RELATÓRIO SETOR

Segurança de Pessoas e Bens

Vulnerabilidades Atuais e Futuras

RELATÓRIO SETOR
Segurança de Pessoas e Bens
Vulnerabilidades Atuais e Futuras

REALIZADO POR:

ANDREIA FERREIRA, ANDRÉ OLIVEIRA, LUÍS FILIPE DIAS (CCIAM)

LUÍS FERNANDES, DAVID BRITO, FRANK BRAUNSCHWEIG (BENTLEY SYSTEMS)

RUWAN SAMPATH, DELMINDA MOURA, ISABEL MENDES, RITA CARRASCO, SUSANA COSTAS, CRISTINA VEIGA-PIRES (CIMA)

Elaborado por:

Ciências ULisboa · cE3c centre for ecology, evolution and environmental changes · CCIAM Centre for Climate Change Impacts Adaptation & Modelling · UAlg CIMA University of Algarve · Bentley Advancing Infrastructure

ÍNDICE

1. ENQUADRAMENTO 4

1.1 Perspetiva e Diagnóstico Regional do Setor 6

1.1.1 Inundações costeiras em ambiente estuarino 6

1.1.2 Cheias e inundações pluviais 7

1.2 Caracterização do Quadro de Referência do Setor 8

2. METODOLOGIA 10

2.1 Visão Geral 11

2.1.1 Inundações costeiras em ambiente estuarino 11

2.1.2 Cheias e inundações pluviais 12

2.2 Variáveis e Parâmetros Climáticos Relevantes para o Setor 16

2.2.1 Inundação costeira em ambiente Estuarino 16

2.2.2 Cheias e inundações pluviais 20

2.3 Avaliação das Vulnerabilidades e Modelação de Impactos 21

2.3.1 Inundações costeiras em ambiente estuarino 21

2.3.2 Cheias e inundações pluviais 23

3. VULNERABILIDADE ATUAL 45

3.1 Identificação de impactos não climáticos 46

3.2 Identificação de impactos climáticos 47

3.2.1 Inundações costeiras em ambiente estuarino 47

3.2.2 Cheias e inundações pluviais 49

4. IMPACTOS E VULNERABILIDADES FUTURAS NO ALGARVE 60

4.1 Inundações costeiras em ambiente estuarino 61

4.2 Cheias e inundações pluviais 68

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 83

6. BIBLIOGRAFIA 86

7. ANEXO 90

8. EQUIPA TÉCNICA 99

1.

Enquadramento

As alterações no clima constituem um fator a ter em conta no setor da segurança de pessoas e bens. Muitos dos impactos associados às alterações climáticas exacerbam ou alteram ameaças já existentes, como aquelas associadas a eventos extremos, inundações e secas (Sperling e Szekely, 2005).

Os cenários de alterações climáticas projetados para Portugal tornam necessário um esforço de adaptação do Sistema de Proteção Civil face à probabilidade do aumento da ocorrência de eventos meteorológicos extremos, na medida em que poderá ocorrer um aumento de fenómenos em que a segurança de pessoas e bens seja colocada em causa.

A este nível, a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC) indica que as medidas de adaptação face às alterações climáticas, no contexto da segurança de pessoas e bens, se devem desenrolar em duas principais linhas de atuação. Em primeiro lugar, esta estratégia foca-se em vários aspetos do planeamento de emergência, tais como na avaliação de vulnerabilidades, para divulgação e capacitação dos vários agentes e da população sobre as alterações climáticas e os seus impactos; na integração da componente de adaptação às alterações climáticas nos planos de emergência de proteção civil e nos instrumentos de gestão territorial, baseando-se em cartografia de risco, com vista à redução da vulnerabilidade aos riscos climáticos; e na identificação de boas práticas. A segunda linha de atuação centra-se na resposta à emergência sob vários ângulos de análise: no redimensionamento das estruturas com a adaptação de meios e recursos para os tornar capazes de fazer face aos impactos das alterações climáticas; na formação das equipas de intervenção; e na identificação de boas práticas (APA et al., 2015).

No que respeita às vulnerabilidades climáticas para a segurança e pessoas e bens, torna-se necessária uma análise focada nas características especificas do território da região do Algarve. Esta análise foca-se num conjunto de vulnerabilidades consideradas prioritárias para esta região, as quais dizem respeito à ocorrência de Inundações Costeiras em Ambiente Estuarino, Cheias e Inundações Pluviais, Galgamentos Costeiros, Fogos Florestais, e Temperaturas Elevadas e Ondas de Calor.

Especificamente, este relatório setorial desenvolve detalhadamente os impactos e vulnerabilidades relativas à ocorrência de inundações costeiras em ambiente estuarino, e de cheias e inundações pluviais, uma vez que os galgamentos costeiros, fogos florestais e temperaturas elevadas e ondas de calor são objeto de tratamento no âmbito dos relatórios setoriais relativos às Zonas Costeiras e Mar, Florestas e Saúde Humana e Energia, respetivamente. Assim, aconselha-se a consulta destes relatórios para um maior detalhe sobre as vulnerabilidades na região associadas aos temas não abordados neste documento.

1.1 PERSPETIVA E DIAGNÓSTICO REGIONAL DO SETOR

1.1.1 INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM AMBIENTE ESTUARINO

O litoral algarvio exibe uma grande diversidade de sistemas de transição entre os domínios terrestre e marinho, destacando-se os estuários e os sistemas lagunares. Os estuários, localizados nas secções terminais dos cursos de água, são zonas preferenciais para o estabelecimento das populações, como são exemplo a cidade de Portimão (na foz rio Arade) e Faro, capital de distrito (nas margens da Ria Formosa). Em geral, são zonas abrigadas da agitação marítima o que favoreceu o estabelecimento de portos e marinas, de grande importância socioeconómica para a região.

As águas de transição estuarinas são massas de água superficiais que recebem sedimentos de origem fluvial e marinha e onde ocorre a mistura de água doce com água salgadas. As lagunas, rias ou lagoas costeiras, são massas de água salgadas ou salobras adjacentes ao mar, ligado a este através de uma barra permanente ou temporária. Quando abertas, estas sofrem influência direta da maré. As águas de transição são áreas de grande produtividade biológica, proporcionando a implementação e exploração de aquicultura.

As margens dos estuários e lagoas costeiras sofrem frequentemente fenómenos de inundação, que na maior parte dos casos, se associam à ocorrência simultânea de período de forte precipitação com marés vivas. No caso algarvio esta situação ocorre, atualmente, nas zonas mais baixas das margens dos estuários e lagunas, que ficam inundadas devido a chuvas fortes em qualquer fase da maré, ampliadas pela ocorrência de preia-mar. No caso dos estuários do rio Gilão e do rio Arade, estes transbordam quando ocorrem marés vivas, mesmo sem serem acompanhadas por precipitação, provocando inundações das zonas ribeirinhas (Figura 1).

Figura 1 Inundação devido a maré viva (A) no rio Arade, Largo Rainha D. Leonor – Ferragudo, e (B) no rio Gilão, zona ribeirinha de Tavira, no dia 29/08/2015[1]

[1] sulinformacao.pt

Em cenários de alterações climáticas, projeta-se que haja uma subida do nível médio do mar (NMM), o que irá ter resultados diretos sobre as inundações de origem oceânica, resultando no aumento das áreas afetadas e no aumento da frequência da ocorrência de tais situações, assim como no estender das zonas permanentemente inundadas, levando assim à perda de território.

1.1.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

As inundações de origem pluvial associadas a sistemas fluviais, são o risco natural que mais afeta a população a nível mundial e os bens e serviços necessários para o funcionamento das sociedades (UNISDR e CRED, 2015).

Nas últimas décadas, de forma generalizada e incluindo a região do Algarve, tem-se assistido ao crescimento das áreas urbanizadas, muitas vezes junto a linhas de água de maior ou menor dimensão. Este crescimento conduziu ao aumento das áreas impermeáveis e da densidade das áreas urbanas, o que levou ao aumento da probabilidade de inundação e, aquando da sua ocorrência, ao aumento do seu impacto. Adicionalmente a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana devido ao aumento da solicitação não planeada/prevista aquando do seu dimensionamento, pode igualmente potenciar o impacto das inundações.

As inundações são eventos complexos, especialmente em ambientes urbanos, uma vez que dependem do sistema de drenagem natural (ciclo natural da água, precipitação, infiltração no solo, escoamento superficial, caudais gerados na rede de drenagem natural e fluxos subsuperfícies) e do sistema de drenagem urbana (ciclo da água gerido, precipitação, entrada para o sistema de drenagem em edifícios ou estruturas rodoviárias, escoamento em tubagens ou canais de drenagem). Adicionalmente, em alguns casos no Algarve, a drenagem natural e as inundações fluviais são controladas igualmente pela regularização das bacias hidrográficas por via de barragens, diques, açudes e canais de rega. Da mesma forma, em sistemas urbanos costeiros ou fluviais com influência da maré, esta pode inclusive congestionar os sistemas de drenagem e amplificar o problema das inundações.

As alterações climáticas, com origem antropogénica, contribuem para modificações nos regimes de precipitação, projetando-se, para a região da Europa mediterrânica, uma diminuição significativa da precipitação anual acumulada e um aumento de precipitação associada a eventos extremos (Hov et al., 2013).

Para a região do Algarve, projeta-se um aumento da frequência e intensidade de eventos de precipitação extrema, o que resultará na intensificação da frequência e impacto de inundações e cheias, embora de forma menos preocupante que em outras regiões de Portugal.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO DE REFERÊNCIA DO SETOR

As áreas em análise, sujeitas a inundação de origem oceânica e a cheias a inundações pluviais, enquadram-se em diferentes quadros de referência.

A salvaguarda de pessoas e bens devido a inundações costeiras tende a ter um peso crescente com reflexo nos instrumentos de gestão territorial, através dos planos/programas de ordenamento e gestão territorial e sectoriais do litoral, dos planos de gestão dos recursos hídricos, assim como no regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional.

Relativamente às cheias e inundações pluviais e à gestão de zonas inundáveis estas encontram-se enquadradas nos Plano de Gestão de Risco de Inundações (PGRI) que resulta da transposição para a ordem jurídica nacional da Diretiva Comunitária 2007/60/CE, assim como no regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional.

No plano geral, o ordenamento do território encontra-se regulado através do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), e no âmbito regional, a gestão territorial está ao cargo do Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve (PROT Algarve, Resolução Conselho de Ministros 102/2007) que define quatro grandes unidades territoriais terrestres: Litoral Sul e Barrocal, Costa Vicentina, Baixo Guadiana e Serra. A faixa costeira algarvia enquadra-se nos seguintes Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) aprovados[2]:

- Sines-Burgau, RCM n.º 152/98, de 30 de dezembro;
- Burgau-Vilamoura, RCM n.º 33/99, de 27 de abril;
- Vilamoura-Vila Real de Santo António, RCM n.º 103/2005, de 27 de junho, alterado por RCM n.º 65/2016, de 19 de outubro.

A gestão de zonas inundáveis, zonas ameaçadas pelas cheias e zonas ameaçadas pelo mar, é enquadrada pelo Plano de Gestão de Risco de Inundações das Ribeiras do Algarve (PGRI-RH8) (RCM n.º 51/2016, de 20 de setembro), na sequência da transposição da Diretiva n.º 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, através do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, que tem por objetivo reforçar a gestão e a mitigação de riscos de inundações.

A Diretiva Comunitária 2007/60/CE, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, estabelece que os Estados-Membro devem elaborar cartas de zonas inundáveis e de cartas de riscos de inundações indicativas das potenciais consequências prejudiciais associadas a diferentes cenários de inundações, de modo a disporem de um instrumento de informação eficaz, bem como de uma base para estabelecer prioridades e para tomar decisões técnicas, financeiras e políticas em matéria de gestão de riscos de inundações. O objetivo final deste instrumento é a redução dos impactos negativos das inundações sobre a saúde e segurança de pessoas e bens, sobre atividades económicas, infraestruturas, património cultural e histórico e o ambiente em geral. De acordo com a Diretiva 2007/60/CE:

[2] Em 2014, com a publicação da Lei de Bases Gerais de Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo, os POOC passam a ser designados por Programas da Orla Costeira (POC). Com incidência na costa do Algarve, encontra-se atualmente a ser elaborado o POC Odesseixe-Vilamoura, que conjuntamente com o POOC Vilamoura-Vila Real de Santo António cobrira toda a zona costeira do Algarve.

- Inundação consiste na cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água. Inclui as cheias motivadas pelos rios, pelas torrentes de montanha e pelos cursos de água efémeros mediterrânicos, e as inundações ocasionadas pelo mar nas zonas costeiras, e pode excluir as inundações com origem em redes de esgotos;
- Risco de inundação corresponde à combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas.

Os PGRI foram desenvolvidos e articulados com os Planos de Gestão da Região Hidrográfica (PGRH), que no caso enquadra-se a região hidrográfica RH8 – Ribeiras do Algarve e região hidrográfica RH7 – Guadiana.

Nos PGRI são identificadas as Zonas Críticas e apresentadas medidas de mitigação do risco, traduzidas por ações de prevenção, proteção e preparação, assim como os respetivos cronogramas de implementação das ações.

No caso do regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional (estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro, com a alteração introduzida no art.º 20º pelo Decreto-Lei nº96/2013, de 19 de julho), está presente a necessidade de salvaguarda das áreas expostas às inundações, através da delimitação de áreas ameaçadas pelas cheias e zonas ameaçadas pelo mar no âmbito das Áreas de Prevenção de Riscos Naturais, prevendo um regime de interdição, tanto no que concerne à manutenção dos processos de dinâmica costeira e do equilíbrio do sistema, como na prevenção e redução do risco, garantindo a segurança de pessoas e bens.

A região do Algarve possui duas zonas de proteção especial da Rede Natura 2000 onde se enquadram águas de transição: Ria Formosa (PTZPE0017); e Sapais de Castro Marim (PTZPE0018).

2.

Metodologia

2.1 VISÃO GERAL

2.1.1 INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM AMBIENTE ESTUARINO

A avaliação das vulnerabilidades à inundação costeira na região algarvia, foi realizada através de uma análise quantitativa e de uma análise qualitativa. A análise quantitativa consistiu na modelação de algumas áreas de forma a identificar o aumento das áreas potencialmente inundáveis em 2100, face ao período de referência (2011). A abordagem qualitativa baseou-se no confronto dos resultados da modelação e respetivas áreas inundáveis, com a classificação de uso e ocupação do solo (COS2015).

Nas zonas de transição (entre os domínios terrestre e oceânico), o potencial de inundação foi determinado confrontando o nível atingido pela água (cota de inundação) com a morfologia do terreno, considerando os forçamentos oceânicos e admitindo como válida a evolução morfológica dos sistemas estuarinos simulada. Assim, foi analisado o impacto da inundação devido à subida do nível do mar nos principais estuários da região algarvia: Bensafrim, Alvor, Arade, Alcantarilha, Quarteira, Ria Formosa, Gilão e Guadiana (Figura 2).

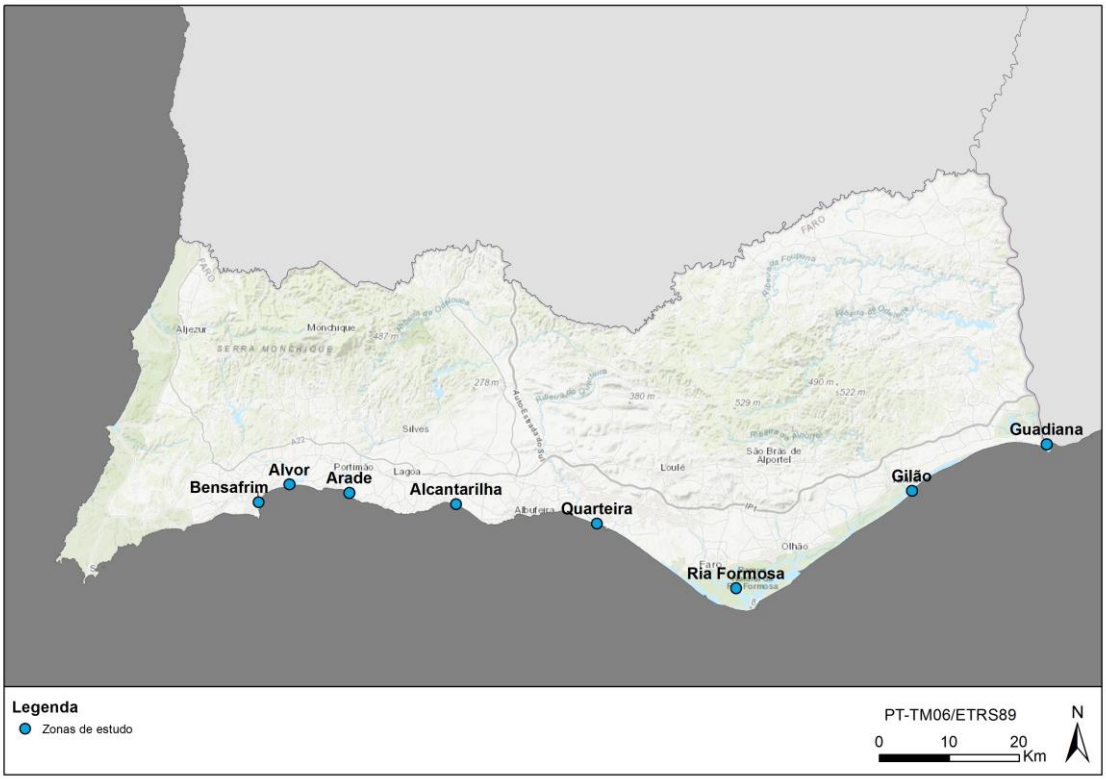


Figura 2 Estuários e respetivas margens avaliados quanto à sua vulnerabilidade a inundações costeiras

A simulação da evolução morfológica dos estuários para 2100, em resposta à variação do NMM, foi feita com base no Modelo de Sedimentação Estuarina (ESM), validado por Sampath et al. (2015) para o estuário do Guadiana, em função do balanço de acreção/erosão. A evolução morfológica partiu da topografia de 2011, assumido como cenário de referência (situação atual).

2.1.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

As zonas que foram alvo de modelação de inundações pluviais encontram-se representadas na Figura 3, sendo estas a ribeira de Aljezur (Aljezur), o rio Gilão (Tavira), a ribeira de Monchique (Monchique), o rio Seco (Faro), o rio Arade (Lagoa, Portimão e Silves), a ribeira de Carcavai (Loulé) e a ribeira de Bensafrim (Lagos).

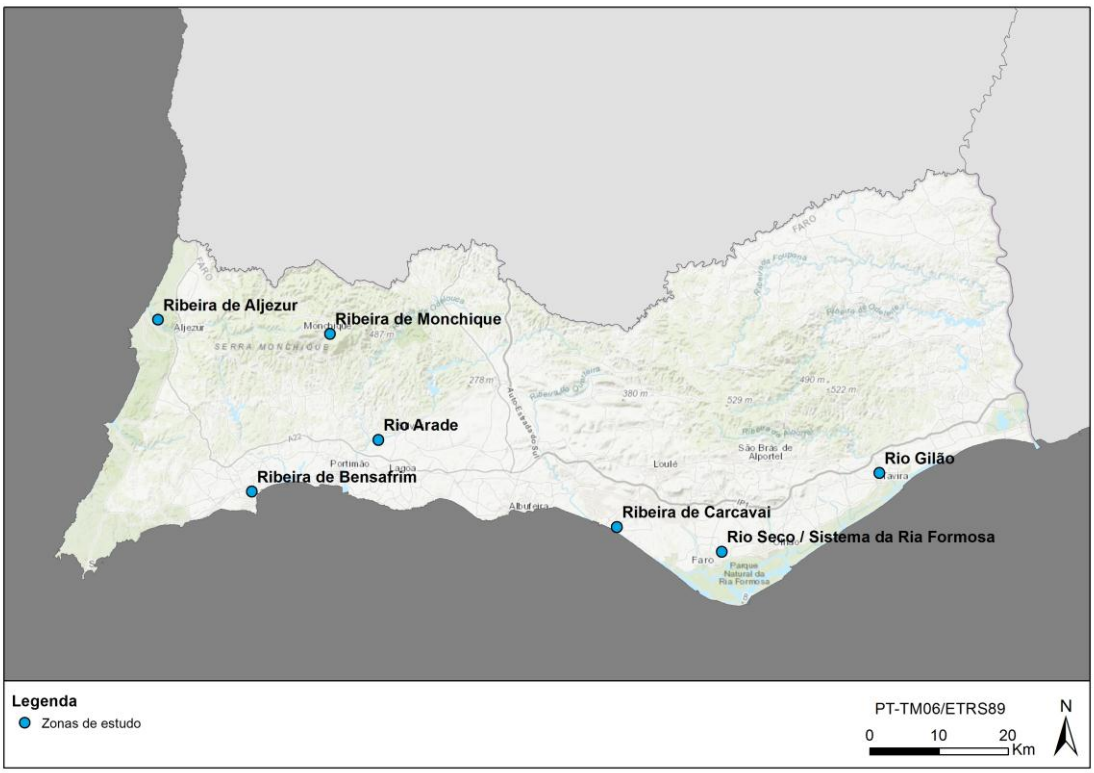


Figura 3 Localização das zonas de estudos objeto de modelação hidrológica

A metodologia utilizada para a avaliação da vulnerabilidade às cheias e inundações pluviais na região algarvia, segue a mesma abordagem da Elaboração de Cartografia Específica sobre Risco de Inundação para Portugal Continental realizado pela Agência Portuguesa do Ambiente (Aqualogus e Action Modulers, 2014). Esta abordagem divide-se em 4 etapas diferentes, partindo da compilação dos elementos de base e da caracterização das áreas de risco potencial como base para a

modelação hidrológica e hidráulica. A última etapa baseia-se na produção de cartografia sobre as áreas de inundação (Figura 4).

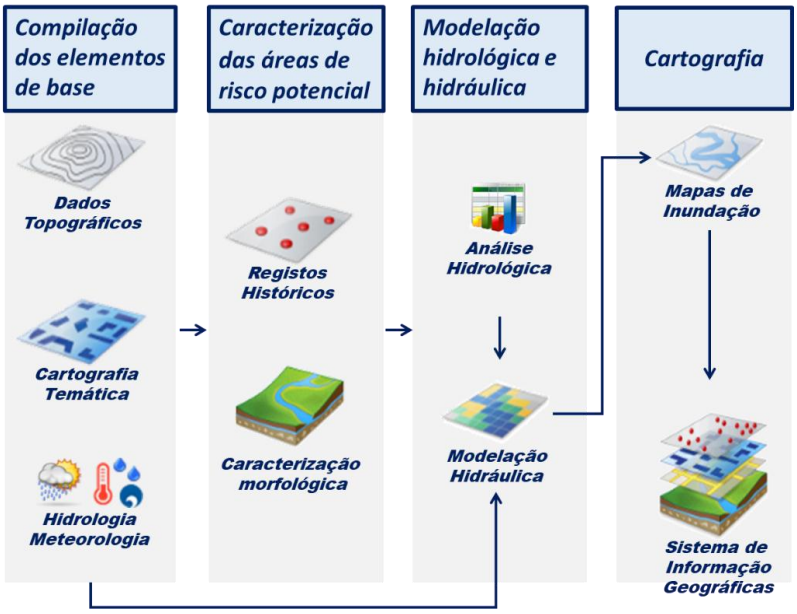


Figura 4 Principais etapas para desenvolvimento dos trabalhos

Das etapas acima referidas, têm especial importância os trabalhos da modelação de fenómenos hidrológicos e hidráulicos, uma vez que a metodologia a seguir para a modelação destes fenómenos em cada zona de estudo depende da informação de base disponível e das características e condicionantes próprias de cada zona, conforme ilustrado na Figura 5.

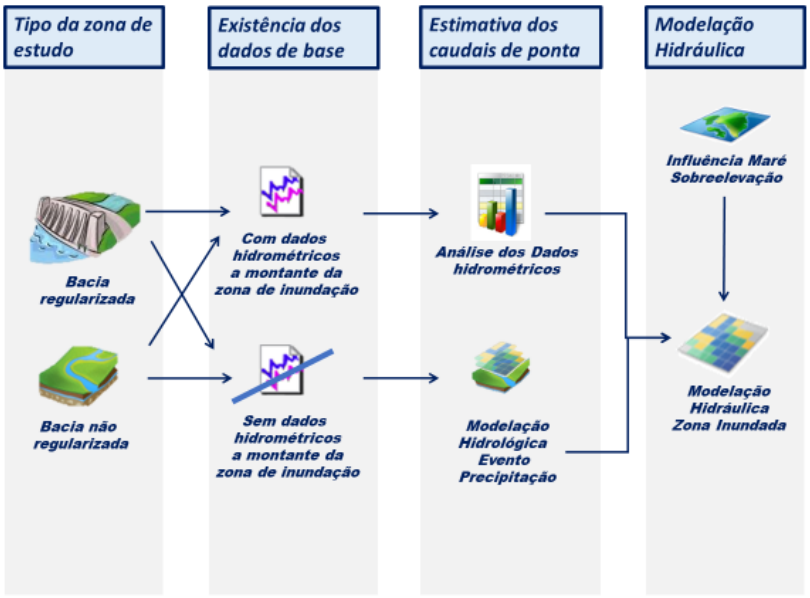


Figura 5 Abordagem integrada de modelação

A modelação hidrológica desenvolvida no âmbito do presente relatório tem como principal objetivo a obtenção de caudais de ponta de cheia com diferentes períodos de retorno (20 e 100 anos), para que seja possível delimitar as zonas inundáveis associadas às cheias.

A metodologia aplicada tem em conta as particularidades das bacias hidrográficas de cada zona a analisar, podendo, à partida, distinguir-se dois grupos distintos consoante o grau de regularização: bacias hidrográficas com regularização e bacias hidrográficas sem regularização.

Para as zonas cuja bacia hidrográfica não apresenta regularização significativa (neste estudo corresponde à totalidade das bacias, com exceção da bacia do Rio Arade), os caudais de ponta de cheia foram determinados recorrendo a modelos de simulação hidrológica (precipitação-escoamento). Para tal, foi utilizado o software MOHID Studio, que implementa o modelo MOHID Land. Este modelo, que será descrito em maior detalhe posteriormente, simula os principais processos hidrológicos e hidráulicos em bacias hidrográficas. No âmbito da modelação hidrológica, consideram-se os módulos do escoamento superficial e da rede de drenagem, calculando a precipitação/escoamento pelo método “Curve Number”.

Nas zonas cuja bacia hidrográfica apresenta regularização significativa, esta regularização não pode ser desprezada na estimativa dos caudais de ponta de cheia. Para estas zonas, é necessário determinar o caudal máximo efluente das barragens e o caudal de cheia da parcela da bacia não regularizada (por procedimentos idênticos aos descritos para as zonas cuja bacia hidrográfica não apresenta regularização significativa). Não existindo estudos recentes e fiáveis com os caudais de ponta efluente das barragens, foi necessária a sua determinação com base na caracterização das cheias em regime natural nas bacias hidrográficas dominadas pelas barragens procedendo-se, de seguida, ao seu amortecimento nas respetivas albufeiras.

A modelação hidráulica do escoamento superficial tem como objetivo estimar as características do escoamento dos caudais de cheia nas zonas em estudo.

Para todas as zonas modeladas, foram elaborados modelos matemáticos bidimensionais (2D) do escoamento, recorrendo-se para tal ao software MOHID Studio que implementa os modelos MOHID Land e MOHID Water.

Os modelos bidimensionais baseiam-se na equação da conservação da massa e da conservação do momento segundo as duas direções horizontais. Com estes modelos, determinam-se as componentes da velocidade do escoamento no plano horizontal. O leito é discretizado com malha de volumes finitos e, em cada célula de cálculo, obtêm-se os valores da profundidade e as duas componentes (horizontais) da velocidade, considerando-se a distribuição de pressões hidrostática.

No que respeita à modelação hidráulica, podem distinguir-se dois tipos de zonas: zonas estuarinas (e.g. Arade) e zonas interiores. Nas zonas estuarinas foi utilizado o modelo MOHID Water e nas zonas interiores o modelo MOHID Land. Os processos resolvidos por estes modelos são apresentados na Figura 6.

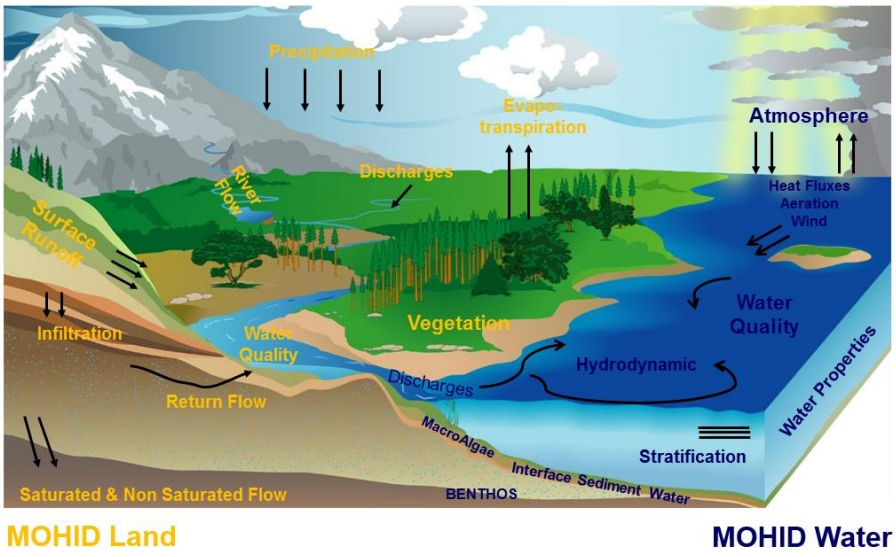


Figura 6 Sistema de modelação integrado MOHID

O modelo MOHID Land é um modelo espacialmente distribuído, que permite simular de forma integrada:

- o escoamento superficial (OverlandFlow);
- o escoamento nos canais que constituem a rede de drenagem (Drainage Network);
- o escoamento na zona não saturada do solo (camadas acima do nível freático);
- o escoamento na zona saturada do solo (aquífero).

Estes escoamentos são interdependentes e a sua simulação integrada, elimina a necessidade de formular hipóteses sobre as transferências entre aqueles domínios. O escoamento de superfície livre (escoamento superficial e escoamento nos rios) é simulado recorrendo à equação de Saint-Venant, e o escoamento subsuperfície é simulado recorrendo à equação de Richards. Este modelo permite conhecer a evolução temporal das alturas de escoamento, caudal, velocidade do escoamento, conteúdo de água no solo e nível freático. No âmbito da modelação hidráulica, considerou-se o módulo do escoamento superficial com uma malha computacional bidimensional fina e usando caudais impostos como condições de fronteira de montante. Na fronteira de jusante, nas zonas de estudo sujeitas ao efeito da variação do nível devido à maré, foram impostos níveis de maré, com sobrelevação, de acordo com as tabelas do Instituto Hidrográfico.

O modelo MOHID Water é um modelo distribuído, que utiliza as equações de Navier-Stokes aplicável a massas de águas superficiais. O modelo permite simular todos os processos que influenciam o escoamento, como a maré, estratificação térmica, gradientes de densidade, vento, descargas, atrito de fundo e ondas. O modelo é tridimensional (3D), mas pode ser utilizado como modelo bidimensional (2D), configuração que foi utilizada no âmbito do presente relatório, uma vez que os aspetos tridimensionais do escoamento não são relevantes para o cálculo das áreas inundáveis. O modelo MOHID Water foi forçado com caudais calculados pelo modelo MOHID Land (modelo hidrológico). Na fronteira de jusante foram impostos níveis de maré, com sobrelevação, de acordo com as tabelas do Instituto Hidrográfico.

De referir que, nas zonas urbanas, não foi simulada drenagem urbana (e.g. túneis, ribeiras encanadas, rede pluvial) e, nas zonas onde as ribeiras são encanadas, foi simulada a descarga à superfície representando a pior situação, na qual as obras de drenagem não têm capacidade de vazão e a água se escoa superficialmente (e.g. Monchique).

Os obstáculos existentes na rede de drenagem, tais como pontes, estrangulamentos, aterros, obras hidráulicas ou outras estruturas, que não estejam definidas nos elementos de base do modelo digital de terreno, não foram considerados. Para estes casos, será necessário realizar estudos de pormenor, com base em cartografia a escala adequada a cada situação.

2.2 VARIÁVEIS E PARÂMETROS CLIMÁTICOS RELEVANTES PARA O SETOR

2.2.1 INUNDAÇÃO COSTEIRA EM AMBIENTE ESTUARINO

A ocorrência de inundações depende da cota atingida pelo plano de água, em função da geomorfologia da margem.

Os estuários e as lagunas, considerados efémeros à macro escala (escala geológica), são sistemas dinâmicos que resultam dos forçamentos flúvio-marinhos. Os rios tendem a depositar a carga sedimentar que transportam quando a velocidade da corrente fluvial diminui, como acontece no troço estuarino, podendo criar um delta fluvial. Do lado marítimo, os processos de transporte de sedimentos que irão influenciar a morfologia do estuário, resultam das correntes de maré, que

podem conduzir à formação de um delta de maré no final do estuário (lado de mar), e da agitação marítima incidente, levando à formação de barreiras arenosas podendo fechar o canal do estuário, temporária o permanentemente, formando lagunas (Woodroffe, 2002).

A interação entre os rios e o oceano pode ser simplificada através da subdivisão do estuário em três partes (Davis e FitzGerald, 2004): a montante sob maior influência fluvial; no meio a zona de maior sobreposição dos dois domínios, considerada a zona de estuário autêntico; e a jusante com maior influência marítima (Figura 7).

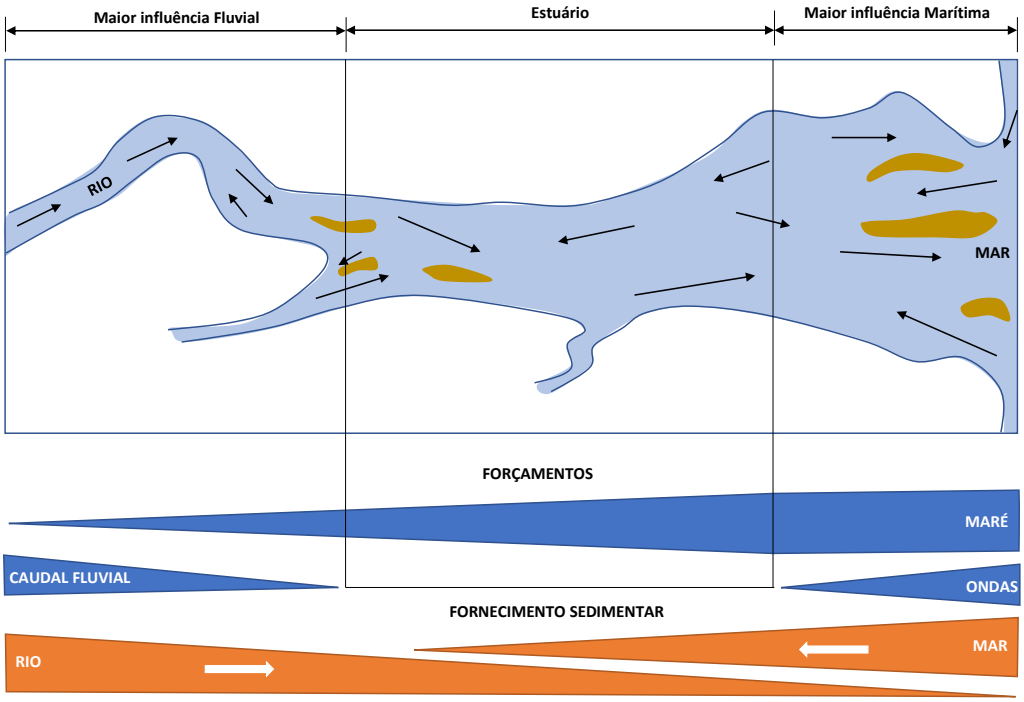


Figura 7 Diagrama geral simplificado dos forçamentos e da dinâmica sedimentar em estuários (adaptado de Davis e FitzGerald, 2004)

Para a avaliação da vulnerabilidade dos estuários da região às inundações em cenários futuros, foi considerada não só a subida do nível médio do mar, mas também a respetiva evolução morfodinâmica associada à ação conjunta das correntes de maré e agitação marítima.

Evolução morfológica

A mobilização e deposição dos sedimentos, que influencia a evolução morfológica estuarina, depende das características dos sedimentos nos vários ambientes do sistema. Na Tabela 1 é apresentada a caracterização sedimentar (descrita pelo D50) para os diversos ambientes de depósito estuarinos.

Ambiente de Depósito	D50 (mm)
Alto sapal	15
Baixo sapal	60
Raso de maré	125
Canal de maré	220
Elementos de raso de barreira arenoso	350
Areia marinha	500

Tabela 1 Dimensão média dos grãos em diversos ambientes de depósito. Fonte: Sampath e Boski, 2018

Forçamento oceanográfico: Maré

O regime de marés da costa algarvia é do tipo semidiurno, com amplitudes máximas de 3,45 m nas marés-vivas (Costa et al., 2001), 1,40 m acima do NMM.

A cota máxima adotada neste estudo é de 2,0 m acima do NMM, partindo da soma entre a altura da maré astronómica máxima e a sobrelevação meteorológica observada no marégrafo de Lagos por Gama et al. (1994), confrontado com Teixeira (2009) onde se considera a máxima preia-mar de águas vivas equinociais (MPMAVE) na costa sul algarvia correspondente ao plano de +4,0 m (ZH), equivalente à cota 2,0 m.

Para a determinação das alturas de maré, a modelação foi feita através de análise harmónica considerando as 10 principais constituintes da maré. Na Tabela 2 são apresentadas as características harmónicas consideradas para os vários estuários, à exceção do estuário do Guadiana, para o qual foram consideradas as características das constituintes presentes na Tabela 3.

Constituintes harmónicas da Maré (i)	Amplitude (ς_i) (m)	Período (T_i) (s)	Fase (Φ_i) (graus)
M2	0,939	44.712	68
M4	0,031	22.356	258
S2	0,364	43.200	112
O1	0,064	92.952	322
K1	0,067	86.148	83
MN4	0,007	22.572	256
N2	0,162	45.576	57
MSf	0,037	1.276.128	3
MS4	0,031	21.972	325
M6	0,010	14.904	239

Tabela 2 Constituintes harmónicas de maré na Ria Formosa, embocadura na praia do Ancão, (Fonte: Salles, 2001)

Constituintes harmónicas da Maré (i)	Amplitude (ς_i) (m)	Período (T_i) (s)	Fase (Φ_i) (graus)
M2	0,939	44712	68
M4	0,031	22356	258
S2	0,364	43200	112
O1	0,064	92952	322
K1	0,067	86148	83
MN4	0,007	22572	256
N2	0,162	45576	57
MSf	0,037	1276128	3
MS4	0,031	21972	325
M6	0,010	14904	239

Tabela 3 Constituintes harmónicas de maré na foz do estuário do Guadiana (Fonte: Pinto, 2003)

Subida do Nível Médio do Mar (NMM)

Em cenários de alterações climáticas, existem vários modelos globais e locais de projeção da variação do NMM, todos eles consensuais quanto à projeção de subida. No caso da costa portuguesa, os estudos de análise históricas apontam para uma similitude com os modelos globais (Dias e Taborda, 1992). Assim, recorreu-se à projeção global constante no AR5 do IPCC de 2013, para o cenário de "*Subida durante o século XXI em consequência de alterações na lei e redução das emissões atmosféricas (2,6-4,8° C)",* correspondente ao RCP8.5, para o limite superior, Figura 8.

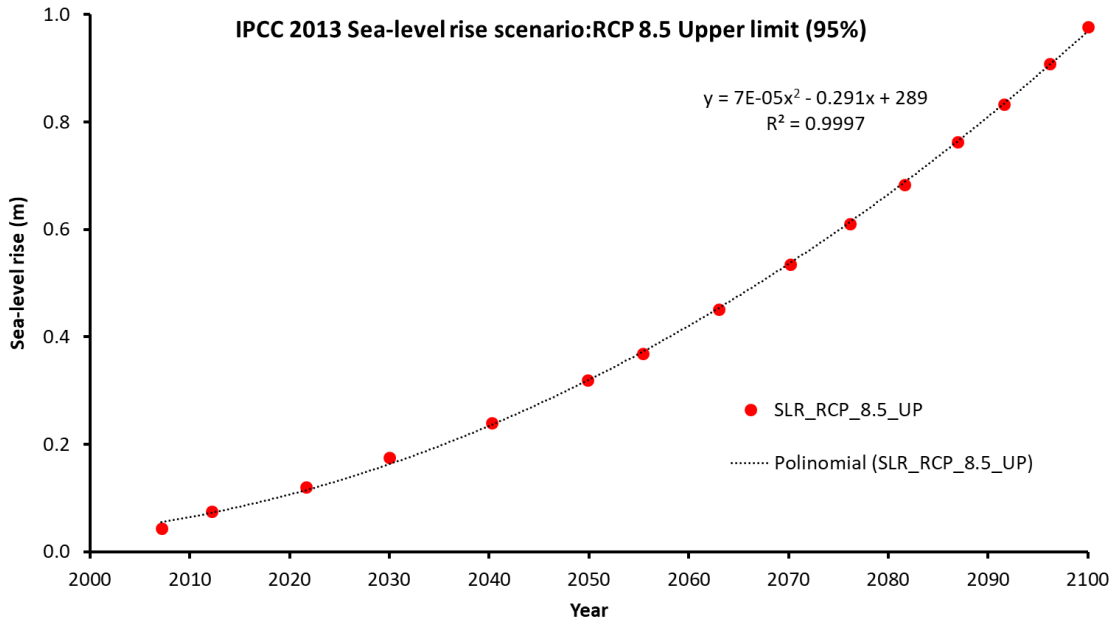


Figura 8 Projeção de subida do nível médio do mar durante o séc. XXI, com base no cenário RCP8.5 do AR5 (IPCC, 2013)

2.2.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

A ocorrência de inundações pluviais depende de uma série de parâmetros e variáveis:

- precipitação;
- relevo do terreno da bacia hidrográfica;
- características do solo e do seu uso (incluindo impermeabilização, intersecção da precipitação pelas plantas, conteúdo de água, e resistência face ao escoamento superficial);
- características do subsolo;
- regularização da bacia hidrográfica (barragens, diques, etc.).

Adicionalmente, em zonas de águas de transição, a maré poderá contribuir igualmente para a ocorrência ou aumento do impacto da inundação.

No âmbito do presente relatório, foi considerado que a precipitação se apresenta em forma líquida e que a intersecção da precipitação pelas plantas é desprezável. A divisão da precipitação em infiltração e escoamento superficial é calculado pelo método "Curve Number", usando como dados de base o mapa disponibilizado pela APA (Figura 9), que apresenta os valores de "Curve Number" para Portugal. Nesta Figura, os valores elevados (tons vermelhos) correspondem a zonas pouco permeáveis (devido à ocupação de solo, tipo de solo ou conjugação dos dois fatores).

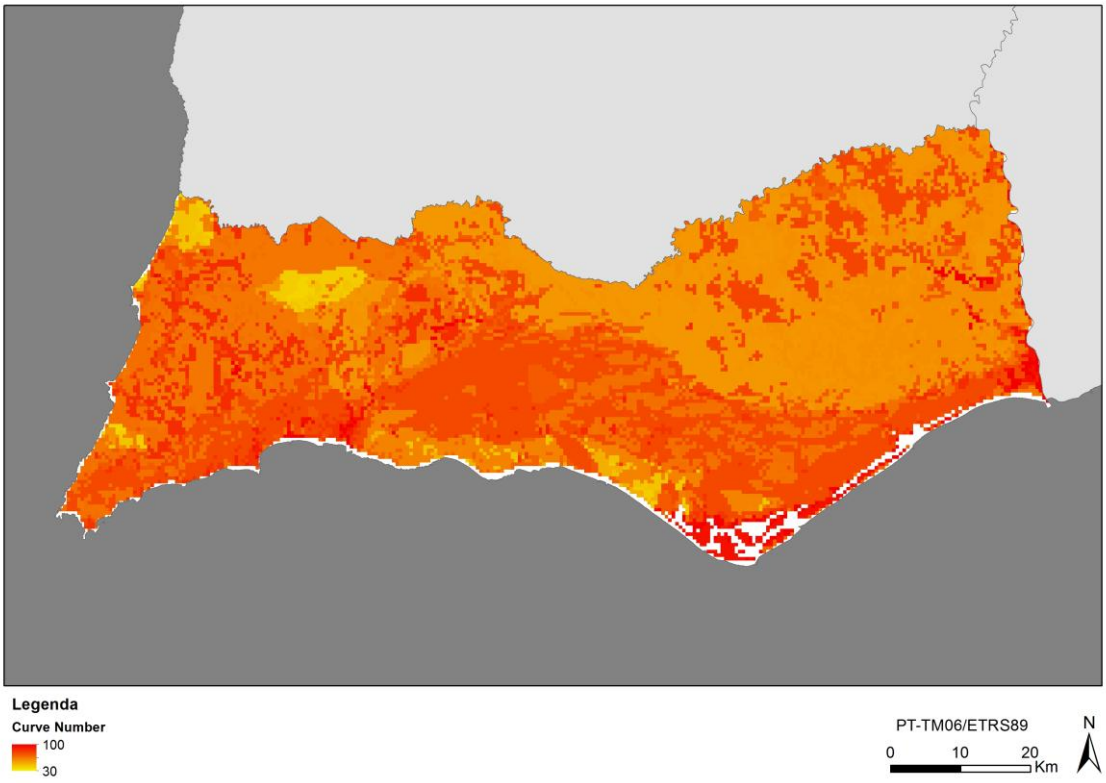


Figura 9 Mapa de Curve Number para o Algarve. Fonte: APA (2014a)

A resistência do solo face ao escoamento também tem uma influência significativa na formação das cheias. No modelo hidráulico utilizado, este atrito é controlado pelo coeficiente de Manning, através da correspondência entre o mapa do uso do solo Corine Land Cover 2006 (EU, 2016) e os valores tabelados (e.g. Chow, 1959; van der Sande et al., 2003), permitindo obter os valores de resistência ao escoamento.

2.3 AVALIAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E MODELAÇÃO DE IMPACTOS

2.3.1 INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM AMBIENTE ESTUARINO

Através das simulações morfodinâmicas dos estuários face ao cenário de subida do NMM para 2100, obtiveram-se as áreas potencialmente inundáveis para cada estuário. A análise de vulnerabilidade foi feita a partir da sobreposição destas áreas com a cartografia de Uso e Ocupação do Solo de 2015 (DGT, 2018), através de uma análise global, partindo da distribuição por mega classe de uso e ocupação de solo (COS2015 Nível 1).

No caso do território potencialmente afetado ser uma área artificializada (COS2015: classe 1. Territórios artificializados), procedeu-se a uma análise mais pormenorizada, atingindo hierarquicamente o quinto nível de detalhe (COS2015 Nível 5).

A subida do nível do mar teve por base o cenário RCP8.5 (limite superior), projetado para o horizonte temporal de 2100, a partir do cenário de referência de 2011.

Descrição do Modelo Morfodinâmico

O estudo da evolução morfológica de estuários e lagunas em resposta ao aumento do nível médio do mar para 2100, partiu da equação de balanço sedimentar de *Exner* (Parker et al., 2000):

$$(1-p)\frac{\partial \eta}{\partial t} = S - E$$

Onde, *S* é a taxa de deposição de sedimentos no leito, oriundos da coluna de água, por unidade de área do leito (LT^{-1}); *E* é a taxa de suspensão de sedimentos do leito para a coluna de água, por unidade de área do leito (LT^{-1}); *p* é a porosidade dos sedimentos, admitindo densidade constante abaixo da superfície sedimentar; e $\frac{\partial \eta}{\partial t}$ é o balanço sedimentar, medido em relação à variação da altura da camada sedimentar.

De modo a acomodar o efeito da subida do NMM, foi adotada uma versão da equação de *Exner* (Sampath e Boski, 2018), que inclui um termo referente a este, descrito da seguinte forma,

$$(1-p)\frac{\Delta \eta}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t} - \frac{\Delta E}{\Delta t} - \frac{\Delta H_{NMM}}{\Delta t}$$

Em que $\frac{\Delta H_{NMM}}{\Delta t}$ é a variação do nível médio do mar.

- **Taxa de sedimentação, *S***

A taxa deposição sedimentar (m/sec), pode ser representada em termos de velocidade de sedimentação (W_s), concentração de sedimentos junto ao fundo (C_b) e densidade aparente dos sedimentos (ρ_{sed}) (Prandle, 2009):

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{W_s C_b}{\rho_{sed}}$$

A velocidade de sedimentação é função da dimensão dos grãos (D_{50}e D_*), e da viscosidade do meio (υ),

$$W_s = \frac{\upsilon}{D_{50}}[(10{,}36^2 + 1{,}049 D_*^{0.3})^{0.5} - 10{,}36]$$

No caso do estuário do Guadiana, onde o fornecimento sedimentar fluvial é relevante e existe informação disponível, a concentração de sedimentos junto ao fundo foi calculada a partir da concentração de sedimentos em suspensão a meio da coluna de água ($\bar{C}$),

$$C_b \approx \frac{h}{\sqrt{\pi E t}} \bar{C}$$

Em que $\bar{C} = (Q_R/0.03)^{0.5}$, onde Q_R é o caudal do rio Guadiana (m^3/s) (González, 1995).

Para os restantes casos, onde o fornecimento sedimentar fluvial é pouco relevante, foi considerado,

$$C_b = A_{CR}\theta_T \exp\left(-4{,}5\frac{\theta_M}{\theta_{CR}}\right)$$

Onde, θ_T é o transporte função do parâmetro de *Shields*, θ_M e θ_{CR} são o parâmetro de *Shields* máximo e crítico, respetivamente, quando considerando apenas de corrente $\theta_T = \theta_M = \theta_{CR}$, e $A_{CR} = 3{,}5 \times 10^{-3} exp(-0{,}3 D_*)$.

- **Taxa de erosão, *E***

A fórmula geral de cálculo utilizada para a determinação da taxa de erosão foi,

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\gamma f \rho_w (U(t) - U_c)^N}{\rho_{Sed}}$$

em que, no caso de regimes dominados pela maré, N=2, $U_c = 0$ (Prandle, 2004), para o coeficiente de erosão sedimentar, γ, recorreu-se aos resultados obtidos por Sampath et al. (2015).

O coeficiente de atrito, *f*, foi estimado com base na rugosidade do fundo, Z_0, dado por $f_0 = 0{,}74Z_0^{0{,}71}$ (Johns, 1983).

Assumiu-se que velocidade da corrente, $U(t)$, seria devida principalmente à corrente de descarga fluvial e à corrente provocada pela maré, correspondente às componentes semidiurna (M_2) e quarto-diurnas (M_4) (Lane, 2004), da seguinte forma:

$$U(t) = U^* \cos(\omega t) - aU^* \cos(2\omega t - \theta) - aU^* \cos\theta$$

sendo, $a = \zeta^*/h$ e U^* a amplitude da corrente de maré a meio da coluna de água foi obtida a partir de (Prandle, 2009),

$$U^* = \zeta^* g \frac{k}{(\omega^2 + F^2)^{0,5}}$$

onde, ζ^* é a amplitude da maré; g a aceleração gravítica; k é um valor único para o número de onda na propagação axial à corrente e à elevação da superfície; ω a frequência angular da maré; e F o coeficiente de atrito de fundo linearizado, relacionando-se com o ângulo de fase (θ) e com o declive do leito da seguinte forma,

$$\tan\theta = -\frac{F}{\omega} = \frac{\partial h/\partial x}{0{,}5hk}$$

2.3.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

A modelação hidrológica das bacias hidrográficas a montante das zonas críticas em estudo, teve como principal objetivo estimar os caudais de ponta de cheia com períodos de retorno de 20 e 100 anos. Desta forma, foi possível delimitar as zonas inundáveis e determinar os níveis de cheia associados, com base na modelação hidráulica do escoamento superficial.

O processo de modelação foi iniciado com a seleção das estações meteorológicas representativas de cada bacia hidrológica a modelar e com o cálculo da precipitação associada a cada um dos períodos de retorno considerados na análise. Para o efeito, realizou-se uma análise estatistica da precipitação diária máxima anual observada nas estações meteorológicas necessárias para caracterizar o regime de precipitação extrema de cada bacia[3] (Figura 10), compreendendo diferentes intervalos de tempo, em conformidade com a informação disponível. Para o cálculo dos períodos de retorno das séries de cada estação, foram aplicadas diferentes leis de extremos (Pearson III, Log Pearson III e Gumbel), selecionando-se, em cada situação, aquela que apresentou melhor ajuste. A Tabela 4 resume as estações meteorologicas utilizadas para cada bacia, os períodos considerados para a análise da precipitação diária máxima anual observada e os resultados obtidos para os períodos de retorno de 20 e 100 anos.

[3] Para as amostras relativas às séries históricas observadas foi realizado o teste de estacionariedade, não se podendo rejeitar a hipótese de estacionariedade para os intervalos selecionados.

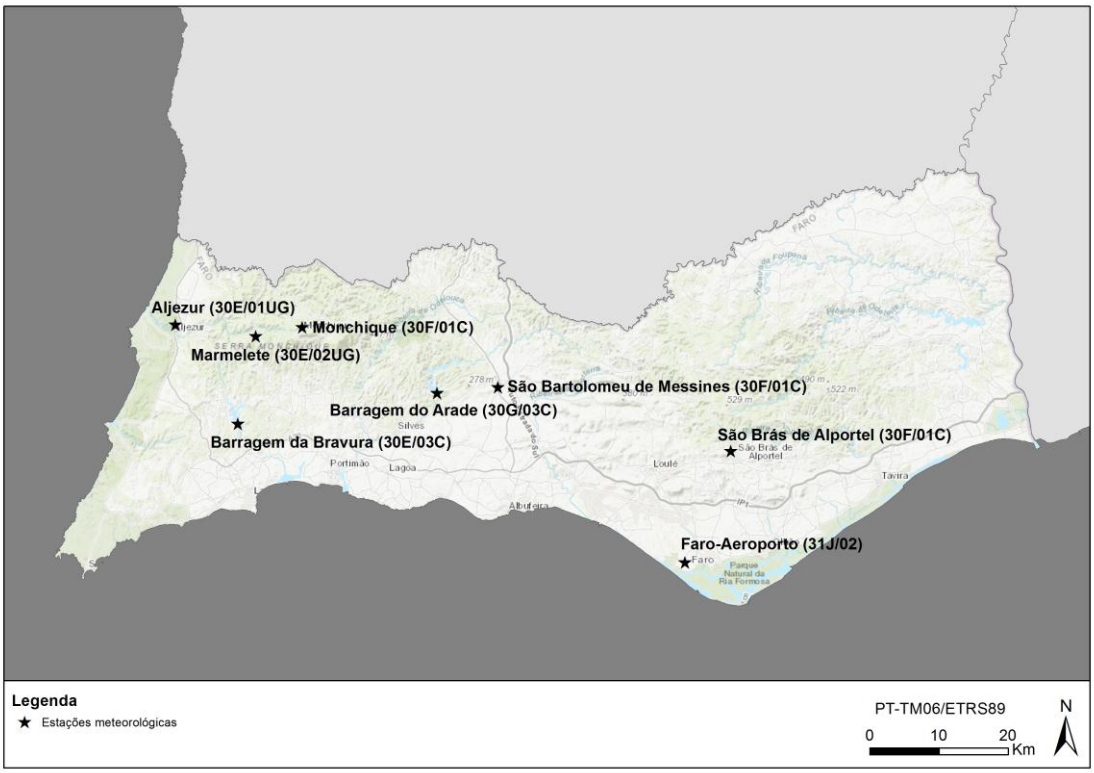


Figura 10 Localização das estações meteorológicas consideradas para a modelação hidrológica de bacias mais vulneráveis a inundações no presente e em cenários de alterações climáticas.

Bacia hidrográfica	Estação meteorológica	Período histórico (amostra)	T20 (mm)	T100 (mm)
Aljezur (ribeira de Aljezur)	Aljezur	1932-1999	78,9	103,9
	Marmelete	1960-1999	110,7	142,5
Monchique (ribeira de Monchique)	Monchique	1969-1998	179,2	237,0
Funcho Arade (rio Arade)	Barragem do Arade	1959-2005	85,6	109,6
	S. B. de Messines	1933-2002	104,5	136,6
Odelouca & Silves (rio Arade)	Faro Aeroporto	1975-2011	106,8	142,4
	Monchique	1959-2005	179,2	237,0
Lagos (ribeira de Bensafrim)	Barragem da Bravura	1958-2000	97,3	124,6
Vale de Lobo & Faro (rio Seco e ribeira de Carcavai)	Faro Aeroporto	1975-2011	106,8	142,4
Tavira (rio Gilão)	S. B. de Alportel	1955-2002	117,9	147,8

Tabela 4 Resumo dos valores de precipitação estimados para o período de retorno de 20 e 100 anos, em cada estação meteorológica considerada e respetiva correspondência com a bacia hidrológica / zona crítica modelada

Para a simulação do rio Arade, foram implementados 3 modelos hidrológicos, consistindo na simulação da bacia afluente à barragem de Odelouca, da bacia afluente à barragem do Funcho e da bacia a jusante das barragens do Arade e de Odelouca. O critério de seleção das estações meteorológicas foi baseado na existência de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Em algumas bacias foram utilizados dados provenientes de mais do que uma estação. Por exemplo, para a bacia afluente à barragem de Odelouca, selecionou-se Monchique e Faro. Neste caso específico, verificou-se que existia também a estação de Praia da Rocha, mas que a inclusão desta no modelo hidrológico produzia resultados inconsistentes com estudos de referência realizados anteriormente. Por esse motivo, foram apenas utilizadas as curvas IDF de Monchique e Faro. No caso da bacia afluente à barragem do Funcho, verificou-se que a utilização das curvas IDF para Faro e Monchique geravam caudais muito superiores ao determinado em estudos de referência. Assim, neste caso, selecionaram-se estações meteorológicas mais próximas que tinham dados suficientes para fazer uma caracterização representativa das Linhas de Possibilidade Udométrica (LPU), o que se verificou ser uma metodologia consistente com esses estudos de referência. Uma vez que a metodologia para esta bacia foi diferente da utilizada para a bacia afluente à barragem de Odelouca, tentou-se aplicar a mesma metodologia, utilizando-se as estações mais próximas (Barragem do Arade, Vale de Barriga e Alferce) mas os caudais calculados foram muito inferiores. Optou-se então por manter a IDF para a bacia afluente à barragem de Odelouca (com base nas estações de Monchique e Faro) e a LPU para a bacia afluente à barragem do Funcho com as estações de Barragem do Arade e São Bartolomeu de Messines. Finalmente, para a bacia a jusante da barragem do Arade e de Odelouca, aplicou-se a mesma metodologia da bacia afluente à barragem de Odelouca, pelas mesmas razões.

Em cenários de alterações climáticas e antes do cálculo dos periodos de retorno projetados para o futuro, foi realizada uma correção de viés aos dados de precipitação diária proveniente de cada modelo climático (Tabela 5), uma vez que estes dados se encontram normalmente enviesados (Christensen et al., 2008; Ehret et al., 2012). Esta correção foi efetuada para as oito estação meteorológica considerando os dados históricos observados de cada estação, sendo realizada tanto para o cenário RCP4.5 como para o RCP8.5.

Modelo global	Modelo regional
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM 4-8-17
	SMHI-RCA4
ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-CCLM 4-8-17
	DMI-HIRHAM5
	KNMI-RACMO22E
	SMHI-RCA4
IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS-WRF 3.3.1
MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM 4-8-17
	SMHI-RCA4

Tabela 5 Modelos climáticos utilizados para a correção de viés relativa à precipitação diária

A correção em causa baseia-se na metodologia proposta por Willems e Vrac (2011), tendo sido selecionado o método baseado nas perturbações por quantis. Em pormenor, foram ordenados os dados de cada mês, de um determinado modelo climático, no período histórico modelado e projeção futura. A esses valores, foi atribuído um quantil, correspondendo a uma probabilidade de excedência. O rácio da precipitação de um determinado quantil no período futuro, pelo correspondente quantil (ou o quantil mais próximo no caso do número de observações ser diferente), no período de referência, dá-nos o fator de perturbação associado a uma probabilidade. Esse fator foi atribuído ao quantil mais próximo da série histórica observada, após a sua ordenação para cada mês e atribuição de probabilidades empíricas de excedência a cada observação. Estas operações permitem corrigir o viés nas precipitações obtidas diretamente dos modelos climáticos para a variável de precipitação (Dias, 2016).

Posteriormente, e para cada um dos modelos, foram calculados os períodos de retorno correspondentes aos intervalos associados aos anos hidrológicos 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, utilizando-se a mesma abordagem que a usada para o período histórico. Esta análise permitiu, no seu conjunto, quantificar as incertezas associadas às projeções dos cenários RCP4.5 e RCP8.5, baseada no conjunto dos 9 modelos considerados. Os resultados finais relativos aos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas utilizados na modelação hidrológica, consistem no *ensemble* da mediana dos valores obtidos em cada modelo e período considerado.

A metodologia adotada para a distribuição da precipitação de 24 horas, correspondente a um determinado período de retorno, em precipitação sub-horária, necessária para a modelação hidrológica, teve em consideração as particularidades das bacias hidrográficas inerentes a cada zona crítica, nomeadamente em termos do grau de regularização da bacia.

Neste estudo, considerou-se apenas que a bacia do rio Arade para a zona de Lagoa, Portimão e Silves apresenta regularização significativa, não sendo essa regularização relevante nos restantes casos.

Nas zonas críticas cujas bacias hidrográficas não apresentam uma regularização significativa, os caudais de ponta de cheia foram determinados por aplicação do modelo precipitação-escoamento MOHID Land. Conforme aludido anteriormente, os valores de precipitação associada aos períodos de retorno de 20 e 100 anos foram convertidos com recurso às curvas IDF estabelecidas por Brandão et al. (2004, 2001) ou, alternativamente, sempre que os resultados recorrentes da utilização das curvas IDF se mostraram menos adequados, com recurso a LPU. As precipitações foram consideradas com intensidade constante e duração igual ao tempo de concentração das respetivas bacias hidrográficas.

Para estimar os caudais de ponta de cheia afluentes às zonas de estudo cujas bacias hidrográficas apresentam albufeiras com regularização significativa, foi necessário determinar os respetivos caudais máximos efluentes das barragens. Nesse sentido, começou por efetuar-se a identificação das barragens com capacidade de amortecimento de cheias a montante das zonas em estudo.

Uma vez que não foi possível obter a informação requisitada junto das entidades responsáveis pela exploração das barragens, utilizou-se uma abordagem de modelação das zonas a jusante das barragens, correspondentes às áreas não regularizadas. Estas foram modeladas através de

procedimentos idênticos aos referidos anteriormente para bacias hidrográficas sem regularização significativa, tendo sido caracterizado o escoamento em regime natural nas bacias hidrográficas dominadas pelas barragens. Procedeu-se de seguida ao seu amortecimento nas albufeiras das barragens. Para tal foram consideradas as vazões máximas dos descarregadores das barragens e as curvas de volumes armazenados nas albufeiras.

Determinados os caudais de ponta de cheia afluentes às secções de estudo, os mesmos foram utilizados nos modelos de detalhe através da adição de um ponto de entrada de caudal no local da barragem em forma de hidrograma.

Projeções da precipitação associada aos períodos de retorno de 20 e 100 anos

Conforme referido anteriormente, os resultados finais relativos aos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas utilizados na modelação hidrológica, consistiram no *ensemble* da mediana dos valores obtidos em cada modelo considerado. A Tabela 6 apresenta as modificações percentuais encontradas entre a precipitação associada aos períodos de retorno atuais e os valores projetados para os mesmos períodos de retorno em cada cenário e período temporal analisado (os períodos de retorno observados - histórico - podem ser consultados na Tabela 4).

Estação Meteorológica	P. Retorno (Anos)	RCP4.5			RCP8.5		
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Aljezur	20	19,4	30,4	28,6	20,2	10,8	19,2
	100	22,1	37,4	30,3	23,5	27,4	43,9
Barragem da Bravura	20	8,0	22,0	13,7	9,8	12,5	15,4
	100	8,6	24,8	14,2	14,0	14,8	24,8
Barragem do Arade	20	21,7	24,4	17,9	12,9	15,8	24,9
	100	24,6	25,9	21,8	14,1	20,5	30,9
Faro-Aeroporto	20	19,2	22,7	13,6	17,8	18,0	27,1
	100	21,4	29,3	14,5	21,5	20,3	48,6
Marmelete	20	24,5	31,6	25,7	21,1	16,3	13,1
	100	26,1	35,7	29,2	26,5	20,3	29,6
Monchique	20	26,7	12,8	7,5	4,6	-2,6	-3,8
	100	32,4	12,2	6,8	4,5	4,9	6,0
São Bartolomeu de Messines	20	28,8	18,3	13,4	8,4	18,9	25,2
	100	43,0	16,3	11,9	8,3	23,0	24,8
São Brás de Alportel	20	34,0	39,8	31,0	17,4	25,4	44,2
	100	39,9	45,7	35,6	20,5	28,7	66,4

Tabela 6 Percentagem nas modificações projetadas pelos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo para a precipitação associada aos períodos de retorno de 20 e 100 anos, nas estações meteorológicas consideradas. A escala de cores pretende facilitar a leitura das alterações projectadas

Em cenário de alterações climáticas observa-se, de forma genérica, um aumento da precipitação associada aos períodos de retorno avaliados (20 e 100 anos). Mais concretamente, no cenário RCP4.5, as estações meteorológicas de Aljezur, Barragem da Bravura, Barragem do Arade, Faro-Aeroporto, Marmelete e São Brás de Alportel apresentam um comportamento idêntico ao longo do século XXI, que se traduz num aumento progressivo da precipitação diária para ambos os períodos de retorno até à normal climatológica de 2041-2070. No entanto, o intervalo 2071-2100 apresenta uma menor percentagem de aumento, quando comparada com o intervalo de 2041-2070. As estações de Monchique e São Bartolomeu de Messines apresentam aumentos de precipitação extrema mais elevados a curto prazo (2011-2040), e uma menor percentagem de aumento para meados e final do século (Tabela 6).

Para o cenário RCP8.5, as estações meteorológicas de Aljezur, da Barragem da Bravura, da Barragem do Arade, de Faro-Aeroporto, de São Bartolomeu de Messines e de São Brás de Alportel apresentam variações percentuais de aumento da precipitação associada aos períodos de retorno de 20 e 100 anos que são consistentes ao longo do século. É de notar que para a estação de Monchique, os eventos extremos de precipitação em 24 horas tendem a aumentar no início do século e a diminuir a médio e longo prazo, quando comparado com a situação atual (Tabela 6).

1. Aljezur (30E/02UG)

		1932-1999	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	78,9	94,1	94,8	102,8	87,4	101,5	94,0
	Alteração em %	-	19,4	20,2	30,4	10,8	28,6	19,2
Período de retorno de **100 anos**	mm	103,9	126,8	128,2	142,7	132,3	135,3	149,5
	Alteração em %	-	22,1	23,5	37,4	27,4	30,3	43,9

Tabela 7 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica de Aljezur para o histórico observado (1932-1999) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

Para a estação meteorológica de Aljezur projeta-se um aumento da precipitação associada ao período de retorno de 100 anos que pode variar entre 22% (no RCP4.5 para 2011-2040) e os 44 % (no RCP8.5 para 2071-2100). De notar que a precipitação projetada para um período de retorno de 20 anos aproxima-se, em alguns intervalos, da precipitação observada para o período de retorno de 100 anos (Tabela 7).

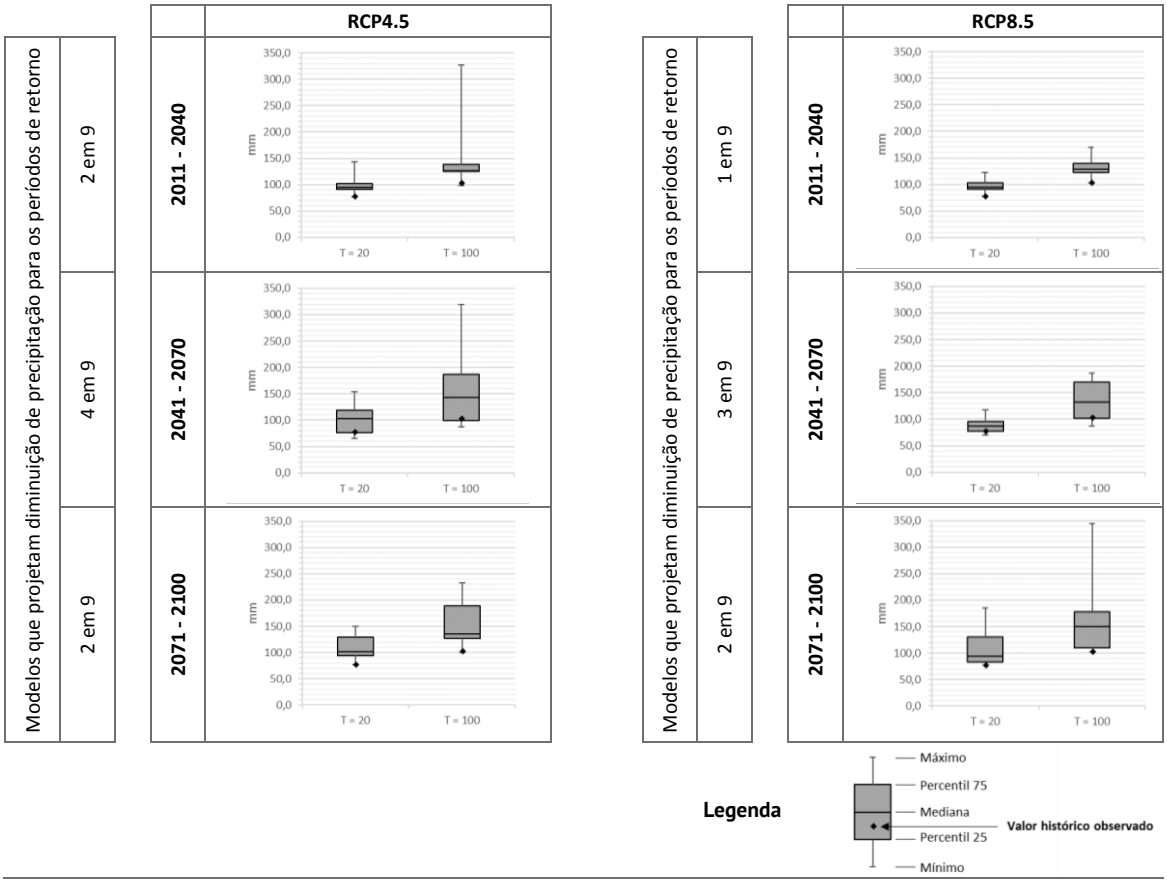


Tabela 8 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica de Aljezur

Relativamente às incertezas associadas aos modelos climáticos, observa-se na Tabela 8 que estas são superiores no cenário RCP4.5, principalmente no período de médio prazo (quatro em nove modelos indicam diminuição na precipitação associada aos períodos de retorno). De uma forma geral, a incerteza das projeções para esta estação meteorológica é intermédia.

2. Barragem da Bravura (30E/03C)

		1958-2000	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	97,3	105,2	106,9	118,7	109,5	110,7	112,3
	Alteração em %	-	8,0	9,8	22,0	12,5	13,7	15,4
Período de retorno de **100 anos**	mm	124,6	135,3	142,0	155,4	143,1	142,3	155,5
	Alteração em %	-	8,6	14,0	24,8	14,8	14,2	24,8

Tabela 9 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica da Barragem da Bravura para o histórico observado (1958-2000) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

Para a estação meteorológica da Barragem da Bravura existe um aumento da precipitação associada aos períodos de retorno, para todos os cenários projetados e em todos os intervalos, embora com valores percentuais menos acentuados do que no caso da estação meteorológica de Aljezur. Nesta estação meteorológica, o aumento da precipitação não ultrapassa os 25% (observável a meio do século no cenário RCP4.5 e no final do século no cenário mais gravoso - Tabela 9).

Relativamente à análise das incertezas, observa-se uma grande convergência nas tendências dos modelos estudados, sendo o período de curto prazo aquele onde a incerteza é maior em ambos os cenários. Também o período de meio do século no cenário RCP4.5 apresenta o mesmo nível de incerteza. Já no último período, as incertezas são consideravelmente baixas, sendo todos os modelos concordantes no aumento da precipitação associada aos períodos de retorno avaliados no cenário RCP4.5 e existindo apenas um modelo (em nove) no cenário RCP8.5 que não indica este aumento (Tabela 10).

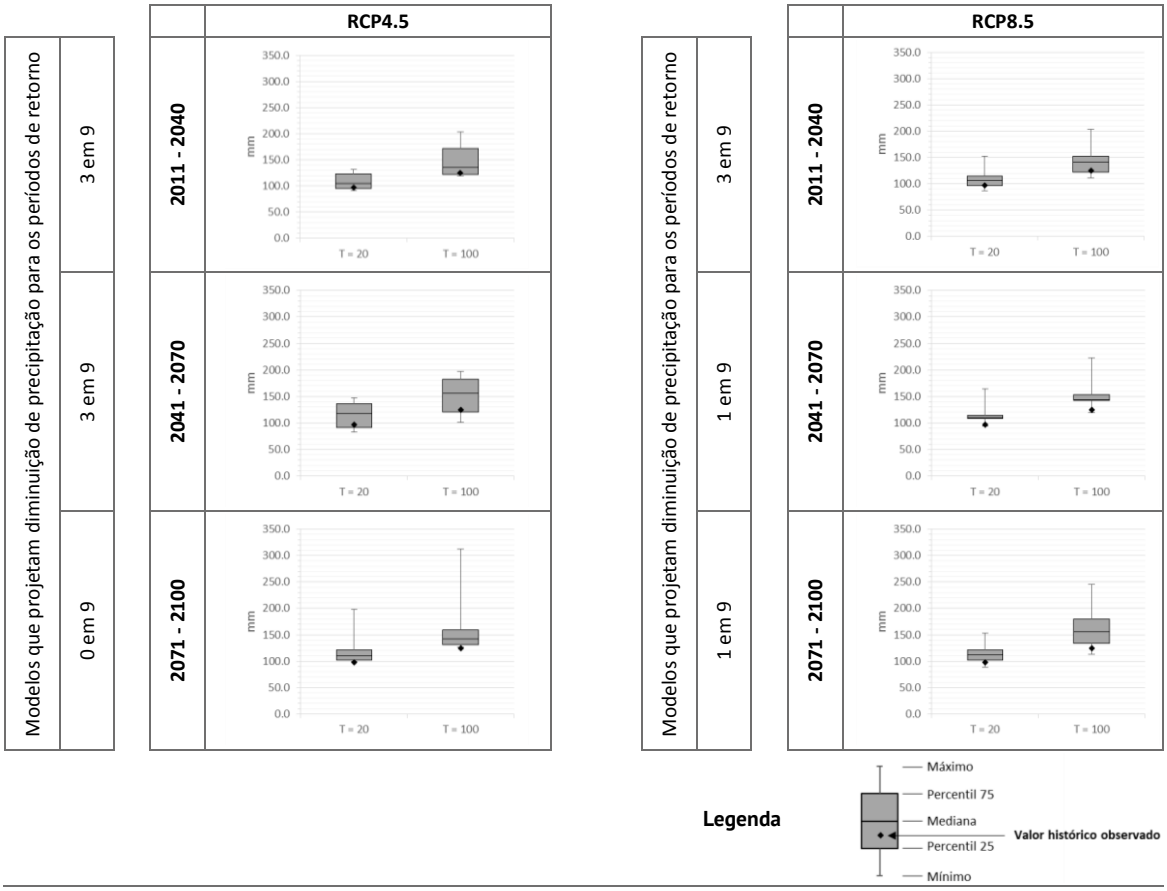


Tabela 10 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica da Barragem da Bravura

3. Barragem do Arade (30G/03C)

		1959-2005	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	85,6	104,2	96,7	106,5	99,1	100,9	106,9
	Alteração em %	-	21,7	12,9	24,4	15,8	17,9	24,9
Período de retorno de **100 anos**	mm	109,6	136,5	125,1	137,9	132,0	133,4	143,4
	Alteração em %	-	24,6	14,1	25,9	20,5	21,8	30,9

Tabela 11 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica da Barragem do Arade para o histórico observado (1959-2005) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

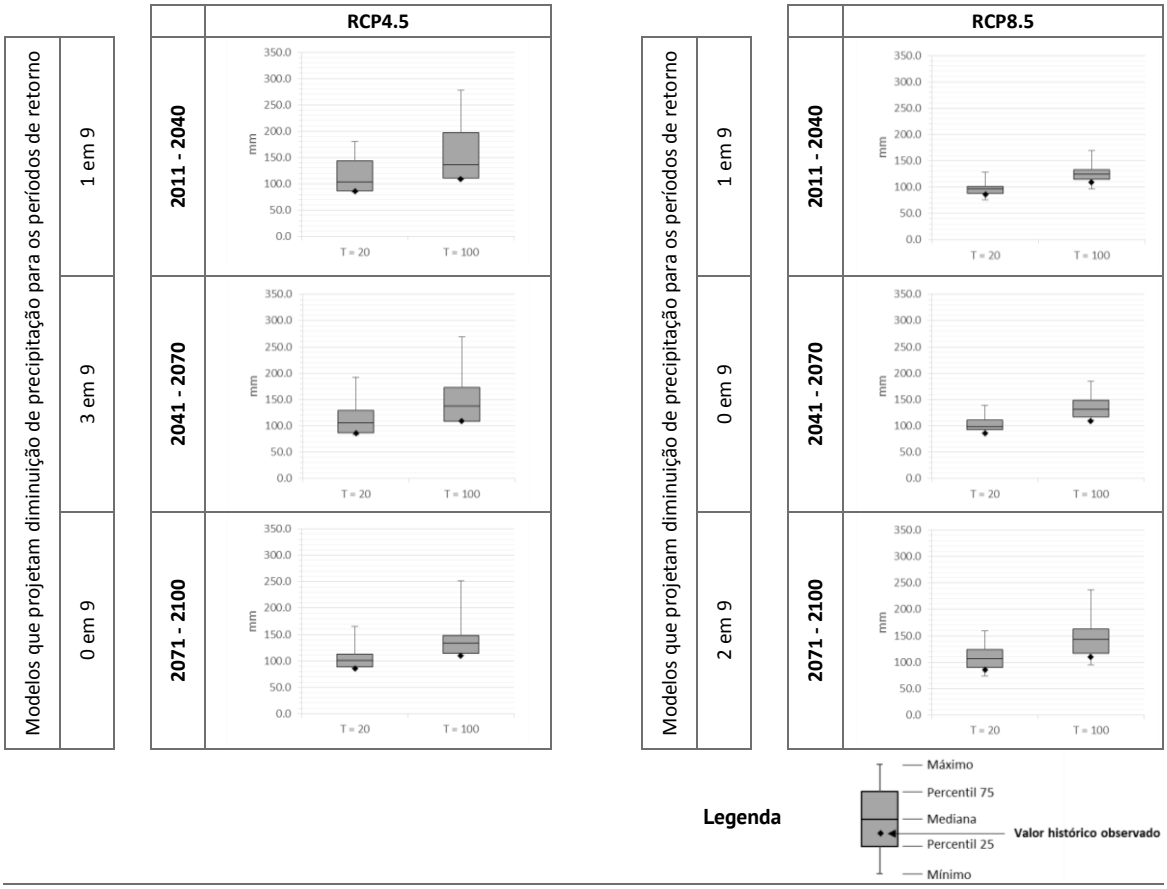


Tabela 12 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica da Barragem do Arade

Para a estação meteorológica da Barragem do Arade, as percentagens de aumento da precipitação associada aos períodos de retorno considerados, são sempre superiores a 12%, sendo que para o final do século, no cenário RCP8.5 projeta-se um aumento de 30,9% desta variável, associada a um período de retorno de 100 anos. Adicionalmente, a precipitação projetada para um período de retorno de 20 anos aproxima-se, em alguns intervalos, da precipitação observada atualmente para o período de retorno de 100 anos (Tabela 11).

As incertezas associadas aos modelos são relativamente baixas, sendo a única exceção no período 2041-2070 para cenário RCP4.5, onde três modelos (em nove) não apresentam aumentos na precipitação associada aos períodos de retorno (Tabela 12).

4. Faro-Aeroporto (31J/02)

		1975-2011	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	106,8	127,2	125,7	131,0	126,0	121,3	135,7
	Alteração em %	-	19,2	17,8	22,7	18,0	13,6	27,1
Período de retorno de **100 anos**	mm	142,4	172,9	173,1	184,2	171,3	163,0	211,6
	Alteração em %	-	21,4	21,5	29,3	20,3	14,5	48,6

Tabela 13 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica de Faro-Aeroporto para o histórico observado (1975-2011) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

Relativamente à estação meteorológica de Faro-Aeroporto, as projeções indicam um aumento do valor da precipitação que varia entre 14,5% e 48,6% (no cenário RCP4.5 e RCP8.5, respetivamente) para o final do século e associado a um período de retorno de 100 anos. Para este período de retorno, quase todos os cenários projetam aumentos superiores a 20% para todos os períodos, exceto o RCP4.5 para o final do século (Tabela 13). Para o período de retorno de 20 anos, observa-se que os aumentos são maiores no meio do século (para o cenário RCP4.5) e no final do século (para o cenário RCP8.5), sendo que a precipitação deste último período aproxima-se da precipitação observada atualmente do período de retorno de 100 anos.

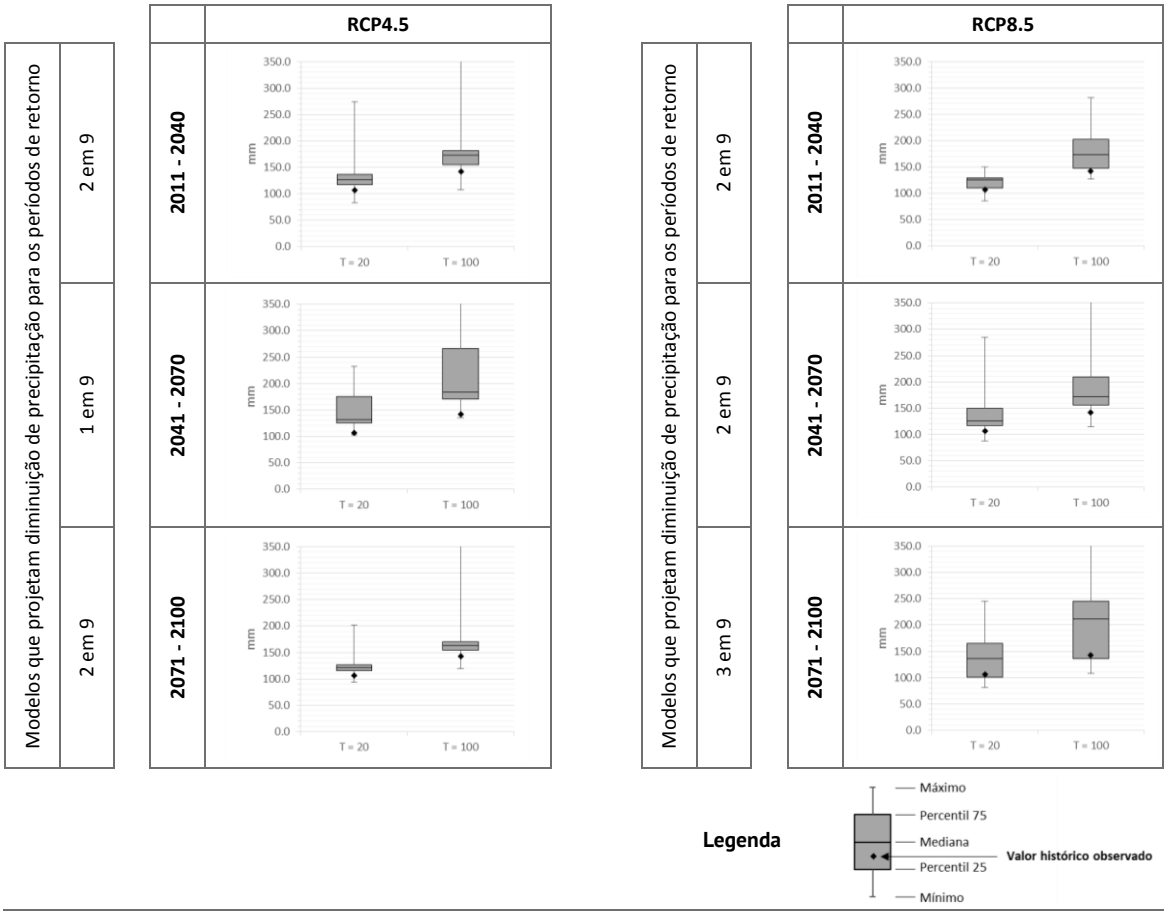


Tabela 14 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica de Faro-Aeroporto

No que diz respeito às incertezas, deteta-se que esta é superior no período de final do século, no cenário RCP8.5, onde três modelos (em nove) não indicam aumento na precipitação associada aos períodos de retorno (Tabela 14).

5. Marmelete (30E/02UG)

		1960-1999	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	110,7	137,8	134,1	145,6	128,7	139,1	125,2
	Alteração em %	-	24,5	21,1	31,6	16,3	25,7	13,1
Período de retorno de **100 anos**	mm	142,5	179,7	180,3	193,3	171,5	184,2	184,7
	Alteração em %	-	26,1	26,5	35,7	20,3	29,2	29,6

Tabela 15 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica de Marmelete para o histórico observado (1960-1999) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

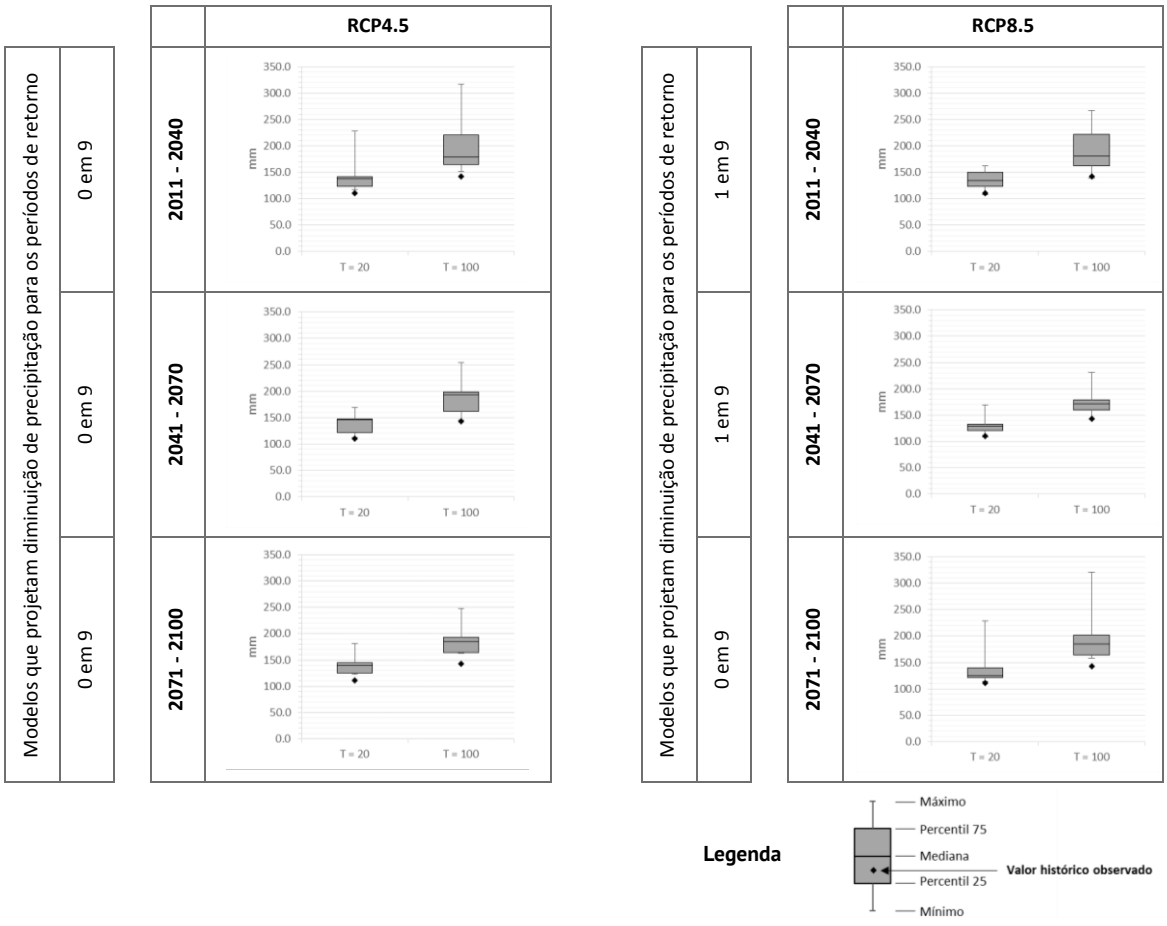


Tabela 16 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica de Marmelete

Para a estação meteorológica de Marmelete, os valores projetados traduzem-se num aumento dos valores da precipitação que variam, para o período de retorno de 20 anos, entre os 13% e os 31%, sendo neste último caso o valor projetado superior ao valor observado atualmente para um período de retorno de 100 anos. Para o período de retorno de 100 anos, os valores desta variável aumentam entre 20% e 35,7%, sendo este projetado no cenário RPC4.5 para o meio do século (Tabela 15).

As incertezas nesta estação meteorológica são relativamente baixas, uma vez que todos os modelos analisados indicam o aumento da precipitação associada aos períodos de retorno estudados para todos os cenários e períodos, com exceção dos períodos 2011-2040 e 2041-2070 no cenário RCP8.5, onde um modelo (em nove) não indica este aumento (Tabela 16).

6. Monchique (30F/01C)

		1969-1998	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	179,2	227,0	187,4	202,1	174,5	192,6	172,3
	Alteração em %	-	26,7	4,6	12,8	-2,6	7,5	-3,8
Período de retorno de **100 anos**	mm	237,0	313,7	247,6	265,9	248,5	253,0	251,3
	Alteração em %	-	32,4	4,5	12,2	4,9	6,8	6,0

Tabela 17 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica de Monchique para o histórico observado (1969-1998) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

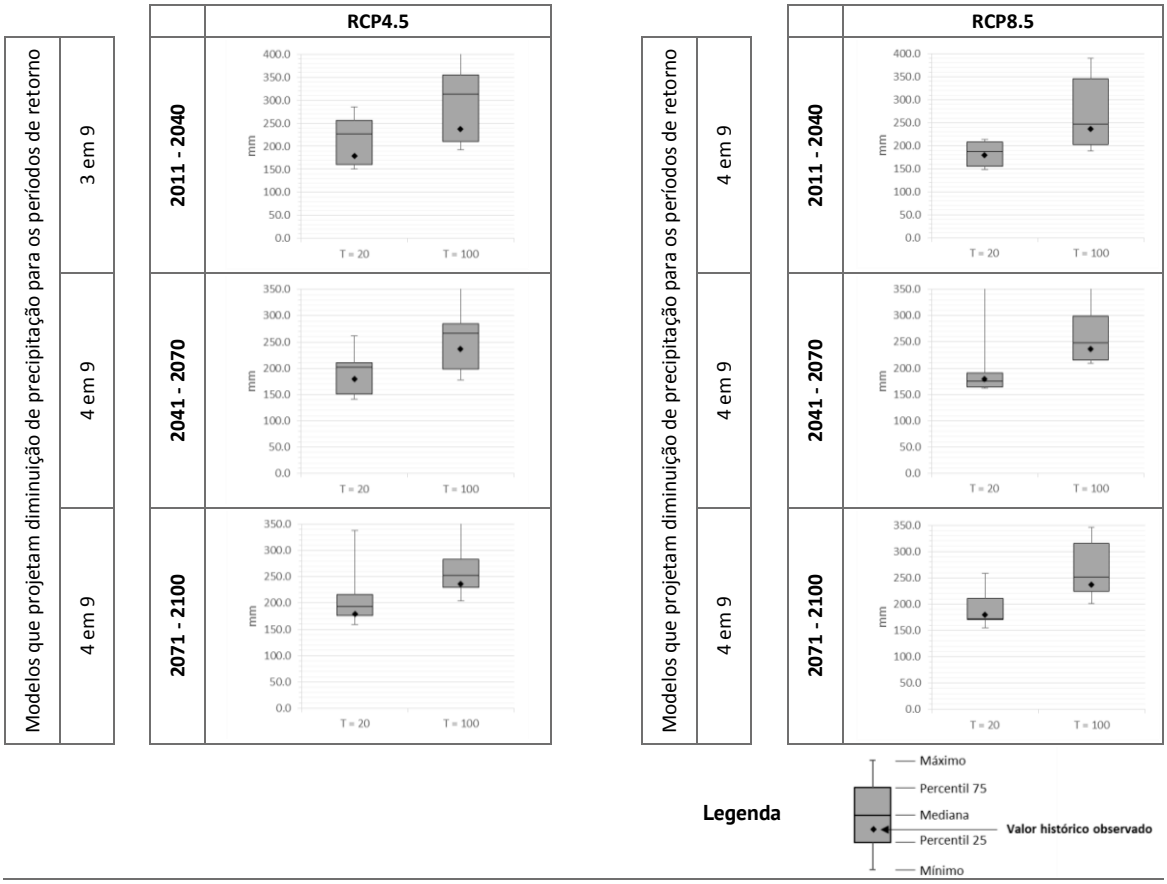


Tabela 18 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica de Monchique

A precipitação associada aos períodos de retorno considerados na estação meteorológica de Monchique, apresenta um comportamento distinto das restantes estações, sendo que as projeções desta variável apontam para um aumento dos valores associados a ambos os períodos de retorno no início do século no RCP4.5. Nos restantes intervalos os aumentos são relativamente baixos (menores que 8%) existindo mesmo uma diminuição da precipitação no período de retorno de 20 anos para meados e final do século no RCP8.5 (Tabela 17). Contudo, é importante ressalvar que nesta estação meteorológica as incertezas são, no geral, superiores à incerteza das restantes estações. Esta incerteza mais elevada nesta estação meteorológica reflete-se pela existência de quatro modelos (em nove) que indicam a diminuição da precipitação associada aos períodos de retorno avaliados (válido para ambos os cenários e períodos, à exceção dos primeiro período no cenário RCP4.5 - Tabela 18).

7. São Bartolomeu de Messines (30H/03UG)

		1933-2002	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	104,5	134,6	113,3	123,6	124,3	118,6	130,8
	Alteração em %	-	28,8	8,4	18,3	18,9	13,4	25,2
Período de retorno de **100 anos**	mm	136,6	195,3	147,9	158,9	167,9	152,8	170,5
	Alteração em %	-	43,0	8,3	16,3	23,0	11,9	24,8

Tabela 19 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica de São Bartolomeu de Messines para o histórico observado (1933-2002) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

Na estação meteorológica de São Bartolomeu de Messines, as situações mais gravosas projetadas para a precipitação associada a um período de retorno de 100 anos, encontram-se no início do século para o cenário RCP4.5 e no final do século para o cenário RCP8.5. Os valores projetados para um período de retorno de 20 anos aproximam-se, em alguns intervalos, aos valores observados atualmente para o período de retorno de 100 anos. Tal como no caso do período de retorno de 100 anos, também este período de retorno apresenta as situações mais gravosas de aumento de precipitação projetada no período de início do século para o cenário RCP4.5 e no período de final do século para o cenário RCP8.5 (Tabela 19).

Relativamente às incertezas associadas aos modelos climáticos, observa-se na Tabela 20 que estas são superiores no cenário RCP8.5, principalmente no período de curto prazo (dois em nove modelos indicam diminuição na precipitação associada aos períodos de retorno avaliados). Contudo, no geral, as incertezas das projeções para esta estação meteorológica são baixas.

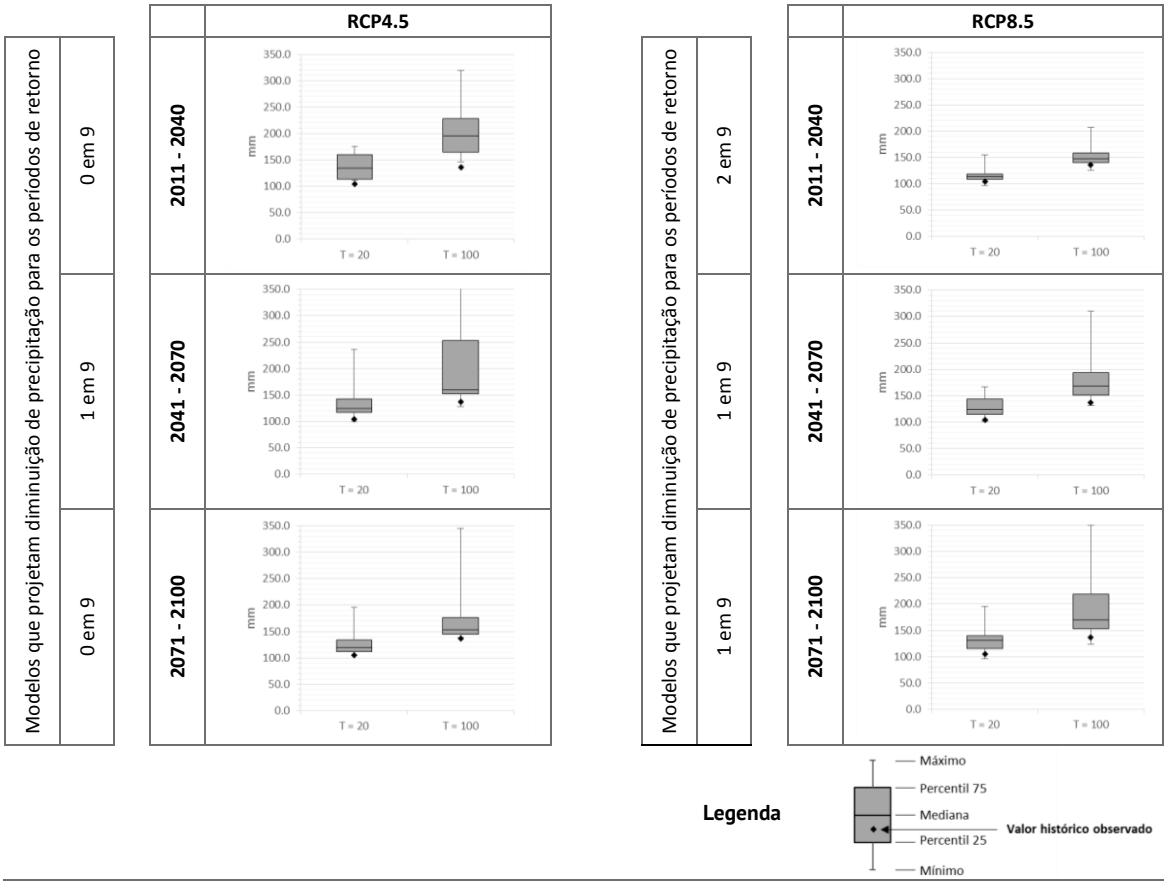


Tabela 20 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica de São Bartolomeu de Messines

8. São Brás de Alportel (31J/01C)

		1955-2002	2011-2040		2041-2070		2071-2100	
		Histórico	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Período de retorno de **20 anos**	mm	117,9	158,0	138,5	164,9	147,9	154,4	170,1
	Alteração em %	-	34,0	17,4	39,8	25,4	31,0	44,2
Período de retorno de **100 anos**	mm	147,8	206,7	178,1	215,4	190,3	200,4	245,9
	Alteração em %	-	39,9	20,5	45,7	28,7	35,6	66,4

Tabela 21 Períodos de retorno de 20 e 100 anos associados à estação meteorológica de São Brás de Alportel para o histórico observado (1955-2002) e valores projetados a curto (2011 – 2040), médio (2041 – 2070) e longo prazo (2071 – 2100) nos cenários RCP4.5 e RCP8.5

Genericamente, para a estação meteorológica de São Brás de Alportel, os valores projetados de precipitação associada ao período de retorno de 20 anos são superiores ao valor observado atualmente para o período de retorno de 100 anos. Os valores projetados para o período de retorno de 100 anos apresentam aumentos superiores a 20% para todos os cenários e intervalos considerados. É de notar que é nesta estação que se regista o maior aumento projetado no cenário RCP8.5 no final do século, com um valor de precipitação 66,4% superior ao valor observado (Tabela 21). Adicionalmente, as incertezas nas projeções para esta estação são baixas para ambos os cenários e para todos os períodos (Tabela 22).

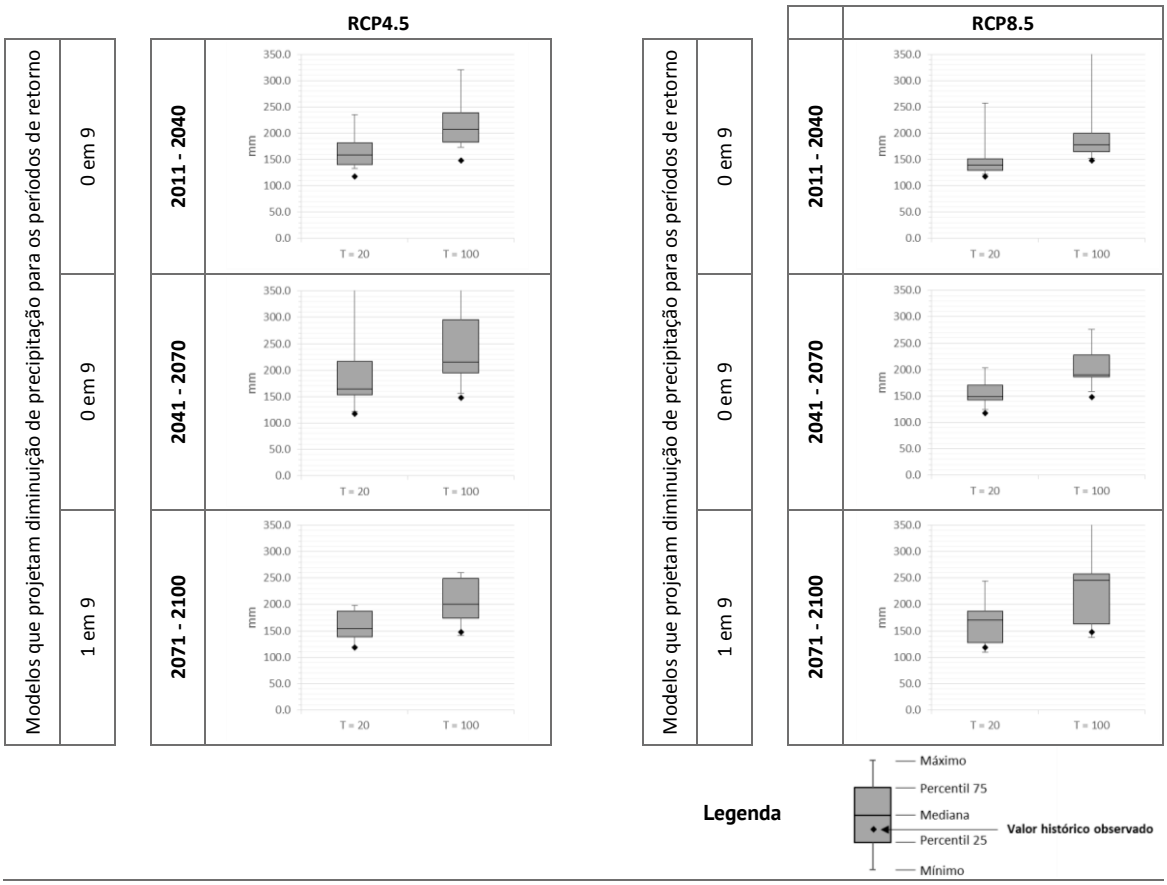


Tabela 22 Análise de incertezas associadas ao cálculo dos períodos de retorno em cenários de alterações climáticas para a estação meteorológica de São Brás de Alportel

De forma a otimizar o número de simulações necessárias para a obtenção das áreas inundáveis em cenários de alterações climáticas, foi efetuada uma seleção para cada período do cenário mais gravoso (i.e., aquele que apresenta maior intensidade de precipitação). Na Tabela 23 encontram-se indicadas quais as estações meteorológicas utilizadas no exercício de modelação, bem como o cenário mais gravoso (e utilizado) para cada período.

Bacia hidrográfica	Estação meteorológica	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Aljezur	Aljezur	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Marmelete	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Monchique	Monchique	RCP4.5	RCP4.5	RCP4.5
Funcho Arade	Barragem do Arade	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5
	S. Bartolomeu de Messines	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5
Odelouca e Silves	Faro Aeroporto	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5
	Monchique	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5
Lagos	Barragem da Bravura	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Vale de Lobo e Faro	Faro Aeroporto	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5
Tavira	S. Brás de Alportel	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5

Tabela 23 Resumo dos cenários RCP utilizados para cada estação em cada período

Tratamento dos dados cartográficos de base

O software utilizado, à semelhança de outros modelos hidrológicos, requer que o modelo digital de terreno não tenha depressões, ou seja, que cada ponto da malha computacional consiga drenar, por gravidade, a um dos seus oito pontos adjacentes. Existem diferentes técnicas de remoção de depressões de modelos digitais de terreno (Jones, 2002; Liu et al., 2009). A interface gráfica utilizada para o processamento dos dados, simulação e processamento de resultados, MOHID Studio, integra os algoritmos de "sink filling", "pit removal" e uma combinação híbrida entre as duas. No caso do presente estudo foi utilizado um algoritmo iterativo para remover as depressões, dando prioridade ao "pit removal". Esta técnica apresenta geralmente uma menor alteração do modelo digital de terreno original.

Através do modelo digital de terreno (sem depressões) é possível derivar outros dados hidrológicos, nomeadamente as linhas de água, a delimitação da bacia hidrográfica e o declive do terreno.

O processo de geração das linhas de água pode ser controlado através de um parâmetro que define uma área drenada mínima a partir de qual se formam linhas de água. No âmbito do presente estudo, escolheu-se geralmente uma área de 10 hectares (com exceção de Monchique onde foi utilizada uma área de 5 hectares). Este valor corresponde aproximadamente à área drenada a partir da qual são desenhadas as linhas de água nas cartas militares 1:25 000.

A delimitação das bacias hidrográficas tem múltiplos objetivos, entre os quais:

- avaliar quais os postos udométricos dentro (ou perto) de cada bacia;
- saber a área e o cumprimento da linha da água principal para calcular o tempo de concentração através de fórmulas empíricas.

Os dados de base para a delimitação das bacias hidrográficas consistiram no modelo digital do terreno DEMROUTE da APA (APA, 2014b).

A modelação hidráulica é realizada com modelos bidimensionais de alta resolução (MOHID Land e MOHID Water), usando como condições de fronteira os caudais afluentes, descritos nas alíneas anteriores, e a influência de maré, onde pertinente.

No âmbito do presente Plano usaram-se malhas computacionais de alta resolução, de forma a determinar, com o maior rigor possível, as zonas inundáveis e os respetivos níveis de cheia.

Os processos simulados nas zonas críticas são semelhantes aos das bacias hidrográficas, sendo os escoamentos nas planícies de inundação e estuários simulados em 2D, utilizando as equações de Saint Venant. Nos estuários, a resistência do fundo (atrito) foi considerada constante.

As inundações são fortemente condicionadas pelas condições topográficas do local e, consequentemente, a modelação numérica requer informação topográfica com rigor adequado. Este processo requer uma análise cuidada, tendo sido utilizada sempre a melhor informação disponível. Este aspeto é particularmente relevante, uma vez que é necessária a interpolação dos dados de base para uma malha computacional e que a combinação de diferentes tipos de informação com resolução e formato distintos obriga a cuidados adicionais na sua sobreposição.

As fontes de dados utilizadas para a definição das condições topográficas consistiram:

- LIDAR – Resolução de 2m, dados com resolução superior à resolução das malhas computacionais; somente disponíveis em algumas zonas; não contemplam o fundo dos rios;
- DTM (DEMBASE / DEMROUTE) - Resolução de 25 m;
- Dados de base 1:10.000 disponibilizados pela CI-AMAL - compostos por curvas de níveis e pontos cotados; têm uma densidade variável no espaço;
- NASA - resolução de 30 m (versão de Setembro de 2014).

A informação topográfica (exceto o LIDAR) apresenta normalmente uma resolução menor do que as malhas computacionais utilizadas para a simulação, pelo que os dados têm de ser interpolados para gerar malhas mais finas. Existem vários métodos para interpolar os dados de base para as malhas computacionais, como por exemplo IDW (*Inverse Distance Weighting*), triangulação e *kriging*. Para os dados de base 1:10 000, verifica-se que as zonas de inundação, por serem planas, têm baixa densidade de curvas de nível e os pontos cotados são geralmente bastante espaçados. Naturalmente, os diferentes métodos de interpolação geram modelos digitais de terreno com formas ligeiramente diferentes, sendo que, em geral, o método do ArcGIS *TopoToRaster* (desenvolvido especificamente para utilizar curvas de nível e pontos cotados) é o que gera superfícies mais suaves.

Nas zonas onde os dados topográficos não representavam toda a secção da linha de água (designadamente o leito menor devido à falta de definição batimétrica), para a caracterização do leito menor foi assumida uma secção tipo, cujas dimensões foram estimadas tendo por base a observação de imagens das zonas de estudo, e implementada utilizando as ferramentas de "burn-in" do MOHID Studio. Esta ferramenta permite a delineação da linha de água no modelo digital de terreno.

Foram realizadas análises de sensibilidade, verificando-se que esta adição não altera significativamente os resultados, uma vez que, para os períodos de retorno simulados, a altura máxima de escoamento extravasa consideravelmente a secção do leito menor, representando esta parte da secção um pequeno contributo para a capacidade de vazão da secção total.

Em cada local de estudo, foram integradas as várias fontes de dados topográficos e métodos de interpolação, com o objetivo de descrever as planícies de inundação com o maior detalhe possível (Tabela 24).

Zona Crítica	Dimensão da célula do modelo (m)	Nº células de cálculo	Origem de dados topográficos	Método de Interpolação
Aljezur (ribeira de Aljezur)	5x5	600x600	Cartas 1:10000	TopoToRaster ArcGIS
Faro (rio Seco/sistema da Ria Formosa)	5x5	800x1300	Cartas 1:10000	TopoToRaster ArcGIS
Monchique (ribeira de Monchique)	2x2	750x400	Cartas 1:10000	TopoToRaster ArcGIS
Lagoa, Portimão e Silves (rio Arade)	10x10	1200x550	Lidar (0,5m + 2m) + batimetria IPTM + dados IH fronteira + APA DEMROUTE	Vários
Tavira (rio Gilão)	5x5	680x580	Lidar (50cm) + Cartas 1: 10 000 + Levantamentos batimétricos POLIS	TopoToRaster ArcGIS
Lagos (ribeira de Bensafrim)	10x10	370x350	Cartas 1:10000	TopoToRaster ArcGIS
Loulé (ribeira de Carcavai)	5x5	550x340	Cartas 1:10000	TopoToRaster ArcGIS

Tabela 24 Resumo das malhas computacionais e modelos digitais de terreno dos modelos hidráulicos

Nos modelos hidráulicos são impostos, como condição de fronteira, caudais afluentes em forma de hidrogramas e cota de maré onde esta tem influência (Aljezur, Faro, Tavira, Lagos, Loulé e Portimão/Lagoa).

É importante referir que os modelos MOHID são de regime variável. Assim, apesar de ser possível impor-se um caudal constante ao longo do tempo, optou-se por impor um hidrograma esquemático para representar a subida da cheia com diferentes caudais e velocidades de escoamento.

No caso das zonas críticas com influência de maré, para a cota imposta a jusante, foi utilizado o valor médio das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia) – PMAV, corrigida da diferença entre referenciais cartográfico e marítimo. Os valores de PMAV têm a vantagem de representar máximos com probabilidade de ocorrência significativa (ocorrem marés

vivas a cada 15 dias). As tabelas do Instituto Hidrográfico (IH, 2015), utilizados no âmbito do presente estudo, apresentam valores de PMAV para as zonas estudadas, incluindo as correções em altura a aplicar em cada zona. Acrescentou-se ainda a sobrelevação (que representa os efeitos da pressão atmosférica, do vento e das ondas) com o valor de 0,42 m representativos da Costa do Algarve (IH, 2015). Os valores referentes à cota de maré que foi imposta para cada zona de estudo podem ser consultados na Tabela 25.

Zona de estudo	Cota de maré imposta (metros)
Ribeira de Aljezur	1,38
Rio Gilão, Tavira	1,72
Rio Seco/Ria Formosa, Faro	1,77
Rio Arade, Lagoa, Portimão e Silves	1,80
Ribeira de Bensafrim, Lagos	1,80
Ribeira de Carcavai, Loulé	1,77

Tabela 25 Definição das condições de fronteira de maré dos modelos hidráulicos

É ainda importante referir que, com o intuito de permitir uma melhor visualização dos resultados, as alturas de coluna de água calculadas são apenas representadas quando maiores que 5 cm, considerando-se esse o limite para considerar uma zona como inundável.

3.

Vulnerabilidade Atual

3.1 IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS NÃO CLIMÁTICOS

A região do Algarve tem sido recorrentemente assolada por inundações de origem fluvial, sendo estas ampliadas quando coincidentes com a preia-mar de marés vivas, como aconteceu no dia 12 de fevereiro de 2017 em Tavira (Figura 11). O Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH8 (APA, 2015), identifica a zona de Tavira e Faro como sendo zonas críticas devido a inundações de origem fluvial e estuarina, identificando ainda as zonas de Aljezur, Monchique e Silves, como zonas críticas devido a inundações de origem exclusivamente fluvial (Tabela 26).

Figura 11 Inundação em Tavira junto ao rio Gilão no dia 12/02/2017. Fonte RTP

Zonas críticas	Nº de ocorrências com impacto negativo ou prejuízos	Perdas de vidas humanas ou desaparecidas	Pessoas afetadas, evacuados ou desalojados	Origem das inundações	Cobertura pelo SVARH	Observações relevantes (mecanismos)
Aljezur	5/6	1	15	Fluvial	Sim	Naturais
Tavira	5/12	1	93	Fluvial e estuarina	Sim	Naturais
Monchique	1/1	0*	35	Fluvial	Sim	Naturais
Faro	8/3	3	16	Fluvial e estuarina	Sim	Naturais
Silves	11/3	1	119	Fluvial	Sim	Naturais condicionadas, atualmente, pela exploração de albufeiras

Legenda: Vermelho RISKam; Azul SNIRH; * Avultados prejuízos ambientais com alterações significativas de leitos e margens

Tabela 26 Resumo da informação das Zonas Críticas do PGRI RH8. Fonte: APA (2015)

Pelos registos históricos presentes na comunicação social, referentes unicamente a inundações de origem estuarina, foi possível apurar que as zonas de Tavira e de Portimão são anualmente

afetadas em épocas de marés vivas equinociais, devido ao transbordo dos rios Gilão e Arade, respetivamente.

Os principais impactos não climáticos que potenciam as inundações, tanto pluviais como costeiras, estão fortemente relacionadas com a ocupação urbana em zonas de risco e a impermeabilização dos solos em zonas urbanas.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS CLIMÁTICOS

3.2.1 INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM AMBIENTE ESTUARINO

Para a caracterização do estado atual relativamente a inundações costeiras, foi utilizado o ano de 2011 como cenário de referência, no que se refere ao NMM e à morfologia dos estuários. A análise foi feita para o caso de eventos extremos, descritos anteriormente, considerando assim uma elevação da superfície livre do mar para 2 m acima do NMM, o que corresponde a marés vivas e sobrelevação meteorológica, tendo-se apurado as áreas potencialmente inundáveis.

Nas Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18, estão apresentadas as linhas de nível zero (a verde)[4] e dois metros (a laranja) acima do NMM, nas zonas modeladas para cada uma das áreas de estudo. A linha dos 2 m corresponde à área potencialmente inundada devido ao forçamento marítimo.

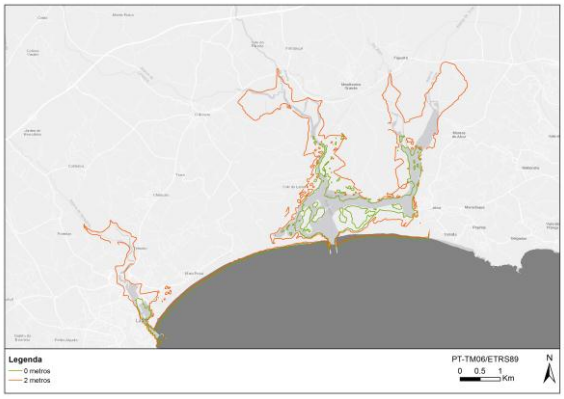


Figura 12 Linhas de cota de zero e dois metros no cenário de referência para Alvor e Bensafrim

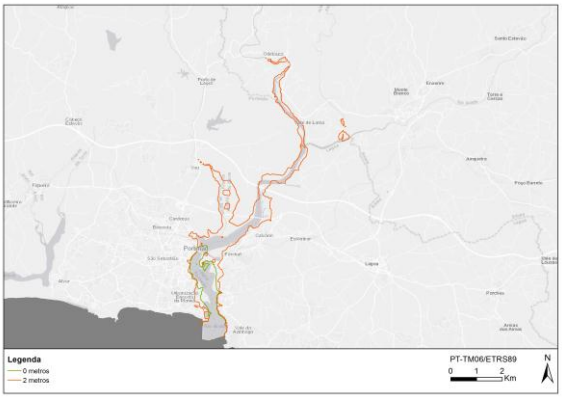


Figura 13 Linhas de cota de zero e dois metros no cenário de referência no rio Arade

[4] Para a Alcantarilha não foi possível delimitar a cota de zero metros, tendo-se procedido à identificação da linha de cota de um metro.

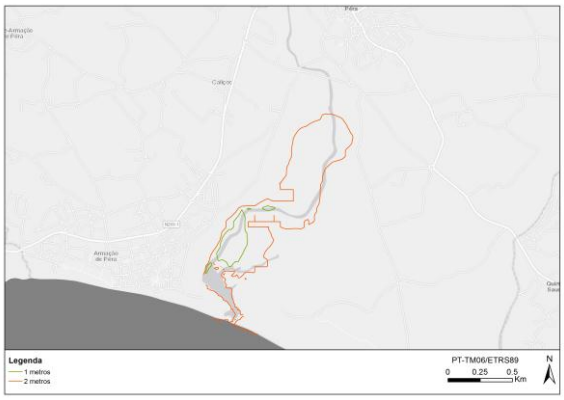


Figura 14 Linhas de cota de um e dois metros no cenário de referência em Alcantarilha

Figura 15 Linhas de cota de zero e dois metros no cenário de referência em Quarteira

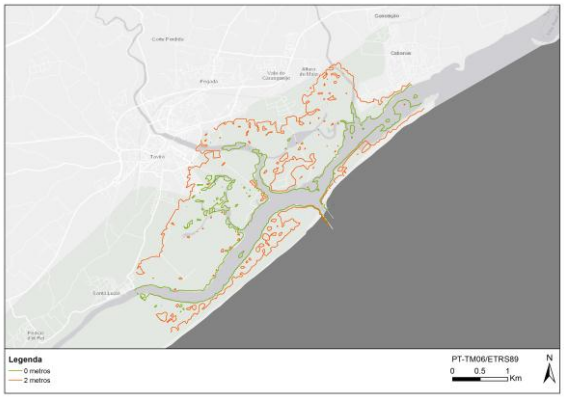


Figura 16 Linhas de cota de zero e dois metros no cenário de referência na zona modelada do rio Gilão

Figura 17 Linhas de cota de zero e dois metros no cenário de referência no estuário do Guadiana

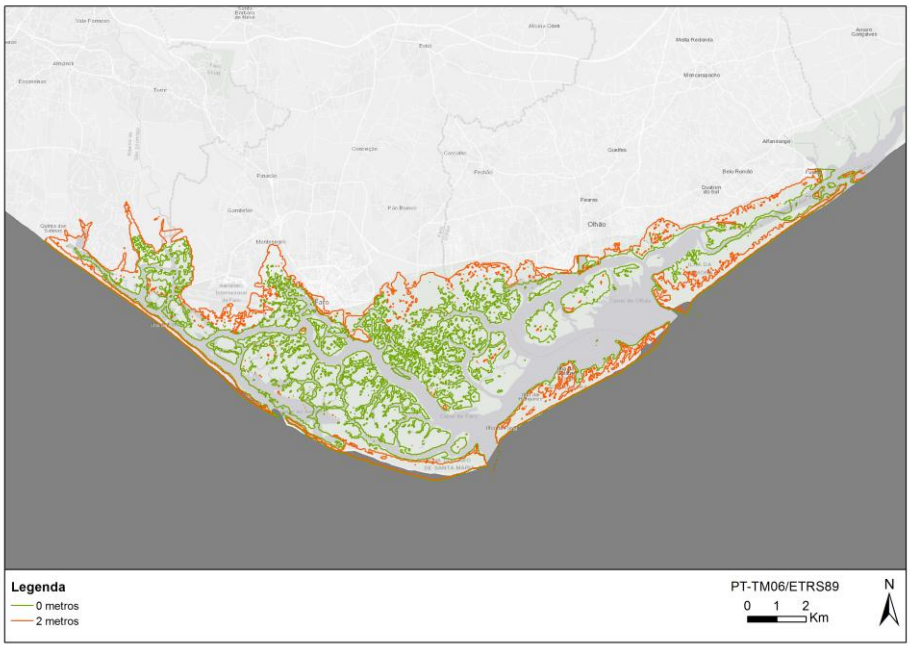


Figura 18 Linhas de cota de zero e dois metros no cenário de referência na Ria Formosa

3.2.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

A modelação hidráulica para cheias e inundações de origem pluvial, anteriormente descrita, permitiu a delimitação das zonas de inundação para as áreas de estudo selecionadas, considerando a precipitação associada aos períodos de retorno de 20 e 100 anos relativos à precipitação observada. Desta análise resultaram ainda informações da altura máxima da coluna de água e da velocidade máxima do escoamento nas áreas inundáveis associadas aos períodos de retorno estudados.

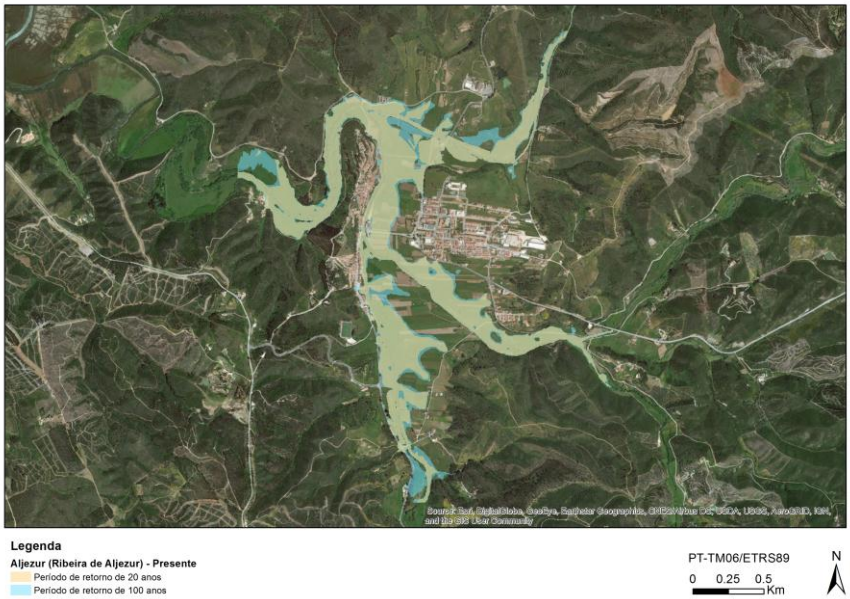


Figura 19 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na zona crítica da ribeira de Aljezur (presente)

Relativamente à ribeira de Aljezur, observa-se que, de uma forma geral, o padrão e dimensão das áreas inundadas pelos caudais de ponta associados aos dois períodos de retorno, são relativamente semelhantes, no que respeita a áreas com ocupação urbana. Na margem oeste da ribeira, localiza-se o núcleo mais antigo da vila de Aljezur, sendo a área onde as inundações poderão ter um maior impacto, verificando-se que estas afetam alguns edifícios localizados junto à margem. Também a ligação rodoviária entre o núcleo histórico e as áreas mais recentes de expansão de Aljezur pode ser comprometida, podendo ainda ser afetadas algumas habitações isoladas associadas a explorações agrícolas (Figura 19).

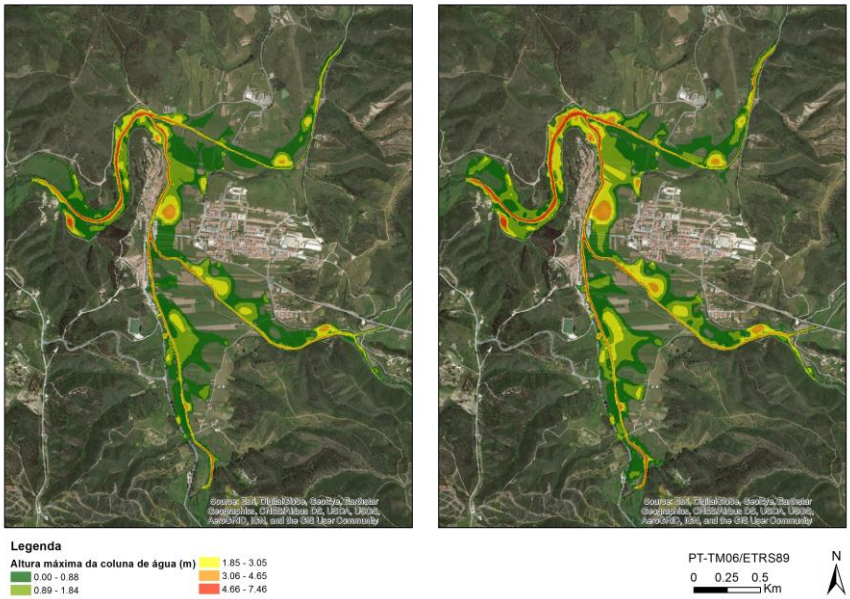


Figura 20 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica da ribeira de Aljezur (presente)

Como expectável, a extensão total das áreas inundáveis e a altura máxima da coluna de água da inundação, são superiores quando associadas ao período de retorno de 100 anos, comparativamente ao período de retorno de 20 anos. Esta diferença é particularmente visível nas áreas de aluvião ocupadas, na sua maioria, por usos não urbanos (Figura 20).

Figura 21 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na zona crítica do rio Gilão (presente)

Quanto ao rio Gilão, observa-se, em ambos os períodos de retorno, um elevado impacto na área urbana de Tavira, sendo afetados vários quarteirões associados a habitação, comércio e serviços, em ambas as margens do curso de água. Também atividades associadas ao turismo ou equipamentos públicos como a Câmara Municipal de Tavira ou o Arquivo Municipal, estão localizados em áreas expostas a inundações. Apesar de ser a jusante da zona urbana de Tavira onde a área inundável é maior, devido às características topografia, verifica-se que a inundação ocorre maioritariamente em zonas de salina, o que apresenta uma relevância relativamente baixa no que diz respeito à segurança de pessoas e bens (Figura 21).

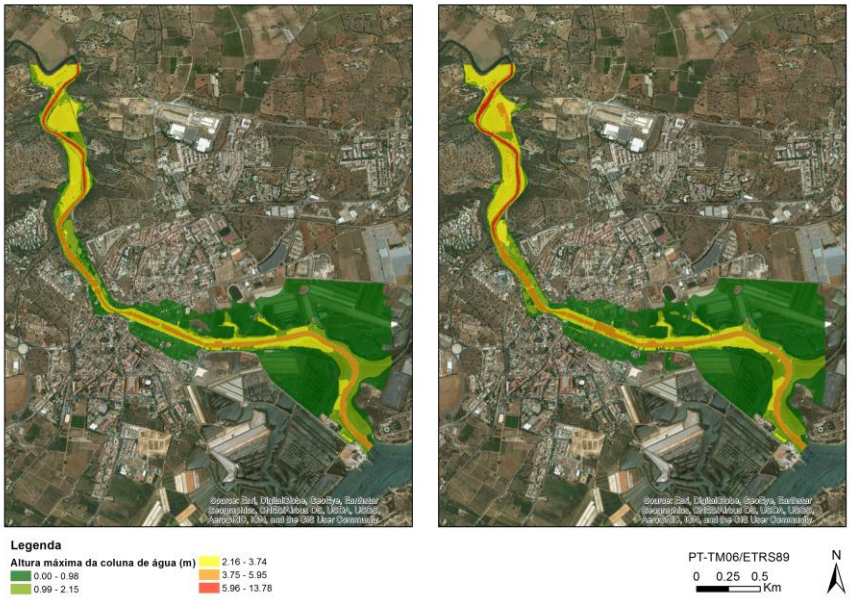


Figura 22 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica do rio Gilão (presente)

Observa-se ainda que os dois períodos de retorno analisados apresentam pequenas diferenças nas áreas inundadas, devido às características topográficas na zona de Tavira. No entanto, a altura da coluna de água é superior nas cheias e inundações associadas ao período de retorno de 100 anos (Figura 22).

Figura 23 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica da Ribeira de Monchique (presente)

Na ribeira de Monchique, as áreas inundáveis apresentam uma elevada expressão nas zonas com ocupação urbana localizadas junto à linha de água ou quando a ribeira se encontra encanada, sobre o canal da ribeira, sendo exemplo a área central de Monchique. Na área inundável em causa, localiza-se algum comércio e serviços que potencialmente serão afetados. É ainda de referir que a rede viária também poderá sofrer impactos como resultado de cheias e inundações (Figura 23).

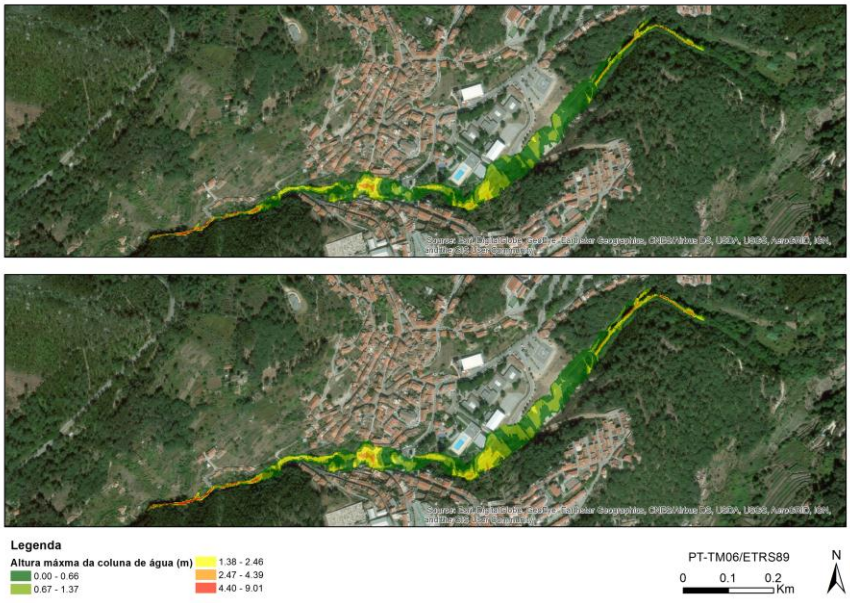


Figura 24 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica da ribeira de Aljezur (presente)

Devido à topografia da área, não se verificam diferenças elevadas na extensão das inundações com um período de retorno de 20 ou 100 anos, no entanto, a altura máxima da coluna de água é em algumas áreas, superior no período de retorno de 100 anos (Figura 24).

Figura 25 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na zona crítica do rio Seco / sistema da Ria Formosa (presente)

O rio Seco nasce perto de São Brás de Alportel e desagua na Ria Formosa, local onde a análise das áreas inundáveis foi conduzida, uma vez que é considerada uma zona crítica no Algarve (APA, 2015). Neste troço final do rio, verifica-se que é perto da foz onde a área inundável é maior, devido à interação dos caudais da linha de água com a Ria Formosa. Nesta área existem alguns elementos expostos nomeadamente uma estação de tratamento de águas residuais e infraestruturas ferroviárias (linha do Algarve). Na área a montante da foz, as inundações afetam maioritariamente zonas agrícolas ou de estufas, bem como infraestruturas rodoviárias. Identifica-se ainda a presença, embora com pouco significado, de atividades industriais, habitação ou comerciais nas zonas inundáveis. É de referir que a área compacta de Faro não é potencialmente afetada por cheias ou inundações com origem no rio Seco (Figura 25).

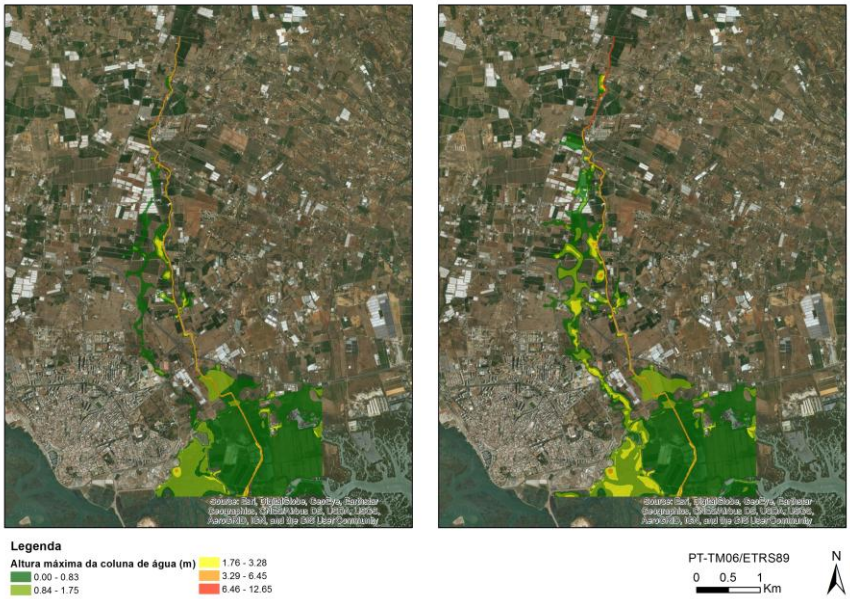


Figura 26 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica do rio Seco / sistema da Ria Formosa (presente)

Relativamente aos dois períodos de retorno analisados, observa-se que, nas áreas a montante e paralela a Faro, existe uma área inundável consideravelmente superior, associada ao período de retorno de 100 anos, comparativamente ao de 20 anos. Esta situação resulta das características topográficas da zona que promovem o espraio da inundação, em detrimento do aumento acentuado da altura máxima da colona de água (Figura 26).

Figura 27 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na zona crítica do rio Arade (presente)

O rio Arade nasce na serra do Caldeirão e desagua diretamente no oceano Atlântico, na zona de Portimão. Neste rio e atendendo à zona modelada com maior detalhe (entre Silves e Portimão/Lagoa), observa-se que a inundação associada à precipitação observada, ocorre maioritariamente em zonas de aluvião, onde predominam atividades agrícolas. A área urbana de Portimão encontra-se relativamente protegida de cheias e inundações com proveniência do rio, e origem em precipitação intensa. A situação é semelhante no município de Lagoa, embora existam edifícios localizados na zona da Mexilhoeira da Carregação, junto à Estrada Nacional 125, que poderão ser potencialmente afetados. Os maiores impactos em áreas urbanas fazem-se sentir em Silves (margem direita do rio Arade), nomeadamente na sua frente ribeirinha com consequências para a circulação na Estrada Nacional 124, bem como em edifícios ou quarteirões localizados junto à estrada (alguns dos edifícios encontram-se a uma cota mais baixa do que a EN124), onde se desenvolvem algumas atividades relacionadas com comércio, serviços ou habitação (Figura 27).

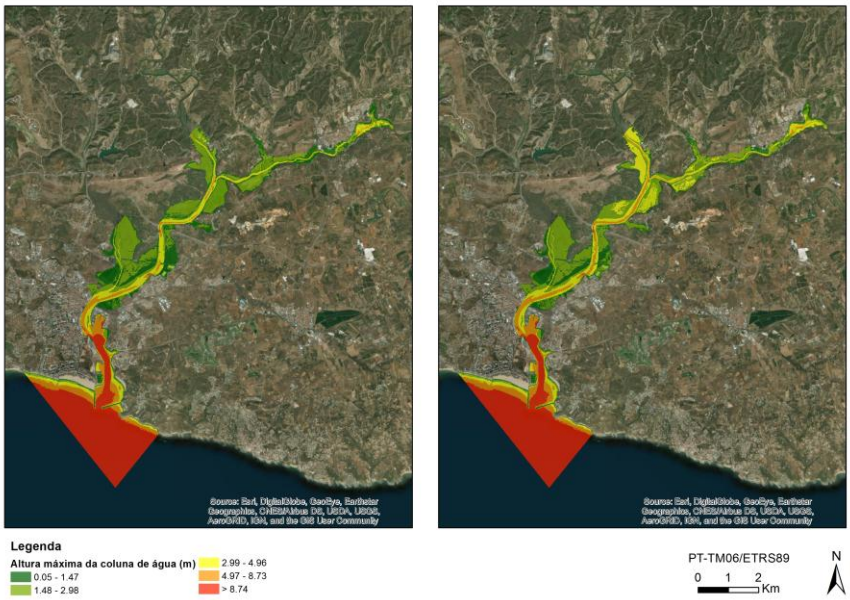


Figura 28 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica do rio Arade (presente)

No que diz respeito às áreas inundáveis para o presente, observa-se que as cheias com período de retorno de 20 anos e de 100 anos são bastante coincidentes em área, embora a altura máxima da coluna de água seja superior no segundo caso (Figura 28).

Figura 29 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na zona crítica da ribeira de Bensafrim (presente)

A ribeira de Bensafrim nasce na serra de Espinhaço do Cão, desaguando no oceano Atlântico, na zona de Lagos. A zona modelada com maior detalhe encontra-se junto desta cidade, sendo a área inundável um pouco superior no período de retorno de 100 anos comparativamente ao de 20 anos. Esta situação é mais visível e terá maior impacto potencial na margem esquerda da ribeira de Bensafrim, nas proximidades da estação de caminhos-de-ferro.

A montante da área urbana compacta de Lagos, encontram-se potencialmente expostos a inundações o Aeródromo da cidade, alguns edifícios de habitação localizados na Portela, algumas indústrias localizadas na urbanização industrial da Marateca e o Estado Municipal de Lagos (Figura 29).

Na área urbana mais compacta, podem-se identificar alguns equipamentos dentro das áreas potencialmente afetadas por cheias e inundações, principalmente, mas não exclusivamente na margem direita da ribeira de Bensafrim. São exemplo a Escola Básica Sophia de Mello Breyner Andresen, a Polícia Marítima, alguns Museus e atividades relacionadas, a Câmara Municipal de Lagos, bem como serviços associados à atividade turística. Neste contexto, é ainda de referir que a estação de Lagos da linha do Algarve, e vários edifícios ou quarteirões afetos a residência, comércio ou serviços também se encontram em áreas inundáveis (Figura 29).

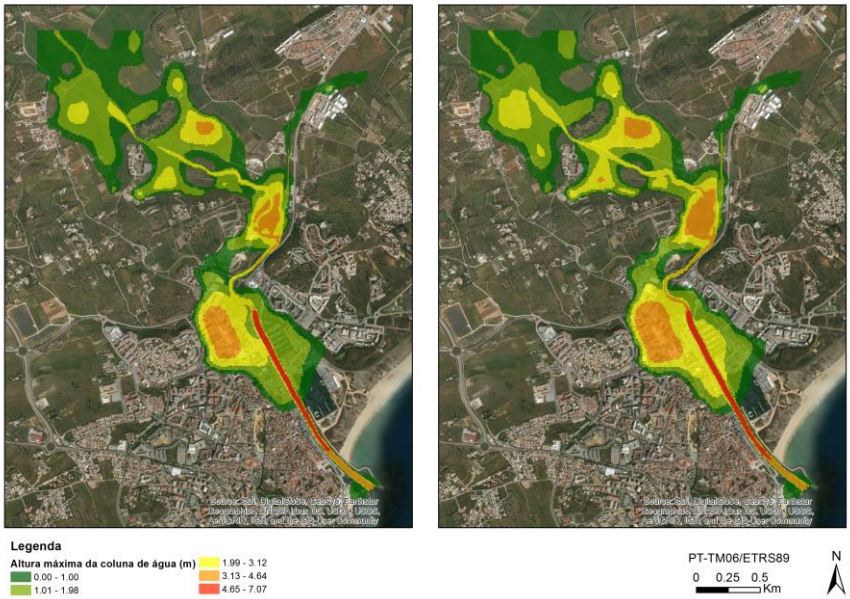


Figura 30 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica da ribeira de Bensafrim (presente)

Apesar da extensão das cheias referentes aos períodos de retorno de 20 e 100 anos não serem muito diferentes, verifica-se que a altura máxima da coluna de água é consideravelmente superior, quando é tido em conta a cheia centenária. Esta situação apresenta uma especial relevância na área urbana de Lagos (Figura 30).

Figura 31 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na zona crítica da ribeira de Carcavai (presente)

A ribeira de Carcavai desagua entre a Praia de Loulé Velho e a Praia do Trafal. As áreas inundáveis encontram-se sobretudo em território sem ocupação urbana. Contudo, podem ser potencialmente afetados edifícios localizados na zona este do Resort Villa Laranja, algumas habitações isoladas, o centro de jardinagem Fonte Santa, junto à estrada municipal 527-2 e o apoio de praia da Praia do Trafal (Figura 31).

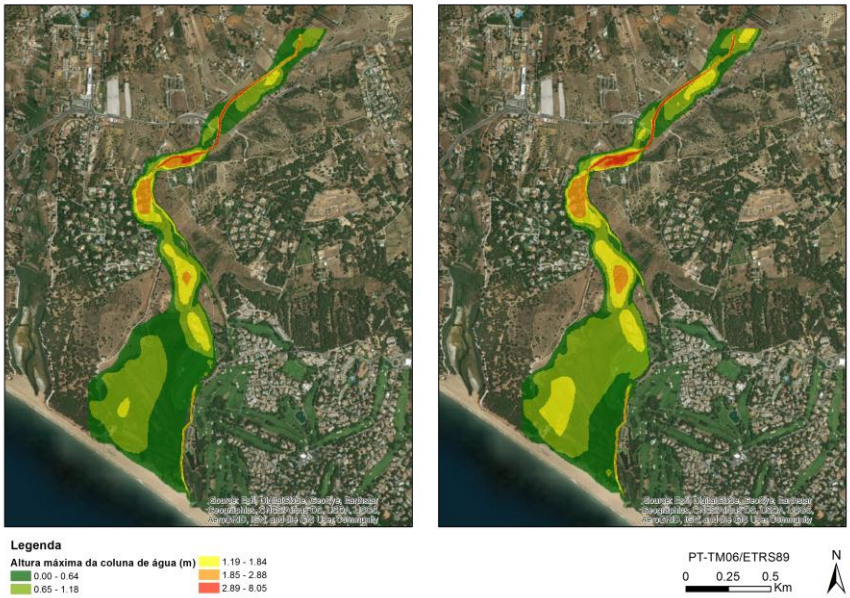


Figura 32 Altura máxima da coluna de água para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na zona crítica da ribeira de Carcavai (presente)

As áreas inundáveis para o período de retorno de 20 anos e para o período de retorno de 100 anos são semelhantes, embora a altura máxima da coluna de água seja superior no período de retorno menos frequente (Figura 32).

4.

Impactos e Vulnerabilidades Futuras no Algarve

4.1 INUNDAÇÕES COSTEIRAS EM AMBIENTE ESTUARINO

Algumas zonas das margens dos estuários na região do Algarve já se encontram expostas a inundações de origem estuarina em épocas de águas vivas equinociais. Com a projeção de subida do nível médio do mar, tanto a frequência de ocorrência como a magnitude destes eventos serão afetadas.

Através da modelação do balanço sedimentar, atrás descrita, obtiveram-se as projeções da morfologia estuarina para 2100. Na Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38 e Figura 39, estão representadas as morfologias dos estuários para o cenário futuro de 2100, e as linhas de nível de zero e dois metros para o cenário RCP8.5 (IPCC, 2013). Neste contexto, a linha de nível de 2 metros representa a inundação potencial em condições de regime extremo.

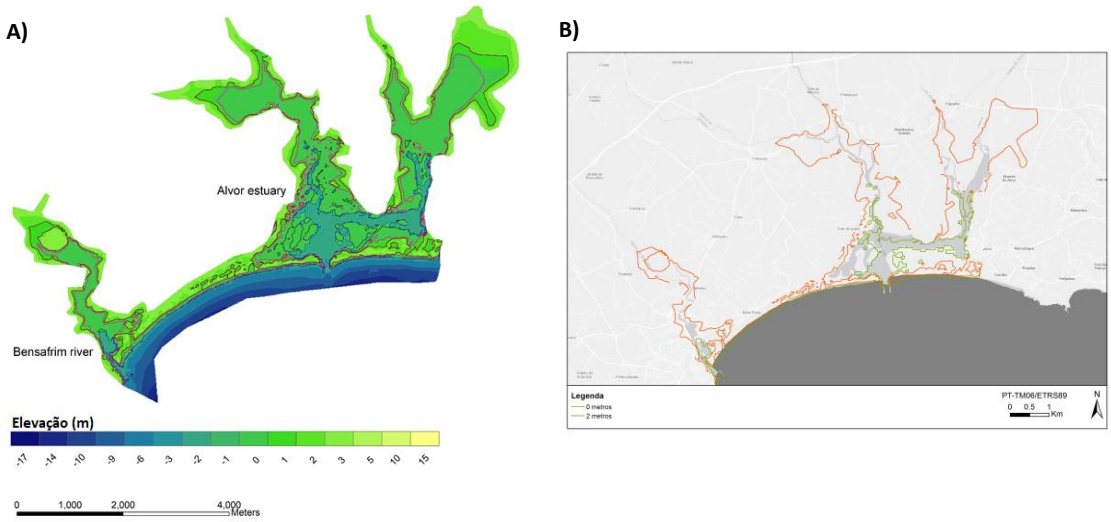


Figura 33 Ribeira de Bensafrim e na Ria de Alvor. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de zero e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)

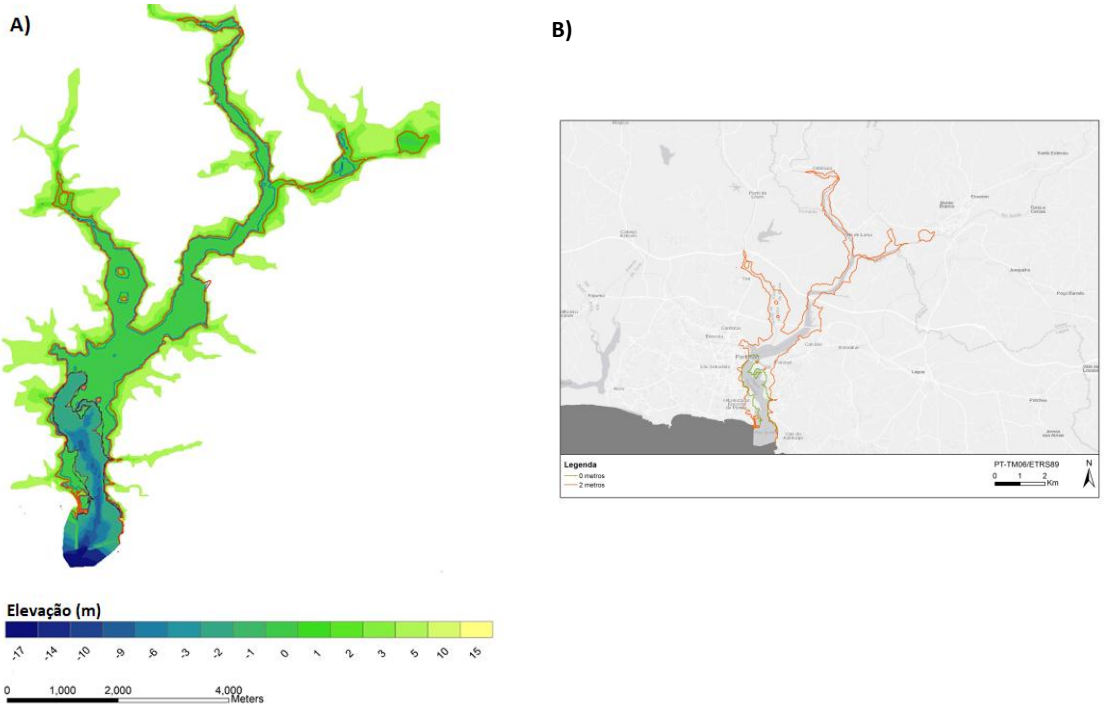


Figura 34 Rio Arade. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de zero e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)

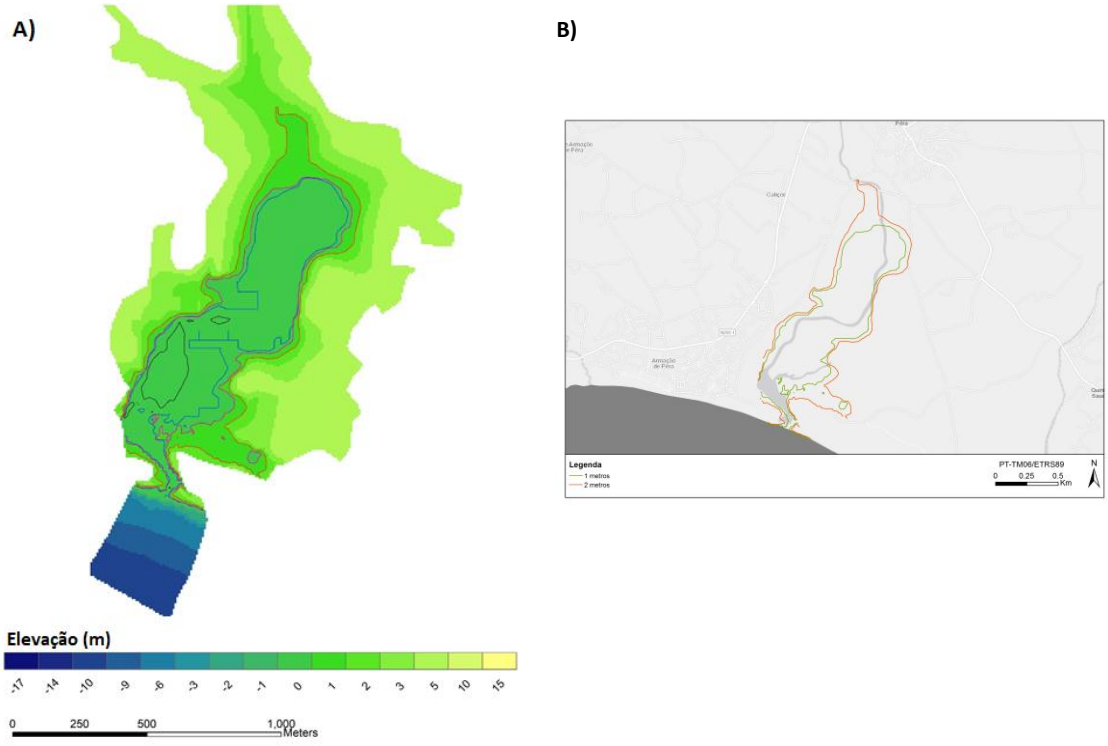


Figura 35 Ribeira de Alcantarilha. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de um e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)

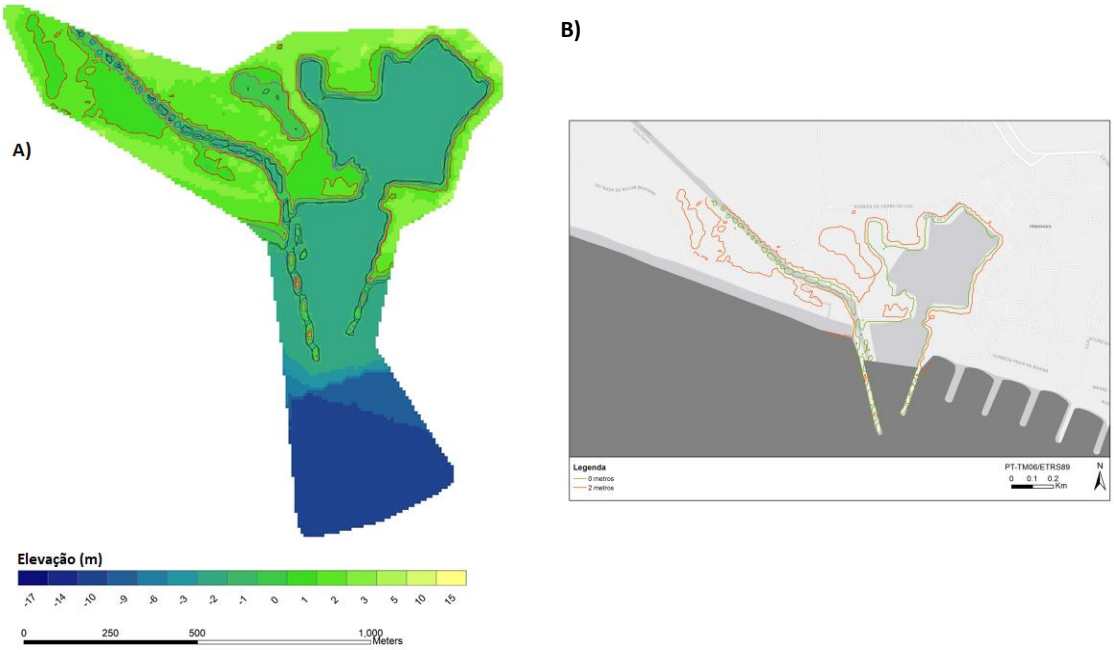
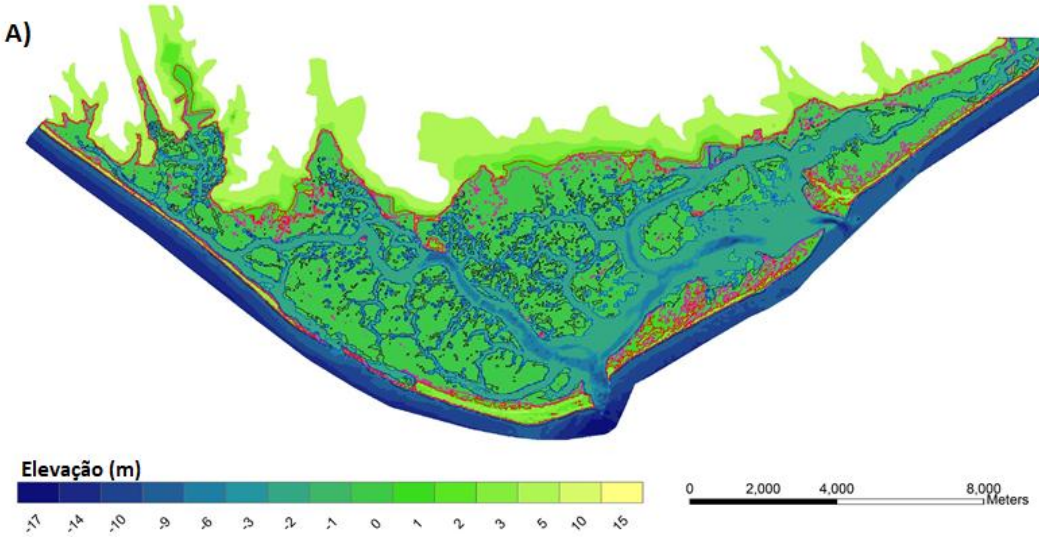


Figura 36 Ribeira de Quarteira. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de zero e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)



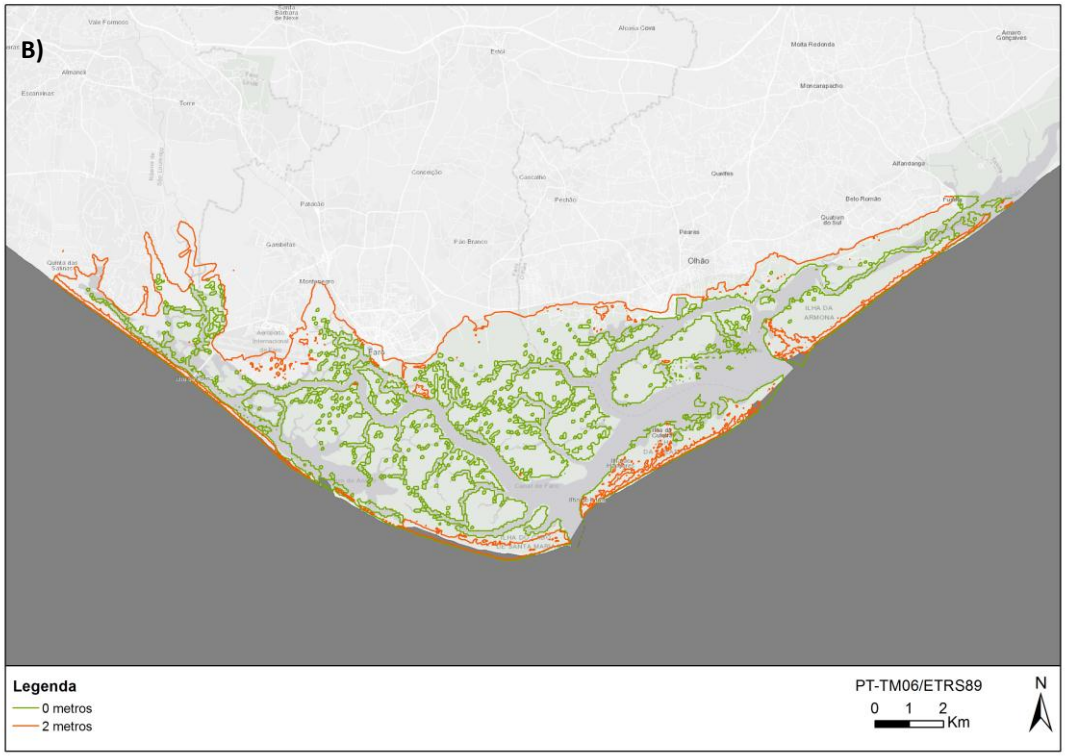


Figura 37 Ria Formosa. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de zero e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)

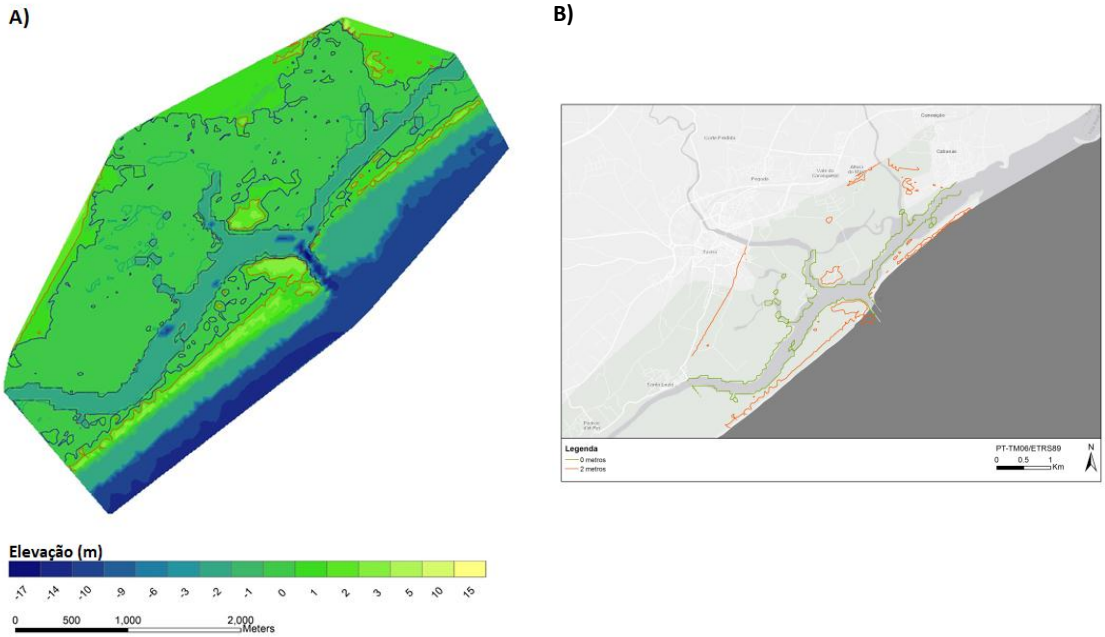


Figura 38 Rio Gilão. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de zero e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)

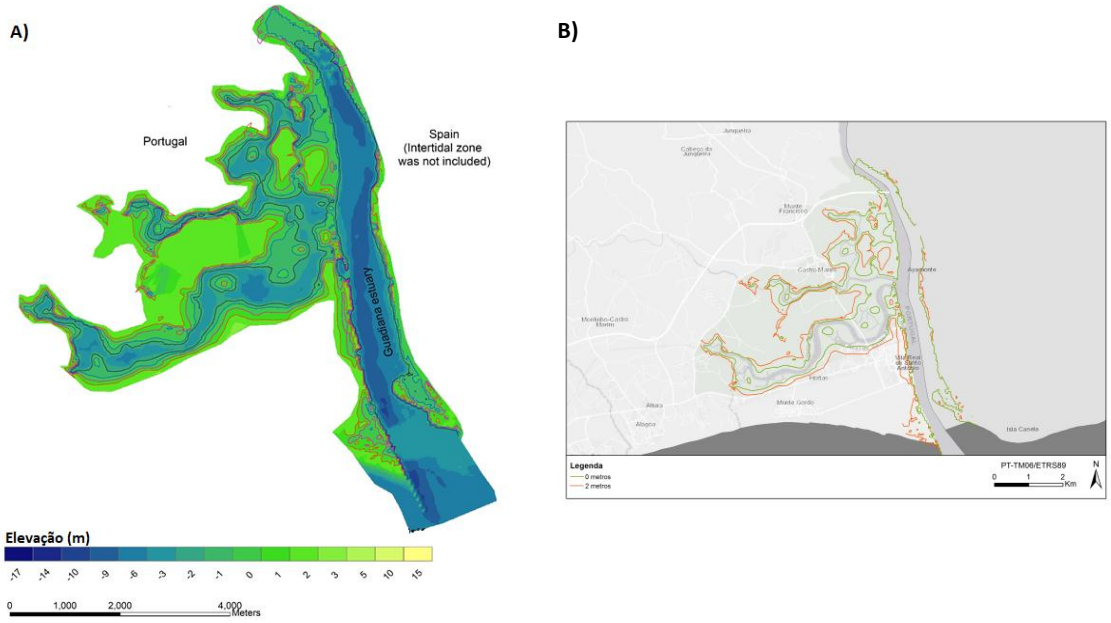


Figura 39 Rio Guadiana. A) Morfologia da área modelada para 2100. B) Linhas de cota de zero e dois metros, referente ao NMM em cenário futuro (RCP8.5 para 2100)

A elevação máxima do plano de água considerada foi de 2 metros acima do nível médio do mar, a partir da qual foram calculadas as áreas potencialmente inundáveis de origem marítima (água salina ou salobra), para o cenário de referência e para o cenário RCP8.5 para 2100, em cada estuário.

Estuário	2011	2100	Aumento face a 2011	
	(ha)	(ha)	(ha)	%
Bensafrim	95	155	61	64%
Alvor	772	998	226	29%
Arade	752	896	144	19%
Alcantarilha	52	88	36	70%
Quarteira	30	43	13	44%
Ria Formosa	8 912	9 580	668	7%
Gilão	888	1 073	186	21%
Guadiana	1 218	1 476	257	21%

Tabela 27 Área potencialmente afetada por inundação de origem costeira para os cenários de referência (2011) e futuro (2100), e respetiva variação, por estuário

Na Tabela 27 apresentam-se as áreas inundáveis para os cenários considerados, assim como a variação entre cenários. Desta análise, observa-se que a Ria Formosa é o sistema que sofre o maior aumento efetivo de área potencialmente afetada, com um aumento de mais de 600 hectares de área, seguindo-se o Guadiana e o estuário do Alvor, ambos com um aumento superior a 200 hectares. No entanto, percentualmente, é em Alcantarilha e Bensafrim onde se projetam aumentos mais significativos da área inundável, de 70% e 64% em relação a 2011, respetivamente.

Quanto à vulnerabilidade das áreas afetadas, foram determinadas as áreas por tipo de Uso e Ocupação do Solo referente a 2015 (DGT, 2018), de modo a obter a variação do impacto face à situação de referência. A espacialização destes resultados encontra-se disponível em anexo do presente documento.

O tipo de classe de uso do solo que sofre maior aumento percentual são as áreas agrícolas e agroflorestais (COS2015 classe 2), com um aumento de 96% face ao cenário de referência. Para esta classe, as zonas com mais área afetada são a Ria Formosa, o Alvor e o Gilão com 108, 92 e 88 hectares, respetivamente (Tabela 28 e Figura 40). O aumento em zonas húmidas e corpos de água representa a expansão, para montante dos cursos fluviais, das águas com características estuarinas. As zonas de florestas e meios naturais e seminaturais serão mais afetadas na zona da Ria Formosa com um aumento de 333 hectares.

	1. Territórios artificializados		**2. Áreas agrícolas e agroflorestais**		**3. Florestas e meios naturais e seminaturais**		**4. Zonas húmidas**		**5. Corpos de água**	
	(ha)	**%**	**(ha)**	**%**	**(ha)**	**%**	**(ha)**	**%**	**(ha)**	**%**
Bensafrim	23,4	49%	21,9	104%	10,3	564%	1,3	391%	3,6	15%
Alvor	63,6	131%	92,3	73%	39,3	116%	11,5	7%	19,8	5%
Arade	19,2	25%	28,0	224%	15,8	27%	51,7	27%	29,0	7%
Alcantarilha	0,1		23,5	92%	5,7	137%	6,4	33%	0,3	11%
Quarteira	5,9	23%	0,0	154%	5,1	798%	0,2	429%	1,8	60%
Ria Formosa	158,7	84%	108.2	63%	333,4	94%	23,7	0%	44,1	1%
Gilão	26,7	211%	87,9	860%	59,0	60%	7,4	7%	4,6	1%
Guadiana	58,8	114%	27,6	75%	36,8	107%	54,2	12%	80,1	12%
Total	**356,5**	**79%**	**389,5**	**96%**	**505,3**	**86%**	**156,3**	**3%**	**183,3**	**4%**

Tabela 28 Aumento da área potencialmente afetada por inundação de origem costeira para o cenário RCP8.5 para 2100, por estuário, em hectares e percentual face ao cenário de referência (2011)

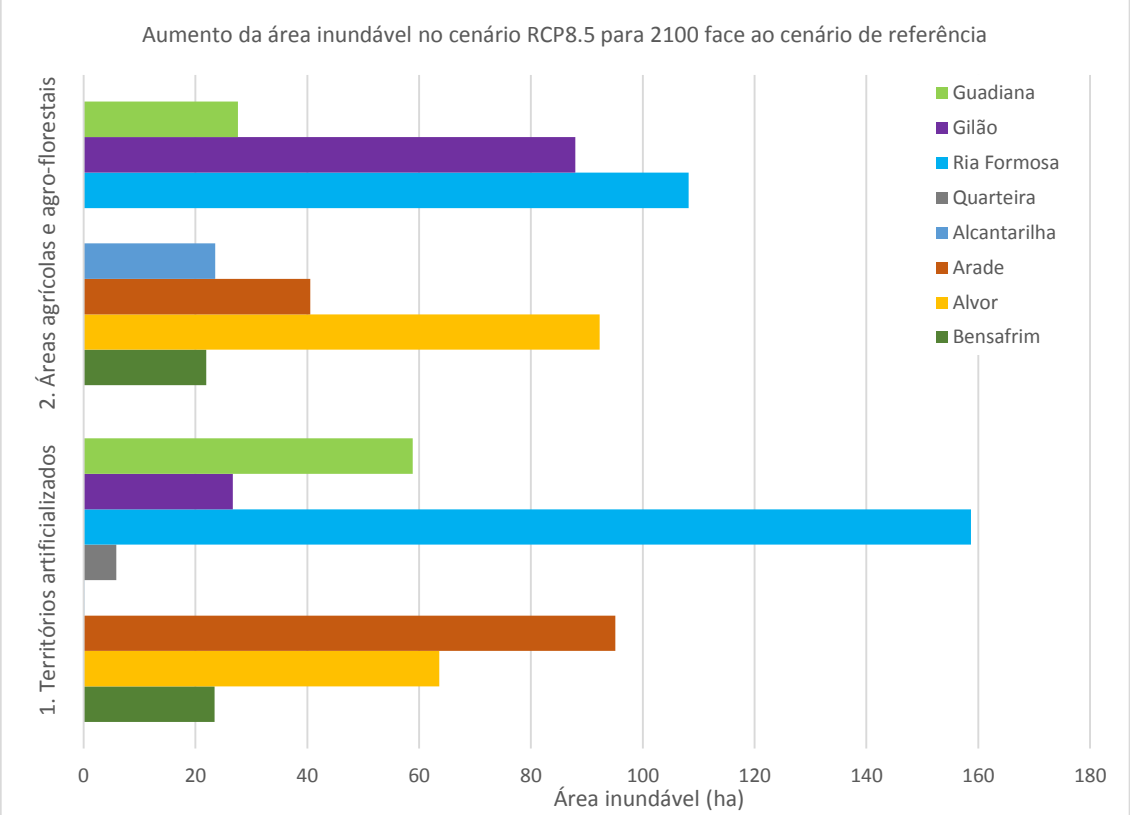


Figura 40 Distribuição do aumento área inundável por águas costeiras nas zonas da classe 1 e 2 (COS2015) no cenário RCP8.5 para 2100 face ao cenário de referência (2011), por estuário

No que concerne às zonas de território artificializadas (COS2015 classe 1), as áreas mais afetadas são a Ria Formosa, o Alvor e o Guadiana. Detalhando as zonas artificializadas por classes hierárquica de Nível 4 (Tabela 29), verifica-se que as classes de território mais lesadas são as zonas de Indústria, comércio e equipamentos gerais, Tecido urbano contínuo e campos de golfe, com 96, 87 e 55 hectares, respetivamente. As zonas industriais nas margens da Ria Formosa e do Rio Gilão, são as mais afetadas, com 35 e 21 hectares. As zonas do Guadiana e Ria Formosa são as que mais poderão pesar sobre o tecido urbano contínuo. No estuário do Alvor, a inundação de origem costeira terá um maior ónus sobre os campos de golfe.

É ainda importante referir o aumento da área inundável de cerca de 30 hectares no Aeroporto de Faro, que pode causar grandes constrangimentos nas ligações nacionais e internacionais, com a região do Algarve.

	Área inundável (ha)								
COS2015_Le	**Bensafrim**	**Alvor**	**Arade**	**Alcantarilha**	**Quarteira**	**Ria Formosa**	**Gilão**	**Guadiana**	**Total**
1.1.1.00. Tecido urbano contínuo	2,73	2,88	10,11	0,12	0,58	32,62	5,58	32,03	**87**
1.1.2.00. Tecido urbano descontínuo	0,41	4,88	0,44	-	-	35,62	0,37	5,66	**47**
1.2.1.00. Indústria, comércio e equipamentos gerais	14,22	5,78	5,28	-	2,89	35,38	20,73	11,35	**96**
1.2.2.00. Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	1,99	-	1,39	-	-	1,86	-	0,47	**6**
1.2.3.00. Áreas portuárias	1,51	-	0,81	-	2,40	3,96	-	2,14	**11**
1.2.4.00. Aeroportos e aeródromos	-	2,56	-	-	-	32,29	-	0,00	**35**
1.3.1.00. Áreas de extração de inertes	-	-	-	-	-	0,00	-	0,66	**1**
1.3.3.00. Áreas em construção	0,54	-	0,36	-	-	2,46	-	4,75	**8**
1.4.1.00. Espaços verdes urbanos	-	-	0,54	-	-	5,38	-	1,18	**7**
1.4.2.01. Campos de golfe	-	45,96	-	-	-	8,73	-	0,00	**55**
1.4.2.02. Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	2,03	1,56	-	-	-	0,05	-	0,00	**4**
1.4.2.03. Equipamentos culturais e outros e zonas históricas	-	-	0,32	-	-	0,33	-	0,59	**1**

Tabela 29 Aumento da área de território artificializado potencialmente afetada por inundação de origem costeira, para o cenário RCP8.5 para 2100, por estuário

4.2 CHEIAS E INUNDAÇÕES PLUVIAIS

A modelação hidráulica permitiu a delimitação das zonas de inundação para as áreas de estudo, considerando as projeções dos cenários climáticos e os resultados obtidos a curto (2011-2040),

médio (2041-2070) e longo prazo (2071-2100) para os períodos de retorno de 20 e 100 anos, assim como a análise da altura máxima da coluna de água e a velocidade do escoamento máximos em caso de inundação.

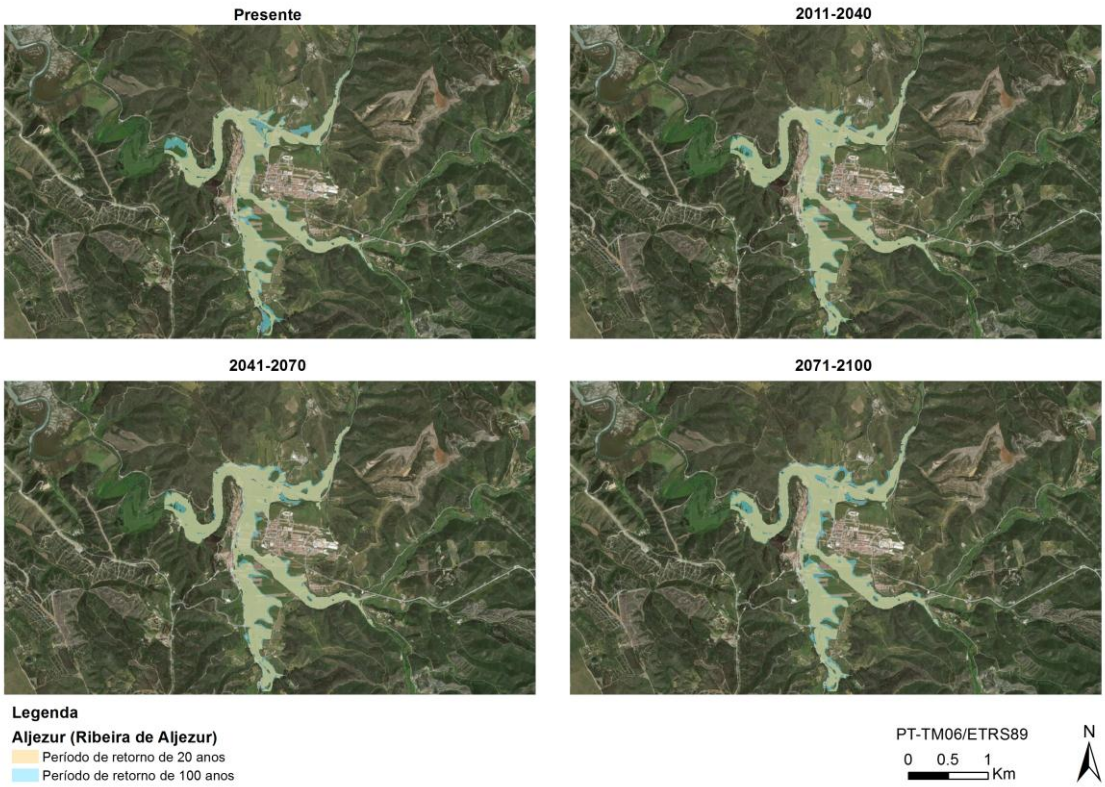


Figura 41 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na ribeira de Aljezur (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

Relativamente à ribeira de Aljezur e em cenários de alterações climáticas, observa-se um aumento da área inundável, particularmente no período de retorno de 20 anos, o qual se aproxima espacialmente do padrão do período de retorno de 100 anos da série histórica observada. Esta aproximação é particularmente visível na zona a oeste de Aljezur (Figura 41).

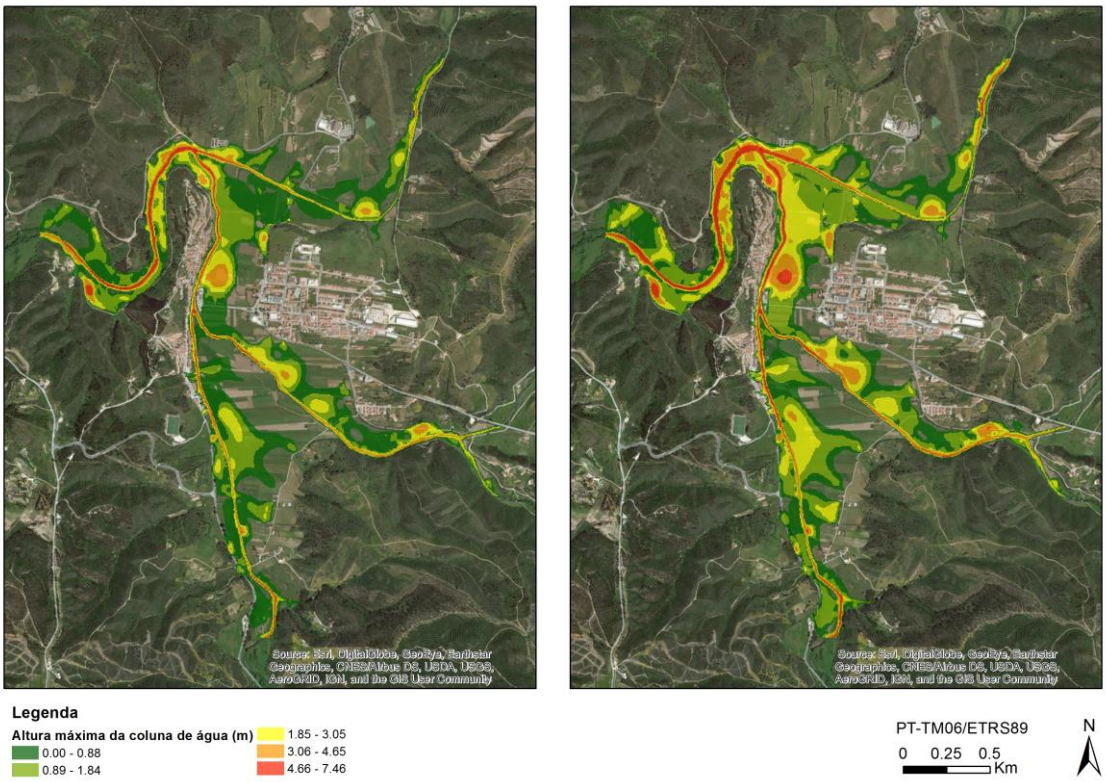


Figura 42 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na ribeira de Aljezur (RCP8.5 – 2071/2100)

Simultaneamente, observa-se ao longo do século, um aumentando do caudal de ponta e respetiva área inundada, bem como da altura máxima da coluna de água associada às inundações (Figura 42). As áreas em risco são similares às identificadas no âmbito das vulnerabilidades atuais, no entanto, existem mais elementos expostos, podendo estes ser afetados com maior severidade.

Figura 43 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, no rio Gilão (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

Relativamente ao rio Gilão, para o período de retorno de 100 anos, observa-se um aumento da área inundável, principalmente após a zona urbana de Tavira, na margem sul do rio. Esta situação não apresenta, no entanto, um perigo considerável uma vez que a ocupação do solo nesta área, encontra-se associada a salinas (Figura 43). A área de inundação para o período de retorno de 20 anos em cenários de alterações climáticas aproxima-se espacialmente do padrão do período de retorno de 100 anos obtido através da análise às series históricas de precipitação, principalmente a partir do meio do século. Na área urbana de Tavira verificam-se alguns aumentos nas áreas inundáveis, colocando em risco edifícios que não se encontravam expostos às cheias centenárias.

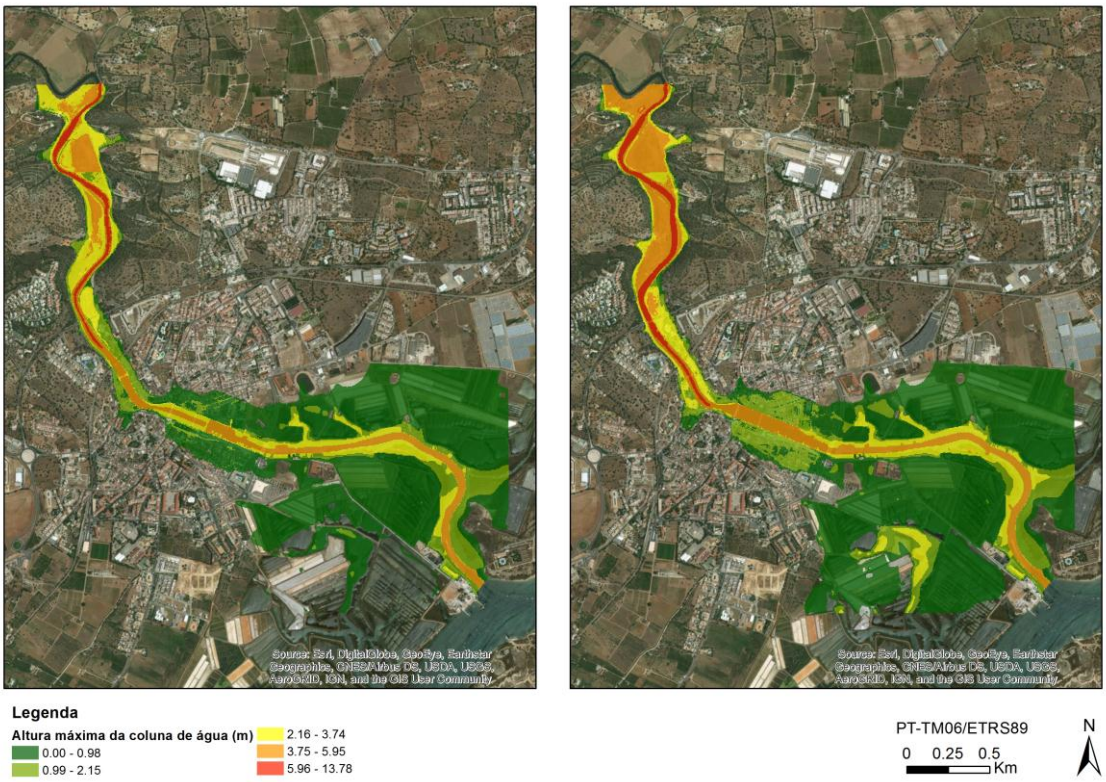


Figura 44 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), no rio Gilão (RCP8.5 – 2071/2100)

Para ambos os períodos de retorno, as projeções para o final do século mostram-se mais gravosas, em especial no RCP8.5. Esta situação implica maior perigosidade que resulta maioritariamente do aumento da altura máxima da coluna de água projetada (Figura 44).

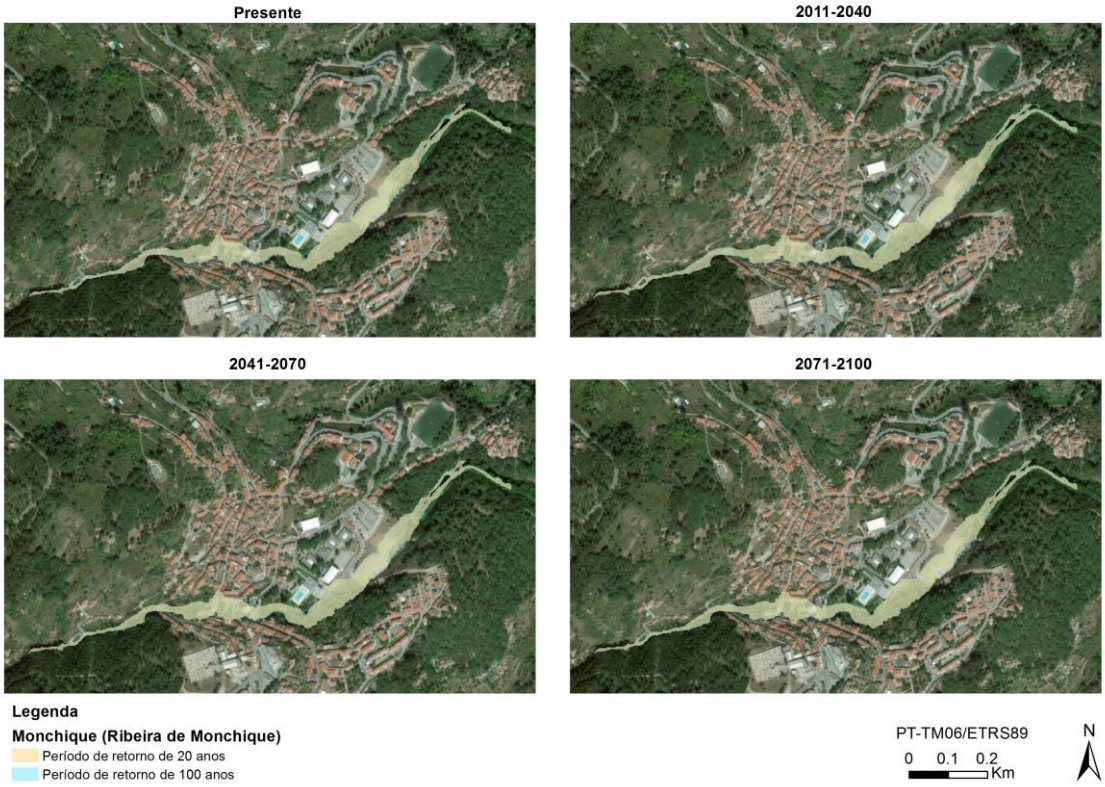


Figura 45 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na Ribeira de Monchique (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

Relativamente aos efeitos do aumento da precipitação associada aos dois períodos de retorno na zona de Monchique, estes não se refletem em alterações nas áreas inundáveis (Figura 45).

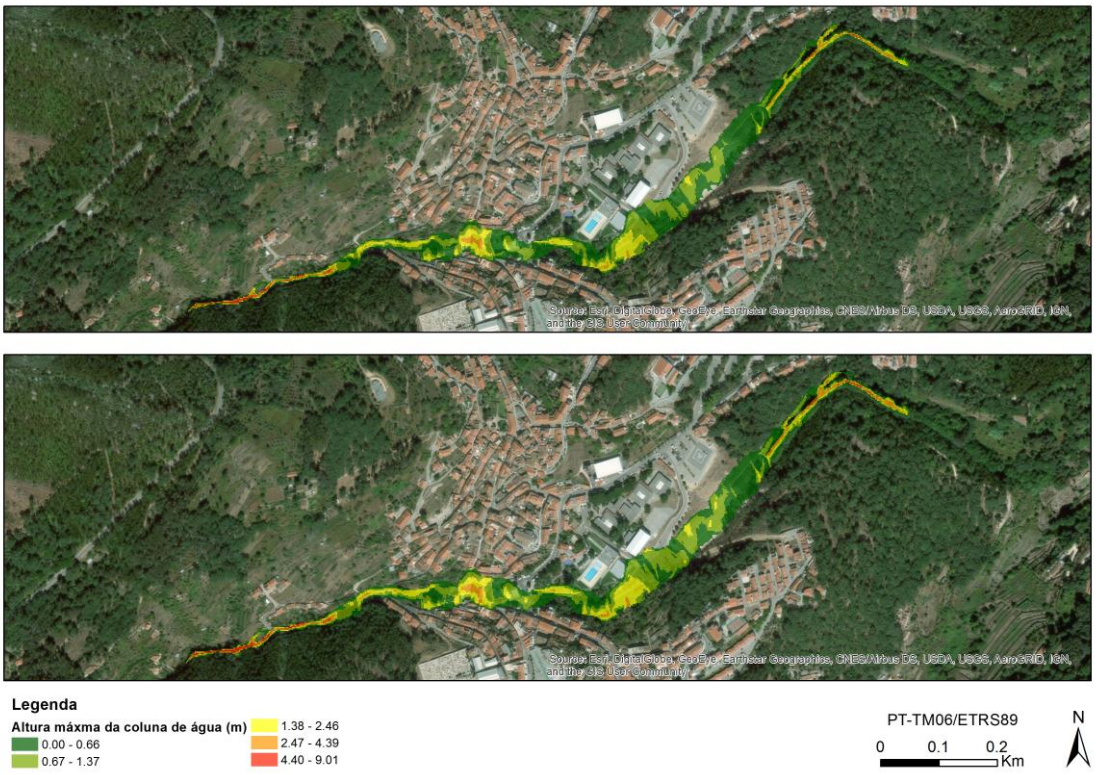


Figura 46 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na ribeira de Monchique (RCP4.5 – 2011/2040)

Contudo, projetam-se aumentos da precipitação com maior incidência a curto prazo e menor significado no final do século (para o RCP8.5 projeta-se mesmo uma diminuição da precipitação associada ao período de retorno de 100 anos), o que se traduz, em alguns casos, em aumentos de caudal e da altura máxima da coluna de água (Figura 46). É de referir que no contexto das cheias e inundações de origem pluvial, Monchique apresenta o menor impacto decorrente das alterações climáticas entre as bacias modeladas, bem como a maior incerteza associada às projeções de precipitação (ver também Tabela 17 e Tabela 18).

Figura 47 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, no rio Seco / sistema da Ria Formosa (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

Quanto aos efeito das alterações climáticas nas cheias e inundações do rio Seco, as maiores diferenças, quando comparado com o período atual, verificam-se a montante da cidade de Faro, sendo as áreas inundáveis genericamente superiores. Assim, a área inundável projetada para o período de retorno de 20 anos assemelha-se à do período de retorno de 100 anos na atualidade. Também a área inundável do período de retorno de 100 anos aumenta ao longo do século, afetando novas áreas agrícolas e de estufas, bem como indústrias, armazéns e habitações dispersas. No entanto, a área urbana compacta de Faro mantém-se protegida de cheias e inundações com origem no rio Seco (Figura 47).

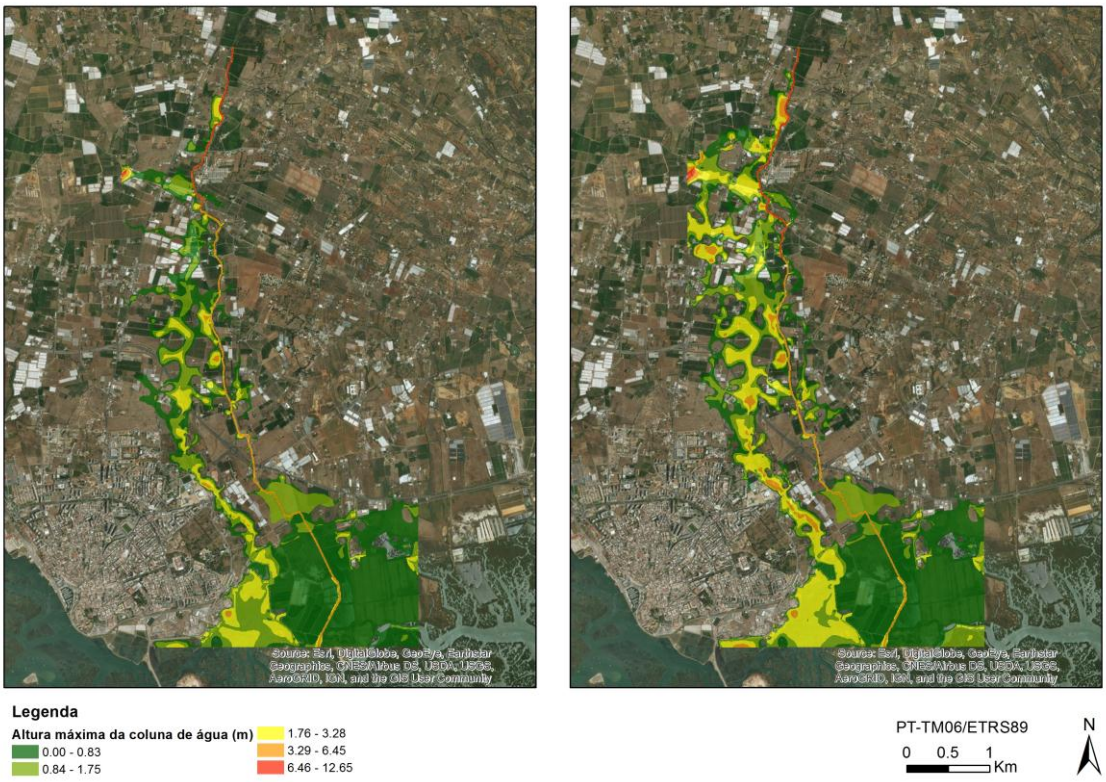


Figura 48 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), no rio Seco / sistema da Ria Formosa (RCP8.5 – 2071/2100)

Para ambos os períodos de retorno, as projeções para o final do século mostram-se mais gravoso, em especial no RCP8.5. Esta situação implica maior perigosidade que resulta maioritariamente do aumento da altura máxima da coluna de água projetada (Figura 48).

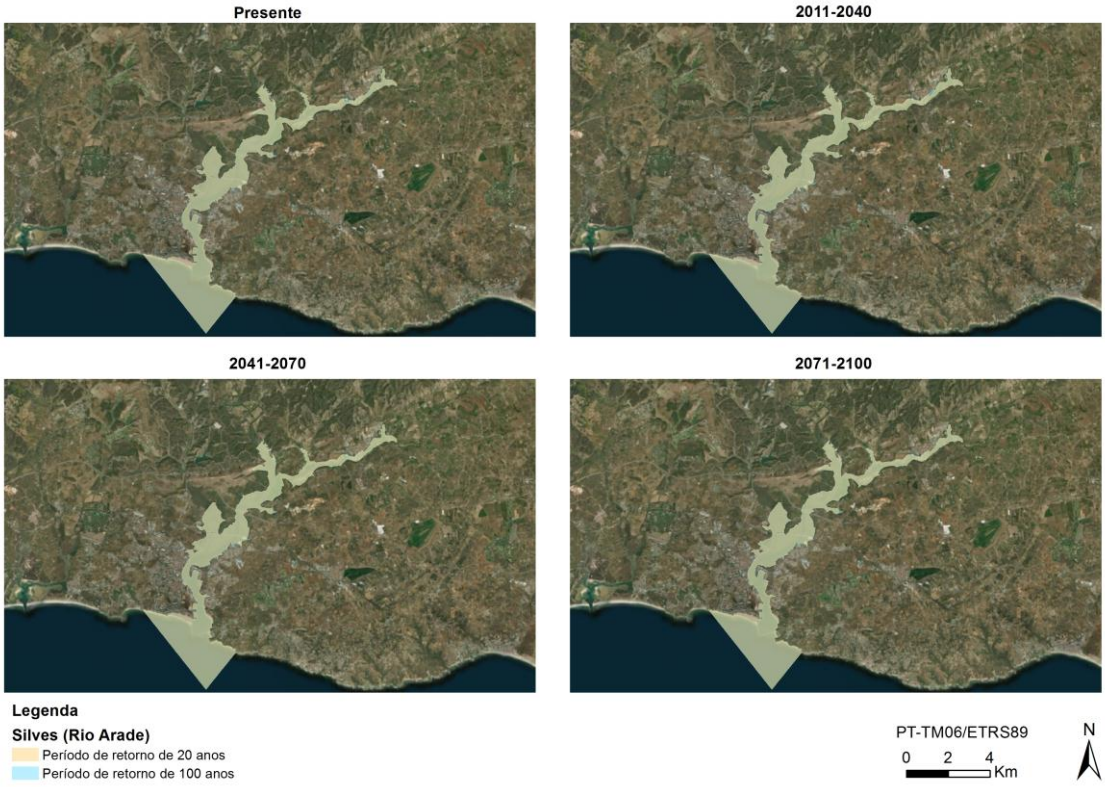


Figura 49 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, no rio Arade (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

No que diz respeito ao rio Arade, em cenários de alterações climáticas não se verificam modificações substanciais no padrão espacial atual de cheia, para ambos os períodos de retorno (Figura 49). Verifica-se, no entanto, situações pontuais onde as áreas de inundação aumentam, sendo exemplo a área urbana adjacente à EN 124 e a norte da ponte rodoviária de Silves.

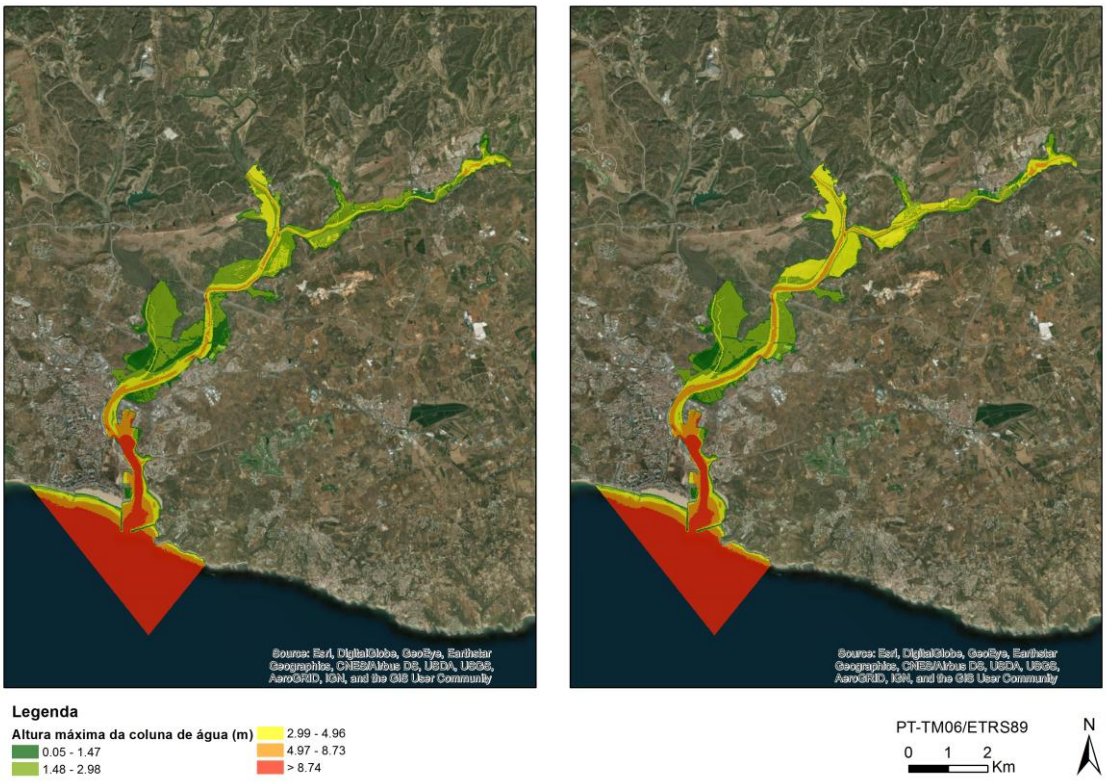


Figura 50 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), no rio Arade (RCP4.5 – 2011/2040)

Contudo, em todos os intervalos temporais e para ambos os períodos de retorno, existe um aumento da precipitação, verificando-se uma aproximação entre a precipitação do período de retorno de 20 anos projetada e a precipitação do período de retorno de 100 anos atual. Embora, de forma genérica, não ocorra um aumento da área inundável de forma considerável, existirá maior caudal e aumento da altura máxima da coluna de água (Figura 50).

Figura 51 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na ribeira de Bensafrim (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

Em cenários de alterações climáticas, e relativamente ao padrão espacial das áreas inundáveis da ribeira de Bensafrim, projetam-se alterações mais evidentes na sua margem esquerda, para o período de retorno de 100 anos (Figura 51). Esta alteração é particularmente relevante visto que afeta uma zona de tecido urbano com alguma densidade de ocupação. Para o período de retorno de 20 anos, não se observam alterações consideráveis na área inundável.

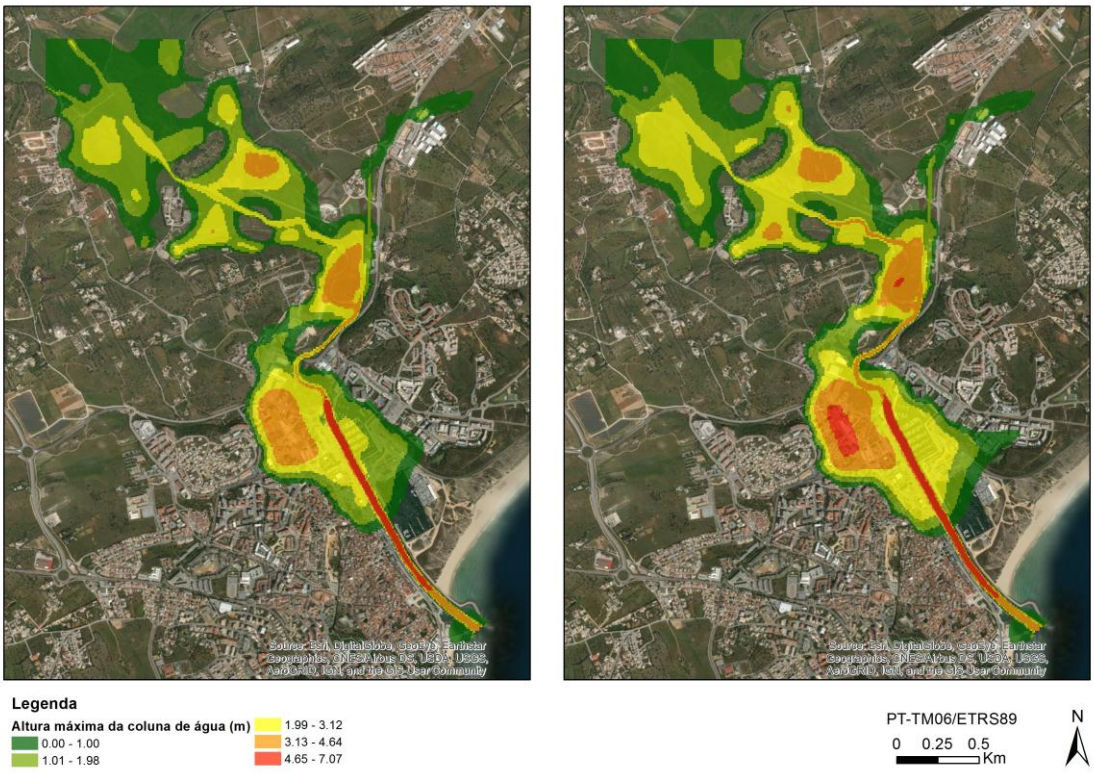


Figura 52 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na ribeira de Bensafrim (RCP4.5 – 2041/2070)

No entanto, projeta-se, tanto para o período de retorno de 20 anos como de 100 anos, um aumento do caudal de ponta de cheia e da altura máxima da coluna de água (Figura 52).

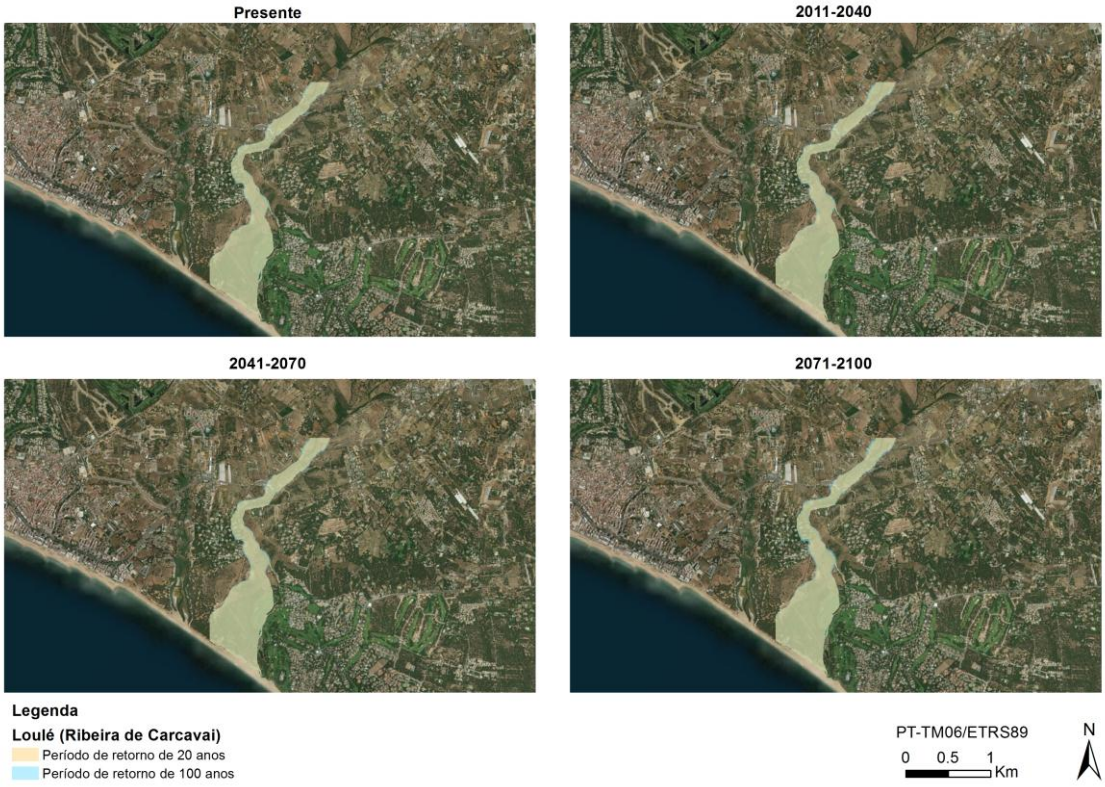


Figura 53 Modelação das cheias e inundações tendo em conta o regime natural, na ribeira de Carcavai (presente) e situação mais gravosa segundo as projeções climáticas dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 a curto, médio e longo prazo

Finalmente, para a ribeira de Carcavai, não são observáveis modificações relevantes na área inundável face ao período atual, à exceção de uma pequena expansão no período de retorno de 100 anos para o final do século (Figura 53).

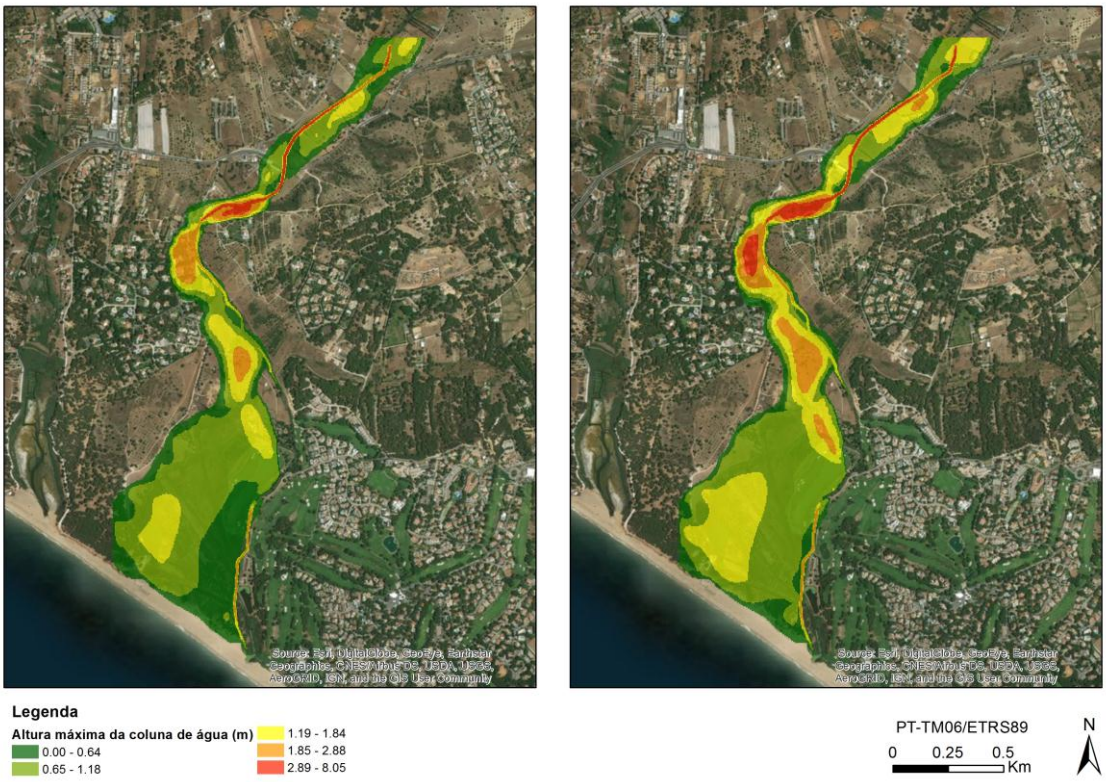


Figura 54 Altura máxima da coluna de água encontrada em cenários de alterações climáticas, para os períodos de retorno de 20 (esquerda) e 100 anos (direita), na ribeira de Carcavai (RCP8.5 – 2071/2100)

Também neste caso se verifica um aumento da precipitação em ambos os períodos de retornos projetados e todos os intervalos temporais, sendo que a precipitação do período de retorno de 20 anos se aproxima progressivamente ao longo do século, dos valores de precipitação atual associada ao período de retorno de 100 anos. Como consequência, existirá também um aumento do caudal e da altura máxima da coluna de água projetada para esta linha de água (Figura 54).

5.

Considerações Finais

No Algarve e de uma forma generalizada, assistiu-se ao desenvolvimento da região com o respetivo aumento populacional e de áreas urbanas, principalmente associado a zonas junto de linhas de água e costeiras. Este desenvolvimento conduziu ao aumento das áreas impermeáveis, e, consequentemente à diminuição da capacidade de infiltração da água, potenciando a ocorrência de eventos de cheias e inundações. Acrescenta-se a estes fatores a existência de vários cursos de água de regime intermitentes e/ou torrencial. Aquando da ocorrência de cheias e inundações pluviais, costeiras ou o efeito cumulativo de ambas, e devido à elevada densidade populacional, os impacto diretos (e.g. vítimas) e indiretos (e.g. interrupção na atividade comercial com perdas económicas) podem ser elevados.

Com recurso a metodologias e algoritmos de modelação, foi possível simular as áreas afetadas por inundação costeira e pluvial, tanto para o período histórico, como para o futuro, tendo em conta as projeções de cenários de alterações climáticas.

No que diz respeito à caracterização da vulnerabilidade atual, todos os estuários apresentam potencialidade de provocar inundações costeiras, destacando-se a Ria Formosa como o sistema capaz de gerar a maior área inundável. Destacam-se ainda o Guadiana, com uma área inundável de mais de mil hectares, e os estuários de Gilão, Alvor e Arade, todos estes com uma área inundável superior a 700 hectares.

Relativamente à caracterização das áreas inundáveis devido à precipitação extrema, todos os sistemas, à exceção da ribeira de Monchique, apresentaram uma elevada extensão da área inundável, principalmente associada ao período de retorno de 100 anos. Adicionalmente, a maioria dos sistemas estudados, apresentam impactos sobre áreas urbanas, mesmo considerando o período de retorno de 20 anos.

Em cenários de alterações climáticas, e relativamente às áreas potencialmente inundáveis de origem marítima (água salina ou salobra), projeta-se um aumento da área inundável associado a todos os estuários. Destes, a Ria Formosa é o sistema que apresenta o maior aumento em termos de área, projetando-se um acréscimo de 600 hectares de área afetada face ao período atual. Também o Guadiana e o estuário do Alvor apresentam aumentos importantes na área inundável, com um acréscimo de mais de 200 hectares afetados, face ao período atual.

A análise da tipologia de uso do solo afetada pelo aumento da área sujeitas a inundações costeiras permitiu verificar que é a classe definida por florestas e meios naturais e seminaturais a mais afetada, seguida das áreas agrícolas e agroflorestais. Contudo, também as áreas artificializadas se apresentam particularmente vulneráveis, contabilizando-se um total, considerando todos os estuários estudados, de mais de 350 hectares inundáveis face ao período de referência. O estudo mais detalhado desta última classe permitiu concluir que são as zonas ocupadas com indústria, comércio e equipamentos e as zonas de tecido urbano contínuo as mais afetadas. Relativamente às zonas ocupadas pela indústria, comércio e equipamentos, é nos estuários da Ria Formosa, Gilão e Bensafrim onde se verifica o maior aumento. No que diz respeito às zonas de tecido urbano contínuo, o maior aumento da área inundável ocorre principalmente associado ao estuário da Ria Formosa e do Guadiana.

É ainda importante referir duas situações que se destacam das restantes: no estuário do Alvor, a inundação de origem costeira afetará sobretudo campos de golfe, com um aumento de cerca de 46 hectares, face ao período atual; e no estuário da Ria Formosa que, em adição aos casos já referidos, o aumento da área inundável para o final do seculo poderá afetar até 30 hectares do Aeroporto de Faro. Embora por motivos diferentes, todas as situações descritas podem representar uma diminuição importante na segurança de pessoas e bens, bem como potenciar perdas económicas importantes, quer direta ou indiretamente.

No que diz respeito às inundações pluviais, um fator determinante no estudo das mesmas é, naturalmente, a precipitação. O estudo da precipitação associada aos períodos de retorno de 20 e 100 anos permitiu verificar que, em cenário de alterações climáticas, projeta-se um aumento da precipitação associada aos períodos de retorno avaliados (20 e 100 anos), para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, e em todos os períodos (à exceção da zona de Monchique).

Como consequência do aumento da precipitação associada aos períodos de retorno, projeta-se o aumento da área inundável na maioria das linhas de água estudadas e, de forma mais evidente, o aumento do caudal e da altura máxima da coluna de água. Simultaneamente, observa-se ainda que a área inundável associada ao período de retorno de 20 anos se aproxima, ao longo do século, da área inundável associada ao período de retorno de 100 anos atual (e.g. ribeira de Aljezur), ultrapassando-a em alguns casos (e.g. rio Gilão e Ria Formosa). Relativamente à área inundável associada ao período de retorno de 100 anos, projeta-se que o seu aumento afete novas zonas de tecido urbano (e.g. zona de Lagos) e novas zonas agrícolas (e.g. zona de Tavira).

Dado a importância dos resultados aqui apresentados e discutidos, torna-se urgente a adoção de medidas que permitam reduzir a vulnerabilidade das populações e infraestruturas a estes eventos.

6.

Bibliografia

APA, 2015. Plano de Gestão dos Riscos de Inundações: Região Hidrográfica 8 - Ribeiras do Algarve (1o Ciclo).

APA, 2014a. Atlas da Água - Números de Escoamento. Lisboa.

APA, 2014b. Modelo digital do terreno para Portugal Continental com uma resolução de 25m (DEMROUTE e DEMBASE).

APA, Denário, FCUL, 2015. Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC 2020). Agência Portuguesa do Ambiente.

Aqualogus, Action Modulers, 2014. Elaboração de Cartografia Especifica sobre Risco de Inundação para Portugal Continental.

Brandão, C., Rodrigues, R., Costa, J.P., 2001. Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental. Lisboa.

Brandão, C., Rodrigues, R., Costa, R., 2004. As Cheias Em Portugal: Estar Informado e Preparado Por um Mundo mais seguro no século XXI NOVA informação disponível no site-SNIRH no domínio das Precipitações Intensas em Portugal. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, INAG.

Chow, V.T., 1959. Open-Channel Hydraulics. Caldwell, NJ: McGraw Hill Book Company, Inc.

Christensen, J.H., Boberg, F., Christensen, O.B., Lucas-Picher, P., 2008. On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. Geophys. Res. Lett. 35, L20709. https://doi.org/10.1029/2008gl035694

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., 2001. Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, in: 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, International Navigation Association PIANC, Aveiro, Portugal. p. 20.

Davis, R.A., FitzGerald, D.M., 2004. Beaches and coasts. Blackwell Pub.

DGT, 2018. Especificações técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015. Relatório Técnico.

Dias, J.A., Taborda, R., 1992. Tidal Gauge Data in Deducing Secular Trends of Relative Sea Level and Crustal Movements in Portugal. J. Coast. Res. https://doi.org/10.2307/4298014

Dias, L., 2016. As alterações climáticas, as inundações e a cidade. Contributos para o estudo da resiliência urbana em situações de chuvas torrenciais. Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi, K., Liebert, J., 2012. HESS Opinions "Should we apply bias correction to global and regional climate model data?" Hydrol. Earth Syst. Sci. 16, 3391–3404. https://doi.org/10.5194/hess-16-3391-2012

EU, 2016. Copernicus Land Monitoring Service: Corine Land Cover (CLC) 2006 [WWW Document]. URL https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2006

Gama, C., Dias, J.A., Ferreira, Ó., Taborda, R., 1994. Analysis of storm surge in Portugal, between June 1986 and May 1988, in: Proceedings of Littoral. pp. 381–387.

González, J.A.M., 1995. Sedimentología del estuario del río Guadiana (SO España-Portugal). Universidad de Huelva.

Hov, Ø., Cubasch, U., Fischer, E., Peter Höppe, T.I., Kvamstø, N.G., Kundzewicz, Z.W., Rezacova, D., Rios, D., Santos, F.D., Schädler, B., Ottó Veisz, C.Z., Rasmus Benestad, J.M., Donat, M., Leckebusch, G.C., Ulbrich, U., 2013. Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation. The Norwegian Academy of Science and Letters, Norway.

IH, 2015. Tabelas de Maré Capítulo 1 - Generalidades.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Johns, B., 1983. Chapter 3 Turbulence Modelling Beneath Waves Over Beaches. Elsevier Oceanogr. Ser. 35, 111–133. https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70501-4

Jones, R., 2002. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. Comput. Geosci. 28, 1051–1060. https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00022-5

Lane, A., 2004. Bathymetric evolution of the Mersey Estuary, UK, 1906–1997: causes and effects. Estuar. Coast. Shelf Sci. 59, 249–263. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.09.003

Liu, Y.-H., Zhang, W.-C., Xu, J.-W., 2009. Another Fast and Simple DEM Depression-Filling Algorithm Based on Priority Queue Structure. Atmos. Ocean. Sci. Lett. 2, 214–219.

Parker, G., Paola, C., Leclair, S., 2000. Probabilistic Exner Sediment Continuity Equation for Mixtures with No Active Layer. J. Hydraul. Eng. 126, 818–826. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:11(818)

Pinto, L., 2003. Estratificação salina no estuário do Guadiana. Tese apresentada à Fac. Ciências da Univ. Lisboa para a obtenção do grau Mestre em Ciências Geofis. Espec. em Oceanogr.

Prandle, D., 2009. Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology. Cambridge University Press.

Prandle, D., 2004. How tides and river flows determine estuarine bathymetries. Prog. Oceanogr. 61, 1–26. https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2004.03.001

Salles, P., 2001. Hydrodynamic controls on multiple tidal inlet persistence. Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA. https://doi.org/10.1575/1912/3042

Sampath, D.M.R., Boski, T., 2018. Key parameters of the sediment surface morphodynamics in an estuary – An assessment of model solutions. Geomorphology 308, 142–160.

https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.017

Sampath, D.M.R., Boski, T., Loureiro, C., Sousa, C., 2015. Modelling of estuarine response to sea-level rise during the Holocene: Application to the Guadiana Estuary–SW Iberia. Geomorphology 232, 47–64. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.037

Sperling, F., Szekely, F., 2005. Disaster Risk Management in a Changing Climate.

Teixeira, S.B., 2009. Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. Faro.

UNISDR, CRED, 2015. The human cost of weather-related disasters 1995-2015. UNISDR Publ. 1, 30. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

van der Sande, C.J., de Jong, S.M., de Roo, A.P.J., 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 4, 217–229. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0303-2434(03)00003-5

Willems, P., Vrac, M., 2011. Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. J. Hydrol. 402, 193–205. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.030

Woodroffe, C.D., 2002. Coasts : form, process, and evolution. Cambridge University Press.

7.

Anexo

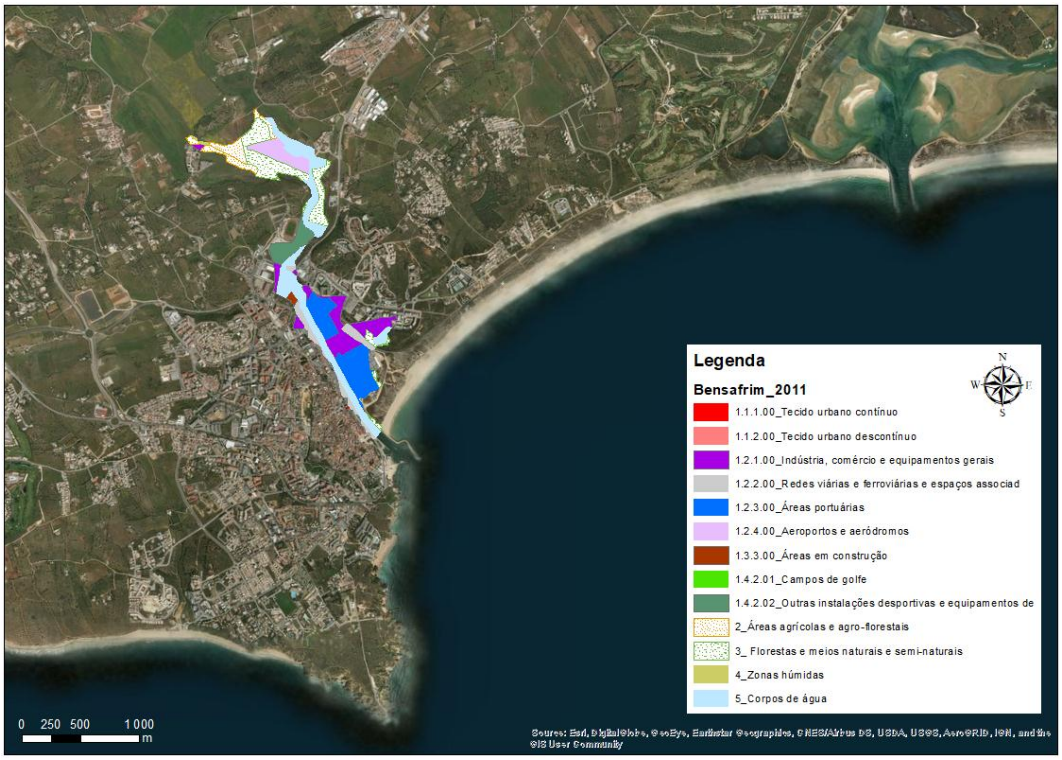


Figura 55 Área inundável na ribeira de Bensafrim, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

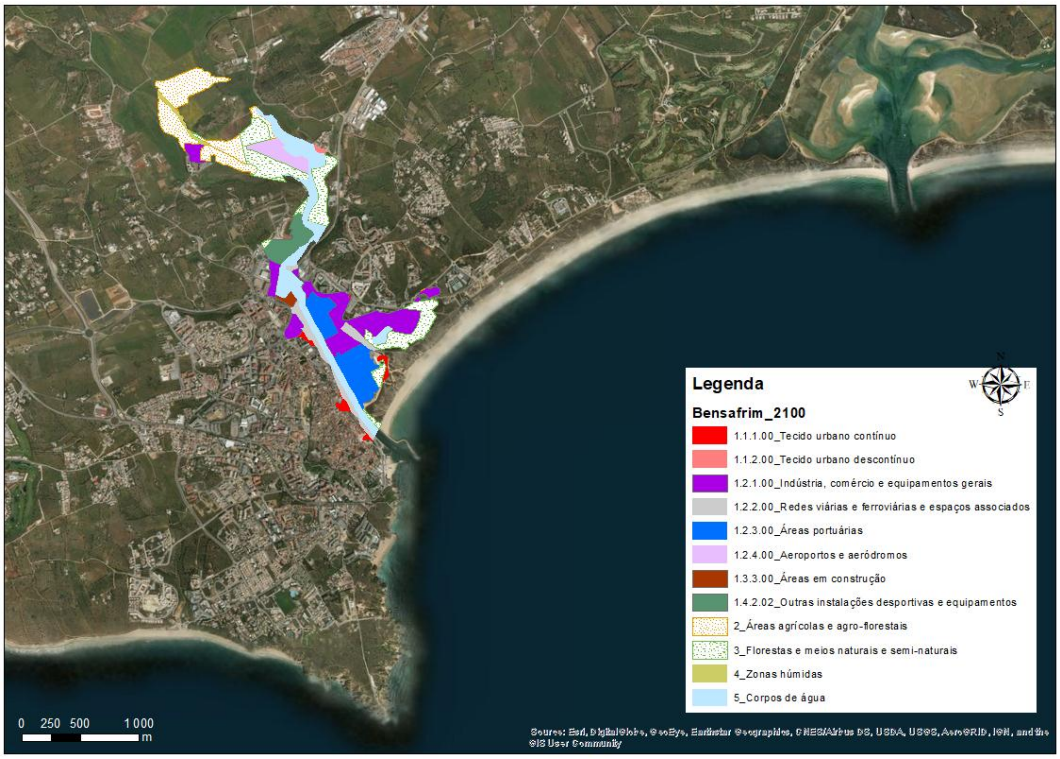


Figura 56 Área inundável na ribeira de Bensafrim, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

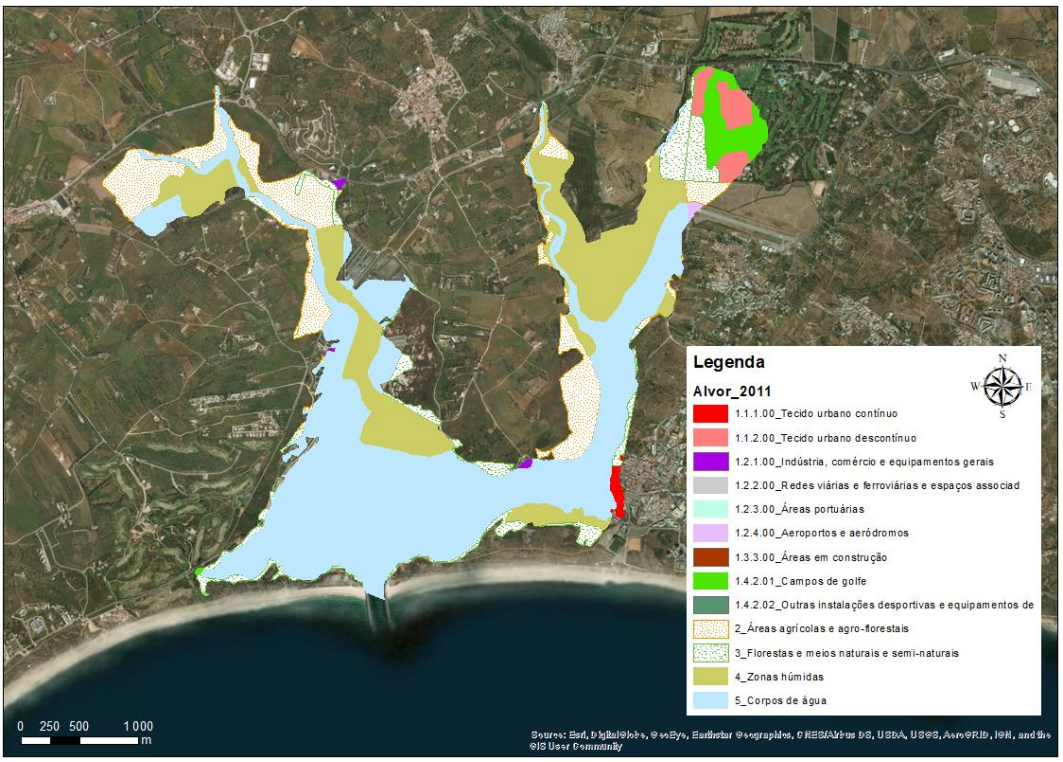


Figura 57 Área inundável na Ria de Alvor, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

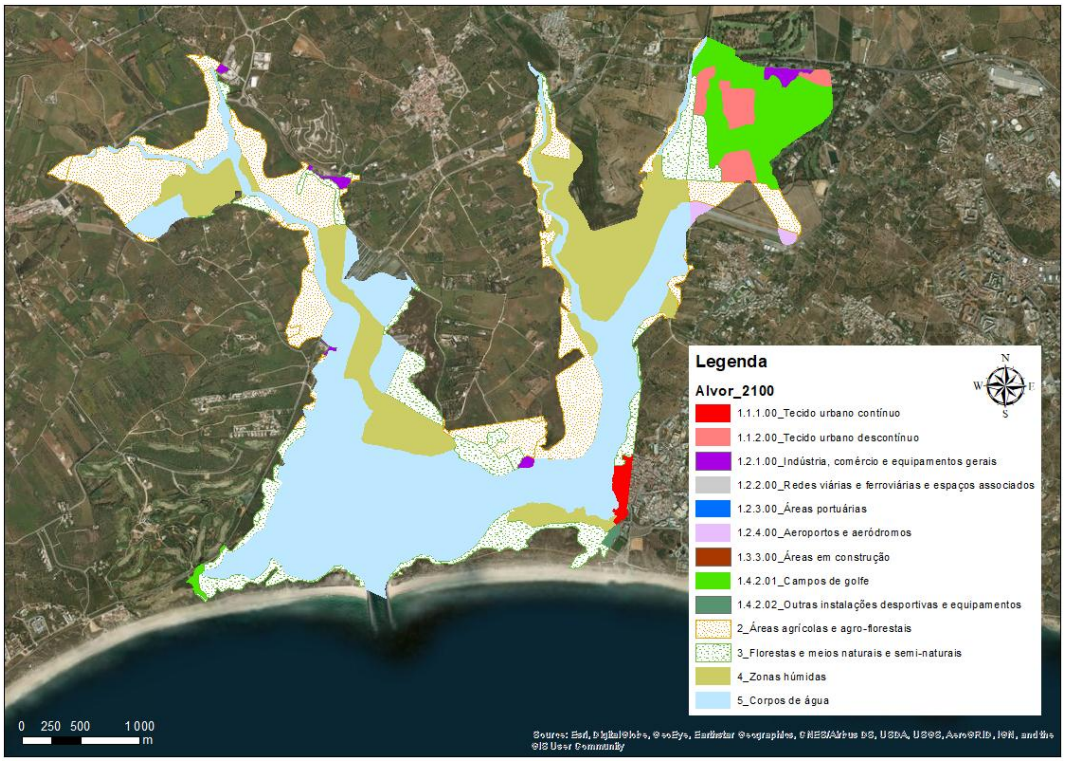


Figura 58 Área inundável na Ria de Alvor, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

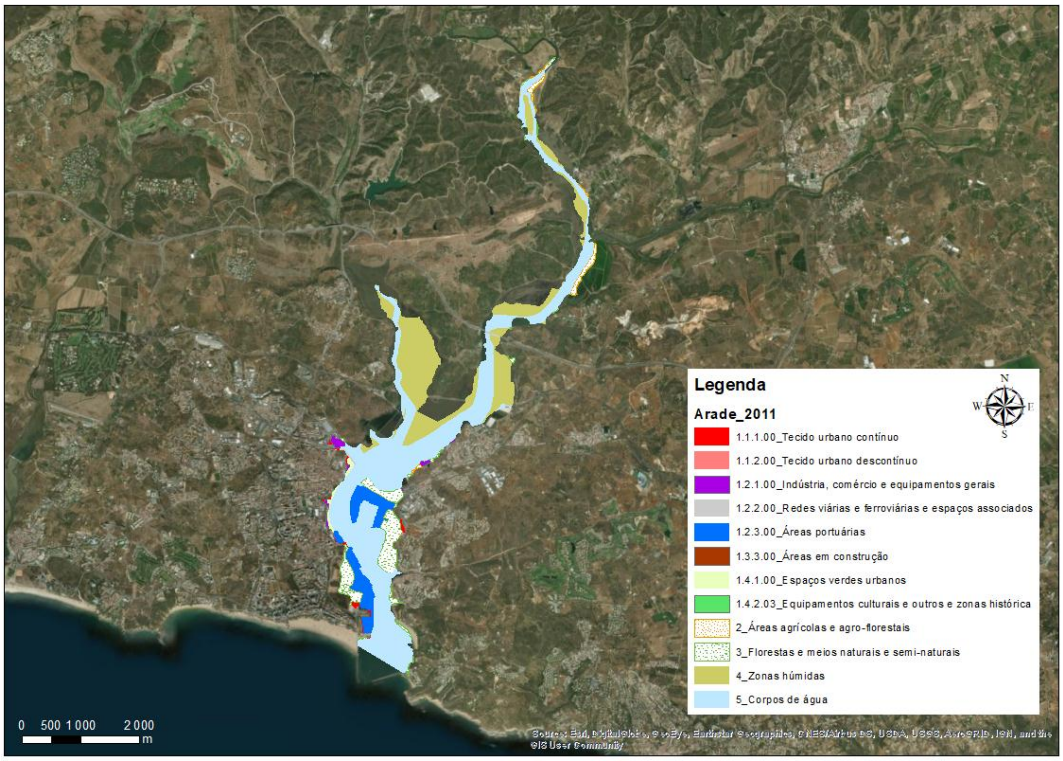


Figura 59 Área inundável no Rio Arade, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

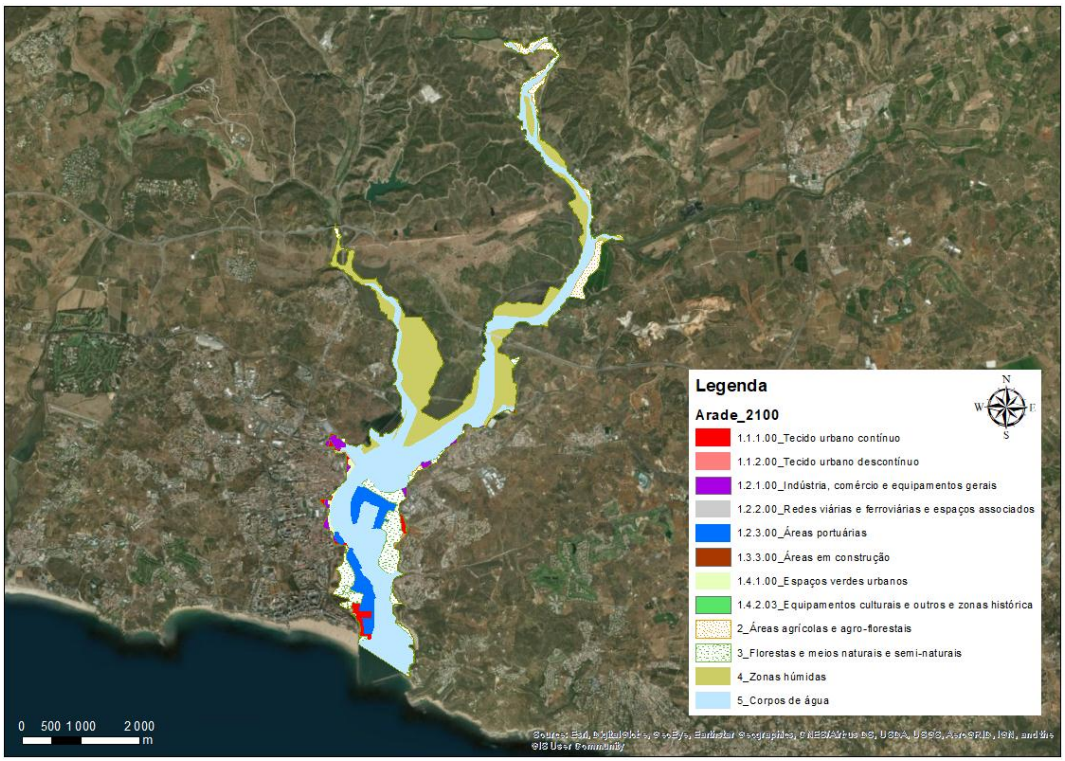


Figura 60 Área inundável no Rio Arade, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

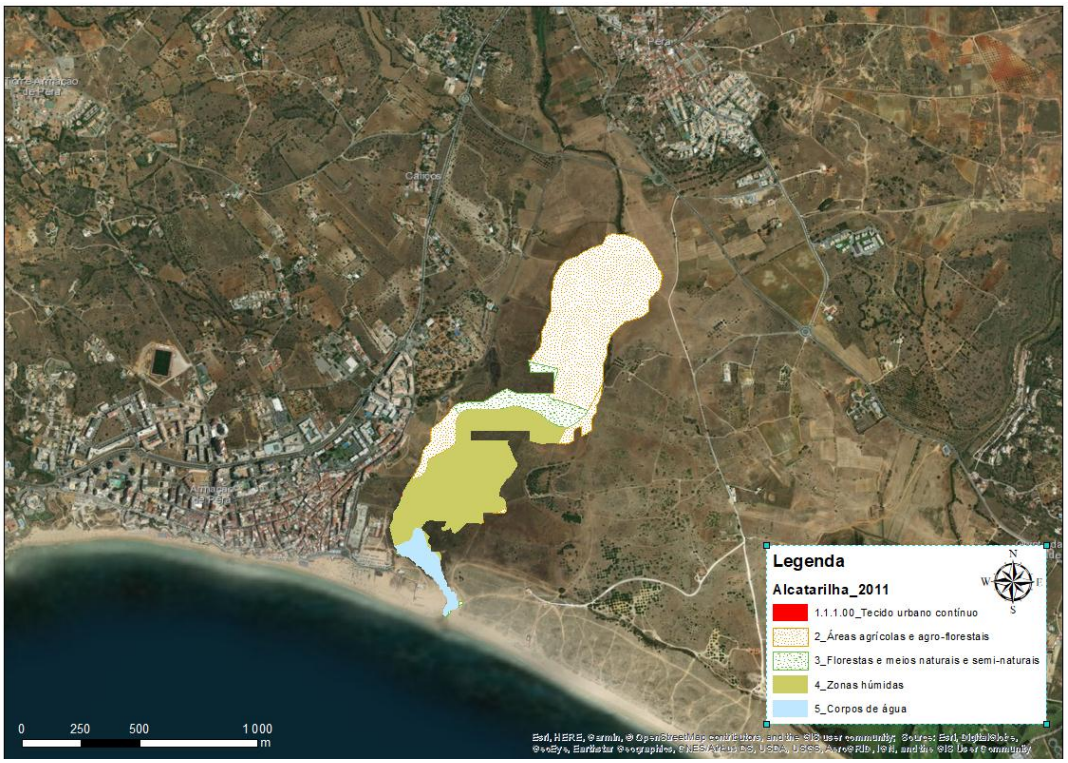


Figura 61 Área inundável na ribeira de Alcantarilha, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

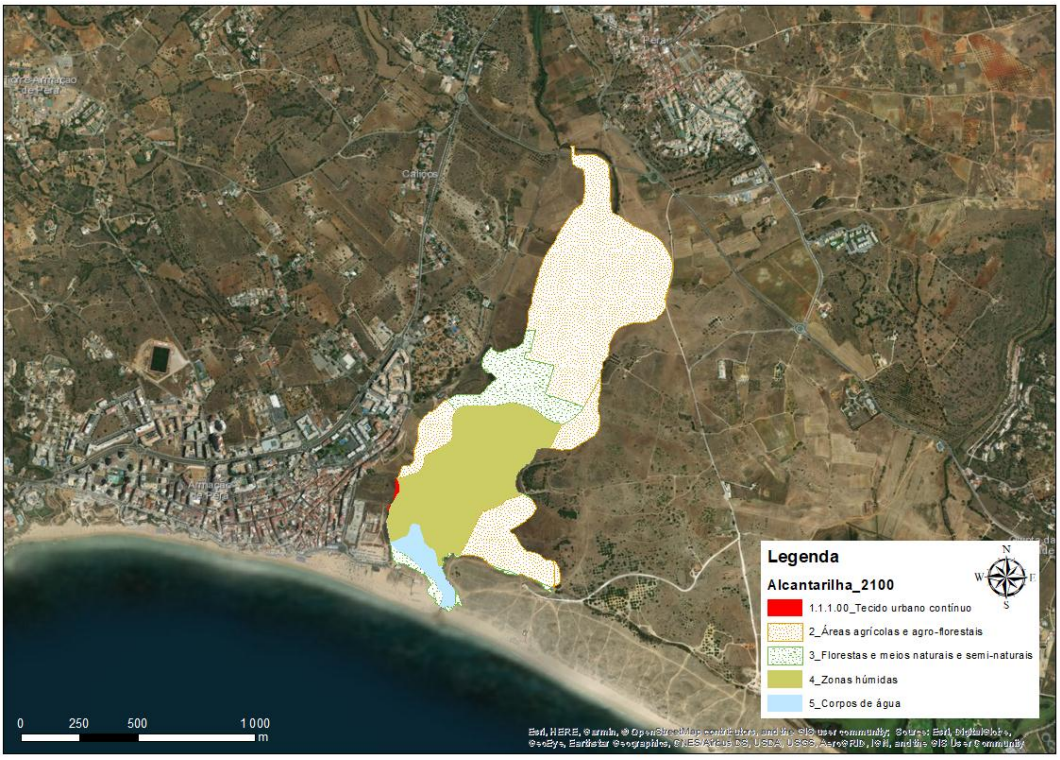


Figura 62 Área inundável na ribeira de Alcantarilha, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

Figura 63 Área inundável na ribeira de Quarteira, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

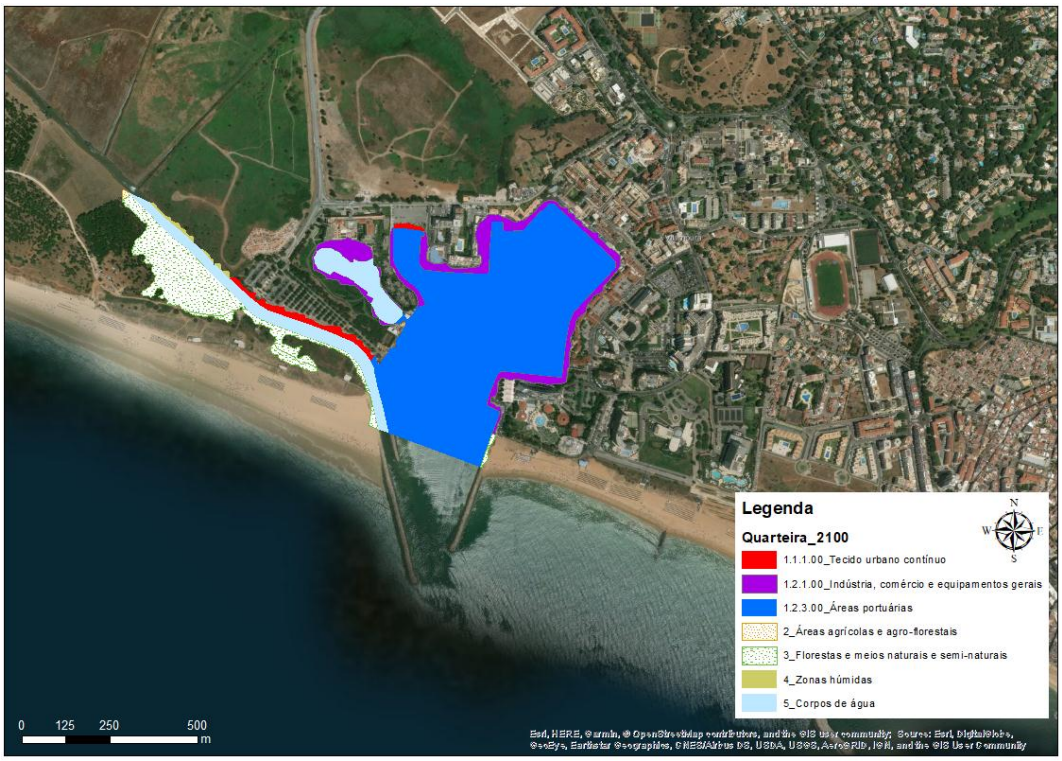


Figura 64 Área inundável na ribeira de Quarteira, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

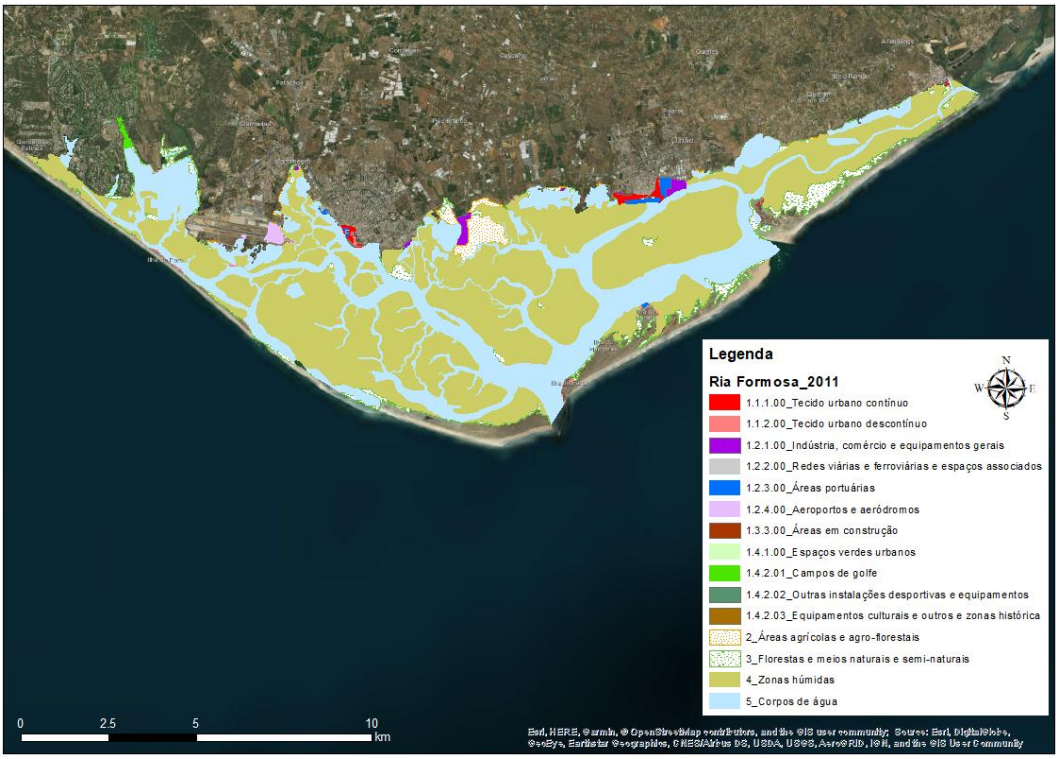


Figura 65 Área inundável na Ria Formosa, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

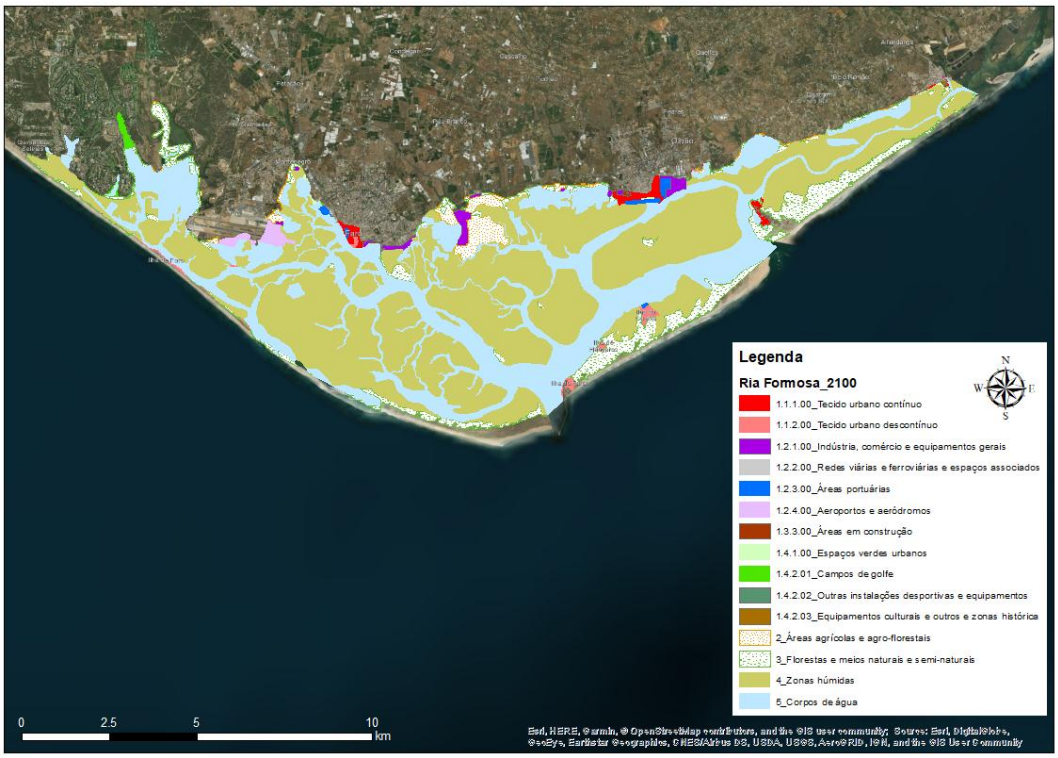


Figura 66 Área inundável na Ria Formosa, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

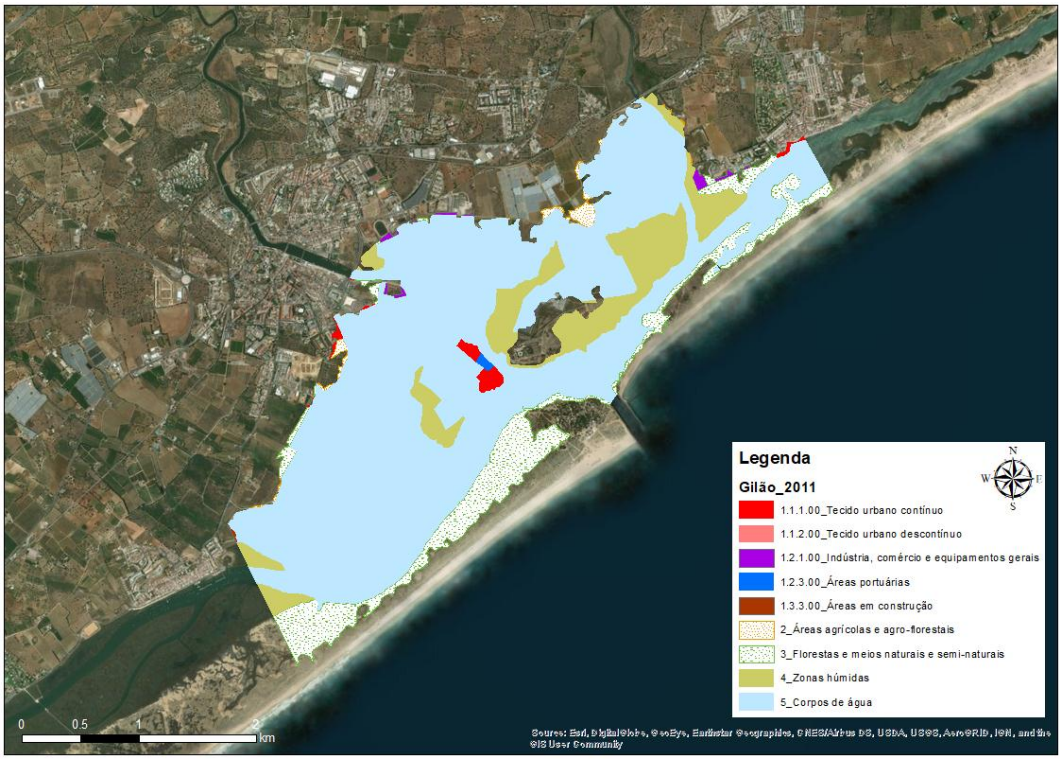


Figura 67 Área inundável no rio Gilão, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

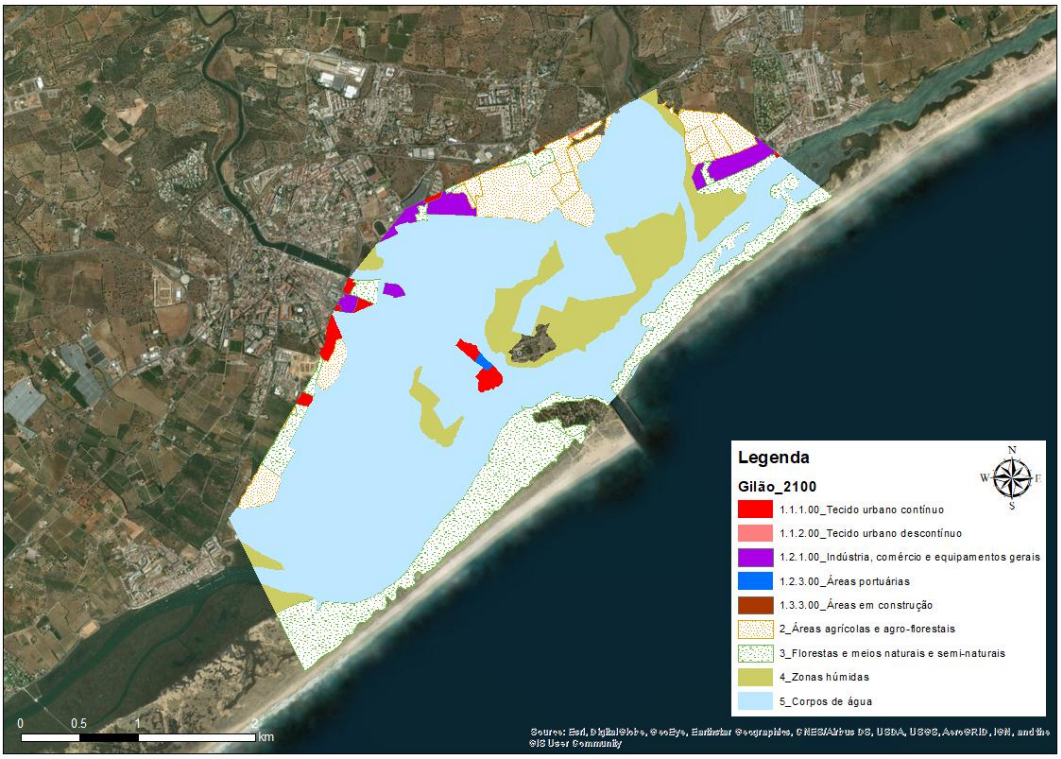


Figura 68 Área inundável no rio Gilão, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

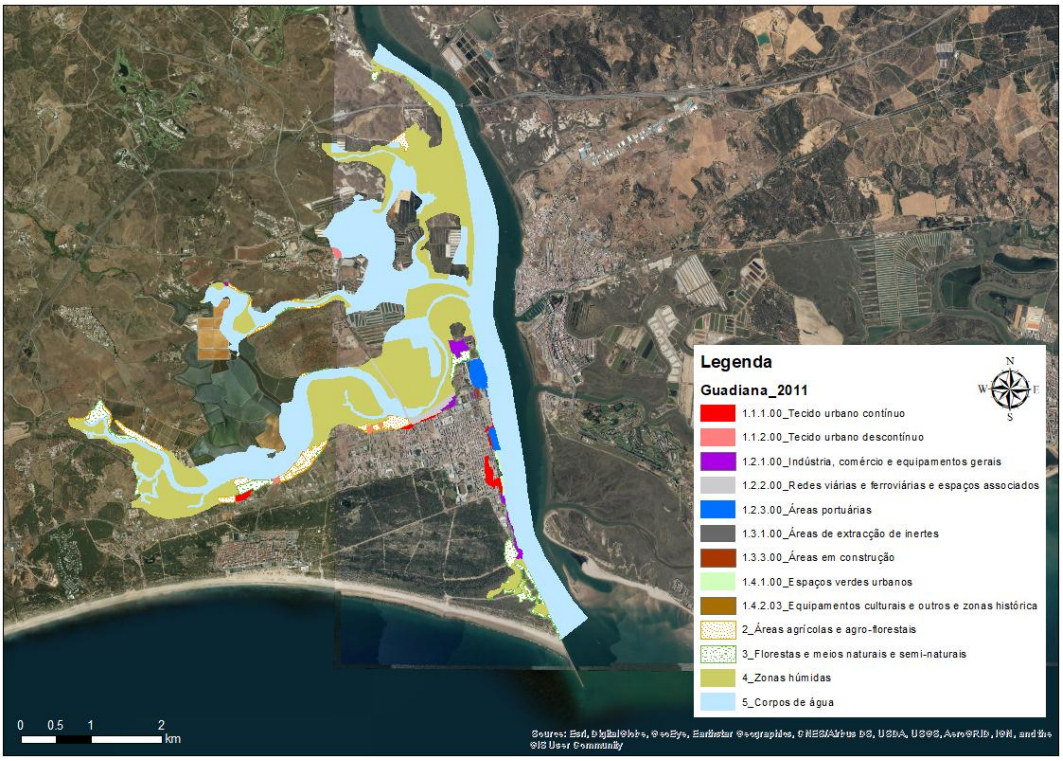


Figura 69 Área inundável no estuário do Guadiana, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário de referência (2011)

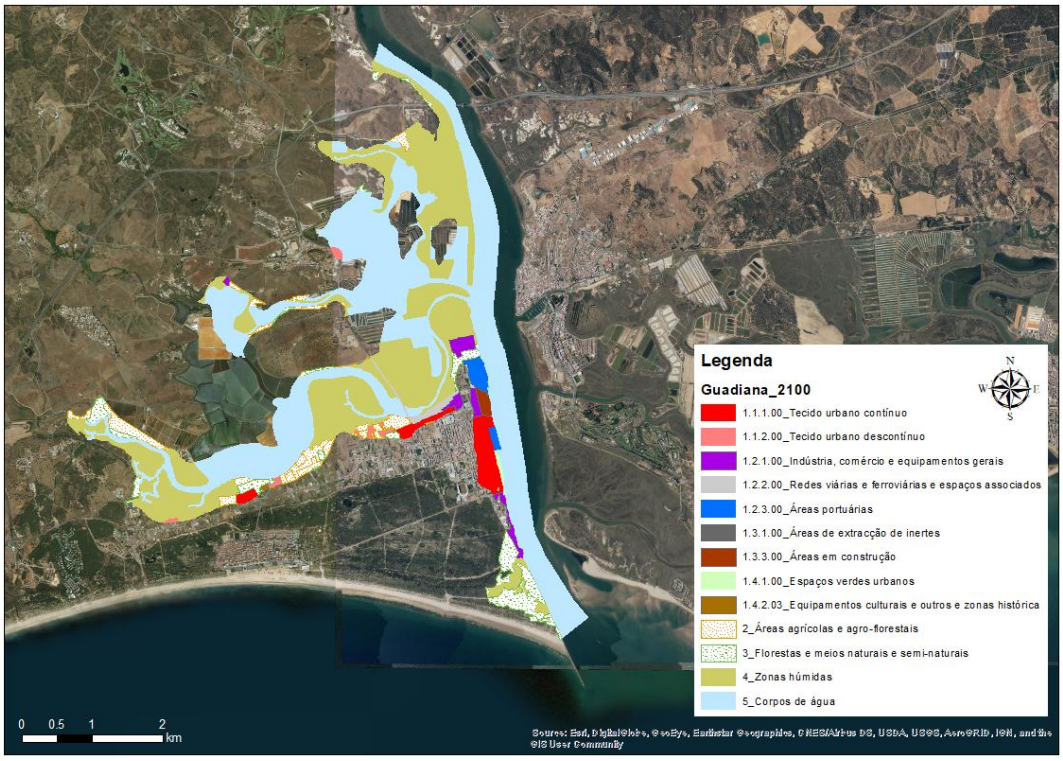


Figura 70 Área inundável no estuário do Guadiana, por tipo de uso e ocupação do solo (COS2015), para o cenário RCP8.5 e para 2100

8.

Equipa Técnica

Coordenação Executiva/Científica
Luís Filipe Dias (CCIAM/cE3c/FCUL)

Coordenação Não Executiva
Filipe Duarte Santos (CCIAM/cE3c/FCUL)

CCIAM/cE3c/FCUL:
Ana Lúcia Fonseca (*Stakeholder Engagement*)
André Oliveira (Saúde humana, Segurança de Pessoas e Bens)
Andreia Ferreira (Segurança de Pessoas e Bens)
Bruno Aparício (Biodiversidade, Clima)
Helena Santos (Agricultura, Florestas)
Hugo Costa (Turismo)
Inês Morais (Recursos Hídricos)
João Pedro Nunes (Recursos Hídricos, Fogos Florestais)
Luís Filipe Dias (Clima, Recursos Hídricos, Segurança de Pessoas e Bens, Ordenamento do Território)
Ricardo Coelho (Energia, Transportes e Comunicações)
Sidney Batista (Clima)
Tomás Calheiros (Fogos Florestais)

CIMA/UAlgarve:
Cristina Veiga-Pires (**Coordenação UAlgarve**)
Delminda Moura (Zonas Costeiras)
Erwan Garel (Cunha Salina)
Flávio Martins (Cunha Salina)
Isabel Mendes (Zonas Costeiras)
João Janeiro (Cunha Salina)
Luciano Junior (Cunha Salina)
Rita Carrasco (Zonas Costeiras)
Ruwan Sampath (Zonas Costeiras)
Susana Costas (Zonas Costeiras)

Bentley Systems Portugal:
David Brito (Cheias e Inundações)
Frank Braunschweig (**Coordenação Bentley**)
Luís Fernandes (Cheias e Inundações)

AMAL Comunidade Intermunicipal do Algarve

POSEUR PROGRAMA OPERACIONAL SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS 2015 20

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA Fundo de Coesão