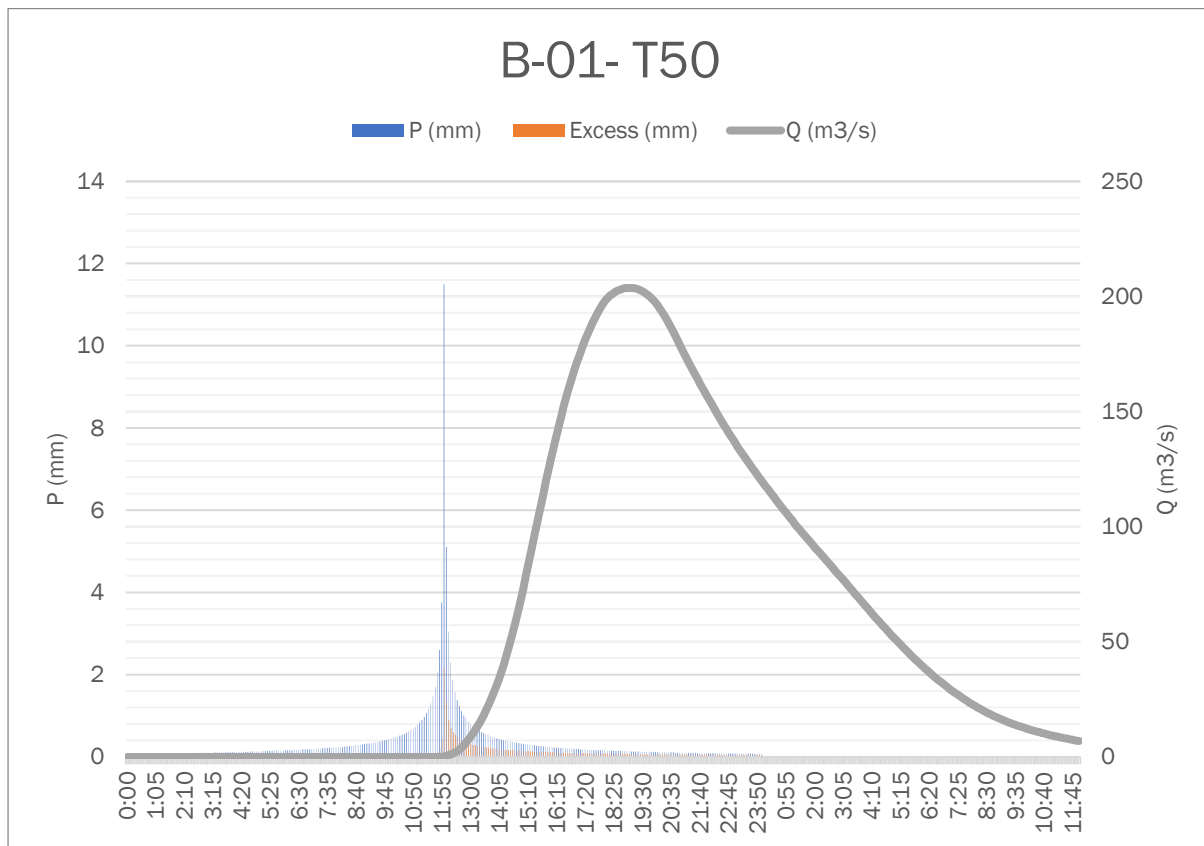


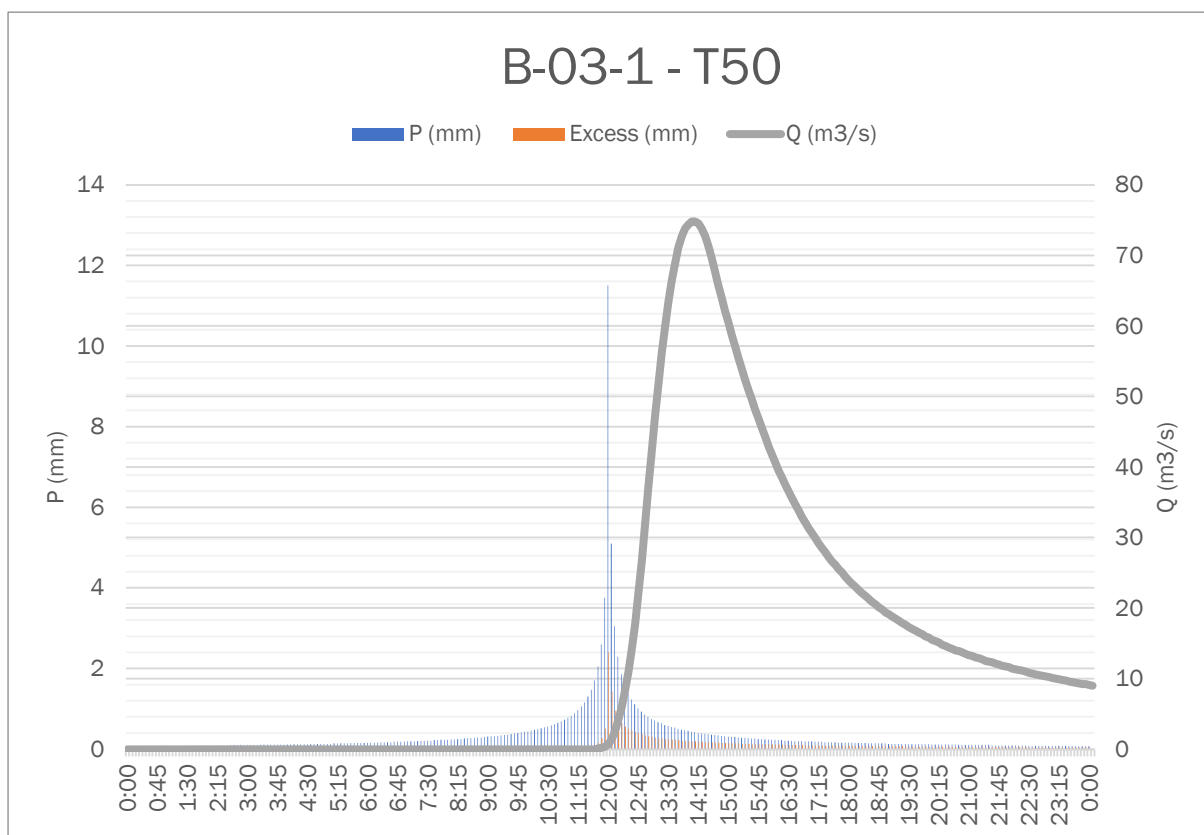
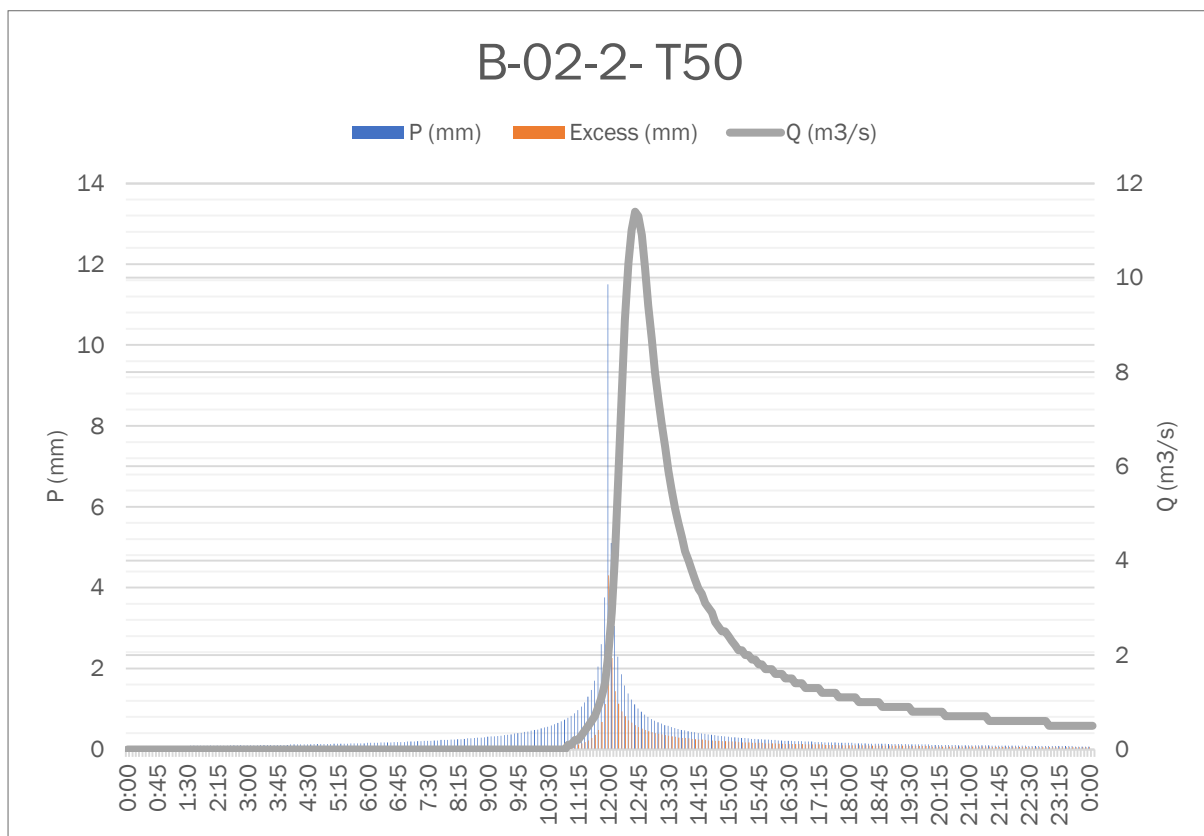


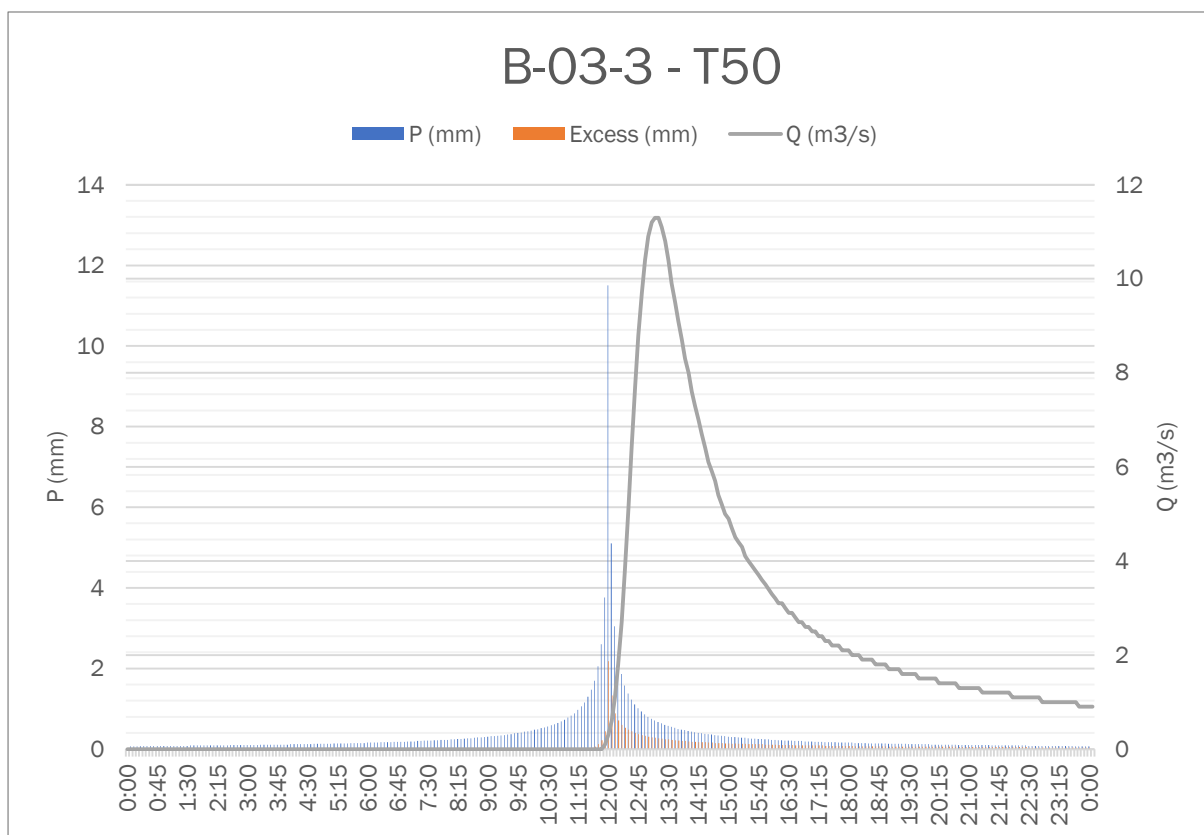
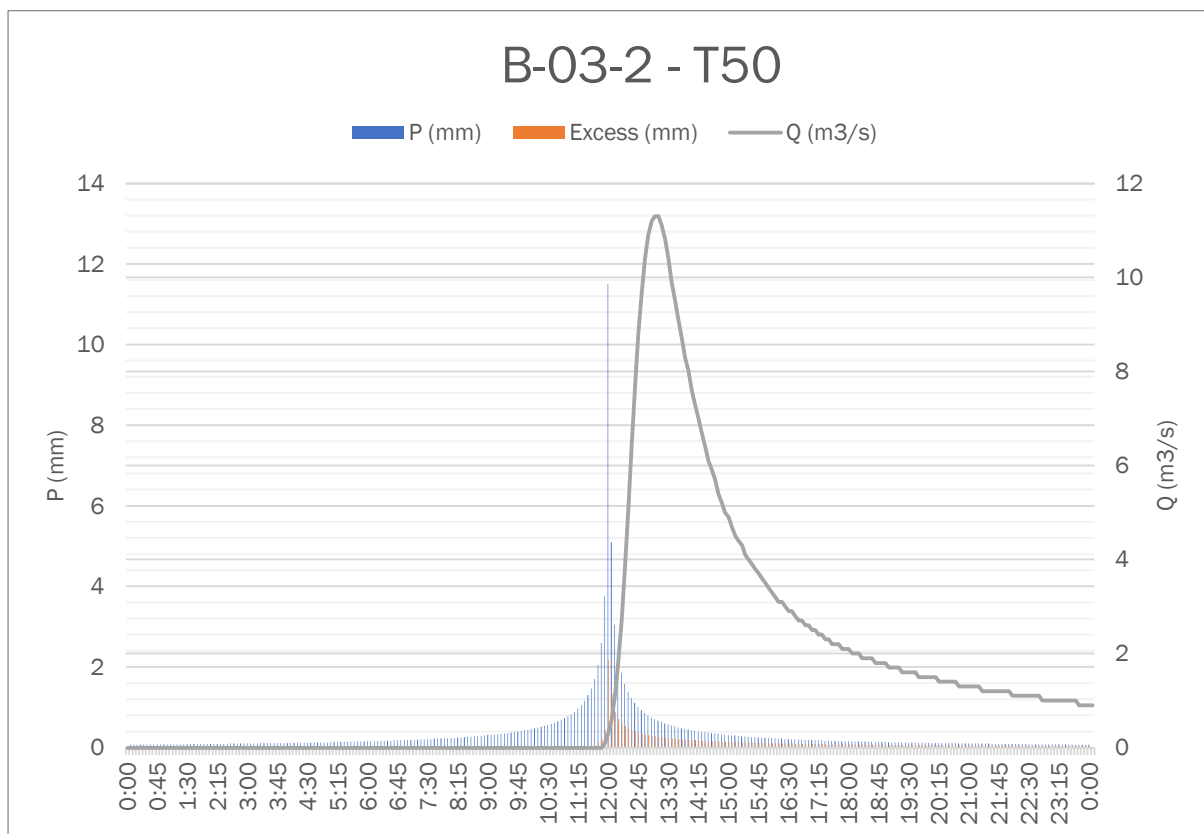


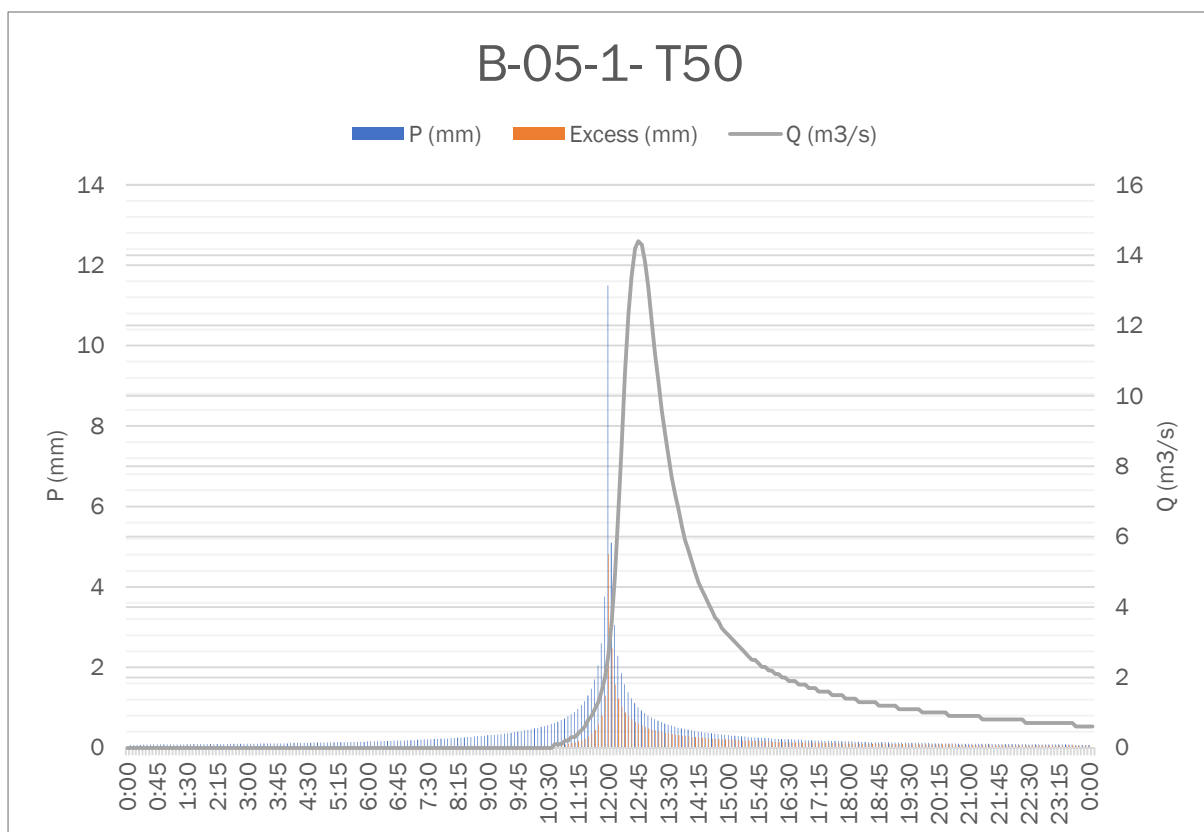
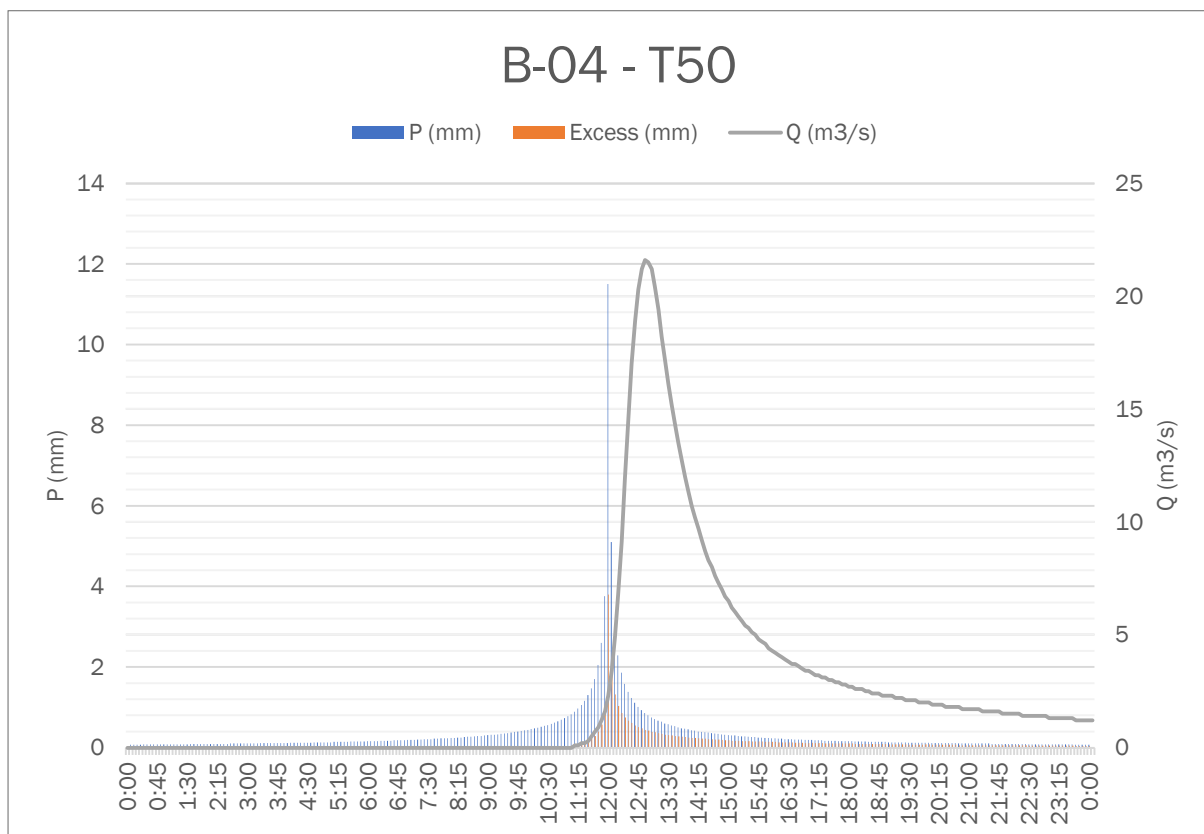


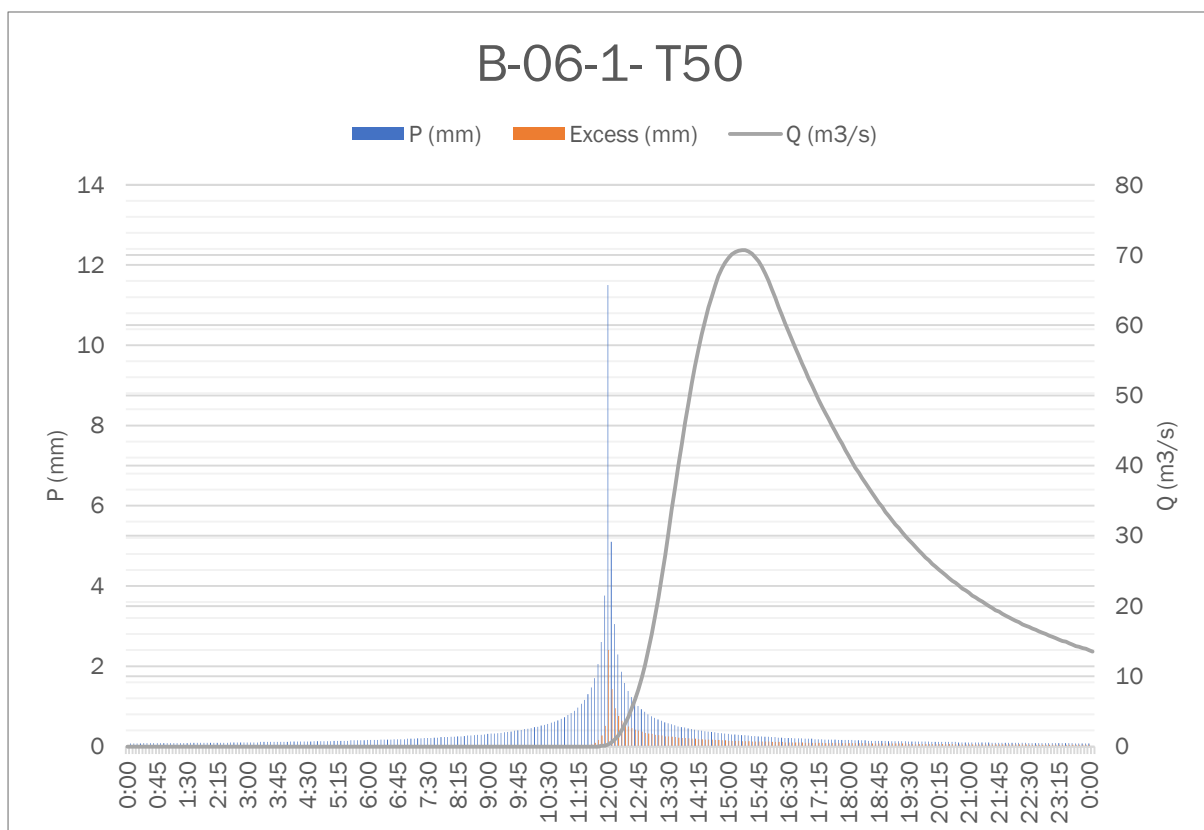
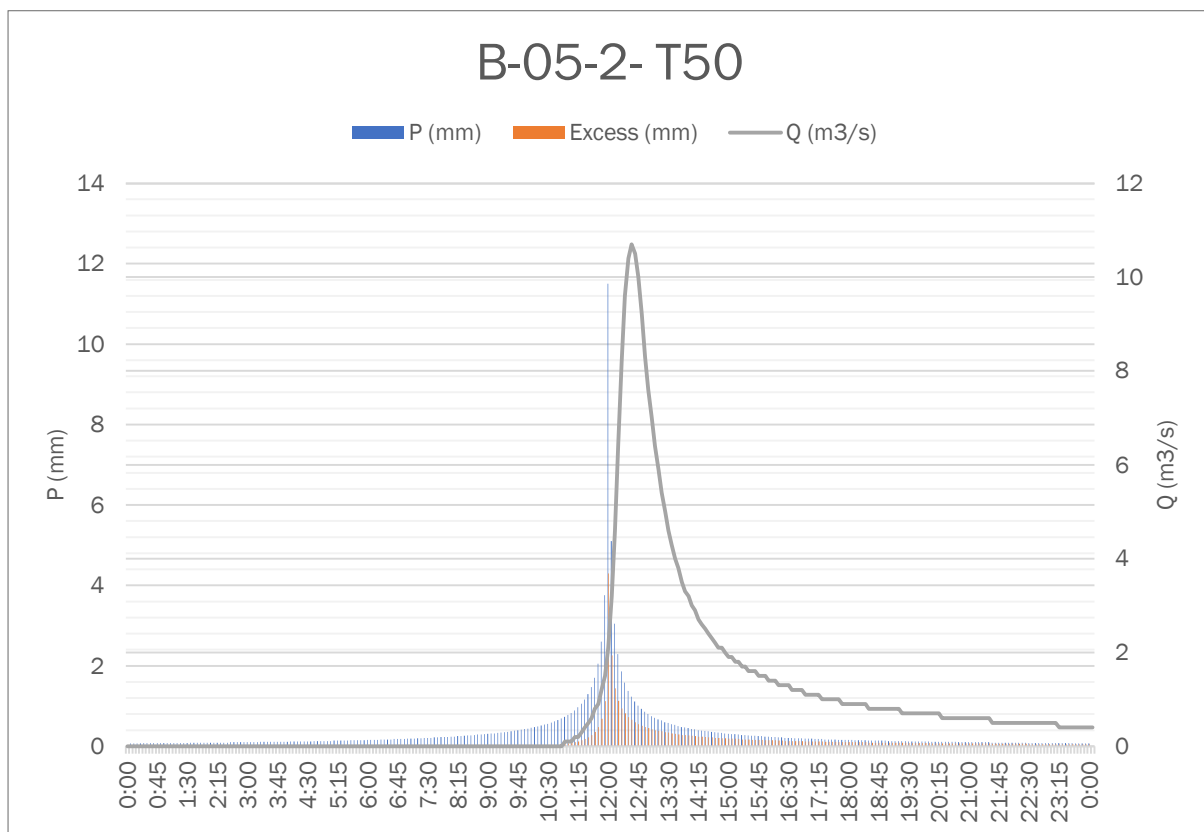
PERÍODO DE RETORNO DE 50 ANOS

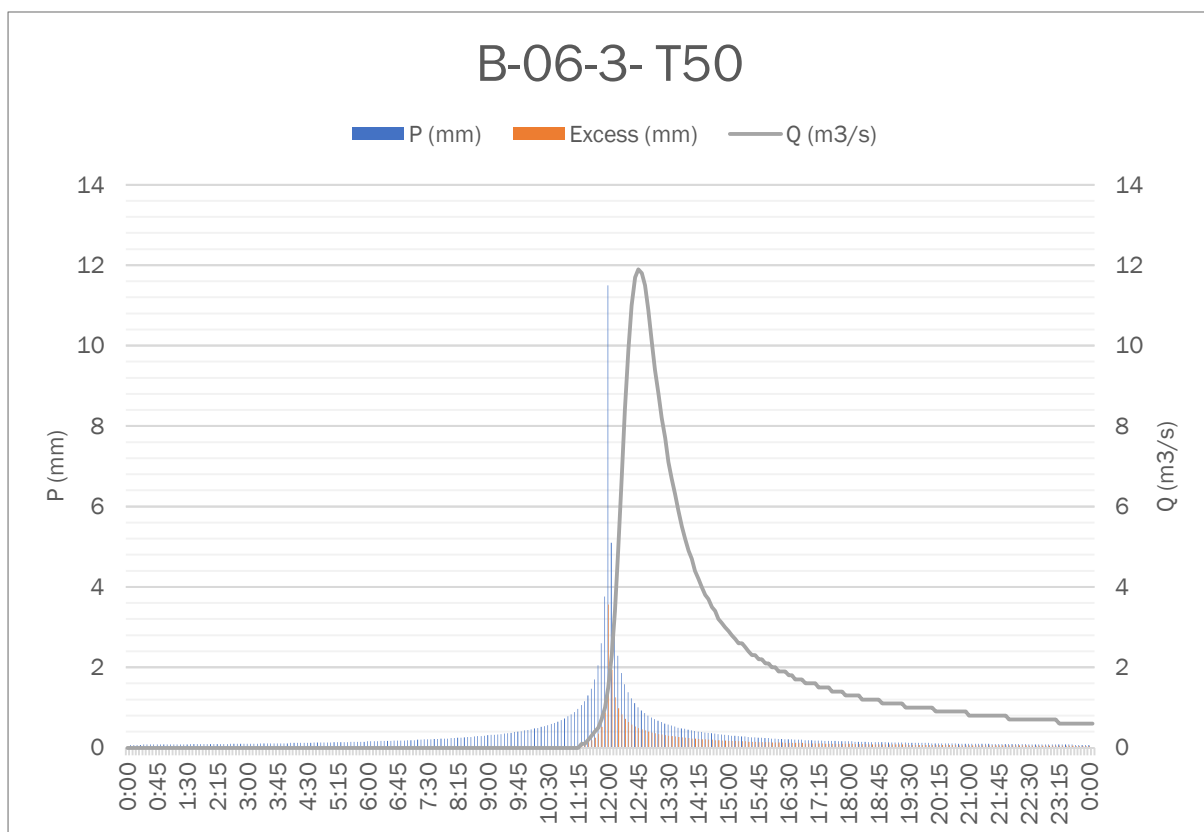
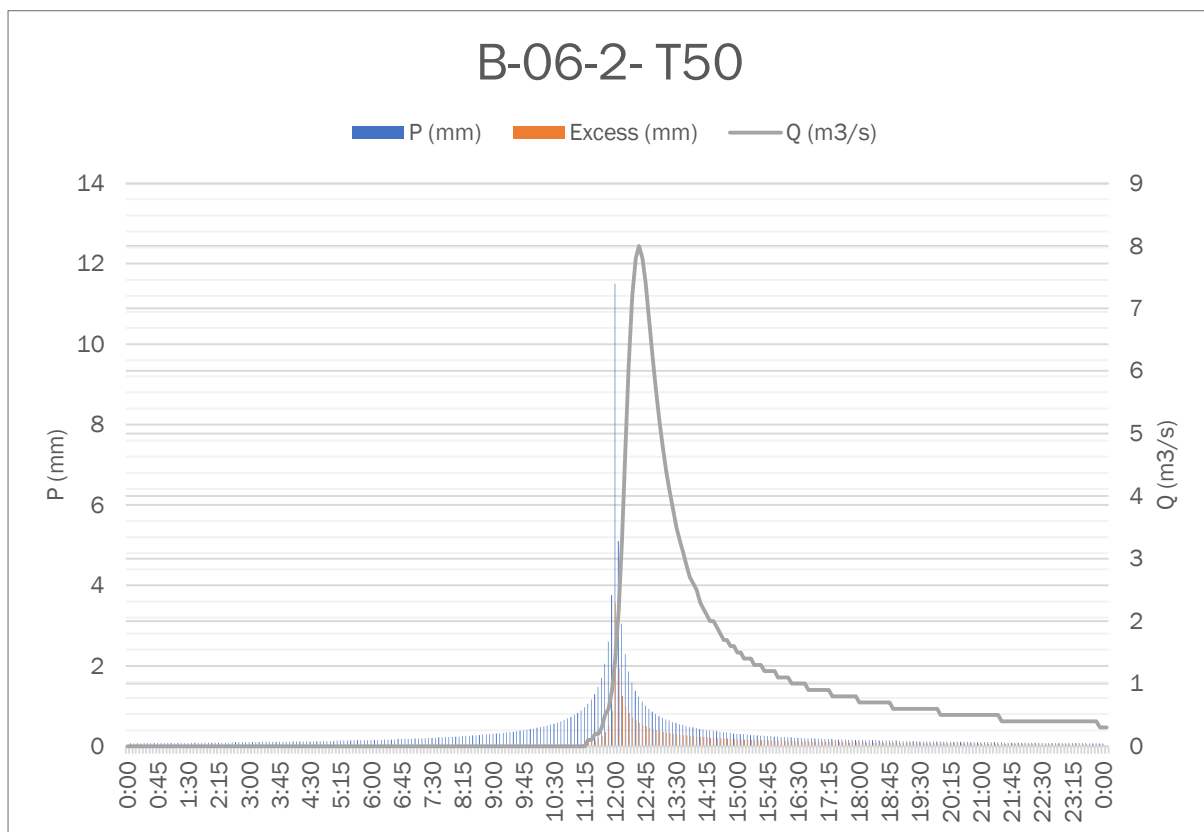


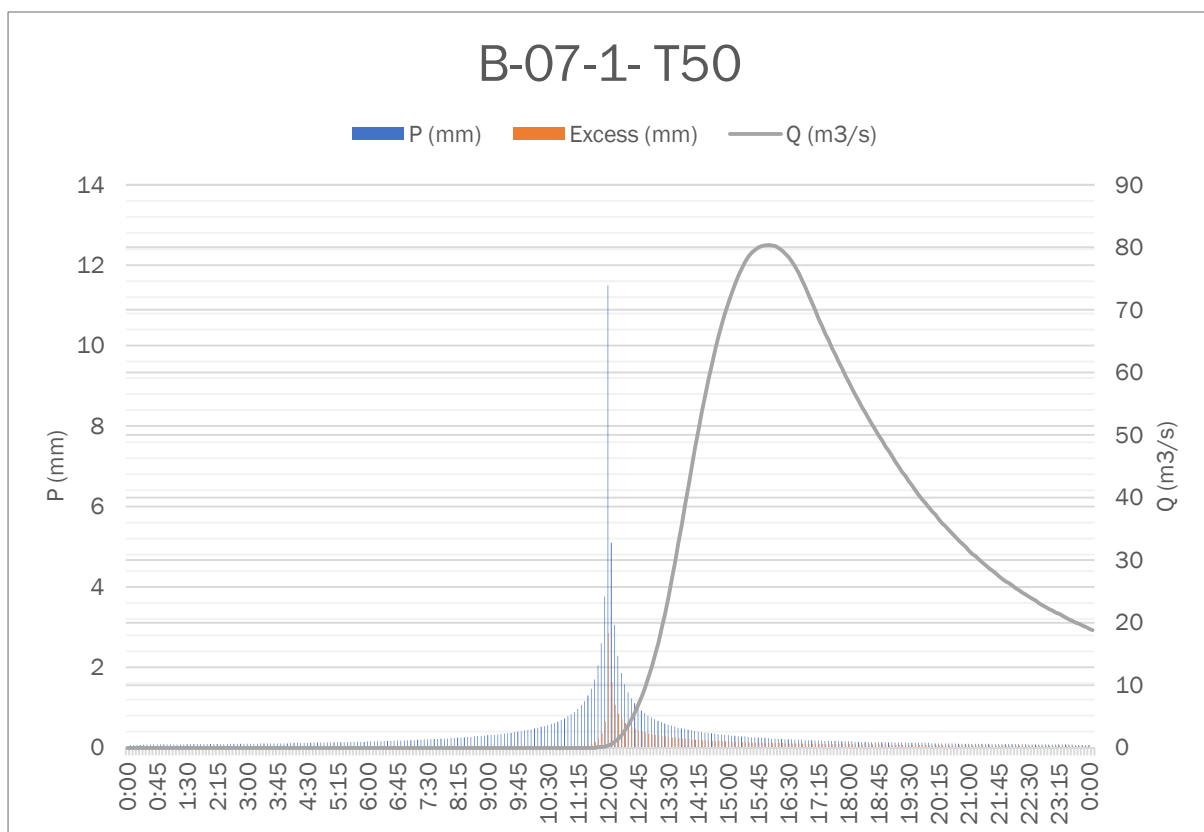
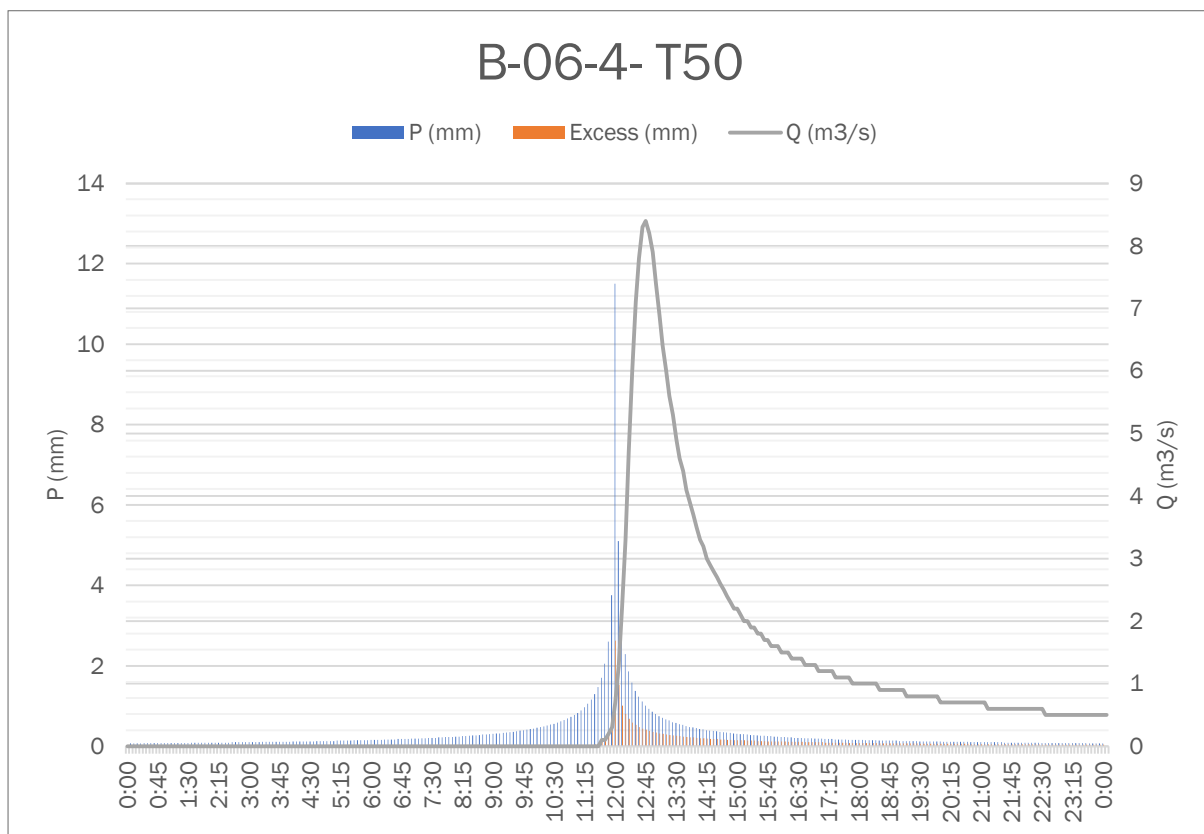


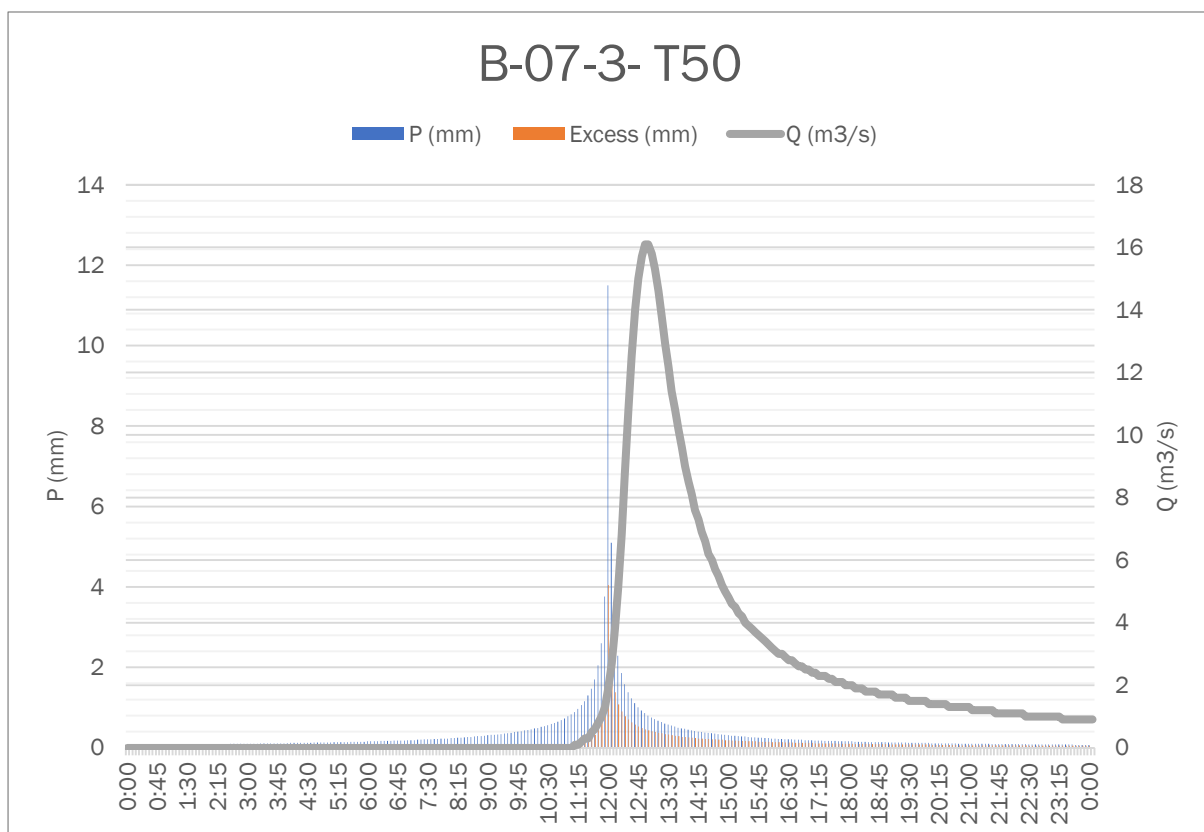
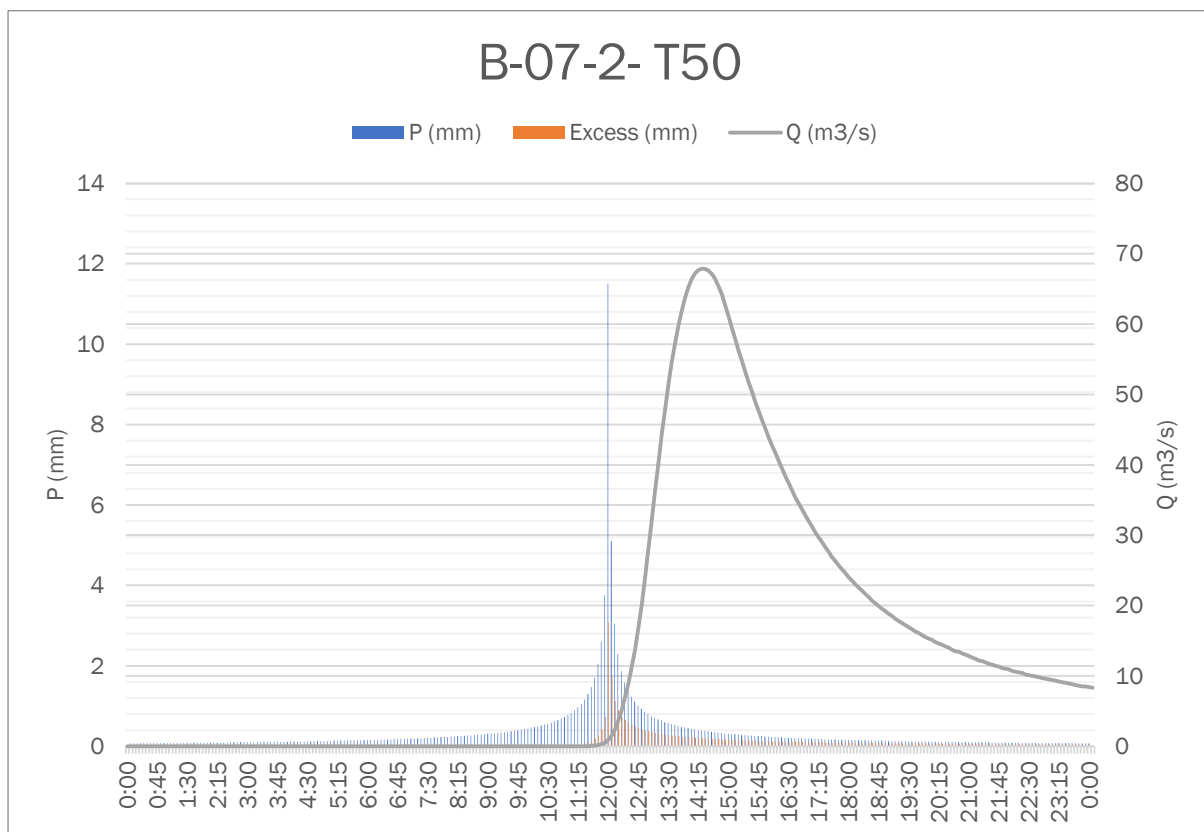


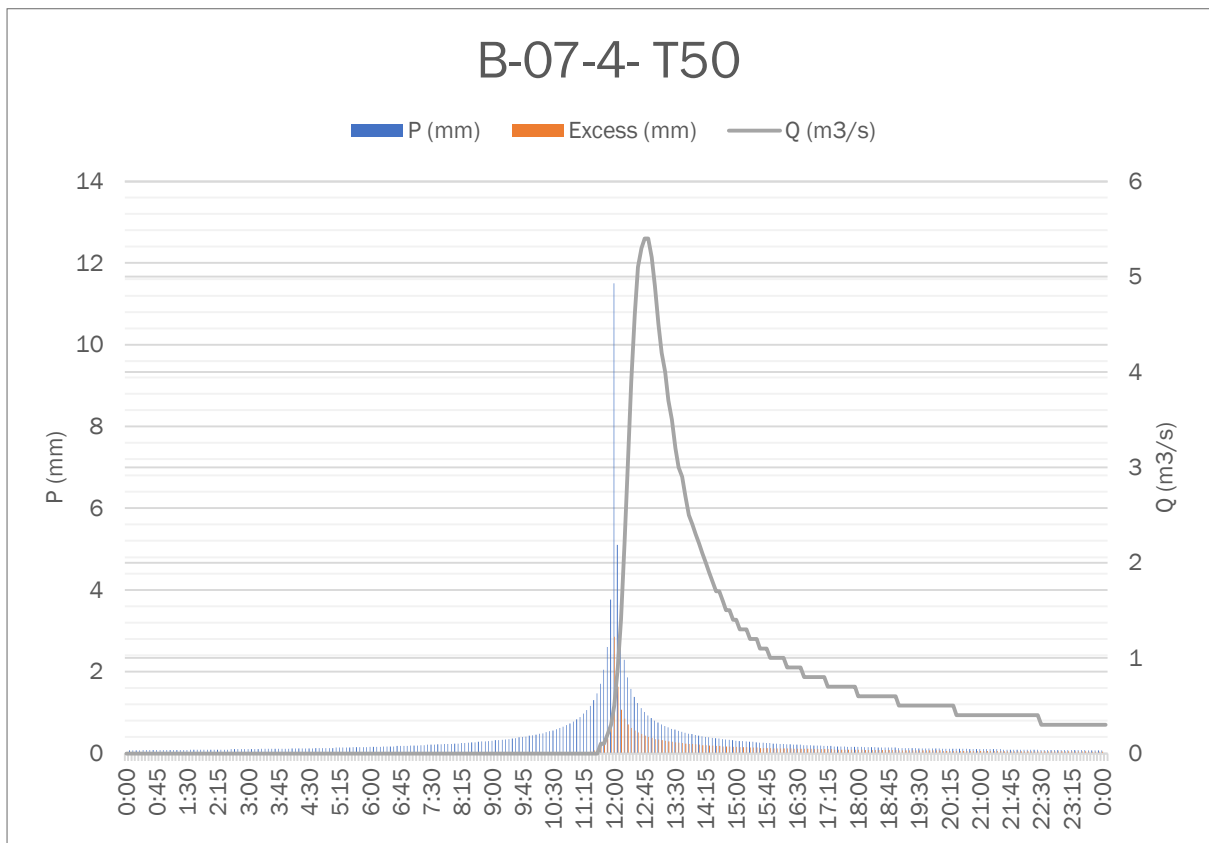




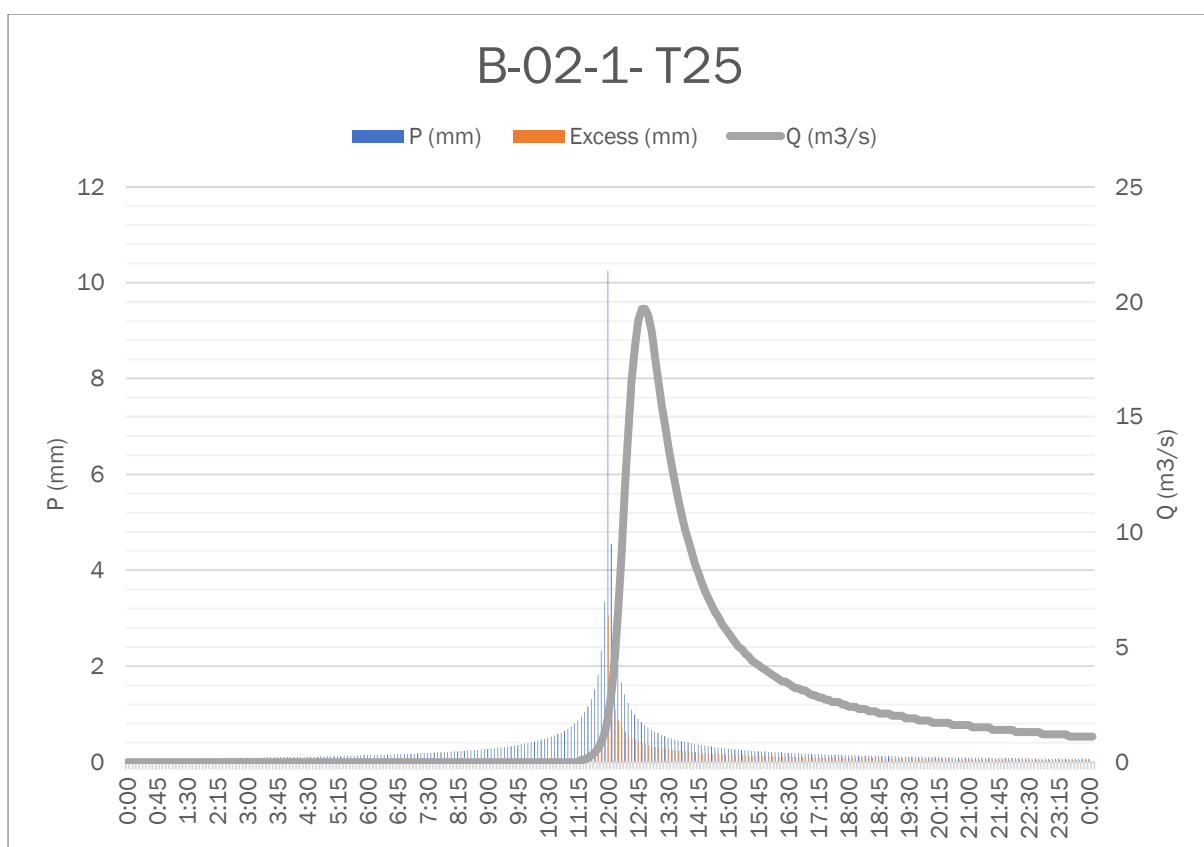
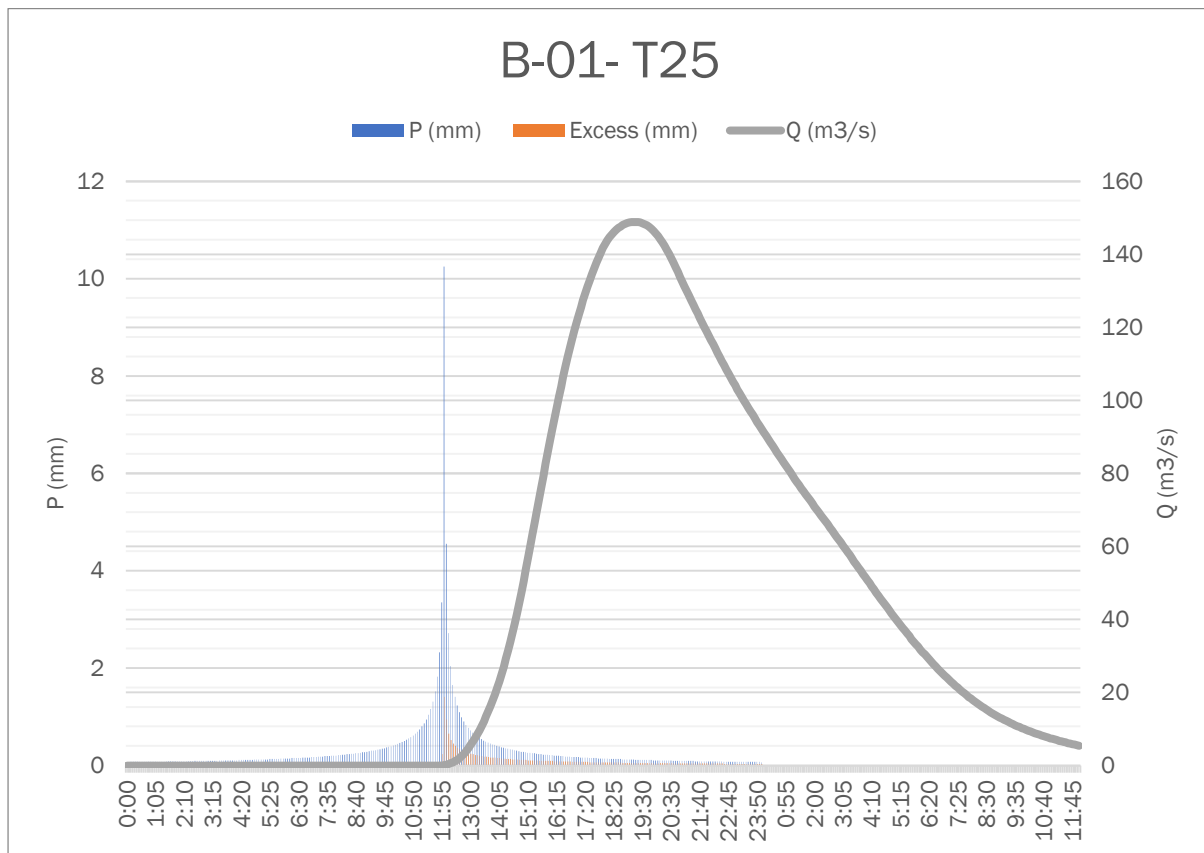


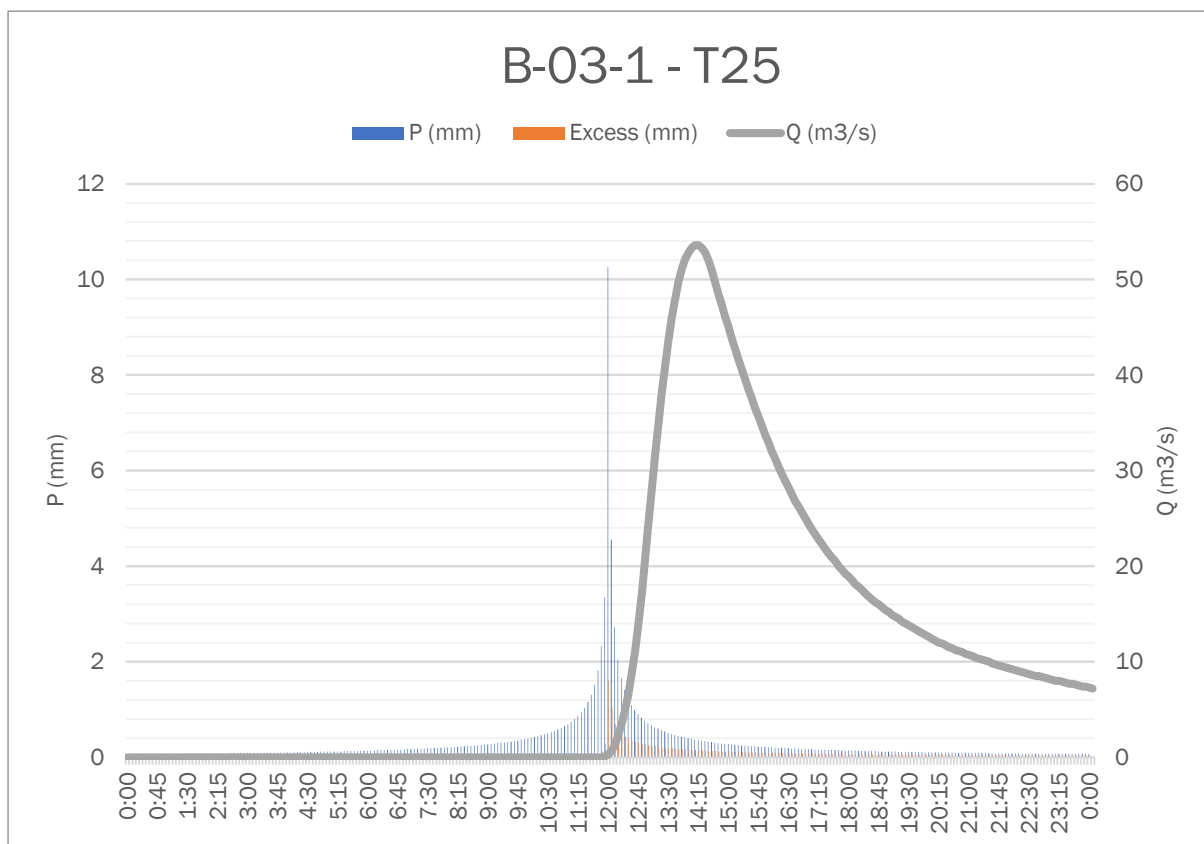
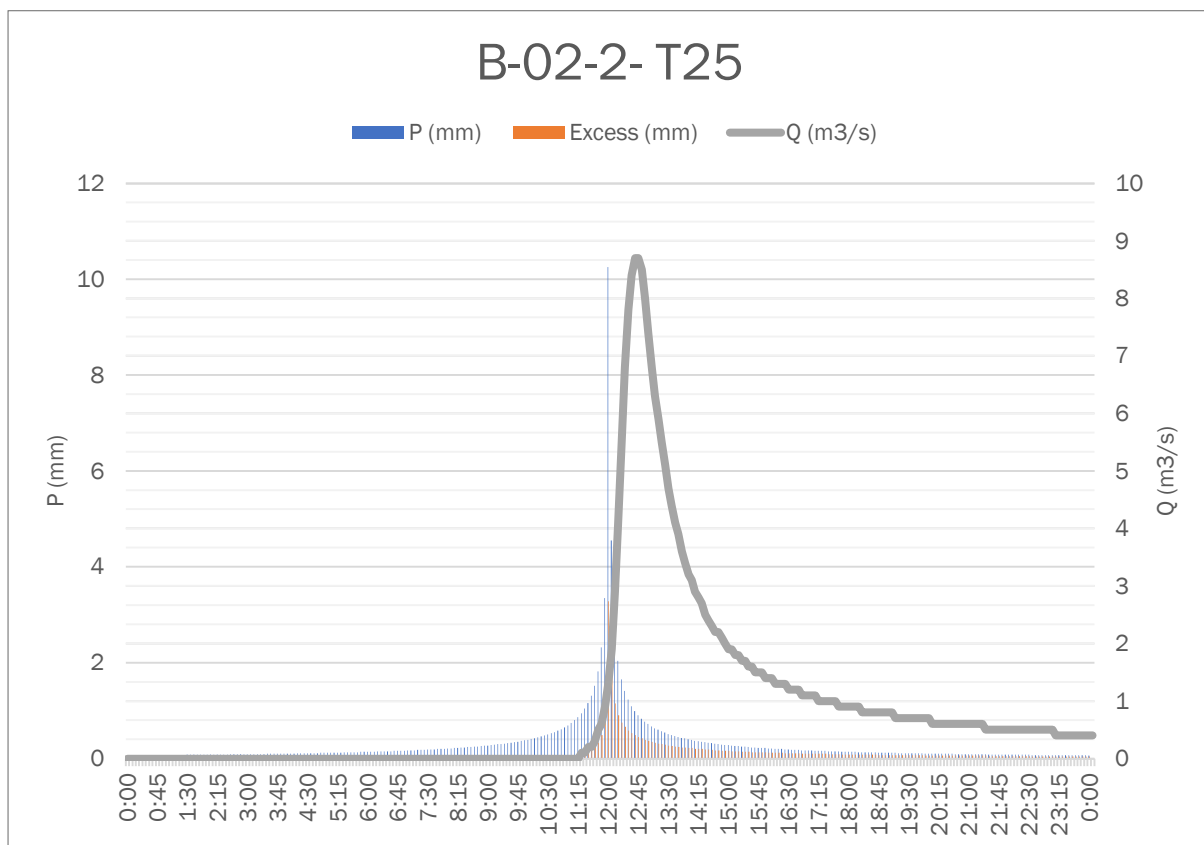


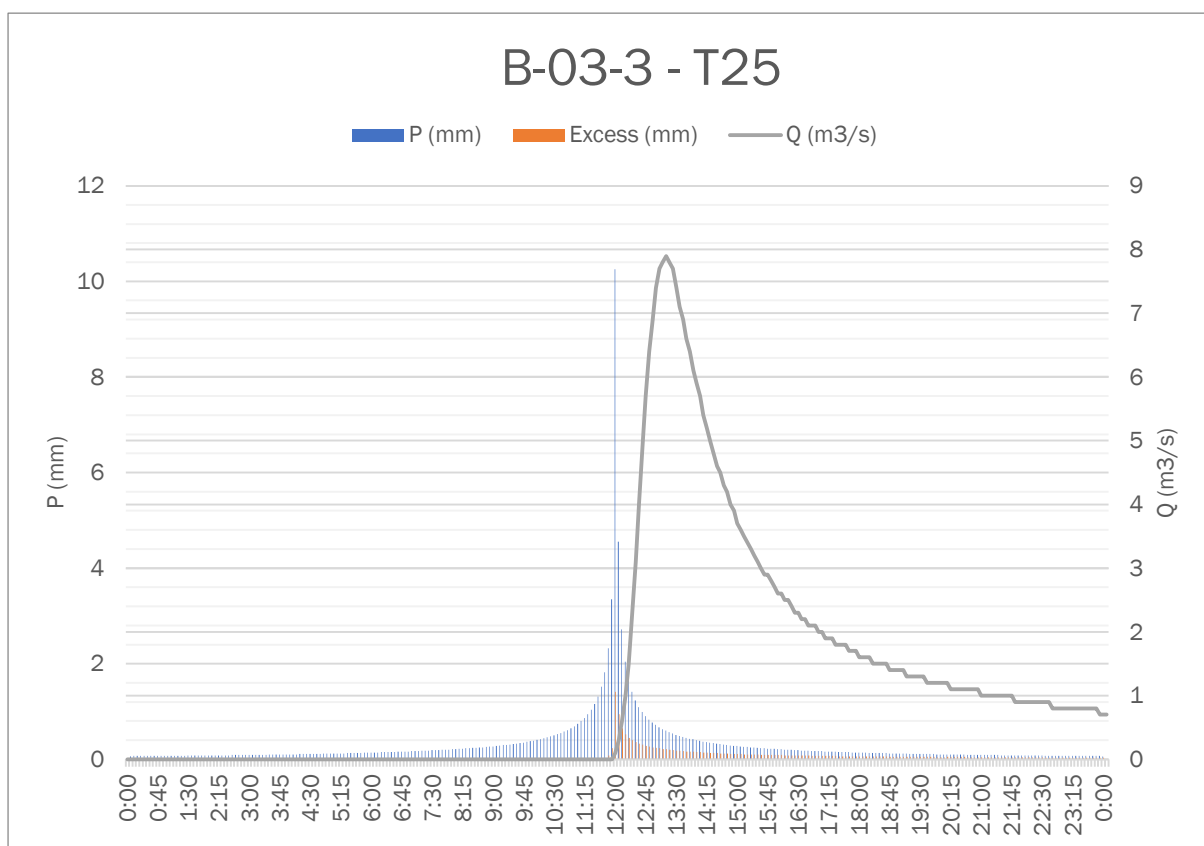
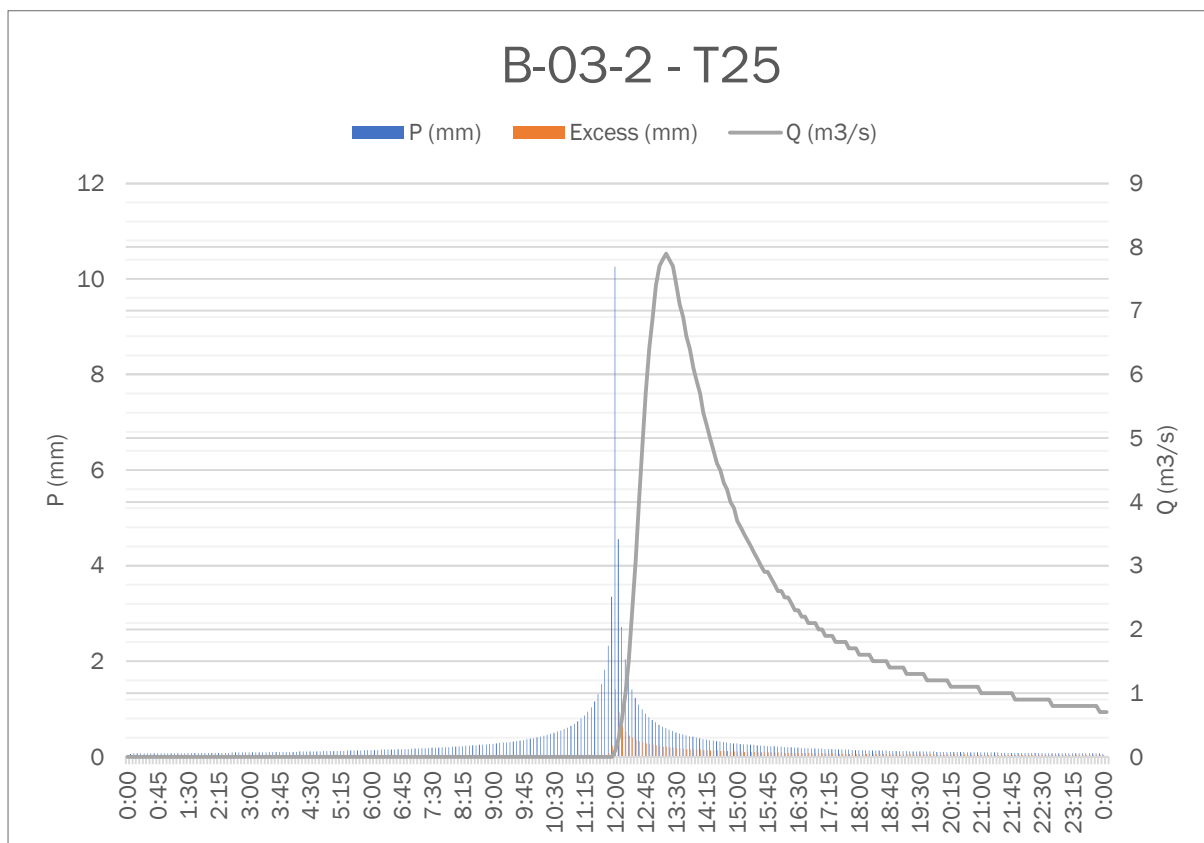


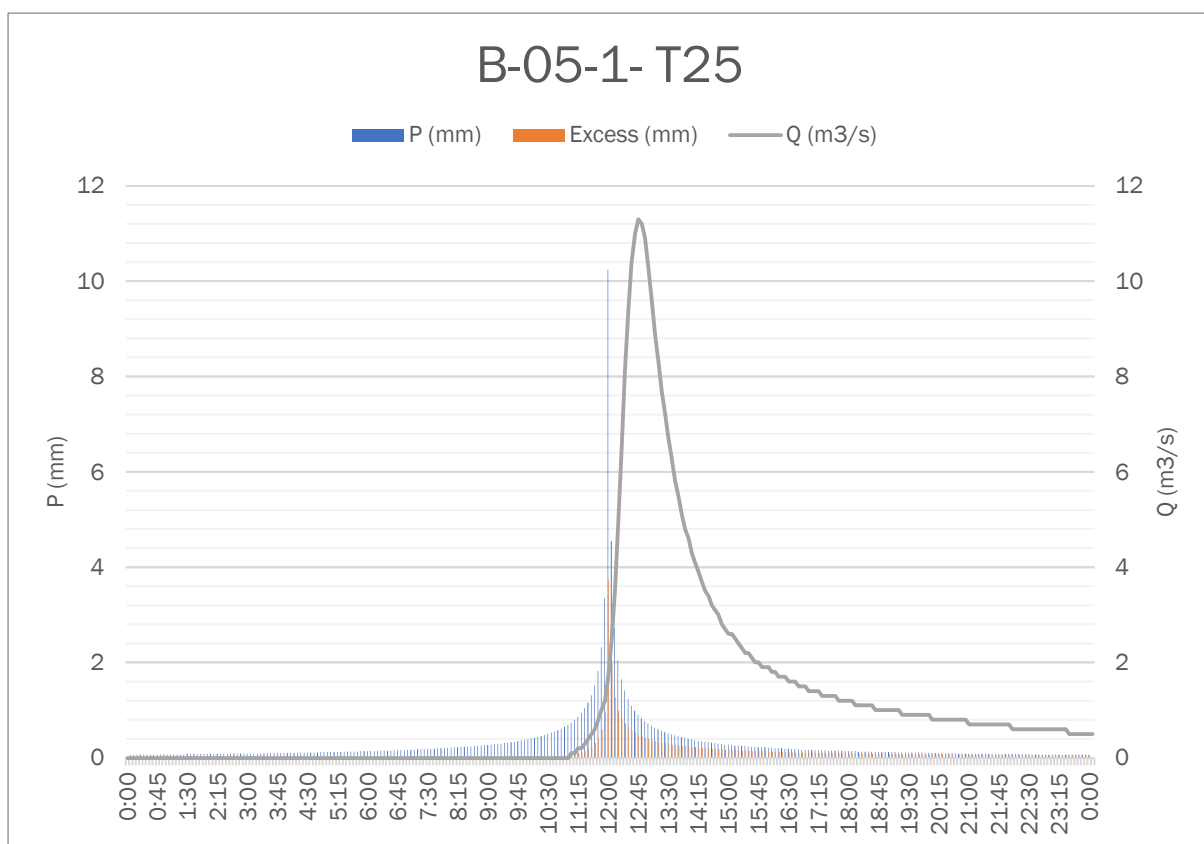
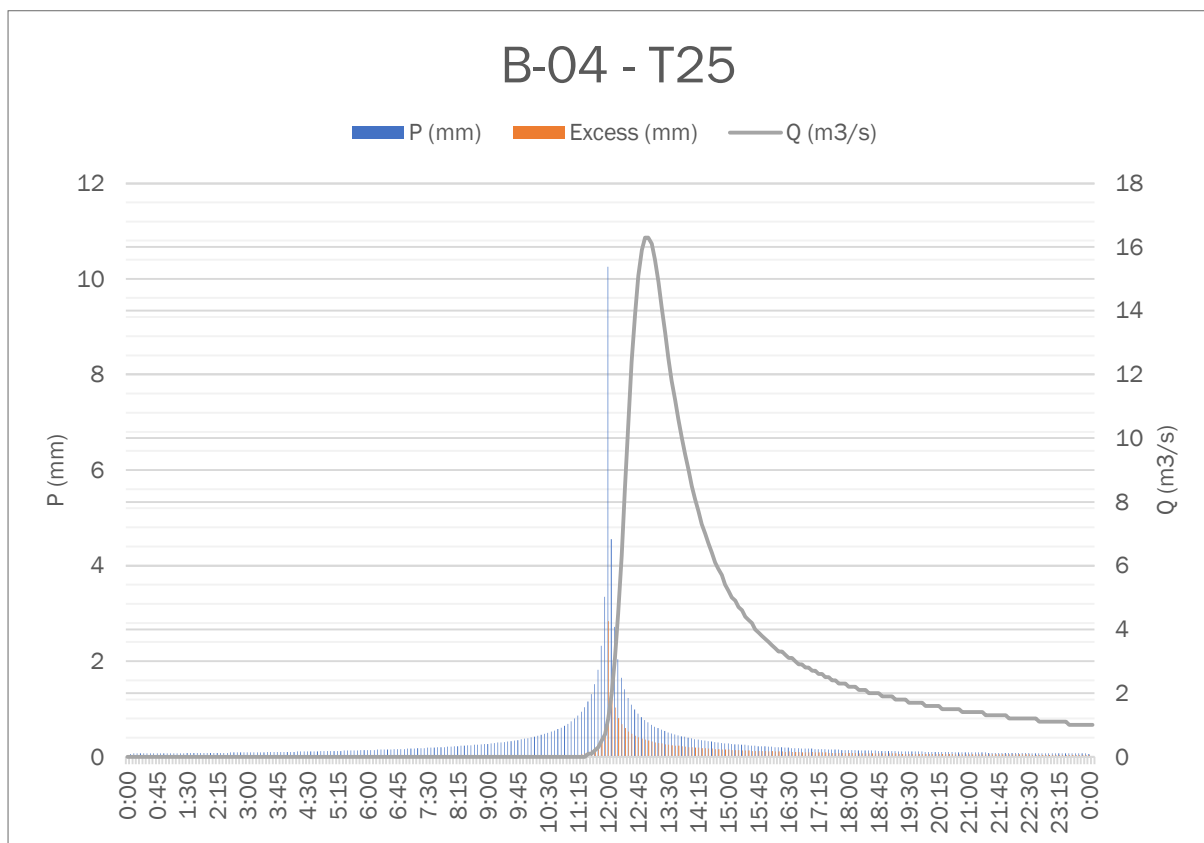


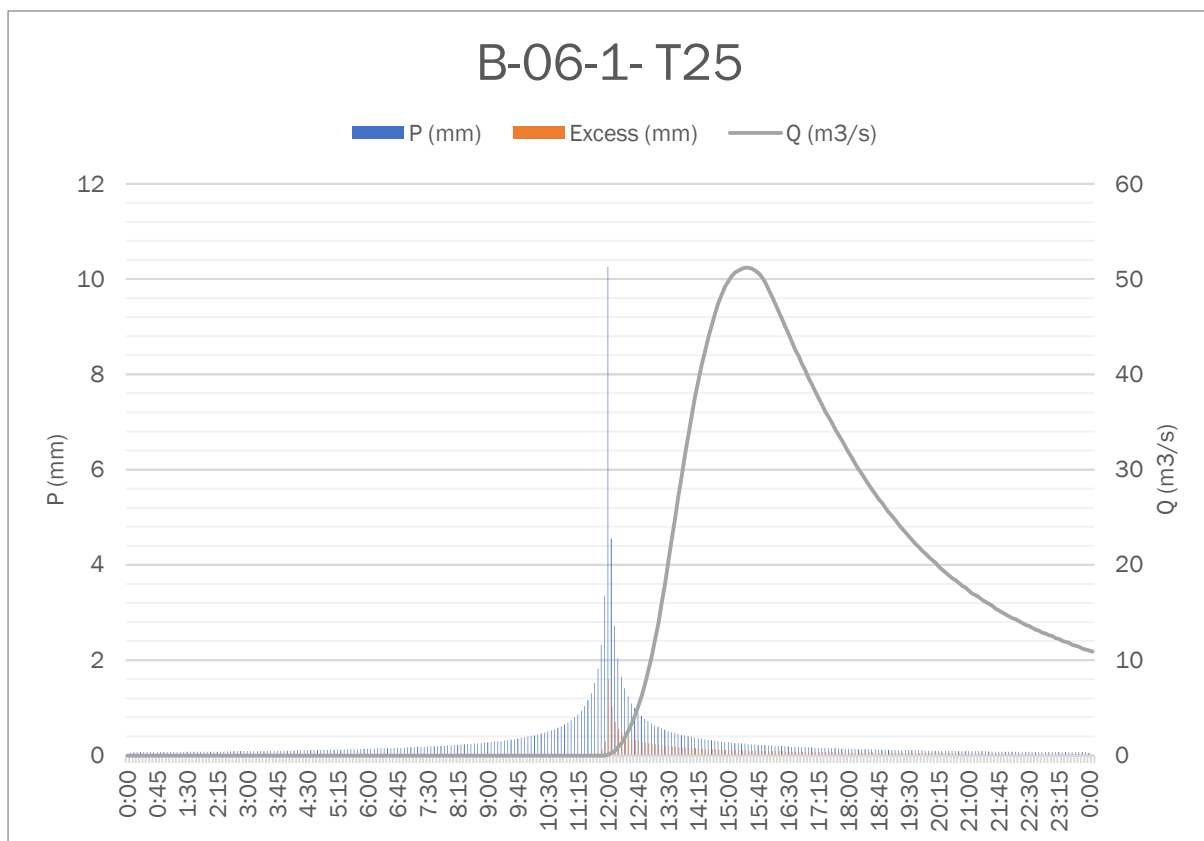
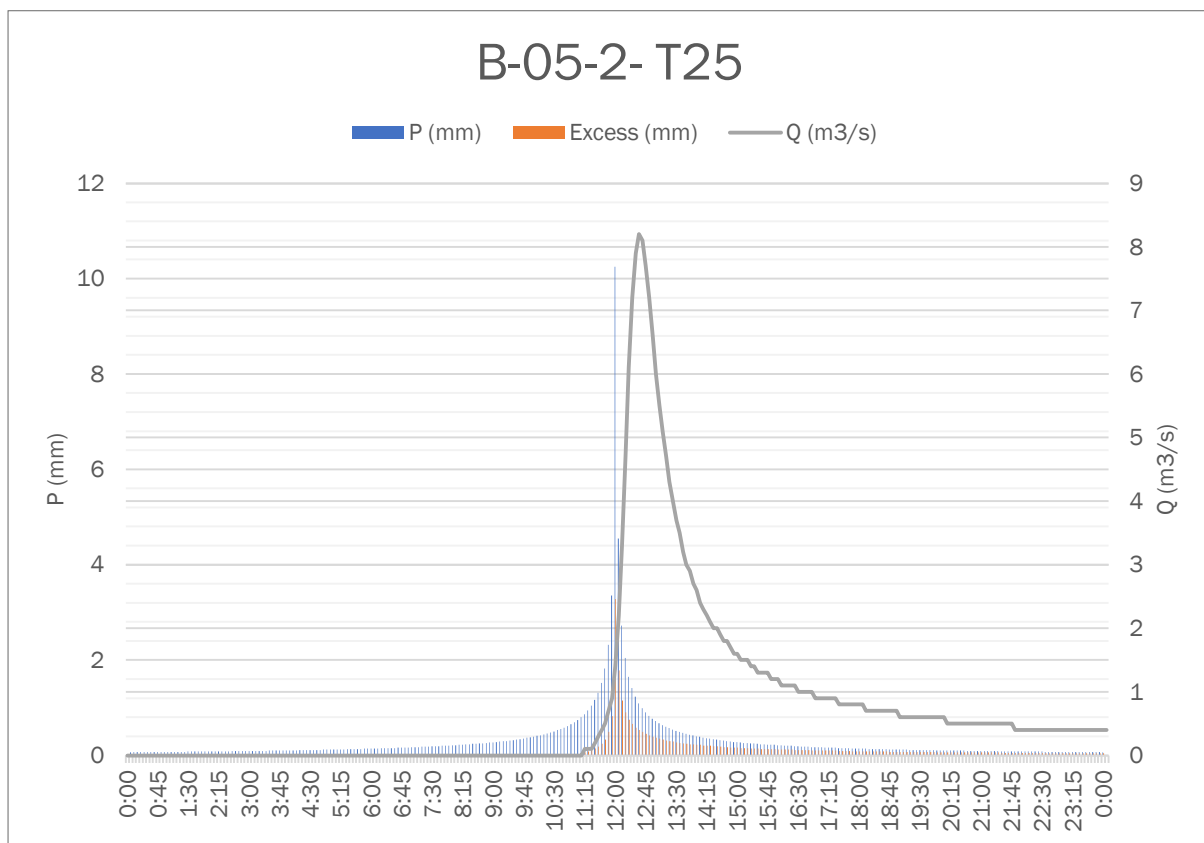
PERÍODO DE RETORNO DE 25 ANOS

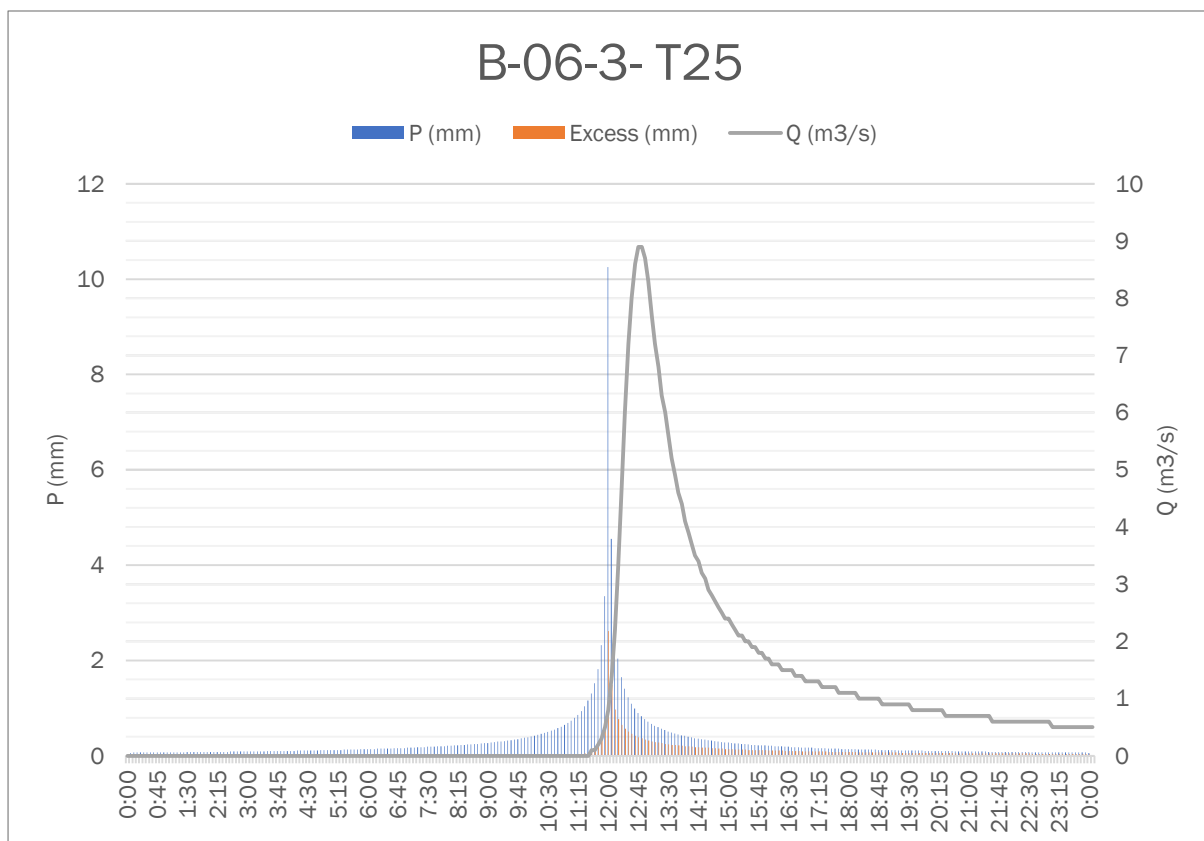
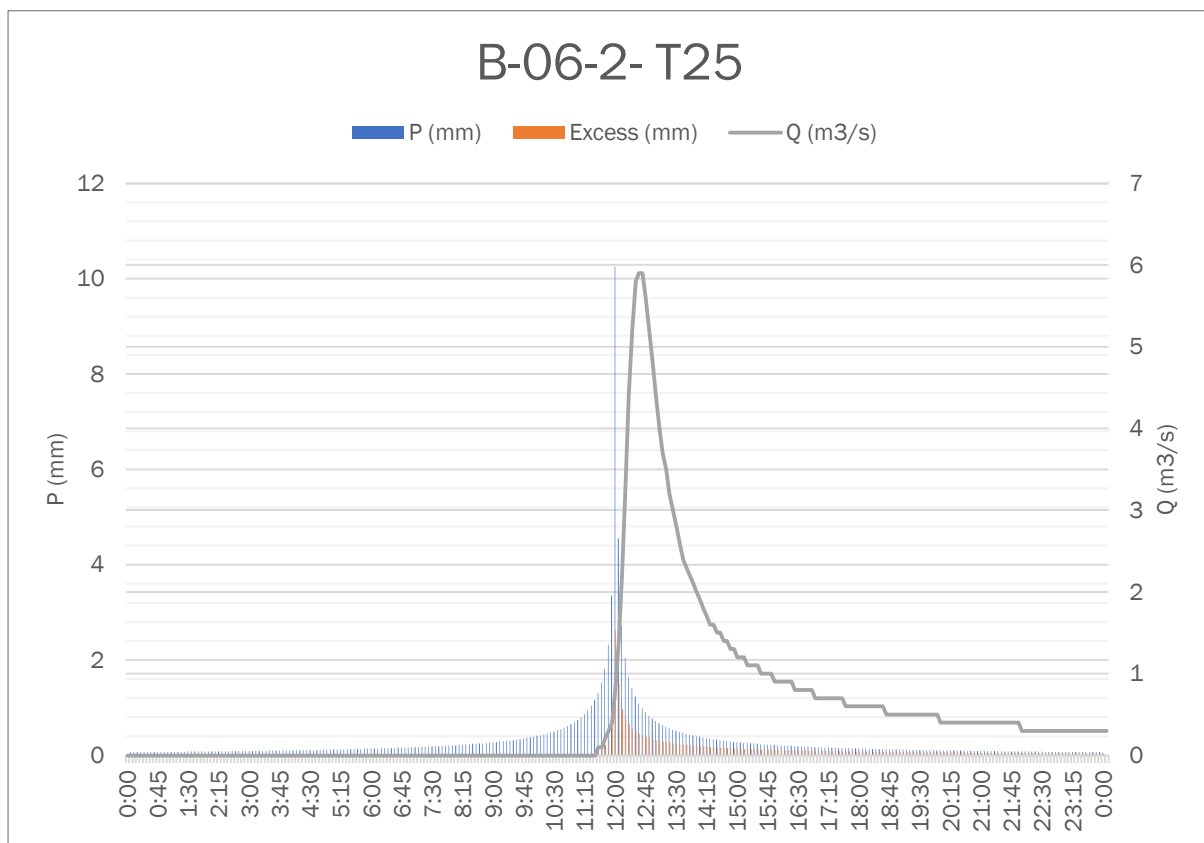


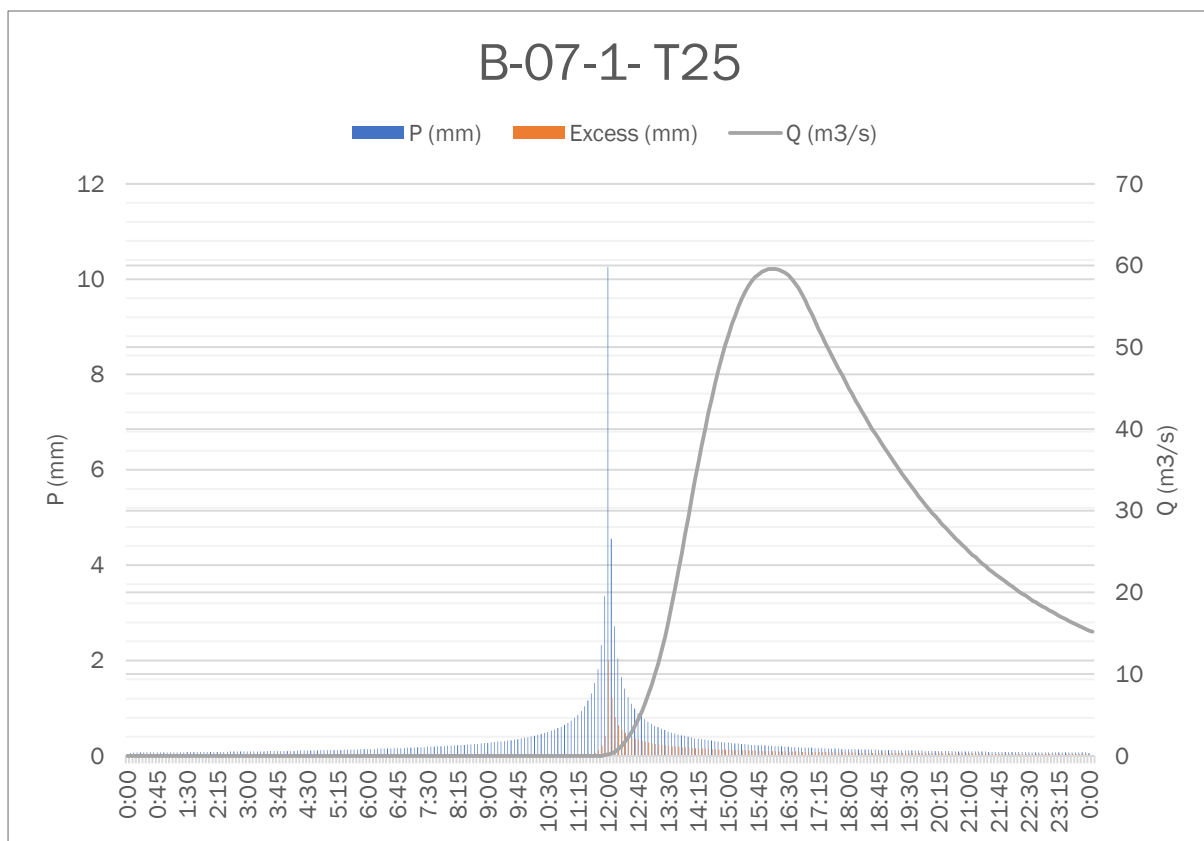
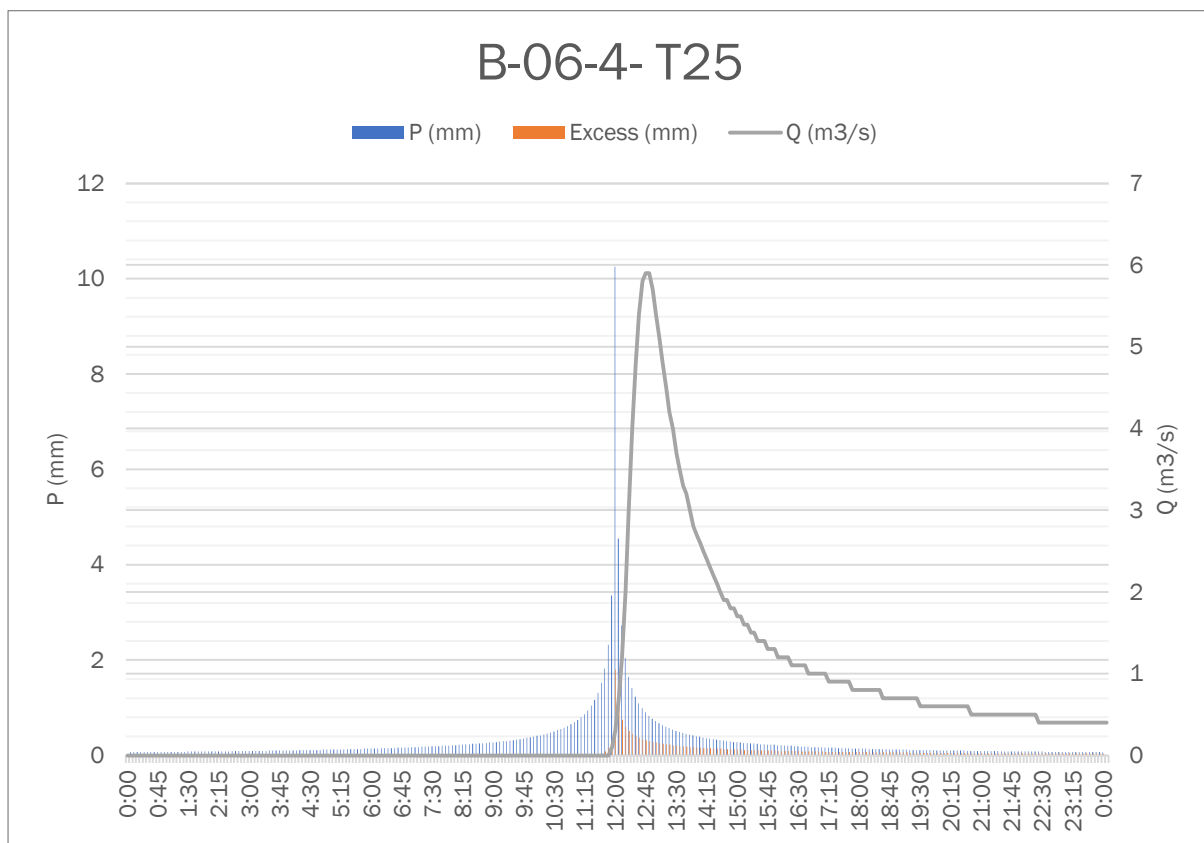


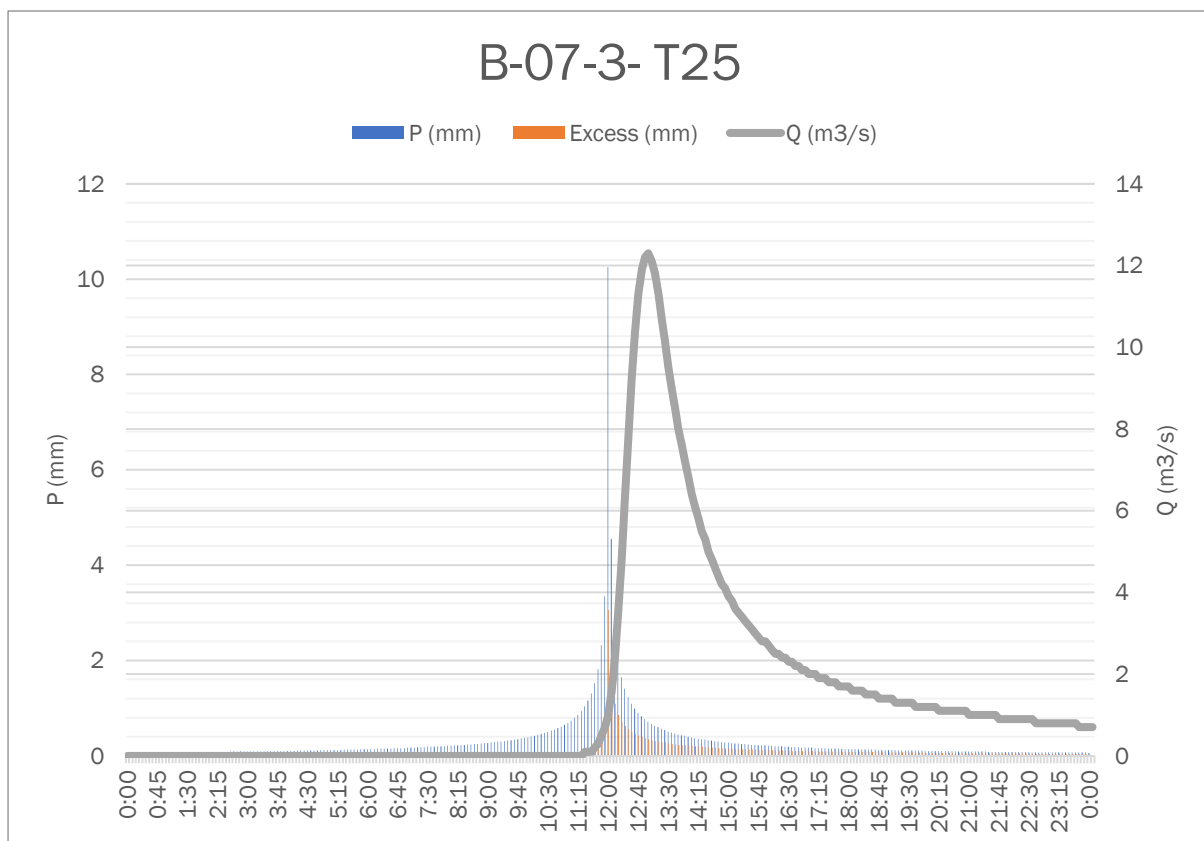
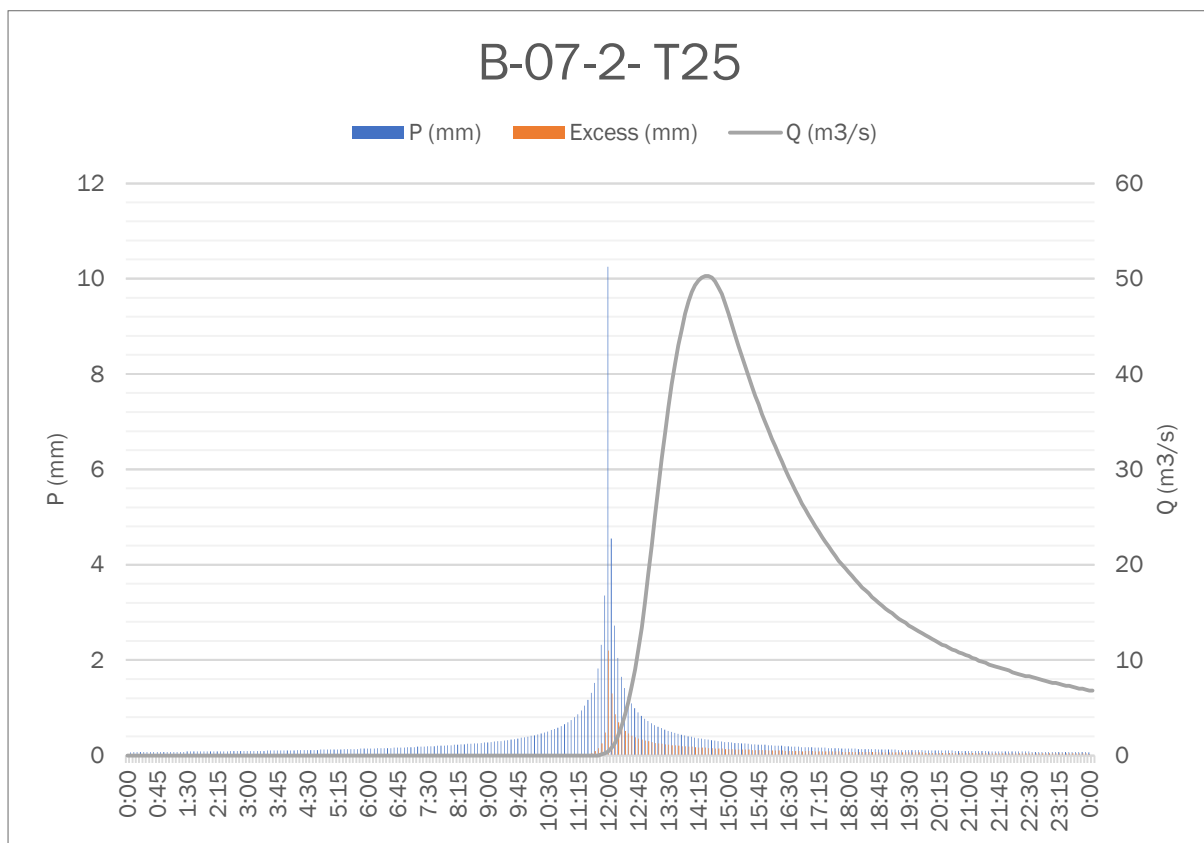


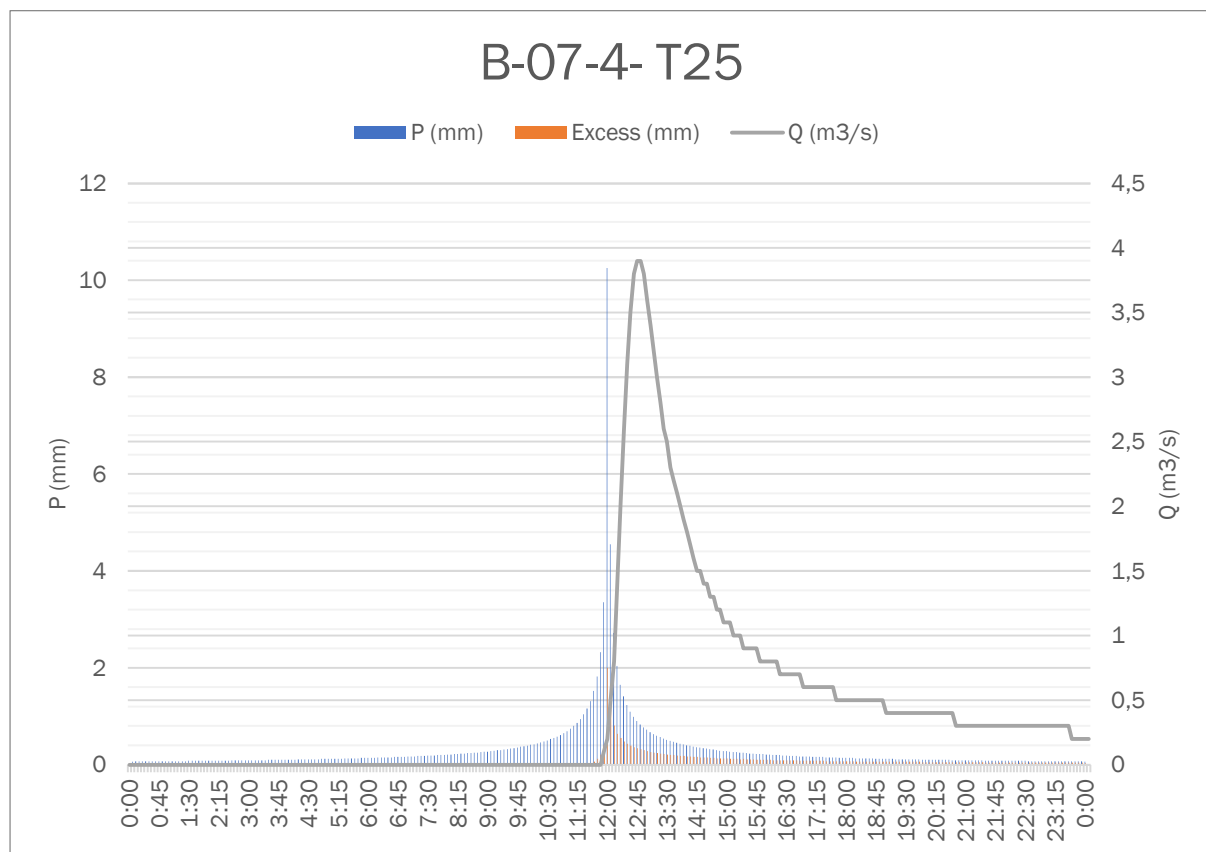




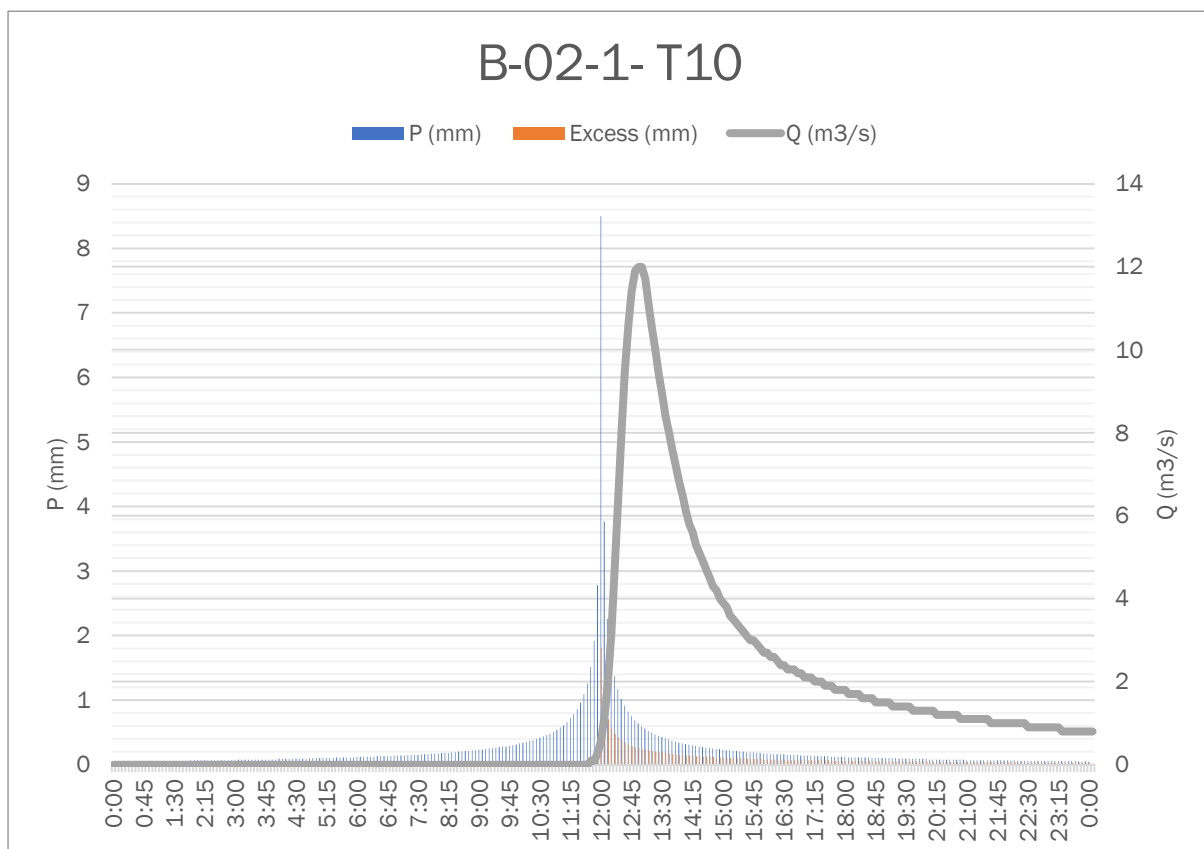
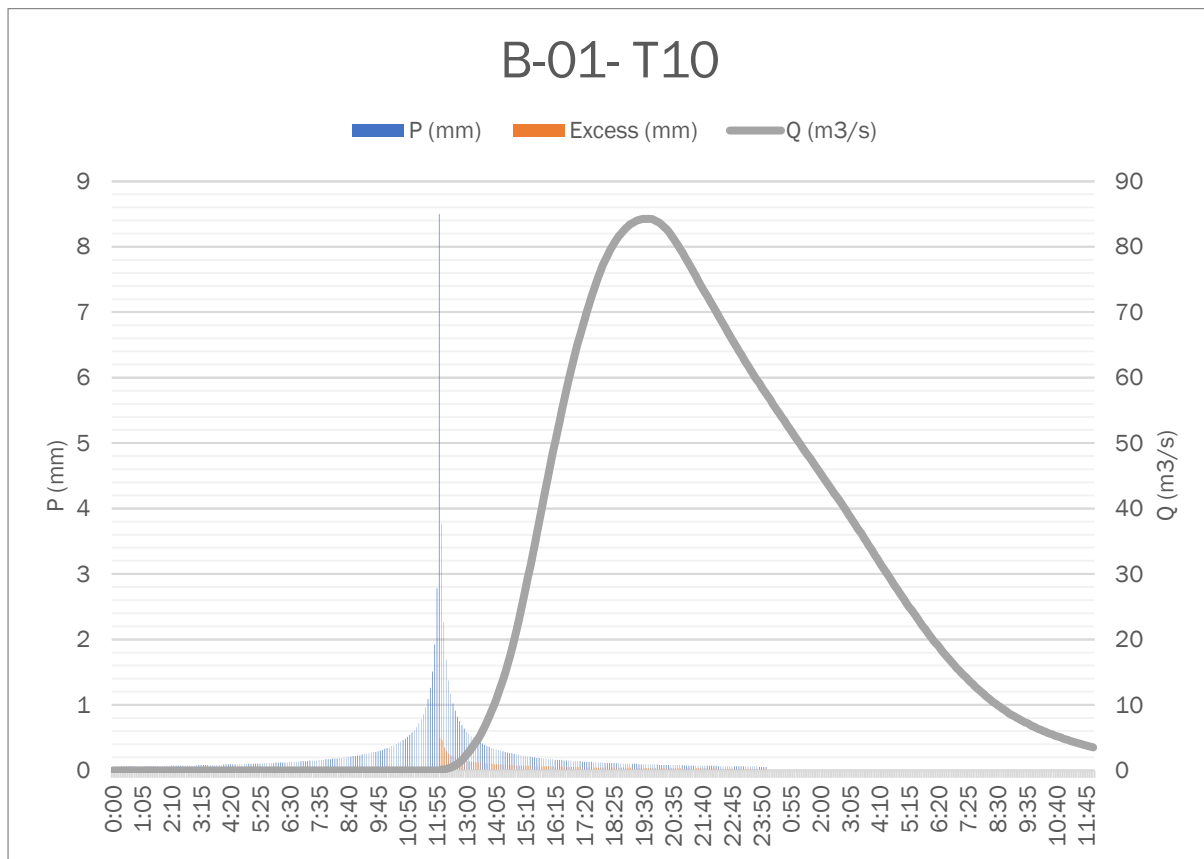


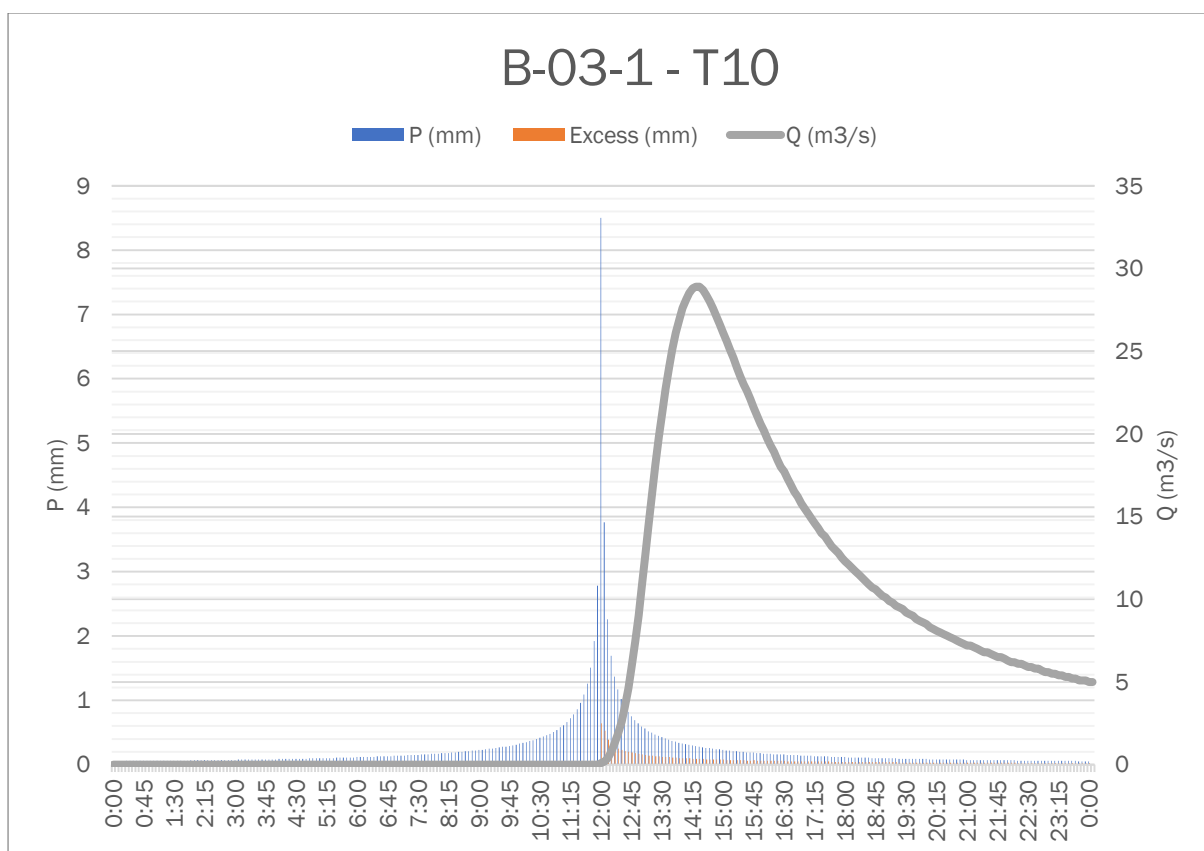
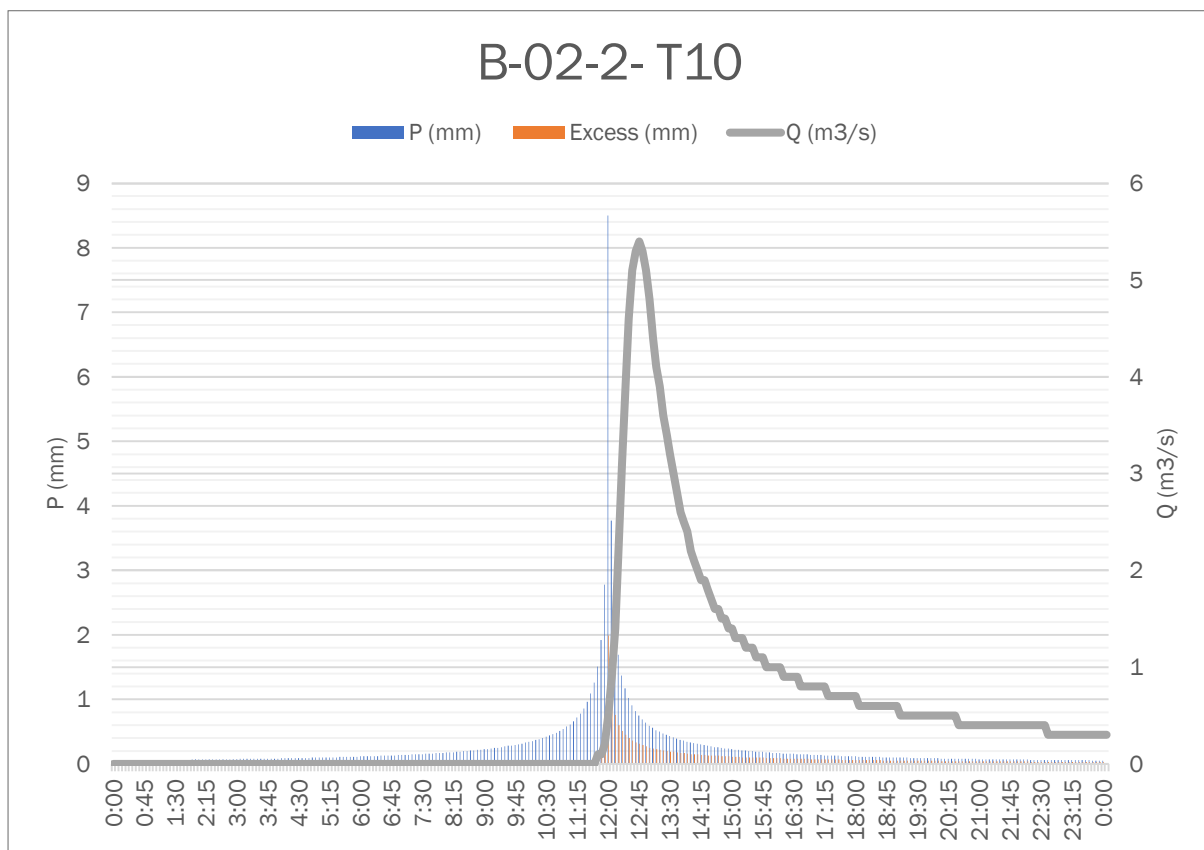




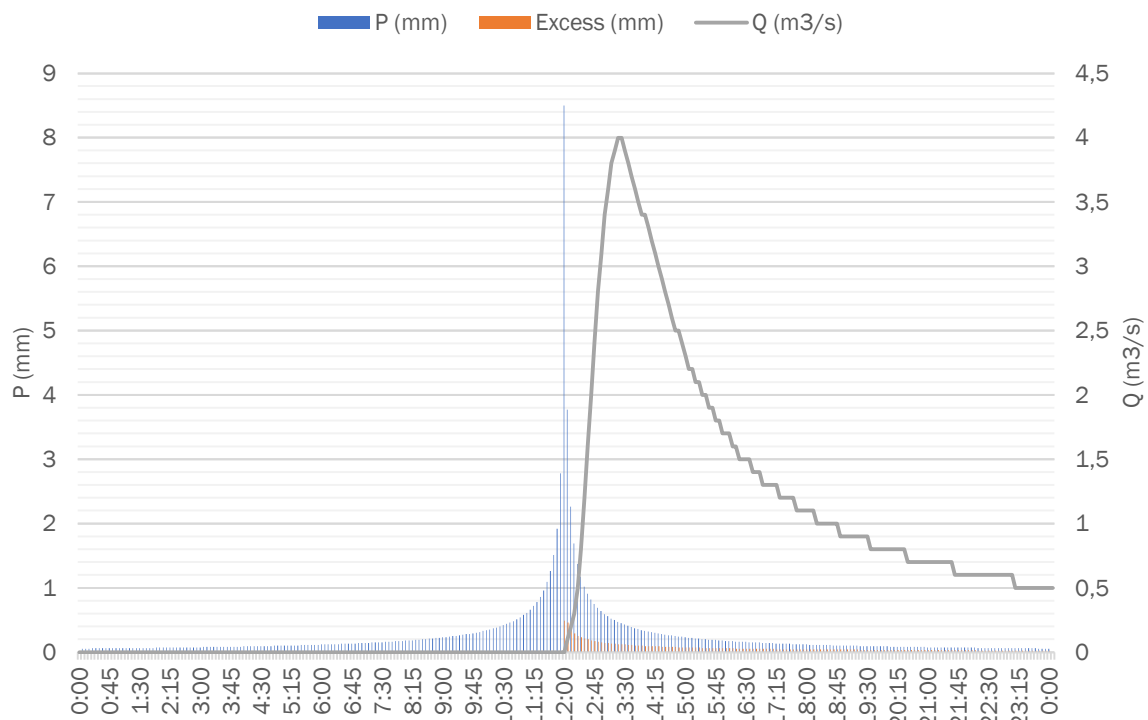


PERÍODO DE RETORNO DE 10 ANOS

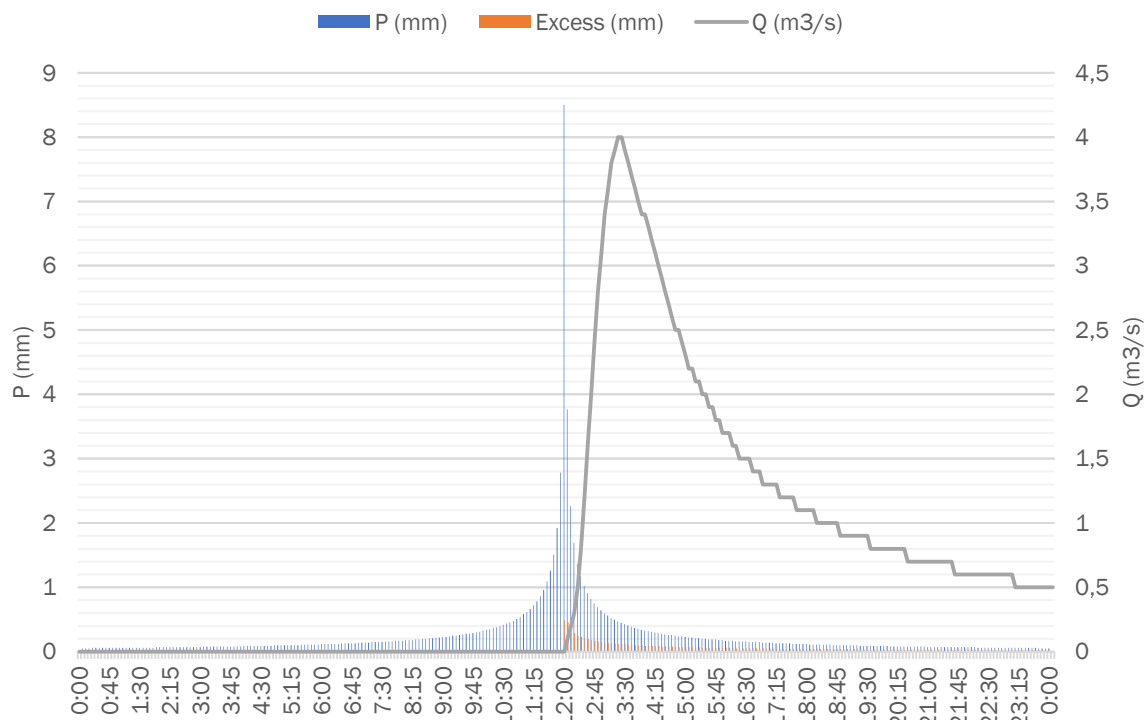




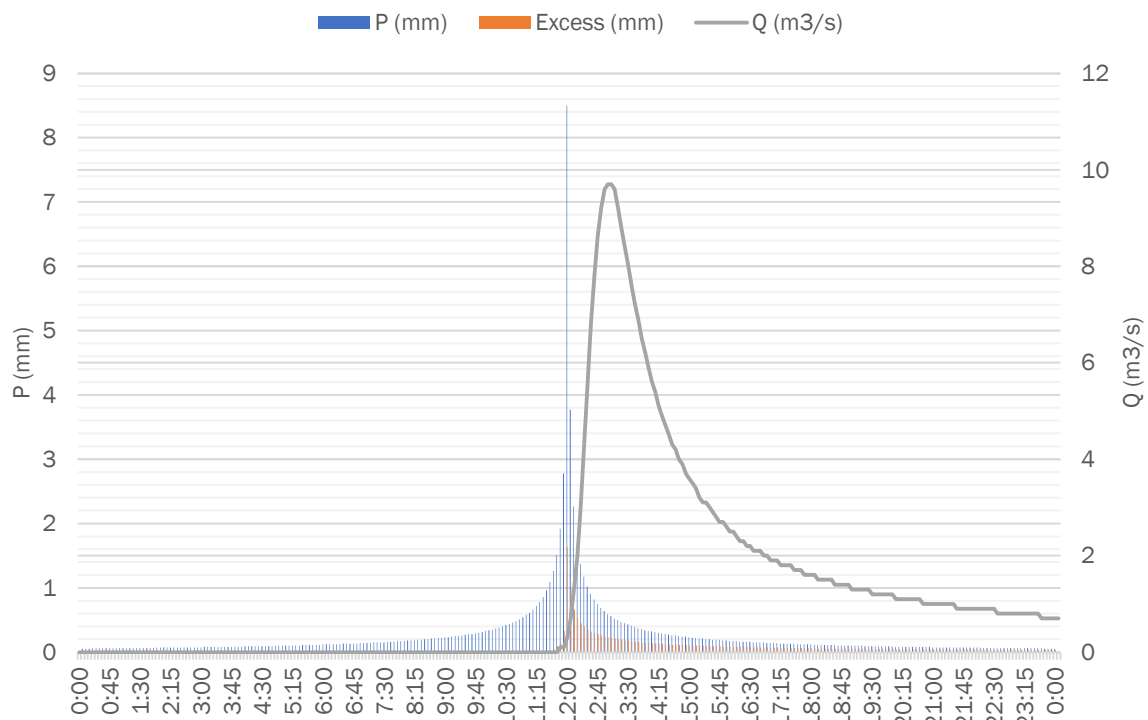
B-03-2 - T10



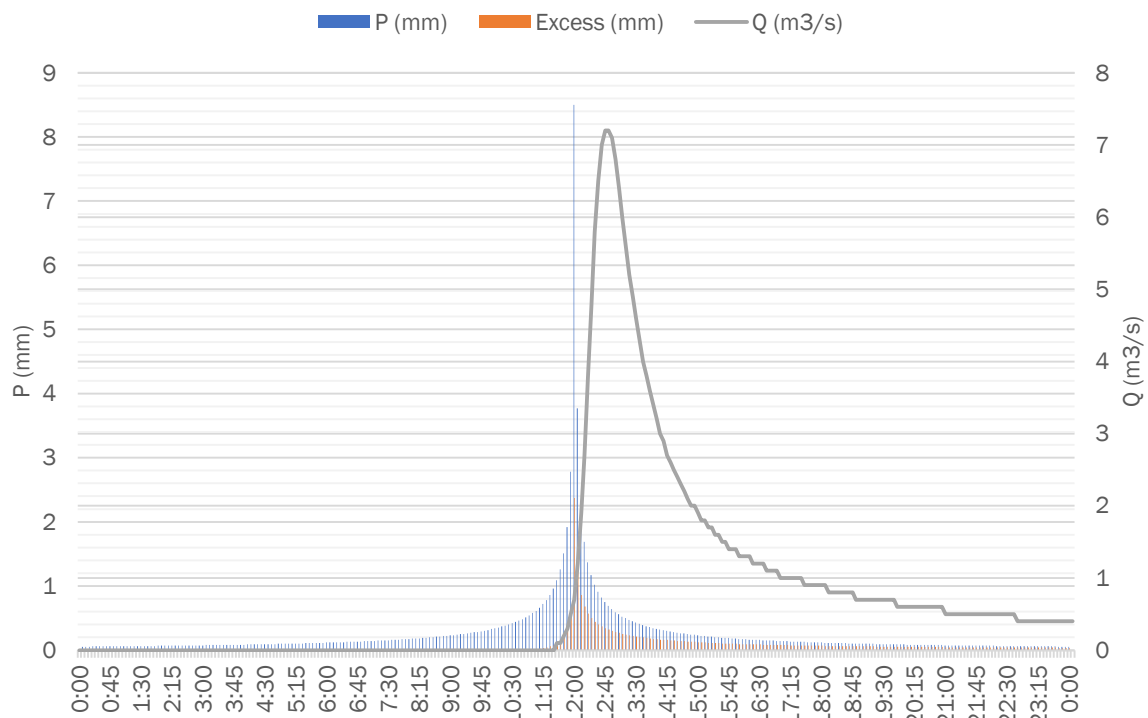
B-03-3 - T10

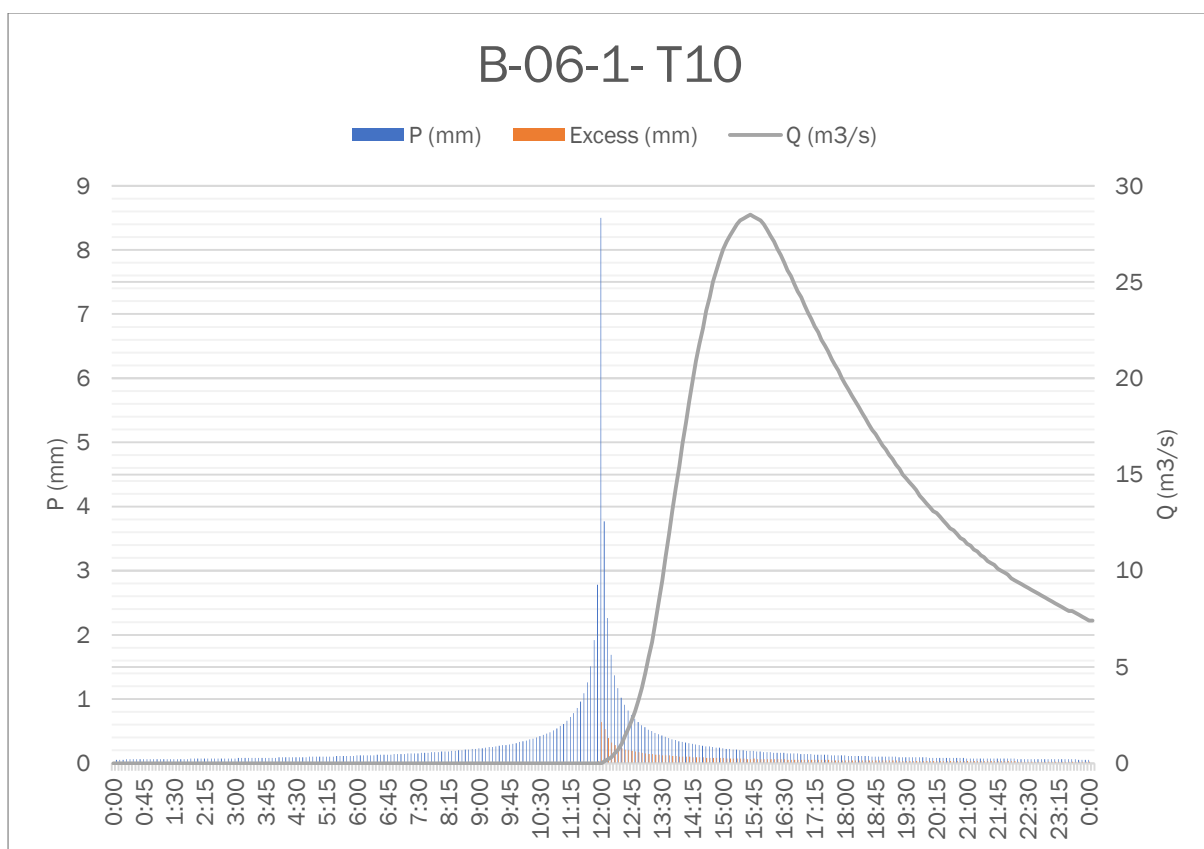
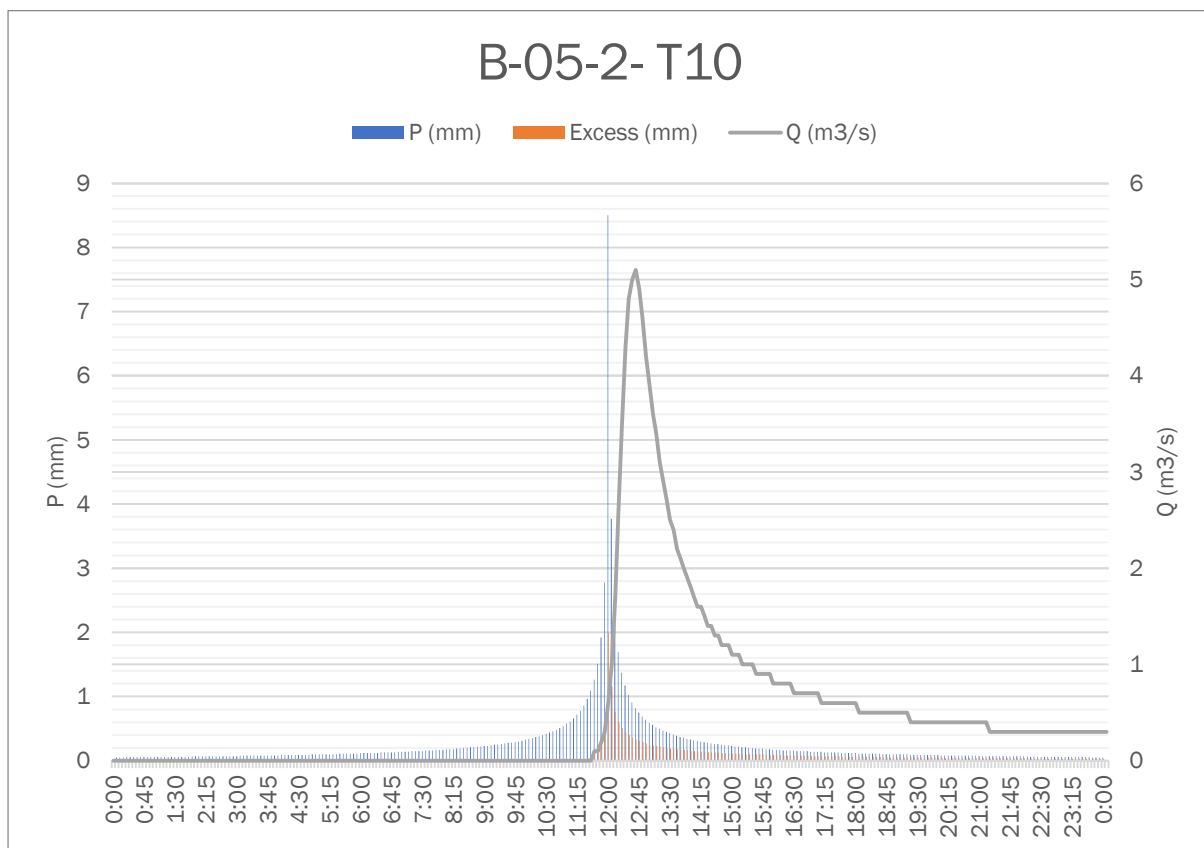


B-04 - T10

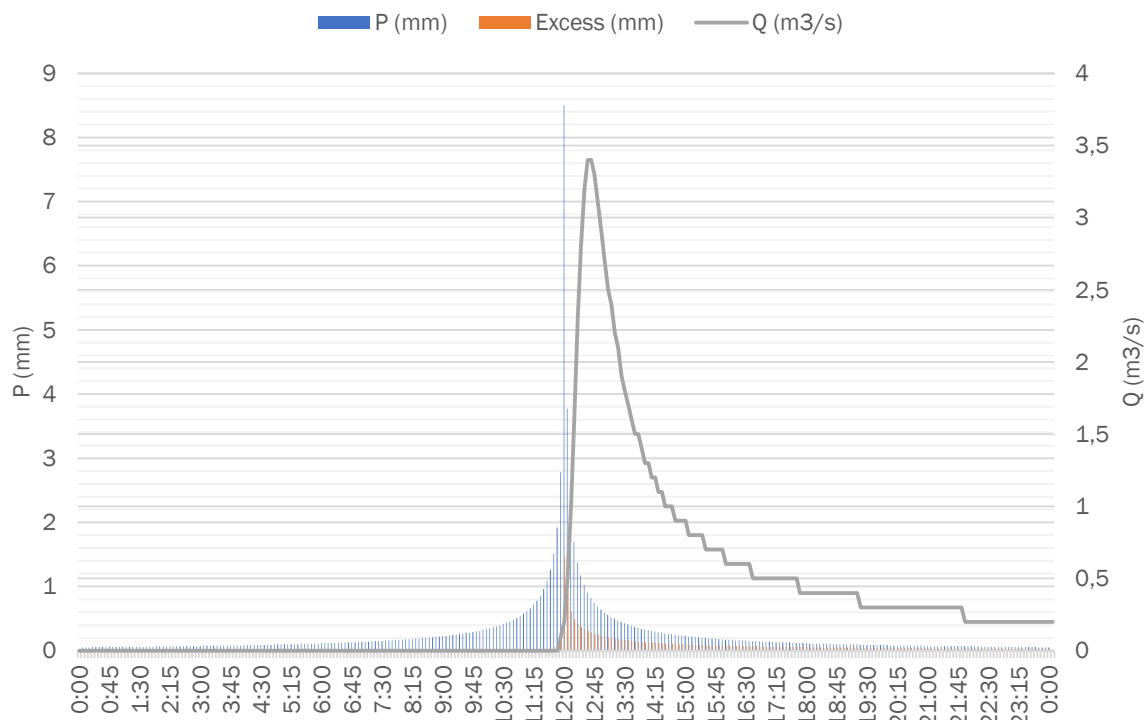


B-05-1- T10

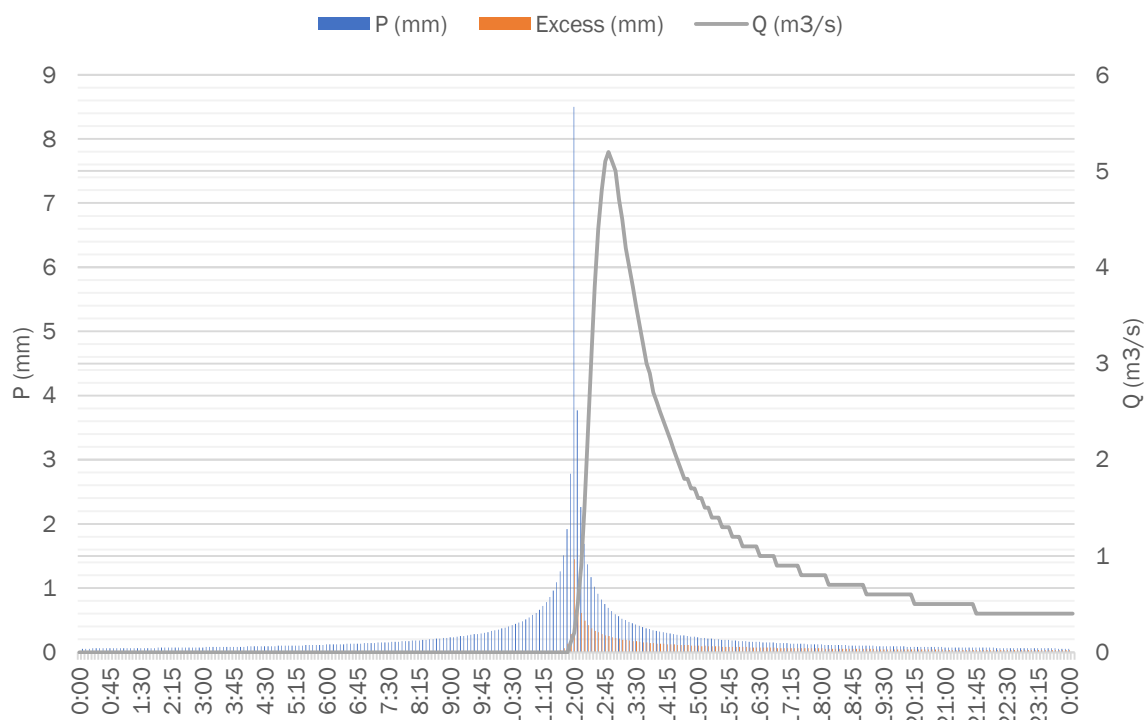




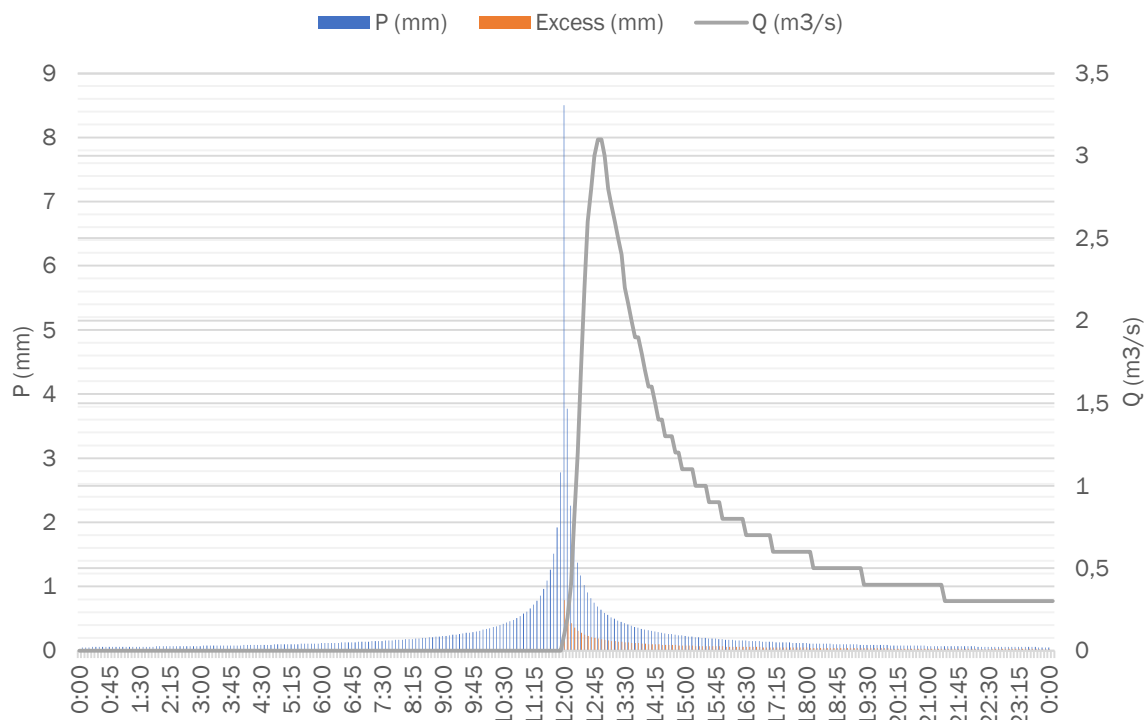
B-06-2- T10



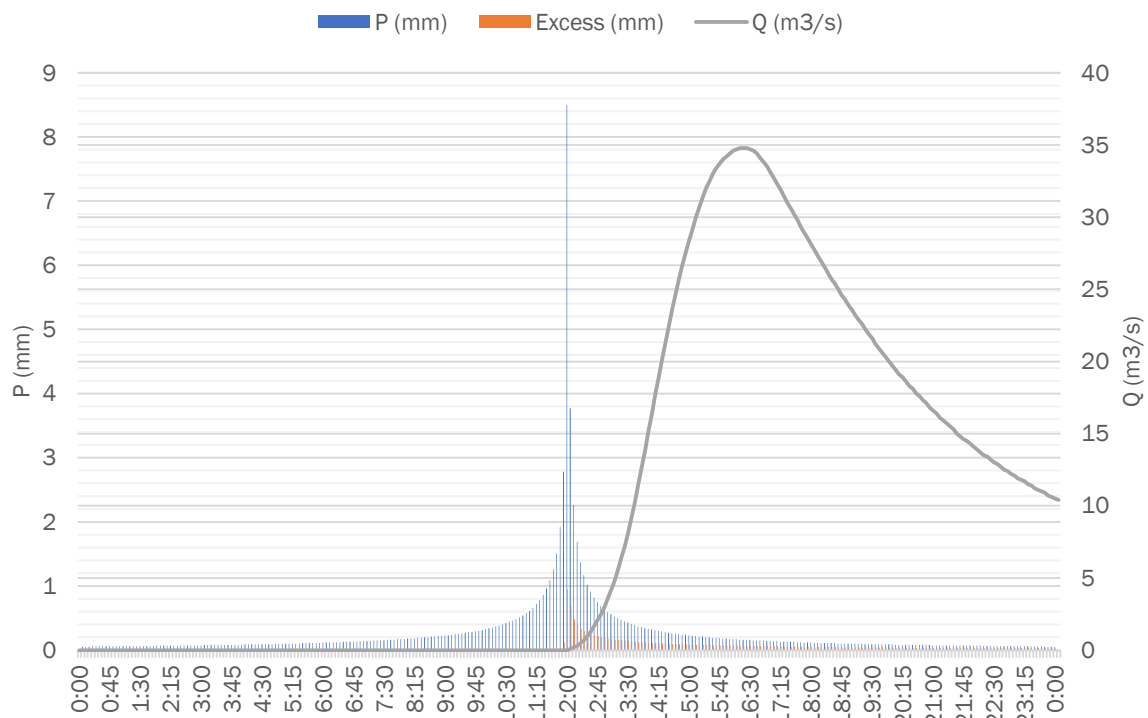
B-06-3- T10



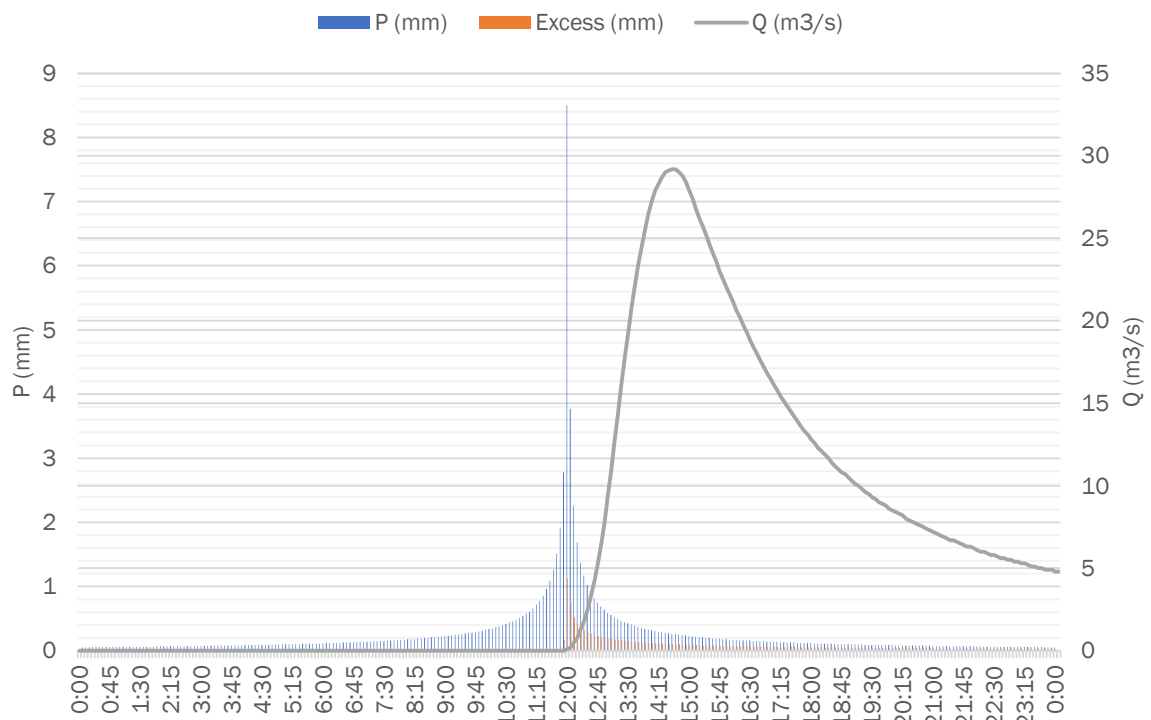
B-06-4- T10



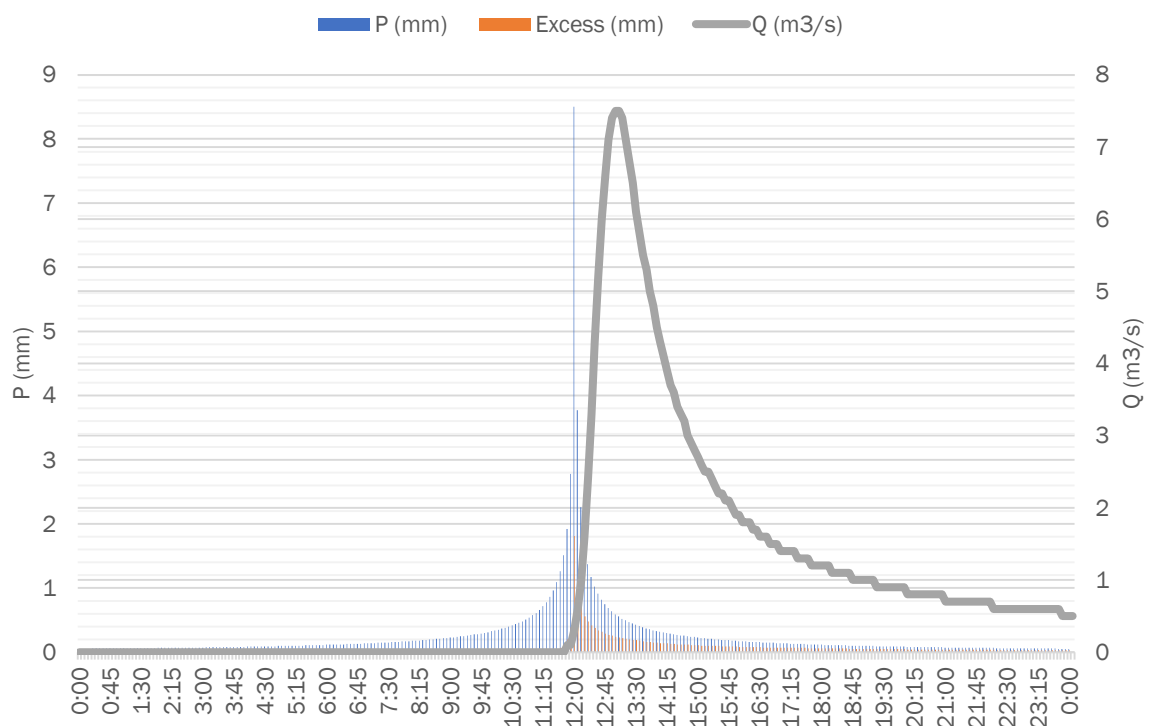
B-07-1- T10

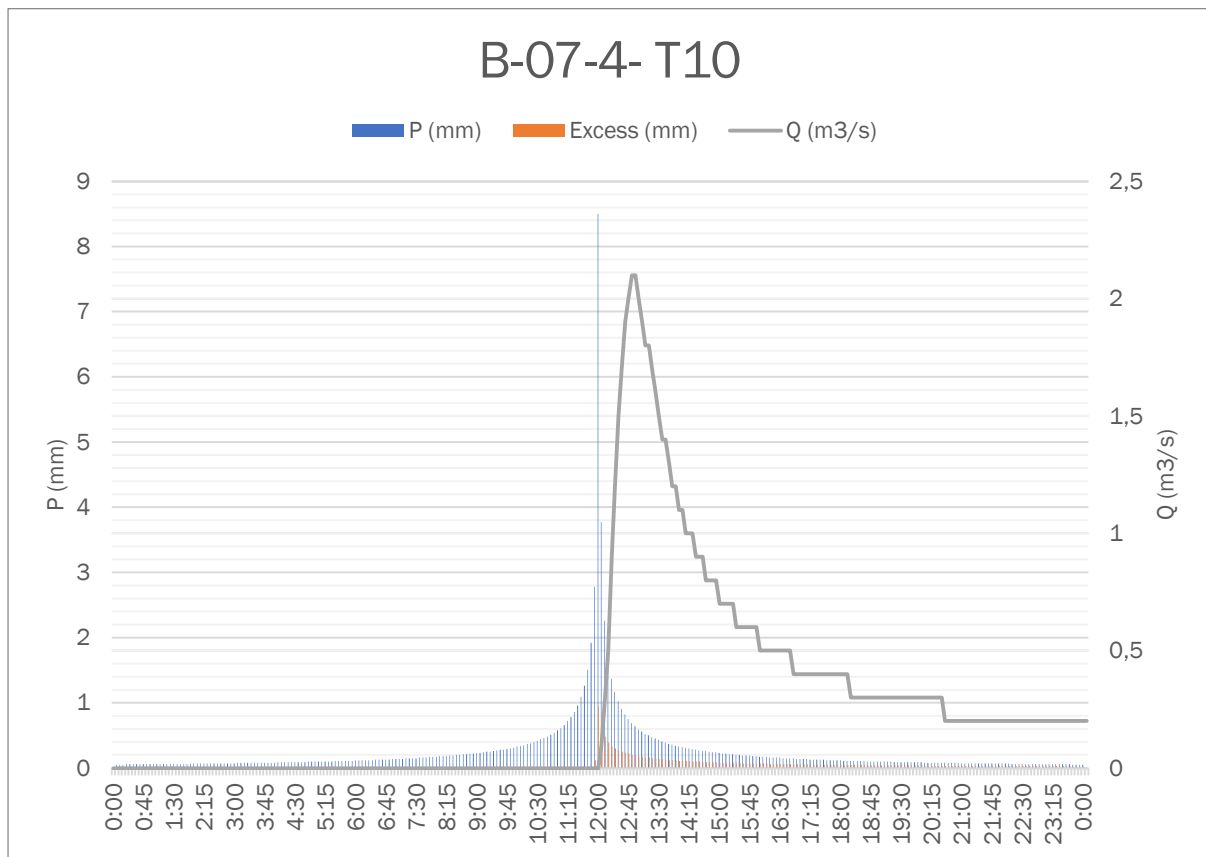


B-07-2- T10

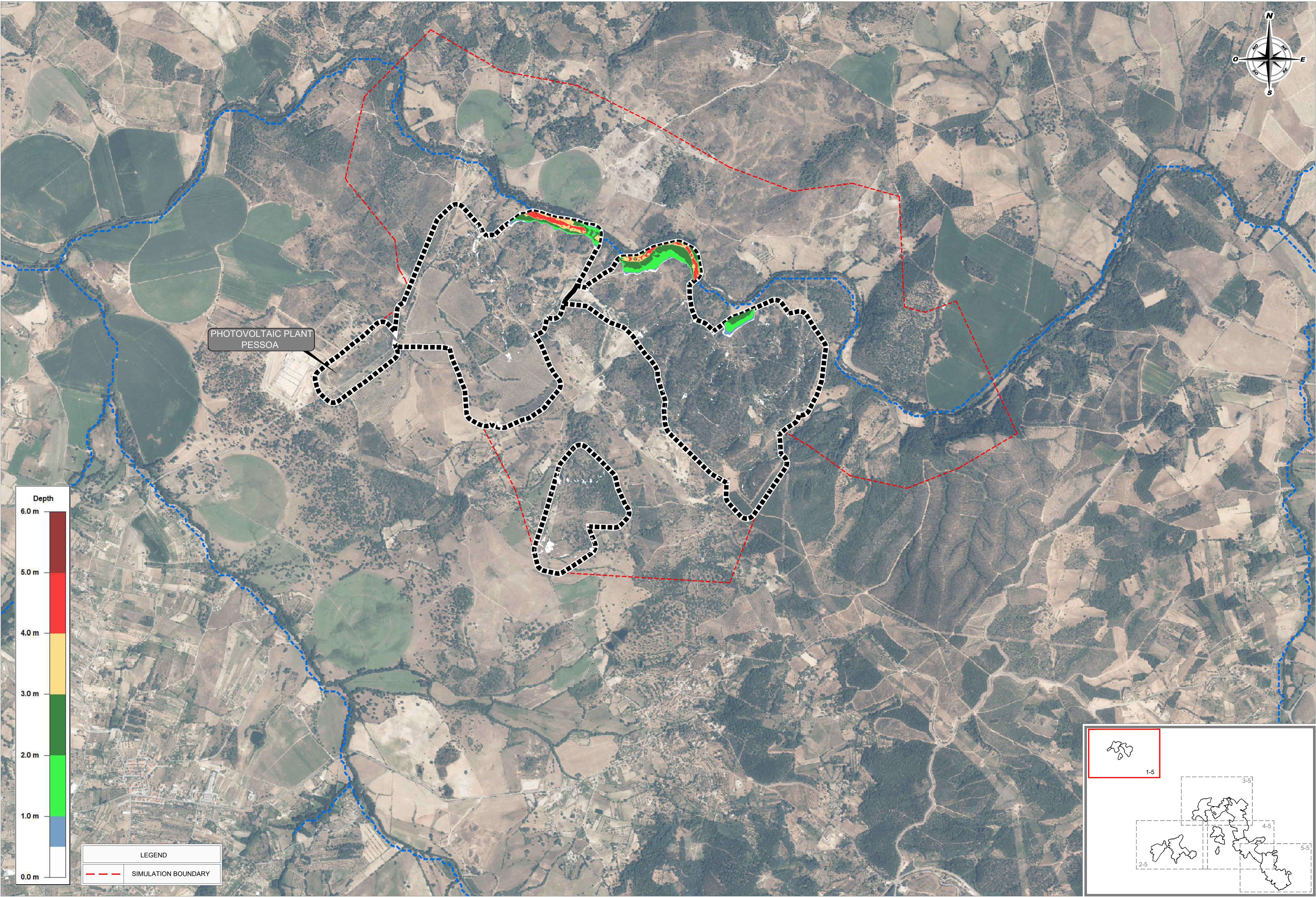


B-07-3- T10

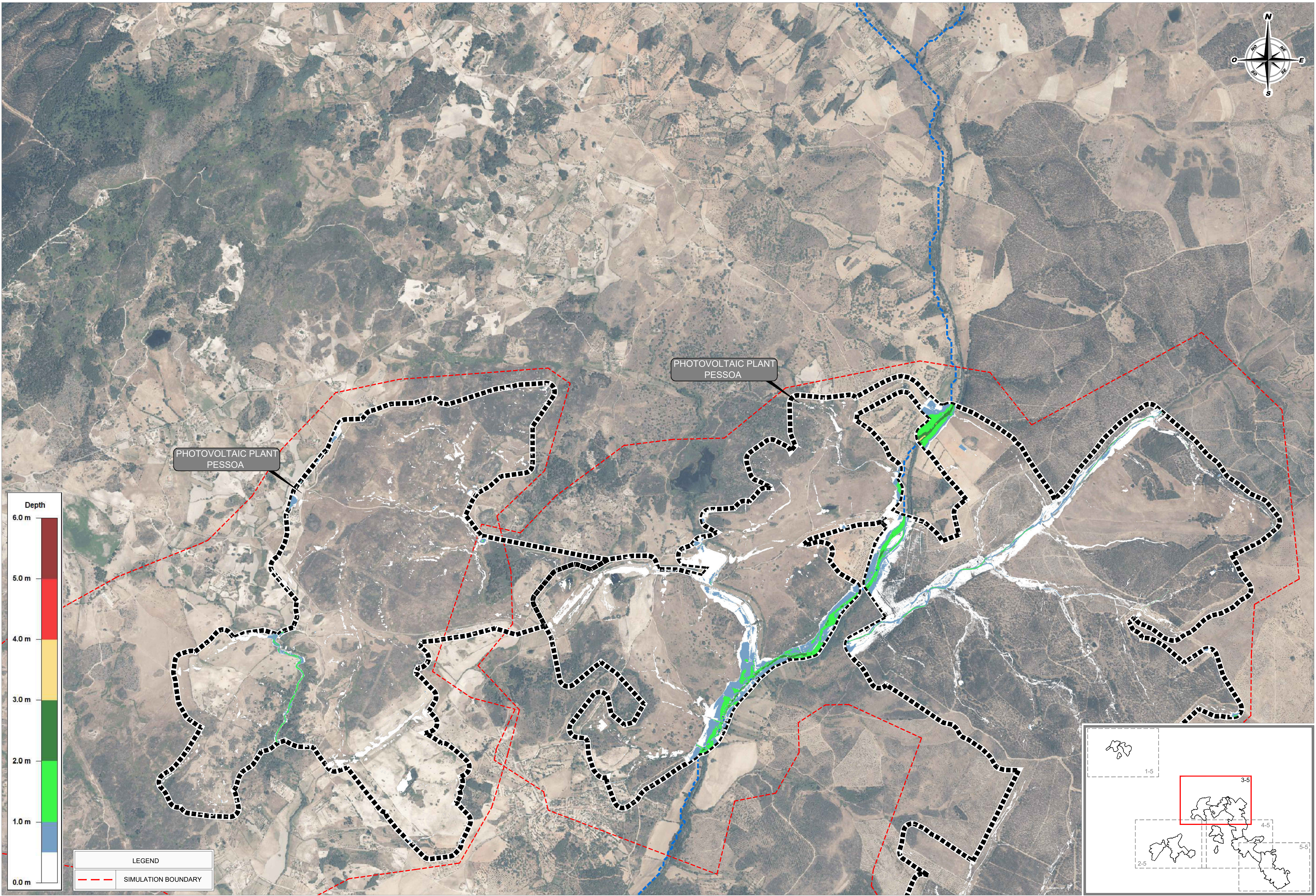


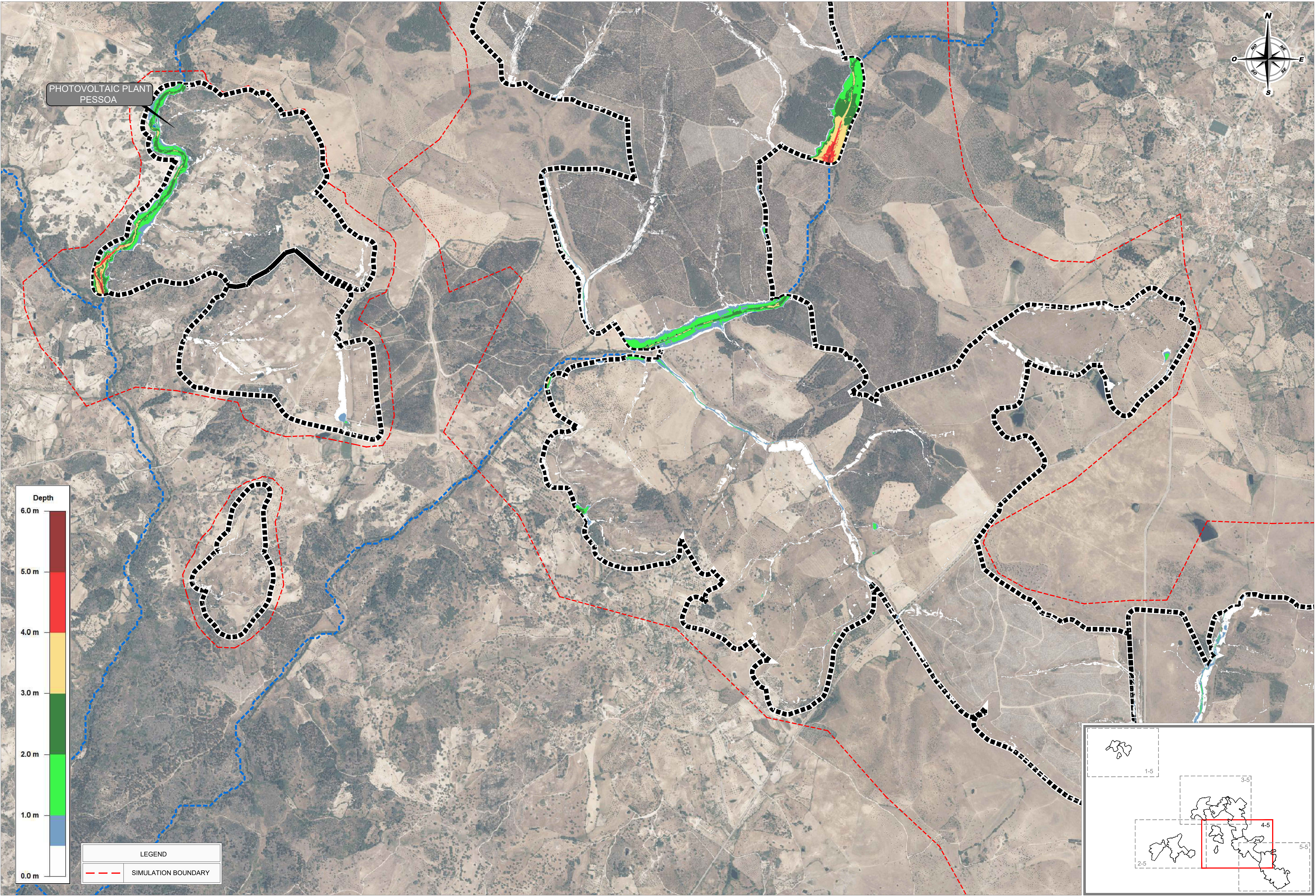


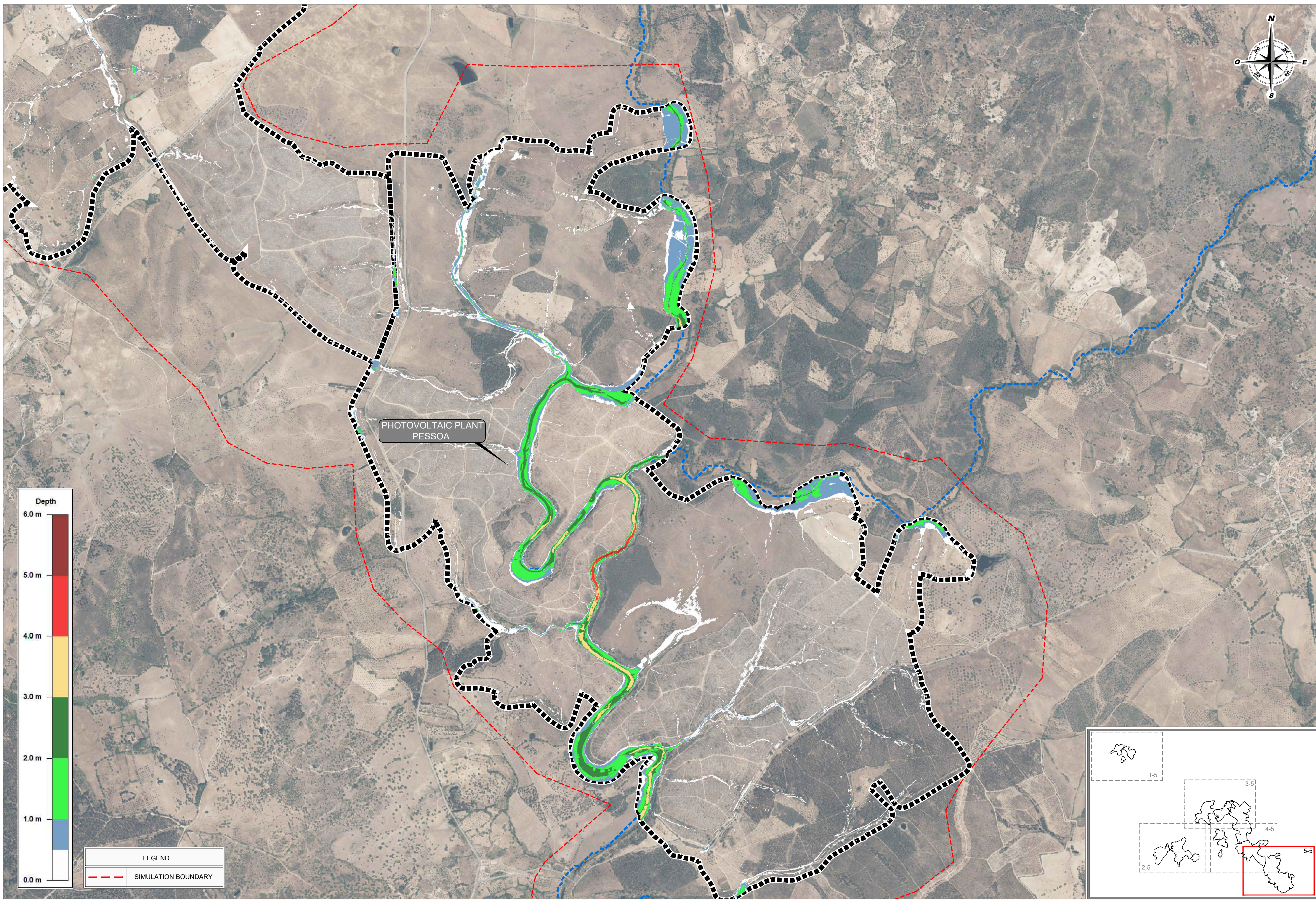
PLANOS

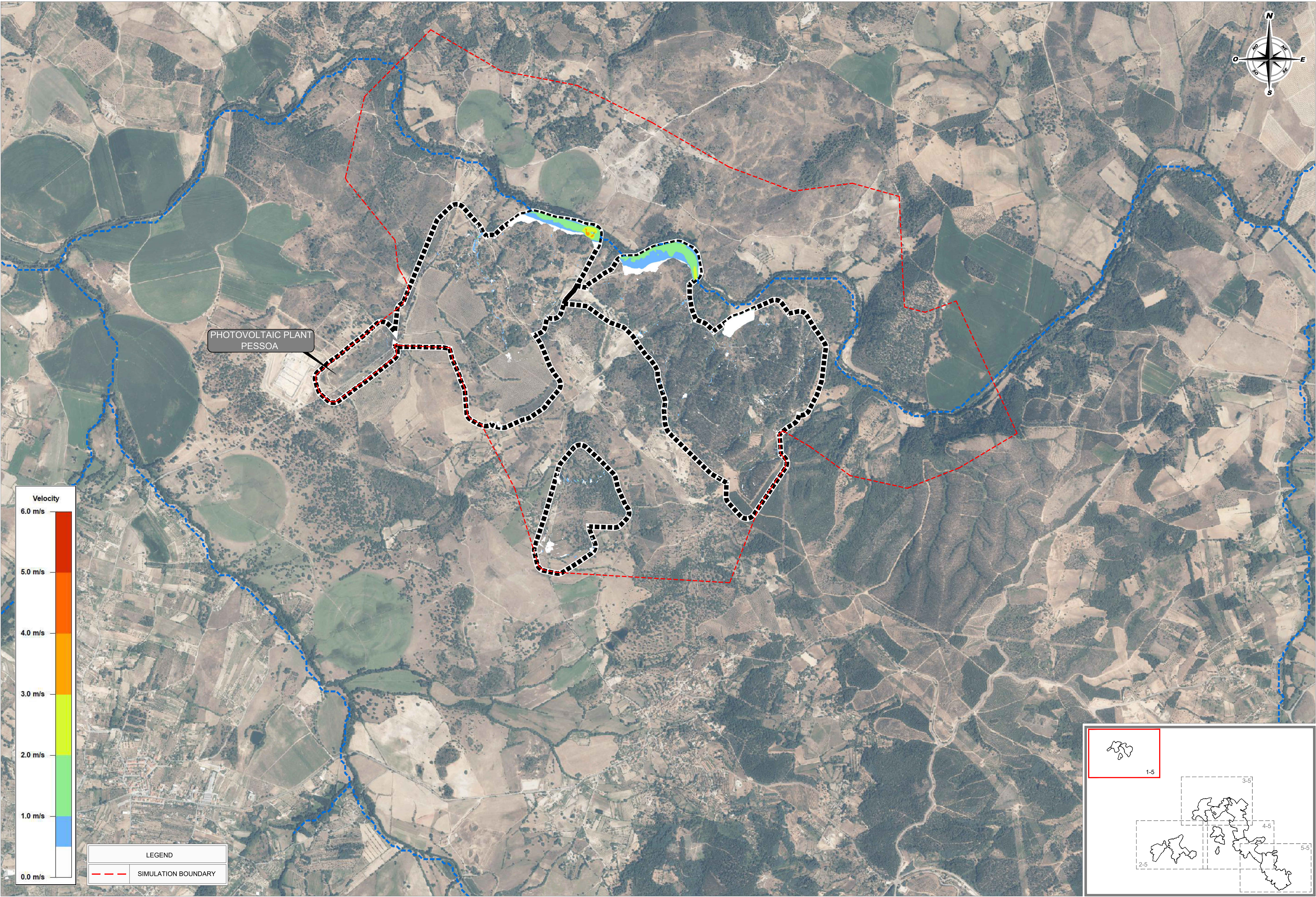


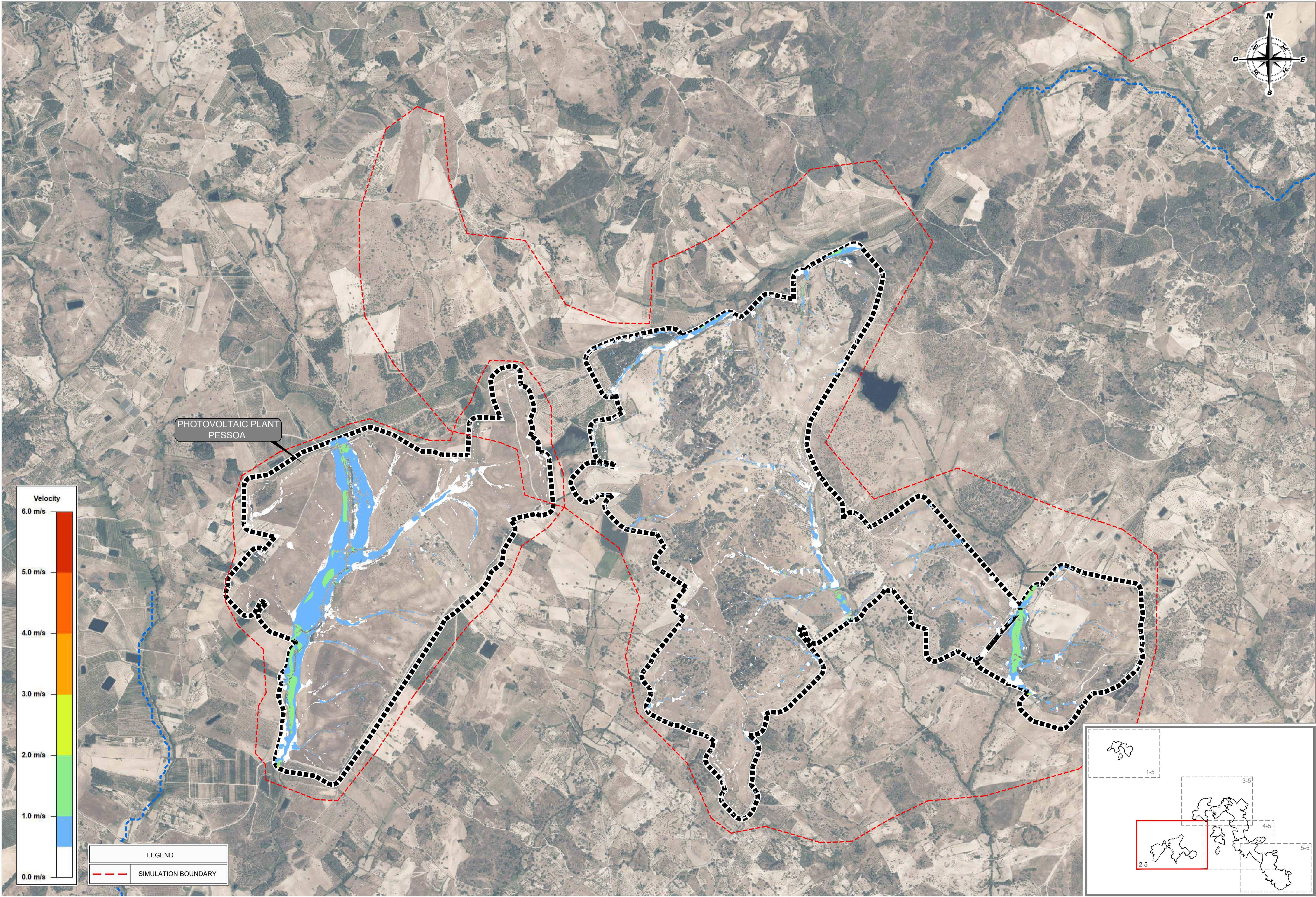




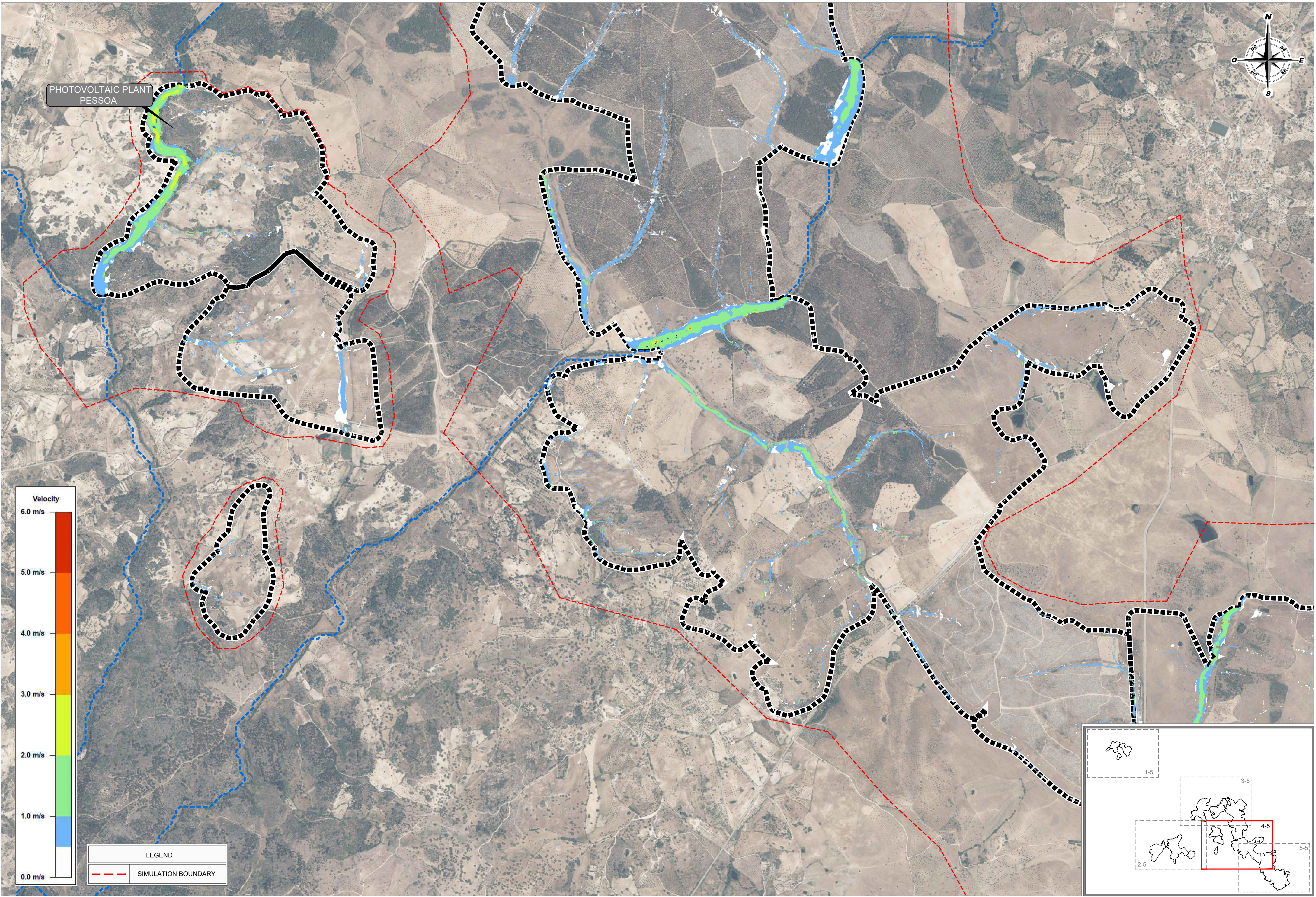


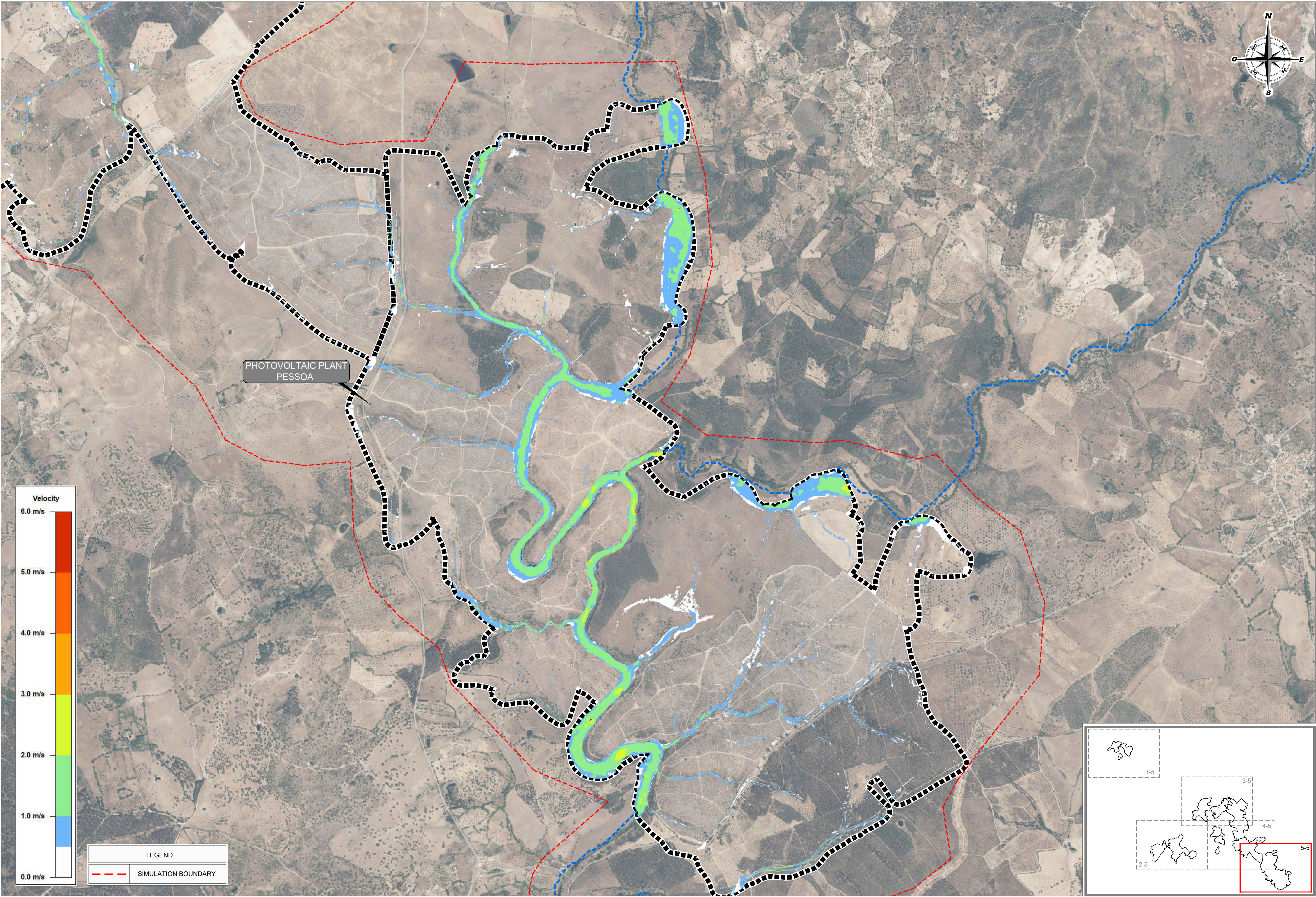












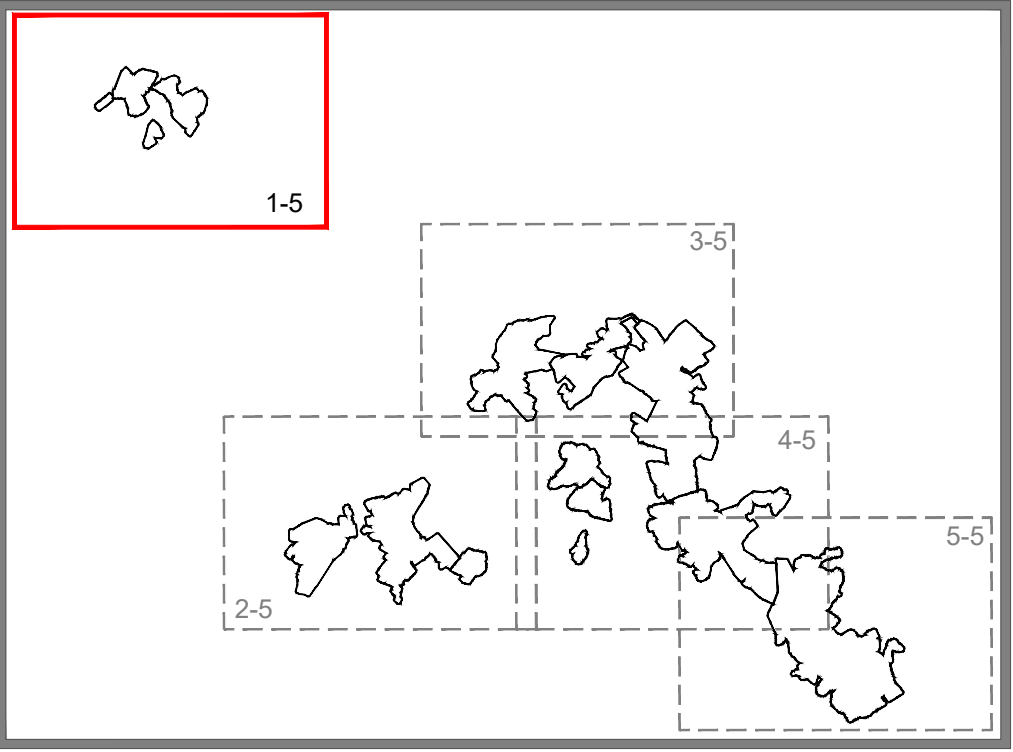


FLOOD HAZARD AREA

SFHA

LEGEND

SIMULATION BOUNDARY





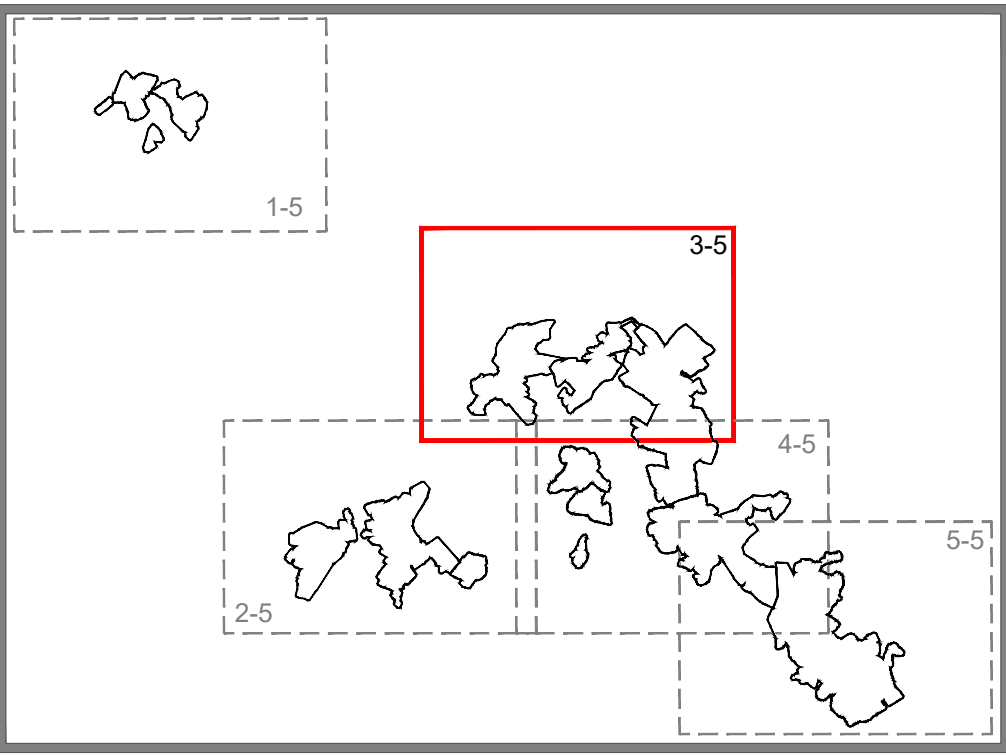


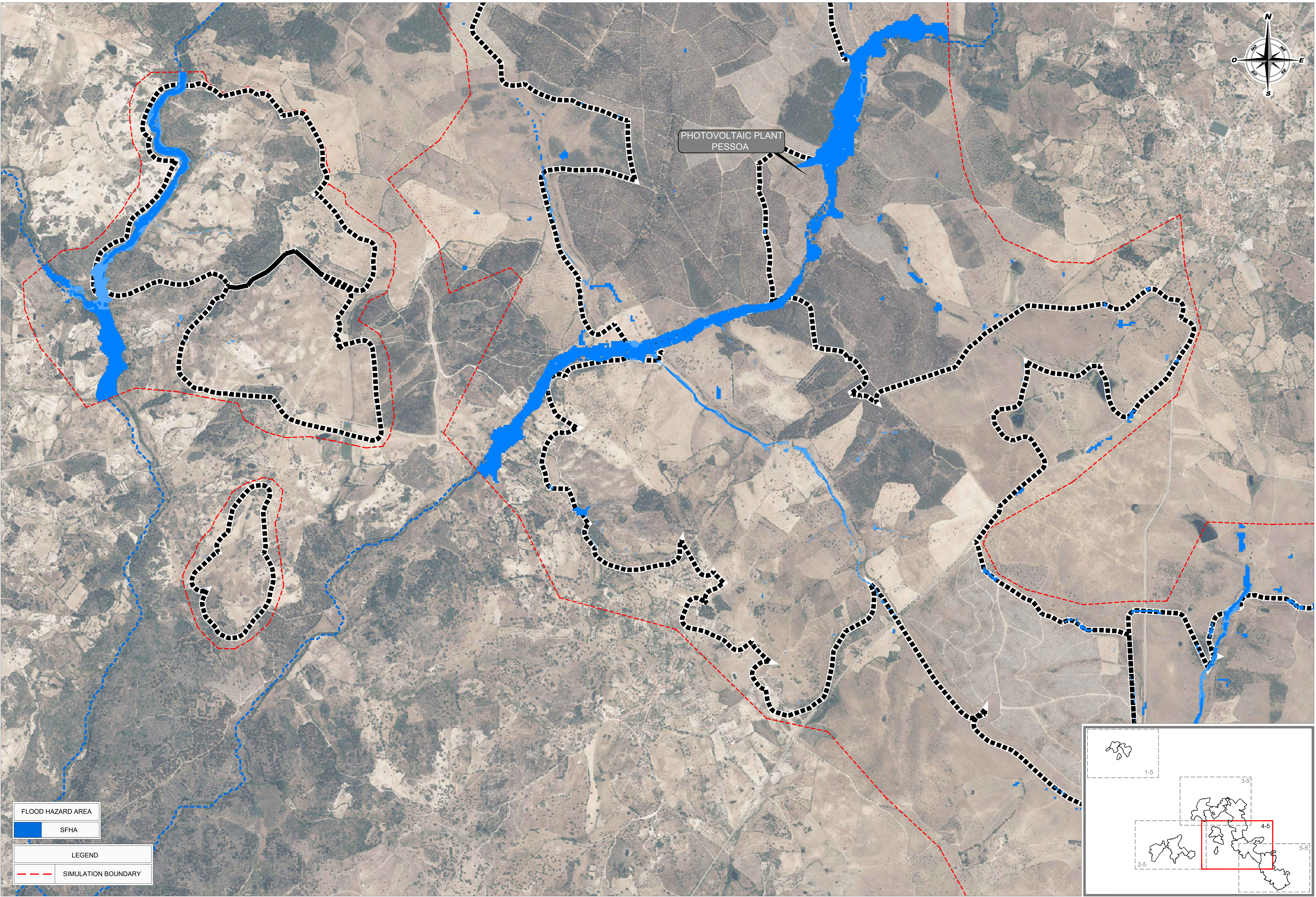
FLOOD HAZARD AREA
SFHA

LEGEND
SIMULATION BOUNDARY

PHOTOVOLTAIC PLANT
PESSOA

PHOTOVOLTAIC PLANT
PESSOA





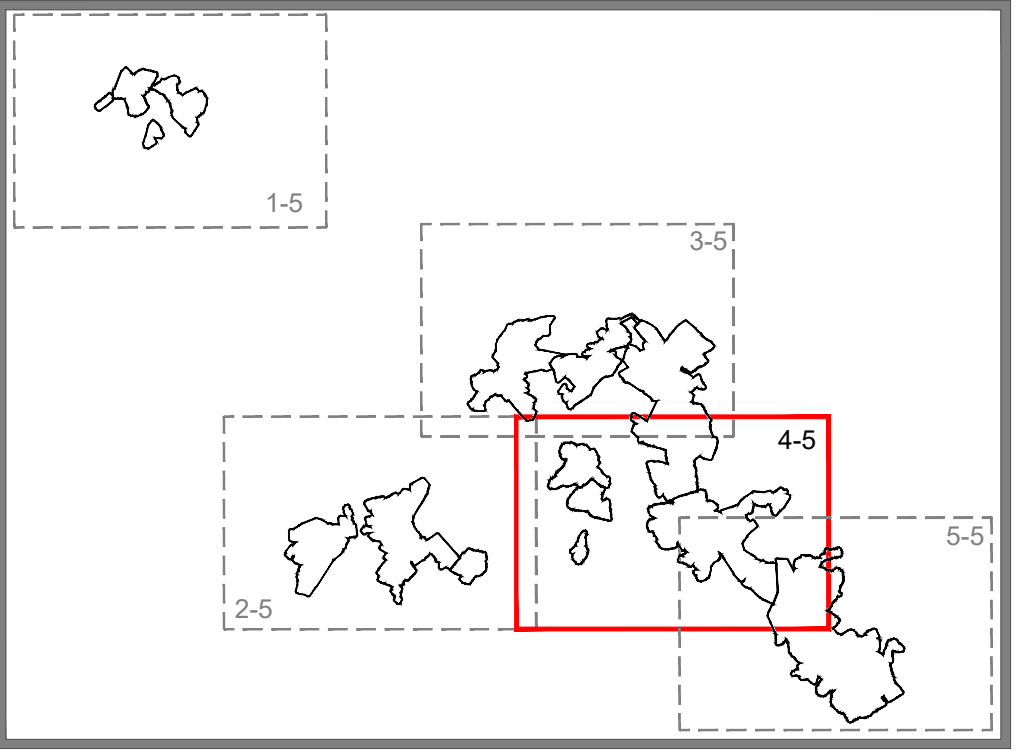
FLOOD HAZARD AREA

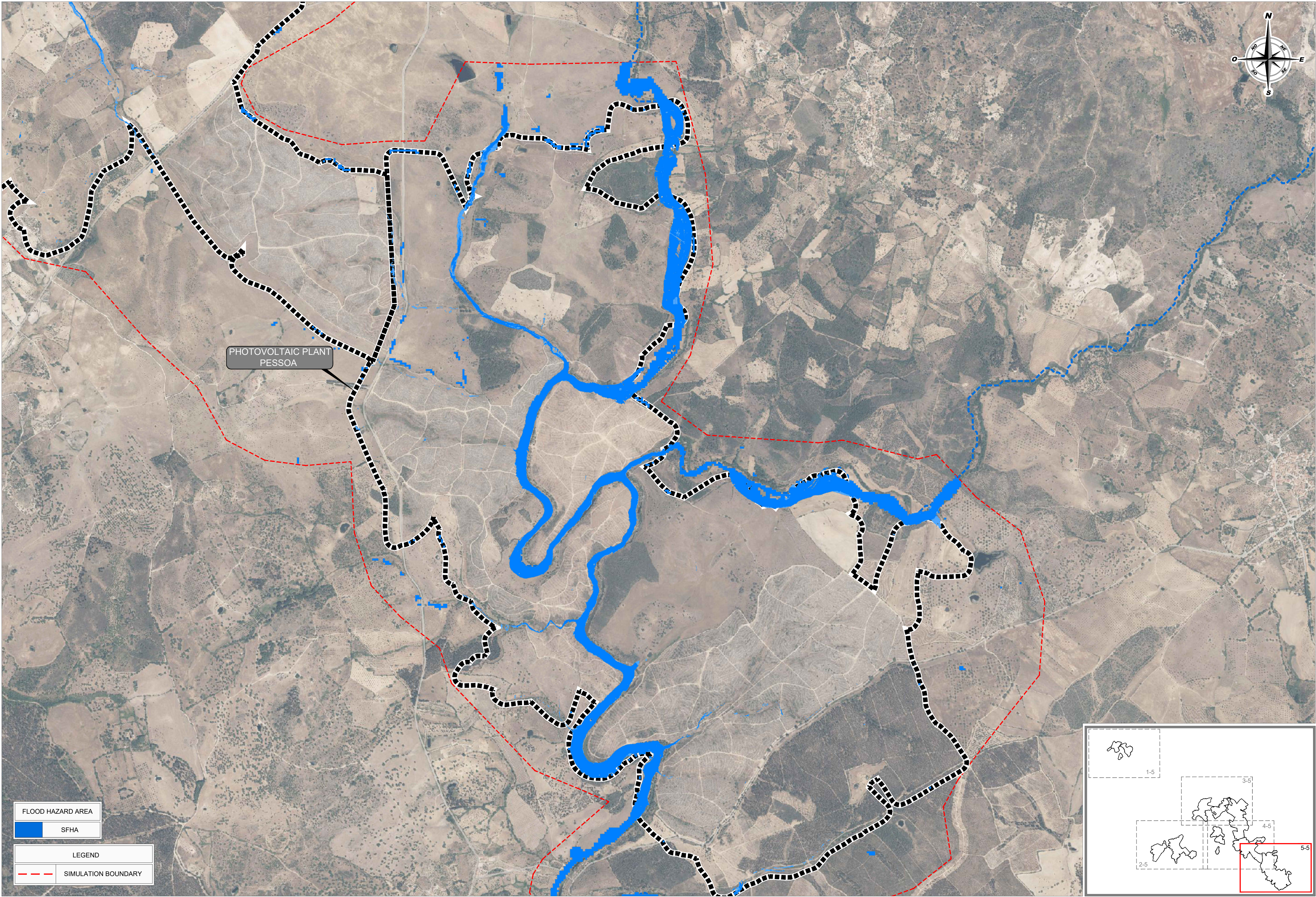
SFHA

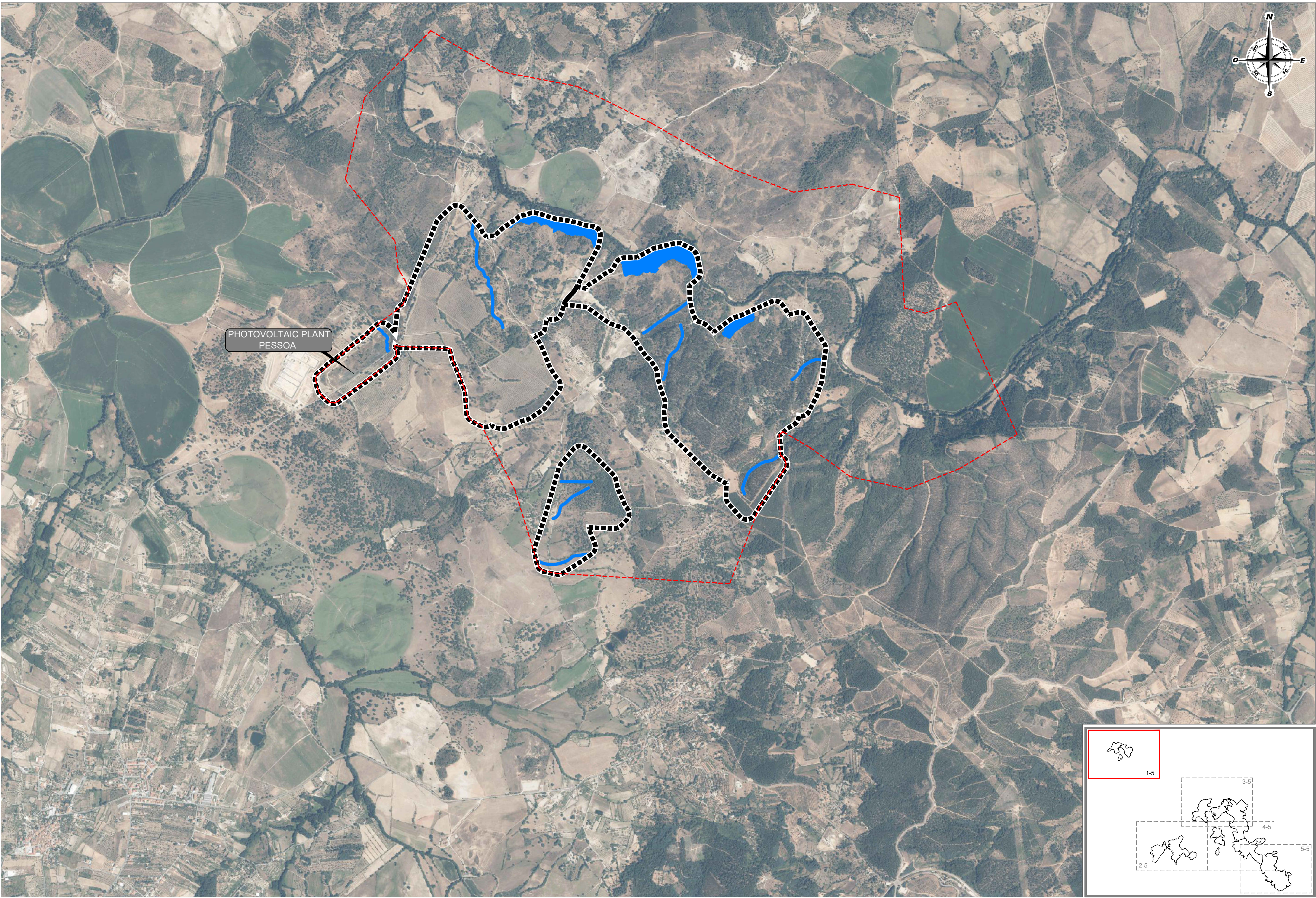
LEGEND

--- SIMULATION BOUNDARY

PHOTOVOLTAIC PLANT
PESSOA









PHOTOVOLTAIC PLANT
PESSOA

