

Associação de Moradores da Mata do Duque II

Consultoria de engenharia hidráulica para a avaliação preliminar das condicionantes hidrológicas, hidráulicas e morfológicas associadas ao novo Aeroporto Luís de Camões, no Campo de Tiro de Alcochete, incluindo a avaliação comparativa de duas alternativas distintas de localização para a intervenção.



TÍTULO DO DOCUMENTO

Avaliação preliminar das condicionantes hidrológicas, hidráulicas e morfológicas associadas ao novo Aeroporto Luís de Camões

ESCALA

-

RESPONSÁVEL DO ESTUDO



Sede: Viale della Piramide Cestia 1/b, 00153 Roma
Sede operacional: Via G. Donizetti 34, 31046 Oderzo (TV)
Sede operacional: Rua do Ameal 1º, A, Loja D 3400-101 Oliveira do Hospital
Tel. +39 0422 1834870 | e-mail: info@idroam.it | www.idroam.it

Eng. Adriano Murachelli
DIRETOR TÉCNICO
Membro efetivo da Ordem dos Engenheiros da
Província de Bergamo (Itália) n.4370

Eng. Inês Antunes
ENGENHEIRA CIVIL
Membro efetivo da Ordem dos Engenheiros
Região Sul (Portugal) n.040563

REVISÕES:

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELABOROU	REVEU	APROVOU
00	Julho 2026	EMIÇÃO	Eng. Diaz Rua	Eng. Antunes	Eng. Murachelli
01	Julho 2026	ATUALIZAÇÃO EDITORIAL E ESCLARECIMENTOS	Eng. Fantin	Eng. Antunes	Eng. Murachelli

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO E OBJETO DO ESTUDO	3
2	ENQUADRAMENTO DA ÁREA	4
2.1	ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO E CONDICIONANTES	5
2.2	CONDICIONANTES GEOTÉCNICAS.....	7
3	DESCRIÇÃO DO ESTADO ATUAL DO TERRITÓRIO	10
4	HIPÓTESE DE VARIANTE A OESTE	12
4.1	DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS E ALTERNATIVAS DE IMPLANTAÇÃO.....	12
4.1.1	<i>CENÁRIO A: CONFIGURAÇÃO DE REFERÊNCIA (LOCALIZAÇÃO ANA)</i>	12
4.1.2	<i>CENÁRIO B: VARIANTE DE MICRO-DESLOCALIZAÇÃO PARA OESTE (ALTERNATIVA CTA)</i>	12
4.2	METODOLOGIA DE CONFRONTO	13
5	ESTUDO HIDROLÓGICO	14
5.1	ENQUADRAMENTO GERAL	14
5.1.1	<i>TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E LEI DE PROBABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO (LSPP)</i>	14
5.1.2	<i>GERAÇÃO DE ESCOAMENTO E PERMEABILIDADE (MÉTODO DO CURVE NUMBER)</i>	16
5.1.3	<i>HIETOGRAMA DE PROJETO</i>	16
5.2	CENÁRIO 1 - SOLUÇÃO NASCENTE	17
5.3	CENÁRIO 2 - SOLUÇÃO A OESTE	18
6	MODELAÇÃO HIDRÁULICA	20
6.1	DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO ADOTADO	20
6.2	DETALHE DA MODELAÇÃO EFETUADA.....	25
6.2.1	<i>PREPARAÇÃO E IMPORTAÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)</i>	25
6.2.2	<i>CONSTRUÇÃO DA MALHA DE CÁLCULO (MESH 2D) E REFINAMENTOS</i>	25
6.2.3	<i>CONDIÇÕES DE FRONTEIRA E CONDIÇÕES INICIAIS</i>	25
6.2.4	<i>ATRIBUIÇÃO DA RUGOSIDADE (COEFICIENTES DE MANNING)</i>	26
6.2.5	<i>PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO</i>	27
7	RESULTADOS DA MODELAÇÃO HIDRÁULICA.....	29

7.1	CENÁRIO A: IMPLANTAÇÃO 1 (CONFIGURAÇÃO NASCENTE)	29
7.2	CENÁRIO B: SOLUÇÃO A OESTE (VARIANTE DE IMPLANTAÇÃO)	31
7.3	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	33
8	ANÁLISE COMPARATIVA E SÍNTESE TÉCNICA.....	35
8.1	SÍNTESE DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E RESILIÊNCIA	35
8.2	EFICIÊNCIA NA INFRAESTRUTURAÇÃO DE DRENAGEM	36
8.3	QUADRO SÍNTESE COMPARATIVO.....	37
9	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
9.1	CONCLUSÕES	38
9.2	RECOMENDAÇÕES	38
10	ANEXOS.....	40

1 INTRODUÇÃO E OBJETO DO ESTUDO

O presente documento constitui a Memória Descritiva e Justificativa do Estudo Hidrológico e Hidráulico relativo à implantação do Novo Aeroporto Luís de Camões. Historicamente estruturado sob a designação de Novo Aeroporto de Lisboa (NAL), este macroprojeto de infraestrutura substituirá operacionalmente o atual Aeroporto da Portela. A localização à escala territorial selecionada situa-se no Campo de Tiro de Alcochete.

O objeto principal deste estudo é realizar, sob o ponto de vista hidráulico, uma comparação técnica e analítica entre a configuração de implantação atualmente prevista, localizada no extremo nascente (este) do Campo de Tiro, e uma variante de implantação deslocada aproximadamente 5 km para oeste.

Esta análise procura otimizar a localização final da infraestrutura aeroportuária mediante a avaliação do seu comportamento hidrológico, hidráulico e de resiliência climática, sem alterar a decisão de localização macro.

2 ENQUADRAMENTO DA ÁREA

A área de estudo insere-se na região de Lisboa e Vale do Tejo, situando-se a este do Estuário do Tejo. Conforme ilustrado na figura 1 de enquadramento geral, a zona de intervenção localiza-se na margem sul/nascente em relação à cidade de Lisboa, inserindo-se num contexto territorial abrangente e delimitado pelas principais vias de comunicação que estruturam a Área Metropolitana e a região envolvente.

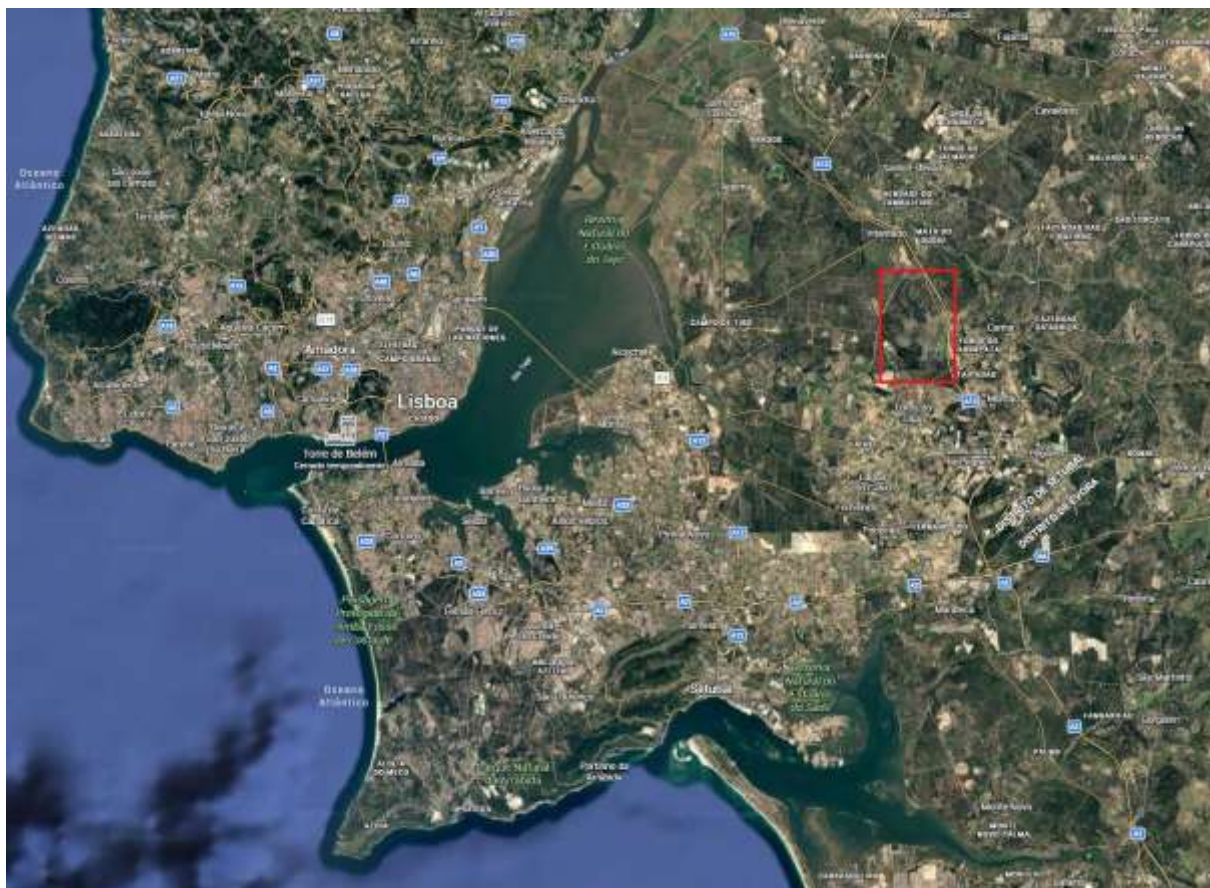


FIGURA 1 - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO NA PENÍNSULA DE SETÚBAL E ESTUÁRIO DO TEJO

A área objeto de estudo está localizada no Campo de Tiro de Alcochete, numa envolvente territorial caracterizada por baixas cotas altimétricas e declives transversais muito reduzidos. O polígono de implantação interceta linhas de drenagem natural primordiais que afluem em direção ao estuário do rio Tejo. (Figura 2). A envolvente imediata é marcada por uma matriz predominantemente florestal e agrícola, situando-se na proximidade de diversas localidades e freguesias, de onde se destacam Canha, Foros do Trapo e Santo Isidro de Pegões (pertencentes ao concelho do Montijo) a este e sul, bem como a zona do Infantado a norte.

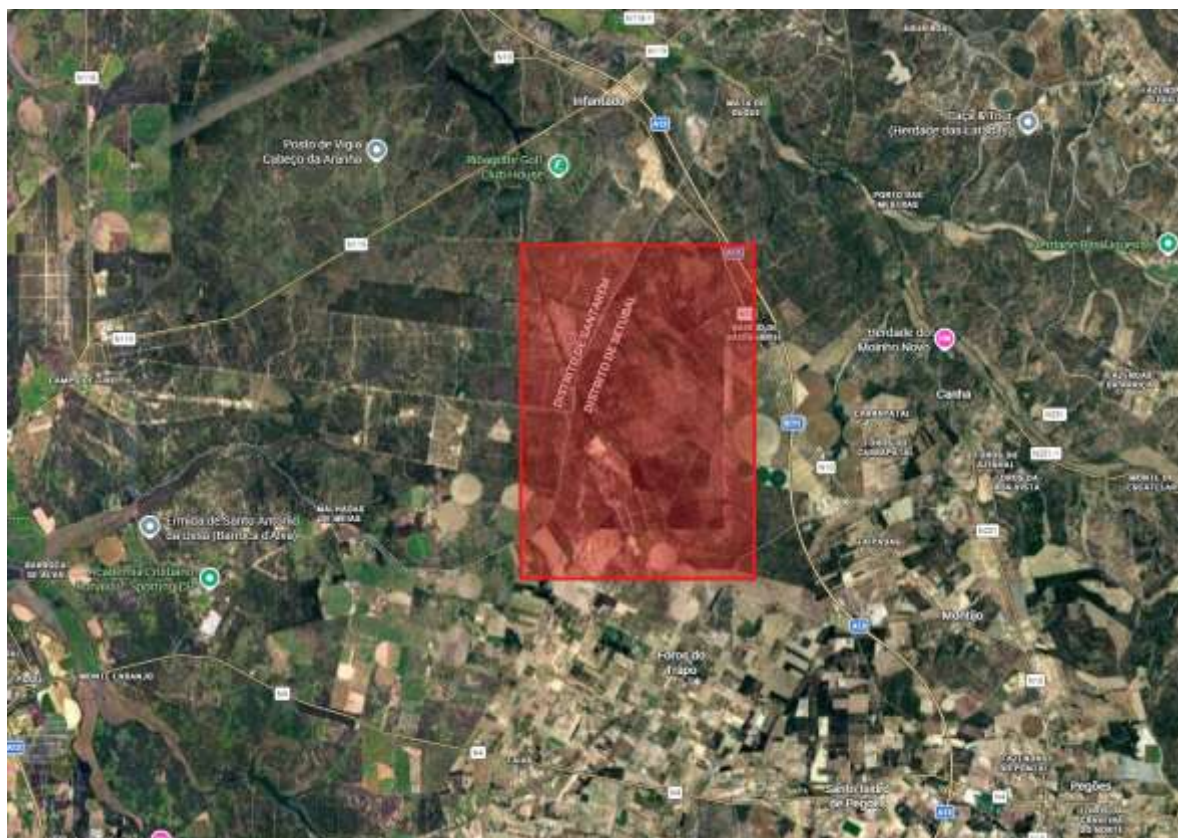


FIGURA 2 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO NO CAMPO DE TIRO DE ALCOCHETE E LOCALIDADES LÍMITROFES.

2.1 ENQUADRAMENTO URBANÍSTICO E CONDICIONANTES

O enquadramento da área de estudo é fortemente ditado pelas suas características geológicas, hidrogeológicas e de uso do solo, fatores que impõem restrições severas ao desenvolvimento do projeto e ao dimensionamento do sistema de drenagem.

Hidrogeologicamente, o território integra a Região Hidrográfica RH5A (Tejo e Ribeiras do Oeste). A área de intervenção sobrepõe-se a massas de água subterrânea de extrema importância e elevada vulnerabilidade, com particular destaque para o vasto sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado (Margem Esquerda) e, nas zonas limítrofes e corredores de drenagem natural, aos Aluviões do Tejo. A preservação das zonas de recarga destes aquíferos constitui uma condicionante primordial, limitando o grau admissível de interferência com os fluxos subterrâneos.

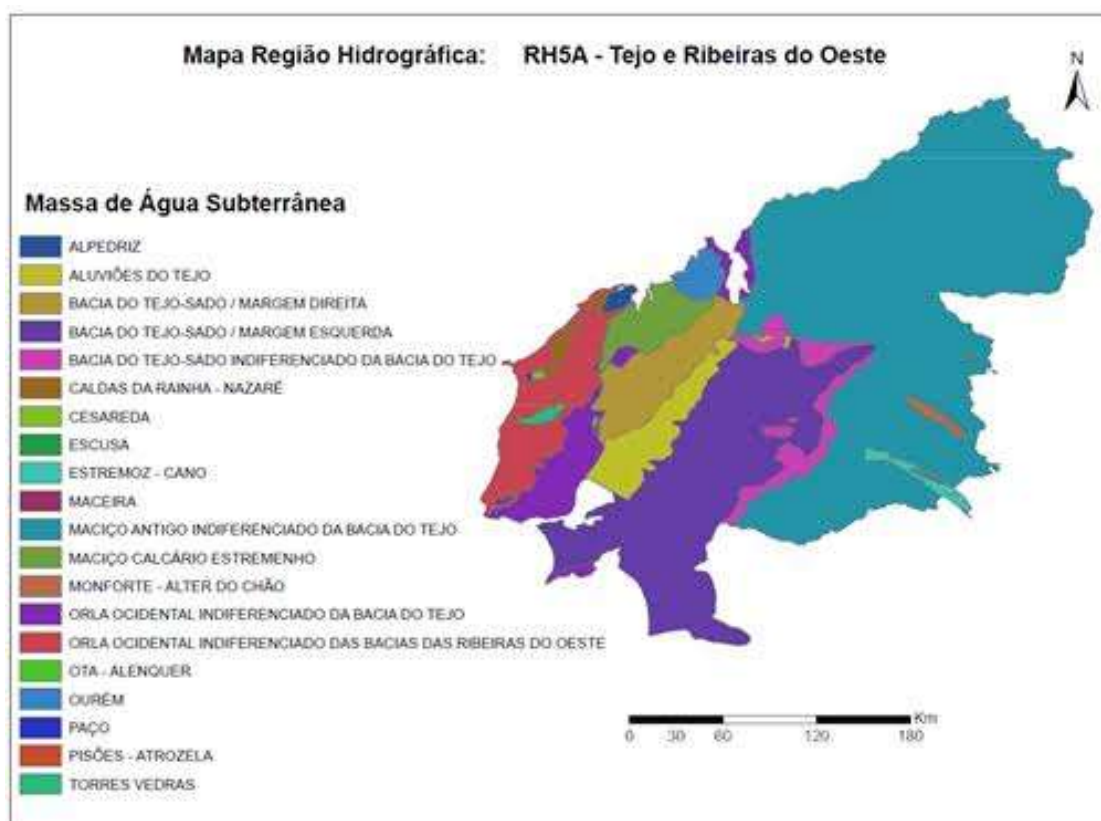


FIGURA 3 - ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO E IDENTIFICAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA (REGIÃO HIDROGRÁFICA RH5A).

Do ponto de vista litoestratigráfico, a região insere-se num contexto de depósitos sedimentares, destacando-se as formações do Quaternário (Holocénico e Plistocénico), nomeadamente aluviões e terraços arenosos, bem como depósitos consolidados do Pliocénico e Miocénico.

No que concerne ao uso e ocupação do solo, a matriz territorial é marcadamente rústica e de elevado valor ecológico. A área é constituída essencialmente por superfícies agroflorestais, florestas, áreas de matos e parcelas dedicadas à agricultura, registando-se uma presença muito residual de territórios artificializados

Esta conjugação de fatores — solos naturalmente permeáveis, extensa cobertura vegetal e a presença de aquíferos estratégicos subjacentes — resulta numa elevada capacidade de infiltração natural no estado atual (pré-projeto), variável consoante a localização específica (ver parágrafo seguinte). Consequentemente, qualquer cenário de implantação aeroportuária implica uma alteração drástica do uso do solo e a impermeabilização de vastas áreas, exigindo medidas rigorosas de mitigação para amortecer os caudais de ponta e garantir o tratamento e a qualidade dos escoamentos pluviais antes da sua restituição ao meio hídrico.

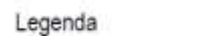


FIGURA 4 - CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (COS 2018) NA ÁREA DE ESTUDO.

2.2 CONDICIONANTES GEOTÉCNICAS E PROTEÇÃO DAS ZONAS DE RECARGA DO AQUIFERO

Do ponto de vista geotécnico, os trabalhos de prospeção realizados na área do Campo de Tiro de Alcochete (LNEC, Estudo Hidrogeológico Síntese sobre o Local do Novo Aeroporto de Lisboa no Campo de Tiro de Alcochete - Relatório Final, Relatório 219/2009-NAS, Junho de 2009) identificaram uma alternância de areias, areias argilosas, siltes e argilas, formando níveis de reduzida permeabilidade e comportamento potencialmente compressível. Estas unidades litológicas, classificadas em vários setores como materiais argilo-siltosos ou areno-argilosos, apresentam características que condicionam a execução de grandes aterros e favorecem fenómenos de consolidação e recalque sob carregamentos permanentes.

A análise comparativa das duas alternativas de implantação evidencia diferenças relevantes na interação entre a futura infraestrutura aeroportuária e os materiais superficiais que controlam os processos de infiltração e recarga do sistema aquífero da Margem Esquerda do Tejo. A solução nascente desenvolve-se predominantemente sobre formações arenosas de elevada permeabilidade, correspondentes aos horizontes superficiais que asseguram uma parcela significativa da recarga natural do aquífero.



Classificação litológica fornecida
pelo Consórcio MVG elaborada
pela Geoplano Aherne

A impermeabilização extensiva destas superfícies, associada à construção das pistas, plataformas e áreas operacionais, tenderá a reduzir a infiltração profunda atualmente existente, alterando os mecanismos naturais de renovação dos recursos hídricos subterrâneos. Em contraste, a variante oeste localiza-se em sectores onde se verifica uma maior presença de materiais areno-argilosos, argilo-siltosos e outras formações de menor permeabilidade, cuja capacidade de infiltração natural é inferior. Nestas condições, o efeito da impermeabilização sobre a recarga subterrânea apresenta-se proporcionalmente menos significativo, reduzindo o impacte hidrogeológico induzido pela infraestrutura.

Adicionalmente, a presença de materiais finos saturados e de depósitos orgânicos impõe condicionantes à reutilização dos materiais provenientes das escavações. De acordo com a informação geotécnica disponível, estima-se que apenas cerca de 30% a 50% dos materiais escavados possam ser reutilizados em aterros estruturais, sendo necessária a importação complementar de materiais adequados para cumprimento dos requisitos de estabilidade e desempenho da infraestrutura ((Estudo de Impacte Ambiental do Novo Aeroporto de Lisboa - Resumo não técnico, Junho 2010).

Neste enquadramento, a eventual redução dos volumes de aterro e de movimentação de terras constitui um aspeto relevante na avaliação comparativa das alternativas de implantação. A variante oeste, ao localizar-se num setor distinto do território e apresentar uma configuração geométrica diferente, poderá contribuir para uma menor dependência de intervenções de regularização topográfica e de fornecimento externo de materiais. No entanto, a quantificação rigorosa destes potenciais benefícios dependerá do desenvolvimento de estudos geotécnicos de detalhe, capazes de caracterizar com maior precisão as condições de fundação, os volumes efetivos de escavação e aterro e a aptidão dos materiais disponíveis para reutilização em obra.

3 DESCRIÇÃO DO ESTADO ATUAL DO TERRITÓRIO

Para a caracterização do estado de facto (pré-intervenção), procedeu-se à análise morfológica do terreno e à delimitação das bacias hidrográficas naturais que intercetam a área de estudo. A topografia da região caracteriza-se por um relevo predominantemente suave, com a presença de vales de baixa profundidade por onde se desenvolvem as principais linhas de água.

A compreensão da altimetria local foi suportada pela análise do Modelo Digital do Terreno (MDT), o qual permite identificar as zonas de maior acumulação e as diretrizes principais de escoamento.

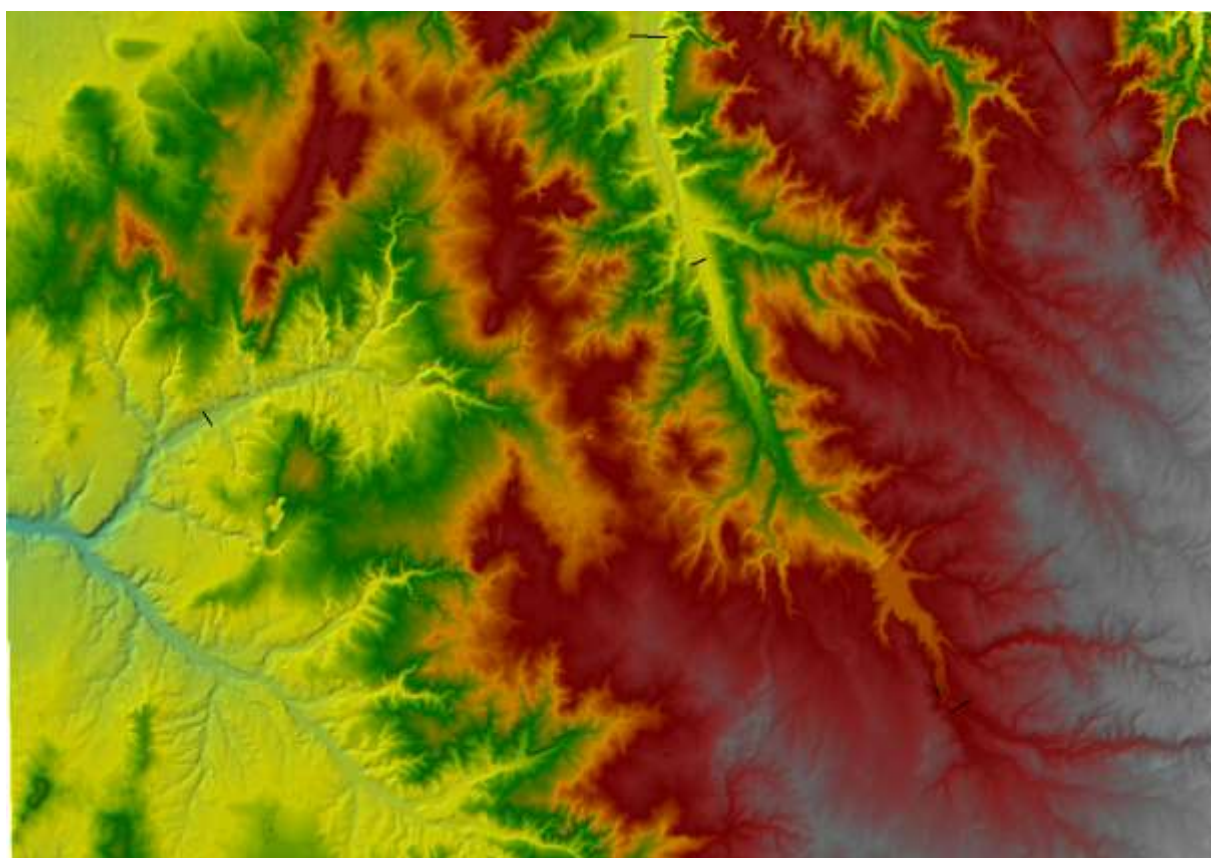


FIGURA 6 - MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT) E CARACTERIZAÇÃO ALTIMÉTRICA DA REGIÃO.

Com base na topografia, foi possível delimitar com precisão o domínio hidrológico de estudo, correspondente à bacia hidrográfica da Ribeira Vale do Cobrão. No seu estado atual, o terreno apresenta uma elevada capacidade de infiltração devido à extensa cobertura vegetal. O escoamento superficial concentra-se numa rede de drenagem natural bem definida (linhas de água efémeras e intermitentes) que flui de acordo com a orografia existente.

O principal desafio hidráulico da implantação aeroportuária reside na interceção destes fluxos naturais e na drástica alteração do uso do solo. A impermeabilização generalizada das superfícies anulará a atual capacidade de infiltração, resultando num aumento substancial dos volumes e caudais de ponta pluviais que o futuro sistema de drenagem terá de gerir.

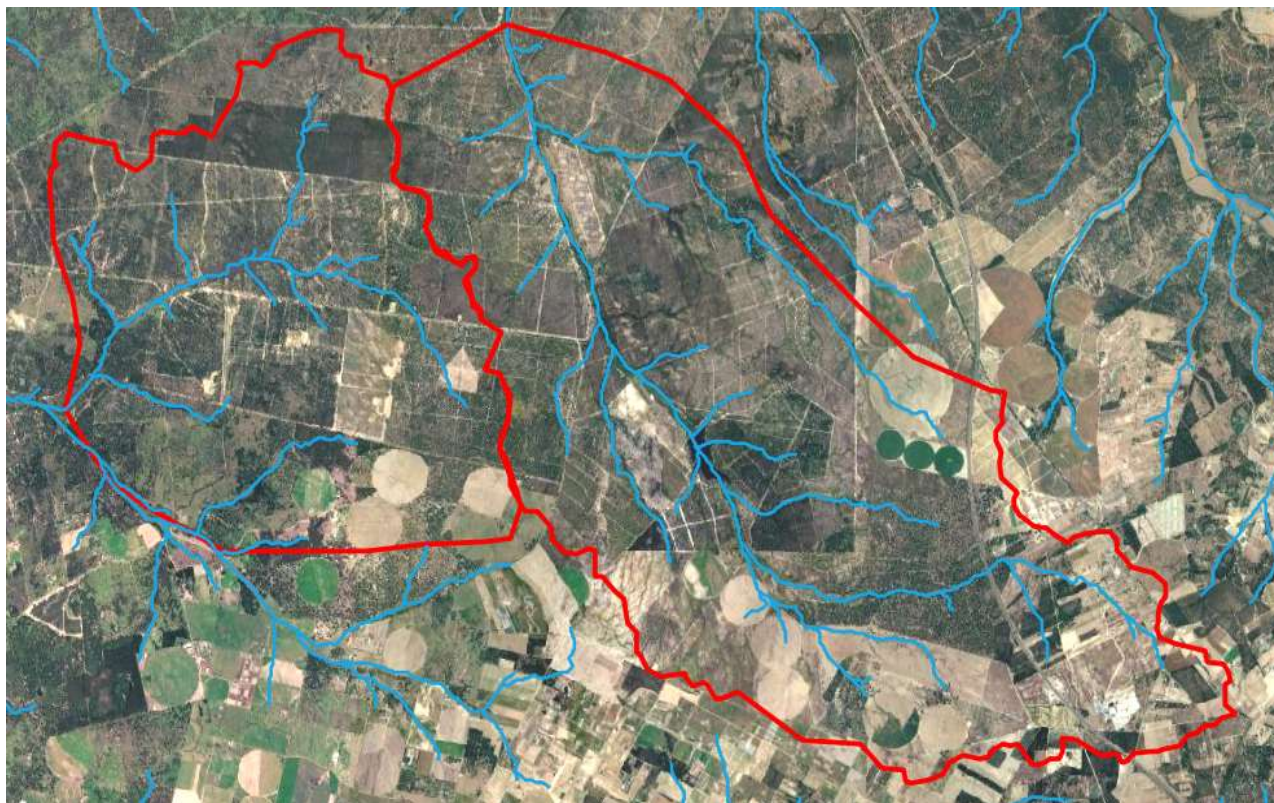


FIGURA 7 - DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DO VALE DO COBRÃO E REDE DE DRENAGEM NATURAL.

4 HIPÓTESE DE VARIANTE A OESTE

4.1 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS E ALTERNATIVAS DE IMPLANTAÇÃO

No âmbito do presente estudo, a IdroAM procedeu à avaliação comparativa de duas configurações alternativas de implantação para o Novo Aeroporto Luís de Camões no Campo de Tiro de Alcochete (CTA): a solução atualmente prevista e uma alternativa implantada aproximadamente 5 km mais a oeste. O presente capítulo sistematiza os resultados dessa análise comparativa, através do confronto dos principais condicionamentos hidrológicos, hidráulicos, ambientais e territoriais associados a cada uma das soluções consideradas.

4.1.1 CENÁRIO A: CONFIGURAÇÃO DE REFERÊNCIA (LOCALIZAÇÃO ANA)

A configuração de referência corresponde ao polígono de implantação atualmente previsto para o Aeroporto Luís de Camões no Campo de Tiro de Alcochete. Esta alternativa serve de base de cálculo para a comparação dos impactos ambientais e operacionais, constituindo o cenário atual perante o qual as propostas de afinação devem ser ponderadas.

4.1.2 CENÁRIO B: VARIANTE DE MICRO-DESLOCALIZAÇÃO PARA OESTE (ALTERNATIVA CTA)

A alternativa analisada corresponde a uma proposta de implantação localizada aproximadamente 5 km a oeste da configuração atualmente prevista para o Aeroporto Luís de Camões no Campo de Tiro de Alcochete. Esta proposta foi objeto de análise por diversas entidades, que identificaram potenciais benefícios nos domínios ambiental, territorial e socioeconómico (fonte: BIODESIGN, *Estudo Técnico de Apoio à Proposta de Microdeslocalização da Implantação Aeroportuária no Campo de Tiro de Alcochete*, setembro de 2025; ABALEO, *Avaliação Comparativa da Implantação do Novo Aeroporto Luís de Camões no Campo de Tiro de Alcochete*, novembro de 2025):

- **Mitigação do Impacte de Ruído e Poluição:** A deslocação dos cones de voo para fora das áreas densamente habitadas permite reduzir em cerca de 70% o número de pessoas expostas a níveis de ruído críticos, beneficiando diretamente a saúde pública e a qualidade de vida das populações residentes, incluindo as freguesias de Santo Estêvão e as urbanizações adjacentes.
- **Eficiência Carbónica e Sustentabilidade:** A redução da distância média entre o novo aeroporto e a cidade de Lisboa permite uma diminuição das emissões associadas aos transportes terrestres de passageiros e mercadorias, estimando-se uma redução acumulada de cerca de 1 milhão de toneladas de CO₂ equivalente ao longo de um horizonte de 50 anos.
- **Otimização do Uso do Solo Público:** A proposta promove uma maior concentração da infraestrutura em solo público já afeto a fins aeronáuticos e militares, reduzindo a necessidade de expropriações

adicionais e mitigando os impactos sobre a propriedade privada e os custos associados a processos expropriativos.

4.2 METODOLOGIA DE CONFRONTO

A hipótese de que a variante de micro-relocalização para oeste possa apresentar um desempenho mais favorável será analisada e validada através de uma abordagem comparativa baseada em indicadores hidrológicos e hidráulicos quantitativos, suportados pelas simulações numéricas efetuadas.

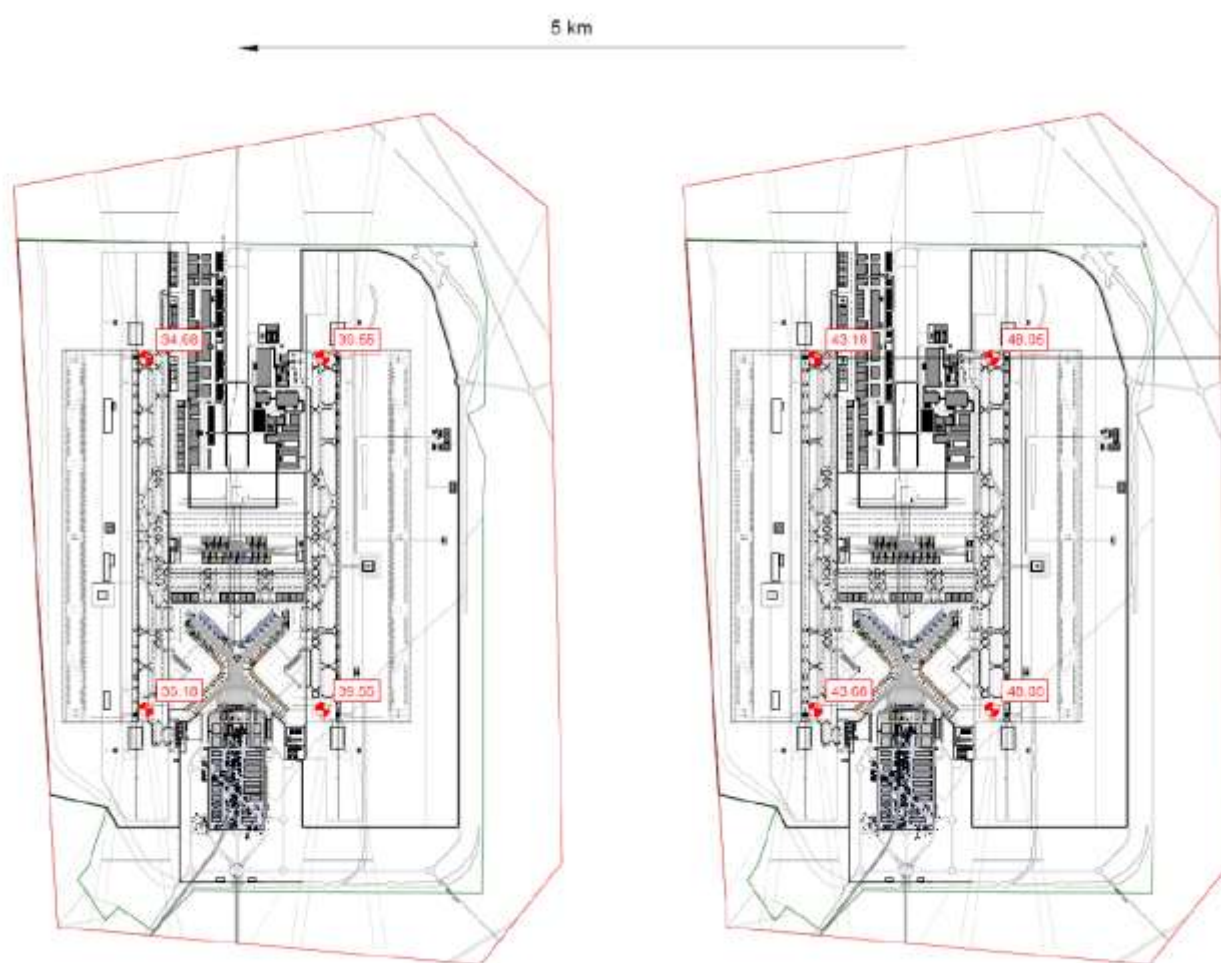


FIGURA 8 - COMPARAÇÃO DE LAYOUTS DE IMPLANTAÇÃO: SOLUÇÃO NASCENTE (ESQUERDA) E VARIANTE OESTE (DIREITA).

5 ESTUDO HIDROLÓGICO

Para avaliar o desempenho hidrodinâmico das alternativas de implantação aeroportuária descritas no capítulo anterior, procedeu-se à caracterização hidrológica detalhada das áreas de estudo. O objetivo fundamental desta fase consiste em determinar o hidrograma de projeto, os quais constituem as condições de fronteira para a modelação hidráulica bidimensional no HEC-RAS.

5.1 ENQUADRAMENTO GERAL

A avaliação hidrológica de ambas as alternativas de implantação assenta num corpo metodológico comum. A definição dos parâmetros hidrológicos obedece às mesmas formulações teóricas, garantindo a coerência e a comparabilidade direta dos resultados simulados.

5.1.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E LEI DE PROBABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO (LSPP)

A caracterização da resposta hidrológica da bacia depende fundamentalmente do seu tempo de concentração (T_c), que representa o tempo necessário para que a totalidade da área de captação contribua para o escoamento na secção de controlo (exutório). A avaliação deste parâmetro é efetuada através de formulações empíricas, como o método de Giandotti, que relaciona a morfometria da bacia (área, comprimento do curso de água principal e desnível altimétrico).

A determinação das alturas e intensidades de precipitação extrema baseia-se na Lei de Probabilidade de Precipitação (LSPP) aplicável à região. A curva de possibilidade pluviométrica estabelece a relação entre a altura de precipitação extrema (h) e a duração do evento, a qual é igualada ao T_c da bacia para garantir a simulação do cenário hidrológico mais desfavorável (duração crítica). A formulação matemática desta curva depende de parâmetros regionais; para o presente estudo, adotou-se um horizonte de segurança compatível com infraestruturas críticas, fixando o cenário para um Período de Retorno (T_r) de 100 anos, com os parâmetros $a = 365,62$ e $b = -0,508$ (Anexo IX - Decreto Regulamentar nº 23-95).

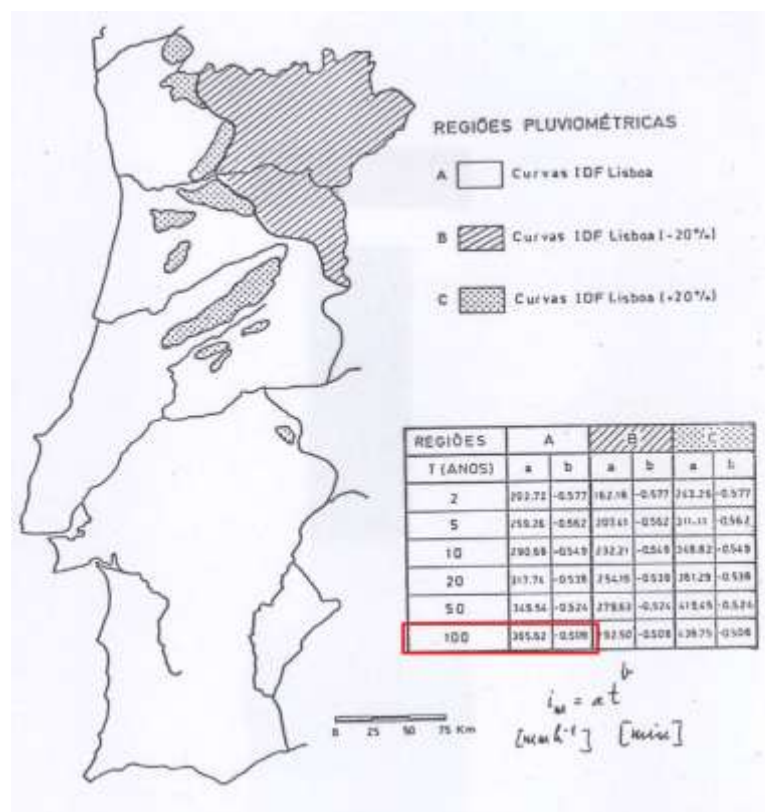


FIGURA 9 - PARÂMETROS DAS CURVAS DE POSSIBILIDADE PLUVIAL - ANEXO IX - DECRETO REGULAMENTAR Nº 23-95

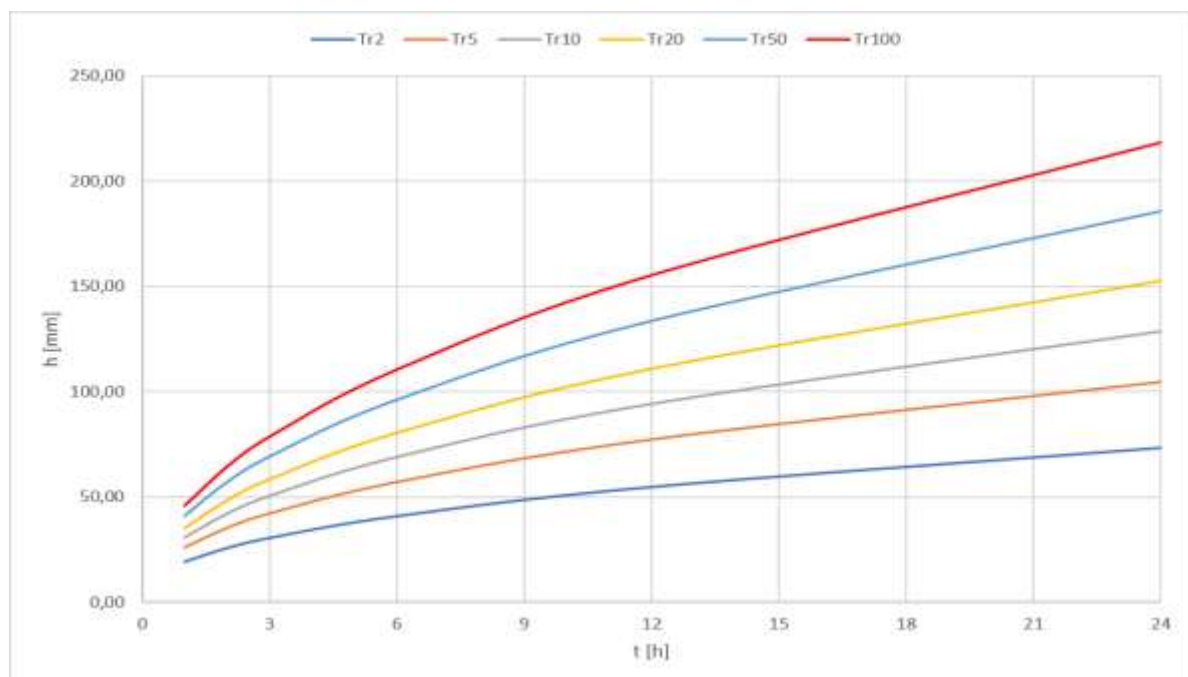


FIGURA 10 - CURVAS DE POSSIBILIDADE PLUVIOMÉTRICA (LSP) PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.

5.1.2 GERAÇÃO DE ESCOAMENTO E PERMEABILIDADE (MÉTODO DO CURVE NUMBER)

A quantificação do escoamento superficial direto foi efetuada através do método do *Curve Number* (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS). Este método traduz a capacidade de retenção e infiltração do solo baseando-se no seu uso, cobertura e tipo hidrológico.

No estado de facto (situação pré-projeto), a bacia apresenta uma elevada percentagem de áreas permeáveis, distribuídas da seguinte forma:

- Áreas de mato/vegetação rada (47%): $CN = 80$
- Áreas florestais/bosques (27%): $CN = 83$
- Pradarias (15%): $CN = 70$
- Prados/pastagens (11%): $CN = 78$

Esta caracterização resulta num CN ponderado que evidencia a boa capacidade de retenção hídrica natural da bacia. A implantação das infraestruturas aeroportuárias (pistas, gares e acessos) implicará a conversão substancial de parte destas áreas para um $CN = 98$ (superfícies totalmente impermeáveis). É esta transformação no uso do solo, acompanhada pela redução do volume máximo de armazenamento no terreno, que o modelo hidráulico 2D terá de simular e gerir de forma comparativa entre os cenários em estudo.

5.1.3 HIETOGRAMA DE PROJETO

A determinação das alturas de precipitação extrema baseou-se na Lei de Probabilidade de Precipitação (LSPP) regional. O estudo adotou um horizonte de segurança compatível com infraestruturas críticas, fixando o cenário para um Período de Retorno (Tr) de 100 anos.

Os parâmetros da curva de possibilidade pluviométrica adotados para $Tr = 100$ anos foram $a = 365,62$ e $b = -0,508$. Com base nestes parâmetros pluviométricos e no tempo de concentração (T_c) calculado para cada bacia específica, constrói-se o hietograma de projeto (distribuição temporal da chuva). Este hietograma

traduz a precipitação líquida geradora de escoamento e constitui a introdução direta (condição de fronteira a montante) no modelo computacional HEC-RAS.

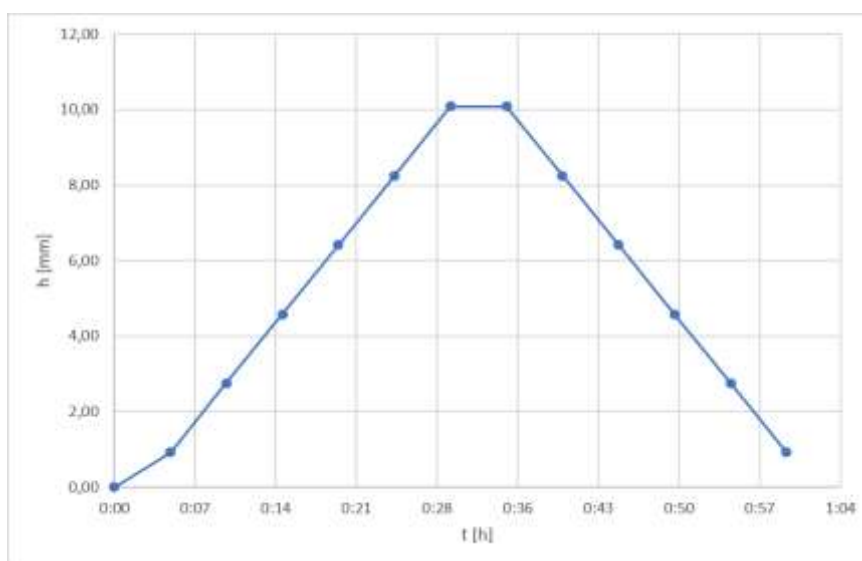


FIGURA 11 - HIETOGRAMA ILUSTRATIVO PARA O PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS ($T_r=100$) E DURAÇÃO DE UMA HORA

5.2 CENÁRIO 1 - SOLUÇÃO NASCENTE

A área de estudo insere-se predominantemente na bacia hidrográfica da Ribeira Vale do Cobrão. Com base no Modelo Digital do Terreno (MDT) e na análise da curva hipsométrica, extraíram-se os seguintes parâmetros morfométricos fundamentais para a modelação:

- Área da Bacia (S): 56,03 km²
- Comprimento da linha de água principal (L): 15,00 km
- Cota Máxima da bacia (H_{max}): 92,34 m s.n.m.
- Cota na secção de encerramento (H_s): 26,34 m s.n.m.
- Cota Média (H_m): 54,98 m s.n.m.
- Declive médio do leito (p): 0,0044 m/m (0,44%)

Para ilustrar a relação intensidade-duração-frequência específica deste cenário, a representação gráfica da LSPP permite constatar o ponto de tensão hidrológica da bacia. Ao intercalar a curva correspondente ao período de retorno de 100 anos com a duração crítica equivalente ao tempo de concentração ($T_c = 12$ horas), o gráfico atinge a ordenada de **155,13 mm**. Esta visualização traduz a elevada magnitude do evento meteorológico que o sistema de drenagem da implantação nascente, ao impermeabilizar o eixo do vale, terá obrigatoriamente de acomodar

A reduzida pendente média promove tempos de concentração elevados. Assumiu-se um tempo de concentração de projeto de 12 horas. Aplicando os parâmetros da LSPP para a duração de 12 horas ($T_r = 100$ anos), a precipitação crítica afeta a esta bacia totaliza 155,13 mm. A impermeabilização desta zona específica anulará a dinâmica natural de amortecimento, justificando os caudais elevados observados na modelação.

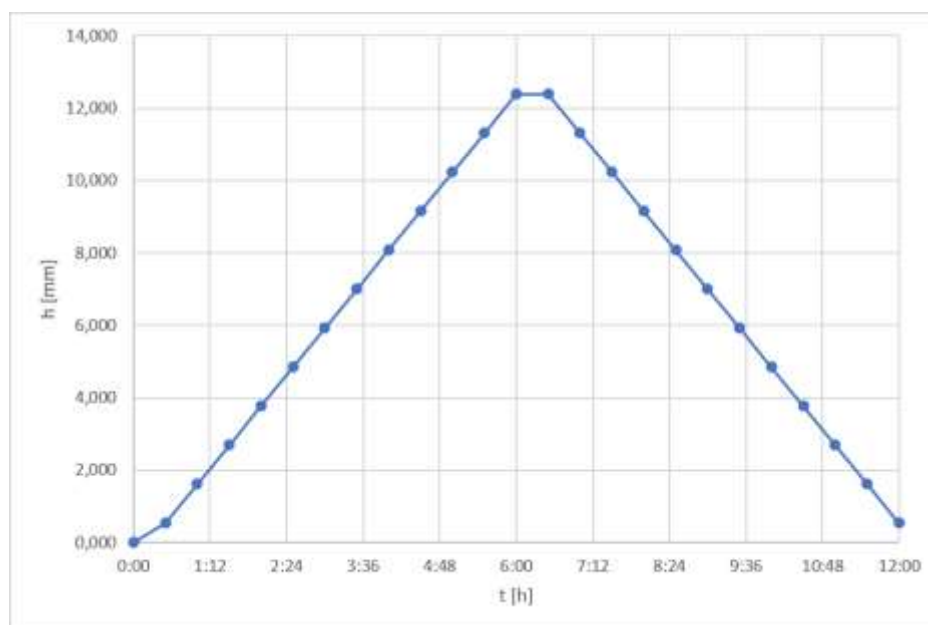


FIGURA 12 - HIETOGRAMA - ($T_r=100$ E DURAÇÃO CRÍTICA DE 12 HORAS) PARA CENÁRIO 1 - SOLUÇÃO NASCENTE

5.3 CENÁRIO 2 - SOLUÇÃO A OESTE

A deslocalização da plataforma em cerca de 5 km para oeste afasta a infraestrutura do eixo de drenagem principal do Vale do Cobrão, reposicionando-a numa bacia hidrográfica de menor expressão e maior fragmentação. A caracterização desta área de captação originou os seguintes parâmetros morfométricos e hidrológicos fundamentais:

- Área da Bacia (S): 32,19 km² (significativamente inferior aos 56,03 km² da Solução Nascente)
- Comprimento da linha de água principal (L): 7,50 km
- Cota Máxima da bacia (H_{max}): 56,90 m s.n.m.
- Cota na secção de encerramento (H_s): 6,90 m s.n.m.
- Cota Média (H_m): 36,80 m s.n.m.
- Declive médio do leito (p): 0,0067 m/m (0,67%)

De igual modo, a projeção da chuva de projeto na curva LSPP para a bacia da Variante Oeste evidencia uma carga hidrológica marcadamente inferior. Ao cruzar a curva do período de retorno de 100 anos com o tempo de concentração específico desta bacia de menor dimensão ($T_c = 7,76$ horas, calibrado para o evento de 8

horas), obtém-se graficamente a ordenada correspondente à altura de precipitação de **125,18 mm**. A observação deste gráfico comprova visualmente a menor exigência pluviométrica total imposta sobre a infraestrutura nesta localização, justificando a redução substancial dos caudais de escoamento gerados.

O tempo de concentração (T_c) calculado para esta bacia, utilizando a formulação de Giandotti, é de **7,76 horas** (assumindo-se um evento de projeto contínuo de 8 horas para a formulação do hietograma). Para o período de retorno de projeto ($T_r = 100$ anos), a altura de precipitação crítica total associada a este tempo de concentração é de **125,18 mm**.

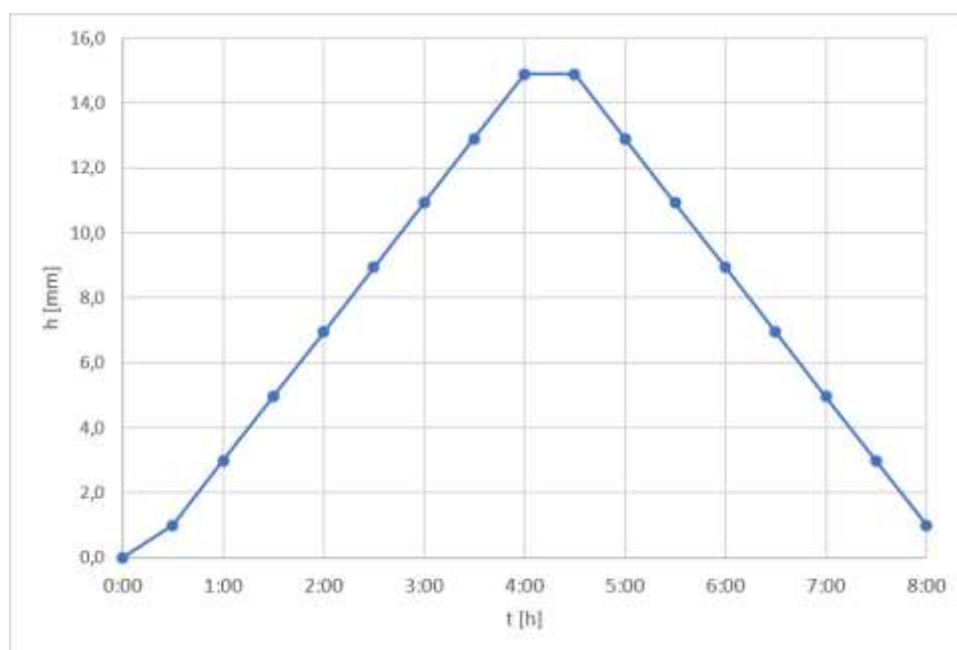


FIGURA 13 - HIETOGRAMA - ($T_r=100$ E DURAÇÃO CRÍTICA DE 8 HORAS) PARA CENÁRIO 2 - SOLUÇÃO A OESTE

6 MODELAÇÃO HIDRÁULICA

6.1 DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO ADOTADO

O modelo numérico adotado para as simulações conduzidas é o HEC-RAS (*River Analysis System*), software de cálculo open source desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC) do *US Army Corps of Engineers*. Trata-se de um software que encontra uma vasta aplicação em projetos de engenharia para a modelação hidrodinâmica, quer unidimensional quer bidimensional de volumes finitos em redes hidrográficas naturais e artificiais.

O modelo permite efetuar simulações em regime permanente (apenas em 1D) e variado (1D e 2D), bem como reproduzir o efeito de uma vasta gama de estruturas, quer longitudinais (como, por exemplo, captações, descarregadores, etc.), quer transversais (por ex., pontes, travessias, açudes, soleiras, etc.).

No âmbito do presente estudo hidráulico, foi utilizado o módulo HEC-RAS 2D, que permite a simulação integrada dos processos de transformação precipitação-escoamento (rainfall-runoff) e da propagação do escoamento superficial diretamente sobre o terreno. A modelação foi efetuada em regime não permanente (unsteady flow) e em duas dimensões, recorrendo à resolução das equações de Saint-Venant em malha bidimensional, o que possibilita representar com maior rigor os padrões de escoamento, as zonas preferenciais de drenagem, as acumulações de água e a interação entre o sistema de drenagem projetado e a topografia existente. Esta abordagem constitui uma ferramenta particularmente adequada para a avaliação do comportamento hidráulico associado à implantação do novo aeroporto, permitindo uma análise detalhada das condições de inundação e do encaminhamento dos caudais superficiais.

O sistema de equações que descreve o movimento de um fluido em águas rasas (shallow water equations 2DH) deriva dos princípios, da conservação, da massa e da quantidade de movimento aplicados a uma corrente fluida bidimensional, sob uma série de hipóteses (tais como águas rasas, fluido incompressível, corrente gradualmente variada no espaço e no tempo, distribuição hidrostática de pressões nas secções e pequenos declives de fundo).

O princípio da conservação da massa, aplicado a um volume de controlo adequado e inserido no campo de escoamento de uma corrente fluida bidimensional, de superfície livre e em regime variado, impõe que o fluxo de massa m_e de fluido que entra na unidade de tempo no volume de controlo seja igual ao que sai m_u , exceto pela variação de massa m contida no volume. Matematicamente, este princípio traduz-se na equação da continuidade:

$$m_e - m_u = \frac{\partial m}{\partial t}$$

O princípio de conservação da quantidade de movimento resulta da aplicação da segunda lei da dinâmica da mecânica clássica ao volume de controlo, o qual se traduz numa equação vetorial ao longo das duas componentes x e y do escoamento:

$$\vec{I} + \vec{M}_u - \vec{M}_e = \vec{G} + \vec{\Pi}$$

onde M_u e M_e são, respetivamente, os fluxos de quantidade de movimento a sair e a entrar, I representa a inércia local do fluido, G e Π são as resultantes das forças de massa e de superfície que atuam sobre o volume de controlo.

Sob as hipóteses mencionadas no início do parágrafo, os princípios de conservação de massa e da quantidade de movimento são, através de passos matemáticos simples, associados num sistema de três equações (shallow water equations 2DH) que se podem expressar na seguinte forma vetorial:

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot h\vec{V} + q = 0 \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = -g\nabla H + \nu_t \nabla^2 \vec{V} - c_f \vec{V} + f\vec{k} \times \vec{V} \end{cases}$$

A primeira equação escalar representa a conservação da massa, a segunda é vetorial e indica o princípio de conservação da quantidade de movimento ao longo de x e y . A terminologia adotada é a seguinte:

- H representa o nível hídrico
- t representa a variável temporal
- h é o tirante de água (profundidade)
- V é a velocidade (vetor)
- q é o termo fonte, que representa a subtração ou afluência de massa no volume de controlo
- g é a aceleração da gravidade
- ν_t é a viscosidade turbulenta (eddy viscosity)
- c_f é o coeficiente de rugosidade do fundo
- f é o parâmetro de Coriolis
- k é um versor orientado na direção vertical

No âmbito deste trabalho, adotou-se a aproximação da onda difusiva (Diffusion Wave form) das equações de De St. Venant, o que permite desmembrar e simplificar alguns termos (como os termos advectivos, a turbulência, e as acelerações de Coriolis).

O sistema de equações diferenciais que constitui as shallow water equations 2DH representa o modelo matemático, ou seja, a representação analítica do fenómeno em estudo; contudo, exceto em casos bastante simples, este não pode ser integrado de forma fechada. A reconstituição das grandezas hidrodinâmicas de interesse no domínio exige, por conseguinte, a utilização de técnicas apropriadas para a resolução

aproximada de problemas diferenciais, a implementar em códigos de cálculo para a sua resolução através de computadores (modelo numérico).

Especificamente, o modelo numérico estipula que o problema diferencial formulado seja resolvido mediante uma técnica híbrida, a qual combina dois dos principais métodos de discretização utilizados na hidráulica computacional:

- **Diferenças finitas:** as derivadas espaciais e temporais são aproximadas através de rácios incrementais. O método implica a definição prévia de um passo de integração espacial e temporal, sendo este último definido através de uma grelha de cálculo ou *mesh*.
- **Volumes finitos:** esta técnica envolve a discretização do domínio de integração em volumes de dimensões finitas, definidos por intermédio de uma grelha de cálculo ou *mesh* adequada. Os volumes assim individualizados assumem-se como volumes de controlo sobre os quais se aplicam as equações do movimento.

Para resolver as equações do escoamento é, portanto, necessário que o utilizador defina antecipadamente a *mesh* computacional ao longo de todo o domínio de cálculo bidimensional. No HEC-RAS, a grelha de cálculo pode ser composta por elementos, inclusivamente irregulares, com um número de faces compreendido entre 3 e 8.

No solucionador híbrido implementado no HEC-RAS, o método das diferenças finitas é empregue para aproximar as derivadas temporais, ao passo que para as derivadas espaciais, o recurso a este método é limitado apenas a faces de elementos pertencentes a uma malha de cálculo cujas frentes sejam perpendiculares. O método de volumes finitos entra em ação nos casos em que a quadrícula não é localmente ortogonal.

A definição unívoca do problema diferencial é complementada com a imposição, por parte do utilizador, das devidas condições iniciais e de fronteira.

As primeiras refletem o valor adotado pelas principais variáveis hidrodinâmicas no instante inicial das simulações; especificamente, é possível fixar um valor altimétrico do nível de água para todas as células do domínio; por predefinição, os elementos são considerados secos.

As condições de fronteira, por seu turno, são atribuídas às faces dos elementos da malha ao longo do seu perímetro exterior, ou, se especificado pelo utilizador, até mesmo ao longo de limites interiores. Como condição de fronteira, o utilizador pode atribuir um escoamento imposto (afluente e efluente), uma condição de escoamento em regime uniforme (para permitir a saída de água do domínio), um nível imposto (inclusive de variação temporal), uma curva de caudais, a ligação hidráulica a troços 1D ou a *storage areas* (em ambos o caso a direção do fluxo depende da diferença de níveis que se estabelece entre a transição).

Na ausência de especificações, o modelo assumirá a condição de fronteira de parede, que impede a saída da água do domínio.

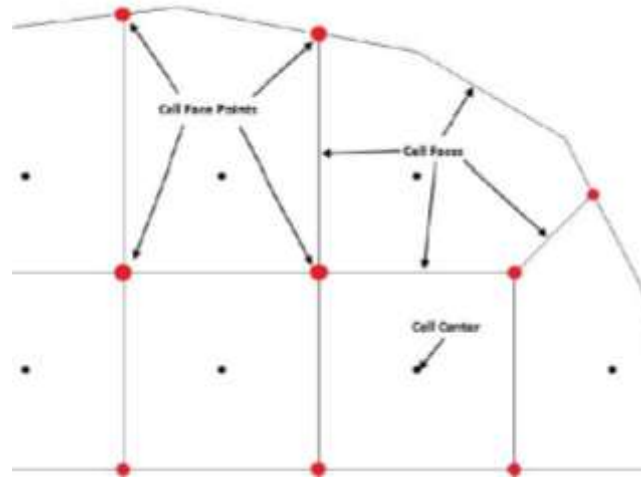


FIGURA 14 - ELEMENTOS GEOMÉTRICOS CARACTERÍSTICOS DE UMA MALHA DE CÁLCULO BIDIMENSIONAL NO HEC-RAS.

Através deste procedimento, aqui descrito muito sumariamente, é finalmente possível obter, para cada elemento da malha (identificado pelo seu baricentro ou centro da célula) e para todos os intervalos de discretização temporal, os valores dos tirantes (lâminas de água) e da velocidade da corrente associados ao baricentro de cada célula da *mesh* de cálculo.

É compreensível que esta aproximação seja tanto mais exata quanto menores forem as dimensões dos elementos da grelha de cálculo. Por outro lado, um aumento do número de elementos leva a um consequente aumento dos tempos de processamento dos resultados e, por conseguinte, a definição da *mesh* deve constituir um compromisso entre estas duas necessidades contrapostas.

Em geral, contudo, fixadas as dimensões da malha, a escolha do intervalo de discretização espacial Δt não é de todo arbitrária, mas deve ser tal que garanta o respeito pela condição de estabilidade CFL:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta X_{\min}}{U_{\max}} Cr$$

onde:

- $\Delta X_{\min}$ é a dimensão mínima da *mesh* de cálculo
- $U_{\max}$ é a celeridade máxima obtida no domínio de cálculo
- Cr é o número de Courant que em geral é igual a 1 (sendo preferível 0,8), mas que pode chegar até 2 com a aproximação da onda difusiva.

Se a condição anterior não for cumprida, o solucionador numérico torna-se instável e pode originar oscilações irrealistas na solução, ou mesmo divergir nos elementos da mesh onde a condição de estabilidade não se encontre verificada.

Ainda em relação à mesh de cálculo, importa fazer um esclarecimento importante. De facto, enquanto o utilizador estabelece (através da definição da mesh) o intervalo de discretização espacial dentro do qual o modelo determina os principais parâmetros hidrodinâmicos, a precisão do dado batimétrico continua a ser a estabelecida pela resolução do MDT utilizado como base (que é normalmente superior à da mesh).

Antes de dar início à execução do solucionador numérico propriamente dito, o HEC-RAS executa um pré-processador geométrico no qual associa a cada célula da mesh o volume calculado pelo terreno subjacente e, a cada uma das suas faces, o andamento detalhado do terreno proveniente do MDT. Dessa forma, cada face de cada elemento da malha pode ser equiparada a uma secção hidráulica 1D, representada pelo terreno subjacente e discretizada segundo a precisão deste último.

A definição do dado batimétrico representa, por conseguinte e para todos os efeitos, uma sub-grelha mais densa da mesh de cálculo, graças à qual é possível considerar o efeito sobre o escoamento de obstáculos (edifícios, aterros, pequenas elevações...) ou de vias preferenciais de fluxo (pequenos canais de drenagem ou regadio, valetas de pé de talude ou de drenagem viária...) com dimensões menores e orientação diferente das dos elementos da mesh.

6.2 DETALHE DA MODELAÇÃO EFETUADA

Após a definição do cenário hidrológico crítico ($T_r = 100$ anos) e a compreensão teórica das equações governantes, procedeu-se à construção do modelo computacional específico para a área de implantação no Campo de Tiro de Alcochete. A simulação foi executada com recurso ao software HEC-RAS (versão 6.6), adotando uma abordagem estritamente bidimensional (2D) para capturar com precisão a propagação do escoamento superficial sobre o relevo natural.

6.2.1 PREPARAÇÃO E IMPORTAÇÃO DO MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

A base geométrica fundamental para a modelação 2D foi o Modelo Digital do Terreno. Para garantir a precisão topográfica necessária à identificação de caminhos preferenciais de escoamento, valas e depressões naturais, utilizou-se um MDT de alta resolução espacial, com uma quadrícula (*pixel*) de **2x2 metros**. Este rigor batimétrico permite que, independentemente do tamanho da malha de cálculo, o modelo processe os volumes de água com base na topografia detalhada subjacente a cada célula.

6.2.2 CONSTRUÇÃO DA MALHA DE CÁLCULO (MESH 2D) E REFINAMENTOS

O domínio computacional correspondente à bacia da Ribeira Vale do Cobrão foi discretizado através da geração de uma malha de cálculo (2D Flow Area).

- **Grelha Base:** Estabeleceu-se uma grelha estruturada com células quadradas de **50x50 metros**. Esta dimensão provou ser o compromisso ideal entre o detalhe da resolução hidrodinâmica e o tempo de processamento computacional.

6.2.3 CONDIÇÕES DE FRONTEIRA E CONDIÇÕES INICIAIS

A dinâmica do modelo foi impulsionada pela introdução das condições de fronteira, traduzindo o balanço hídrico calculado no estudo hidrológico prévio:

- **Condição a Montante (Injeção de Caudal):** calculada reproduzindo o processo de transformação precipitação-escoamento (*rainfall-runoff*) a partir do hietograma de chuva (ver par. 5.2 e 5.3) e dos parâmetros característicos do solo (cfr. Par. 6.2.4);
- **Condição a Jusante:** no limite inferior do modelo (exutório), estabeleceu-se uma condição de fronteira de profundidade normal (*Normal Depth*), calculada com base no declive médio do terreno de saída, permitindo o escoamento livre da onda de cheia para fora do domínio sem gerar fenómenos artificiais de regolfo (*backwater*). Importa referir que esta configuração não contempla explicitamente cenários de elevação do nível de água no meio recetor ou efeitos de remanso induzidos por condições hidráulicas externas a jusante, cuja avaliação exigiria a adoção de condições de fronteira do tipo nível imposto (*stage hydrograph*) em cenários específicos de análise.

- Condição Inicial: assumiu-se o domínio inicialmente "seco" (ausência de tirantes hídricos no instante $t = 0$), correspondendo à situação anterior ao início do evento de precipitação extrema.

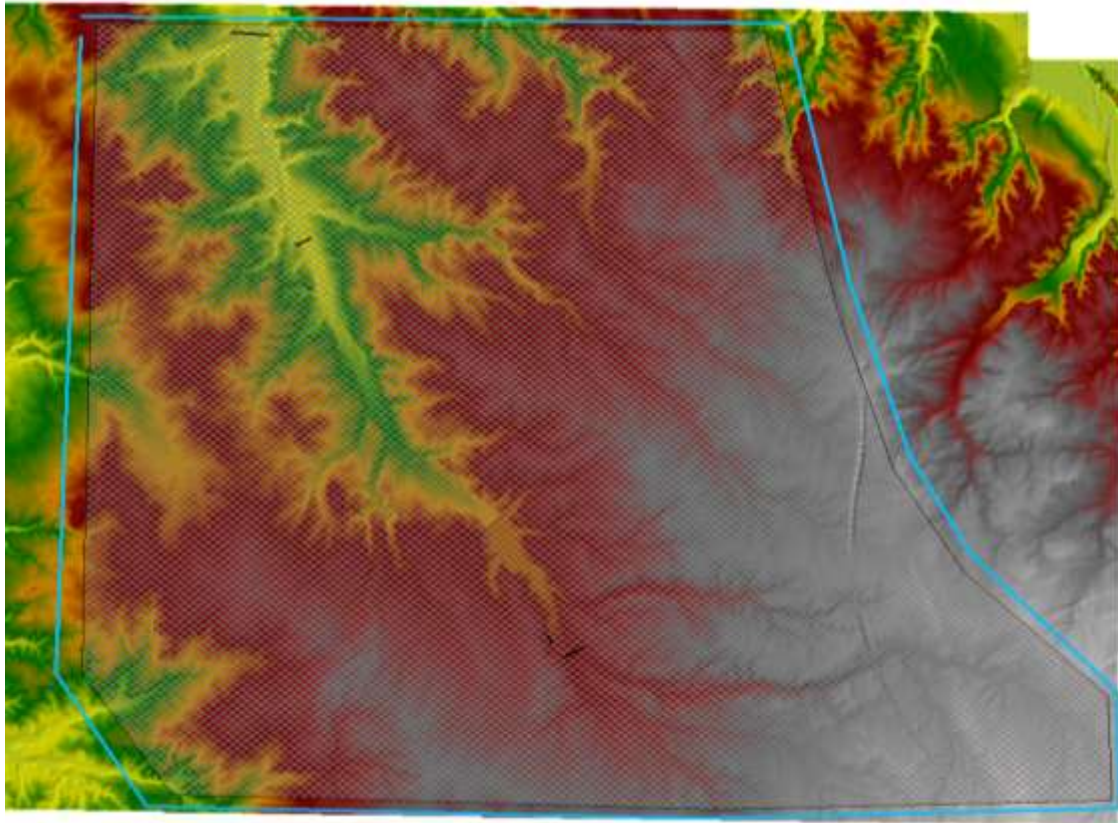


FIGURA 15 - MALHA DE CÁLCULO BIDIMENSIONAL (MESH 2D) APLICADA SOBRE O DOMÍNIO COMPUTACIONAL.

6.2.4 ATRIBUIÇÃO DA RUGOSIDADE (COEFICIENTES DE MANNING)

A resistência ao escoamento foi introduzida no modelo através da definição espacial dos coeficientes de rugosidade de Manning. A classificação foi efetuada através do cruzamento georreferenciado da malha 2D com a Carta de Uso e Ocupação do Solo. Atribuíram-se valores de Manning calibrados consoante a matriz do terreno: valores mais elevados para as extensas manchas florestais e de mato denso (onde a vegetação retarda significativamente a velocidade da água), e valores inferiores para os corredores limpos e futuros pavimentos impermeabilizados das infraestruturas aeroportuárias.

A parametrização hidrológica e hidrodinâmica do modelo baseou-se no uso do solo, atribuindo a cada classe um coeficiente de Manning (n) e um *Curve Number* (CN). Como ilustrado, as áreas naturais (permeáveis) apresentam maior rugosidade – o que abranda a água – e boa capacidade de infiltração natural. Em contraste, as futuras superfícies aeroportuárias são classificadas como impermeáveis, assumindo uma

rugosidade mínima e um $CN = 98$, resultando numa rápida e quase total conversão da precipitação em escoamento superficial.

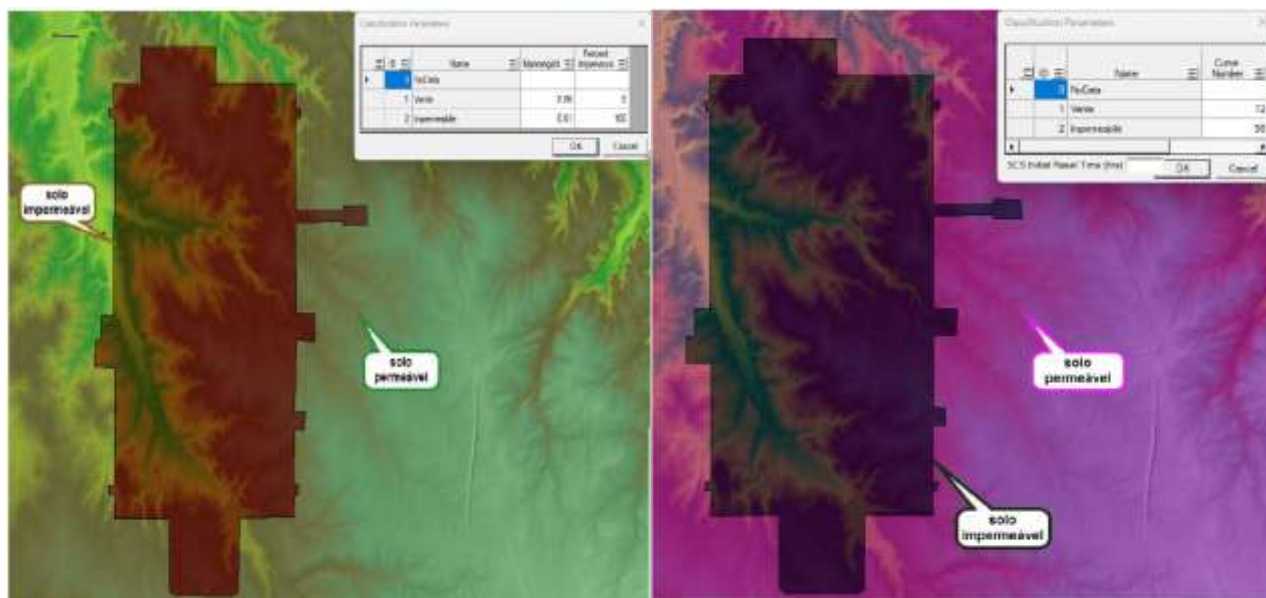


FIGURA 16 - PARAMETRIZAÇÃO ESPACIAL DOS COEFICIENTES DE RUGOSIDADE DE MANNING E DOS VALORES DE CURVE NUMBER (CN)

6.2.5 PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

A simulação temporal foi configurada para abranger a totalidade da duração do evento meteorológico e o subsequente tempo de esvaziamento da bacia. O motor de cálculo foi ajustado para resolver a aproximação da Onda Difusiva (*Diffusion Wave Equations*).

De forma a garantir a estabilidade do solucionador numérico e evitar divergências matemáticas, o passo de tempo computacional (Δt) foi rigorosamente ajustado para assegurar que a condição de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) se mantivesse igual ou inferior a 1 ($CFL \leq 1$) nas zonas de maior velocidade do escoamento.

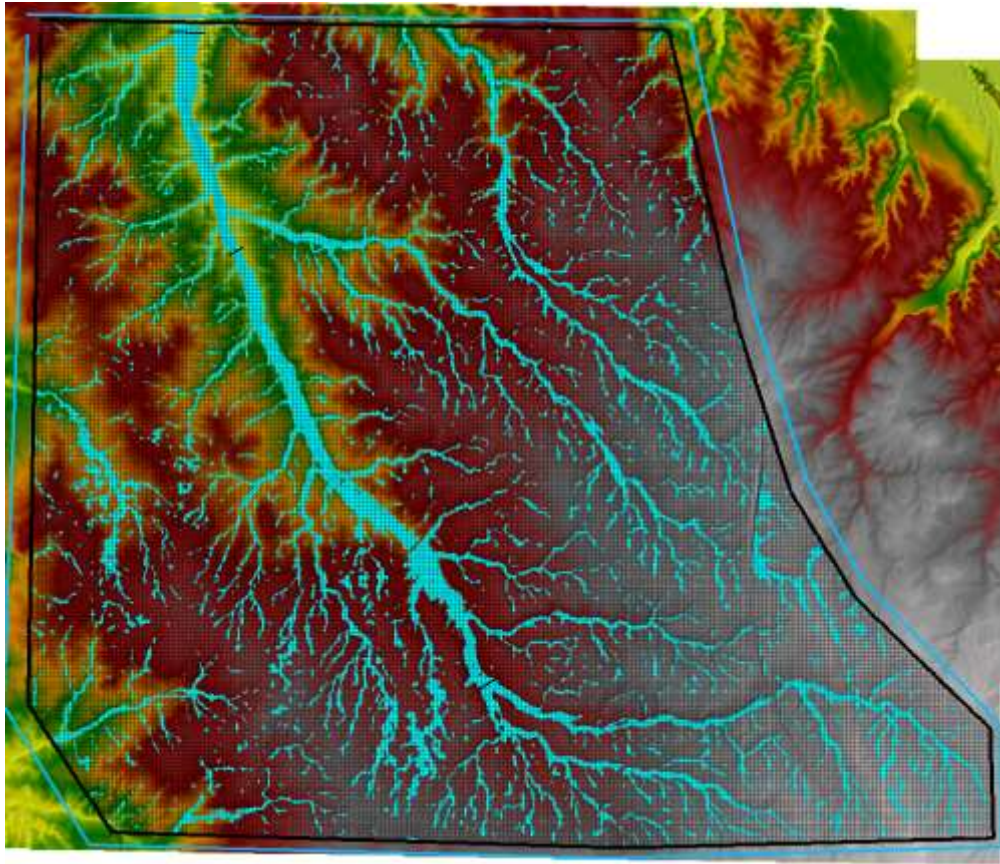


FIGURA 17 - DETALHE DA MALHA DE CÁLCULO EVIDENCIANDO AS LINHAS DE ESCOAMENTO PREFERENCIAIS.

7 RESULTADOS DA MODELAÇÃO HIDRÁULICA

7.1 CENÁRIO A: IMPLANTAÇÃO 1 (CONFIGURAÇÃO NASCENTE)

7.1.1 SITUAÇÃO ATUAL (ESTADO NATURAL)

A área de implantação da Solução Nascente caracteriza-se por uma forte interferência física com o eixo central do Vale do Cobrão e respetivos cursos de água afluentes. A modelação do estado natural para o evento extremo de 100 anos (duração crítica de 12 horas) revela que o sistema hídrico nesta zona mobiliza volumes de água substanciais. A extração dos resultados na secção de jusante do Vale do Cobrão demonstra a formação de um hidrograma de cheia severo, atingindo um caudal máximo (caudal de ponta) de **192 m³/s** a jusante da área de intervenção. No estado de pré-projeto, a albufeira existente a sul funciona como um elemento de laminagem, permitindo o trânsito do caudal sem gerar fenómenos descontrolados de inundação nas áreas a montante.

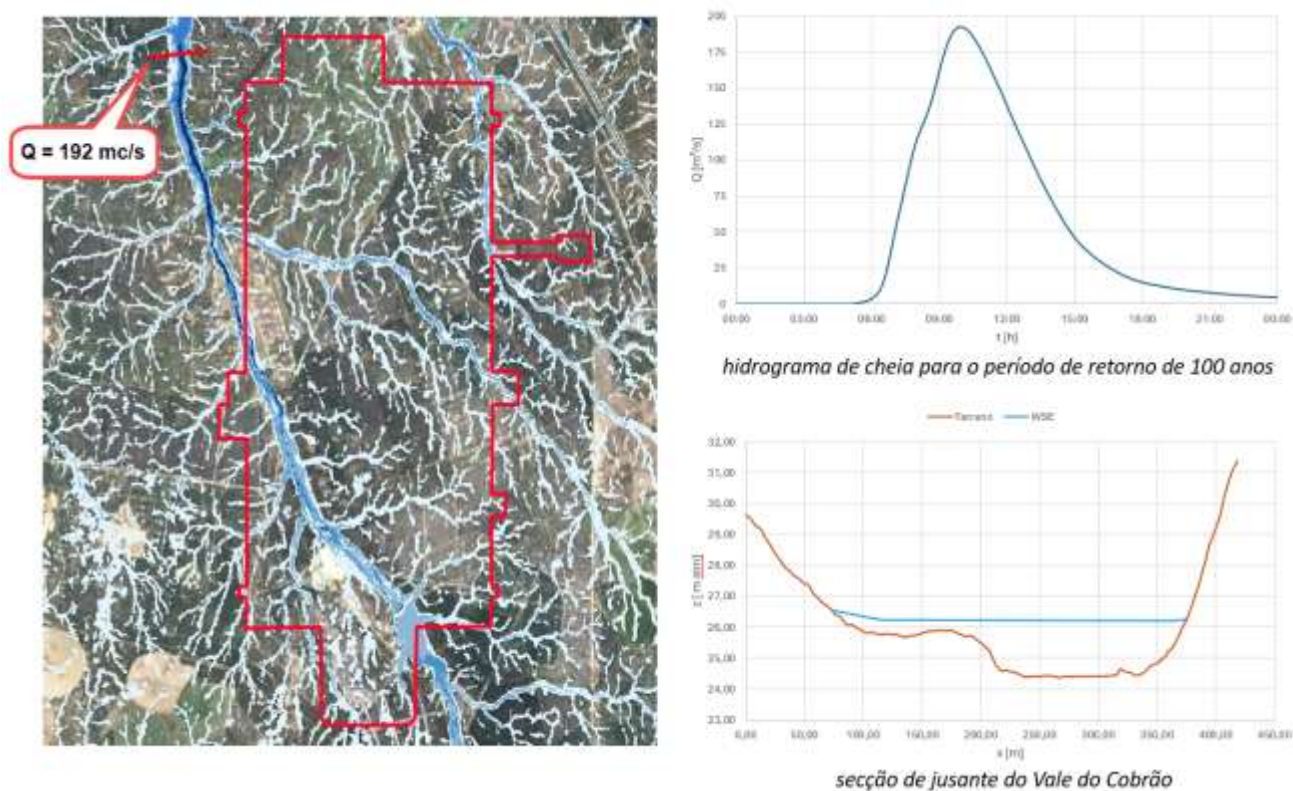


FIGURA 18 - CENÁRIO NATURAL (SOLUÇÃO NASCENTE): MAPA DE INUNDAÇÃO, HIDROGRAMA DE CHEIA ($Q=192 \text{ M}^3/\text{S}$) E SECÇÃO TRANSVERSAL.

7.1.2 SITUAÇÃO DE PROJETO (PÓS-INTERVENÇÃO)

Com a inserção da "pegada" aeroportuária, a dinâmica do escoamento sofre uma alteração significativa. O polígono impermeabilizado atua como um obstáculo transversal, forçando a interrupção direta da Ribeira do Vale do Cobrão. A área de represa a sul é parcialmente aterrada para acomodar a infraestrutura, anulando a sua função natural de retenção.



FIGURA 19 - INTERRUPÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E SUPRESSÃO DA ÁREA DE RETENÇÃO NATURAL A SUL DA PLATAFORMA (SOLUÇÃO NASCENTE).

A análise das manchas de inundação revela que partes significativas da rede hidrográfica original, ao serem interrompidas pela plataforma aeroportuária, não são corretamente drenadas, exigindo o aterro de vastas porções do vale. Para contornar esta disrupção, a Solução Nascente obriga à construção de uma complexa rede de desvios, estando prevista a execução de **quatro canais de drenagem** periféricos, somando um comprimento total de cerca de **21 km**. Apesar destas vastas infraestruturas de mitigação, o modelo sinaliza graves deficiências: no flanco oeste do aeroporto, geram-se extensas áreas de inundação (cerca de 80 hectares) aprisionadas entre o canal desviador e a área aeroportuária, evidenciando a ausência de um sistema de drenagem interno capaz de evacuar a escorrência gerada.

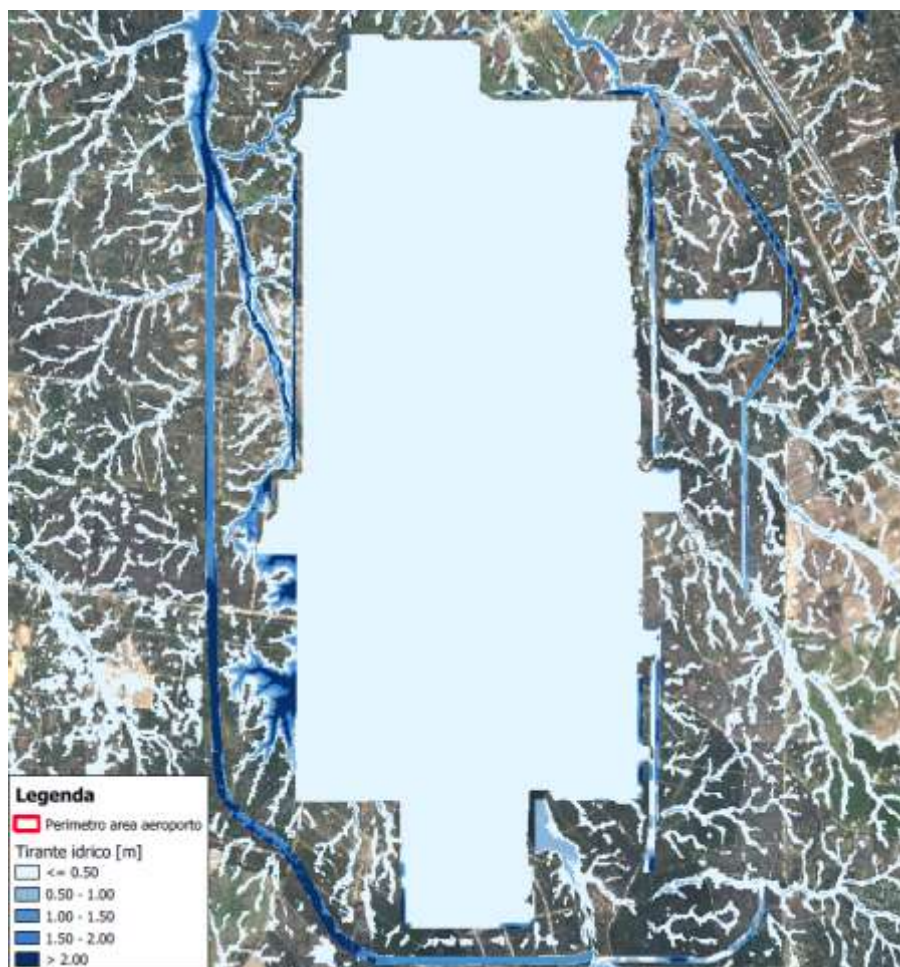


FIGURA 20 - CENÁRIO DE PROJETO (SOLUÇÃO NASCENTE): DETALHE DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO APRISIONADAS E DEFICIÊNCIAS DE DRENAGEM.

7.2 CENÁRIO B: SOLUÇÃO A OESTE (VARIANTE DE IMPLANTAÇÃO)

7.2.1 SITUAÇÃO ATUAL (ESTADO NATURAL)

Quando estes volumes hidrológicos de entrada são injetados e propagados pelo modelo hidrodinâmico bidimensional (HEC-RAS) sobre o relevo natural, comprova-se o efeito de atenuação e dispersão. Na secção de controlo a jusante da infraestrutura, o modelo regista um caudal de ponta de cheio efetivo de apenas **66 m³/s**. Em confronto direto com os 192 m³/s da Solução Nascente, este valor traduz uma **redução expressiva de cerca de 66%** da sobrecarga hidráulica direta na área da plataforma aeroportuária.

Os caudais totais associados ao sistema hidrográfico interferido, na sua configuração atual, fornecem uma primeira estimativa do impacto da nova infraestrutura sobre a rede hidrográfica superficial. No entanto, a quantificação rigorosa desse impacto apenas poderá ser determinada numa fase mais avançada do

desenvolvimento do projeto, através da definição mais detalhada da infraestrutura e da consequente determinação precisa dos caudais nas diferentes componentes do sistema de drenagem, de acordo com a configuração de projeto.

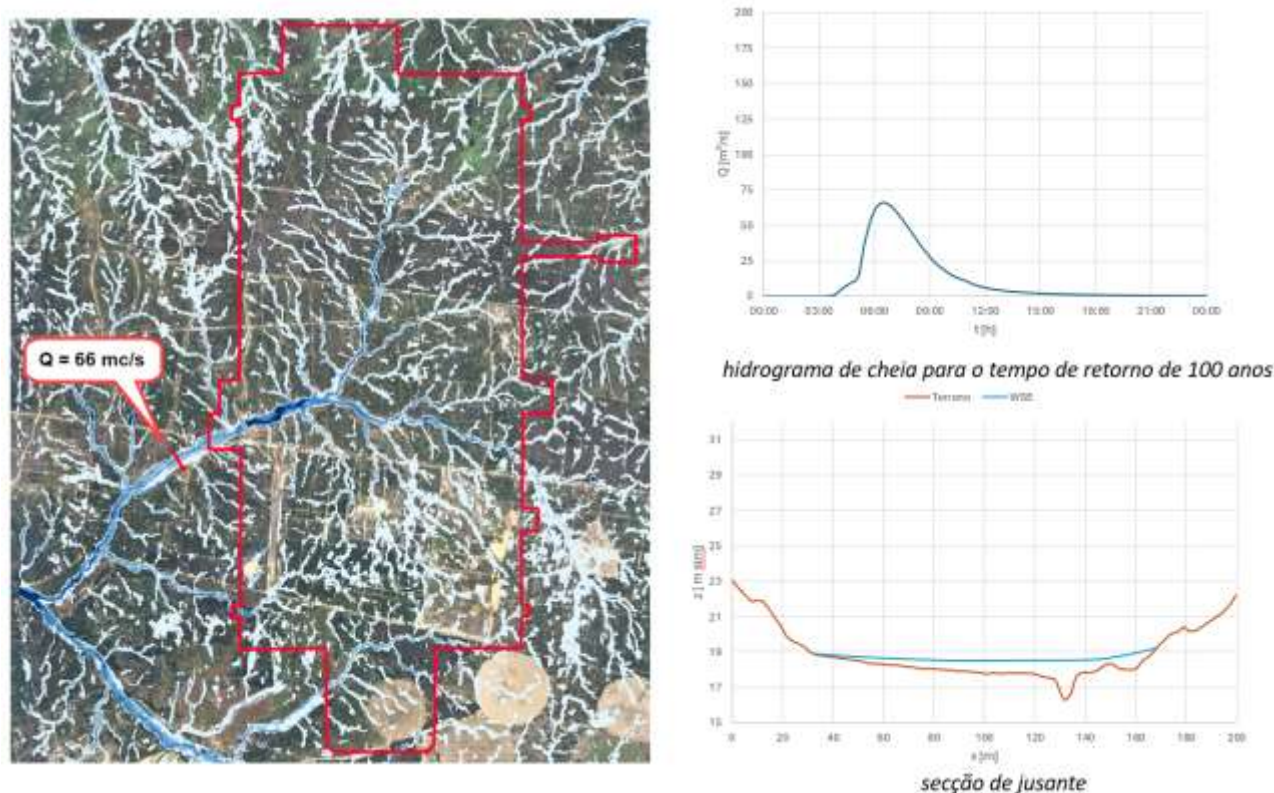


FIGURA 21 - CENÁRIO NATURAL (VARIANTE OESTE): MAPA DE INUNDAÇÃO, HIDROGRAMA DE CHEIA ($Q=66 \text{ M}^3/\text{S}$) E SECÇÃO TRANSVERSAL.

7.2.2 SITUAÇÃO DE PROJETO (PÓS-INTERVENÇÃO)

A introdução do aterro impermeabilizado neste setor geográfico manifesta impactos manifestamente inferiores. Ao intercepar um retículo hidrográfico menor e ao contornar os grandes talvegues, a Variante Oeste preserva a espinha dorsal da drenagem natural do território. Esta implantação garante, com muito maior eficácia, a salvaguarda e manutenção funcional de zonas húmidas, corredores ecológicos contínuos e dos habitats diretamente dependentes da escorrência livre.

Consequentemente, a necessidade de medidas de mitigação hidráulica é minimizada. Para assegurar a drenagem periférica do aeroporto a oeste, será necessária a construção de **um único canal artificial**, com um comprimento de apenas **5,7 km**. Esta otimização de traçado traduz-se numa impressionante **redução de 73% na extensão de canais de desvio** face aos 21 km exigidos pelo aprisionamento das águas na Solução Nascente.

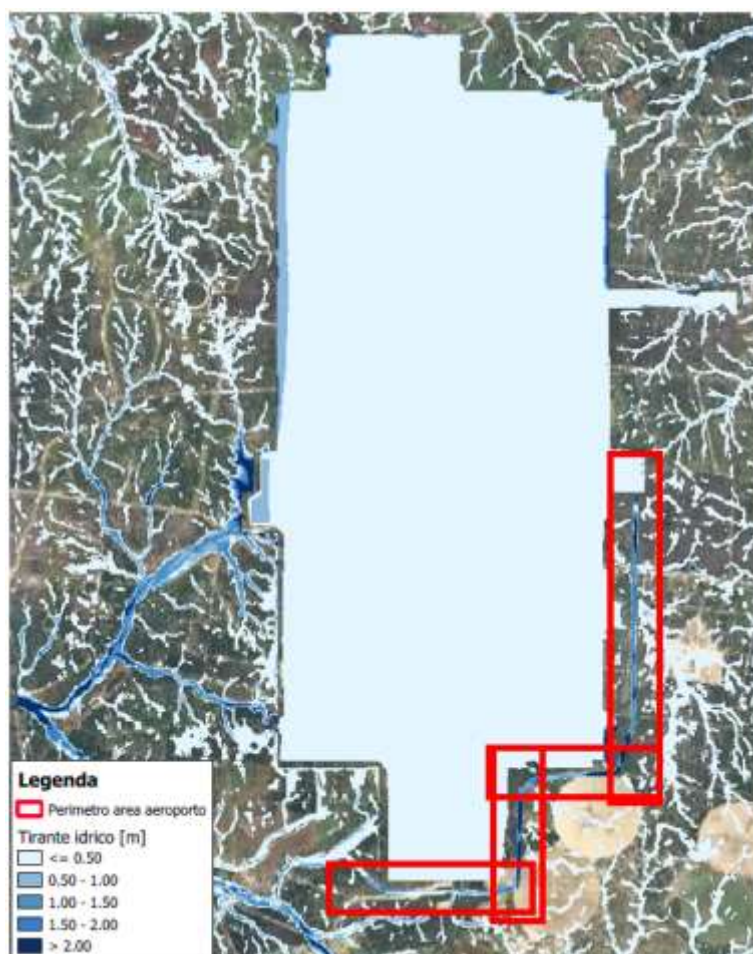


FIGURA 22 - CENÁRIO DE PROJETO (VARIANTE OESTE): AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM PERIFÉRICO PROPOSTO.

7.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

A avaliação de impacto diferencial (estado final menos estado inicial) revela uma resiliência sistémica muito superior. Em virtude do afastamento da Vale do Cobrão, regista-se uma redução acentuada das áreas sujeitas a inundações relevantes para o evento pluviométrico crítico com período de retorno de 100 anos.

De facto, o volume de inundação para a solução a oeste resultante das simulações efetuadas é de cerca de 140 000 m³, o que corresponde a 20% do volume da solução a nascente, que se cifrou em 720 000 m³. O canal interferido na solução a oeste apresenta um aumento da altura de água da ordem dos 75 cm, por oposição a um aumento superior a 2 m no caso da solução a nascente.

Este diferencial reduzido pode ser gerido a nível local mediante a aplicação de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), evitando o aprisionamento indesejado dos volumes de água diagnosticados no cenário nascente.

8 ANÁLISE COMPARATIVA E SÍNTESE TÉCNICA

Após a execução das modelações hidrodinâmicas 2D para os dois cenários de implantação, apresenta-se nesta secção o confronto técnico entre as alternativas. A análise visa avaliar de que forma a deslocalização da plataforma em cerca de 5 km para oeste (Variante Oeste) influencia o equilíbrio hidrológico, hidráulico e territorial da área de estudo.

8.1 SÍNTESE DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E RESILIÊNCIA

A principal vantagem da Variante Oeste reside na sua relação com a bacia hidrográfica. Enquanto a Solução Nascente força a interceção perpendicular das linhas de água do Vale do Cobrão – exigindo uma engenharia de desvios dispendiosa e de alto risco – a Variante Oeste reposiciona a infraestrutura sobre um domínio hidrográfico de menor expressão, preservando o curso natural da rede de drenagem.

- **Impacto de Cheia:** A redução entre as duas soluções do atual caudal de ponta do sistema hidrográfico interferido (de 192 m³/s na Solução Nascente para 66 m³/s na Variante Oeste), juntamente à entidade dos volumes de inundação quantificados por meio das simulações numéricas que passam, respetivamente, de 720 000 m³ na Solução Nascente para 140 000 m³ na Variante Oeste, demonstra que a segunda alternativa oferece uma resiliência natural ao evento de 100 anos significativamente superior, minimizando a dependência de infraestruturas artificiais.
- **Gestão de Riscos:** A solução nascente recorre a uma rede de canais artificiais significativamente mais extensa do que a variante oeste. Embora o presente estudo não tenha incluído a simulação explícita de cenários de remanso induzidos por condições a jusante, uma maior extensão e dependência de infraestruturas lineares de drenagem poderá traduzir uma maior sensibilidade a condicionamentos hidráulicos localizados nas secções de descarga. Esta avaliação deve ser entendida como qualitativa e deverá ser confirmada em fases posteriores de projeto através da definição de condições de fronteira com níveis impostos a jusante.

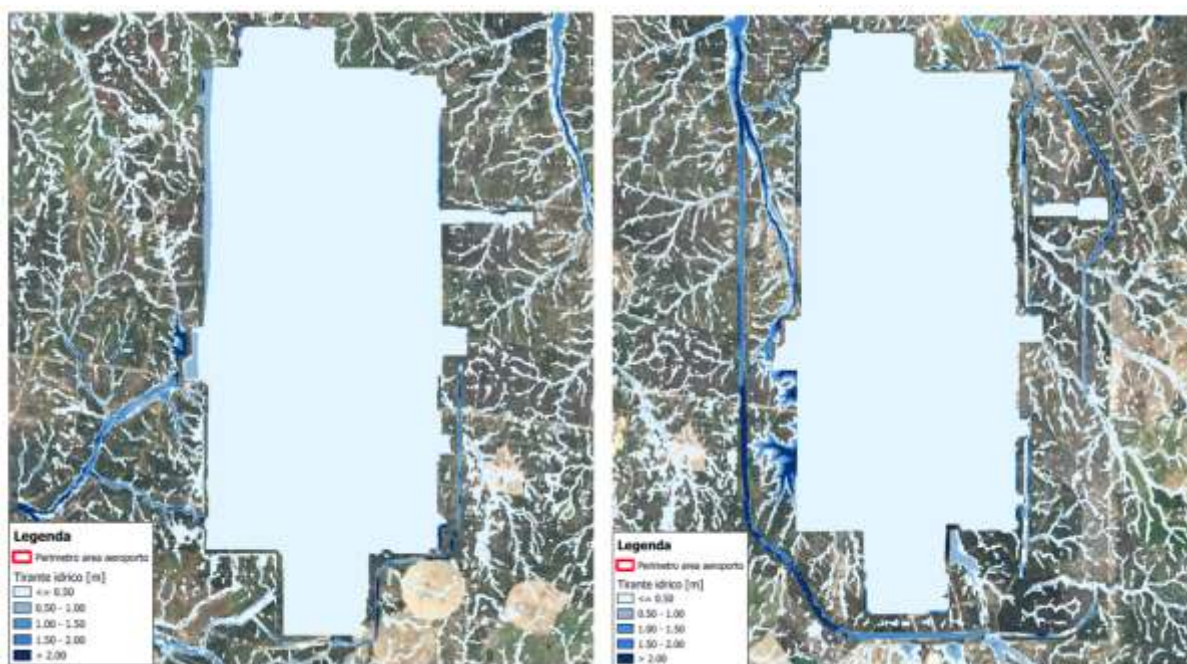


FIGURA 23 - COMPARATIVO DE INUNDAÇÕES: VARIANTE OESTE (ESQUERDA) VERSUS SOLUÇÃO NASCENTE (DIREITA).

8.2 EFICIÊNCIA NA INFRAESTRUTURAÇÃO DE DRENAGEM

A comparação dos requisitos de obra infraestrutural é reveladora:

- **Solução Nascente:** Exige a implementação de 21 km de canais artificiais de desvio, com a consequente interrupção de vales naturais e necessidade de aterros de grande volume.
- **Variante Oeste:** Simplifica o sistema para apenas 5,7 km de canais, o que representa uma **redução de 73% na extensão da rede de drenagem artificial**, otimizando o CAPEX e reduzindo o impacto ambiental da construção.



FIGURA 24 - COMPARATIVO DA INFRAESTRUTURAÇÃO DE DRENAGEM: COMPLEXIDADE DA REDE NA SOLUÇÃO NASCENTE VS. REDE OTIMIZADA NA VARIANTE OESTE.

8.3 QUADRO SÍNTESE COMPARATIVO

A análise comparativa consolidada na tabela abaixo indica que a Variante Oeste apresenta um desempenho técnico globalmente mais favorável relativamente à Solução Nascente. Os resultados evidenciam que, mantendo a localização estratégica no Campo de Tiro de Alcochete, a variante proposta otimiza drasticamente a resposta hidrodinâmica, reduzindo a dependência de infraestruturas artificiais e mitigando os riscos associados a eventos extremos, garantindo assim uma infraestrutura mais resiliente e sustentável.

TABELA 1 - QUADRO SÍNTESE COMPARATIVO DE IMPACTOS HIDROLÓGICOS E INFRAESTRUTURAIS.

CRITÉRIO DE ANÁLISE	SOLUÇÃO NASCENTE (REFERÊNCIA)	VARIANTE OESTE (PROPOSTA)
CAUDAL DE PONTA INTERFERIDO (TR=100)	192 m ³ /s	66 m ³ /s
EXTENSÃO CANAIS DRENAGEM	21 km	5,7 km
RISCO DE INUNDAÇÃO INTERNA	Elevado (áreas retidas)	Reduzido (~80% em volume e em área inundada, ver. §7.3)
POTENCIAL SENSIBILIDADE A CONDICIONAMENTOS HIDRÁULICOS A JUSANTE	Potencialmente superior	Potencialmente inferior

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

9.1 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu uma avaliação comparativa aprofundada entre a configuração de referência (Solução Nascente) e a proposta de deslocalização de 5 km para oeste (Variante Oeste) para o novo Aeroporto Luís de Camões. Com base na modelação hidrológica e hidrodinâmica bidimensional (HEC-RAS 2D), conclui-se que:

- **Redução do risco hidráulico:** A Variante Oeste apresenta uma resiliência hidráulica largamente superior. Ao evitar a interceção do eixo principal da Ribeira do Vale do Cobrão, reduz o caudal de ponta de 192 m³/s para 66 m³/s (uma redução de 66%), mitigando drasticamente o risco de cheias extremas.
- **Eficiência de Infraestruturas:** A implementação da Variante Oeste permite otimizar a rede de drenagem, reduzindo em 73% a necessidade de canais artificiais (de 21 km para 5,7 km), o que representa uma poupança significativa em termos de investimento e um menor impacto na desestruturação da bacia.
- **Menor impacte ambiental,** devido a menor necessidade de infraestruturas hidráulica de gestão das águas externas e à menor interferência sobre as mesmas pela implantação do novo aeroporto.

Em suma, ambas as soluções são tecnicamente viáveis, mas a Variante Oeste apresenta vantagens estruturais e operacionais relevantes nos domínios hidrológico, hidráulico e territorial, evidenciadas pela análise realizada.

9.2 RECOMENDAÇÕES

Face aos resultados obtidos, recomenda-se:

1. **Adoção da Variante Oeste como Solução de Otimização:** Procede-se à recomendação de integrar a Variante Oeste no Estudo de Impacte Ambiental (EIA) em curso, dada a sua maior capacidade de resiliência e menor conflito com o sistema hidrográfico natural.
2. **Desenvolvimento de Plano de Drenagem Sustentável (SUDS):** Independentemente da variante escolhida, recomenda-se que o projeto final incorpore obrigatoriamente soluções SUDS (Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável) para garantir a retenção *in situ* e o tratamento das águas pluviais, minimizando as interferências com o aquífero da Península de Setúbal.

3. **Monitorização Piezométrica de Longo Prazo:** Dado que o Campo de Tiro de Alcochete é uma zona de elevada sensibilidade hidrogeológica, recomenda-se a implementação de um plano de monitorização piezométrica contínua desde a fase de projeto, garantindo que o comportamento das águas subterrâneas durante a construção e operação se mantenha dentro dos parâmetros de sustentabilidade definidos pelo LNEC.
4. **Aprofundamento dos Estudos Geotécnicos:** Tendo em conta a presença de solos compressíveis (argilas moles e depósitos orgânicos), recomenda-se a execução de uma campanha de sondagens geotécnicas específicas para o novo polígono da Variante Oeste, de forma a refinar o cálculo dos volumes de escavação e a estratégia de reutilização de materiais em aterro.

10 ANEXOS

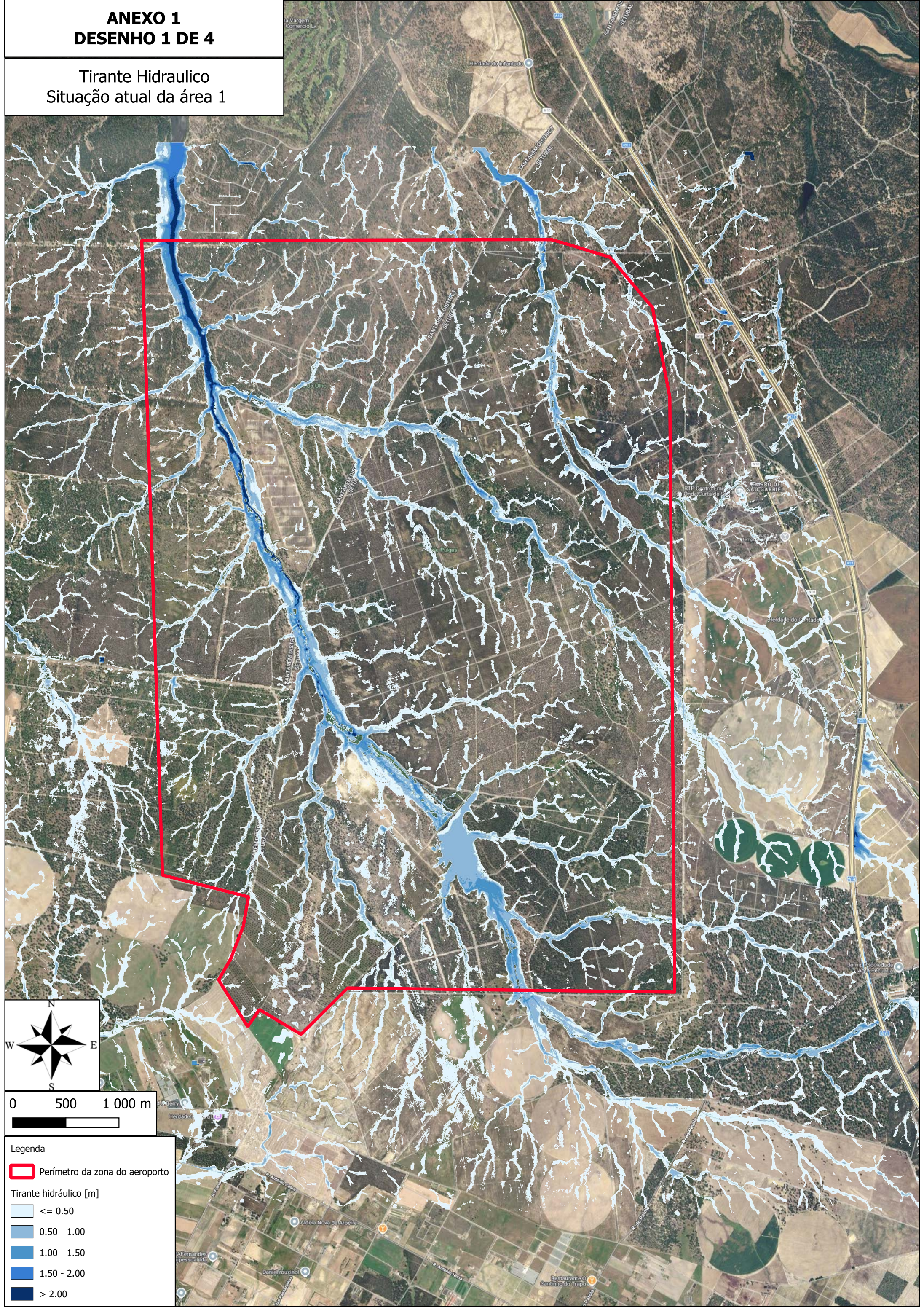
Anexo 1

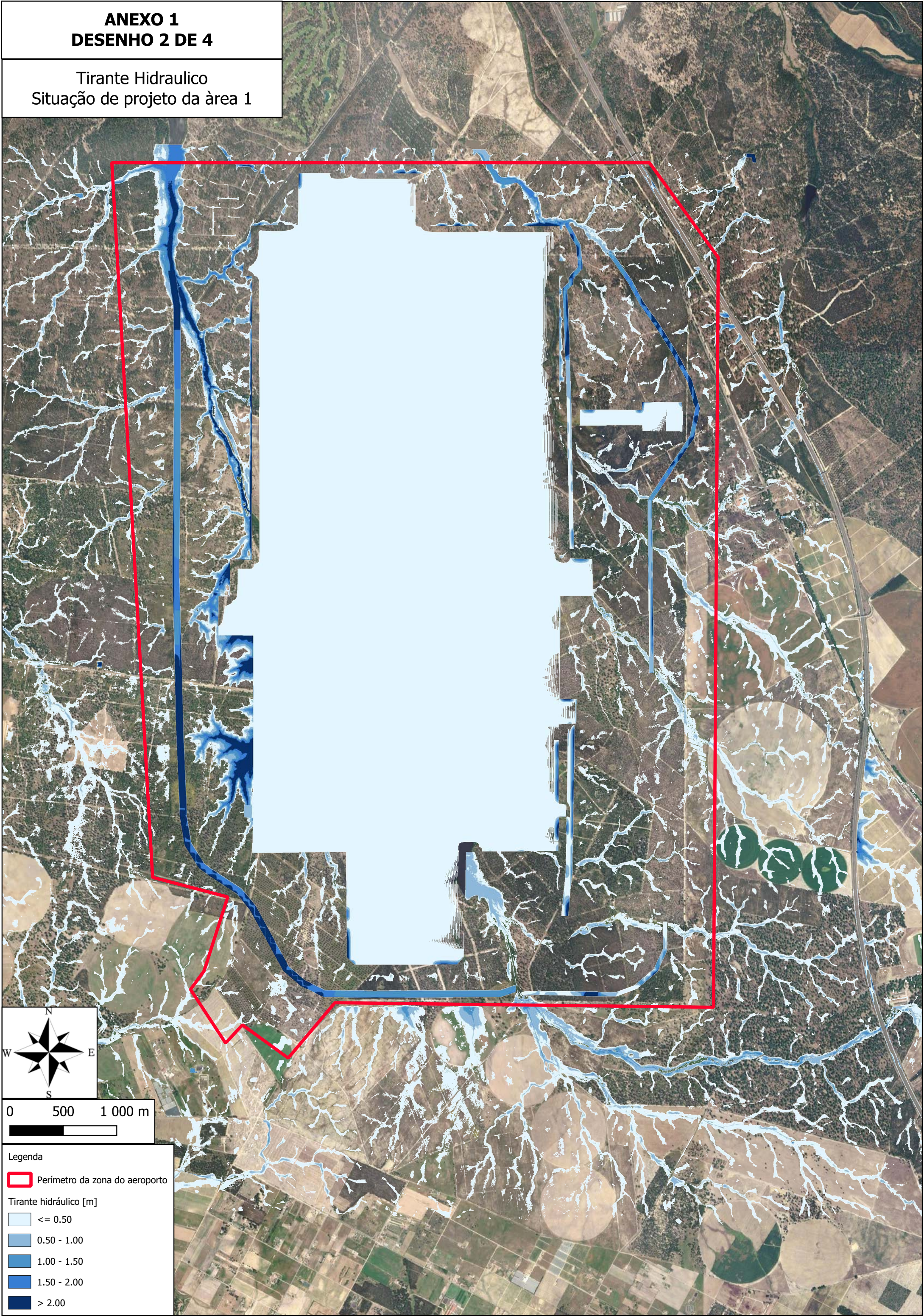
- Desenho 1 de 4: Tirante Hidráulico – situação atual da área 1
- Desenho 2 de 4: Tirante Hidráulico – situação de Projeto da área 1
- Desenho 3 de 4: Tirante Hidráulico – situação atual da área 2
- Desenho 4 de 4: Tirante Hidráulico – situação Projeto da área 2

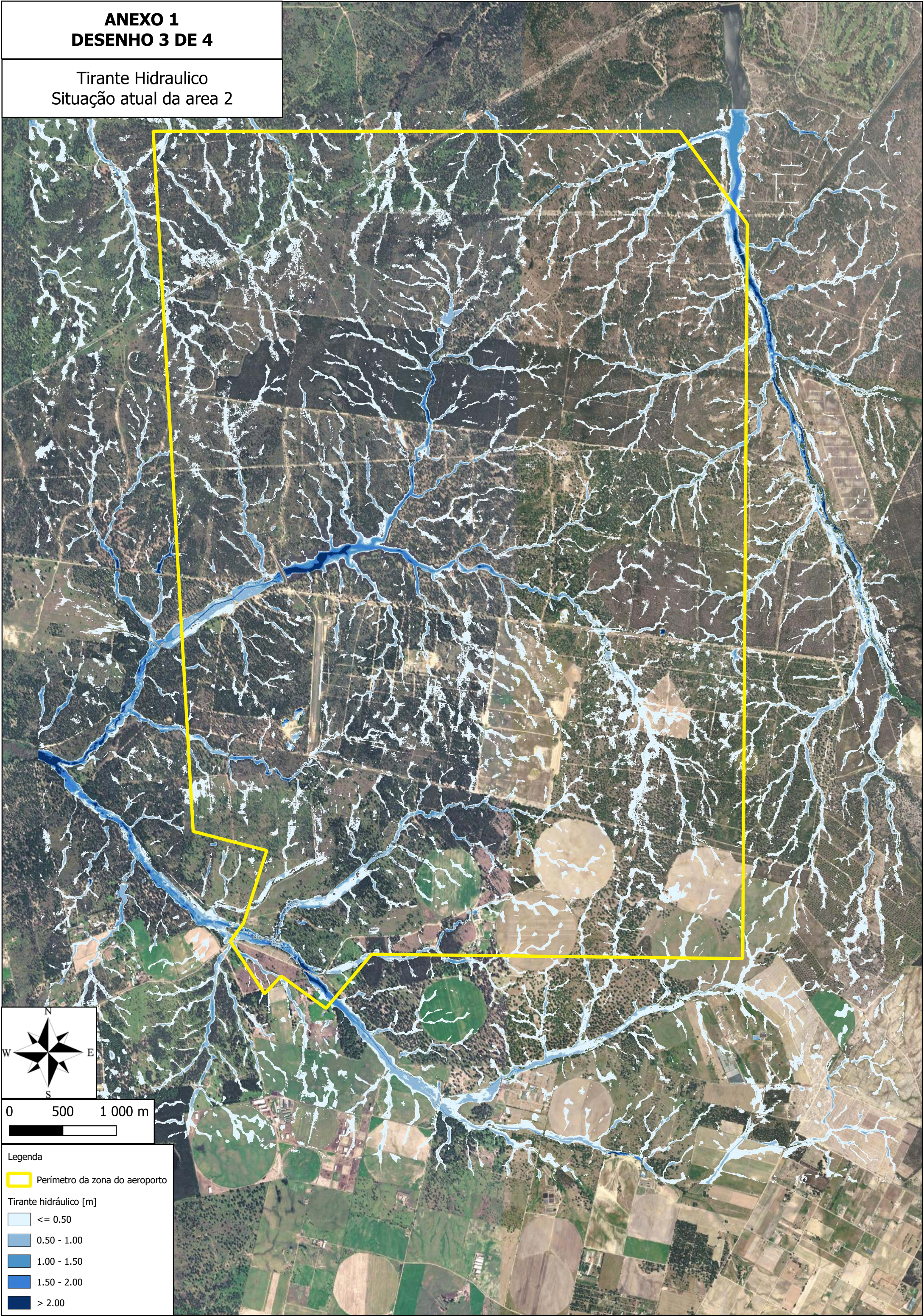
ANEXO 1

DESENHO 1 DE 4

Tirante Hidraulico Situação atual da área 1







ANEXO 1
DESENHO 4 DE 4

Tirante Hidraulico
Situação de projeto da área 2

