



**João Pedro Pequito Lopes**

Licenciado em Ciências da Engenharia do Ambiente

**Modelação hidrológica das bacias  
hidrográficas de Monte Novo e Vigia em  
cenários de alterações climáticas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do  
Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo, Professor Auxiliar  
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues, Professor Auxiliar da  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogais: Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo, Professor Auxiliar da Faculdade de  
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa;

Engenheiro João Maria Matos Lopes da Fonseca, Professor Auxiliar Convidado  
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.



**João Pedro Pequito Lopes**

Licenciado em Ciências da Engenharia do Ambiente

**Modelação hidrológica das bacias  
hidrográficas de Monte Novo e Vigia em  
cenários de alterações climáticas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do  
Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo, Professor Auxiliar  
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues, Professor Auxiliar da  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogais: Doutor Paulo Alexandre Marques Diogo, Professor Auxiliar da Faculdade de  
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa;

Engenheiro João Maria Matos Lopes da Fonseca, Professor Auxiliar Convidado  
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Maio 2017

II



Título: Modelação hidrológica das bacias hidrográficas de Monte Novo e Vigia em cenários de alterações climáticas.

Copyright © João Pedro Pequito Lopes, da Faculdade de Ciências e Tecnologias, da Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Faculdade de Ciências e Tecnologia and Universidade Nova de Lisboa have the perpetual right with no geographical boundaries, to archive and publish this dissertation through printed copies reproduced on paper or digital form, or by any means known or to be invented, and to divulge through scientific repositories and admit its copy and distribution for educational purposes or research, non-commercial, as long as the credit is given to the author and publisher.



De acordo com o novo acordo ortográfico



# Agradecimentos

Em primeiro lugar, tenho de agradecer ao professor Paulo Diogo, na qualidade de orientador e conselheiro neste trabalho, por todas os conselhos que me deu, por ter mantido sempre um espirito positivo e comunicativo, incentivando em todos os momentos de trabalho, mas principalmente pela disponibilidade mantida na resolução de qualquer problema que tivesse surgido. O meu muito obrigado por tudo o que fez por mim.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, minha segunda casa durante anos e que me fez crescer como estudante e como pessoa, que me proporcionou momentos de sentimentos muito distintos, mas muito marcantes e que nunca irei esquecer.

À minha família, os meus pais e o meu irmão, que desde sempre me apoiaram em tudo na vida e neste percurso académico mais concretamente me proporcionaram tudo o que necessitei para que este caminho pudesse realizar de forma harmoniosa e motivante. Por serem as pessoas mais especiais da minha vida que sei que estarão sempre para mim.

Um especial agradecimento aos colegas e amigos que me acompanharam durante este trajeto que culmina com esta dissertação e que estiveram presentes em grande parte da minha vida académica e que se tornaram preponderantes para que tudo fosse feito da melhor forma possível. Ao Samuel Santos, à Rita Dias, ao João Domingos, à Mónica Canário e ao Diogo Guerreiro, o meu muito obrigado por terem estado sempre presentes para me apoiar.

Por fim, mas talvez o mais importante, à Natacha. Por tudo. Pelas madrugadas inteiras a acompanhar-me, pelos conselhos dados quando tudo parecia errado, pelos passeios dados quando a cabeça era pouca para continuar, pela experiência de já ter realizado um trabalho desta importância, pelo carinho dado em todos os momentos, até mesmo quando menos o mereci, mas principalmente por nunca ter desistido de mim e ter acreditado nas minhas capacidades e que se não fosse a sua presença, esta dissertação não existiria. A ti, o meu agradecimento mais profundo.



## Resumo

A necessidade de antecipar os problemas possíveis do futuro é uma das maiores preocupações que o ser humano tem na sua existência, tentando procurar as causas e consequências e estudando todos os cenários possíveis de modo a que o que possa ocorrer no futuro não cause um impacto negativo sobre si. Em termos hidrológicos este processo também pensado, equacionando todas as variáveis possíveis que tenham impacto numa bacia hidrográfica e estimar as consequências e alterações que provocam nesta mesma bacia.

De modo a facilitar esta previsão de alterações que possam influenciar o estado natural da bacia hidrográfica, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) estabeleceu quatro cenários futuros, os *Representative Carbon Pathways*, mediante as emissões de carbono para a atmosfera. Seguindo as diretrizes estabelecidas no IPCC, o programa CORDEX, com vários parceiros europeus, realizaram estimativas ao nível da precipitação. Estas estimativas são utilizadas para a realização da modelação hidrológica de modo a prever as alterações futuras.

O objetivo principal desta dissertação consiste na aplicação de um modelo de precipitação-escoamento em duas bacias hidrográficas próximas, mas independentes, a bacia de Monte Novo e a bacia de Vigia, localizadas no distrito de Évora, para um período de calibração. Posteriormente a modelação é feita para um período de validação de modo a inferir se as metodologias usadas na calibração são válidas para o modelo de bacia. Uma vez comprovada a fiabilidade do processo, é possível através do uso de dados de entrada simulados para cenários futuros, realizar uma simulação de escoamentos futuros. Posteriormente, estes resultados são comparados com a modelação hidrológica realizada no projecto GestAqua.adaPT, com outro programa, o SWAT, para as mesmas duas bacias.

Para esta dissertação foi usado o programa ArcGis com a expansão HEC – GeoHMS para criar o modelo físico das duas bacias contendo a informação geográfica necessária relativa às mesmas e posteriormente usando o programa HEC – HMS para realização das simulações precipitação-escoamento para os períodos de avaliação acima descritos.

Com este modelo foi possível observar uma calibração e validação razoável para a bacia de Monte Novo, com um coeficiente de correlação de 0,50 e 0,52 respetivamente e um coeficiente de *Nash Sutcliffe* de 0,20 e 0,35 respetivamente e uma calibração e validação muito boa para bacia de Vigia, apresentando um coeficiente de correlação de 1,00 e 0,99 respetivamente e um coeficiente de *Nash Sutcliffe* de 0,99 e 0,99 respetivamente.

**Palavras-Chave:** Modelação hidrológica, SIG, HEC – HMS, Alterações climáticas, Monte Novo, Vigia



# Abstract

The need to anticipate the possible problems of the future is one of the greatest concerns that human beings have in their existence, trying to look for causes and consequences and studying all possible scenarios so that what may occur in the future does not have a negative impact.

In hydrological terms this process also thought, equating all the possible variables that have impact in a river basin and to estimate the consequences and alterations that provoke in this same basin. In order to facilitate this prediction of changes that may influence the natural state of the river basin, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has established four future scenarios, the Representative Carbon Pathways (RCP), through carbon emissions into the atmosphere. For the analysis of this dissertation two RCPs were considered, RCP 4.5 and RCP 8.5. Following the guidelines established by the IPCC, the CORDEX program, with several European partners, has carried out rainfall estimates. These estimates are used to carry out hydrological modeling in order to predict future changes.

The main objective of this work is the application of a precipitation-drainage model in two near but independent river basins, the Monte Novo basin and the Vigia basin, located in the Évora district, for a calibration period. Subsequently the modeling is done for a validation period in order to infer if the methodologies used in the calibration are valid for the basin model. Once the reliability of the process is proven, it is possible to simulate future flows by using simulated input data for future scenarios. Subsequently, these results are compared with the hydrological modeling carried out in the GestAqua.adaPT project, with another program, the SWAT, for the same two basins.

For this dissertation ArcGis program was used with the HEC - GeoHMS expansion to create the physical model of the two basins containing the necessary geographic information related to them and later using the HEC - HMS program to perform the precipitation - flow simulations for the evaluation periods described above.

With this model, it was possible to observe a reasonable calibration and validation for the Monte Novo basin, with a correlation coefficient of 0.50 and 0.52 respectively and a Nash Sutcliffe coefficient of 0.20 and 0.35 respectively and a calibration and very good validation for Watershed basin, having a correlation coefficient of 1.00 and 0.99 respectively and a Nash Sutcliffe coefficient of 0.99 and 0.99 respectively.

**Key words:** Hydrological modeling, GIS, HEC-HMS, Climate change, Monte Novo, Vigia



## Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	III
Abstract .....	V
Índice.....	VII
Abreviações.....	XV
1. Introdução .....	1
1.1. Âmbito e Enquadramento teórico.....	1
1.2. Objetivo da Dissertação .....	2
1.3. Organização da dissertação .....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Recursos Hídricos .....	5
2.1.1. Situação atual dos Recursos Hídricos em Portugal .....	8
2.1.2. Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos .....	10
2.1.3. Impactos de alterações climáticas nos Recursos Hídricos .....	12
2.1.3.1. Inundações.....	15
2.1.3.2. Inundações em Portugal .....	18
2.2. Sistemas de Informação Geográfica.....	23
2.2.1. Representação.....	24
2.2.2. Georreferenciação .....	25
2.2.3. Visualização .....	25
2.2.4. Análise Espacial .....	26
2.2.5. ArcGIS .....	27
2.3. Modelação hidrológica.....	27
2.3.1. Breves Considerações sobre Modelação .....	28
2.3.2. Classificação dos Modelos Hidrológicos .....	29

2.3.3.	Aplicação da Modelação Hidrológica à Análise de uma Série de Precipitação Contínua	30
2.3.3.1.	Componentes de um Hidrograma.....	31
2.3.3.2.	Forma do Hidrograma e Fatores Condicionantes.....	31
2.3.3.3.	Precipitação Contínua.....	33
2.3.3.4.	Hietograma das Precipitações .....	33
2.3.4.	Parâmetros necessários para Modelação Hidrológica .....	34
2.3.4.1.	Coberto Vegetal.....	34
2.3.4.2.	Armazenamento Superficial .....	34
2.3.4.3.	Perdas de Precipitação.....	34
2.3.4.4.	Transformação de Precipitação em escoamento.....	41
2.3.4.5.	Propagação de Hidrogramas em Cursos de Canal.....	42
2.3.5.	Programas utilizados para Modelação Hidrológica.....	42
2.3.5.1.	HEC-GeoHMS e HEC-HMS.....	42
2.3.5.2.	SWAT.....	43
2.3.5.3.	Comparação.....	44
3.	Metodologia .....	45
3.1.	Caso de Estudo .....	45
3.1.1.	Monte Novo.....	46
3.1.2.	Vigia.....	49
3.2.	Modelo Hidrológico .....	51
3.2.1.	Conceção do modelo de informação geográfica da bacia – HEC-GeoHMS.....	51
3.2.2.	HEC – HMS .....	58
3.2.2.1.	Método de Perdas – Soil Moisture Accounting.....	58
3.2.2.2.	Método de transformação – Clark .....	60
3.2.2.3.	Método de <i>Routing</i> – <i>Muskingum</i> .....	61
3.2.2.4.	Especificações de Controlo .....	62
3.2.2.5.	Modelo Meteorológico .....	63
3.2.2.6.	Análise de resultados.....	65

4. Resultados e discussão .....	67
5. Conclusão.....	87
6. Referências.....	91
7. Anexos.....	95

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Ciclo hidrológico .....	6
Figura 2.2 – Precipitação anual em Portugal.....	8
Figura 2.3 – Dependência hídrica dos países da Europa em percentagem.....	9
Figura 2.4 – Recursos hídricos por habitante .....	10
Figura 2.5 – Número de pessoas afetadas devido a inundações.....	16
Figura 2.6 – Intensidade de inundações por país.....	17
Figura 2.7 – Ocorrências de Eventos Hidro Geomorfológicos .....	20
Figura 2.8 – Riscos em Portugal Continental.....	21
Figura 2.9 – Marcas de cheias, zonas críticas e pontos críticos de inundações.....	22
Figura 2.10 – Modelos hidrológicos matemáticos .....	30
Figura 2.11 – Características de um hidrograma tipo .....	32
Figura 2.12 – Hietograma da precipitação; Distribuição temporal adimensional .....	33
Figura 2.13 – Esquema conceptual do algoritmo SMA .....	36
Figura 2.14 – Parâmetros do algoritmo SMA .....	39
Figura 3.1 – Localização das Bacia Hidrográfica em estudo .....	45
Figura 3.2 – Carta Litológica da bacia hidrográfica de Monte Novo.....	47
Figura 3.3 – Carta da ocupação e Uso do Solo da bacia hidrográfica de Monte Novo.....	48
Figura 3.4 – Carta Litológica da bacia hidrográfica de Vigia .....	49
Figura 3.5 – Carta da ocupação e Uso do Solo da bacia hidrográfica de Vigia .....	50
Figura 3.6 – Ferramentas do pré-processamento do terreno com o HEC – GeoHMS .....	52
Figura 3.7 – Modelo digital do terreno com preenchimento de depressões: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia .....	53
Figura 3.8 – Direção do escoamento: Bacia de Monte Novo e Bacia de Vigia .....	53
Figura 3.9 – Direção do escoamento: Bacia de Monte Novo e Bacia de Vigia .....	54
Figura 3.10 – Segmentos de troços de água: Bacia de Monte Novo e Bacia de Vigia .....	55
Figura 3.11 – Delineamento de sub-bacias: Bacia de Monte Novo e Bacia de Vigia.....	55
Figura 3.12 – Rede de drenagem: Bacia Monte Novo e Bacia de Vigia.....	56
Figura 3.13 – Agregação das sub-bacias: Bacia Monte Novo e Bacia de Vigia .....	57
Figura 3.14 – Projetos finais: Bacia Monte Novo e Bacia de Vigia .....	58
Figura 3.15 – Carta dos Solos de Portugal Continental .....	60
Figura 3.16 – Armazenamento de prisma e em cunha .....	62
Figura 4.1 – Modelo da bacia no programa HEC-HMS: Bacia Monte Novo e Bacia Vigia .....	67
Figura 4.2 – Precipitação média mensal para um RCP 4.5 e RCP 8.8 .....	70
Figura 4.3 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Monte Novo para o período de calibração .....	71

Figura 4.4 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Monte Novo para o período de validação .....	72
Figura 4.5 – Volume mensal médio observado e simulado no HEC-HMS e no SWAT.....	73
Figura 4.6 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4, resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Monte Novo.....	73
Figura 4.7 – Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4, resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Monte Novo .....	74
Figura 4.8 – Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4, resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Monte Novo.....	75
Figura 4.9 – Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4, os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Monte Novo.....	76
Figura 4.10 – Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 4.5 na bacia de Monte Novo	76
Figura 4.11 – Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 4.5 na bacia de Monte Novo.....	77
Figura 4.12 – Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 8.5 na bacia de Monte Novo	78
Figura 4.13 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 8.5 na bacia de Monte Novo.....	78
Figura 4.14 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Vigia para o período de calibração .....	79
Figura 4.15 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Vigia para o período de validação .....	80
Figura 4.16 – Volume mensal médio observado, simulado no HEC-HMS e simulado no SWAT na bacia de Vigia.....	80
Figura 4.17 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Vigia.....	81
Figura 4.18 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Vigia.....	81

Figura 4.19 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Vigia .....	82
Figura 4.20 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Vigia .....	82
Figura 4.21 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 4.5 na bacia de Vigia .....	83
Figura 4.22 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 4.5 na bacia de Vigia .....	84
Figura 4.23 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 8.5 na bacia de Vigia .....	84
Figura 4.24 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 8.5 na bacia de Vigia .....	85

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Acontecimentos históricos registados ocorridos desde o início do século XX .....	18
Tabela 2.2 – Escala especial e temporal dos modelos hidrológicos .....	44
Tabela 2.3 – Dados de entrada para cada um dos modelos em estudo.....	44
Tabela 3.1 – Ocupação e uso do solo da bacia hidrográfica de Monte Novo de acordo com CORINE Land Cover .....	48
Tabela 3.2 – Ocupação e uso do solo da bacia hidrográfica de Monte Novo de acordo com CORINE Land Cover .....	50
Tabela 3.3 – Períodos de avaliação .....	63
Tabela 3.4 – Fator de correção da duração mensal de insolação, K, para multiplicar pela evapotranspiração potencial no equador, $ET_{PO}$ , - fórmula de Thornthwaite .....	65
Tabela 4.1 - Valores dos parâmetros da bacia de Monte Novo.....	68
Tabela 4.2 - Valores dos parâmetros da bacia de Vigia .....	69
Tabela 7.1 – Valores de volume observado e simulado para o período de calibração na bacia de Monte Novo .....	95
Tabela 7.2 -Valores de volume observado e simulado para o período de validação na bacia de Monte Novo .....	96
Tabela 7.3 – Valores de volume observado e simulado para o período de simulação futura na bacia de Monte Novo.....	97
Tabela 7.4 – Valores de volume observado e simulado para o período de calibração na bacia de Vigia.....	108
Tabela 7.5 – Valores de volume observado e simulado para o período de calibração na bacia de Vigia.....	109
Tabela 7.6 – Valores de volume observado e simulado para o período de cenário futuro na bacia de Vigia .....	110
Tabela 7.7 – Estimativa dos valores de parâmetros de calibração para todas as classes de CORINE Land Cover .....	1

## Índice de Equações

Equação 3.1 – Tempo de concentração da bacia hidrográfica em horas .....	61
Equação 3.2 – Coeficiente de armazenamento da bacia hidrográfica em horas.....	61
Equação 3.3 – Índice de calor mensal .....	64
Equação 3.4 – Índice de calor anual.....	64
Equação 3.5 – Valor da evapotranspiração potencial.....	64
Equação 3.6 – Evapotranspiração potencial com latitude diferente.....	64
Equação 3.7 – Coeficiente de correlação .....	65
Equação 3.8 – Eficiência de Nash Sutcliffe .....	66

# Abreviações

AEA

Agência Europeia do Ambiente

APA

Agência Portuguesa do Ambiente

ARS

Agricultural Research Service

ASTER

Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer

CCIAM

Climate Change Impacts Adaptation and Modeling

CO<sub>2</sub>

Dióxido de Carbono

CSIG

Sistema de Informação Geográfica do Canadá

DQA

Diretiva Quadro da Água

EM – DAT

The International Disaster Database do Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

ENACC

Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

ESRI

Environmental Systems Research Institute

HEC – HMS

Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System

IPCC

Intergovernmental Panel on Climate Change

LA

Lei da Água

MDT

Modelo Digital do Terreno

NSE

Nash Sutcliffe

PGRH

Planos de Gestão de Região Hidrográfica

PM

Programas de medidas

PNA

Plano Nacional da Água

PNPOT

Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

RCP

Representative Concentration Pathways

SIG's

Sistemas de Informação Geográfica

SMA

Soil Moisture Accounting Loss

SNIRH

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SWAT

Soil and Water Assessment Tool

UE

União Europeia

USPA

United State Department of Agriculture

UTM

Universal Transverse Mercator

# 1. Introdução

## 1.1. Âmbito e Enquadramento teórico

A água é um elemento de primeira necessidade para o Homem, animais e plantas e como tal, esta não é somente essencial para sustentar a vida, mas também para o suporte de todos os ecossistemas, desenvolvimento económico, bem-estar comunitário e valores culturais.

Presentemente, tem-se observado uma certa degradação dos recursos hídricos provocadas por ações humanas. Devido à complexidade das origens dos problemas hídricos surge a necessidade de conjugar diferentes perspetivas de forma a reverter a situação atual. Estima-se que cerca de 45% da superfície terrestre é coberta por bacias hidrológicas partilhadas o que corresponde a cerca de 263 bacias hidrográficas transfronteiriças distribuídas por 145 países.

As cheias são um fenómeno cíclico e temporal comum causados, principalmente, por eventos de precipitação prolongados tendo um grande impacto na economia da União Europeia (UE).

Segundo a base de dados *The International Disaster Database* do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (EM – DAT), nos últimos 40 anos foram reportados cerca de 6 065 eventos de cheias, inundações e tempestades onde resultaram mais de 400 000 mortes e 3,5 mil milhões de pessoas afetada. Na década de 2000 – 2010 foram registados os eventos mais desastrosos na Europa, nomeadamente no verão de 2002, as grandes cheias no Danúbio e no Elba e as cheias de 2007 no Reino Unido que determinaram um prejuízo de 20 mil milhões de euros (EM – DAT, 2016). Assim, a 23 de outubro de 2007, o Parlamento Europeu e do Conselho estabeleceram a Diretiva 2007/60/CE, sobre a avaliação e gestão dos riscos de inundação estabelecendo medidas estratégicas para uma ação à sua prevenção definindo planos de gestão de risco de inundação de bacias hidrográficas afetadas (DRE, 2017).

Em Portugal registam-se ao longo de tempo grandes cheias continuando este fenómeno a ser um risco natural frequente. O rio Tejo é um dos rios que está sujeito a grandes inundações em períodos de precipitações mais intensas, mesmo com a quantidade elevada de barragens tanto em Portugal como em Espanha, chegando a criar problemas de circulação rodoviária em várias zonas como, por exemplo, Abrantes e Santarém (Rebello, 2003). Dessa forma, foi necessário reformar necessidades de metodologias aplicadas pondo em vigor o Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro, com o objetivo de mapear zonas inundáveis e zonas de risco de inundação (DRE, 2017).

Portugal apresenta uma grande variabilidade de distribuição da precipitação, tanto temporal como espacial, tornando-se fundamental aprofundar o conhecimento destes fenómenos, as suas causas e por em prática medidas de prevenção que advertem consequências graves. Desta forma, os planos de gestão das bacias hidrográficas mostram um grande avanço neste tema onde são construídos mapas digitais, através

dos métodos adequados, apresentando as zonas críticas de cheias em cada bacia, assim como medidas de ação e de mitigação dos efeitos das mesmas (PROCIV, 2017) .

Na presente dissertação pretende-se implementar metodologias que integram a modelação de escoamentos e Sistemas de informação geográfica (SIG). O estudo foi desenvolvido para as bacias hidrográficas das albufeiras de Monte Novo e de Vigia, localizadas na bacia do rio Degebe, este um dos principais afluentes nacionais à albufeira de Alqueva.

## **1.2. Objetivo da Dissertação**

Na presente dissertação pretende-se caracterizar o escoamento superficial nas bacias hidrográficas, das albufeiras de Monte Novo e Vigia em cenários de alterações climáticas. O objetivo central do estudo consiste na simulação do processo precipitação-escoamento, através da aplicação de um modelo hidrológico de precipitação-escoamento, *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System* (HEC – HMS) às duas bacias em estudo procedendo-se ainda a uma análise comparativa entre resultados obtidos com o modelo *Soil and Water assesement Tool* (SWAT) no âmbito do projeto GestAqua.Ada.PT (NOVA.ID.FCT, 2016)

A principal motivação para a elaboração deste estudo é a relevância do estudo sistema de abastecimento de água para consumo humano no distrito de Évora, assente no sistema de albufeiras de Monte Novo e Vigia. Este sistema insere-se numa região com elevados perigos climáticos, onde podem vir a ocorrer alterações climáticas com impactos bastantes negativos, nomeadamente, nos padrões de precipitação e no aumento da ocorrência de eventos meteorológicos extremos. Não só o abastecimento de água, mas também o facto de haver um potencial aumento das áreas irrigadas que determinará a necessidade de estratégias de adaptação para a redução de necessidades hídricas. Não menos relevante, estes problemas colocam também em causa a qualidade da água na região do Alentejo potenciando aumento de custo económicos.

Todos os fatores mencionados constituem riscos para a disponibilidade hídrica e podem ser condicionados em função de potenciais impactos de alterações climáticas. Além do objetivo principal descrito pretende-se ainda obter valores de escoamento simulados para períodos de calibração e de validação e posteriormente, segundo diferentes cenários climáticos, ser possível obter valores de escoamento futuros por forma a poder entender a resposta a cenários diferentes da atualidade. Neste contexto, o manuseamento de uma ferramenta de modelação como o HEC – HMS pode ser determinante para a obtenção destes valores.

### **1.3. Organização da dissertação**

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos em que, o primeiro introduz o trabalho, efetuando um enquadramento teórico e a justificando a importância do tema mencionando os seus objetivos de modo a conhecer o contexto em que este estudo está inserido. O segundo capítulo diz respeito à revisão bibliográfica onde é composto pelo estado da arte no que se refere à evolução dos conceitos como os recursos hídricos, bem como o progresso da legislação nacional e internacional no sentido de possibilitar o envolvimento social na gestão do ambiente, em particular na gestão da água. Refere ainda os métodos e programas utilizados na implementação dos modelos hidrológicos. O terceiro capítulo refere-se à metodologia em que descreve o caso de estudo e procede-se a uma proposta de metodologia envolvendo etapas necessárias à elaboração de cartas digitais para se chegar a um resultado final conclusivo. A apresentação e discussão dos resultados estão inseridos no quarto capítulo. Por último, são apresentadas as conclusões da dissertação assim como limitações encontradas e recomendações para desenvolvimentos futuros.



## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Recursos Hídricos

Todas as civilizações se desenvolveram em torno da água, seja nas suas estruturas económicas, sociais e culturais, ou nos seus processos expansivos. Este elemento sempre constituiu um fator fundamental para as indústrias extrativas, como a pesca e a agricultura, assim como para o comércio, transporte, sistemas de defesa e para o abastecimento de populações. Sendo um bem vital à vida é de todo o interesse Humano manter os ecossistemas do planeta de modo a garantir a sua quantidade e qualidade pois a água é um bem comum a toda a Humanidade. Assim, neste capítulo apresentam-se os principais conceitos sobre potencialidades, limitações e mecanismos de articulações entre planeamento dos recursos hídricos e ordenamento do território

A água é um recurso natural, renovável e fundamental à vida. É um elemento essencial sendo utilizada para consumo doméstico, agrícola assim como nos setores nomeadamente da indústria, energia e turismo. A sua disponibilidade depende, no entanto, do nível de poluição em que esta se encontra. A sua forma de utilização contribui para a sua escassez e degradação da qualidade. O elevado desenvolvimento da população e o crescimento desordenado do território e não planeado das atividades económicas, indústrias, agrícolas, tem feito com que se desenvolva uma situação grave de poluição progressiva dos recursos hídricos superficiais, a qual obriga a tratamentos cada vez mais numerosos para a sua posterior utilização de forma viável e segura (Fadigas, 2011).

O conceito de “recurso hídrico” não se refere à totalidade das águas, mas sim ao conjunto de águas que se encontram disponíveis, ou que podem vir a ser mobilizadas, para satisfazer em quantidade e qualidade uma certa necessidade, num determinado local e durante um determinado período de tempo (Hipólito & Vaz, 2014). As atividades humanas como agricultura, pesca, indústria, serviços, navegação, entre outros, dependem essencialmente da disponibilidade de uma certa quantidade e inevitavelmente da sua qualidade para o seu desenvolvimento e funcionamento pelo que dependem dos recursos hídricos (Fadigas, 2011).

A compreensão do ciclo hidrológico é fundamental para a compreensão dos modelos hidrológicos de modo a compreender as componentes e conceitos envolvidos. Embora não se possa considerar um início e um fim para o ciclo hidrológico, tomando a atmosfera como ponto de partida, verifica-se que nesta se acumula vapor de água que, devido a certas condições, origina precipitação. Parte dessa precipitação é evaporada durante a queda, voltando à atmosfera. Outra parte é intercetada pelas folhas das plantas e estruturas urbanizadas, sendo evaporada e voltando também à atmosfera. A restante parcela atinge a superfície da terra onde fica retida dando origem à evaporação e ao escoamento superficial, na rede

hidrográfica, de onde também é evaporada ou atinge o oceano que constitui a maior fonte de evaporação (NASA, 2017).

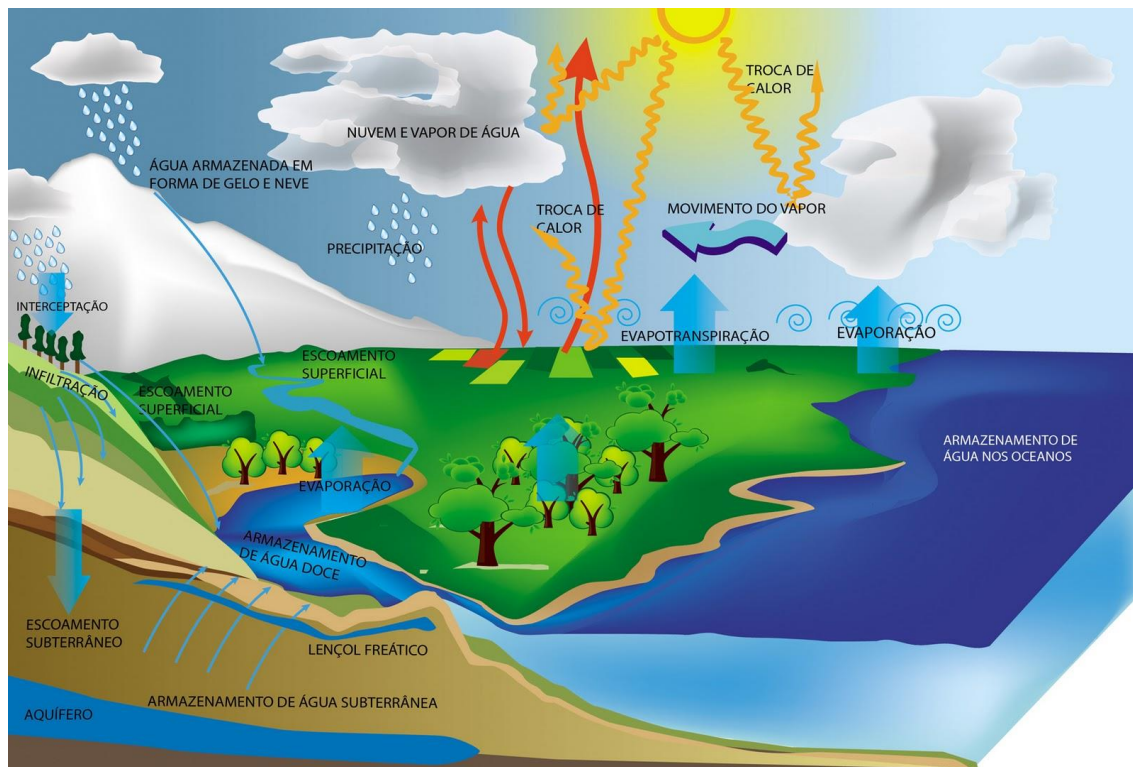


Figura 2.1 – Ciclo hidrológico

Assim, o ciclo hidrológico, demonstra o contínuo movimento da água, sobre e acima da superfície terrestre, considerando as extensões líquidas de água, lagos, zonas húmidas, baías e oceanos, incluindo também neve e gelo como água em estado líquido. A dinâmica do ciclo hidrológico leva à constante mudança do estado físico da água e à sua renovação o que, segundo Fadigas, 2011, estas mudanças são essenciais pois influenciam diretamente os processos biogeoquímicos dos ecossistemas terrestres e aquáticos e são fundamentais para a manutenção dos mesmos. Para além disso, ainda contribuem para consolidar a existência dos diferentes reservatórios de água dentro do ciclo hidrológico e a maneira que a Natureza tem de poder reabastecer, redistribuir e purificar os recursos hídricos naturais do planeta Terra.

Tanto a água como a população estão distribuídas de forma desigual e, portanto, os países e sub-regiões experimentam diferentes graus de *stress* hídrico. A sua distribuição desigual no território deve-se ao facto das características geofísicas existentes e às crescentes pressões para a sua utilização. Problemas de disponibilidade de água ocorrem quando a procura excede a quantidade de água disponível num determinado período. Ocorre frequentemente em áreas com baixa precipitação e alta densidade populacional, e em áreas com intensa atividade agrícola ou industrial. Para além dos problemas de abastecimento de água, a sua sobre exploração levou à secagem de áreas naturais no oeste e sul da Europa e à intrusão de água salgada nos aquíferos (EEA b, 2012).

A magnitude de cada componente do ciclo hidrológico numa região ou país é determinada por uma série de fatores, incluindo a quantidade de água recebida através da precipitação, entrada e saída em rios e aquíferos e a quantidade perdida por evaporação e/ou transpiração.

A precipitação é a principal fonte de água doce caindo em toda a parte do planeta Terra sendo, contudo, a sua distribuição bastante variável. De igual modo, a evaporação e a água proveniente do retorno da transpiração para a atmosfera é existente em quase toda a parte, mas com taxas de evaporação e transpiração a variarem de forma substancial de acordo com as regiões do planeta Terra e às condições climáticas. Desta conjugação resulta assim que grande parte da precipitação nunca atinge os oceanos como água de superfície e subterrânea antes de a água ser devolvida para a atmosfera.

O movimento da água na atmosfera e na superfície da Terra é relativamente fácil de visualizar, mas o movimento da água subterrânea não o é, isto porque a água subterrânea movimenta-se através de fluxos de diferentes comprimentos desde áreas de recarga para as áreas de descarga.

A retirada de água dos aquíferos superficiais para o uso pessoal, abastecimento de água doméstico, irrigação e usos industriais é cada vez mais generalizada devido ao aumento dos preços e das capacidades tecnológicas. Como será óbvio, a retirada de água de aquíferos rasos perto da superfície pode diminuir a água superficial disponível afetando o fornecimento através da captura de alguns fluxos de águas subterrâneas.

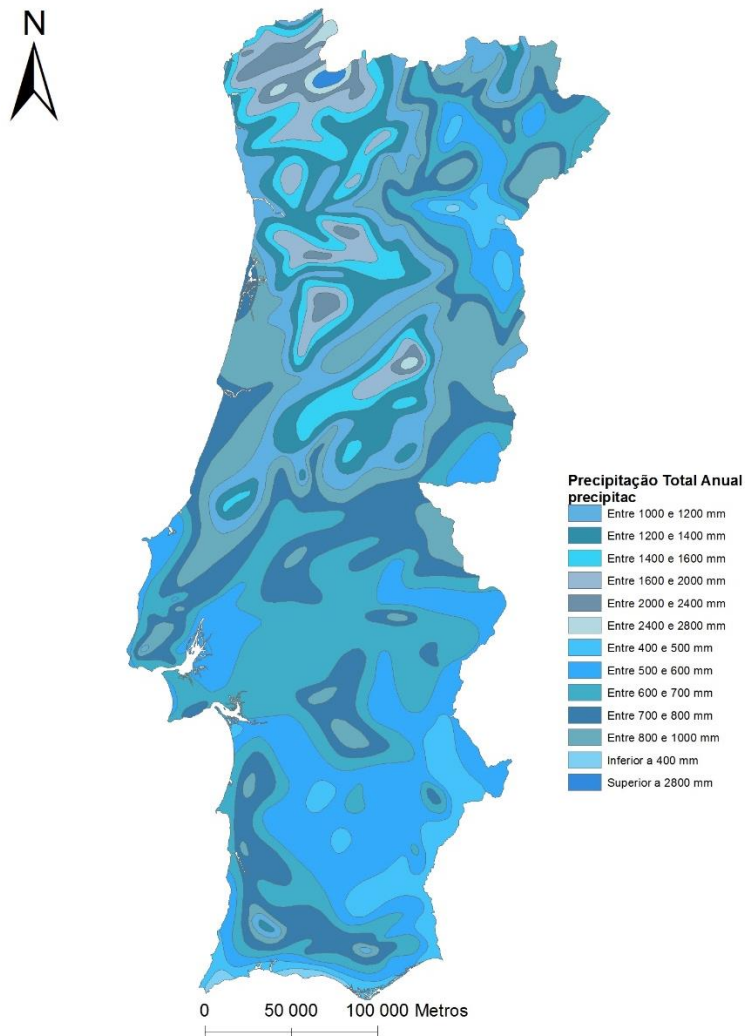


Figura 2.2 – Precipitação anual em Portugal (SNIAmb, 2017)

### 2.1.1. Situação atual dos Recursos Hídricos em Portugal

Sendo a água é um bem essencial para a vida, trata-se também de um recurso económico essencial para a economia, sendo por esse motivo que a política da EU nos últimos 30 anos está centrada na proteção dos recursos hídricos. A mais recente síntese das políticas é apresentada no documento, “*Blueprint to safeguard Europe's water resource*”, que visa a garantir a qualidade e quantidade suficientes para todas as utilizações legítimas.

Os recursos hídricos renováveis são calculados com a soma do fluxo interno (precipitação menos a evapotranspiração) e o fluxo externo. A disponibilidade de água doce de um país é determinada pelas condições climáticas, geomorfologia, uso da terra e fluxos de água externos.

De acordo com a figura 2.3, Portugal é o sétimo país europeu com maior dependência de recursos hídricos. Considerando os recursos de água doce por habitante (figura 2.4), Portugal situa-se na décima

terceira posição com uma média de longo prazo de 7 000 m<sup>3</sup> por habitante. Este segundo indicador é importante para medir a sustentabilidade dos recursos hídricos. Segundo o “*World Water Development Report*” das Nações Unidas, um país enfrenta *stress* hídrico quando apenas 1 700 m<sup>3</sup> de água doce está disponível por habitante (Eurostat, 2017).

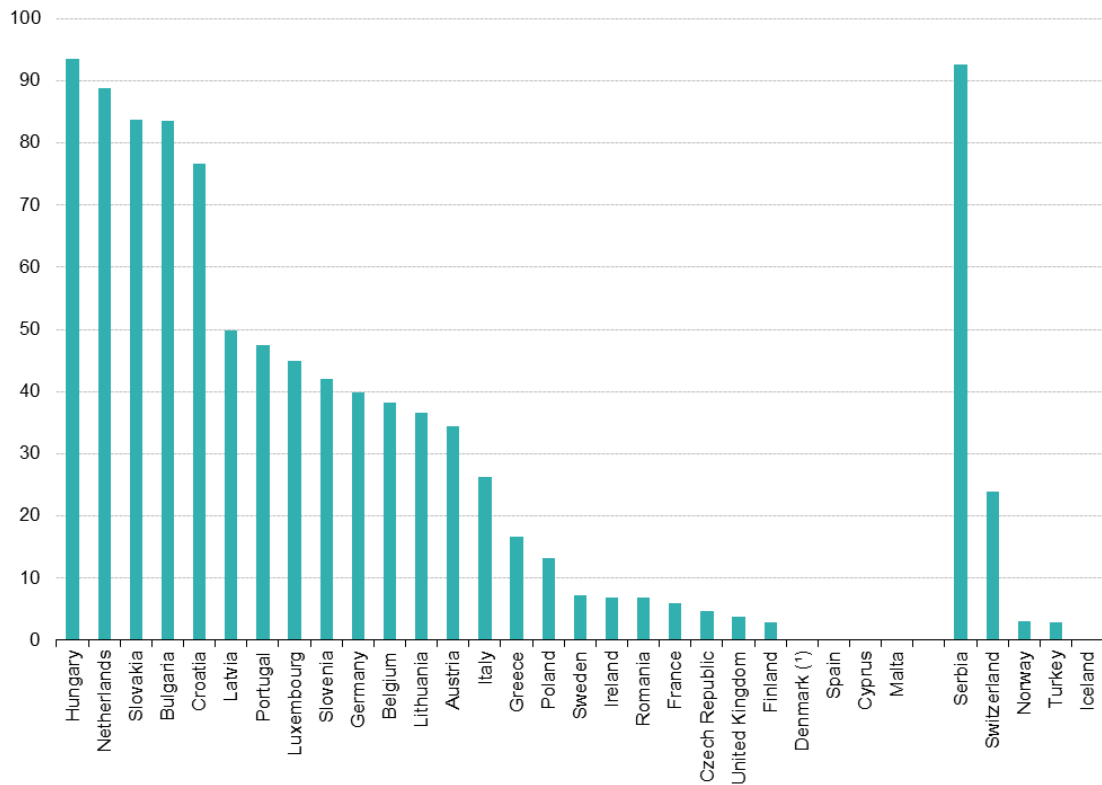


Figura 2.3 – Dependência hídrica dos países da Europa em percentagem (Eurostat, 2017)

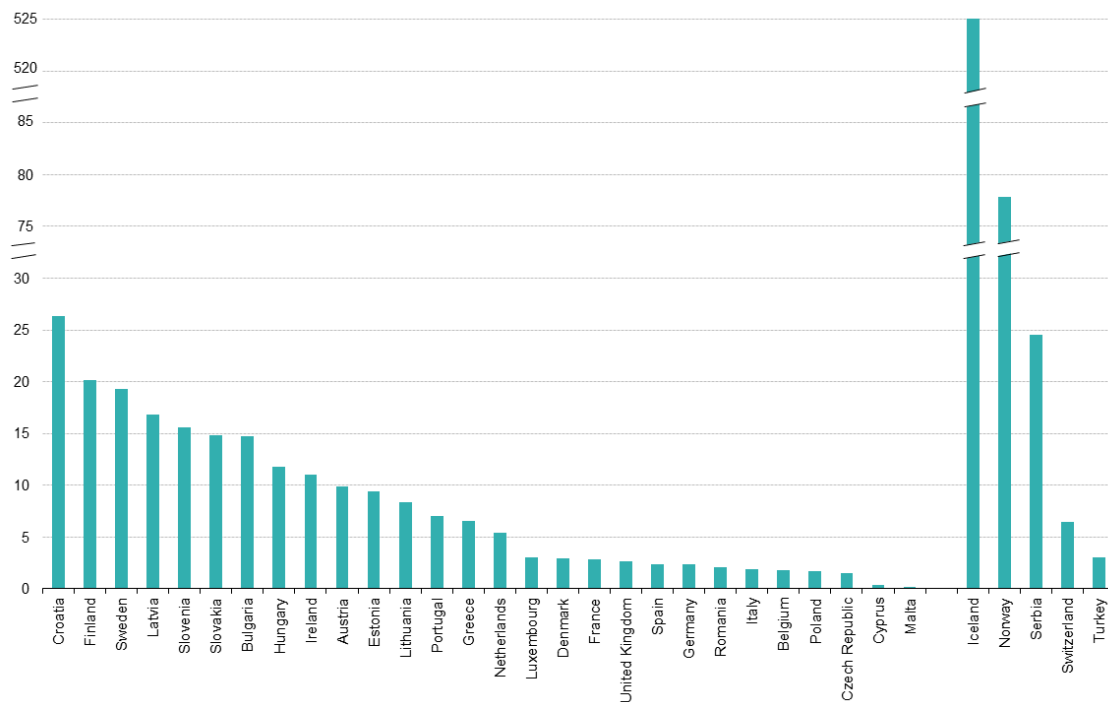


Figura 2.4 – Recursos hídricos por habitante (Eurostat, 2017)

### 2.1.2. Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos

As preocupações pela gestão da água surgem a partir nos anos 60 no século XX devido à dificuldade sentida em equilibrar a procura progressiva desencadeada pelo aumento populacional e pelo desenvolvimento económico e, por outro lado, às pressões praticadas sobre os recursos hídricos devido à poluição resultante de efluentes domésticos, industriais, agrícolas com pouco ou nenhum tratamento (Hipólito & Vaz, 2014).

A gestão dos recursos tem como função distribuir a água existente em todas as condições e situações para todos os consumidores e utilizadores. As instituições de gestão da água foram formadas a partir de cada situação particular e evoluíram com a competição entre os diferentes utilizadores da água. A abordagem tradicional e setorializada da gestão dos recursos hídricos deixou de ser viável dando lugar a uma abordagem de gestão por bacia hidrográfica que tem correspondido às expectativas na medida que se tem eficiente ao nível da gestão dos recursos hídricos (Neto & Schussel, 2015).

Uma bacia hidrográfica é uma entidade como uma unidade territorial, formada por um conjunto de elementos físicos, biológicos, sociais e políticos que integram entre si, modificando todo o sistema. Segundo Neto & Schussel, 2015, a gestão de uma bacia hídrica deve ser feita através de planos de gestão elaborados com indicadores ambientais e antropogénicos que permitem a avaliação da situação de cada

bacia. Também se pode conciliar a satisfação das necessidades de água para os diferentes usos com a preservação do ambiente e dos recursos naturais (Almeida & Brito, 2017).

No Plano Nacional da Água (PNA) é definida a estratégica nacional para a gestão integrada da água em Portugal. Este estabelece as políticas nacionais da água, os princípios e regras de orientação dessa política a aplicar, pelos planos de gestão de regiões hidrográficas e por outros instrumentos de planeamento das águas (APA, 2017).

O objetivo que se pretende para o PNA é ser abrangente, enquadrador das políticas de gestão de recursos hídricos nacionais, dotado de visão e proteção estratégica para a sustentabilidade do desenvolvimento socioeconómico nacional e sobretudo para o planeamento e gestão dos recursos hídricos.

A 9 de novembro de 2016 foi elaborado um Decreto-Lei nº 76/2016, sobre os termos do Decreto-Lei 22 de junho nº 130/2012, vulgarmente designada Lei da Água (LA), estabelecendo o enquadramento para a gestão das águas sobre ordem jurídica interna a Diretiva nº 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2007, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, Diretiva Quadro da Água (DQA), onde se destacam as opções estratégicas da política nacional da água a aplicar pelos planos de gestão de região hidrográfica (PGRH) e os programas de medidas (PM) para o período 2016 – 2021 e programas de medidas que lhe estão associados. A revisão desta lei reflete também as grandes linhas prospetivas da política para o período 2022 – 2027 que corresponde ao 3º ciclo de planeamento da DQA (DRE, 2017).

Assim, a gestão dos recursos hídricos nacionais devem seguir três objetivos fundamentais, nomeadamente (APA, 2017):

- Proteção e requalificação do estado dos ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como zonas húmidas que deles dependem respeitando as necessidades da água,
- Promoção do uso sustentável, equilibrado e equitativo da água com qualidade, tendo em conta o seu valor económico, baseando-se numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis,
- Aumento da resiliência relativamente aos efeitos das inundações e das secas, e outros fenómenos meteorológicos extremos decorrentes das alterações climáticas.

São, assim, objetivos estratégicos da política de gestão da água proteger o ambiente aquático contra os danos causados pelas emissões poluentes, restaurando o funcionamento dos sistemas naturais e combater a perda de biodiversidade e, ao mesmo tempo, assegurar o fornecimento de água com qualidade às populações e às atividades económicas, protegendo-as dos fenómenos hidrológicos extremos, nomeadamente, cheias,

inundações e secas. O PNA é uma entidade com carácter nacional tendo a obrigação de cumprir e fazer cumprir o PGRH, respeitando a LA, nunca pondo em risco as atividades setoriais<sup>1</sup>.

### **2.1.3. Impactos de alterações climáticas nos Recursos Hídricos**

As alterações climáticas e os efeitos sobre os recursos hídricos têm vindo a ser debatidos pela sociedade civil, peritos, académicos e pessoas interessadas em proteger o planeta Terra. Fenómenos sistemáticos como inundações, escassez ou outras perturbações têm impactos significativos na distribuição temporal e espacial da disponibilidade dos recursos hídricos e na qualidade da água. Existem impactos indiretos devido a destes fenómenos nomeadamente nas atividades económicas e sociais que podem agravar as pressões sobre o meio hídrico com a procura de água ou de um aumento da carga poluente afluente às massas de água (PROCIV, 2017).

Segundo o quinto relatório de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) estima que as concentrações de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera terrestre tenham aumentado cerca de 40% desde o período da pré industrialização. Este número deve-se devido à queima de combustíveis fósseis e alterações do uso do solo o que, conseqüentemente aumentam a concentração atmosféricas dos Gases de Efeito de Estufa (GEE). Desde 1880 até 2012 houve um aumento da temperatura média global de cerca de 0,85°C. Relativamente ao clima futuro espera-se que esta concentração provoque um aumento na temperatura média global e por sua vez alterações no sistema climático. Vários projetos projetam um aumento entre 0,3 a 0,7°C para o período 2016 – 2035 e de 0,3°C a 4,8°C para o período 2081 – 2100. Contudo, relativamente à precipitação, a incerteza do clima futuro é relativamente maior uma vez que estas não são uniformes. À medida que a temperatura global aumenta os eventos de precipitação extrema se tornem mais frequentes e intensos (ClimAdaPT.Local, 2016).

Ao longo do século XXI, segundo o relatório do IPCC, o oceano irá a aquecer e o nível médio do mar a subir. Refere que a subida do nível do mar não será uniforme para todas as regiões devido à expansão térmica e à perda de massa dos glaciares e dos calotes polares. Estima-se que durante o período 2081 – 2100 a subida do nível médio do mar será 0,26 a 0,98 metros (ClimAdaPT.Local, 2016).

---

<sup>1</sup> Políticas energéticas, de transportes, agrícolas e florestal, das pescas, da conservação da natureza, regional e turística.

Existem modelos climáticos que permitem a simulação do sistema climático a diferentes alterações naturais e/ou antropogénicas, possibilitando assim a elaboração de projeções do clima futuro para diferentes escalas temporais e espaciais. A elaboração dessas projeções climáticas pressupõe a utilização de cenários de emissões de GEE como dados de entrada nos modelos climáticos designados por *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Estes cenários representam possíveis evoluções socioeconómicas e respetivas emissões de GEE (ClimAdaPT.Local, 2016).

A partir da concentração atual de CO<sub>2</sub>, que ronda 400 ppm, dois RCPs foram utilizados nesta estratégia:

- RCP<sub>4.5</sub> – Uma trajetória de aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosféricos até 520 ppm em 2070, aumentando de forma mais lenta até ao final do século.
- RCP<sub>8.5</sub> – Uma trajetória de crescimento semelhante ao RCP<sub>4.5</sub> até meio do século, seguida de um aumento rápido e acentuado, atingindo uma concentração de CO<sub>2</sub> de 950 ppm no final do século.

Os dados simulados a partir dos modelos climáticos são geralmente representados recorrendo a grelhas com uma resolução espacial associada à capacidade de cada modelo em representar adequadamente os variados fenómenos atmosféricos e as massas terrestres e oceânicas (ClimAdaPT.Local, 2016).

De forma a identificar as potenciais alterações projetadas em que consiste avaliar a diferença entre o valor de uma variável climática num dado período de 30 anos relativamente ao período de referência entre o clima atual e futuro:

- 1976 – 2005: clima atual
- 2041 – 2070: médio-prazo
- 2071 – 2100: longo-prazo

O ciclo hidrológico tem sido diretamente afetado com as alterações climáticas e a emissão e concentração dos gases de efeito de estufa são um dos grandes responsáveis deste fenómeno originando um aumento da temperatura do ar, causando assim impactos sobre os níveis de precipitação e o nível médio da água do mar, com consequências diretas sobre a qualidade e quantidade da água. Situações extremas como cheias e secas também atingem diretamente a disponibilidade hídrica. As atividades socioeconómicas e o património natural são igualmente afetados (Alentejo, 2012).

A Estratégia Setorial sobre a Adaptação aos Impactos das Mudanças Climáticas sobre os Recursos Hídricos analisa os impactos das alterações climáticas sobre os diferentes setores económicos onde a água é o fator essencial. Estas estratégias de adaptação visam preparar a sociedade para os efeitos deste fenómeno e dessa forma garantir o controlo dos respetivos impactos negativos. O estudo sobre esta matéria incidindo sobre os vários setores económicos, sistemas de infraestruturas e procedimentos de planeamento e gestão é

a base para qualquer proposta concreta para um programa de adaptação. Tendo em conta os níveis de incertezas nos cenários climáticos, principalmente à magnitude das alterações, a estratégia passa por:

- Adotar medidas de prevenção às condições climáticas;
- Capacidade de atuar sob novas condições climáticas,
- Capacidade de recuperação sobre condições adversas.

Esta nova estratégia tem um plano contínuo e cíclico contemplando medidas de adaptação dos impactos das alterações climáticas, verificando se os resultados esperados vão sendo alcançados e se as metodologias impostas conduzem aos objetivos finais desejados (PROCIV, 2017).

As medidas de adaptação devem ser incluídas nos diversos tipos de planos de gestão de recursos hídricos tal que devem assegurar os princípios e orientações da estratégia nacional de adaptação às alterações climáticas. As características específicas os territórios como espaço, topografia, estrutura geotectónica, litologia, condicionantes geográficos e natureza hidrogeológica, fazem com que estes sejam particularmente vulneráveis aos impactos das alterações climáticas, ou seja, as estratégias de adaptação devem ser à escala local adaptando planos de desenvolvimento, de negócios ou de segurança local (Barroco & Afonso, 2012). Contudo, se o estado de maturidade das estratégias de adaptação propostas forem variáveis constata-se que, mesmo com estratégias mais desenvolvidas, será difícil a sua implementação se a sociedade não reconhecer o problema e não o enfrentar, sendo reduzido o número de ações ou medidas concretas propostas (Canaveira & Santos, 2013).

A intrusão salina, a redução de precipitação total e o aumento da temperatura são os principais efeitos das alterações climáticas com reflexos na sua quantidade e qualidade. Assim, a proteção e valorização dos recursos hídricos é de todo o interesse Humano dependendo do envolvimento institucional na definição de políticas e orientações, planos e programas de medidas, devendo ser abordados no processo de planeamento através dos planos de bacias hidrográficas e ordenamento do território. Outro aspeto muito importante é a coordenação transfronteiriça dos esforços de adaptação entre Portugal e Espanha, uma vez que as pressões climáticas na parte espanhola das bacias hidrográficas partilhadas, assim como as respostas encontradas, são suscetíveis de serem transmitidas para Portugal (Canaveira & Santos, 2013).

Assim, só é possível encontrar respostas para os desafios que hoje são impostos pelas necessidades crescentes da água e pelas perturbações causadas nos recursos hídricos, relacionadas com o uso do solo e das alterações climáticas.

### 2.1.3.1. Inundações

Hoje em dia as sociedades enfrentam graves problemas associados aos riscos naturais devido a consequências ambientais, impactos económicos e sociais negativos que são provocados. Assim, é do nosso interesse conhecer os fatores que estão na sua origem determinando os efeitos perturbadores que por sua vez podem reduzir as suas potenciais consequências.

Os desafios ambientais estão diretamente ligados à maneira de como dependemos do ambiente natural e como este nos dá recursos naturais que conseguem suportar a sociedade. Muito dos problemas ambientais que defrontamos hoje em dia já se verificam há décadas. Tem-se vindo a alterar a avaliação das causas e dos impactos que estes podem ter sobre o Planeta.

As cheias fazem parte do ciclo hidrológico e do desenvolvimento natural dos ecossistemas. Em diferentes regiões climáticas as adaptações a este tipo de causas tem-se verificado, ao longo de milhares de anos, a formação de planícies aluviais, sapais e zonas áridas (EEA a, 2012). No entanto o ciclo hidrológico está a ser perturbado e as causas extremas são cada vez mais frequentes em várias regiões do Planeta. As grandes alterações das pressões climáticas e temperatura assim como o crescimento exponencial urbano está a contribuir de forma fulcral para este aumento.

As inundações são fenómenos naturais que podem ser evitados. No entanto, com o aumento das aglomerações humanas e dos bens económicos nas planícies aluviais e a redução da retenção natural de água devido à utilização do solo, as alterações climáticas contribuíram para um aumento da probabilidade de ocorrência de inundações e do respetivo impacto negativo (EUR-Lex, 2007). É possível reduzir o risco das consequências prejudiciais associadas às inundações, especialmente para a saúde e vidas humanas, ambiente, património cultural, atividades económicas e infraestruturas. Contudo, para a sua eficiência, as medidas de redução destes riscos deverão ser tanto quanto possível coordenados à escala das bacias hidrográficas (APA b, 2017). Assim, como já foi referido, é de extrema importância a elaboração de planos de gestão das bacias hidrográficas.

As inundações são provocadas por precipitações intensas que provocam o aumento do caudal dos cursos de água conduzindo assim ao transbordo dos rios que originam as inundações das margens e áreas próximas usualmente frequentadas pela atividade humana colocando em risco vidas e bens (Zêzere, Pereira, & Morgado, 2006). Contudo, o Homem desde sempre se deslocou para perto de massas de água, não só devido a questões de recursos naturais como também ao transporte e à comunicação. Tal como existiam benefícios como os anteriormente referidos, o Homem também se sujeitaria a situações de risco.

Apesar de que por vezes os conceitos de cheia e de inundações sejam dados como sinónimos, de facto não o são, isto porque todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas às cheias. Segundo V. T. Chow, 1988, o conceito de cheia refere-se a um fenómeno hidrológico extremo, de

frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando assim a inundação. As inundações são fenómenos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa. As cheiras são fenómenos hidrológicos temporários enquanto as inundações podem ser definidas como, por exemplo, a subida do nível da água do mar devido ao aquecimento global (Chow, Maidment, & Mays, 1988).

Como já foi referido, as inundações são provocadas por situações climáticas extremas. Contudo existem vários fatores que conseguem condicionar, ou agravar, estes fenómenos. Os fatores condicionantes as características físicas das bacias hidrográficas – geometria, relevo, rede de drenagem, tipos do solo e a sua ocupação – conseguem atenuar os efeitos das cheias e inundações atuando na velocidade de escoamento e na magnitude das cheias assim como nos tempos de concentração das bacias hidrográficas. Em termos de fatores agravantes, para além antrópicos (ocupação indevida dos leitos pelo Homem) podem ter origem natural como o estreitamento natural dos vales e dos obstáculos transportados pelas cheias (Ramos, 2005).

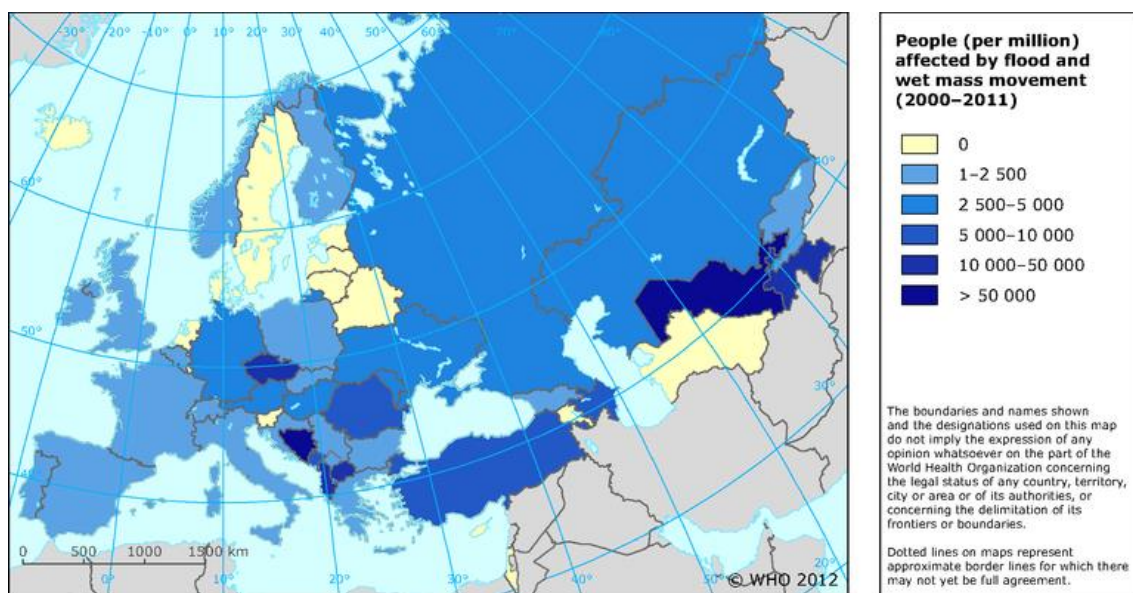


Figura 2.5 – Número de pessoas afetadas devido a inundações (EEA b, 2012)

A maior parte das regiões da Europa apresenta uma tendência crescente de fortes precipitações nas últimas décadas, nomeadamente no inverno. O número de grandes inundações na Europa tem vindo a aumentar desde os anos 80. No entanto não há provas conclusivas de um sinal Segundo a Agência Europeia do Ambiente (AEA), estima-se que devido às inundações costeiras e continentais mataram mais de 1600 pessoas e afetaram cerca de 4,4 milhões entre 2000 – 2010 (EEA b, 2012). A figura 2.5 mostra o número de pessoas afetadas pelas inundações em cada país no mesmo período. O maior número é encontrado no sudeste da Europa, Europa Oriental e Europa Central (numa base per capita). Segundo a AEA, sabe-se que

em maio de 2014 pelo menos 50 pessoas foram mortas nos países dos Balcãs devido às inundações (estes valores que ainda não estão incluídos na figura).

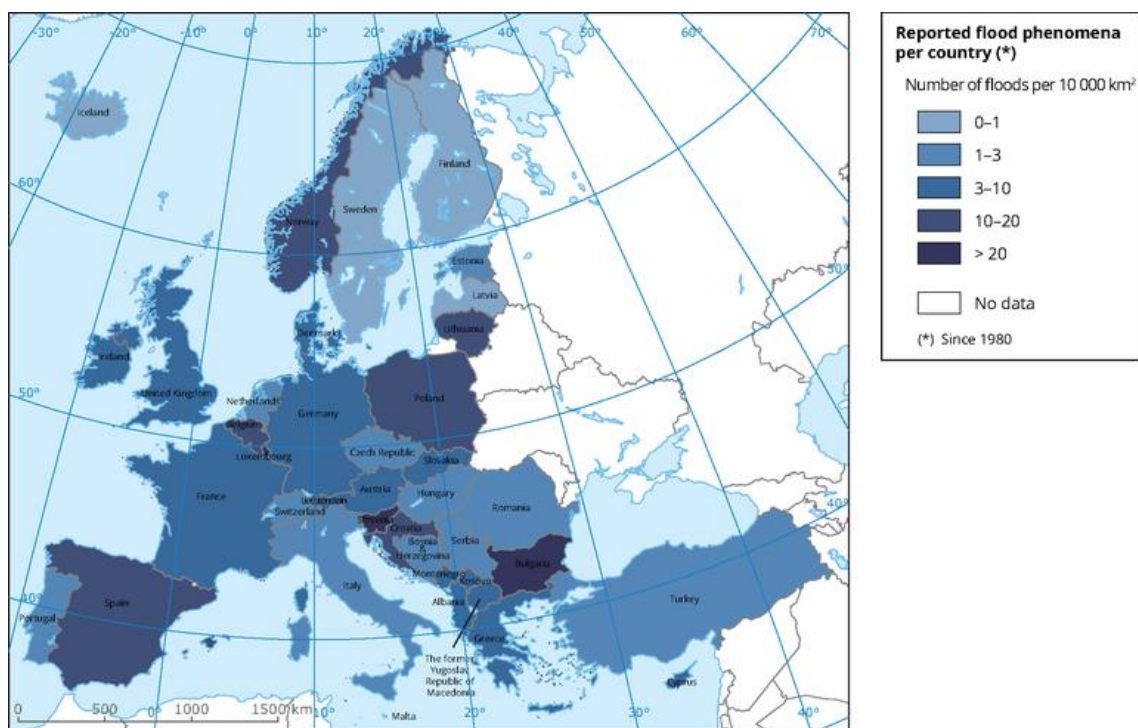


Figura 2.6 – Intensidade de inundações por país (EEA b, 2012)

Apesar do aumento considerável do número de inundações e consequentemente de perdas económicas causadas na Europa ao longo de décadas, não foi detetada qualquer tendência significativa relacionada com o clima nos fluxos dos rios que induzem a inundações. No entanto algumas mudanças têm sido relatadas. Por exemplo, em vários rios da Europa o caudal máximo foi duas vezes maior entre 1981 e 2000 do que 1961 e 1980 (Kundzewicz, Wu, & Bates, 2008) ao passo que, normalmente, tem havido um aumento da frequência de situações de inundações extremas em bacias hidrográficas muito grandes (Milly & Elworth, 2002). Por outro lado, a frequência e a gravidade das cheias de neve e do gelo na Europa Central diminuíram ao longo das últimas décadas devido a menos queda de neve (Mudelsee, Borngen, Teltzloff, & Grunewald, 2003). Nos países nórdicos as inundações devido à neve derretida ocorriam devido a invernos mais quentes (Hisdal, Roald, & Beldring, 2006). Em Portugal, os padrões de precipitação resultam em inundações maiores e mais frequentes durante o outono e a um declínio do número no inverno e primavera (PROCIV, 2017).

É provável que fortes eventos de precipitação se tornem mais frequentes em muitas regiões da Europa e, consequentemente, o aumento do nível do mar deverá acelerar em comparação com o século XX (EEA b, 2012). Os projetos *PESETA* e *ClimateCost* estimaram os efeitos económicos e sanitários das inundações fluviais e costeiras em vários cenários de alterações climáticas, incluindo o aumento do nível do mar. Assim, estima-se que até 2050 cerca de 300 000 membros da união europeia iram ser afetados devido às inundações

por ano e, 390 000 em 2080. Este último número corresponde a uma duplicação em relação ao período de 1961 a 1980. As Ilhas Britânicas, a Europa Ocidental e o norte de Itália mostram um aumento do risco de inundação que por sua vez indica também um aumento da população afetada. Se não se tomaram certas medidas de prevenção, estima-se que no final do século XXI 5,5 milhões de pessoas irão ser afetadas por ano. Contudo, medidas de adaptação podem reduzir significativamente os riscos para menos de 10 mortes por ano (EEA b, 2012). O desenvolvimento sustentável é fundamente pois atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as mesmas necessidades (IPCC, 2007).

### 2.1.3.2. Inundações em Portugal

O território Português foi elaborado através do Plano Rodoviário Nacional, em que as urbanizações atraíam as estradas, e pela EDP, que facultava luz onde esta fosse solicitada. O resultado deste trabalho desordenado resultou de consequências graves que se fazem sentir nos dias de hoje, nomeadamente, as crescentes ocorrências de inundações e da destruição do ecossistema natural.

*Tabela 2.1 – Acontecimentos históricos registados ocorridos desde o início do século XX (PROCIV, 2017)*

<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Bacia/Local</b>
1909	Dezembro	Douro
1948	Janeiro	Continente
1962	Janeiro	Mondego e Douro
1967	Novembro	Tejo
1978	Fevereiro	Tejo e Sado
1979	Fevereiro	Tejo
1983	Novembro	Tejo e Cascais
1989	Dezembro	Tejo, Constância e Douro
1997	Outubro	Monchique
1997	Novembro	Baixo Alentejo
2000	Inverno	Douro e Tejo
2001	Janeiro	Mondego
2010	Fevereiro	Madeira

A maior cheia do século XX em Portugal foi a cheia de fevereiro de 1979 na bacia hidrográfica do rio Tejo. A cheia durou 9 dias provocando 2 mortes, 115 feridos e 1187 evacuados e avultados onde o distrito de Santarém foi o mais afetado. Destacam-se ainda as cheias de 1967 e 1983 na região de Lisboa, as cheias

de 1978 e 1997 no vale do Tejo, as cheias de 1997 na região do Alentejo e Alarve, na bacia hidrográfica do Tejo, que se prolongou por nove dias. Nos últimos anos, não só a nível nacional, existe um elevado interesse no parlamento europeu, pois este tipo de eventos são desastres naturais causando danos económicos na maioria dos países (PROCIV, 2017).

Como já foi referido, o ordenamento do território é um dos problemas que agravam os danos causados quando existem eventos de cheias e/ou inundações. A avaliação do domínio do ordenamento do território é de extrema importância e foi impulsionada por fontes externas à União Europeia (EU) apesar de que, o ordenamento do território não faz parte das competências formais da EU, enquanto o setor ambiental faz, através de políticas comunitárias, o que leva a uma exposição das decisões mais intensa através da obrigatoriedade de transposição das diretivas comunitárias.

No dia 23 de outubro de 2007 foi publicada a Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho sobre a Avaliação e Gestão do Risco de Inundações, transpondo para a legislação nacional pelo Decreto-Lei nº 115/2010 de 22 de Outubro (DRE b, 2010), e indo igualmente ao encontro da preocupação relativa à mitigação dos efeitos das inundações. A aprovação da Diretiva nº 2007/60/CE veio evidenciar a necessidade de e reforçar o atual quadro legal, no que diz respeito às inundações, trazendo preocupações acrescidas de avaliação, gestão e mitigação de riscos de inundações. Esta Diretiva estabelece um quadro de ação comunitária do domínio da política da água, exige a elaboração de planos de gestão das bacias hidrográficas para cada região hidrográfica a fim de se atingir um bom estado ecológico e químico que, por fim, contribuirá para atenuar os efeitos das inundações. Este Decreto-Lei veio complementar a Lei nº 58/2005 (LA), que transpõe a Diretiva Quadro da Água – DQA para a legislação nacional que é o principal instrumento da Política da UE relativa à água, estabelecendo um quadro de ação comunitária para a gestão da água e estabelece um quadro estratégico para a proteção das águas de superfícies interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas. A elaboração de planos de gestão de bacias hidrográficas no âmbito da DQA, e de planos de gestão de bacias hidrográficas no âmbito da DQA Diretiva 2007/60/CE constituem elementos de uma gestão integrada das bacias hidrográficas subterrâneas (APA c, 2017; DRE c, 2005).

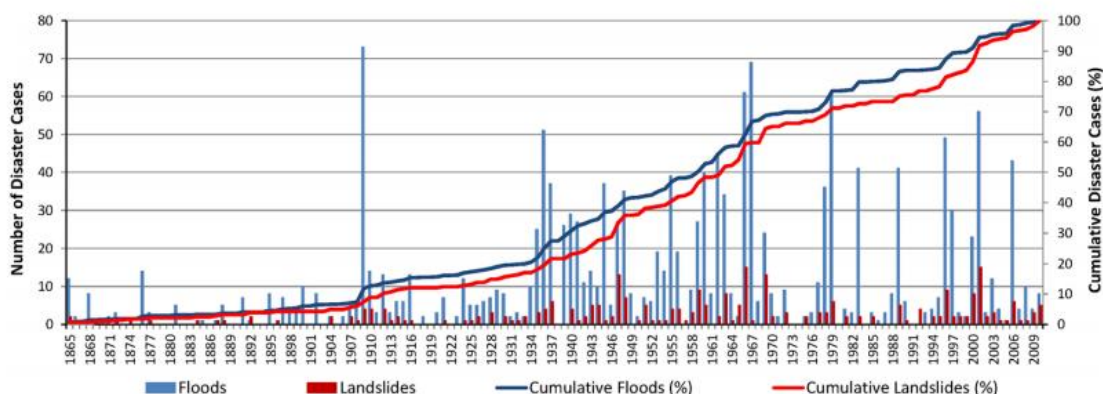


Figura 2.7 – Ocorrências de Eventos Hidro Geomorfológicos (Zêzere et al., 2014)

A figura acima mostra a distribuição anual de inundações e deslizamentos de terra que gerou consequências sociais em Portugal no período 1865 – 2010. As linhas azuis e vermelhas representam as cheias e os deslizamentos desastrosos, respetivamente. O aumento destas linhas é o indicativo do número de inundações/deslizamentos da Terra com o tempo. No âmbito do projeto *Disaster*, J. L. Zêzere et al., 2014, refere que entre 1865 – 1934 a incidência de inundações desastrosas foi tipicamente baixa. Este período representa cerca de 48% da série temporal onde incluiu apenas 20,5% dos desastres causados pelas inundações registados em Portugal o que corresponde a um valor de 11 casos. Contudo, o ano de 1909 foi marcado por um período de chuvas intensas no norte e centro do país onde foi responsável por 34 mortes. O segundo período tempo, 1935 – 1966, correspondendo a 24% da série temporal, é caracterizado pelo maior número de desastres de inundações registando-se 781 casos. Por fim, o último período, 1970 – 2010, corresponde a 28% da série temporal, onde foram registados 508 casos de inundações. Assim, concluiu-se que houveram 1300 casos de inundações no período em estudo (Zêzere et al., 2014).

Através da base de dados internacional sobre desastres naturais, EM-DAT, considerando uma série temporal de 40 anos (1976 – 2016) pesquisou-se os dez desastres naturais com maior impacto em Portugal. Como já seria de esperar, os incêndios são constantes, no entanto 27% dos casos de desastre natural ocorridos são cheias. Consequentemente o número de pessoas afetadas, e até mesmo o número de mortes, são maiores nos incêndios (EM - DAT, 2017).

A figura seguinte representa, para um território continental e a uma escala macroscópica, um subconjunto dos riscos e vulnerabilidade relevantes para o Ordenamento do Território, face à ocorrência de fenómenos naturais mais graves e de atividades humanas de perigosidade potencial. De acordo com o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), que foi aprovado pela Lei n°58/2007, de 4 de Setembro (DRE d, 2007), assume que um dos principais problemas para a sua execução passa pela falta de planeamento prévio, na medida em que os representantes das comunidades científicas e técnicas, políticas e dos cidadãos, ponderam a modificação no território português de forma mais justa que

preze a qualidade de vida de todos. Os eventos de risco a inundações são uma propriedade da política de ordenamento do território (PNPOT, 2006).

A Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climática (ENACC) e os projetos do *Climate Change Impacts Adaptation and Modeling* (CCIAM) têm vindo a ser implementados em vários países, nomeadamente Portugal. Estas associações estudam os impactos das alterações climáticas e medidas de adaptação que implicam a gestão de riscos e a elaboração de vários estudos de modo a conhecer e compreender melhor os riscos para que a prevenção e adaptação sejam possíveis.

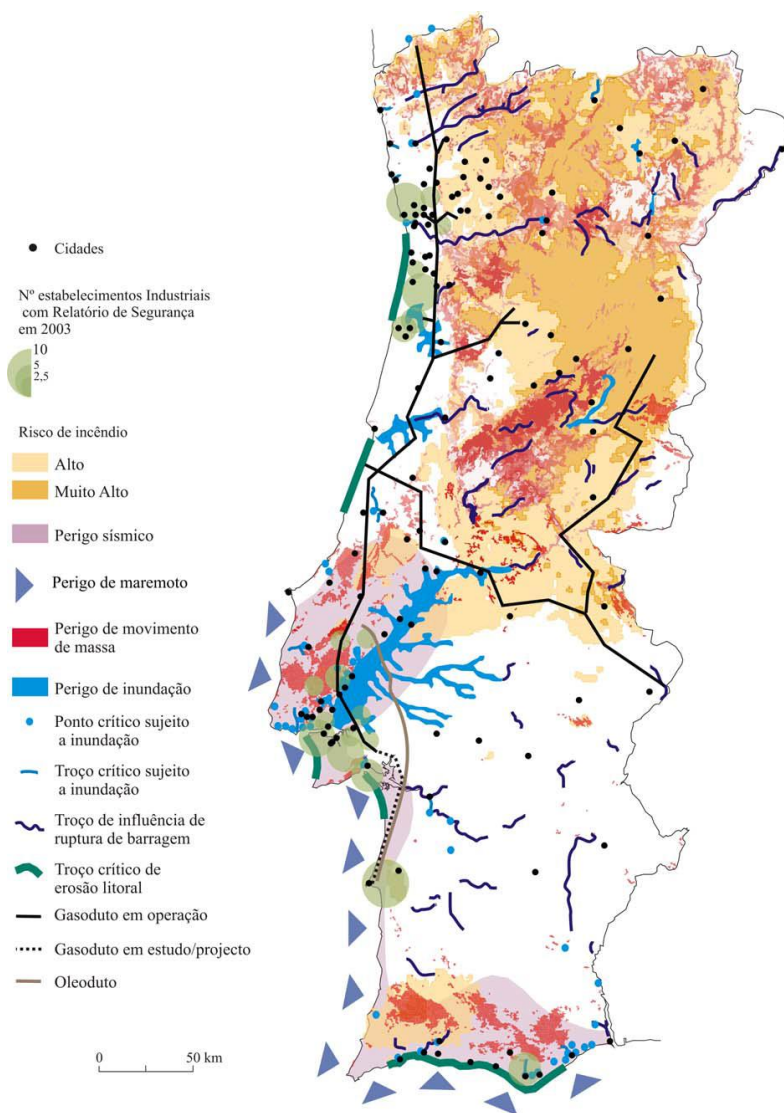


Figura 2.8 – Riscos em Portugal Continental (PNPOT, 2006)

O facto de haver um número crescente de risco a inundações em Portugal deve-se à ocupação de terrenos situados em zonas de potenciais inundações. Com a diretiva 2007/60/CE é possível por em práticas medidas que proíbam ocupações de zonas com potencial de inundação ou, se já ocupadas, tomar medidas de prevenção. Contudo, a elaboração de cartas dessas zonas é fundamental e, com o Decreto-Lei nº 364/98,

21 de Novembro de 1998 (DRE e, 1998), definiu-se a responsabilidade aos municípios a marcação das zonas inundáveis abrangendo os perímetros urbanos das áreas atingidas pela maior cheia conhecida.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), disponibiliza uma carta com os pontos críticos a inundações onde são identificados marcas de cheia, pontos críticos de inundação e troços críticos. Na figura seguinte verifica-se a existência de situações críticas de cheias e inundações nas bacias podendo-se concluir que existe uma grande área de possibilidade de cheias na bacia do Vale do Tejo. Contudo, os pontos críticos alargam-se para a zona do Algarve.

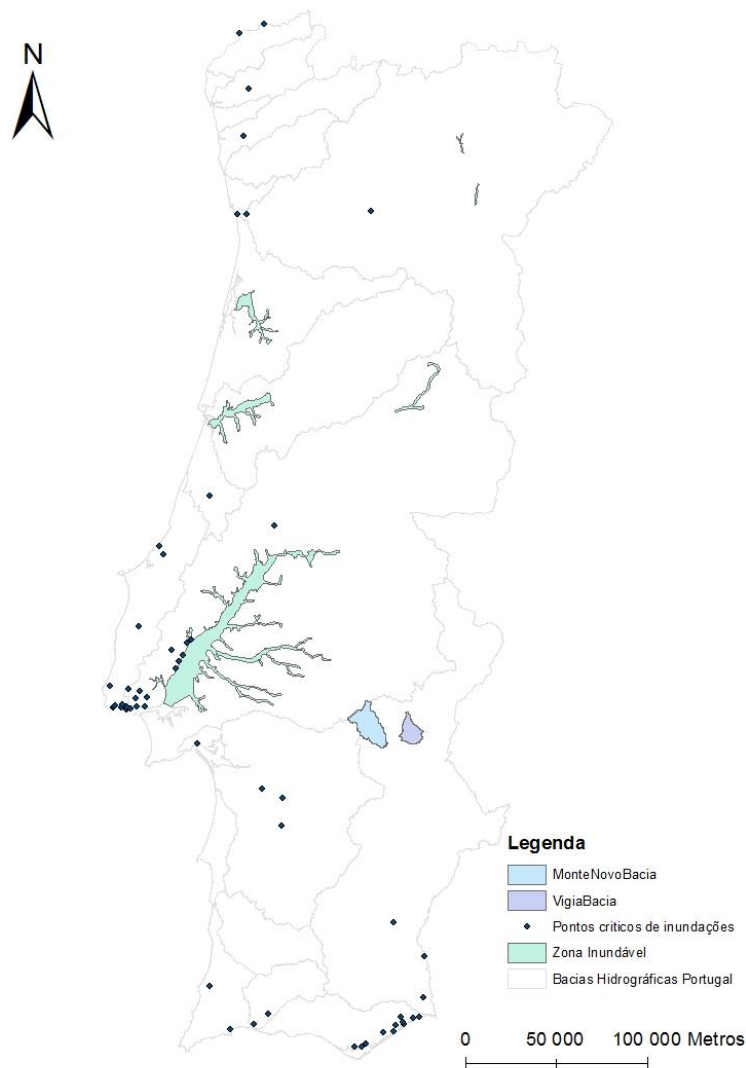


Figura 2.9 – Marcas de cheias, zonas críticas e pontos críticos de inundações (SNI Amb, 2017)

No contexto de prevenção e redução dos riscos de inundações a disponibilização de informação fiável sobre os níveis de riscos através de mapas de inundações é essencial. Não só sobre inundações, mas também são importantes para fornecerem informações para as operações de emergência. Como já foi referido, o Decreto-Lei 2007/60/CE é uma das políticas adotadas pela UE para a prevenção de cheias e inundações

implementado em vários países da Europa. É ainda do interesse da Comissão Europeia o reforço de ligações entre os sistemas de alerta de ceias de modo a ser criado um sistema de alerta a nível europeu.

## **2.2. Sistemas de Informação Geográfica**

Os sistemas de informação geográfica (SIG) é criado com o intuito de capturar, armazenar, visualizar, comunicar, transformar, analisar e arquivar informação georreferenciada. Com isto quer-se dizer que é possível obter informação de uma localização espacial específica substituindo assim o papel tradicionalmente desempenhado pela cartografia. Devido ao seu rigor este sistema é cada vez mais utilizado em estudos científicos como suporte à investigação (Goodchild, 2007).

O primeiro sistema concebido foi o sistema de informação geográfica do Canadá (CSIG) que surge devido a um problema de capacidade de processamento de dados de mapas, pelo *Canada Land Inventory*, nomeadamente: grande quantidade de mapas criados para documentar o uso de solos do Canadá e o cálculo de área de solo disponível para um determinado fim. Como CSIG conseguiu-se tratar grandes volumes de informação obtidos através de mapas, calcular áreas reportando os seus resultados em tabelas. Esta é uma tarefa tradicionalmente demorada, inexata e dispendiosa quando é realizada manualmente. Mas, como a cartografia foi digitalizada, simples algoritmos conseguiram resolver o problema em questão. Os primeiros SIG conseguiu assim uma boa resposta a uma necessidade bem definida (Goodchild, 2007).

A partir dos anos 80 estes sistemas, SIG, começou a ser comercializado oferecendo uma enorme variedade de funções que anteriormente eram demasiado complexas, imprecisas e dispendiosas devido ao facto de estas se realizarem manualmente. Estas funções incluíam a capacidade da visualização informação, calculo medidas simples como a área e o comprimento, transformação do formato de dados, análise estatísticas simples como o cálculo de médias e desvios padrão, e um conjunto mais complexo e sofisticado de métodos genericamente designados por análise espacial (Goodchild, 2007).

No início dos anos 90, a comunidade científica reconheceu o potencial dos SIG e este cresceu exponencialmente tal que, hoje em dia é capaz de executar qualquer operação com dados obtidos através de mapas sendo indispensável em qualquer ramo que envolva a obtenção, manipulação ou produção de dados espaciais.

Como já foi referido, hoje em dia os SIG são capazes de executar diversas funções com informações obtidas através de dados espaciais. No entanto, com o avanço da tecnologia, nomeadamente o surgimento de aplicações e até mesmo da própria internet, os SIG sofreram transformações significativas. O seu potencial é visto de forma benéfica de trabalhar a informação. Esta atualmente definida como um conjunto de métodos pelos quais um operador do SIG adiciona um valor à informação, tornando visível para outro

utilizador usando-se assim uma base de dados (Goodchild, 2007). Contudo, os SIG não se centram apenas ao uso em escritório tendo também ferramentas de campo. Devido à comunicação por *wireless*, consegue-se carregar e descarregar informação via internet em tempo real revolucionando assim a prática do trabalho realizado no campo nas diversas ciências.

### 2.2.1. Representação

No cerne de um SIG está um sistema de representação que é codificado para o mundo real através do alfabeto binário do computador digital. As suas representações incluem três aspetos das características que procuram representar:

- A sua localização espacial, recorrendo a um sistema de coordenadas conveniente;
- Os seus atributos,
- As relações entre os dois itens acima mencionados.

As relações entre as características são normalmente de carácter espacial tais como a relação de adjacência ou de conexão.

Os atributos e a sua ligação aos elementos gráficos representam as possibilidades de representação dos SIG. As soluções SIG, comercialmente disponíveis, integram sistemas de bases de dados alfanuméricos e sistemas de armazenamento e gestão de dados gráficos.

Os modelos de dados espaciais são, normalmente, matéria de trabalho dos SIG e podem ser agrupados em dois grupos nomeadamente: os modelos vetoriais e os modelos *raster* (Aranof, 1989). No primeiro caso, modelo vetorial, os objetos incluídos no modelo de dados têm de cobrir toda a região representada, mas, somente, as respetivas localizações, podendo assim certas áreas não estarem representadas no modelo. Às entidades geográficas identificadas é associada informação alfanumérica proporcionando aos utilizadores dos SIG a exploração integrada dos dados gráficos e estatísticos. No segundo modelo, *raster*, cada entidade tem como forma de representação a totalidade do espaço modelado, que está dividido em quadrícula, podendo os valores associados a cada elemento variar consoante as condições que se verificarem no interior de cada uma das respetivas células em relação à entidade representada. A cada entidade distinta corresponderá uma matriz diferente (Goodchild, 2007).

### 2.2.2. Georreferenciação

Para a representação de um SIG é fundamental um sistema de localização espacial. As tecnologias mais recentes estabelecem a longitude e a latitude como o *standard* universal para a georreferenciação baseando-se em medidas do Meridiano de *Greenwich* e do Equador. Mas, como a Terra não é uma esfera perfeita, ao longo do tempo esta tem sido aproximada por uma variedade de funções matemáticas para as diferentes partes do globo conduzindo assim ligeiras diferenças de longitude e latitude (Hipólito & Vaz, 2014).

Os elipsoides de revolução utilizados em Portugal, para representar a forma e dimensões da Terra, são os de *Bessel*, WGS84, e sobretudo o *Hayford* uma vez que estes apresentam menor distorção. Um elipsoide posicionado em relação à Terra tem o nome de *datum*. A forma, dimensão e posição do centro do elipsoide relativamente ao centro de massa da Terra é determinada para que a superfície do elipsoide se adapte o melhor possível à superfície terrestre numa determinada região. Os *datum* locais mais utilizados em Portugal são o *datum* Lisboa e o *datum* 73. O *datum* Lisboa é o mais antigo e a sua origem situa-se no Castelo de São Jorge. O *datum* 73 utiliza como origem um ponto mais central, o vértice de Melriça. Ambos utilizam o elipsoide *Hayford* (Hipólito & Vaz, 2014).

Normalmente a georreferenciação faz uso de métodos de projeção da superfície curva da Terra para planos, associando sistemas de coordenadas planares. Estes sistemas incluem o *Universal Transverse Mercator* (UTM), o *standard* da NATO que é frequentemente utilizado por diversas agências cartográficas nacionais.

### 2.2.3. Visualização

Os SIG são uma tecnologia visual onde é possível tirar partido da informação quando é devidamente trabalhada visualmente. Os mapas são formas tradicionais de visualização da informação geográfica, ficando a evolução dos SIG a dever-se ao responsável pela cartografia e aos esforços dos cartógrafos em sistematizar as matérias (Goodchild, 2007). Os SIG atuais possuem de vastos conjuntos de bibliotecas de símbolos, células e padrões próprios de visualização geográfica tradicional destinados à reprodução automática da carta de acordo com os critérios utilizados no desenho cartográfico (Hipólito & Vaz, 2014)

Contudo, é importante referir as diferenças fundamentais entre a visualização digital permitida por um SIG e os tradicionais mapas. Os SIG conseguem transformar a produção de cartografia num processo sem grandes custos associados e disponíveis de forma dinâmica e interativa. Ao contrário, a forma tradicional é bastante demorada, inexacta e dispendiosa, tendo de envolver sempre técnicos altamente qualificados e especializados. Ainda assim, como seria de esperar, as representações em papel são essencialmente estáticas após a sua geração. O conceito de análise espacial da informação é concebido para descrever a exploração

interativa da informação contida num SIG através das suas diversas formas de representação (Goodchild, 2007).

#### 2.2.4. Análise Espacial

A verdadeira relevância dos SIG consiste na sua capacidade de analisar, quer indutivamente na procura de padrões ou anomalias, ou dedutivamente na tentativa de confirmar ou rejeitar hipóteses. As técnicas de análise disponíveis nos SIG designam-se por análise espacial. A análise espacial pode ser definida como um conjunto de técnicas cujos resultados dependem da localização dos objetos em estudo. Dessa forma, os SIG podem ser entendidos como uma tecnologia que implementa métodos de análise espacial, tal como um programa estatístico implementa métodos de análise estatística, por exemplo.

As capacidades dos SIG no domínio da análise estão associadas a operadores que recorrem aos aspetos topológicos e espaciais dos dados geográficos, bem como aos atributos espaciais ou não espaciais que estão associados às entidades gráficas armazenadas no sistema (Aronoff, 1989).

Segundo Henriques, em 1996 as operações de análise espacial dos SIG podem ser agrupadas em quatro tipos:

- Reclassificação do conteúdo de cartas
- Operações de geoprocessamento
- Medição de distâncias
- Análise de vizinhança

A reclassificação do conteúdo de cartas é uma operação que atua sobre uma única *layer* (camada) cujo conteúdo é alterado resultando assim uma nova *layer* na qual o valor temático associado às unidades originalmente representadas foi alterado. Um exemplo desta operação é a redistribuição das cores associadas a elementos espaciais com diferentes valores (alfanuméricos).

Uma operação de reclassificação normalmente utilizada nos SIG faz parte da transformação de dados que originalmente apresenta uma distribuição contínua. A reclassificação de cartas pode ser fundamentada no valor temático da entidade representada como também em propriedades de localização, dimensão ou forma, entre outros. Esta operação pode envolver, de igual modo, a alteração dos valores quantitativos originalmente associados às entidades representadas através de operações aritméticas a aplicar sobre os valores originais (Henriques, 1996).

A obtenção de uma nova carta consiste em operações de geoprocessamento de cartas através da sobreposição de duas ou mais *layers*. Em cada nova carta gerada, a cada ponto ou polígono vai estar associado um valor resultante de uma função em que as variáveis independentes se exprimem nos valores

temático de cada ponto ou polígono correspondente em cada uma das *layers* sobrepostas. As funções mencionadas incluem, na maioria dos SIG, todas as operações aritméticas básicas, bem como outras de mais complexas, envolvendo a avaliação de parâmetros estatísticos (Skidmore, 2002)

Relativamente à medição de distâncias, os SIG dispõem de operadores especificamente vocacionados para o seu cálculo assim como a funcionalidade de mapeamento automático de zonas de influência de pontos, linhas ou áreas, normalmente designadas como *buffers* (zonas tampão).

Por fim, existe um grupo de funções que permite gerar novas cartas em que os valores de cada entidade são função dos valores que caracterizam a respetiva vizinhança. Estes são utilizados em operações de filtragem, usadas para acentuar ou estabelecer contrastes temáticos entre entidades vizinhas.

### **2.2.5. ArcGIS**

Com o uso dos SIG, estes levantam imensas questões relativas à natureza da informação geográfica e inferências feitas por cruzamento dessa mesma informação. Embora os SIG tenham evoluído da perspetiva estática inerente aos mapas em papel, existe todo o interesse em acrescentar dinâmica ao tratamento da informação, mais em desenvolver métodos espaço-temporais de análise. Segundo Goodchild, 2007, no que diz respeito ao contexto científico os resultados reportados pelo SIG são impressionantes. Os SIG trouxeram um alcance à análise cruzada de informação, assim como à integração de informação da mais diversa origem.

Considerando a importância dos estudos hidrológicos apoiados em SIG para a elaboração de cartas de zonas de inundação, foi feita uma pesquisa de modelos que incorporassem estas duas componentes, a modelação e uma plataforma SIG, e o resultado foi bastante vasto. Assim, com o programa ArcGIS, disponível para estudantes de forma gratuita, o modelo HEC – HMS surgiu como uma possível solução à integração de SIG e modelação. Estes modelos possuem extensões que são diretamente aplicados no ArcGIS, HEC – GeoHMS, possibilitando uma preparação de dados geométricos e geográficos mais precisa e indicada à modelação requisitada.

## **2.3. Modelação hidrológica**

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do escoamento de água, e seus constituintes, sobre uma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Existe uma relação entre as modelações hidrológicas, uma vez que o escoamento será o condutor de todo e qualquer constituinte que existe na bacia hidrográfica. Além disso, a hidrologia está interligada com as condições climáticas, troposféricas e biosféricas e, como tal, os modelos hidrológicos, atmosféricos e de outra natureza devem

estar associados sendo que, na prática, esta interligação se torna bastante difícil uma vez que os modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais muito maiores que as resoluções da modelação hidrológica (Maidment, 1993).

A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e conduzem a água para uma rede de escoamento, constituída por um ou mais canais, desaguardando estes numa única seção terminal. Como já foi referido no capítulo 2.1., a compreensão do ciclo hidrológico é fundamental para se conseguir compreender as componentes envolvidas no processo.

### **2.3.1. Breves Considerações sobre Modelação**

A aplicação dos modelos em estudo hidrológicos tornou-se uma ferramenta indispensável para a compreensão dos processos naturais que ocorrem à escala da bacia hidrográfica. Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos modelos computacionais para aplicações em modelação hidrológica e no estudo de recursos hídricos. Estes são fundamentais para a análise da quantidade e qualidade do caudal de água, da previsão de inundação, para o estudo de sistemas de reservatório, para gestão de águas subterrâneas e superficiais e sua proteção.

Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando na compreensão dos processos que envolvem essa mesma realidade. O recurso à modelação, e necessariamente aos modelos que a compõem, é cada vez mais uma ferramenta de trabalho em planeamento ambiental, permitindo assim fazer análises não só da situação presente ou passada como também de elaborar e analisar cenários de situações futuras.

Segundo Maidment, 1993, os processos ambientais são, geralmente, bastante complexos. Essa complexidade deve-se aos comportamentos não lineares e componentes estocásticos sobre diferentes escalas de tempo e espaço. Mas, mesmo existindo uma compreensão qualitativa de um dado processo, o seu entendimento quantitativo poderá ser limitado. Com a tecnologia existente de hoje em dia, as limitações computacionais ou a maneira como as equações matemáticas são convertidas, levam à parametrização de processos complexos em escalas muito detalhadas que podem não ser explicitamente representadas no modelo. Em alguns casos, as entradas e saídas do sistema poderá ser visto como uma hipótese que, quando parametrizadas, representam a melhor aproximação do modelador no explicar de determinado processo.

É importante referir que um modelo ambiental é apenas uma representação dos processos reais, ou seja, um mesmo processo pode ser representado de várias maneiras sendo umas mais apropriadas que outras. Não existe um modelo único que seja o melhor, mas sim um método capaz de descrever melhor um fenómeno. Assim, com os vários modelos existentes, é necessário haver estudos que indiquem aos utilizadores os modelos mais adequados para aplicar ao problema.

Simplificando, um modelo é um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros. Os parâmetros são medidas numéricas de propriedades reais e complexas que mantêm o seu valor inalterado durante todo o processo estudado, mantendo o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, mas isto não significa que este não varie temporal e espacialmente. Estes controlam a relação entre o que entra e o que sai do sistema e são vistos como dispositivos de afinação do modelo que, através da manipulação e ajustamento destes valores, com maior precisão e exatidão, se torna possível a sua calibração prevendo a resposta física do sistema. Contudo, os parâmetros de determinado modelo podem, ou não, ter significado físico e, caso não tenham só é possível estimar o seu valor por meio de calibração.

É importante identificar cada tipo de variável presente num modelo devido ao facto de que esta definição pode influenciar a escolha da estrutura de dados para a sua implementação. O valor das variáveis deve ser armazenado a cada iteração caso se queira realizar o acompanhamento do estado do sistema ao longo do intervalo de modelação. Os fluxos que são recalculados a cada instante não necessitam que o seu histórico seja armazenado (Maidment, 1993).

### **2.3.2. Classificação dos Modelos Hidrológicos**

Quintela e Portela, 1975, propuseram uma possível classificação para os modelos hidrológicos tal que são divididos inicialmente por determinísticos ou não determinísticos. Os primeiros caracterizam-se por uma dada ação implicar a mesma resposta, no entanto, se em parte essa resposta for aleatória está-se perante um modelo não determinístico.

Os modelos determinísticos podem ser considerados divididos em dois grupos, empíricos ou fisicamente baseados. Se um modelo for empírico significa que a análise do processo hidrológico procura uma relação causa/feito entre variáveis de entrada e de saída, mas, se for fisicamente baseado significa que a análise do processo hidrológico procura reproduzir as leis físicas que regem os fenómenos. Estes últimos ainda se podem subdividir em agregados ou distribuídos consoante as variáveis hidrológicas integradas na formulação (Quintela & Portela, 1975).

Os modelos não determinísticos podem ser divididos em dois grupos, nomeadamente, probabilísticos ou estocásticos. Os primeiros caracterizam-se quando as variáveis intervenientes têm comportamento puramente aleatório e assim é ignorada a sequência temporal ou espacial dos valores das variáveis. Os estocásticos são caracterizados quando, para além da componente aleatória existe outra que permite contemplar a sequência temporal ou espacial dos valores das variáveis (Quintela & Portela, 1975).

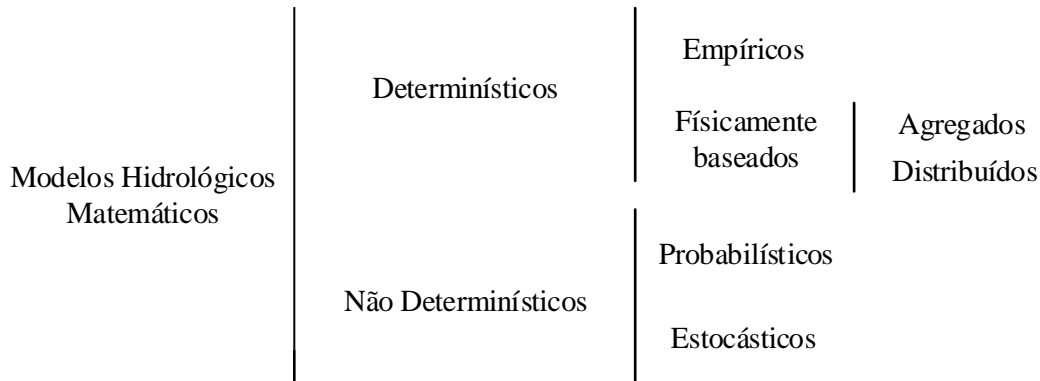


Figura 2.10 – Modelos hidrológicos matemáticos (Quintela & Portela, 1975)

Todas estas distinções são frequentemente usadas em Hidrologia e são críticas na seleção de um modelo no que diz respeito à disponibilidade de valores observados, sejam de dados de carregamento do modelo ou observados.

Os modelos determinísticos são utilizados para a análise de cheias, na simulação de escoamentos fluviais e à modelação de segmentos limitados do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. Por outro lado, a escolha de modelos não determinísticos é baseada no argumento de que estes representam uma forma mais coerente dos processos físicos que ocorrem numa bacia hidrográfica. No entanto, estes modelos necessitam de uma extensa e detalhada informação para que a sua parametrização seja aceitável. Aplica-se a acontecimentos extremos e modelos para simulação de escoamento fluviais e para dimensionamento de albufeiras.

Concluindo, muitos modelos não explicam as simplificações utilizadas na solução das equações do próprio modelo nem discutem os problemas referentes à calibração de parâmetros. Geralmente as equações físicas destes modelos são definidas para condições homogêneas e bem controladas e a sua generalização não observa a heterogeneidade natural dos elementos envolvidos na modelação. Este conjunto de fatores torna-os não muito adequados à modelação de situações extremas, mas, particularmente apropriados à simulação de escoamentos fluviais, sendo que neste caso o modelo além de fisicamente baseado terá de ser contínuo.

### 2.3.3. Aplicação da Modelação Hidrológica à Análise de uma Série de Precipitação Contínua

A análise contínua visa a obtenção de uma expectativa do caudal observado em condições naturais. Do ponto de vista hidrológico, verifica-se a existência de escoamento quando a água presente na natureza fluiu pela superfície do terreno. Essa água provém de volumes prendidos pela cobertura vegetal das árvores e arbustos, pelas irregularidades das superfícies do terreno quando ocorre precipitação ou até mesmo a partir

de lenções freáticos. A caracterização contínua de um curso de água, na sequência de precipitação, requer um estudo de escoamentos, hidrogramas de cheia, evapotranspiração e variação de água no solo.

### **2.3.3.1. Componentes de um Hidrograma**

Uma ocorrência de precipitação significativa ocorre após um intervalo de tempo sem chuva de modo a que não haja água sobre o terreno e na rede hidrográfica. O nível da superfície livre numa seção do curso de água encontra-se a uma dada cota e com um determinado caudal. Para que o nível da superfície livre aumente é necessário que decorra algum tempo e conseqüentemente o caudal escoado também irá aumentar.

O facto de não haver elevação do nível da superfície livre durante o período inicial significa que a precipitação caída sobre a bacia hidrográfica não está a contribuir para o aumento do caudal que do curso de água. Esta ao ser interceptada por obstáculos fica armazenada nas depressões e irregularidades da superfície e por se infiltrar no solo, aumentando o teor de humidade. Contudo, o aumento do caudal escoado depende de fatores geológicos, topográficos e de coberto vegetal, do défice de humidade na bacia hidrográfica, das condições antecedentes de humidade e de armazenamento de água na bacia e da própria intensidade de precipitação. Claramente que, quanto maior for a intensidade do acontecimento chuvoso menor será o défice do nível superficial. Posto isto, haverá aumento de caudal escoado no curso de água quando o défice de humidade na bacia hidrográfica se anular, ou seja, quando a camada de solo estiver junto da superfície da zona saturada (Lencastre & Franco, 2010).

### **2.3.3.2. Forma do Hidrograma e Fatores Condicionantes**

Segundo Lencastre e Franco, 2010, um hidrograma tem geralmente a forma de uma campânula assimétrica onde é registado a precipitação ocorrida na respetiva bacia hidrográfica. Estes são importantes para a caracterização por parte de alguns modelos das diferentes componentes do escoamento superficial.

Na figura seguinte, é apresentado um hidrograma tipo em que são consideradas quatro partes distintas:

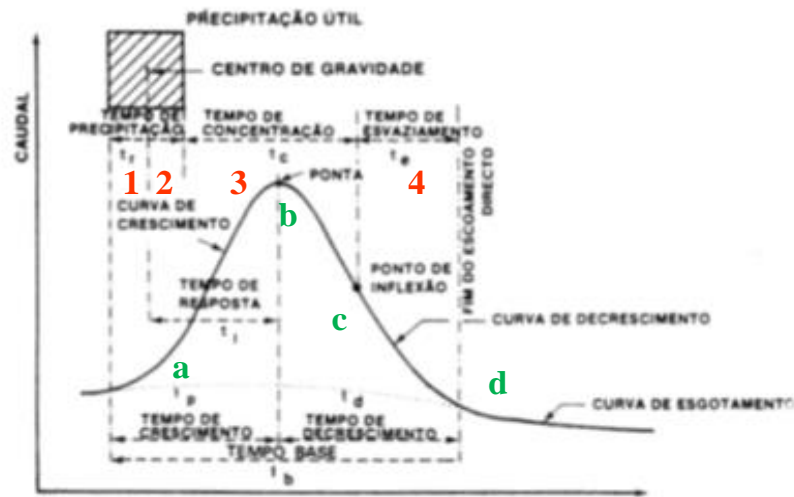


Figura 2.11 – Características de um hidrograma tipo (Lencastre & Franco, 2010)

- a) A curva de crescimento que corresponde ao aumento de caudal motivado pelo incremento do escoamento, e que ocorre durante o tempo de descimento ou tempo para a ponta,  $t_p$ .
- b) A ponta do hidrograma que representa o valor máximo do escoamento direto.
- c) A curva de decrescimento que corresponde à diminuição progressiva do escoamento e que decorre durante o tempo de decrescimento,  $t_d$ .
- d) A curva de esgotamento que corresponde ao decréscimo exponencial do escoamento base, depois de terem cessado as contribuições das restantes componentes do escoamento superficial.

Contudo, o importante sobre a interpretação de num hidrograma são:

- 1) O tempo de resposta de uma bacia hidrográfica (*lag*),  $t_r$ , em que corresponde ao intervalo de tempo definido pelos instantes correspondentes ao centro de gravidade da precipitação útil e à ponta do hidrograma.
- 2) O tempo de concentração útil,  $t_r$ , é o tempo durante ocorre a fração útil da precipitação.
- 3) O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica,  $t_c$ , é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na seção de saída.
- 4) O tempo de esvaziamento da rede hidrográfica,  $t_e$ , é o tempo que decorre entre a ocorrência do ponto de inflexão da curva de crescimento e a extinção do escoamento.

### 2.3.3.3. Precipitação Contínua

Um acontecimento de precipitação contínua designa-se pela ocorrência de uma grande quantidade de chuva sobre a bacia hidrográfica durante um período de tempo significativo.

O conceito de precipitação crítica assegura que a totalidade da área da bacia hidrográfica contribui para o escoamento da seção em estudo, originando assim um caudal elevado que deve igual, ou superior, ao tempo de concentração da correspondente bacia hidrográfica (Lencastre & Franco, 2010).

As redes udométricas são da responsabilidade da APA onde fornecem registos de precipitações diários máximos anuais. Hoje em dia, estes dados são obtidos através do portal SNIRH, em formato de dados de SIG, na forma *raster*, sendo possível a análise de precipitações para a generalidade das bacias hidrográficas portuguesas.

### 2.3.3.4. Hietograma das Precipitações

A discretização temporal de precipitação é traduzida por recurso de diagramas cronológicos dos sucessivos valores da precipitação ou da respetiva intensidade. Estas representações podem ser discretas ou contínuas correspondendo o primeiro caso ao hietograma da precipitação.

Os padrões mais frequentes em hietogramas são em blocos e, uma das suas vantagens é subestimação introduzida caso se considere a distribuição uniforme da intensidade da precipitação para uma dada duração crítica. Portela, 2006, afirma que a forma de maximizar as estimativas dos caudais devem seguir hietogramas de blocos (Portela, 2006).

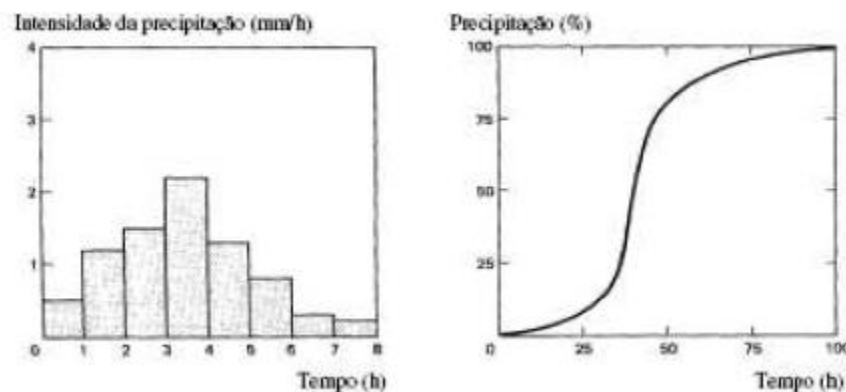


Figura 2.12 – Esquerda) Hietograma da precipitação; Direita) Distribuição temporal adimensional da precipitação (Portela, 2006)

## **2.3.4. Parâmetros necessários para Modelação Hidrológica**

### **2.3.4.1. Coberto Vegetal**

Um dos primeiros parâmetros a estudar é o coberto vegetal que é conhecido através de uma carta de uso dos solos. Analisando a classificação da carta, CORINE Land Cover, averigua-se se existe ou não coberto vegetal e o seu armazenamento máximo.

### **2.3.4.2. Armazenamento Superficial**

Outro parâmetro analisado é o armazenamento superficial que é descoberto através da obtenção do declive do terreno.

### **2.3.4.3. Perdas de Precipitação**

Perda de precipitação designa-se pela diferença da precipitação ocorrida, numa dada seção, pela precipitação efetiva. Isto quer dizer que as perdas de precipitação têm em conta os processos envolvidos como a interceção (embate na vegetação), infiltração, armazenamento em depressões do solo e evapotranspiração. Desta forma, para o cálculo deste parâmetro é necessário um modelo que, neste caso, é o *Soil Moisture Accounting Loss*.

Processos de interceção significam quando a precipitação embate na vegetação ficando aí retida. Segundo Ponce, 1989, as perdas anuais de precipitação podem representar cerca de 25% da precipitação anual média. Contudo, quando ocorre chuvas de grande intensidade a quantidade de água que é intercetada é pouco significativa sendo assim o seu efeito reduzido. Já no que diz respeito à conservação do solo, o efeito da interceção é bastante considerado porque há uma grande redução da ação erosiva durante as chuvas intensas de grande duração (Lencastre & Franco, 2010). As infiltrações são as passagens de água através da superfície do solo para o seu interior que depende essencialmente das características do tipo de solo, granulometria, densidade do coberto vegetal, temperatura e qualidade da água. O armazenamento em depressões do terreno abrange as irregularidades do solo. A água pode ser evaporada ou infiltrada tal que representada uma perda do volume efetivo. Por fim, a evapotranspiração está diretamente associada à água evaporada na bacia hidrográfica e ela transpiração da vegetação que é bastante relevante quando se quer determinar valores de escoamento fluvial na ausência de precipitação.

Concluindo, o somatório das perdas de precipitação é dado parcelas enumeradas e é de extrema importância a sua quantificação num modelo que se pretende simular.

### *Modelo Soil Moisture Accounting Loss*

O modelo de perdas *Soil Moisture Accounting Loss* (SMA) consegue simular processos de precipitação/escoamento para uma bacia hidrográfica incluindo funcionalidade como a capacidade de especificar perdas e volumes de precipitação por cada sub-bacia dentro de uma bacia hidrográfica, métodos para transformar excessos de precipitação em escoamento, opção de direcionamento do escoamento e também a funcionalidade de otimização técnica (Portela, 2006).

#### a) Simulação

O algoritmo SMA é definido pelos componentes que representam as características físicas da bacia hidrográfica enquanto os parâmetros podem, ou não, ter uma correlação direta com as condições físicas medidas ou observadas dessa mesma bacia hidrográfica em estudo. Assim, quanto maior for o nível de detalhe da área da bacia, maior e melhor será a capacidade de resposta de simulação do algoritmo (Portela, 2006).

#### b) Algoritmo do método

O algoritmo SMA inclui a transferência e as alterações de armazenamento ao longo do tempo da água que se movimenta através da vegetação, da superfície do solo, da infiltração no solo e de lençóis freáticos. Para o seu cálculo, é necessário uma série de valores de volume de armazenamento de precipitação para se poder monitorizar o volume de água corrente em cada componente terrestre do ciclo hidrológico.

As taxas de entrada e de saída é controlam a quantidade de água perdida, ou adicionada, a cada um dos componentes de armazenamento. Estas taxas incluem a evapotranspiração, infiltração percolação e escoamento (Portela, 2006).

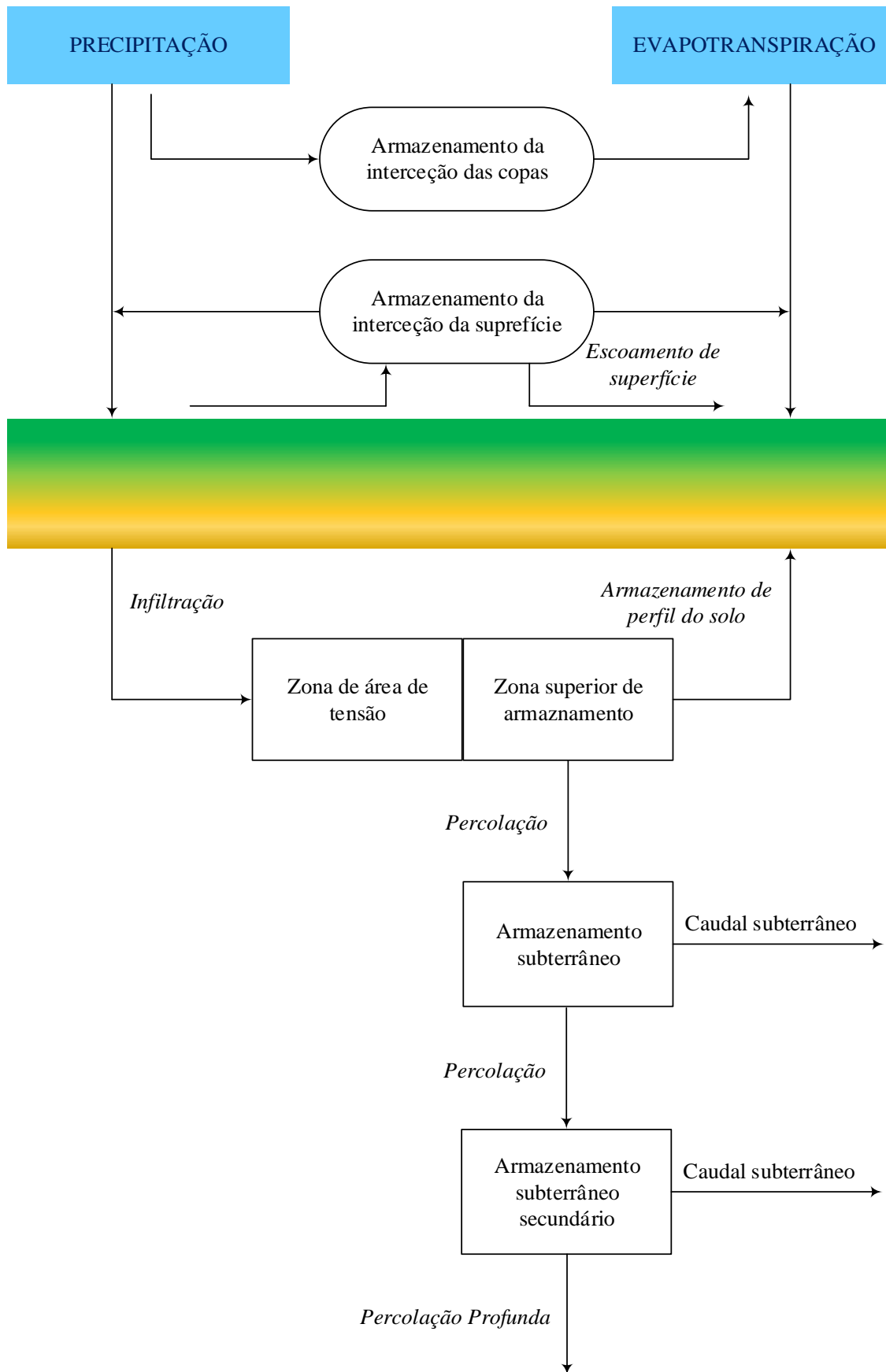


Figura 2.13 – Esquema conceptual do algoritmo SMA (Bashar & Zaki, 2015)

## i. Volumes de Armazenamento

No algoritmo SMA existem quatro volumes de armazenamento fixos (Portela, 2006):

- *Armazenamento na Interceção na Cobertura Vegetal.* Este volume representa a precipitação que é retida nas árvores, arbustos e outros cobertos vegetais que não atingem diretamente o solo. Quando ocorre precipitação, o armazenamento na interceção das árvores é o primeiro a ser preenchido sendo que, só depois do volume estar completamente preenchido é que a precipitação fica disponível para a infiltração a cobertura vegetal e outros volumes de armazenamento. A água é contida nas zonas de armazenado de interceção de cobertura vegetal até esta ser removida através da evaporação.
- *Armazenamento de Interceção na Superfície.* Este é representado pelo volume de água retido nas depressões superficiais do terreno. As entradas deste volume de armazenamento dependem da disponibilidade da água para infiltração do solo que exceda a taxa de infiltração. As saídas de água de armazenamento de superfície são quando a infiltração no perfil do solo, ou a evapotranspiração, for nulo.
- *Armazenamento no Perfil do Solo.* Este representa a água armazenada nas camadas superficiais do solo. A partir da precipitação que passa pela interceção da cobertura vegetal e de superfície a água consegue-se infiltrar no perfil do solo. As saídas resultantes deste armazenamento são a percolação para um lençol freático mais fundo ou evapotranspiração.

O perfil do solo está dividido em duas zonas, superior e de tensão. A primeira é a porção do perfil do solo que irá perder água devido à evapotranspiração e/ou percolação. A segunda é definida pela área que irá perder água através dos poros do solo.

- *Armazenamento no Lençol Freático.* A água percola através dos lençóis freáticos desde o perfil de solo ou imediatamente acima do lençol freático em estudo. O cálculo das perdas é feito através do escoamento subterrâneo ou pela percolação para um lençol freático abaixo do lençol em estudo.

## ii. Taxas de Entrada e Saída da Água

Estas taxas são calculadas para cada intervalo de tempo do algoritmo de SMA. A precipitação e a evapotranspiração são os principais fatores que ditam se o valor das taxas da infiltração, percolação, escoamento e evapotranspiração adicionaram ou retiraram água dos volumes de armazenamento.

A precipitação, ao contrário da evapotranspiração, enche os volumes de armazenamento no modelo de simulação pois, antes de alguma ocorrência de precipitação é dado como removida qualquer evapotranspiração e assim o modelo assume apenas um deste acontecimento para um dado intervalo de tempo. A infiltração, percolação e escoamento mantêm-se em quaisquer período de precipitação ou evapotranspiração (Lencastre & Franco, 2010).

- *Precipitação.* Mantendo a mesma taxa de precipitação, os dados inseridos no algoritmo de SMA podem ser divididos em intervalos de tempo menores para fazer corresponder o mesmo intervalo de tempo de cálculo usado pelo algoritmo. O volume final de precipitação vai encher primeiro o armazenamento de interceção de cobertura vegetal. Se esse número for exercido, o excesso de água irá combinar com qualquer água existente no armazenamento na superfície de interceção e o seu volume total estará então disponível para infiltração.
- *Infiltração.* A água disponível para a infiltração é a precipitação que passa pela interceção na cobertura vegetal durante o um intervalo de tempo calculado. Esta define-se pelo movimento da água para dentro do solo marcado pela ação da gravidade e pelo potencial capilar. Durante a chuva, o solo absorve a água caída até um certo valor de intensidade e, a partir desse valor a água não se consegue infiltrar mais e desse modo começa o escoamento superficial. O valor máximo da intensidade de chuva tolerada pela absorção do solo sem iniciar escoamento superficial é a sua capacidade de infiltração. Esse valor varia consoante a quantidade de água disponível pois depende da água sobrando da interação do coberto vegetal assim, se a água disponível exceder a taxa de infiltração então encherá o armazenamento de interceção no solo que passará para percolação.
- *Percolação.* É um movimento de água descendente de um perfil de solo através dos lençóis freáticos até um aquífero mais profundo. Quando a percolação ocorre entre um perfil de solo e o primeiro lençol freático a taxa de percolação é uma função entre os volumes. Quando a percolação provem através de um lençol freático inferior ou até mesmo quando não existe lençol freático este depende apenas do volume apresentado na zona superior do perfil do solo, ou seja, volume armazenado para originar a água que irá ser percolada.
- *Escoamento Superficial e Subterrâneo.* O escoamento superficial está relacionado com a água que excede a taxa de infiltração e que ultrapassa o armazenamento de superfície enquanto o escoamento subterrâneo é a porção de água perdida por cada camada subterrânea. Através de reservatórios lineares é possível transformar estes escoamentos até chegar a um componente da simulação do SMA de saída. Para qualquer escoamento, o número de reservatórios lineares e o seu coeficiente de *routing* são especificados pelo utilizador a partir de cada lençol freático.
- *Evapotranspiração Potencial.* Traduz-se pelo valor que ocorreria se não houvesse deficiência de alimentação em água para o referido processo. Este contém uma grande parte da água retida de uma bacia hidrográfica, sendo assim importante considerar o ponto de vista hidrológico podendo o seu valor anual atingir cerca de 90% da precipitação ocorrida durante o mesmo período de tempo em regiões de fraca precipitação. Obviamente que este tipo de situações só poderá ocorrer no antes ou depois da precipitação.



Os volumes de armazenamento necessitam da profundidade inicial e máxima uma vez que representam uma profundidade ao longo de toda a área a ser modelada. A profundidade inicial é representada também como profundidade corrente no início da simulação do modelo. Os nomes das variáveis destes parâmetros estão seguidamente listados (Scharffenberg & Fleming, 2010):

- ⇒ CurCanStore – Profundidade corrente do volume de interseção do coberto vegetal [comprimento];
- ⇒ CurSurfStore – Profundidade corrente do volume de interseção do solo [comprimento];
- ⇒ CurSoilStore – Profundidade corrente do volume de perfil de solo [comprimento];
- ⇒ CurGw1Store<sup>2</sup>, CurGw2Store<sup>3</sup> – Profundidade corrente dos lençóis freáticos [comprimento];
- ⇒ MaxCanStore – Profundidade máxima do volume da interceção do coberto vegetal [comprimento];
- ⇒ MaxSurfStore – Profundidade máxima do volume de interceção da superfície [comprimento];
- ⇒ MaxSoilStore – Profundidade máxima do volume de interceção do solo [comprimento];
- ⇒ MaxGw1Store, MaxGw2Store – Profundidade máxima dos lençóis freáticos [comprimento];

Relativamente ao perfil de solo, este encontra-se dividido em duas zonas, superior e de tensão. A profundidade da zona superior é calculada através da diferença entre MaxSoilStore e MaxTenStore enquanto a profundidade da zona de tensão é definida pelo utilizador do modelo a simular (Scharffenberg & Fleming, 2010).

- ⇒ MaxTenStore – Profundidade máxima da zona de tensão [comprimento];

A taxa de infiltração máxima é necessária para a computação de caudais que passam para o perfil de solo. Dessa mesma forma, também é necessário saber a taxa de percolação máxima que saem do perfil do solo. A taxa de percolação máxima é utilizada para calcular a percolação entre cada camada de lençol freático (Scharffenberg & Fleming, 2010).

- ⇒ MaxSoilInfil – Taxa de infiltração máxima no perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ MaxSoilPerc – Taxa de percolação de saída do perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ MaxGw1Perc, MaxGw2Perc – Taxa de percolação máxima de saída do lençol freático [comprimento/tempo].

---

<sup>2</sup> O número de volumes de armazenamento associados aos lençóis freáticos são variáveis logo, os parâmetros relativos são mostrados como variáveis sendo que Gw<sub>1</sub> refere-se para o primeiro lençol freático e Gw<sub>2</sub> para o segundo lençol freático.

Os coeficientes de *routing* calculam o volume de escoamento a partir da superfície onde são transformados em dados de saída do modelo (Scharffenberg & Fleming, 2010).

- ⇒ RoutSurfRes1, RoutSurfRes2 – Coeficiente de roteamento de escoamento à superfície para cada reservatório linear [adimensional];
- ⇒ RoutGw1Res1, RoutGw2Res1 – Coeficiente de roteamento de escoamento subterrâneo para cada lençol freático [adimensional];
- ⇒ RoutGw1Res1, RoutGw1Res2 – Coeficiente de roteamento de escoamento subterrâneo para cada reservatório linear associado ao lençol freático específico [adimensional].

A evapotranspiração e os coeficientes de correção são especificados na introdução de dados iniciais e são utilizados pelo modelo com o objetivo de calcular o valor da evapotranspiração potencial (Scharffenberg & Fleming, 2010).

- ⇒ PotEvapTrans – Taxas de evapotranspiração potencial mensal calculadas pela evapotranspiração e coeficientes de correção [comprimento/tempo].

As próximas variáveis descritas são aquelas que o próprio modelo irá calcular.

- ⇒ PotEvapSoil – Evapotranspiração potencial a partir do perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ ActEvapSoil – Evapotranspiração atual a partir do perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ PotSoilInfil – Taxa de infiltração potencial no perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ ActSoilInfil – Taxa de infiltração atual no perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ AvailWater – Água disponível para a infiltração do perfil de solo [comprimento];
- ⇒ PotSoilPerc – Percolação potencial a partir do perfil de solo [comprimento/tempo];
- ⇒ PotGw1Perc, PotGw2Perc – Percolação potencial a partir dos lençóis freáticos [comprimento];
- ⇒ PrecipTimeStep – Precipitação para o passo de cálculo [comprimento/tempo];
- ⇒ TimeStep – Comprimento do tempo de cálculo para o intervalo de simulação.

#### **2.3.4.4. Transformação de Precipitação em escoamento**

Nesta dissertação, para a transformação de precipitação em escoamento, é usado o modelo *Clark Unit Hydrograph* para obter o resultado final.

- *Tempo de Concentração*. Este é o tempo necessário para que uma gota de água proveniente da precipitação percorra a bacia hidrográfica, desde o ponto mais longínquo do *outlet* (ponto de referência de escoamento) a este.
- *Coeficiente de armazenamento*.

#### **2.3.4.5. Propagação de Hidrogramas em Cursos de Canal**

A propagação de hidrogramas pode ser classificada como modelos agregados ou distribuídos dependendo da função de tempo. Existem vários modelos de propagação utilizados que permitem simular o comportamento da precipitação sobre a superfície de uma bacia hidrográfica tais como:

- Modelo do Tempo de Resposta (lag)
- Modelo de Plus
- Modelo da Onda Cinemática
- Modelo de Muskingum
- Modelo de Muskingum-Cunge

Os dois parâmetros preponderantes para a análise deste método são o comprimento da linha de água em análise e a velocidade do caudal do curso do canal. Para análise do modelo contínuo os dois métodos com mais interesse na sua análise são o modelo do tempo de resposta e o Muskingum.

#### **2.3.5. Programas utilizados para Modelação Hidrológica**

##### **2.3.5.1. HEC-GeoHMS e HEC-HMS**

O sistema de modelação hidrológica (HEC – HMS), desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers*, uma organização do Instituto de Recursos Hídricos especializada nas áreas técnicas de hidrologia de águas superficiais e subterrâneas, hidráulica fluvial e transporte de sedimentos, estatísticas hidrológicas e risco foi concebido para a modelação hidrológica contínua e de eventos de curta duração de modo a facilidade a utilização para quem possui pouca experiência com SIG's (Fleming & Doan, 2013). Inicialmente este programa foi desenvolvido para simular processos de precipitação/escoamento nas bacias hidrográficas, mas posteriormente, foi melhorada para resolver problemas mais avançados nomeadamente o abastecimento de água na bacia hidrográfica, hidrogramas de inundação e problemas relativos a águas urbanas ou rurais.

O HEC-GeoHMS usa o ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*, para desenvolver uma série de entradas de modelação hidrológica para o HEC-HMS. Analisando os dados digitais do terreno, o HEC-GeoHMS transforma as linhas de drenagem e os limites da bacia hidrográfica numa estrutura de dados hidrológicos que representam uma rede de drenagem. O programa permite aos seus utilizadores visualizar informações espaciais, documentar as características da bacia hidrográfica, realizar análises espaciais e delinear sub-

bacias e massas de água. Desta forma é possível, de um modo mais rápido e eficaz, criar um modelo baseado na informação geográfica utilizada e depois exportá-lo para ser trabalhado no HEC-HMS.

Tendo já formatado a informação geográfica no ArcGIS e com as expansões e ferramentas anteriormente referidas, a utilização do HEC-HMS permite ao utilizador proceder a uma simulação da modelação hidrográfica necessitando de poucos dados de entrada para obter um resultado viável. Para além do modelo proveniente do ArcGIS, é também necessário definir um modelo meteorológico, com base nos dados de entrada como a precipitação, ou a temperatura ou a evapotranspiração e uma especificação de controlo que passa pela definição do intervalo de tempo que o utilizador deseja que seja feita a simulação.

Para além desta simulação, o HEC-HMS permite ao utilizador proceder a um acerto dos parâmetros considerados no modelo, denominado de *Optimization Trial*. Esta ferramenta consiste em comparar os resultados obtidos de simulações feitas com dados observados reais. É feita a introdução destes dados e a comparação com os valores dos parâmetros inseridos, resultando numa análise deste e sugestão de acerto. Desta forma é feita a calibração do modelo e a aproximação aos valores reais dos parâmetros necessários por forma a poder utilizar o projeto para outras series temporais, permitindo sempre ter resultados fidedignos (HEC-HMS, 2000).

A utilização do HEC-HMS depois de feitas as simulações e otimizações do modelo apresenta os resultados por meio de tabelas ou gráficos, no próprio programa. Contudo, para poder fazer um tratamento de dados ou comparação com outras séries de dados é possível proceder à sua extração através do *HEC-DSSVue*, um programa lê os ficheiros que guardam a informação das simulações e otimizações e que possibilita a tabulação dos dados em programa mais comuns como o Microsoft Excel.

#### **2.3.5.2. SWAT**

O SWAT é um modelo hidrológico de base de tempo contínuo de longo prazo, distribuído e desenvolvido pelo *Agricultural Research Service (ARS)* inserido no *United State Department of Agriculture (USPA)*. Este programa tem como principal utilização a compreensão e resposta de uma área face aos impactos provocados pela componente hidrológica, de sedimentos e contaminantes em termos quantitativos e qualitativos. Possui a capacidade de simulação de escoamento de superfície, erosão, transporte de nutrientes, destino de pesticidas, irrigação, fluxo de água subterrânea, perdas de transmissão de canais, armazenamento de lagoas e reservatórios, encaminhamento de canais, drenagem de campo, uso de plantas e outros processos de suporte.

Este programa pode ser aplicado a uma grande bacia hidrográfica rural sem água com mais de 100 sub-bacias hidrográficas (Gassman, Reyes, Green, & Arnold, 2007). Por essa razão o SWAT é cada vez

mais utilizado para apoiar decisões sobre políticas alternativas de gestão da água nas áreas de mudança do uso da terra, mudança climática, reordenamento da água e controlo da poluição.

### 2.3.5.3. Comparação

A escala espacial é um critério importante na seleção de um modelo porque desempenha um papel significativo na maneira como processos específicos são tratados no modelo. As características de armazenamento podem variar em diferentes escalas de bacias hidrográficas (Dhami & Pandey, 2013).

*Tabela 2.2 – Escala espacial e temporal dos modelos hidrológicos*

Modelo	Escala Espacial	Escala Temporal	Escala Temporal Seleccionada
HEC – HMS	Flexível	Evento e Contínuo	Dia, Hora e Minuto
SWAT	Flexível	Contínuo	Dia

Estes dois modelos contemplam uma escala de tempo contínuo com escala espacial flexível aplicável a qualquer tamanho da bacia hidrográfica. No enquanto o HEC–HMS pode simular eventos de curta duração ou de tempo contínuo o SWAT só consegue simular tempo contínuo.

*Tabela 2.3 – Dados de entrada para cada um dos modelos em estudo (Dhami & Pandey, 2013)*

Modelo	Dados de entradas mínimas necessárias
HEC – HMS	MDT, informações e uso do solo, dados topográficos, precipitação e dados diários de escoamento observados
SWAT	MDT, uso do solo, precipitação máxima e mínima, temperatura, radiação solar, humidade relativa, velocidade do vento, descarga diária, sedimentos, entrega de nutrientes, aplicação de fertilizantes e pesticidas, fonte pontual de poluição

Como se pode verificar com a tabela 2.3 o modelo SWAT exige dados extensivos ao contrário do outro modelo em estudo, HEC – HMS.

Para a análise de cheias em bacias hidrográficas, devem ser consideradas durações de precipitação iguais ou superiores ao tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo, de modo a que toda a área da bacia contínua em simultâneo para o escoamento na seção de referência.



### 3.1.1. Monte Novo

A bacia hidrográfica do Monte Novo desenvolve-se, de montante para jusante, entre Vale do Pereiro e a barragem do Divor, passando a Este pelo concelho de Redondo e Oeste pelo concelho de Évora desaguardo no Rio Degebe, com 261,4 km<sup>2</sup>. Relativamente às características fisiográficas da bacia, esta apresenta uma altitude média de 254 m e um declive médio de 3,2% (SNIRH b, 2017). A ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo é constituída maioritariamente pela agricultada, com diversos sistemas culturais onde se destaca o local olival. Existem também outras culturas como o milho, girassol, tomate, árvores de fruto e cucurbitáceas.

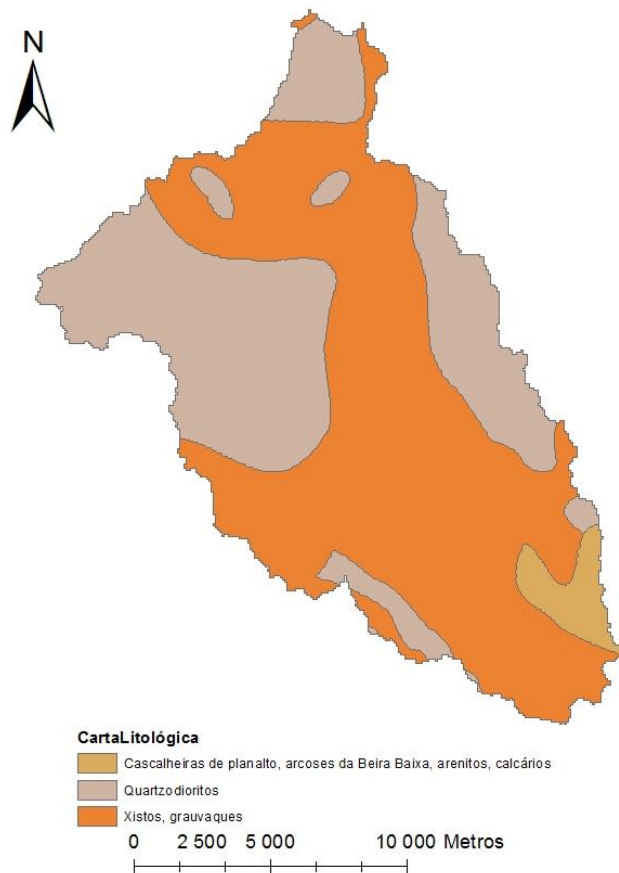
A albufeira do Monte Novo é a fonte principal de captação de água para consumo nos concelhos de Évora, Redondo e Reguengos. Para esse efeito, em 1982 foi construída uma barragem nesse reservatório para fins hidroagrícolas e para abastecimento de água municipal, desempenhando um papel determinante no sistema de abastecimento de água nos concelhos mencionados. A albufeira do Monte Novo está classificada como albufeira de águas públicas protegidas<sup>3</sup> pelo Decreto Regulamentar n<sup>o</sup>2/88, de 20 de janeiro (DRE f, 1988).

Na figura abaixo, estão representados os grupos litológicos da bacia hidrográfica de Monte Novo, verificando-se a presença predominante de rochas com formações sedimentares e metamórficas. Seguidamente, também a existência de rochas eruptivas plutónicas.

A jusante da bacia existe uma estação hidrométrica, Monte Novo (22K/01A)

---

<sup>3</sup> São aquelas cuja água é ou se prevê que venha a ser utilizada para abastecimento de populações e aquelas cuja proteção é ditada por razões de defesa ecológica.



*Figura 3.2 – Carta Litológica da bacia hidrográfica de Monte Novo (SNIAmb, 2017)*

Como se pode verificar pela carta da ocupação do uso do solo e pelas percentagens apresentadas na tabela abaixo, a bacia hidrográfica de Monte Novo é constituída maioritariamente por culturas temporárias de sequeiro.

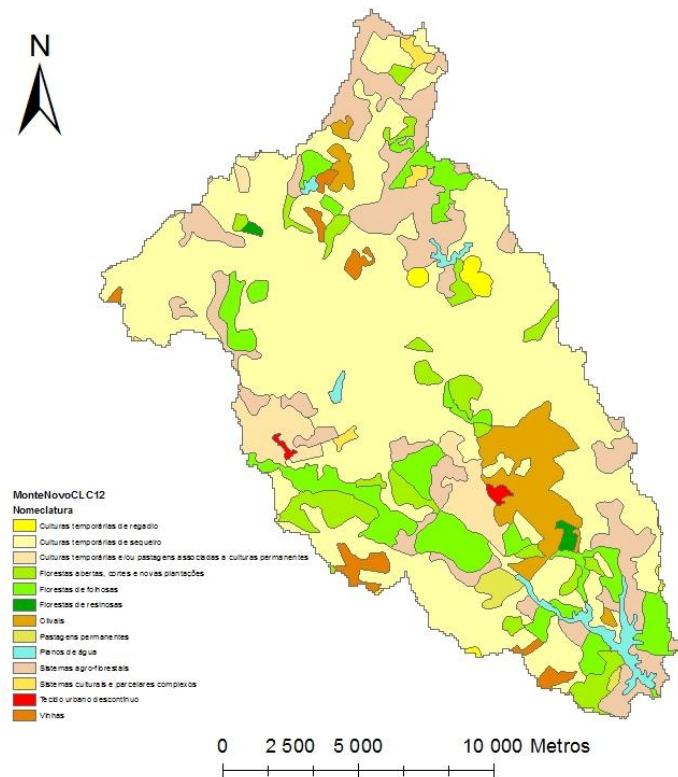


Figura 3.3 – Carta da ocupação e Uso do Solo da bacia hidrográfica de Monte Novo (SNIAMB, 2017)

Tabela 3.1 – Ocupação e uso do solo da bacia hidrográfica de Monte Novo de acordo com CORINE Land Cover

Código	Nomenclatura	Área (km <sup>2</sup> )	Fração (%)
112	Tecido urbano descontínuo	0,70	0,27
211	Culturas temporárias de sequeiro	146,57	56,08
212	Culturas temporárias de regadio	1,88	0,72
221	Vinhas	4,23	1,62
223	Olivais	13,47	5,16
231	Pastagens permanentes	1,81	0,69
241	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	10,03	3,84
242	Sistemas culturais e parcelares complexos	1,59	0,61
244	Sistemas agroflorestais	36,85	14,10
311	Florestas de folhosas	24,78	9,48
312	Florestas de resinosas	0,81	0,31
324	Florestas abertas, cortes e novas plantações	14,42	5,52
512	Planos de água	4,23	1,62
TOTAL		261,37	100

### 3.1.2. Vigia

A bacia hidrográfica de Vigia desenvolve-se, de montante para jusante, entre as freguesas Redondo e a Montoito, passando a Oeste pelo rio Ribeira da Pardiela, com 125,3 km<sup>2</sup>. Relativamente às características fisiográficas da bacia, esta apresenta uma altitude média de 264 m e um declive médio de 3,7% (SNIRH c, 2017). A ocupação do solo na bacia hidrográfica em estudo é constituída maioritariamente por sistemas agroflorestais. Nesta bacia hidrográfica é constituída maritalmente por xistos, grauvaques quartzodioritos. À semelhança da albufeira da bacia de Monte Novo, a albufeira de Vigia também é a fonte, principalmente para a irrigação dos solos, pela captação de água para o consumo humano. A jusante da bacia existe uma estação hidrométrica, Vigia (22L/01A).

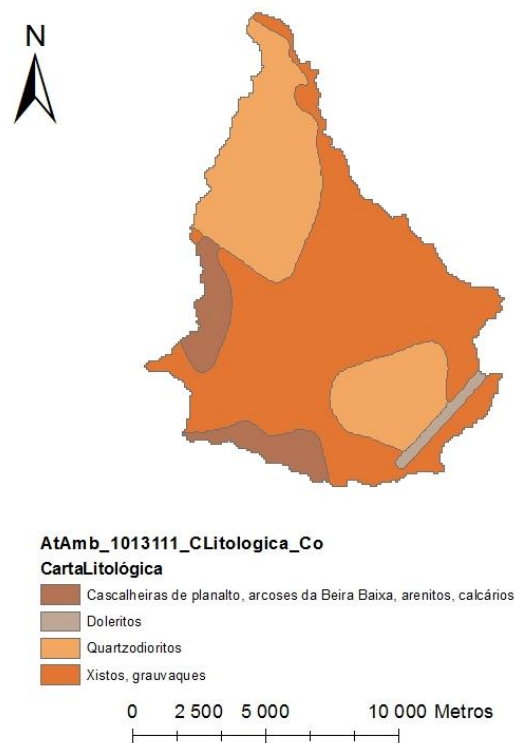


Figura 3.4 – Carta Litológica da bacia hidrográfica de Vigia (SNIAmb, 2017)

Como se pode verificar pela carta da ocupação do uso do solo e pelas percentagens apresentadas na tabela abaixo, a bacia hidrográfica de Vigia é constituída maioritariamente afro-florestais, cerca de 46%.

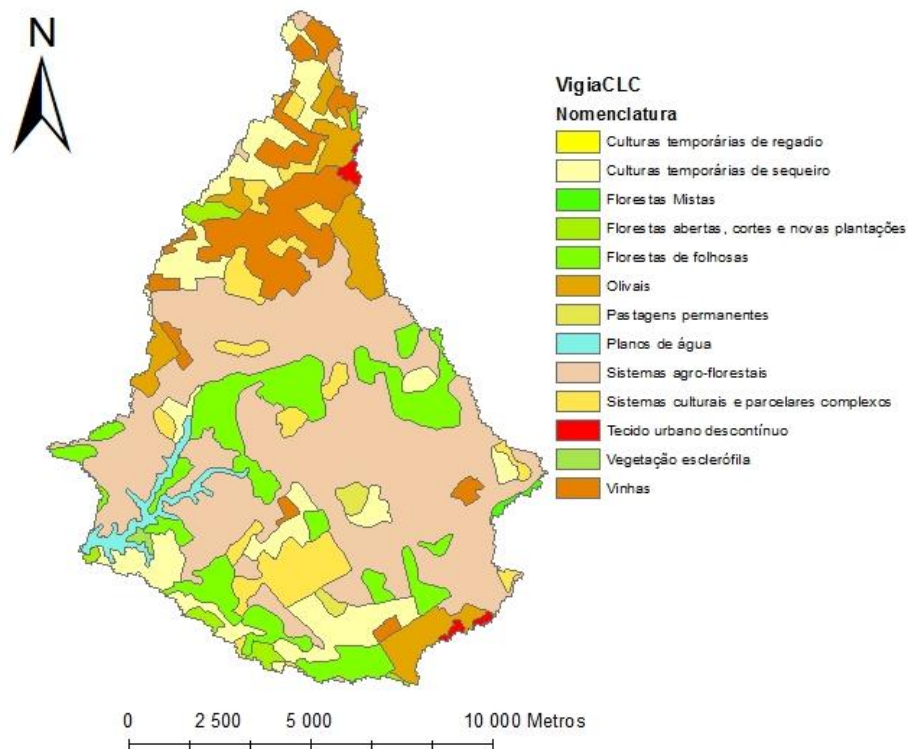


Figura 3.5 – Carta da ocupação e Uso do Solo da bacia hidrográfica de Vigia (SNIAmb, 2017)

Tabela 3.2 – Ocupação e uso do solo da bacia hidrográfica de Monte Novo de acordo com CORINE Land Cover

<b>Código</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Fração (%)</b>
112	Tecido urbano descontínuo	0,61	0,49
211	Culturas temporárias de sequeiro	15,75	12,57
221	Vinhas	11,82	9,43
223	Olivais	8,07	6,44
231	Pastagens permanentes	0,87	0,69
242	Sistemas culturais e parcelares complexos	9,46	7,55
244	Sistemas agroflorestais	56,95	45,45
311	Florestas de folhosas	17,24	13,75
313	Florestas Mistas	0,27	0,22
323	Vegetação esclerófila	0,25	0,20
324	Florestas abertas, cortes e novas plantações	1,61	1,29
512	Planos de água	2,41	1,92
<b>TOTAL</b>		<b>125,31</b>	<b>100</b>

## **3.2. Modelo Hidrológico**

### **3.2.1. Conceção do modelo de informação geográfica da bacia – HEC-GeoHMS**

Para a primeira parte da obtenção dos resultados finais passa por uma fase de pré-processamento dos dados geométricos a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT). Para tal utilizou-se o programa HEC – GeoHMS (*Hydrologic Engineering Center – Geospatial Hydrologic Modeling System*) do *US Army Corps of Engineers*. Esta escolha teve como base a facilidade do programa ArcGIS bem como as suas diversas ferramentas e expansões. Como já foi referido anteriormente, este programa permite aos utilizadores visualizar a informação hidrológica espacial, realizar análises espaciais, delimitar bacias hidrográficas e redes de drenagem, documentar as características das bacias e respetivas redes de drenagem bem como a produção de dados de entrada para os modelos hidrológicos (Scharffenberg & Fleming, 2010)

O MDT consegue caracterizar facilmente elementos básicos de uma análise hidrológica como linhas de água, bacias hidrográficas e sub-bacias uma vez que este possui informação para delinear uma rede de drenagem superficial. Este tipo de processo segue um conjunto de operações de análise espacial de acordo com o manual do HEC – GeoHMS. A Environmental Systems Research Institute (ESRI) de Portugal fornece gratuitamente um MDT de Portugal Continental e as suas regiões autónomas com uma resolução de 30 metros, o qual foi utilizado como base de processamento dos dados espaciais. A metodologia utilizada pela ESRI constitui uma recolha de imagens através de satélite Terra ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e posterior criação de mosaicos de imagens no programa ArcMap Desktop 10.4.1. Para obter o MDT foi necessário um pré-tratamento do terreno, seguindo a ordem de passos da extensão HEC – GeoHMS, de acordo com o seguinte esquema (Scharffenberg & Fleming, 2010).

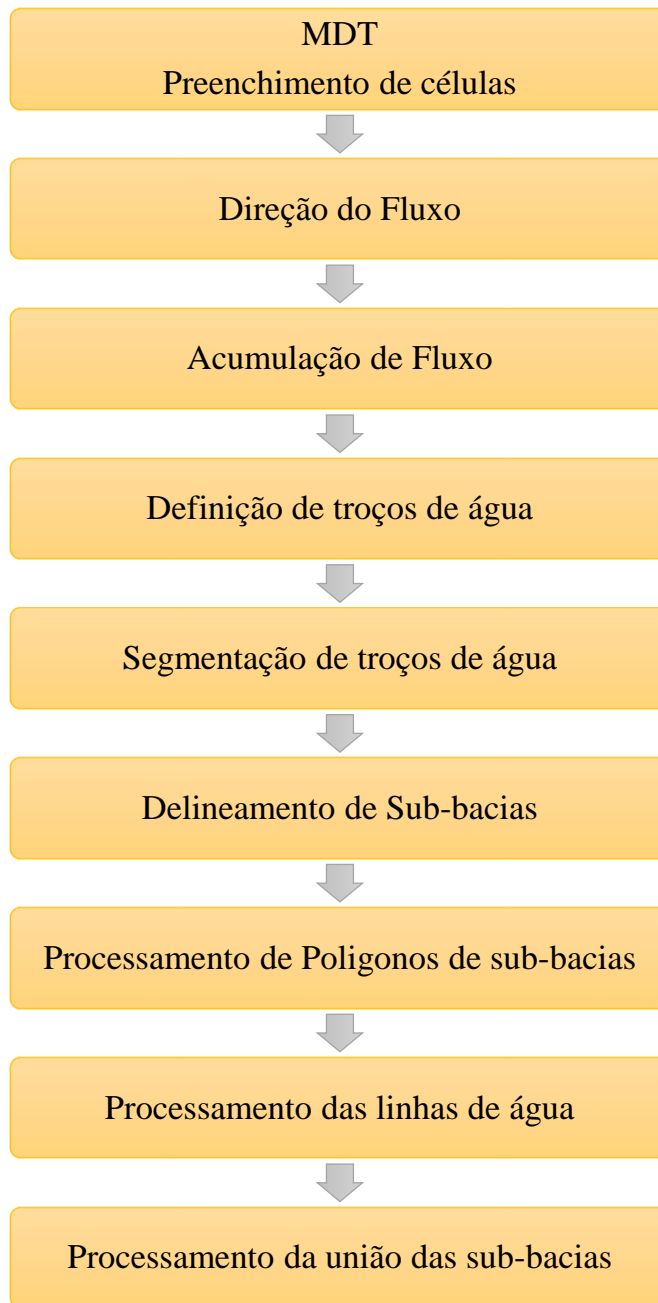


Figura 3.6 – Ferramentas do pré-processamento do terreno com o HEC – GeoHMS

⇒ *MDT – Preenchimento de células (fill Sinks)*. Esta operação evita que o modelo forme linhas ou pontos sem escoamento correspondendo à eliminação das depressões do MDT com o aumento da cota dos pontos que constituem essas depressões. Contudo, estas devem ser removidas do MDT para que se consiga proceder à delimitação da rede de drenagem.

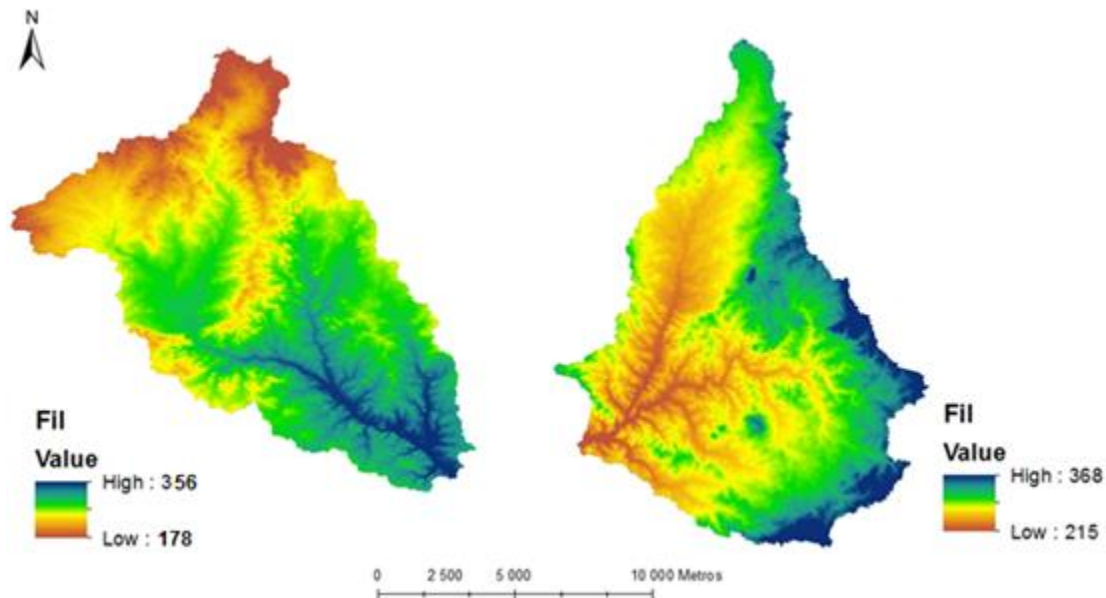


Figura 3.7 – Modelo digital do terreno com preenchimento de depressões: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia (SNIAmb, 2017)

⇒ *Direção do fluxo (Flow Direction)*. Posteriormente foi necessário calcular a direção do escoamento de todas as células da matriz no MDT. A direção do escoamento teve o simples princípio de que a água se move para o menor potencial possível, ou seja, é identificada a célula vizinha mais próxima em relação à qual o declive é máximo. O’Callaghan & Mark (1984) é o algoritmo que descreve as direções do escoamento que ficou conhecido como Algoritmo Determinístico de oito direções de fluxo (D8).

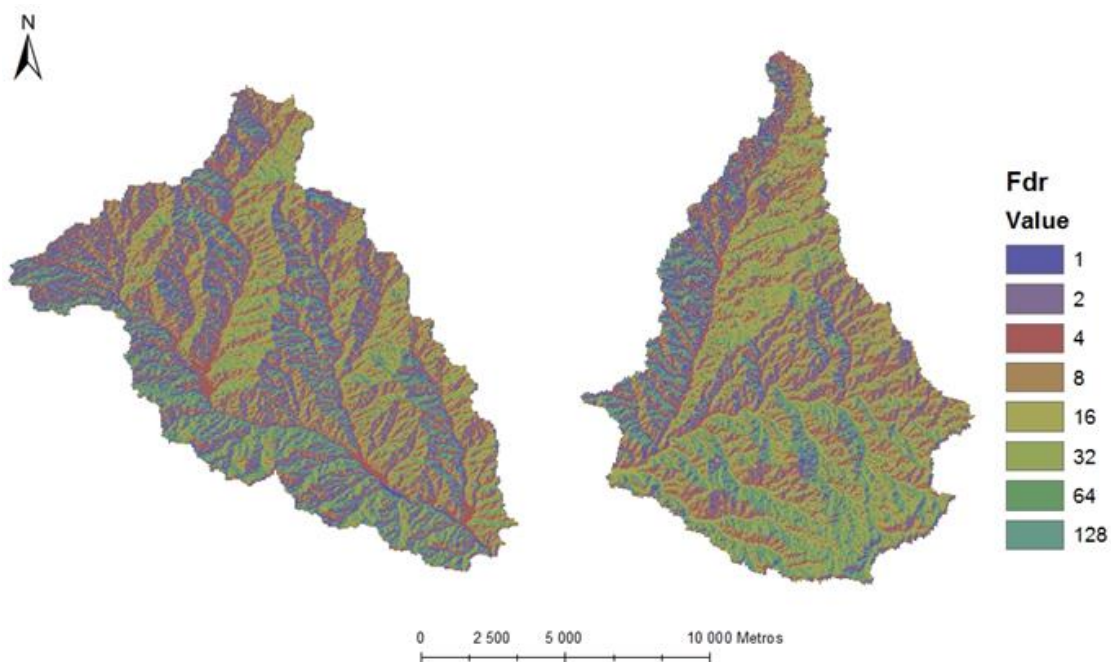


Figura 3.8 – Direção do escoamento: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia (SNIAmb, 2017)

⇒ *Acumulação de fluxo (Flow Accumulation)*. Seguidamente é estimado o número de células que contribuem para o escoamento de cada célula analisada. A partir da matriz da direção do escoamento pode-se obter o escoamento acumulado. Desta forma, este é definido como um valor real da área total cujo fluxo se movimenta de célula para célula seguindo as direções calculadas como o algoritmo anterior.

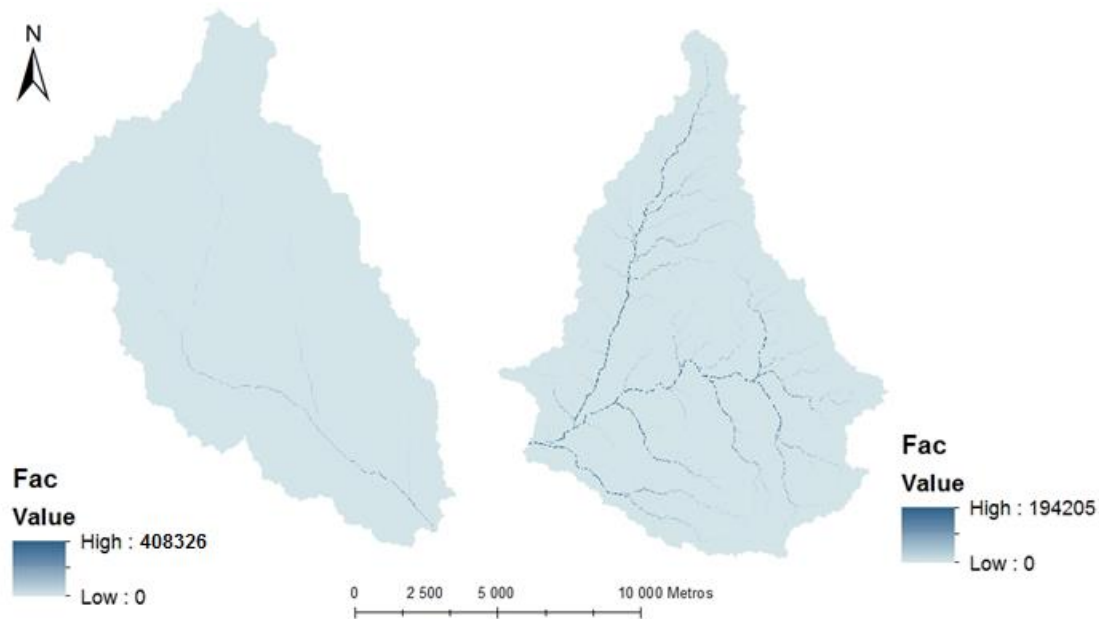


Figura 3.9 – Direção do escoamento: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia (SNIAMB, 2017)

- ⇒ *Definição de troços de água (Stream Definition)*. De seguida, como a rede de drenagem superficial é extraída a partir dos dados de escoamento acumulado, são definidas as áreas de drenagem para cada segmento de rio extraído com a operação de definição de troços de água. O resultado final do pré-processamento do terreno é a delimitação da bacia e sub-bacias hidrográficas e da rede de drenagem.
- ⇒ *Segmento de troços de água (Stream Segmentation)*. Este passo divide a definição de troços de água anteriormente feita em segmentos. Esta separação é realizada de modo a que dois troços confluem numa união ou no ponto de saída.

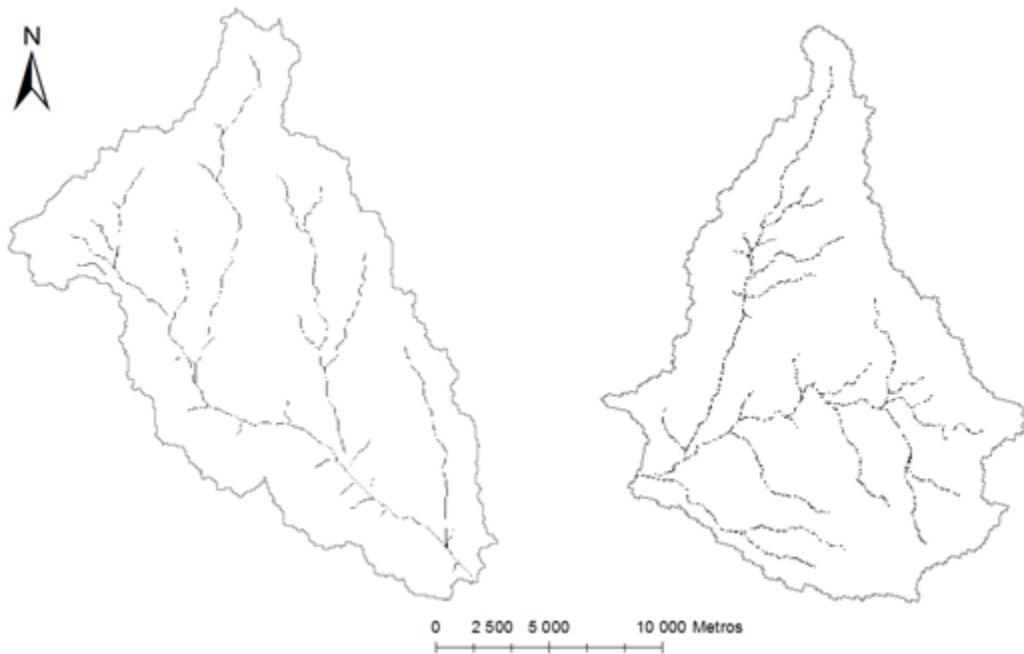


Figura 3.10 – Definição e segmentos de troços de água: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia (SNIAmb, 2017)

⇒ *Delineamento de sub-bacias (Catchment Grid Delineation)*. Neste passo, são criadas sub-bacias consoante os segmentos criados anteriormente tal que a cada segmento corresponde uma sub-bacia.

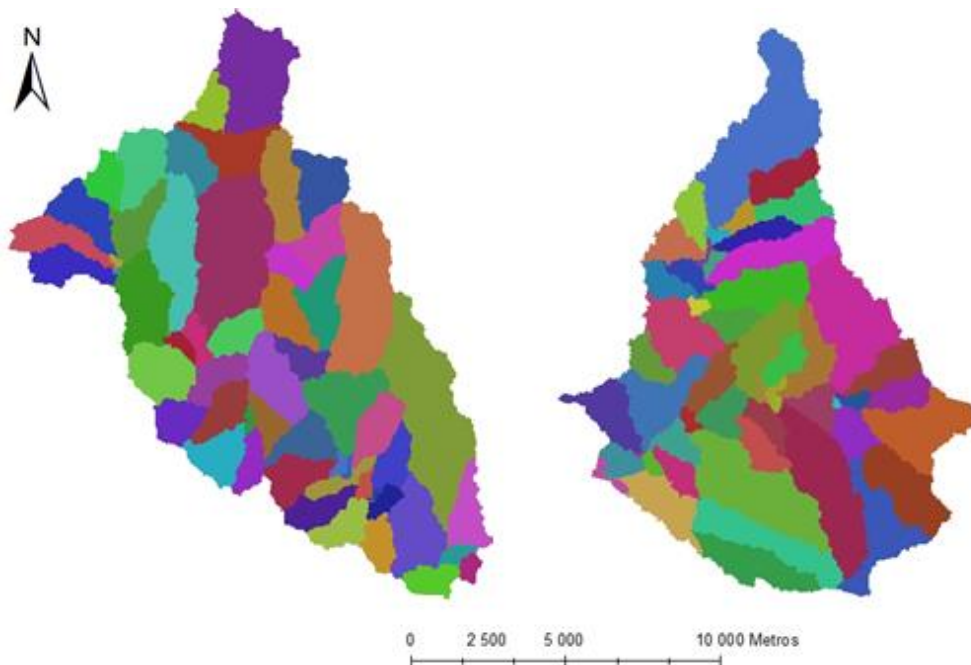


Figura 3.11 – Delineamento de sub-bacias: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia (SNIAmb, 2017)

⇒ *Processamento de Polígonos de sub-bacias, das linhas de água e união de sub-bacias (Catchment Polygon, Drainage Line, Adjoint Catchment Processing)*. No final do pré-processamento são criados dois ficheiros vetoriais. Um corresponde às sub-bacias e outro aos troços de água. O terceiro passo resume-se à agregação dos dois ficheiros anteriores e, posto isto, conclui-se a etapa do pré-processamento geográfico da bacia hidrológica.

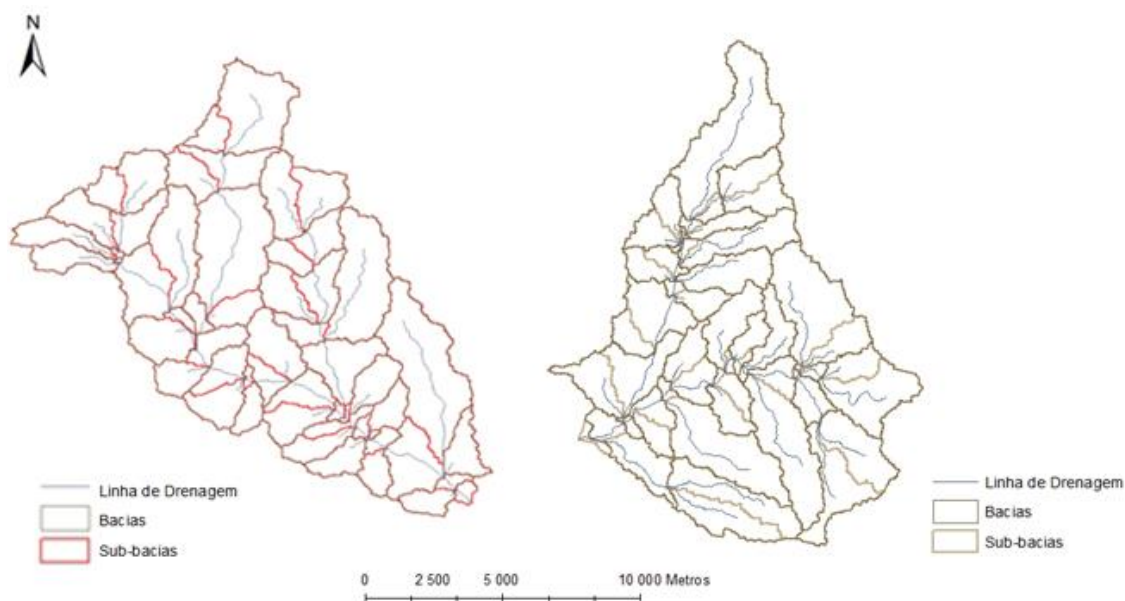


Figura 3.12 – Rede de drenagem; à esquerda a bacia hidrográfica de Monte Novo e à direita a bacia hidrográfica de Vigia (SNIAmb, 2017)

A próxima etapa passa pela definição do projeto. Tem como objetivo a definição de um ponto de saída (*outlet*) que será o destino final do escoamento, a recolha de informação geográfica da bacia hidrográfica e dos seus constituintes bem como a definição dos métodos necessários para a realização da modelação hidrológica. Embora podendo não representar a cem por cento a realidade, o programa delimita as áreas de drenagens para cada segmento de rio com o objetivo de facilitar as operações futuras. Devido à existência de 57 sub-bacias em Monte Novo e 55 sub-bacias em Vigia provenientes do pré-processamento, procedeu-se à aglutinação das bacias adjacentes de forma a obter o número mais reduzido. Desta forma, através da ferramenta *Basin Merge*, chegou-se a um resultado final de 4 sub-bacias para Monte Novo e 3 sub-bacias para Vigia e, assim foi possível a obtenção da informação hidrométrica devido à diminuição do número inicial.

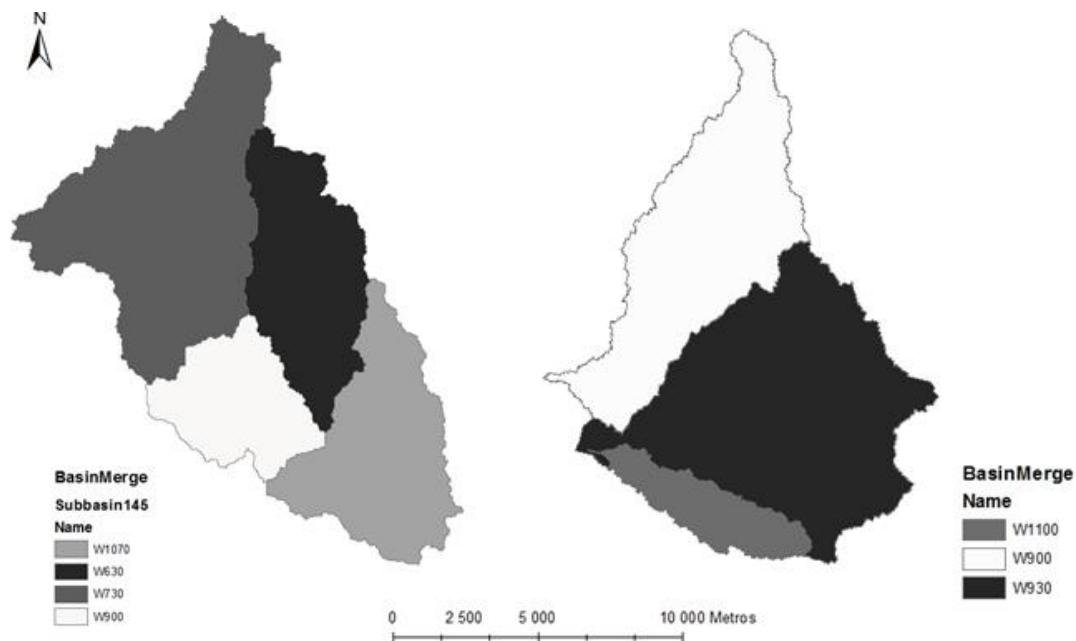


Figura 3.13 – Agregação das sub-bacias: à esquerda a bacia hidrográfica de Monte Novo e à direita a bacia hidrográfica de Vigia (SNIAMB, 2017)

Posto isto, obteve-se as características fisiográficas nomeadamente o declive, centro de massa e a sua elevação relativamente a cada sub-bacia bem como o comprimento, declive e o troço mais longo relativamente às linhas de água.

Finalizando a etapa fisiográfica do projeto, é necessário definir os métodos necessários para a realização da modelação com o HEC-HMS. Estes métodos contemplam as perdas na bacia, a transformação da precipitação em escoamento e a propagação da água nos cursos existentes. Fazendo a distinção entre modelação contínua e de evento, existem métodos mais adequados para cada tipo.

Depois de toda a pré-preparação dos dados geométricos necessários à modelação hidrológica, é finalmente criado o projeto HMS. No ArcGIS as componentes do modelo de bacia são criadas e importadas diretamente para o HEC – HMS. Na figura 3.18 estão apresentados os dois modelos utilizados no HEC.

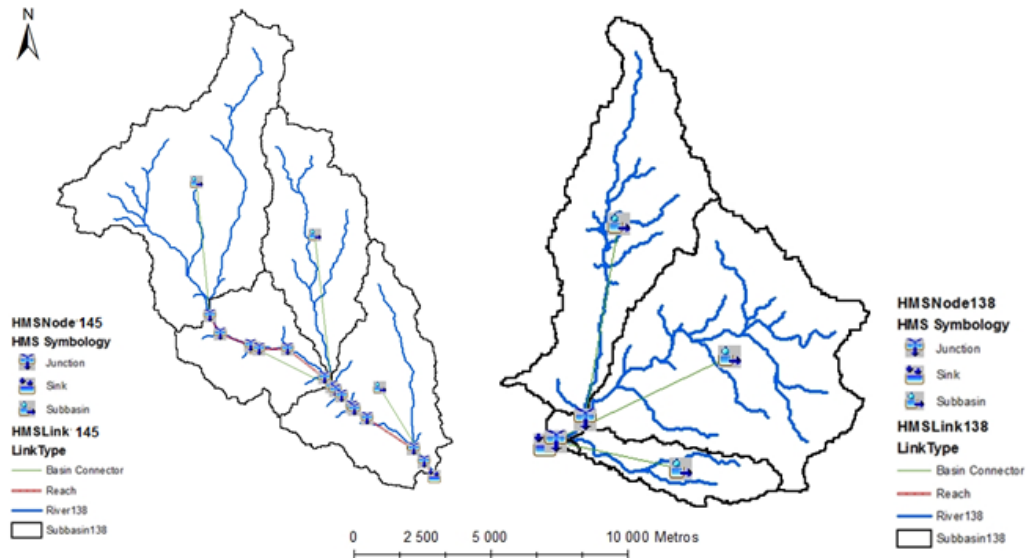


Figura 3.14 – Projetos finais: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia (SNIAMB, 2017)

### 3.2.2. HEC – HMS

Como já foi referido, o modelo hidrológico escolhido é o HEC – HMS. Este modelo permite simular o processo de transformação de precipitação em escoamento superficial em bacias hidrográficas. Os dados geográficos são manipulados em ambiente de SIG sendo depois exportados para o modelo HMS através da ferramenta HEC – GeoHMS – também utilizada no estudo realizado. Assim, tendo valores de precipitação como dados de entrada, o modelo permite deduzir as perdas, determinando o excesso de precipitação através de hidrogramas unitários e simulando ondas de cheia através de métodos de *routing* e dando origem a um hidrograma de um serie contínua.

#### 3.2.2.1. Método de Perdas – Soil Moisture Accounting

Desta forma o *Soil Moisture Accounting* (SMA) foi escolhido como o método de perdas, o *Clark Unit Hydrograph* como o método de transformação e o *Muskingum* como o de propagação do hidrograma.

Tal como foi referido no capítulo 2.3. o método de perdas exige a quantificação de vários parâmetros de modo a se conseguir perceber de que forma é afetado o escoamento com a precipitação registada. Com tal, é necessário um conhecimento do uso do solo na bacia hidrográfica. Através de CORINE Land Cover 2012, obtido em *Copernicus* (Service, 2017), é possível ter a informação em formato *raster* ou *vector* da ocupação e uso do solo em toda a Europa.

É demonstrado em anexos a estimativa dos vários parâmetros necessários, consoante a classe de uso do solo, para a constituição do modelo de perdas. Assim, sabendo a fração correspondente a cada uso do solo, é possível obter os parâmetros de calibração usados no método SMA para a modelação. Dos 12

parâmetros necessários para o funcionamento do algoritmo, resta abordar as componentes relativas aos lençóis freáticos existentes na bacia. Tendo conhecimento do hidrograma de escoamento observado da bacia é possível através de uma análise de recessão, obter os valores destes parâmetros (Ibrahim, 2010). Não sendo este o caso, os dados são estimados através do método tentativa/erro, estabelecendo um valor inicial aleatório e alterando os valores à medida que são feitas as simulações.

Referindo Lencastre e Franco, 1984, os tipos hidrológicos do solo correspondem à classificação do *Soil Conservation Service* (Lencastre & Franco, 2010):

- *Tipo A (Baixo potencial de escoamento superficial)*. Solos com elevadas taxas de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos. Incluem principalmente areias profundas, com drenagem boa ou excessiva. Estes solos possuem uma transmissividade elevada.
- *Tipo B (Potencial e escoamento superficial abaixo da média)*. Solos com taxas de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e grosseira, e medianamente drenados. Estes solos possuem uma transmissividade média.
- *Tipo C (Potencial de escoamento superficial acima da média)*. Solos com baixas taxas de infiltração, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com texturas modernamente finas. Estes solos possuem uma transmissividade baixa.
- *Tipo D (Elevado potencial de escoamento superficial)*. Solos com taxas de infiltração muito baixas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade. Estes solos possuem uma transmissividade muito baixa.

De acordo com a próxima figura, é possível constatar que as bacias apresentam solos do tipo D correspondendo ao elevado potencial de escoamento superficial.

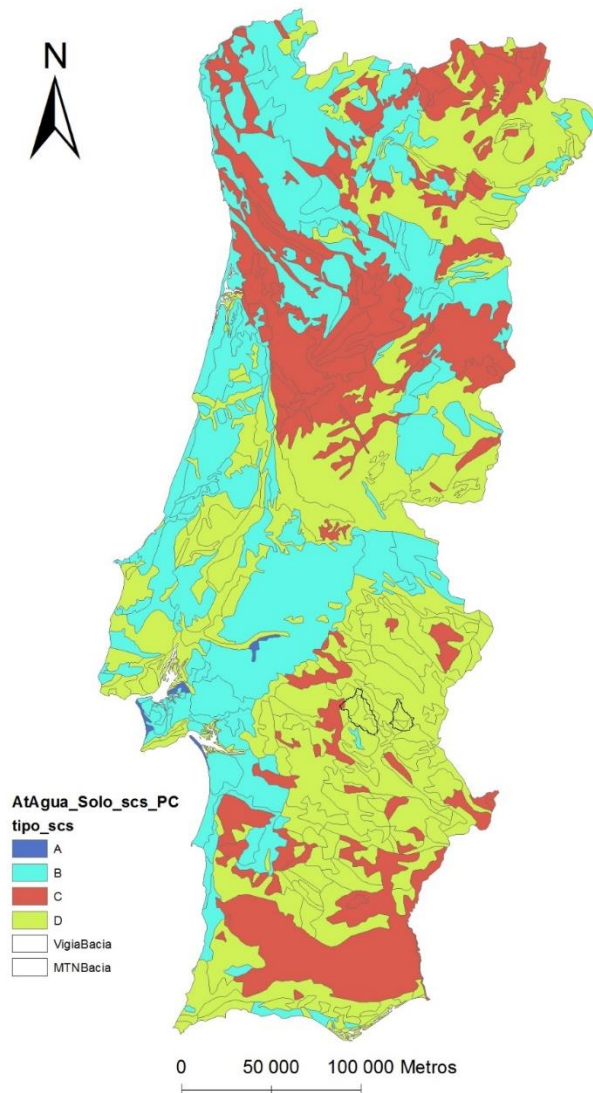


Figura 3.15 – Carta dos Solos de Portugal Continental classificados pelas suas características hidrológicas (SNIAmb, 2017)

### 3.2.2.2. Método de transformação – Clark

Os métodos hidrográficos unitários sintéticos são utilizados para descrever todo o hidrograma unitário para uma bacia hidrográfica calibrando com apenas alguns parâmetros hidrográficos. Esses parâmetros hidrográficos estão relacionados às características das bacias hidrográficas a partir das quais foram determinados os parâmetros.

Os processos de translação, movimento do caudal em resposta à gravidade, e atenuação, forças de fricção e efeitos de armazenamento que resistem ao caudal, dominam o movimento do caudal entre bacias. Em 1945, Clark observou que a translação do caudal na bacia hidrográfica poderia ser descrita por uma curva da área em função do tempo. É expressada pela curva da fração da área da bacia hidrográfica, que contribui para o escoamento da saída da bacia, como uma função desde o início da precipitação. A curva

da área é limitada no tempo pela  $T_C$  (tempo concentração) da bacia hidrográfica e assim,  $T_C$  é um parâmetro hidrográfico do método de unidade hidrográfica de Clark (Straub, *et al.* 2000).

O HMS é utilizado para calcular o hidrograma da unidade de Clark. Os parâmetros hidrográficos necessários para o cálculo do hidrograma para a unidade de Clark são  $T_C$  e  $R$  onde  $T_C$  é o tempo de concentração e o coeficiente de armazenamento da bacia hidrográfica, respetivamente. O  $T_C$  de Clark, o tempo de viagem da para a última gota de precipitação no ponto hidráulicamente mais distante na bacia hidrográfica para alcançar a rede de canais (Straub, *et al.* 2000).

Utilizou-se a análise de regressão linear múltipla para relacionar os logaritmos da  $T_C$  e  $R$  para cada bacia hidrográfica com logaritmos da área da bacia hidrográfica, comprimento e declive do canal principal. As seguintes equações estimam os parâmetros para produzir os maiores valores de  $R^2$ , onde incluem o comprimento e a inclinação do canal principal.

$$T_C = 1.54 L^{0.875} S^{-0.1811} \text{ (horas)}$$

*Equação 3.1 – Tempo de concentração da bacia hidrográfica em horas*

$$R = 16.4 L^{0.342} S^{-0.790} \text{ (horas)}$$

*Equação 3.2 – Coeficiente de armazenamento da bacia hidrográfica em horas*

Estes dois valores,  $L$  e  $R$ , são obtidos através do programa ArcGIS onde  $L$  é o comprimento da corrente medida ao longo do canal principal da saída da bacia hidrográfica, em milhas, e  $S$  é o declive do canal principal determinada a partir de elevações em pontos que representam 10 e 85 por cento da distância ao longo do canal da saída da bacia hidrográfica, em pés por milhas.

### **3.2.2.3. Método de Routing – Muskingum**

Nos anos 30 foi desenvolvido, no distrito de Muskingum Conservancy, um estudo capaz de controlar cheias. O método de *Muskingum* é um dos métodos mais populares de encaminhamento hidrológico para canais de drenagem com todos os tipos de rios e canais. Este aproxima o volume de armazenamento de um canal por combinação de armazenamento de prismas e armazenamento em cunha, como ilustrado na figura seguinte para o caso em que o caudal de entrada excede o caudal de saída. Quando o nível de água diminui no canal é produzido uma onda negativa devido ao caudal de saída que excede o caudal de entrada (Elbashir, 2011).

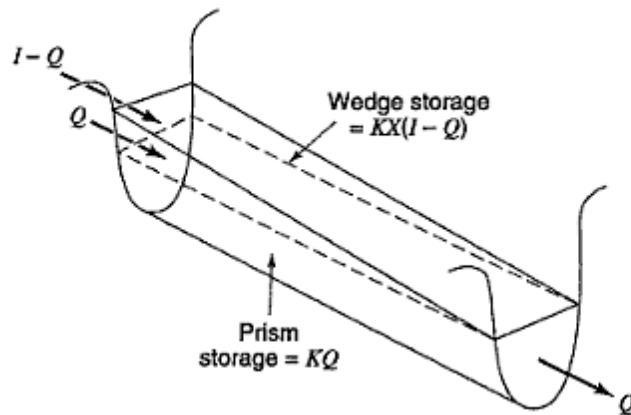


Figura 3.16 – Armazenamento de prisma e em cunha (Elbashir, 2011)

O valor de  $X$ , figura 3.16, é um fator de ponderação de valores no intervalo entre 0 e 0,5. Um valor mínimo para  $X$  é zero o que significa que o caudal de entrada tem pouco ou até mesmo nenhum efeito sobre o armazenamento. Para uma ponderação igual entre a entrada e a saída é produzida pela tradução com pouca atenuação e assim  $X$  tem valor de 0,5. Segundo Chow et al., em caudais naturais,  $X$  pode ter valores mais limitados, geralmente entre 0 e 0,3 onde o seu valor típico é próximo de 0,2. Em 1999 Johnson sugere que os valores de  $X$  entre 0,4 e 0,5 podem ser calibrados para correntes com poucas planícies de inundação (Elbashir, 2011).

#### 3.2.2.4. Especificações de Controlo

As especificações de controlo estabelecem o intervalo de tempo em que se pretende realizar a simulação, o utilizador define a data de início e fim da simulação, assim como o passo de cálculo dos processos hidrológicos na simulação. Na modelação hidrológica é necessário estabelecer o período de calibração por forma a ajustar os valores dos parâmetros dos métodos anteriormente referido. O objetivo é obter um hidrograma da simulação onde seja o mais aproximado a um hidrograma observado na área de estudo.

Uma vez feita a calibração faz-se uma nova simulação para validar o processo feito anteriormente, comparando os resultados de escoamento simulado com os de escoamento observado.

Tendo todas as condições de calibração e validação acertadas, faz-se uma simulação de cenário futuro. Aqui, apenas os dados de precipitação e de evapotranspiração diferem das duas simulações anteriores.

Assim, a partir dos dados disponibilizados pelo projeto GestAqua.adaPT, são estabelecidos os mesmos períodos de avaliação de modo a se comparar os mesmos intervalos de tempo para as duas modelações hidrológicas, apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 3.3 – Períodos de avaliação

Período de Calibração	Setembro de 1994 a dezembro de 2000
Período de Validação	Janeiro de 2001 a dezembro de 2005 Janeiro de 2010 a dezembro de 2040
Período de Simulação Futura	Janeiro de 2041 a dezembro de 2070 Janeiro de 2071 a dezembro de 2100

### 3.2.2.5. Modelo Meteorológico

#### *Precipitação*

Como dado de entrada no programa, é possível considerar a precipitação de várias formas, neste caso é usado o hietograma específico. Esta escolha recai pelo facto de que existe o conhecimento da série de dados de precipitação ao longo do tempo. Através do Centro de Geofísica de Évora (CGE) é possível obter os dados de precipitação diária desde janeiro de 1973 a dezembro de 2013 da estação meteorológica de Mitra, em Valverde. Sabendo os períodos em análise definidos no tópico anterior, este parâmetro apenas necessita da introdução dos dados para cada período desejado para simular.

Para além dos dados de entrada de calibração e validação, foram utilizados outros valores de precipitação para os cenários futuros. Os modelos climáticos foram elaborados através de dois modelos regionalizados especificamente para a Europa pelo projeto CORDEX a partir de dois modelos globais:

- ⇒ Modelo 1: SMHI – RCA<sub>4</sub> (regional), a partir do ICHEC – EC – EARTH (global)
- ⇒ Modelo 2: KNMI – RCACMO<sub>22E</sub> (regional), a partir do ICHEC – EC – EARTH (global)

#### *Evapotranspiração*

Para além da precipitação, é possível também ter em conta a evapotranspiração no modelo meteorológico. Para este efeito, o método escolhido foi a média mensal. Para tal, a evapotranspiração foi calculada pelo método de *Thornthwaite*, sendo apenas necessária a serie de temperatura diária para a obtenção deste parâmetro, também disponível no CGE (Borges, 2017).

O método de *Thornthwaite* consiste na correlação entre a temperatura do ar e a evapotranspiração potencial a partir de um grande número da medição das mesmas. O cálculo do índice de calor mensal,  $j$ , de cada um dos doze meses consecutivos do ano é dado pela equação 3.3 expressão em que  $T_i$  representa a

temperatura média mensal em graus Celsius de cada um dos doze meses. A equação 3.4 define-se como o índice de calor anual, J.

$$j_i = \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,5} \quad (i = 1, 2, \dots, 12)$$

*Equação 3.3 – Índice de calor mensal (Lencastre & Franco, 2010)*

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i$$

*Equação 3.4 – Índice de calor anual (Lencastre & Franco, 2010)*

A evapotranspiração potencia,  $ET_{po}$ , num local do equador, durante um mês com a temperatura média T expressa em centímetros é dado pela seguinte expressão:

$$ET_{po} = 1,6 \left[ \frac{10T}{J} \right]^a$$

$$a = 0,49 + (17900 J - 77,1 J^2 + 0,675 J^3) \times 10^{-6}$$

*Equação 3.5 – Valor da evapotranspiração potencial (Lencastre & Franco, 2010)*

A evapotranspiração potencial noutra local, de latitude  $\varphi$ ,  $ET_{P\varphi}$ , obtém-se por proporção do número de horas de luz do dia a essa latitude em relação ao equador. Esta é dada pela expressão abaixo onde K representa o coeficiente dada pela tabela 3.4.

$$ET_{P\varphi} = K ET_{PO}$$

*Equação 3.6 – Evapotranspiração potencial com latitude diferente (Lencastre & Franco, 2010)*

Tabela 3.4 – Fator de correção da duração mensal de insolação,  $K$ , para multiplicar pela evapotranspiração potencial no equador,  $ET_{Po}$ , - fórmula de Thornthwaite (Lencastre & Franco, 2010)

Latitude	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
60°N	0,54	0,67	0,97	1,19	1,33	1,56	1,55	1,33	1,07	0,84	0,58	0,48
50°N	0,71	0,84	0,98	1,14	1,28	1,36	1,33	1,21	1,06	0,90	0,76	0,68
40°N	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
30°N	0,87	0,93	1,00	1,07	1,14	1,17	1,16	1,11	1,03	0,96	0,89	0,85
20°N	0,92	0,96	1,00	1,05	1,09	1,11	1,10	1,07	1,02	0,98	0,93	0,91
10°N	0,97	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06	1,05	1,04	1,02	0,99	0,97	0,96
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°S	1,05	1,04	1,02	0,99	0,97	0,96	0,97	0,98	1,00	1,03	1,05	1,06
20°S	1,10	1,07	1,02	0,98	0,93	0,91	0,92	0,96	1,00	1,05	1,09	1,11
30°S	1,16	1,11	1,03	0,96	0,89	0,85	0,87	0,93	1,00	1,07	1,14	1,17
40°S	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25
50°S	1,33	1,19	1,05	0,89	0,75	0,68	0,70	0,82	0,97	1,13	1,27	1,36

### 3.2.2.6. Análise de resultados

Um modelo é considerado credível quando é possível comparar de forma confiável os dados observados e os dados simulados. Os modelos escolhidos são calibrados de forma independente para o período de calibração (outubro de 1994 a dezembro de 2000). Esta comparação é medida através de índices de eficiência.

#### *Coefficiente de Correlação*

O coeficiente de correlação linearmente expresso depende de duas variáveis: dados observados e simulados compreendidos num intervalo de 0 a 1. A seguinte equação descreve o coeficiente de correlação onde, quando mais próximo o seu valor for de 1 for  $r^2$  melhor será a simulação de escoamento (Kumar, Singh, Jena, Chatterjee, & Mishra, 2015).

$$r^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (V_{observado,i} V_{simulado,i} - n \bar{V}_{observado} \bar{V}_{simulado})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n V_{observado,i}^2 - n \bar{V}_{observado}^2) (\sum_{i=1}^n V_{simulado,i}^2 - n \bar{V}_{simulado}^2)}} \right)^2$$

Equação 3.7 – Coeficiente de correlação

#### *Nash Sutcliffe*

A eficiência de *Nash Sutcliffe* (NSE) é utilizada para avaliar as simulações comparando o volume simulado com o volume observado. No caso da simulação manual, o processo é repetido até que o desempenho satisfatório dos modelos seja alcançado. NSE mede o quanto a variabilidade nas observações é explicado pelas simulações e é dado pela seguinte expressão onde  $V_{simulado,i}$  é o volume simulado no mês

do ano,  $V_{\text{observado},i}$  é o volume observado no mês do ano,  $\bar{V}_{\text{observado},i}$  representa a média observada no mês do ano e  $n$  é o número total de dias considerados.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_{\text{simulado},i} - V_{\text{observado},i})^2}{\sum_{i=1}^n (V_{\text{observado},i} - \bar{V}_{\text{observado},i})^2}$$

*Equação 3.8 – Eficiência de Nash Sutcliffe*

O intervalo do NSE está entre  $-\infty$  e 1 em que valores maiores que 0,5 é considerado uma boa simulação de dados de escoamento (Kumar et al., 2015).

## 4. Resultados e discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados dos dados necessários para os parâmetros exigidos no HEC – HMS como também os resultados da calibração realizada para as duas bacias, as simulações de escoamento para o período de validação e para os períodos de cenário futuro. Como base de análise, foi disponibilizado pelo projeto GestAqua.adaPT, os volumes acumulados mensais para as duas bacias utilizados para o período de calibração e validação. Estes dados foram utilizados como dados de entrada no HEC – HMS de modo a poder ser feita uma comparação gráfica entre os volumes observados e os volumes simulados.

Seguindo a metodologia apresentada anteriormente no capítulo 3, obteve-se por via de exportação do programa ArcMap para o HEC – HMS, os modelos finais das duas bacias.

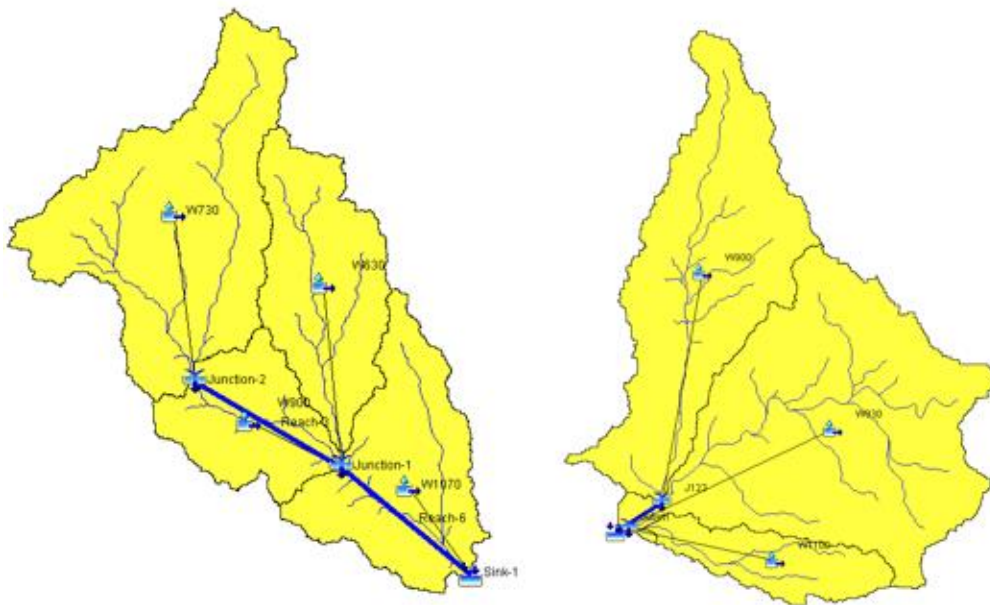


Figura 4.1 – Modelo da bacia no programa HEC-HMS: à esquerda a bacia de Monte Novo e à direita a bacia de Vigia

Apesar de grande parte dos valores dos parâmetros exigidos para simulação terem sido obtidos no ArcMap, foi necessário realizar várias simulações por forma a ajustar os valores e assim obter um hidrograma simulado muito semelhante ao hidrograma observado.

Tabela 4.1 - Valores dos parâmetros da bacia de Monte Novo

<b>Parâmetros</b>		<b>W730</b>	<b>W630</b>	<b>W900</b>	<b>W1070</b>
Coberto Vegetal	Armazenamento Inicial (%)	29,8	33,4	37,5	39,5
	Armazenamento Máximo (mm)	2,2	2,2	2,9	2,5
Superfície	Armazenamento Inicial (%)	0	0,6	0	0
	Armazenamento Máximo (mm)	38,3	36,6	33,2	34,6
Perdas	Perda inicial do Solo (%)	70,0	66,0	62,5	60,5
	Infiltração máxima (mm/h)	1,5	1,5	1,5	1,5
	Impermeabilidade (%)	45,9	43,9	39,9	44,5
	Armazenamento do solo (mm)	498,6	496,8	498,9	500
	Tensão de armazenamento (mm)	12	12	12	12
	Percolação do solo (mm/h)	9,4	9,4	5,9	16,2
	Armazenamento de nível subterrâneo 1 (mm)	100	100	100	100
	Percolação do nível subterrâneo 1 (mm/h)	0,9	0,9	0,9	0,9
	Coefficiente do nível subterrâneo 1 (h)	1	1	1	1
	Armazenamento de nível subterrâneo 2 (mm)	100	100	100	100
	Percolação do nível subterrâneo 2 (mm/h)	0,9	0,9	0,9	0,9
	Coefficiente do nível subterrâneo 2 (h)	1	1	1	1
Transformação	Tempo de concentração (h)	10	10	10	10
	Coefficiente de armazenamento (h)	10	10	10	10
<b>Parâmetros</b>				<b>R3</b>	<b>R6</b>
Propagação	<i>Muskingum K (h)</i>			5	5
	<i>Muskingum X</i>			0,2	0,2

Tabela 4.2 - Valores dos parâmetros da bacia de Vigia

<b>Parâmetros</b>		<b>W930</b>	<b>W900</b>	<b>W1100</b>
Coberto Vegetal	Armazenamento Inicial (%)	51,1	43,5	49,4
	Armazenamento Máximo (mm)	3,7	3,4	3,0
Superfície	Armazenamento Inicial (%)	0,1	0,4	0
	Armazenamento Máximo (mm)	18,2	15,6	34,9
Perdas	Perda inicial do Solo (%)	48,8	56,1	50,6
	Infiltração máxima (mm/h)	1,5	1,5	1,5
	Impermeabilidade (%)	39,8	38,1	40,5
	Armazenamento do solo (mm)	492,2	490,3	492,42
	Tensão de armazenamento (mm)	12	12	12
	Percolação do solo (mm/h)	8,7	7,0	8,9
	Armazenamento de nível subterrâneo 1 (mm)	100	100	100
	Percolação do nível subterrâneo 1 (mm/h)	0,9	0,9	0,8
	Coeficiente do nível subterrâneo 1 (h)	1	1	1
	Armazenamento de nível subterrâneo 2 (mm)	100	100	100
	Percolação do nível subterrâneo 2 (mm/h)	0,9	0,9	0,8
	Coeficiente do nível subterrâneo 2 (h)	1	1	1
	Transformação	Tempo de concentração (h)	10	10
Coeficiente de armazenamento (h)		10	10	10
<b>Parâmetros</b>		<b>R520</b>	<b>R530</b>	
Propagação	<i>Muskingum</i> K (h)		5	5
	<i>Muskingum</i> X		0,2	0,2

Relativamente aos dados de escoamento obtidos das simulações executadas, é necessário ter em conta certos pressupostos:

- ⇒ Os dados observados são volumes mensais acumulados, em  $\text{dam}^3$ . O HEC – HMS aceita como dados de entrada caudais médios diários como intervalo de tempo máximo. Desta forma, a calibração é feita com os caudais médios diários estimados, a partir do volume mensal.
- ⇒ Os volumes mensais acumulados para a bacia de Monte Novo são estimados e não observados, pelo que têm uma incerteza/erro associado.
- ⇒ Uma vez obtidos os caudais médios horários simulados, todos os dados analisados são feitos pelos volumes acumulados mensais.
- ⇒ Como um dos objetivos é a comparação de resultados de escoamentos futuros consoante os mesmos cenários climáticos abordados no projeto GestAqua.adaPT, os dados de temperatura são os mesmos que os usados para a modelação feita com o SWAT bem como os dados de entrada de precipitação para estudo dos cenários futuros.
- ⇒ Todos os dados referentes a calibração, validação e simulação de cenários futuros com o programa SWAT foram disponibilizados pelos responsáveis do projeto GestAqua.adaPT.

Desta forma, na figura em baixo apresenta-se a comparação entre os dados de precipitação média mensal usados no projeto GestAqua.adaPT e também usados nesta precipitação.

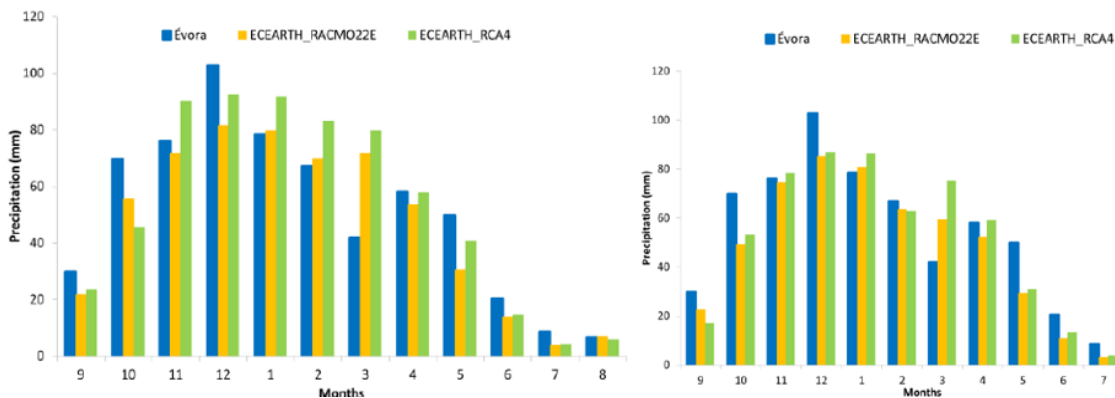


Figura 4.2 – Precipitação média mensal para um RCP 4.5 (esquerda) e um RCP 8.8 (à direita) (GestAqua.AdaPT, 2017)

É possível verificar que os dois modelos de cenários futuros apresentam uma tendência semelhante aos dados existentes da estação de Mitra. Ainda assim, analisando unicamente os dois gráficos, pode-se verificar os dados do RCP 4.5 são superiores aos do RCP 8.5.

Uma vez juntando todos os dados de entrada e após a realização de múltiplas simulações por forma a ajustar os dados simulados aos dados observados, apresenta-se na figura seguinte o hidrograma de calibração final e o hidrograma observado para a bacia de Monte Novo.

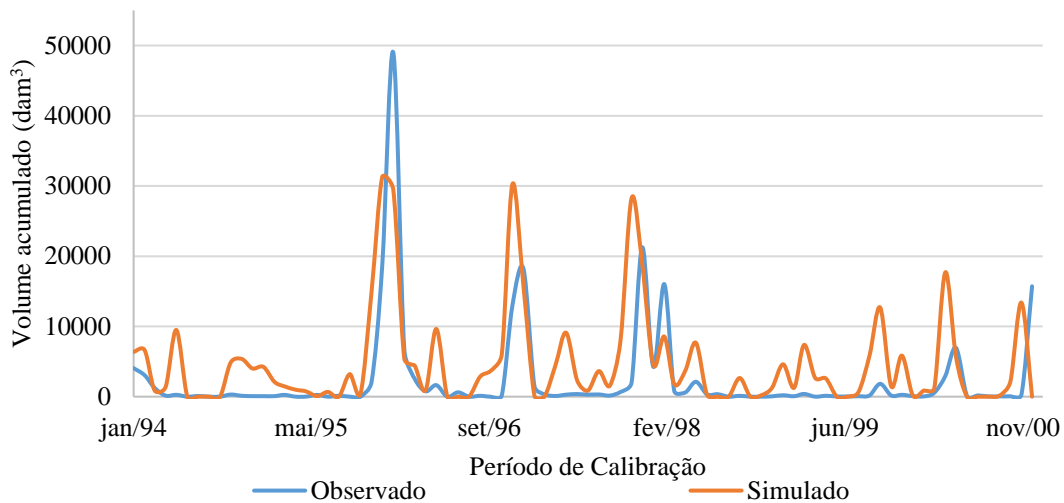


Figura 4.3 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Monte Novo para o período de calibração

Analisando a figura 4.3 é possível observar três eventos de precipitação intensa em dezembro de 1995, o maior pico, com perto de 50000 dam<sup>3</sup>, e outros dois picos, em janeiro de 1997 e dezembro de 1997. Relativamente à calibração feita, não foi possível realizar uma calibração por forma a responder aos picos de precipitação intensa, assumindo os três valores mais elevados de forma igual, cerca de 30000 dam<sup>3</sup>. Quanto à análise da restante série temporal, é possível ver a elevada sensibilidade da calibração mesmo quando os eventos de precipitação são de pouca intensidade e de curta duração.

Comparando as duas séries de resultados, o coeficiente de correlação é de 0,50 o que mostra uma eficiência média da linearidade entre os volumes observados e simulados e o coeficiente de *Nash Sutcliffe* é de 0,20, o que significa que os resultados são pouco satisfatórios, uma vez que só a partir de 0,50, os resultados são considerados aceitáveis, segundo *Kumar et al*, 2015.

Mesmo não sendo satisfatória a calibração feita, procedeu-se à análise da validação da calibração feita. Na figura seguinte, apresenta-se os volumes acumulados observados e simulados para o período de validação definido anteriormente.

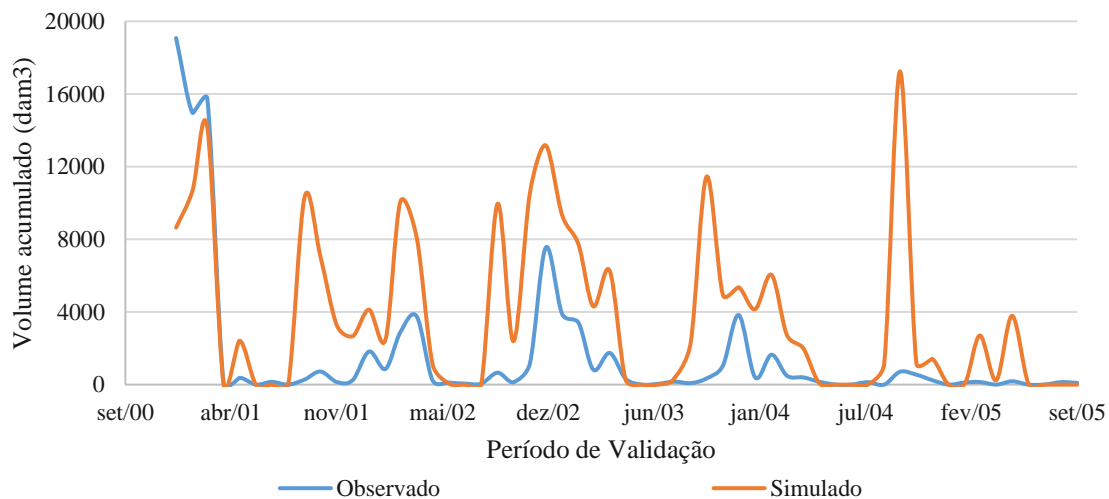


Figura 4.4 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Monte Novo para o período de validação

Na validação da calibração feita anteriormente verifica-se que a tendência de volumes acumulados observados é visível nos valores simulados. Ao contrário da calibração, na validação, os valores simulados são superiores aos valores observados pois apresentam mais picos que, em teoria, representariam períodos de precipitação intensa. Porém, este facto não corresponde à realidade, exemplo disto é a existência do pico simulado em outubro de 2004 com um volume acumulado de cerca de 17000 dam<sup>3</sup>, cerca de 17 vezes superior ao valor observado nessa data.

Ainda assim, a semelhante tendência verificada faz com que o coeficiente de correlação seja de 0,52 e o coeficiente de *Nash Sutcliffe* de 0,35, valores superiores aos calculados na calibração, mas que ainda assim não apresentam uma eficiência desejada.

Os resultados referentes aos volumes mensais médios no período de calibração apresentam-se na figura seguinte. Esta análise é feita de modo a perceber de que forma a modelação realizada no HEC – HMS e no SWAT difere dos volumes médios mensais observados.

Analisando a figura seguinte, verifica-se uma semelhança entre os valores observados e os valores resultantes da simulação realizada no HEC – HMS no período de calibração. É de realçar que o único período em que os valores provenientes da simulação com o SWAT são superiores às duas outras séries de dados são durante os meses de dezembro e fevereiro. Contudo, importa também salientar que os volumes mensais mais elevados foram durante os meses de outubro, novembro e dezembro ao invés dos meses durante o verão onde se obteve menor escoamento, como seria de esperar.

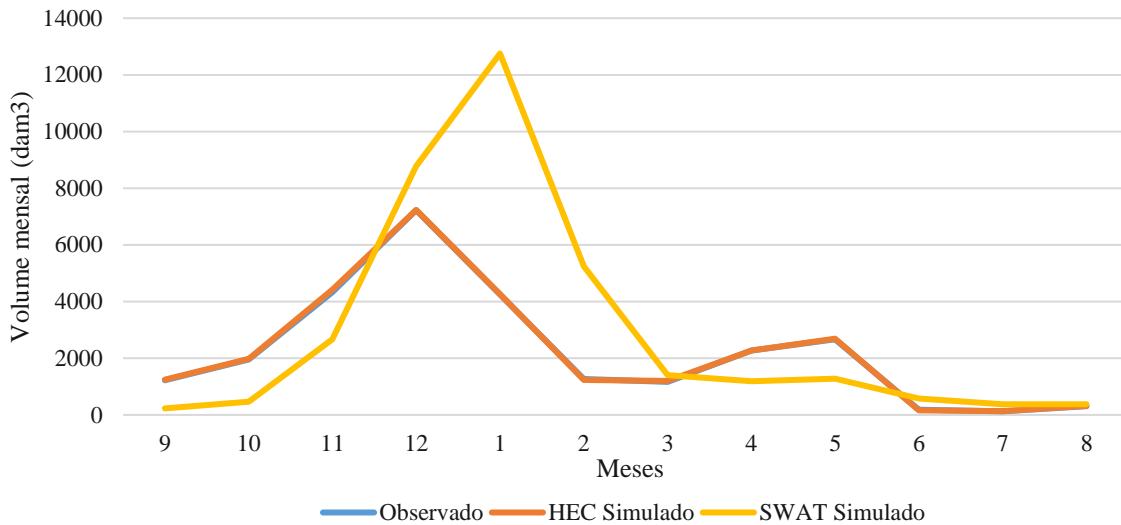


Figura 4.5 – Volume mensal médio observado, simulado no HEC-HMS e simulado no SWAT

Analisando o período de calibração e validação, a análise seguinte tem em conta os períodos futuros. Nesta análise é importante ter em conta os três períodos em análise: o curto, médio e longo prazo, e a comparação com os volumes mensais médios por forma a perceber como ocorre a variação dos valores obtidos da simulação do período de calibração e dos três períodos futuros, comparando a calibração, com os dois modelos de cenários climáticos, o RACMO22E e o RCA4.

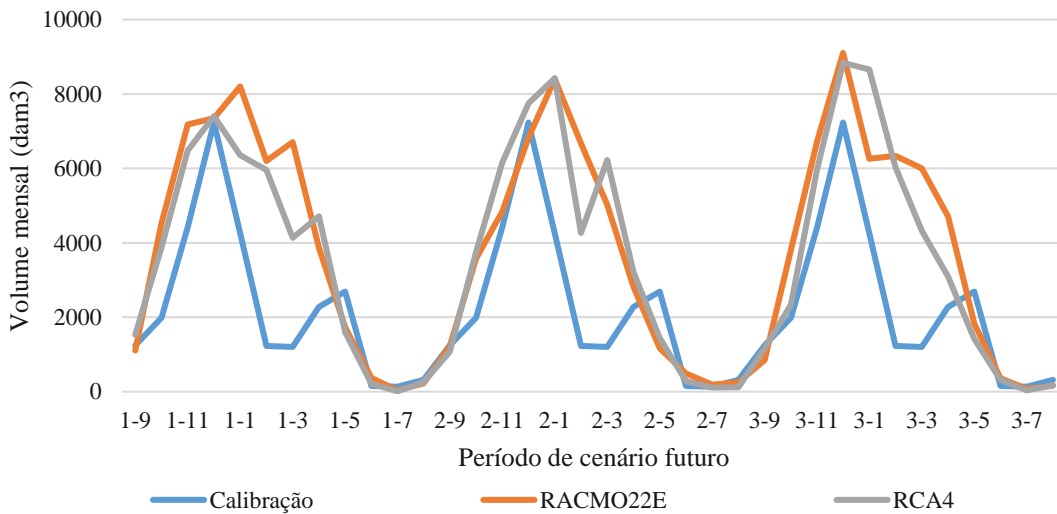


Figura 4.6 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Monte Novo

A figura acima apresentada representa o volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros separados em três períodos analisados mensalmente. Tendo em conta o RCP 4.5, os valores de simulação futura são, na sua maioria, superiores aos valores de calibração. Analisando os seus resultados, os valores de calibração são relevantes pois estes servem como um indicador da tendência dos valores futuros. Desta

forma é possível verificar que os valores de precipitação introduzidos no modelo não se assemelham aos valores obtidos durante o período de calibração. Comparando os dois modelos meteorológicos, o RACMO22E apresenta na sua maioria valores de volume acumulado mensal superiores aos do modelo RCA4.

Relativamente ao RCP 8.5, apresentado na figura seguinte, constata-se que o cenário RACMO22E apresenta o valor mais elevado no período de curta duração, apenas comparado com o período de longo prazo, com volumes mensais médios acima dos 10000 dam<sup>3</sup>. Mais uma vez, os valores calibrados são inferiores aos simulados no cenário futuro, apenas semelhantes entre junho e agosto.

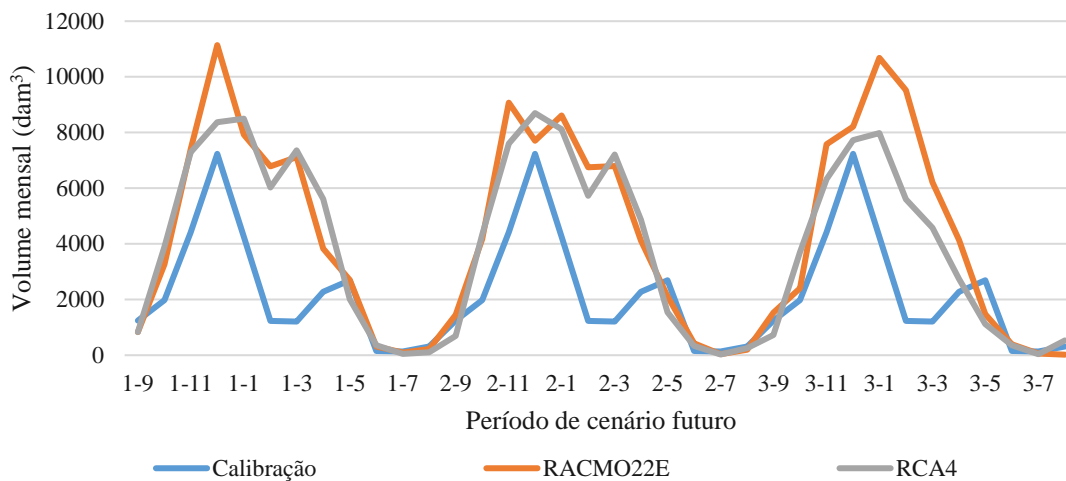


Figura 4.7 – Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Monte Novo

Comparando os dois *Representative Carbon Pathways* verifica-se um maior volume mensal para o modelo climático RCP 8.5 comparativamente ao modelo RCP 4. Destaca-se também os valores superiores do RACMO22E comparativamente ao outro cenário futuro, o RCA4 para ambos os RCP's. Quando comparados os cenários futuros com os valores calibrados, verifica-se de novo os valores significativamente superiores das simulações com os cenários futuros.

Mais uma vez, através do projeto GestAqua.adaPT, o mesmo processo feito com o cenário futuro e com a calibração foi feito para o SWAT e os resultados são apresentados na figura seguinte.

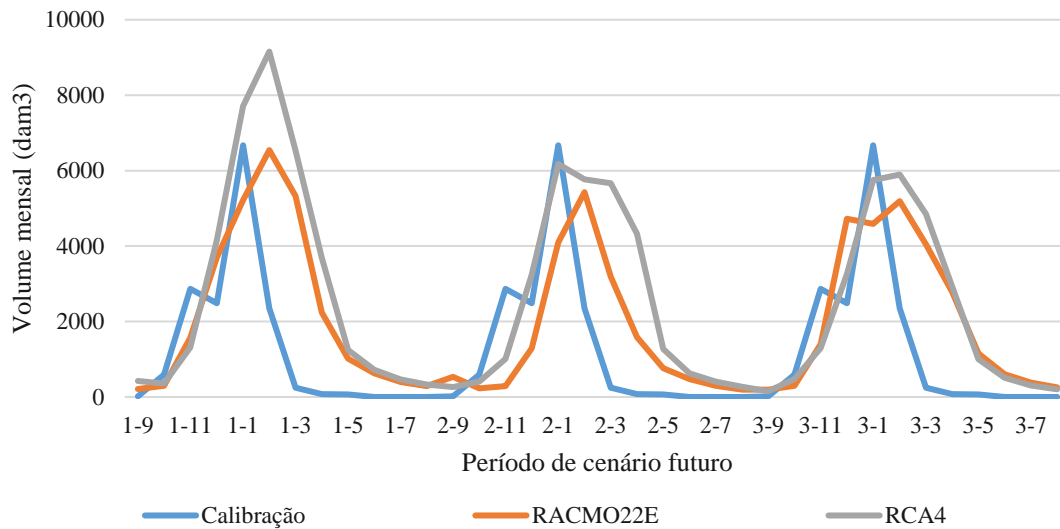


Figura 4.8 – Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Monte Novo

Ao contrário do que ocorreu no HEC -HMS, os resultados do cenário RCA4 apresentam um valor mensal médio de volume superior, especialmente a curto prazo, onde janeiro, fevereiro e março representam os valores mais altos. Contudo, e novamente contra a análise feita no HEC – HMS, os valores de calibração apresentam um mês significativo, comparativamente com os resultados dos cenários futuros RACMO22E e RCA4, o mesmo de janeiro, chegando mesmo a ser o valor de volume mensal médio mais elevado no período de médio prazo e longo prazo. Ainda referente aos valores de calibração do modelo, entre março a setembro, estes valores comparados com os valores de cenário futuro são praticamente nulos.

Relativamente ao RCP 8.5, os volumes mensais médios acabam por ser mais reduzidos comparativamente com o RCP 4.5, acabando mesmo por ser o valor do mês de janeiro da calibração o valor mais elevado para toda a série temporal em análise. Nesta figura consegue-se ver durante o primeiro período os valores de volume resultantes da simulação com o cenário RCA4 a serem mais elevados, um equilíbrio no médio prazo, mas que ainda assim mais elevado para o RCA4 e no longo prazo os volumes mensais médios dos dois cenários futuros muito semelhantes.

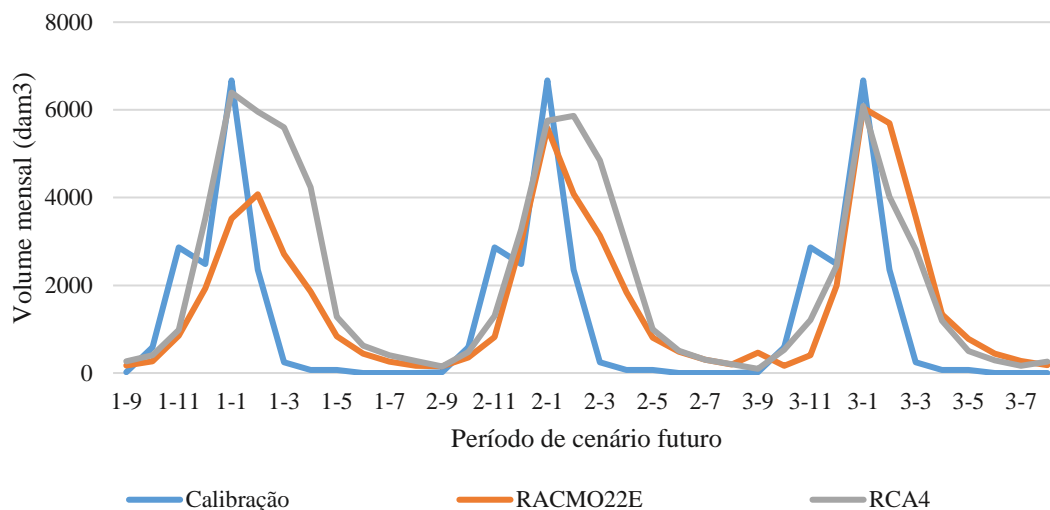


Figura 4.9 – Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Monte Novo

No fim da análise da modelação futura da bacia de Monte Novo é necessário fazer uma avaliação das anomalias de volumes mensais dos períodos futuros analisados com os dados simulados na calibração, com o programa HEC – HMS e com o SWAT.

Esta avaliação percentual permite obter uma perceção de como os valores dos volumes observados e simulados futuros variam. Para além da avaliação, é feita uma comparação entre os resultados obtidos do HEC – HMS e do SWAT de modo a inferir qual dos dois obtém valores mais próximos dos observados.

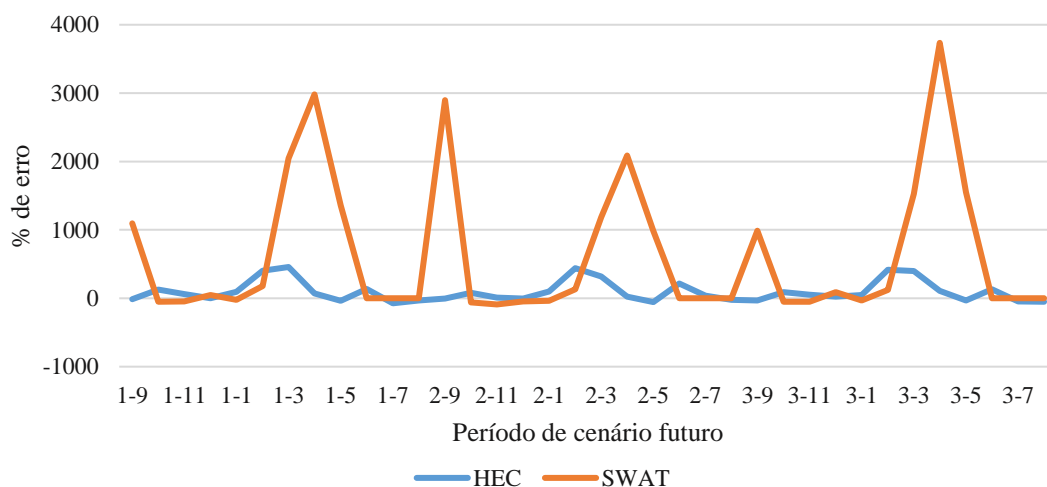


Figura 4.10 – Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 4.5 na bacia de Monte Novo

Com os dados do modelo meteorológico RACMO22E e com o RCP 4.5 é possível verificar que o SWAT apresenta anomalias de valor elevado quando comparado com a sua calibração. É possível ter volumes mensais muito superiores aos valores obtidos na calibração, chegando mesmo a cerca de 3500% superior ao calibrado. Estes erros ocorrem com grande predominância no primeiro mês do ano hidrológico para os três

períodos futuros bem como entre março e maio e em contra partida entre outubro e março, a gama de erro dos valores de volume é significativamente mais baixa.

Relativamente ao HEC – HMS, os valores de erro são muito inferiores comparando com o SWAT, apresentando apenas algumas irregularidades nos meses de fevereiro e março. Tanto no HEC – HMS como no SWAT as anomalias neste modelo tendem a ser valores superiores face aos simulados no futuro do que inferiores.

Analisando a simulação de cenário futuro com o RCP 4.5 com modelo meteorológico RCA4, constata-se novamente que os valores futuros de volume mensal médio do SWAT são muito superiores quando comparados com os valores calibrados (figura 4.11) tendo, para cada um dos três períodos de análise, um mês com cerca de 2500% superior ao valor simulado na calibração do modelo. É ainda de salientar que a gama de valores de erro do HEC – HMS é significativamente inferior quando comparado com o SWAT.

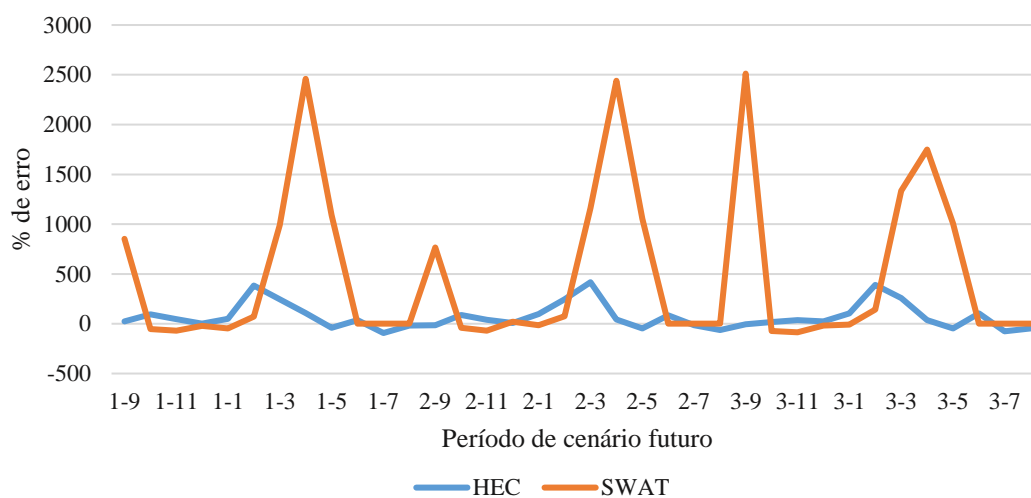


Figura 4.11 – Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 4.5 na bacia de Monte Novo

Analisando os valores simulados com o cenário de futuro RACMO22E com um RCP de 8.5 denota-se novamente uma tendência para que o intervalo de valores de erro no SWAT seja elevado, destacando o período de médio prazo que apresenta um valor bastante superior a todos os outros, inclusivamente das outras análises às anomalias dos cenários de futuro.

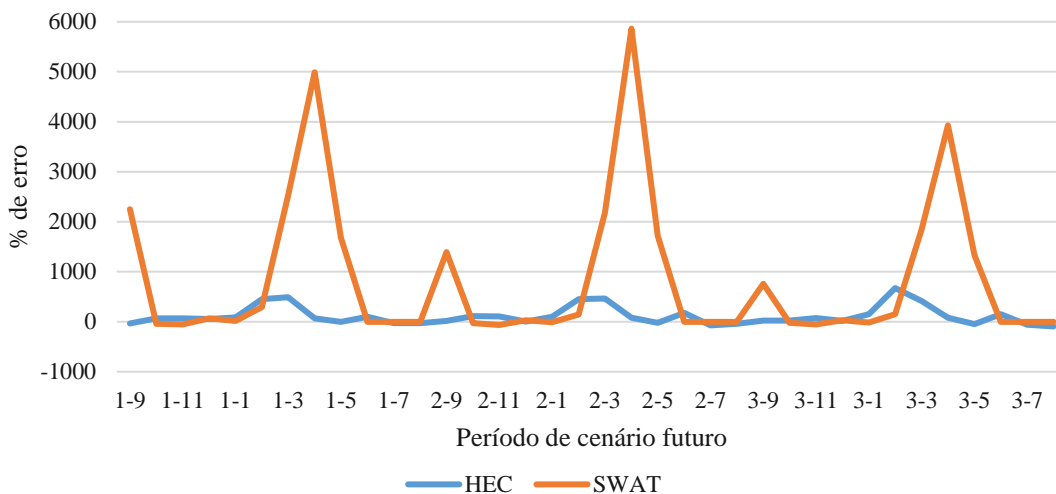


Figura 4.12 – Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 8.5 na bacia de Monte Novo

Também no cenário de futuro RCA4 verifica-se a tendência apresentada nas três análises anteriores. Evidenciando novamente o apontamento às elevadas anomalias no SWAT em contraste com o intervalo de erro bastante reduzido no HEC – HMS.

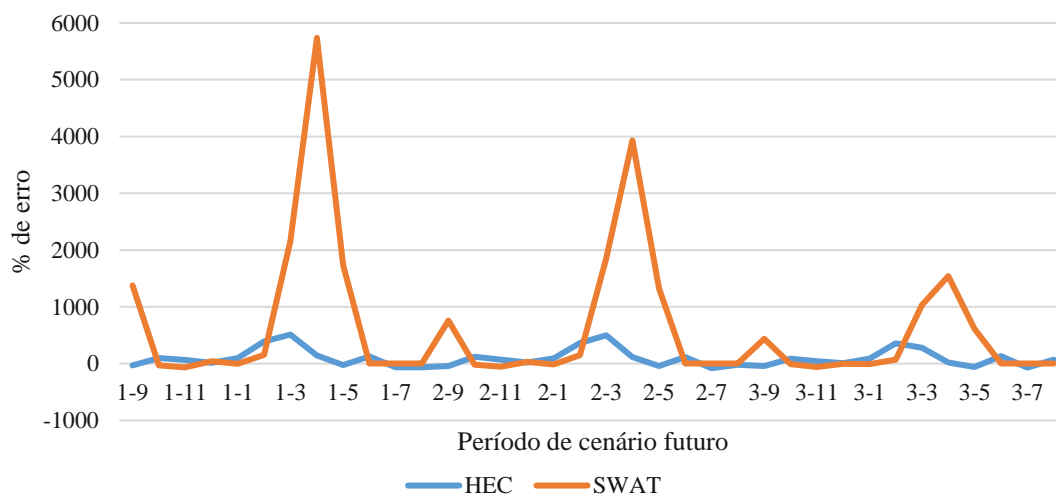


Figura 4.13 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 8.5 na bacia de Monte Novo

Relativamente à análise da bacia de Vigia é possível observar na figura abaixo apresentada a calibração do modelo, três grandes eventos de precipitação intensa tendo ocorrido durante três anos consecutivos. Em dezembro de 1995, com o maior pico, houve um volume acumulado de 13 500 dam<sup>3</sup> não havendo muita diferença para o ano de 1996 com cerca de 13 000 dam<sup>3</sup> e, por fim em 1997 cerca de 12 200 dam<sup>3</sup>. É importante referir que, embora não intensamente, em outubro de 1999 e abril de 2000 houveram eventos de precipitação consideráveis com cerca de 600 e 800 dam<sup>3</sup> respetivamente.

Relativamente à calibração feita, foi possível realizar uma calibração por forma a responder aos picos de precipitação intensa, assumindo os cinco valores mais elevados de forma igual.

Comparando as duas séries de resultados, o coeficiente de correlação é de 1,00 o que mostra uma eficiência média da linearidade entre os volumes observados e simulados e o coeficiente de *Nash Sutcliffe* é de 0,99, o que significa que os resultados são bastante satisfatórios, uma vez que a partir de 0,50, os resultados são considerados aceitáveis, segundo *Kumar et al*, 2015.

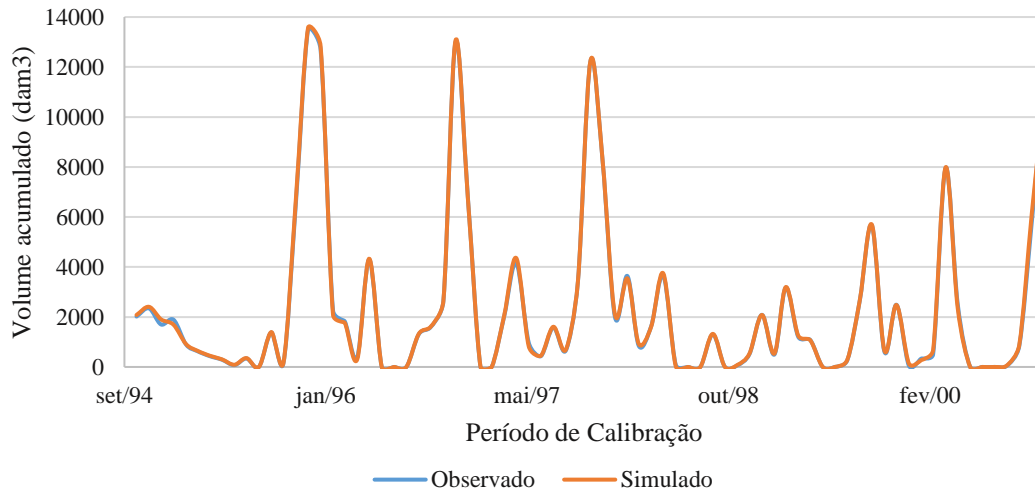


Figura 4.14 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Vigia para o período de calibração

Na validação da calibração apresentada na figura 4.15 é possível verificar que a tendência de volumes acumulados observados é coincidente nos valores simulados, o que seria de esperar devido à calibração obtida anteriormente. Na validação, os valores simulados são coincidentes aos valores observados, apresentando mais picos. Assim, o coeficiente de correlação é de 0,99 e o coeficiente de *Nash Sutcliffe* de 0,995.

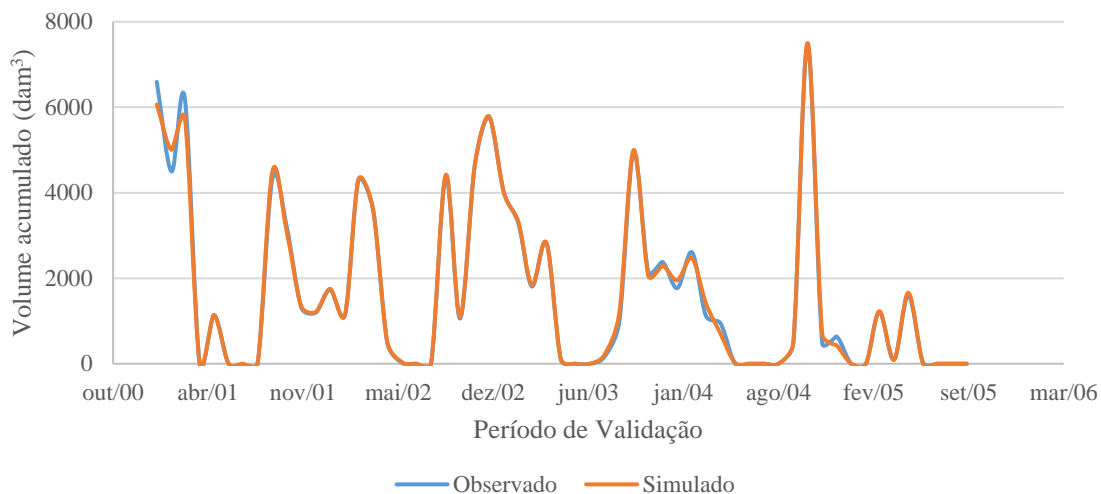


Figura 4.15 – Volumes acumulados observados e simulados na bacia de Vigia para o período de validação

Os resultados referentes aos volumes mensais médios no período de calibração apresentam-se na figura seguinte. Esta análise é feita de modo a perceber de que forma a modelação realizada no HEC – HMS e no SWAT difere dos volumes médios mensais observados.

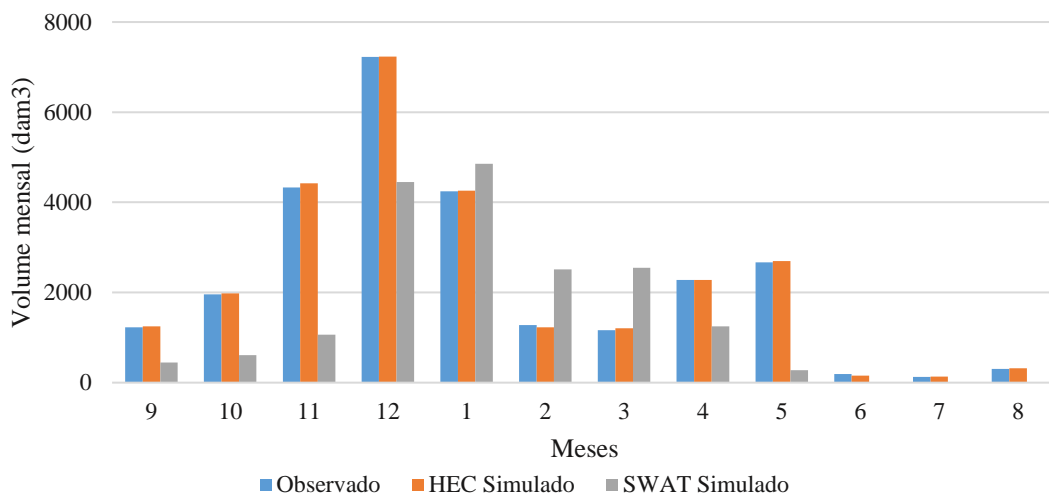


Figura 4.16 – Volume mensal médio observado, simulado no HEC-HMS e simulado no SWAT na bacia de Vigia

Comparando os valores observados com a simulação do HEC – HMS, é possível verificar uma quase igualdade dos valores ao passo que com a comparação com o SWAT, os valores simulados são significativamente inferiores excetuando de janeiro a março onde ocorre o contrário. De referir também que é no mês de dezembro que se regista o maior volume mensal médio tanto na série de dados observados como na simulação do HEC – HMS sendo que janeiro regista o maior volume mensal na simulação do SWAT.

Relativamente à comparação entre os valores de volume mensal médio e os cenários futuros, verifica-se que os valores simulados durante o período de calibração são superiores aos dois cenários

meteorológicos, sendo que os cenários futuros apresentam valores de volume mensal médio muito semelhantes. De se esperar que nos meses de maior precipitação haja um maior volume, entre novembro e janeiro registam-se os valores mais elevados para as três medições e em contrapartida, de junho a agosto os valores menos elevados.

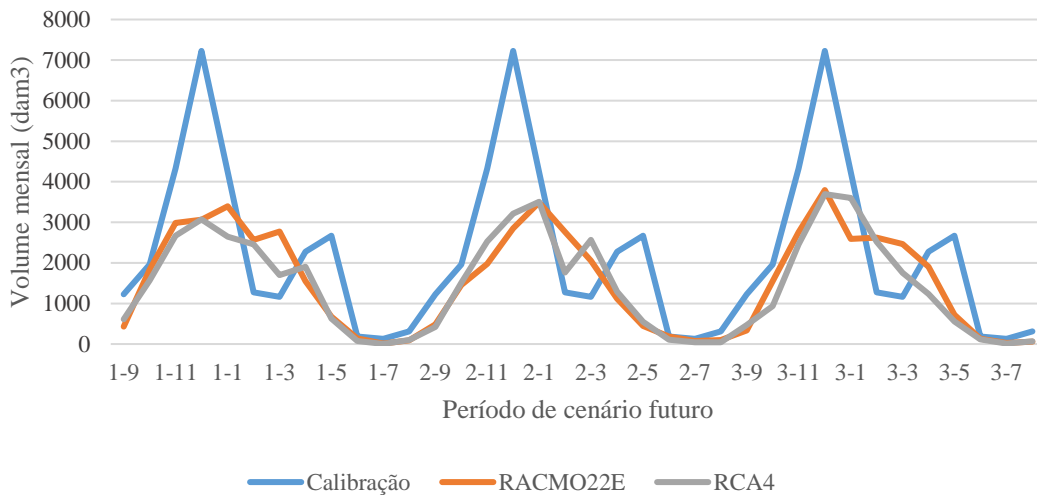


Figura 4.17 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Vigia

Na figura seguinte vê-se uma semelhança na tendência observada com o modelo climático RCP 4.5 da figura anterior. Os valores de calibração são de novo os mais elevados e os dois cenários futuro apresentam valores de volume semelhantes, ainda que neste modelo climático o cenário RACMO22E tenha volumes mensais médios superiores aos valores simulados com o cenário de precipitação obtido no RCA4.

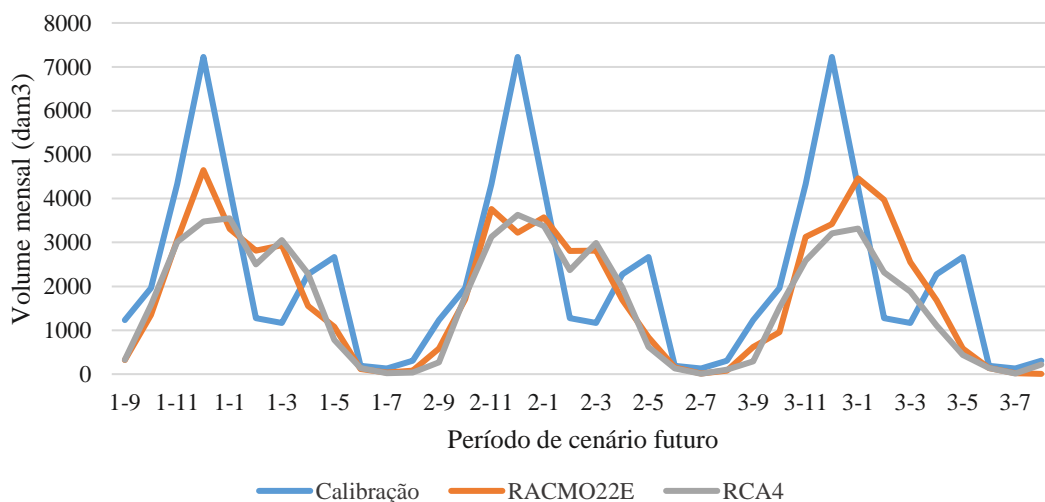


Figura 4.18 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do HEC – HMS para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Vigia

Na análise aos volumes mensais médios em cenários futuros com o SWAT, não se regista a mesma tendência observada com o HEC – HMS. Na simulação de curto prazo, os valores dos cenários futuros

apresentam-se na sua grande maioria superiores aos valores de calibração com destaque para o cenário RCA4 a registar em fevereiro cerca de 9000 dam<sup>3</sup> de volume acumulado mensal, ao passo que a médio e longo prazo verifica-se uma alternância de valores sendo que de outubro a janeiro, os valores simulados no período de calibração são superiores aos valores simulados no período futuro.

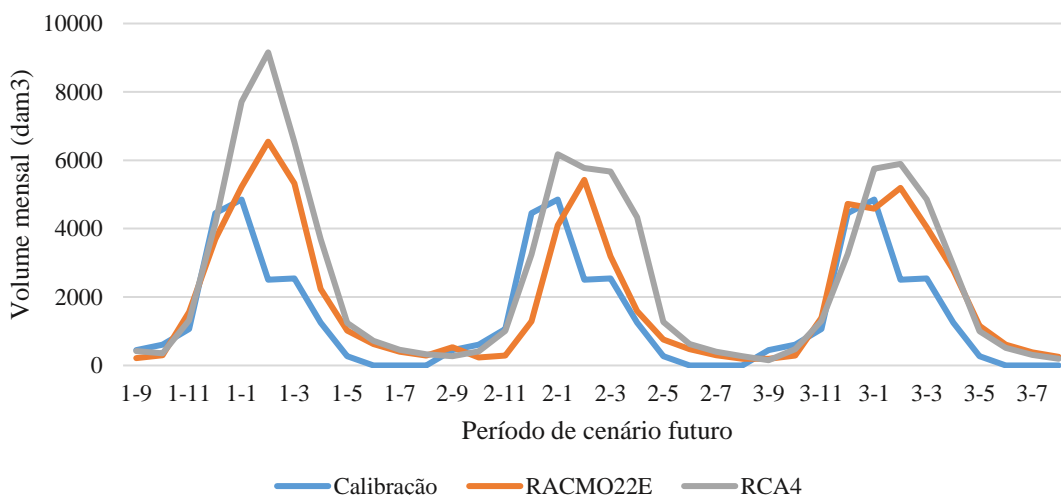


Figura 4.19 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 4.5 na bacia de Vigia

Tal como na situação anterior verifica-se que no início do ano hidrológico, entre setembro e janeiro os valores simulados durante o período de calibração sobrepõem-se aos valores simulados futuros. A única diferença nesta análise dos resultados do programa SWAT entre o RCP 8.5 e o RCP 4.5 verifica-se no período a longo prazo onde os valores simulados com o cenário RACMO22E são superiores aos valores simulados com RCA4.

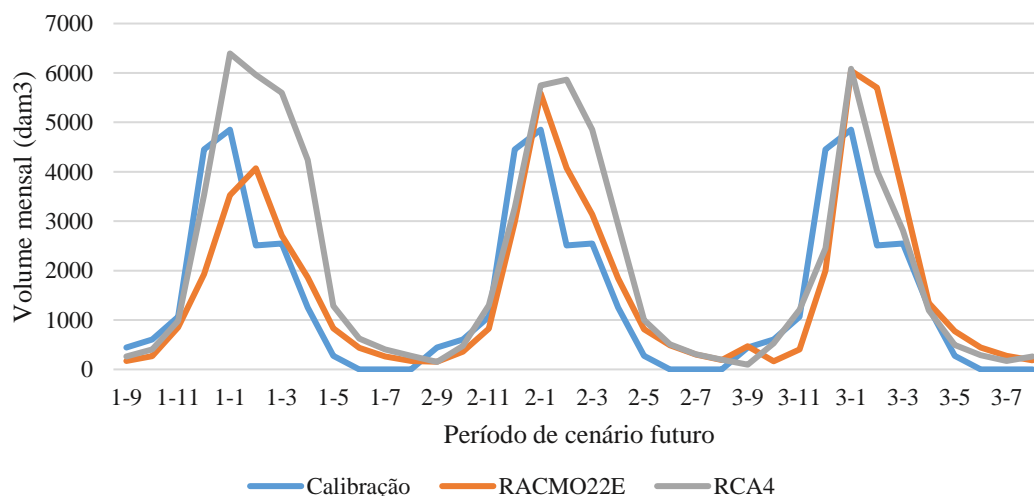


Figura 4.20 - Volume mensal médio para os cenários meteorológicos futuros RACMO22E e RCA4 e os resultados da calibração do SWAT para o modelo climático RCP 8.5 na bacia de Vigia

Analisando as anomalias referentes à relação entre os valores simulados na calibração e os valores futuros, é possível verificar que ao nível do HEC – HMS há uma tendência nos valores de erro em que o intervalo percentual de variação vai desde -100% aos, cerca de, 125% e este intervalo também é

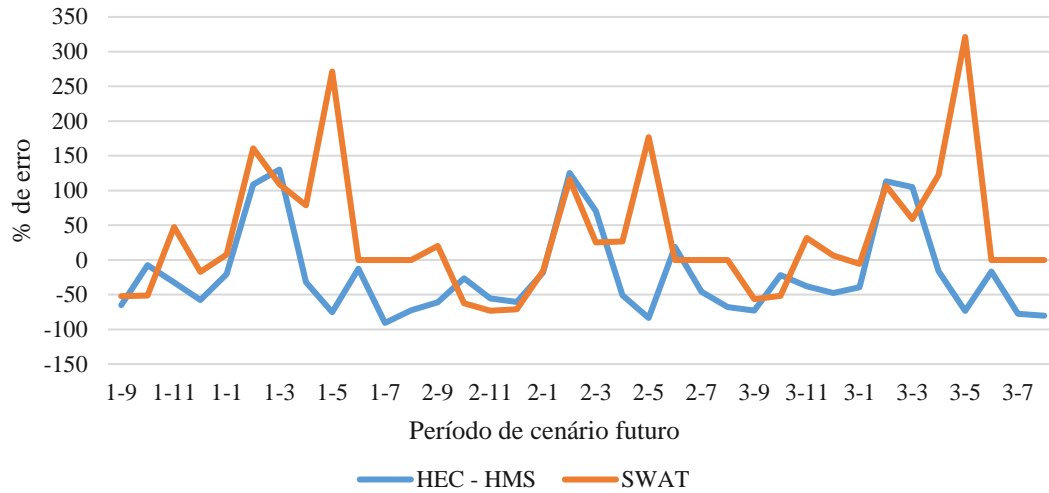


Figura 4.21 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 4.5 na bacia de Vigia

Alterando o cenário de futuro de RACMO22E para RCA4, segundo a figura abaixo apresentada, os valores das anomalias nos volumes simulados com o programa HEC – HMS mostram uma tendência negativa nos valores simulados num cenário futuro, sendo todos à exceção do mês de fevereiro e março, inferiores aos valores simulados no período de calibração, não excedendo em 100% esta anomalia.

Já quanto aos valores de anomalia no SWAT, tal como no RACMO22E, o RCA4 apresenta valores de erro elevados entre os meses de fevereiro e maio, para os três cenários futuros.

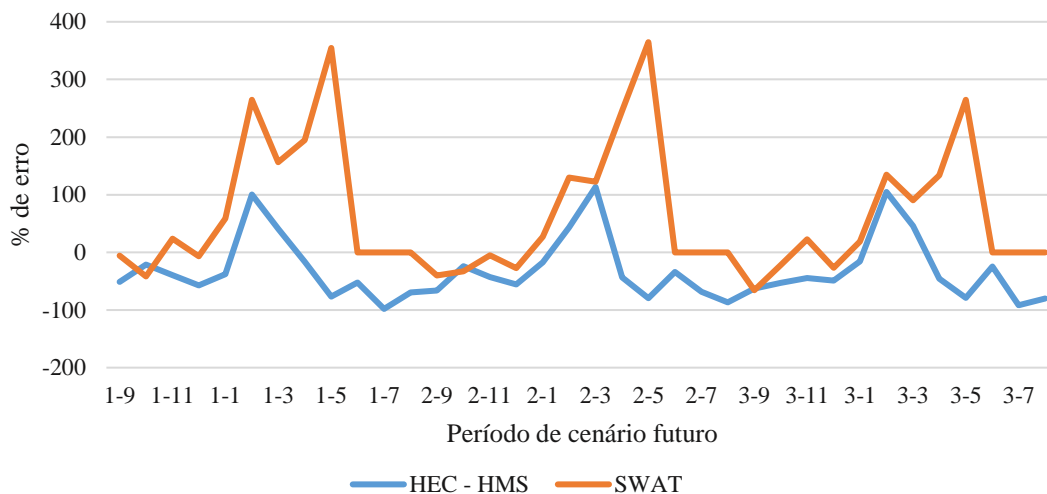


Figura 4.22 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 4.5 na bacia de Vigia

Analisando por fim a percentagem de erro do modelo climático RCP 8.5 é possível, através da figura abaixo, identificar que no HEC – HMS as percentagens de erro dos valores simulados indicam que os valores futuros serão menores que os valores de volume calibrados, à exceção dos meses de fevereiro e março onde se verifica uma percentagem de erro indicando um valor de futuro superior ao valor calibrado.

No SWAT também se verifica que entre setembro e janeiro os valores de anomalia são negativos e entre fevereiro e maio os valores da anomalia são positivos, ou seja, o valor simulado futuro tem um intervalo de valores superiores aos valores calibrados.

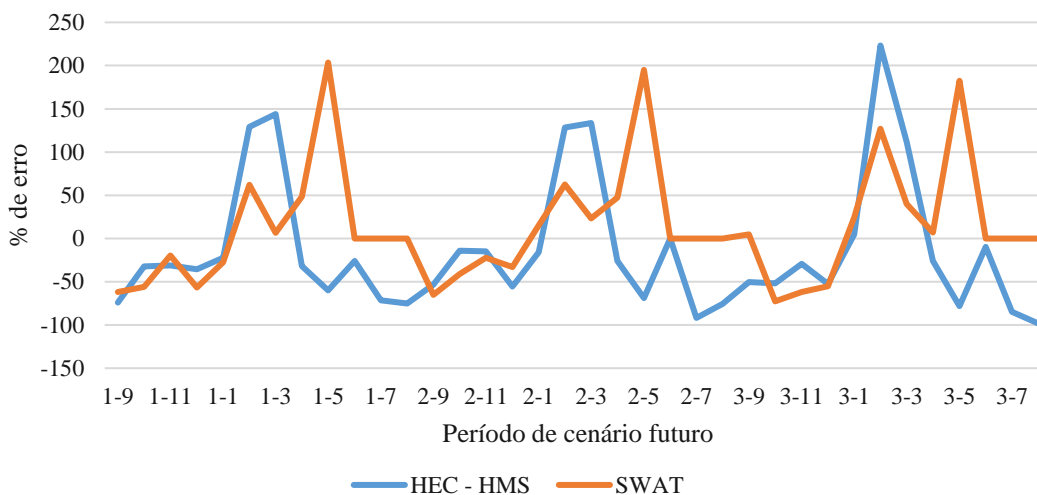


Figura 4.23 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RACMO22E com o RCP 8.5 na bacia de Vigia

Comparando com o RACMO22E, na figura seguinte, o cenário de futuro RCA4 mostra a mesma tendência que a figura anterior com o SWAT. O intervalo de erro é superior ao HEC – HMS, onde os valores futuros são mais elevados que os valores simulados durante o período de calibração, verificando-se

que o valor mais elevado na modelação com o programa SWAT e com o programa HEC – HMS foi no mês de junho. A percentagem de erro mais elevada para os períodos de cenário futuro verifica-se no mês de março.

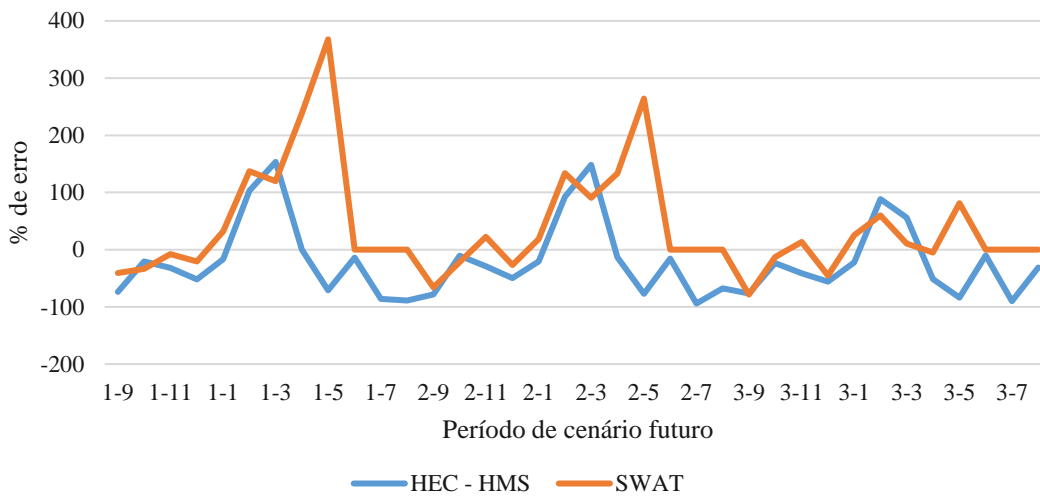


Figura 4.24 - Percentagem de erro dos volumes mensais médios simulados no HEC - HMS e no SWAT do modelo de cenário de futuro RCA4 com o RCP 8.5 na bacia de Vigia



## 5. Conclusão

A necessidade de previsão e prevenção de cenários futuros numa bacia hidrológica e, conseqüentemente, o conhecimento das suas características consoante as alterações climáticas, apresentam-se como os principais fatores para a realização deste trabalho. Com o aumento da preocupação nesta matéria vem o aumento das ferramentas disponíveis para os utilizadores poderem conhecer, estimar e simular qualquer tipo de cenário ou situação.

Esta dissertação tem como principal objetivo o conhecimento profundo das duas bacias hidrográficas, Monte Novo e Vigia, de modo a ser possível a conceção de um modelo de precipitação-escoamento simulando diversos cenários para que por fim haja uma comparação com dados observados disponíveis, de modo a poder inferir a veracidade do modelo com o caso real.

Como é possível verificar na análise de resultados e sua discussão, é possível concluir que os resultados obtidos para a bacia de Vigia apresentaram sempre mais fiabilidade e eficiência do que na bacia de Monte Novo, podendo esta afirmação ser suportada pela análise gráfica dos períodos de calibração e validação, bem como as análises aos coeficientes de correlação e de *Nash Sutcliffe*.

Com este modelo foi possível observar uma calibração e validação razoável para a bacia de Monte Novo, com um coeficiente de correlação de 0,50 e 0,52 respetivamente e um coeficiente de *Nash Sutcliffe* de 0,20 e 0,35 respetivamente e uma calibração e validação muito boa para bacia de Vigia, apresentando um coeficiente de correlação de 1,00 e 0,99 respetivamente e um coeficiente de *Nash Sutcliffe* de 0,99 e 0,99 respetivamente.

Contudo, é necessário referir as limitações existentes para esta dissertação. Sendo outro dos objetivos a comparação da utilização do modelo HEC – HMS e dos resultados obtidos do mesmo com o modelo SWAT por parte de um projeto já realizado, uma das premissas para a realização da dissertação passa pela utilização de dados de escoamento observado que também são utilizados no SWAT. Aqui reside uma das principais limitações e a causa dos resultados relativamente à bacia de Monte Novo, no que diz respeito à sua calibração e validação. Os dados de precipitação usados para a modelação hidrológica devem ser medidos nos postos meteorológicos que influenciam a área da bacia, o que não é neste caso, procurando usar os mesmos dados de entrada usados no SWAT. Isto pode consistir um problema visto que a precipitação verificada no posto de Mitra foi usada para as duas bacias, o que não corresponde à realidade.

Os volumes observados são na realidade estimados através de um balanço de massas, o que faz com que possa ter erros de cálculo associados. Para além disto, os dados a inserir no HEC – HMS, ao nível dos dados observados, têm um espectro temporal reduzido. Neste programa só é possível inserir dados de caudal médio diário e os valores existentes referiam-se a volumes mensais, o que faz com que haja um valor único ao longo dos vários meses em análise.

Outra das limitações na realização desta dissertação é a utilização de dados com uma escala muito reduzida, ao nível europeu, o que não será possível de representar, de forma fiável, as áreas de estudo. Este problema acentua-se principalmente no cálculo dos parâmetros do método de perdas das duas bacias, o que leva à realização de um número excessivo de simulações por forma a fazer os ajustes aos parâmetros existentes sendo, por exemplo, utilizado um valor de impermeabilidade nas duas bacias de cerca de 40%, valor muito elevado face às características do terreno, ou também nas definições dos níveis subterrâneos das massas de água, que são calibrados de forma tentativa/erro.

Não obstante as limitações existentes, as simulações com os modelos climáticos futuros são realizadas e, sendo modelos que preveem o aumento das emissões de carbono e por consequência um aumento da temperatura e uma diminuição da precipitação, os resultados que comparam os períodos atuais e os períodos futuros no HEC – HMS não apresentam esta tendência esperada em todos os casos, chegando mesmo a não se verificar, na totalidade, nos resultados de Monte Novo. Contudo, este resultado esperado ocorre na análise da bacia de Vigia. Para suportar este resultado é possível ver também que os intervalos de erro em Monte Novo são maiores que na bacia de Vigia. Esta comparação não deve ser feita entre bacias, mas sim entre modelos hidrológicos, concluindo assim que os resultados do HEC – HMS são mais fiáveis que os resultados do SWAT na bacia de Vigia do que em Monte Novo ainda que, na análise das anomalias do SWAT em Monte Novo, os resultados são muito pouco fiáveis.

Desta forma é possível concluir que o HEC – HMS consegue, para a bacia de Monte Novo e Vigia, reproduzir resultados de escoamento satisfatórios para períodos de calibração, validação e de cenários futuros, recorrendo a menos dados de entrada exigidos que o programa SWAT.

Para desenvolvimentos futuros desta dissertação, algumas considerações devem ser tomadas em conta como uma monitorização dos dados de escoamento verificados nas áreas de estudo, por forma a introduzir-se os dados verificados no HEC – HMS a uma escala temporal mais reduzida, seja diária ou horária.

Outra consideração passa pela análise das alterações na área em estudo ao nível do coberto vegetal e, mais importante ainda, nas alterações do uso do solo. Sendo realizada uma análise a uma série temporal de 90 anos, é espectável que haja alterações na constituição do solo e suas capacidades e assim os resultados futuros podem conter erros associados.

O estudo demográfico e a análise às necessidades da sociedade inserida na área de estudo são fatores preponderantes que constituem um peso importante para as simulações de cenários futuros, ou seja, perceber de que forma a população residente evolui na área em análise e desta forma estimar os volumes necessários para suprir as necessidades na área de estudo.

Por fim, no projeto GestAqua.adaPT, a utilização do programa SWAT serve não só para a análise quantitativa, mas também qualitativa, ferramentas que o HEC – HMS não possuía no seu programa. Contudo, o melhoramento do programa, da versão 3.5 para a versão 4.2.1 permite fazer esta análise

qualitativa, podendo assim também fazer uma modelação neste aspeto e realizar uma análise comparativa dos dois modelos hidrológicos.



## 6. Referências

- Alentejo, A. da R. H. do. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas integradas nas Regiões Hidrográficas 6 e 7* (Vol. I). Alentejo, Portugal.
- Almeida, J., & Brito, A. G. (2017). *A Utilização de Indicadores Ambientais como Suporte ao Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos: O Caso da Região Autónoma dos Açores (Portugal)*. Açores, Portugal.
- APA. (2017). Plano Nacional da Água. Retrieved January 22, 2017, from <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=833>
- APA b. (2017). Planos de Gestão de Região Hidrográfica - 1º Ciclo. Retrieved January 22, 2017, from <https://www.apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=834>
- APA c. (2017). Diretiva-Quadro da Água (Diretiva 2000/60CE). Retrieved January 22, 2017, from <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=818&sub3ref=1246>,
- Aronoff, S. (1989). *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa, Canadá: WDL Publications.
- Barroco, A., & Afonso, R. (2012). Planeamento territorial nos territórios insulares portugueses. *Malha Urbana*, 83–94.
- Bashar, K. E., & Zaki, A. F. (2015). SMA Based Continuous Hydrologic Simulation Of The Blue Nile. *UNESCO Chair in Water Resources*, 1–10.
- Borges, J. (2017). Dados meteorológicos. Retrieved February 6, 2017, from <http://www.cge.uevora.pt/pt/observas-e-dados-mainmenu-103>
- Canaveira, P., & Santos, E. (2013). *Relatório de Progresso Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas*. Amadora, Portugal.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology* (Student Ed). Singapura: New York : McGraw-Hill.
- ClimAdaPT.Local. (2016). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas*. Évora, Portugal.
- Dhami, B. S., & Pandey, A. (2013). Comparative Review of Recently Developed Hydrologic Models. *Journal of Indian Water Resources Society*, 33(3), 34–42.
- Diogo, P. A. (2017). GestAqua. Retrieved January 9, 2017, from <http://www.gestaqua.adapt.pt/area-de-estudo.html>
- DRE. (2017). Diário da República Eletrónico. Retrieved January 26, 1BC, from <https://dre.pt/>
- DRE b. (2010). Decreto-Lei n.º 115/2010. Retrieved January 26, 2017, from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/307873/details/normal?q=Decreto-Lei+nº115%2F2010+de+22+de+Outubro>
- DRE c. (2005). Lei da Água, Lei n.º 58/2005. Retrieved January 26, 2017, from <https://dre.pt/web/guest/legislacao-consolidada/-/lc/34506275/view?q=a+Lei+nº>

58%2F2005+

- DRE d. (2007). Lei n.º 58/2007. Retrieved January 26, 2017, from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/640143/details/normal?q=Lei+nº58%2F2007+4+de+Setembro>
- DRE e. (1998). Decreto-Lei n.º 364/98. Retrieved January 26, 2017, from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/217733/details/maximized>
- DRE f. (1988). Decreto Regulamentar n.º 2/88. Retrieved January 26, 2017, from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/283514/details/normal?q=Regulamentar+nº2%2F88%2Cde+20+de+janeiro>
- EEA a. (2012). *European waters — current status and future challenges Synthesis*. Copenhagen, Dinamarca: Publications Office of the European Union.
- EEA b. (2012). *Number of people affected by flooding per million population in the who European Region*. Copenhagen, Dinamarca.
- Elbashir, S. (2011). *Flood Routing in Natural Channels Using Muskingum Methods*. Dublin Institute of Technology.
- EM - DAT. (2017). Disaster Profiles. Retrieved March 19, 2017, from [http://www.emdat.be/disaster\\_profiles/index.html](http://www.emdat.be/disaster_profiles/index.html)
- EUR-Lex. (2007). Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. Retrieved January 26, 1BC, from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex:32007L0060>
- Eurostat. (2017). Water Statistics. Retrieved March 16, 2017, from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics)
- Fadigas, L. (2011). *Fundamentos Ambientais do Ordenamento do Território e da Paisa*. (E. Silabo, Ed.) (2º). Portugal.
- Fleming, M. J., & Doan, J. H. (2013). *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension*. California, Estados Unidos da América.
- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The Soil and Water assessment Tool: Historical Development, Application, and Future Research Direction. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(4), 1211–1250.
- GestAqua.AdaPT. (2017). *Task Report - Climate Scenarios*. Lisboa, Portugal.
- Gomes, T. (2008). *Aplicação de uma ferramenta de Modelação Hidrológica em Contínuo na Gestão de Recursos Hídricos em Zonas Hurbanas*. Universidade do Porto.
- Goodchild, M. F. (2007). Towards a general theory of geographic representation in GIS. *International Journal of Geographical*, (1072954), 37–41. <http://doi.org/10.1080/13658810600965271>
- HEC-HMS. (2000). *Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual*.
- Henriques, R. (1996). *Os sistemas de Informação Geográfica e a Modelação Hidrológica no domínio das Águas Superficiais*. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Hipólito, J., & Vaz, Á. (2014). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. (P. IST, Ed.) (2º). Lisboa,

Portugal.

- Hisdal, H., Roald, L. A., & Beldring, S. (2006). Past and future changes in flood and drought in the Nordic countries. *Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)*, (November), 502–507.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Nova York, Estados Unidos da América.
- Kumar, A., Singh, R., Jena, P. P., Chatterjee, C., & Mishra, A. (2015). Identification of the best multi-model combination for simulating river discharge. *Journal of Hydrologic*, 525, 313–325. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.060>
- Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Bates, B. (2008). *Climate change and water*.
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (2010). *Lições de Hidrologia*. (F. da F. de C. e T. da U. N. de Lisboa, Ed.) (3rd ed.). Lisboa, Portugal: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Maidment, D. (1993). *Handbook of Hydrology*. (MCGRAW-HILL EDUCATION, Ed.) (1st ed.).
- Milly, P. C. D., & Elworth, T. L. (2002). Increasing Risk of Great Floods in a Changing Climate. *Macmillan Magazines Ltd*, 415(February), 514–517. <http://doi.org/10.1038/415514a>
- Mudelsee, M., Borngen, M., Teltzloff, G., & Grunewald, U. (2003). No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. *Nature Publishing Group*, 425(September), 166–169.
- NASA. (2017). Precipitation Education. Retrieved March 23, 1BC, from <https://pmm.nasa.gov/education/water-cycle>
- Neto, P. N., & Schussel, Z. (2015). Gestão por Bacias Hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. *Ambiente E Sociedade*, 3(setembro), 137–152.
- NOVA.ID.FCT. (2016). *Adaptação a alterações climáticas na estratégia de gestão de albufeiras no Alentejo*. Lisboa, Portugal.
- PNPOT. (2006). *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território*. Lisboa, Portugal.
- Portela, M. (2006). *Modelação hidrológica*. Instituto Superior Técnico. Instituto Superior Técnico.
- PROCIV. (2017). Proteção Civil. Retrieved from <http://www.prociv.pt/pt-pt/RISCOSPREV/APRESENTACAO/Paginas/default.aspx>
- Quintela, A., & Portela, M. (1975). *A Modelação Hidrológica em Portugal nos últimos 25 anos do século XX, nas perspectivas determinísticas, probabilística e estocástica*. Secção Hidráulica. Instituto Superior Técnico.
- Ramos, C. (2005). *Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial DILIF - 3*.
- Scharffenberg, W. A., & Fleming, M. J. (2010). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User 's Manual (3.5 Versio)*. California, Estados Unidos da América.
- Service, L. M. (2017). Copernicus. Retrieved March 29, 1BC, from <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>
- Skidmore, A. (2002). *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing* (2nd ed.). New

Delhi, Índia: CRC Press, New Delhi.

- SNIAmb. (2017). Sistema Nacional de Informação de Ambiente. Retrieved March 3, 2017, from <http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm>
- SNIRH b. (2017). Boletim de Armazenamento nas Albufeiras de Portugal Continental. Retrieved March 3, 2017, from <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3&salbufeirasimbolo=22K/01A>
- SNIRH c. (2017). Boletim de Armazenamento nas Albufeiras de Portugal Continental. Retrieved March 3, 2017, from <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3&salbufeirasimbolo=22L/01A>
- Straub, B. T. D., Melching, C. S., & Kocher, K. E. (2000). *Equations for Estimating Clark Unit-Hydrograph Parameters for Small Rural Watersheds in Illinois*. Los Angeles, Estados Unidos da América.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. (2006). *Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental*. Lisboa, Portugal.
- Zêzere, J. L., Pereira, S., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. M., Quadresma, I., ... Verde, J. (2014). DISASTER : a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat Hazards*, 72, 503–532. <http://doi.org/10.1007/s11069-013-1018-y>

## 7. Anexos

Tabela 7.1 – Valores de volume observado e simulado para o período de calibração na bacia de Monte Novo

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
jan/94	4065,2	6383,2
fev/94	3051,6	6620,9
mar/94	1247,4	887,1
abr/94	148,8	1383,2
mai/94	264,7	9498,3
jun/94	0,0	0,0
jul/94	93,3	0,0
ago/94	0,0	0,0
set/94	0,0	0,0
out/94	301,8	4870,4
nov/94	125,9	5375,2
dez/94	77,1	4016,4
jan/95	73,2	4239,7
fev/95	72,4	2108,9
mar/95	256,9	1469,5
abr/95	0,0	994,0
mai/95	7,8	749,8
jun/95	253,4	84,0
jul/95	0,0	675,2
ago/95	121,8	0,0
set/95	0,0	3207,6
out/95	0,0	449,3
nov/95	2095,1	14955,5
dez/95	18682,0	31297,3
jan/96	49016,9	29485,9
fev/96	6719,8	5409,7
mar/96	2573,1	4438,4
abr/96	763,9	921,8

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
jun/96	0,0	0,0
jul/96	617,1	0,0
ago/96	0,0	0,0
set/96	120,9	2838,1
out/96	0,0	3692,7
nov/96	147,9	5990,4
dez/96	12985,8	30241,6
jan/97	18220,3	15724,5
fev/97	1477,1	112,6
mar/97	340,5	0,0
abr/97	100,1	4453,2
mai/97	286,5	9106,7
jun/97	374,5	2317,2
jul/97	287,4	856,1
ago/97	317,0	3634,7
set/97	157,3	1562,7
out/97	680,4	8023,3
nov/97	2006,3	28261,2
dez/97	21273,3	18862,9
jan/98	4260,2	4600,2
fev/98	16025,1	8557,7
mar/98	818,2	1801,2
abr/98	605,6	3695,6
mai/98	2113,9	7671,3
jun/98	330,0	295,1
jul/98	351,8	0,0
ago/98	0,0	0,0
set/98	120,3	2656,6

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
out/98	0,0	18,4
nov/98	0,0	210,0
dez/98	47,3	1272,0
jan/99	203,2	4607,6
fev/99	63,0	1265,6
mar/99	387,3	7369,8
abr/99	0,0	2684,4
mai/99	125,1	2601,7
jun/99	27,3	0,0
jul/99	31,2	0,0
ago/99	63,8	654,1
set/99	169,3	5852,5
out/99	1826,6	12691,8
nov/99	162,3	1472,0
dez/99	267,8	5849,6
jan/00	75,5	147,3
fev/00	43,0	879,8
mar/00	555,5	1150,2
abr/00	2937,9	17698,8
mai/00	6959,5	5690,3
jun/00	104,1	0,0
jul/00	178,3	0,0
ago/00	30,3	0,0
set/00	47,7	159,6
out/00	58,4	2147,9
nov/00	252,1	13395,2
dez/00	15716,3	0,0

Tabela 7.2 -Valores de volume observado e simulado para o período de validação na bacia de Monte Novo

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
jan/01	19081,5	8642,85
fev/01	14956,5	10678,00
mar/01	15739,4	14148,88
abr/01	0,0	23,25744
mai/01	372,0	2415,48
jun/01	0,0	0
jul/01	149,1	0
ago/01	0,0	0
set/01	277,5	10323,24
out/01	718,9	7048,20
nov/01	140,4	3261,17
dez/01	250,2	2666,60
jan/02	1820,6	4125,38
fev/02	863,4	2480,42
mar/02	2879,2	10058,62
abr/02	3754,2	8091,17
mai/02	232,5	1126,29
jun/02	111,3	61,54
jul/02	55,6	0
ago/02	51,7	0
set/02	656,2	9951,69
out/02	133,7	2386,27
nov/02	1156,2	10532,75
dez/02	7542,0	13169,72
jan/03	3889,4	9334,81
fev/03	3407,9	7710,48
mar/03	820,2	4310,63
abr/03	1741,9	6265,15
mai/03	327,9	269,93
jun/03	0,0	0
jul/03	42,4	0
ago/03	162,1	335,87
set/03	82,8	2288,37
out/03	338,3	11441,19
nov/03	1043,0	4940,86
dez/03	3831,8	5353,64

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
jan/04	396,0	4147,72
fev/04	1644,9	6044,22
mar/04	491,2	2739,73
abr/04	397,3	2000,49
mai/04	159,4	89,017
jun/04	0,0	0
jul/04	0,0	0
ago/04	133,5	0
set/04	0,0	1134,69
out/04	707,7	17247,16
nov/04	544,5	1150,39
dez/04	242,7	1416,02
jan/05	0,0	0
fev/05	118,8	83,82
mar/05	141,2	2700,67
abr/05	0,0	239,55
mai/05	181,4	3788,13
jun/05	0,0	34,77
jul/05	0,0	0
ago/05	133,3	0
set/05	98,5	0

Tabela 7.3 – Valores de volume observado e simulado para o período de simulação futura na bacia de Monte Novo

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sub>3</sub> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
jan-2010	6398	13999	1132	12434
fev-2010	5497	19023	2535	9329
mar-2010	2729	21254	308	5263
abr-2010	2666	9848	7365	2681
mai-2010	0	790	648	4116
jun-2010	1120	0	702	3
jul-2010	0	2111	0	0
ago-2010	0	0	2665	0
set-2010	2640	5623	17	0
out-2010	329	4780	2826	3434
nov-2010	12864	4905	5958	5835
dez-2010	23180	5181	3251	23920
jan-2011	10982	15294	4826	3076
fev-2011	7640	3161	6802	4520
mar-2011	1014	3800	4579	2758
abr-2011	1896	1387	7417	6582
mai-2011	1146	4329	0	2099
jun-2011	483	8	0	857
jul-2011	0	0	0	0
ago-2011	0	0	0	0
set-2011	4019	0	10145	0
out-2011	5008	514	1368	2786
nov-2011	15292	2833	8975	5998
dez-2011	8190	13383	7548	4192
jan-2012	10875	8243	2255	2850
fev-2012	12111	8147	1245	7988
mar-2012	3599	7920	5515	4688
abr-2012	3128	6927	2915	606
mai-2012	2567	355	674	0
jun-2012	4301	0	0	0
jul-2012	0	0	0	0
ago-2012	0	225	0	0
set-2012	2408	127	969	133
out-2012	2067	0	3754	2339
nov-2012	1204	2401	4092	2024
dez-2012	2167	7487	1975	10232
jan-2013	8447	23415	21831	2636
fev-2013	2918	6973	4736	8115
mar-2013	7020	3015	1688	3123
abr-2013	1768	1504	7049	4821
mai-2013	1540	291	1406	2172
jun-2013	0	1568	483	0
jul-2013	0	0	279	1
ago-2013	0	376	0	0
set-2013	1	0	2386	248
out-2013	5629	0	2018	5222
nov-2013	17569	20211	17964	6869
dez-2013	17636	14143	4150	7719
jan-2014	5905	8203	2893	20066
fev-2014	13303	4647	1190	9668

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sub>3</sub> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mar-2014	3295	13591	3461	7322
abr-2014	2248	242	3135	7145
mai-2014	231	8247	816	3904
jun-2014	0	136	0	0
jul-2014	0	0	0	0
ago-2014	5247	0	0	595
set-2014	0	0	10497	1073
out-2014	3800	2345	1748	13553
nov-2014	13661	8617	3798	2661
dez-2014	7419	22159	11407	16093
jan-2015	2923	1507	111	4207
fev-2015	14862	4387	5666	11186
mar-2015	12518	4063	5706	5188
abr-2015	1414	2426	8823	15769
mai-2015	6147	0	134	2578
jun-2015	0	0	0	1651
jul-2015	0	0	0	0
ago-2015	0	444	0	0
set-2015	47	1906	67	2587
out-2015	5328	759	6987	308
nov-2015	136	13235	1060	13439
dez-2015	3736	11810	5172	8139
jan-2016	16530	9329	5675	19990
fev-2016	7660	6335	15712	4029
mar-2016	8158	1885	3207	10184
abr-2016	5679	6613	8888	4615
mai-2016	2565	5018	0	1890
jun-2016	398	0	789	0
jul-2016	0	0	0	0
ago-2016	0	0	139	29
set-2016	0	0	0	730
out-2016	6332	1531	2007	3132
nov-2016	3058	7265	5176	4500
dez-2016	11925	13631	13646	16432
jan-2017	4139	6767	2102	7490
fev-2017	20282	8026	9309	18940
mar-2017	16467	5417	4007	4818
abr-2017	1942	270	204	8680
mai-2017	463	7152	203	3234
jun-2017	739	638	255	0
jul-2017	0	938	0	0
ago-2017	0	3236	57	0
set-2017	949	1137	339	7614
out-2017	0	2092	939	2975
nov-2017	2185	5063	10459	3973
dez-2017	3549	15534	89	1382
jan-2018	4464	3573	3158	8783
fev-2018	0	3037	1963	842
mar-2018	3449	10135	356	395
abr-2018	6357	18128	2521	3285

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2018	4163	2623	8352	2379
jun-2018	59	168	614	0
jul-2018	0	0	0	0
ago-2018	0	536	658	0
set-2018	690	0	1436	298
out-2018	4644	189	1452	2801
nov-2018	11275	2804	4294	12885
dez-2018	4470	5254	14174	7541
jan-2019	10485	5473	6697	23370
fev-2019	421	2857	1877	4911
mar-2019	10034	4507	2678	7041
abr-2019	4213	1794	3254	3071
mai-2019	249	1856	2494	611
jun-2019	0	0	141	1
jul-2019	0	0	0	0
ago-2019	0	0	296	0
set-2019	0	0	3	2
out-2019	2322	0	521	367
nov-2019	3860	11251	750	21831
dez-2019	15728	3423	3203	26
jan-2020	9720	13361	18136	7102
fev-2020	2960	6536	4000	6347
mar-2020	15051	597	7358	12496
abr-2020	3336	7700	5646	10746
mai-2020	112	3897	0	1376
jun-2020	0	3724	0	0
jul-2020	0	0	0	0
ago-2020	0	440	0	0
set-2020	0	993	2054	0
out-2020	3866	42	6560	583
nov-2020	6238	4956	18073	1797
dez-2020	9017	1736	0	4530
jan-2021	13611	9522	11285	8093
fev-2021	174	4211	1475	4479
mar-2021	9244	3481	2188	5518
abr-2021	857	754	3399	2292
mai-2021	8649	1504	88	172
jun-2021	58	0	0	653
jul-2021	0	0	0	0
ago-2021	0	879	0	0
set-2021	1835	2696	363	0
out-2021	2759	9553	5847	1421
nov-2021	913	15180	2389	69
dez-2021	956	8802	2658	7482
jan-2022	4660	4445	5555	23862
fev-2022	1	15146	10460	3776
mar-2022	2824	8061	4522	26317
abr-2022	2243	2590	3901	16625
mai-2022	2894	0	171	100
jun-2022	0	0	155	628
jul-2022	0	0	0	0
ago-2022	524	0	1991	0
set-2022	421	0	3090	534
out-2022	2426	2101	2515	4654

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2022	3160	1726	0	3627
dez-2022	6259	11432	7570	6558
jan-2023	1023	4319	10335	19190
fev-2023	3732	5184	602	13696
mar-2023	7386	178	11441	1229
abr-2023	2027	3343	1449	241
mai-2023	2335	4237	7009	4277
jun-2023	166	620	5	1132
jul-2023	0	0	0	0
ago-2023	0	0	0	0
set-2023	0	0	3283	2
out-2023	266	14308	2465	1358
nov-2023	0	21561	13170	11311
dez-2023	1251	11752	3732	5356
jan-2024	25205	479	8867	9766
fev-2024	3291	11148	13580	8871
mar-2024	11601	3838	4832	363
abr-2024	382	1713	2005	2975
mai-2024	117	166	773	21
jun-2024	447	20	3	1476
jul-2024	0	0	0	0
ago-2024	0	348	286	61
set-2024	0	2248	0	299
out-2024	5662	1341	2800	10889
nov-2024	793	557	6048	7037
dez-2024	22851	21437	11714	5730
jan-2025	5138	4278	16682	3603
fev-2025	724	23684	1080	5936
mar-2025	8986	6831	6673	1112
abr-2025	3646	1683	1380	3033
mai-2025	3451	3224	1971	610
jun-2025	0	0	0	0
jul-2025	0	0	0	0
ago-2025	0	0	0	0
set-2025	2459	2947	57	0
out-2025	3398	6412	6235	10725
nov-2025	4257	5418	5551	6015
dez-2025	18490	11326	10705	5668
jan-2026	4148	2588	18	12583
fev-2026	325	5929	12902	22349
mar-2026	2859	14204	700	3994
abr-2026	6183	1382	61	1039
mai-2026	192	3150	5316	160
jun-2026	0	0	167	0
jul-2026	0	0	0	0
ago-2026	5	0	82	0
set-2026	0	102	1187	0
out-2026	2619	6267	2520	4632
nov-2026	2799	4665	2417	14681
dez-2026	6810	1114	5232	25092
jan-2027	9459	287	1083	4394
fev-2027	2134	7139	13384	668
mar-2027	3687	22354	1315	11694
abr-2027	1890	13438	5155	5111

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2027	618	4393	3258	2356
jun-2027	0	0	151	0
jul-2027	0	0	0	0
ago-2027	0	0	0	577
set-2027	646	555	1426	0
out-2027	6480	108	7358	409
nov-2027	26150	12484	8950	534
dez-2027	6929	2186	4576	6732
jan-2028	5736	3679	8320	17268
fev-2028	5229	15428	147	10976
mar-2028	3339	6350	3251	10243
abr-2028	7767	347	5794	0
mai-2028	2521	4178	0	208
jun-2028	0	0	0	0
jul-2028	0	0	0	0
ago-2028	0	0	0	0
set-2028	1372	920	61	4845
out-2028	7432	1219	11931	65
nov-2028	11462	12409	5256	7127
dez-2028	13145	18030	5265	4348
jan-2029	7743	9287	3875	1586
fev-2029	8708	10191	488	2429
mar-2029	2458	8569	6164	377
abr-2029	4281	129	9831	7044
mai-2029	770	2408	556	4007
jun-2029	0	347	0	1
jul-2029	0	0	0	0
ago-2029	0	0	0	0
set-2029	544	0	1151	4551
out-2029	1352	1994	2526	1315
nov-2029	8384	13103	2988	1029
dez-2029	5377	3929	11101	13090
jan-2030	4078	352	139	3357
fev-2030	9070	6483	3871	4246
mar-2030	2043	4785	0	1111
abr-2030	7037	3301	2379	0
mai-2030	983	3286	0	647
jun-2030	2208	8	0	0
jul-2030	0	0	0	0
ago-2030	0	248	272	0
set-2030	3011	2240	2567	195
out-2030	7144	6235	3109	8317
nov-2030	5877	3679	15106	10254
dez-2030	375	16174	7419	21304
jan-2031	6388	10633	1087	4010
fev-2031	10313	2625	10972	4108
mar-2031	7972	3500	5032	4630
abr-2031	8990	2189	7063	10482
mai-2031	1147	629	2647	4791
jun-2031	0	268	1435	90
jul-2031	0	0	0	0
ago-2031	120	0	0	0
set-2031	3053	0	250	0
out-2031	16606	0	3422	515

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2031	6161	1730	2360	5139
dez-2031	1938	15887	3498	3945
jan-2032	2402	14344	756	5310
fev-2032	8029	3959	4170	2727
mar-2032	1843	3798	4889	31355
abr-2032	1775	2153	3691	10918
mai-2032	2833	156	3953	0
jun-2032	11	0	0	249
jul-2032	0	0	0	1564
ago-2032	0	0	397	1073
set-2032	0	2344	3287	0
out-2032	23	3317	9315	3504
nov-2032	8512	10029	4435	11359
dez-2032	562	15975	9035	3006
jan-2033	15296	8811	12476	1196
fev-2033	1748	526	8591	101
mar-2033	10510	8695	12519	6025
abr-2033	287	873	5831	17293
mai-2033	2141	5653	1535	3382
jun-2033	859	11	0	0
jul-2033	0	0	0	0
ago-2033	874	0	0	0
set-2033	123	0	0	0
out-2033	9592	10301	846	6442
nov-2033	6120	5363	7039	4321
dez-2033	8774	14255	19745	19575
jan-2034	4711	1924	9272	11310
fev-2034	950	10073	922	65
mar-2034	654	4892	4292	9145
abr-2034	3929	1760	9212	3442
mai-2034	1872	647	363	219
jun-2034	0	0	1101	0
jul-2034	426	0	0	0
ago-2034	0	0	0	0
set-2034	1215	1390	0	0
out-2034	4200	4528	0	3677
nov-2034	371	2075	4927	13059
dez-2034	3567	8355	15982	4249
jan-2035	5805	12244	2787	5524
fev-2035	6747	4878	8570	5
mar-2035	5110	3782	6981	12260
abr-2035	2827	10	3338	2874
mai-2035	2499	3013	3056	1484
jun-2035	0	269	0	0
jul-2035	0	0	0	0
ago-2035	0	0	0	0
set-2035	2653	0	0	25
out-2035	2058	688	1458	11179
nov-2035	5598	970	1156	10075
dez-2035	3746	1056	2459	4671
jan-2036	1427	29329	14630	10767
fev-2036	7588	0	5070	1543
mar-2036	8300	12248	490	10535
abr-2036	3007	10709	6331	9327

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2036	49	92	3455	4571
jun-2036	0	1683	6	143
jul-2036	0	0	0	0
ago-2036	0	0	0	77
set-2036	2068	0	2577	1884
out-2036	8367	4078	6662	0
nov-2036	1094	2045	8578	19379
dez-2036	4315	9202	15692	2833
jan-2037	3101	8642	3276	1743
fev-2037	9973	1800	4460	4409
mar-2037	4231	1646	1977	9038
abr-2037	9281	7571	745	2398
mai-2037	798	4194	1	3479
jun-2037	609	129	0	154
jul-2037	0	0	0	0
ago-2037	0	0	0	858
set-2037	3871	457	0	0
out-2037	9467	241	3342	3627
nov-2037	14418	7518	8415	4339
dez-2037	4816	8584	8515	1547
jan-2038	1118	191	525	7564
fev-2038	411	552	948	1004
mar-2038	0	7477	5208	11400
abr-2038	5733	3957	6453	4027
mai-2038	0	6998	228	2583
jun-2038	0	0	0	1059
jul-2038	0	0	0	0
ago-2038	0	0	0	2
set-2038	0	0	0	0
out-2038	577	4883	4542	4343
nov-2038	6197	13052	10300	4610
dez-2038	4238	23927	8525	0
jan-2039	20588	8268	3291	126
fev-2039	6398	1219	18298	6038
mar-2039	27702	6586	3185	4426
abr-2039	10186	2914	0	5358
mai-2039	0	1255	88	4118
jun-2039	0	0	611	2775
jul-2039	0	0	0	0
ago-2039	0	0	0	0
set-2039	334	0	153	560
out-2039	10481	4805	10352	5329
nov-2039	12722	7392	5347	4110
dez-2039	3025	20538	3035	8776
jan-2040	21788	2947	13970	11
fev-2040	19011	7120	9604	3480
mar-2040	3906	13340	3770	4152
abr-2040	2932	1112	10854	1367
mai-2040	547	19	286	857
jun-2040	0	0	0	209
jul-2040	671	0	0	0
ago-2040	6	0	1197	0
set-2040	0	0	0	73
out-2040	0	6766	2869	1065

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2040	10296	5058	5963	5957
dez-2040	3506	7634	8526	9279
jan-2041	1954	2455	7931	0
fev-2041	2549	2784	19133	562
mar-2041	8871	3525	17448	1621
abr-2041	8535	1537	3148	1172
mai-2041	3004	1475	457	1340
jun-2041	27	0	1052	0
jul-2041	0	0	0	0
ago-2041	1636	0	0	3585
set-2041	0	0	303	51
out-2041	0	9635	10404	12898
nov-2041	8243	7567	2693	8437
dez-2041	10140	19160	8014	15280
jan-2042	608	16916	18667	6486
fev-2042	3336	1827	4166	1072
mar-2042	7857	3569	2139	4236
abr-2042	462	5894	5747	3701
mai-2042	0	1854	37	248
jun-2042	387	0	0	0
jul-2042	0	0	0	0
ago-2042	0	0	0	0
set-2042	1851	3893	0	1542
out-2042	9385	4015	475	0
nov-2042	671	11799	6240	2729
dez-2042	9207	2187	4629	8995
jan-2043	12130	9427	2048	6987
fev-2043	15380	11033	3495	4531
mar-2043	2444	3071	1111	1171
abr-2043	1744	4456	2559	6020
mai-2043	2461	337	1812	0
jun-2043	0	10	0	0
jul-2043	0	0	0	0
ago-2043	0	0	0	0
set-2043	0	1056	2253	0
out-2043	857	2264	4029	10492
nov-2043	1499	11501	18353	13362
dez-2043	8082	5645	561	10429
jan-2044	10532	6130	5941	4624
fev-2044	1502	10231	7979	1389
mar-2044	5490	9604	7238	6249
abr-2044	61	1647	2203	4993
mai-2044	1312	2633	638	11
jun-2044	0	0	0	0
jul-2044	308	0	0	0
ago-2044	330	0	0	0
set-2044	4548	1	0	307
out-2044	473	14340	0	613
nov-2044	145	12018	678	4498
dez-2044	10649	2233	265	6578
jan-2045	22239	5252	5094	14448
fev-2045	3265	4544	8255	13747
mar-2045	2742	7987	10889	1752
abr-2045	1283	688	7573	3225

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2045	0	0	898	906
jun-2045	839	0	0	0
jul-2045	0	0	2134	0
ago-2045	0	0	0	0
set-2045	3474	1623	1239	0
out-2045	7710	2052	16170	0
nov-2045	6384	6875	3429	2214
dez-2045	4170	15082	674	14594
jan-2046	3154	21257	8346	6405
fev-2046	18001	8020	915	1099
mar-2046	2868	10837	14057	1080
abr-2046	3014	2925	0	3172
mai-2046	4478	2102	0	9786
jun-2046	420	387	109	0
jul-2046	0	0	0	0
ago-2046	50	4	0	0
set-2046	18573	0	14	0
out-2046	4931	8737	7457	6146
nov-2046	84	11795	1383	27830
dez-2046	2900	3984	7792	2298
jan-2047	8847	7377	6673	1594
fev-2047	280	6283	1828	5793
mar-2047	9771	8466	9909	11465
abr-2047	2777	1461	727	1626
mai-2047	4057	1064	2336	2897
jun-2047	0	272	0	0
jul-2047	0	20	0	0
ago-2047	0	0	119	0
set-2047	251	15	2824	0
out-2047	2790	2273	1731	0
nov-2047	6115	8580	913	11470
dez-2047	2344	18342	7699	15104
jan-2048	7642	4055	9661	4506
fev-2048	15071	547	4114	0
mar-2048	6970	7637	7793	6515
abr-2048	5321	5394	54	689
mai-2048	0	794	888	0
jun-2048	0	262	191	0
jul-2048	0	0	0	586
ago-2048	0	0	0	0
set-2048	727	3612	350	0
out-2048	0	617	4083	12022
nov-2048	3689	18746	6502	3294
dez-2048	3046	10041	9650	4492
jan-2049	3660	7162	21711	14687
fev-2049	381	18648	1184	6218
mar-2049	1223	16392	5813	9751
abr-2049	6881	13616	1662	388
mai-2049	1008	2960	2030	0
jun-2049	38	5	1278	0
jul-2049	0	0	0	14
ago-2049	0	0	1692	0
set-2049	0	0	185	0
out-2049	5041	7515	1926	12235

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2049	6154	5666	7440	4976
dez-2049	131	9143	458	7950
jan-2050	7650	8158	1431	6505
fev-2050	1540	4902	1342	15043
mar-2050	0	2377	14300	4003
abr-2050	2719	9783	10703	9227
mai-2050	1081	4340	2218	291
jun-2050	1955	1285	0	347
jul-2050	446	0	0	0
ago-2050	2416	0	0	0
set-2050	2002	1467	1580	5
out-2050	5417	0	2090	225
nov-2050	304	7113	1111	6000
dez-2050	2587	5732	7396	7928
jan-2051	0	3200	2816	8991
fev-2051	8724	3895	16	2988
mar-2051	3531	3734	1667	3971
abr-2051	9013	3670	5450	10208
mai-2051	1532	3449	0	0
jun-2051	0	0	0	39
jul-2051	0	0	0	0
ago-2051	0	78	0	508
set-2051	597	8734	0	0
out-2051	12080	7927	652	2134
nov-2051	3985	15296	10522	2232
dez-2051	8361	2178	2264	13643
jan-2052	393	2314	1925	6720
fev-2052	15616	1802	3702	18796
mar-2052	2312	2944	3423	9426
abr-2052	335	6246	4001	972
mai-2052	0	63	170	0
jun-2052	451	0	0	0
jul-2052	0	0	0	0
ago-2052	0	0	0	0
set-2052	349	0	6749	0
out-2052	8257	0	1809	377
nov-2052	1692	4791	3879	10256
dez-2052	6611	8022	13	8447
jan-2053	4419	3934	12238	26547
fev-2053	3123	9631	58	15050
mar-2053	3631	4812	1120	15291
abr-2053	3655	2434	3790	2392
mai-2053	708	2274	2511	0
jun-2053	128	4421	835	0
jul-2053	0	0	660	0
ago-2053	0	0	0	0
set-2053	371	1507	3230	4111
out-2053	664	81	415	15716
nov-2053	10358	6914	2773	792
dez-2053	8654	967	11980	14636
jan-2054	4382	3788	19435	3603
fev-2054	4129	122	8738	1954
mar-2054	6427	1773	2533	3857
abr-2054	3902	10461	209	2273

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2054	0	110	686	1336
jun-2054	6016	0	2	0
jul-2054	0	0	0	0
ago-2054	0	0	0	0
set-2054	0	1116	646	0
out-2054	814	1402	619	2298
nov-2054	129	1415	3754	16684
dez-2054	3124	0	5027	6861
jan-2055	16759	2827	2010	5906
fev-2055	1030	7179	1831	6315
mar-2055	5323	1842	1923	9596
abr-2055	1867	2636	509	1014
mai-2055	2526	3272	1513	7962
jun-2055	1048	0	0	0
jul-2055	0	0	0	0
ago-2055	0	602	0	0
set-2055	10	0	2076	4962
out-2055	2852	9551	5455	1248
nov-2055	2391	5767	8578	4498
dez-2055	7562	6739	13326	12431
jan-2056	8872	17581	17937	11637
fev-2056	8781	195	3472	4210
mar-2056	11065	11145	8361	2229
abr-2056	859	4652	1652	11501
mai-2056	0	47	1344	964
jun-2056	0	512	0	7927
jul-2056	0	87	0	0
ago-2056	0	0	0	0
set-2056	0	0	2692	62
out-2056	0	3295	3546	3758
nov-2056	2296	1014	10643	5440
dez-2056	2993	6160	3863	13
jan-2057	0	10608	4211	219
fev-2057	7802	14010	3300	1138
mar-2057	0	12421	7367	17513
abr-2057	0	1733	5848	1289
mai-2057	1507	2059	3802	4338
jun-2057	0	0	0	19
jul-2057	0	0	563	0
ago-2057	3094	0	5	0
set-2057	708	0	0	0
out-2057	10597	4849	3372	448
nov-2057	3674	9037	13666	1937
dez-2057	3789	12531	5455	1531
jan-2058	6181	31205	597	7034
fev-2058	8280	4056	5341	424
mar-2058	7065	11976	3126	11909
abr-2058	5150	8044	3028	7207
mai-2058	1	1838	862	0
jun-2058	156	0	91	0
jul-2058	0	0	0	0
ago-2058	0	0	1618	0
set-2058	320	59	448	1769
out-2058	28	1165	16689	1332

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2058	9616	2079	9515	10831
dez-2058	1027	25080	30239	5893
jan-2059	9952	7434	3054	3530
fev-2059	11886	12985	912	498
mar-2059	7553	16912	5519	5135
abr-2059	3109	2550	3518	3304
mai-2059	338	0	1170	1038
jun-2059	1172	0	1814	0
jul-2059	0	0	0	0
ago-2059	0	0	0	0
set-2059	1317	0	59	3531
out-2059	4709	1620	2924	0
nov-2059	10831	20820	1063	9883
dez-2059	13356	576	725	2252
jan-2060	5245	3388	9110	774
fev-2060	7174	5112	6259	671
mar-2060	7966	6037	8093	4040
abr-2060	1422	11645	3737	2899
mai-2060	61	8544	2046	0
jun-2060	0	1105	1812	674
jul-2060	0	0	0	0
ago-2060	0	0	74	0
set-2060	0	0	0	0
out-2060	469	2630	3042	4000
nov-2060	4912	2193	4251	12891
dez-2060	3128	2308	4925	4812
jan-2061	29970	12875	6974	1932
fev-2061	4813	4144	3078	4324
mar-2061	1735	843	8302	13509
abr-2061	2763	144	9429	7924
mai-2061	0	389	3088	0
jun-2061	0	0	0	0
jul-2061	831	0	0	0
ago-2061	6	0	0	0
set-2061	7	0	295	2688
out-2061	7846	0	33	7182
nov-2061	3264	1550	7881	1185
dez-2061	7035	3687	6575	3615
jan-2062	1485	11541	9377	4076
fev-2062	4891	5120	146	10493
mar-2062	4000	3306	5176	2051
abr-2062	1738	3694	4416	4761
mai-2062	37	1384	607	0
jun-2062	435	0	0	0
jul-2062	3932	0	0	0
ago-2062	0	0	0	0
set-2062	0	5999	850	1226
out-2062	0	1472	951	13894
nov-2062	10563	2656	2385	9
dez-2062	2796	6049	9306	12447
jan-2063	863	13031	21206	1294
fev-2063	10816	2387	5082	9307
mar-2063	5310	4217	6001	7107
abr-2063	2573	0	2752	2459

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2063	1226	4003	0	747
jun-2063	584	0	0	0
jul-2063	0	0	0	0
ago-2063	0	0	0	2491
set-2063	0	0	0	0
out-2063	432	1050	2650	2360
nov-2063	10040	5826	1680	5463
dez-2063	20690	1672	7064	0
jan-2064	5584	0	6137	12744
fev-2064	438	9058	9178	4101
mar-2064	1223	7432	971	5280
abr-2064	1610	3892	21	15992
mai-2064	100	3170	2742	5816
jun-2064	341	0	0	0
jul-2064	0	856	0	0
ago-2064	0	0	0	0
set-2064	0	2038	1739	0
out-2064	2148	6155	4967	2616
nov-2064	9338	21390	16798	7672
dez-2064	5988	10361	10809	27193
jan-2065	3323	8600	7037	19041
fev-2065	1177	14793	6954	244
mar-2065	2223	20446	4534	13259
abr-2065	287	1640	0	1521
mai-2065	1695	6210	4419	1602
jun-2065	0	350	1414	79
jul-2065	0	0	0	0
ago-2065	0	0	0	0
set-2065	183	3036	2652	0
out-2065	4430	2017	309	3866
nov-2065	1276	9915	2726	8022
dez-2065	16753	12340	21568	12198
jan-2066	14834	14493	14305	14891
fev-2066	14097	24	14744	16003
mar-2066	2848	2041	3645	16340
abr-2066	3338	803	1957	9472
mai-2066	664	2280	3902	1744
jun-2066	0	4059	0	0
jul-2066	0	0	0	0
ago-2066	0	0	0	1177
set-2066	904	0	0	179
out-2066	3601	37	6430	5323
nov-2066	2577	31690	5395	5145
dez-2066	7233	17101	5417	8472
jan-2067	22887	3666	1874	20660
fev-2067	2778	1351	2528	2549
mar-2067	8951	3857	0	2623
abr-2067	324	925	994	7318
mai-2067	0	2286	0	0
jun-2067	0	0	0	0
jul-2067	0	0	0	0
ago-2067	0	0	0	0
set-2067	0	0	0	0
out-2067	0	7388	610	1645

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2067	2341	15283	9861	16724
dez-2067	17757	2509	5525	3837
jan-2068	21440	5743	2800	300
fev-2068	1319	18827	221	9843
mar-2068	0	1593	15815	4873
abr-2068	2207	364	2706	3107
mai-2068	1246	0	213	677
jun-2068	0	196	0	512
jul-2068	0	0	0	0
ago-2068	0	0	0	0
set-2068	376	7226	0	0
out-2068	8337	5493	4223	3418
nov-2068	9284	312	4238	257
dez-2068	8613	2983	13920	20913
jan-2069	13285	3055	5569	11443
fev-2069	17721	2427	0	7534
mar-2069	8841	1179	2249	14444
abr-2069	6627	16	6020	7227
mai-2069	5820	1035	1283	4138
jun-2069	774	0	0	0
jul-2069	0	0	0	164
ago-2069	0	0	0	0
set-2069	0	1515	2036	0
out-2069	696	14462	5303	2400
nov-2069	4909	3963	4681	8875
dez-2069	4	16608	18986	667
jan-2070	3750	10839	16691	16094
fev-2070	4165	16587	0	5819
mar-2070	12310	11930	6186	5951
abr-2070	941	10707	2167	8898
mai-2070	215	3643	1611	375
jun-2070	0	0	0	502
jul-2070	0	0	0	0
ago-2070	0	5064	0	0
set-2070	0	564	0	173
out-2070	2638	3213	0	1569
nov-2070	8454	8460	11758	14322
dez-2070	6123	1538	8358	7429
jan-2071	11098	1900	21885	3626
fev-2071	6871	13162	7872	0
mar-2071	0	6116	6063	6517
abr-2071	1155	1333	6761	284
mai-2071	871	516	0	81
jun-2071	1647	1869	271	0
jul-2071	0	0	0	0
ago-2071	331	0	0	0
set-2071	0	1019	939	375
out-2071	4023	1939	4058	2395
nov-2071	8739	2497	3446	4810
dez-2071	6388	4652	5295	2126
jan-2072	2286	11061	5628	7407
fev-2072	2393	2437	1882	5738
mar-2072	5551	12026	5155	6246
abr-2072	752	13473	1243	5442

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2072	993	1097	50	83
jun-2072	1587	0	0	0
jul-2072	0	0	0	0
ago-2072	0	0	0	205
set-2072	0	250	0	1369
out-2072	9220	375	442	4118
nov-2072	13414	17791	11524	1546
dez-2072	16638	22724	5800	24063
jan-2073	2688	31318	5280	15999
fev-2073	4032	0	305	20570
mar-2073	3872	4980	1008	18446
abr-2073	14401	2606	2338	63
mai-2073	409	708	909	2340
jun-2073	0	0	2578	0
jul-2073	0	0	0	0
ago-2073	0	0	0	0
set-2073	699	425	0	0
out-2073	1456	706	91	1104
nov-2073	0	3721	17037	11110
dez-2073	6494	5337	18902	21642
jan-2074	897	5478	16316	2486
fev-2074	10532	16565	10168	1859
mar-2074	3276	18322	13791	1928
abr-2074	481	1967	5583	11132
mai-2074	2914	0	3997	387
jun-2074	299	0	295	0
jul-2074	0	0	0	0
ago-2074	0	0	0	52
set-2074	536	0	2189	1639
out-2074	3596	3186	28	3048
nov-2074	2673	11767	7053	0
dez-2074	2748	14873	13430	723
jan-2075	5196	4477	128	97
fev-2075	4752	17951	5512	66
mar-2075	11034	1525	1141	10905
abr-2075	2020	1714	4172	668
mai-2075	594	935	1034	11
jun-2075	0	832	0	97
jul-2075	0	0	0	0
ago-2075	0	0	0	0
set-2075	2004	1849	0	5847
out-2075	4110	7346	2660	0
nov-2075	474	2895	7755	24068
dez-2075	4980	2501	12859	7812
jan-2076	17284	8231	6288	3844
fev-2076	11699	8941	11161	3371
mar-2076	6043	5436	6647	4830
abr-2076	8698	2030	1174	102
mai-2076	344	2352	370	848
jun-2076	0	0	1395	0
jul-2076	0	0	0	0
ago-2076	0	0	1377	0
set-2076	0	212	0	1777
out-2076	841	2836	4832	388

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2076	1805	5406	579	4890
dez-2076	17778	4198	1739	15656
jan-2077	3547	1134	5647	1635
fev-2077	5979	21563	11451	2179
mar-2077	839	15693	593	3281
abr-2077	2046	2	5479	1463
mai-2077	1889	691	2449	0
jun-2077	0	52	0	0
jul-2077	0	0	0	0
ago-2077	0	0	0	0
set-2077	1255	1359	0	67
out-2077	44	1	3022	4789
nov-2077	6860	3482	3066	6004
dez-2077	6820	14804	174	1803
jan-2078	5280	8529	8297	1614
fev-2078	7942	3645	1433	23541
mar-2078	4847	5513	2319	7405
abr-2078	0	8259	1214	1938
mai-2078	137	45	1071	0
jun-2078	0	2799	623	5727
jul-2078	0	0	0	0
ago-2078	0	0	0	0
set-2078	1235	4161	0	309
out-2078	10035	1167	127	0
nov-2078	10165	6505	4441	4350
dez-2078	24613	7655	22744	10299
jan-2079	1006	14342	384	3314
fev-2079	5284	8827	6690	10196
mar-2079	3777	2102	4994	3344
abr-2079	2270	6667	4797	3041
mai-2079	2715	5432	0	1670
jun-2079	0	315	0	427
jul-2079	0	0	0	416
ago-2079	0	0	0	0
set-2079	0	0	2240	0
out-2079	1254	7464	2706	0
nov-2079	8034	17589	8677	20091
dez-2079	10235	2574	8085	13556
jan-2080	208	7515	10626	13647
fev-2080	1019	5455	7302	3622
mar-2080	5433	3780	2244	6914
abr-2080	2933	48	0	1923
mai-2080	667	2741	1642	435
jun-2080	3414	3037	0	359
jul-2080	0	0	0	0
ago-2080	0	0	0	0
set-2080	33	0	0	0
out-2080	2194	3013	2623	5523
nov-2080	1497	4755	5302	6587
dez-2080	11966	9845	11861	8330
jan-2081	11295	12229	7557	1523
fev-2081	9688	646	9646	7913
mar-2081	12090	7444	606	3856
abr-2081	4434	598	1455	2386

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2081	2485	348	1705	4924
jun-2081	532	0	0	1884
jul-2081	0	0	0	0
ago-2081	0	0	0	0
set-2081	25	0	0	0
out-2081	3334	0	2166	0
nov-2081	4532	7314	1087	369
dez-2081	0	31085	0	1310
jan-2082	5957	3535	0	3127
fev-2082	9869	3101	6329	1867
mar-2082	11894	2548	1487	2237
abr-2082	1716	221	574	4166
mai-2082	1976	11	0	6248
jun-2082	0	178	0	0
jul-2082	0	0	0	68
ago-2082	0	0	0	48
set-2082	3236	415	218	0
out-2082	2113	135	0	312
nov-2082	6122	11193	5547	1230
dez-2082	9586	4813	6326	0
jan-2083	8368	10366	5947	3143
fev-2083	760	14581	530	10111
mar-2083	2597	6782	7996	861
abr-2083	11127	2398	2825	1585
mai-2083	0	0	4263	1498
jun-2083	189	414	0	0
jul-2083	0	905	0	0
ago-2083	0	0	1576	0
set-2083	726	12125	2971	0
out-2083	5853	8047	5233	11689
nov-2083	118	8113	12296	372
dez-2083	6278	6526	11812	2131
jan-2084	9099	15049	20179	5585
fev-2084	397	12345	7396	11924
mar-2084	5897	5301	4045	2961
abr-2084	12338	8668	3	1274
mai-2084	1703	1929	0	0
jun-2084	481	3	0	1403
jul-2084	0	0	0	0
ago-2084	0	0	0	0
set-2084	0	389	0	891
out-2084	1122	3567	430	9065
nov-2084	4864	4163	835	9377
dez-2084	1812	16844	11719	5244
jan-2085	2260	8559	19560	6589
fev-2085	2719	5192	2072	4991
mar-2085	0	1468	30	298
abr-2085	1884	7297	6929	0
mai-2085	1690	1430	0	0
jun-2085	0	1	0	0
jul-2085	0	0	0	0
ago-2085	0	0	0	0
set-2085	2948	0	0	0
out-2085	1764	2744	157	1971

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2085	9085	4501	984	4347
dez-2085	798	437	692	8180
jan-2086	11675	22310	6296	10707
fev-2086	9926	22809	2279	2734
mar-2086	15310	5641	509	7762
abr-2086	3988	5754	2683	4642
mai-2086	1622	0	2230	1213
jun-2086	113	0	0	5
jul-2086	0	0	0	0
ago-2086	976	0	0	0
set-2086	839	0	0	0
out-2086	9081	3363	9543	13805
nov-2086	6841	26416	5031	1452
dez-2086	3846	12860	6231	13942
jan-2087	3736	5	9054	16686
fev-2087	755	21742	4652	4256
mar-2087	10910	93	10265	2715
abr-2087	615	2972	948	4689
mai-2087	3142	0	2640	2019
jun-2087	0	0	0	0
jul-2087	0	0	0	0
ago-2087	0	0	0	7731
set-2087	0	2681	2265	2465
out-2087	102	0	1136	1840
nov-2087	4614	2427	11256	1640
dez-2087	2064	924	6417	8418
jan-2088	1082	9771	253	10226
fev-2088	1010	22178	10271	3383
mar-2088	8357	3331	9428	0
abr-2088	12170	9665	4853	3810
mai-2088	9424	2071	5719	5147
jun-2088	0	0	1705	0
jul-2088	2212	71	0	0
ago-2088	988	0	373	0
set-2088	819	10854	0	0
out-2088	4262	4841	1276	1189
nov-2088	3286	9155	14001	2625
dez-2088	7907	5876	3984	5486
jan-2089	2356	16554	7167	2355
fev-2089	2494	6270	2525	948
mar-2089	1942	15501	6800	690
abr-2089	3540	927	821	1519
mai-2089	5227	917	855	447
jun-2089	499	0	0	43
jul-2089	0	0	0	734
ago-2089	308	0	692	0
set-2089	1149	0	3767	0
out-2089	3036	1412	1950	16127
nov-2089	19135	2305	1425	2555
dez-2089	22889	5086	5211	10788
jan-2090	7711	11350	2543	13110
fev-2090	1962	8919	57	4678
mar-2090	141	7151	257	8800
abr-2090	14154	14879	4542	9767

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2090	94	0	529	0
jun-2090	0	0	0	0
jul-2090	0	0	897	0
ago-2090	1892	0	0	7771
set-2090	759	0	695	79
out-2090	6411	764	1291	2813
nov-2090	1863	1001	4246	6070
dez-2090	8909	6279	9798	2764
jan-2091	11524	5067	12027	5176
fev-2091	10296	9997	2969	10946
mar-2091	7149	3870	4381	9502
abr-2091	0	1976	1702	8216
mai-2091	0	1591	1545	2
jun-2091	0	0	1777	0
jul-2091	0	0	0	0
ago-2091	0	474	0	0
set-2091	0	5487	0	0
out-2091	3143	1456	3644	678
nov-2091	31385	7567	3791	3893
dez-2091	17849	4495	12420	16061
jan-2092	9497	0	25990	13296
fev-2092	11039	5822	24330	3039
mar-2092	2784	5571	4796	6310
abr-2092	591	4590	2379	817
mai-2092	0	813	1405	286
jun-2092	0	18	0	0
jul-2092	0	709	0	0
ago-2092	0	0	411	0
set-2092	0	0	27	773
out-2092	596	1343	0	0
nov-2092	18940	11063	11946	10632
dez-2092	13746	23894	4253	7016
jan-2093	32725	8899	7883	22406
fev-2093	22417	2383	1689	716
mar-2093	4386	11565	1022	2905
abr-2093	2985	2258	498	485
mai-2093	7641	3119	105	0
jun-2093	130	448	0	0
jul-2093	0	0	0	0
ago-2093	0	0	0	0
set-2093	2478	0	635	0
out-2093	3314	634	1081	0
nov-2093	1712	8481	1602	0
dez-2093	2856	1165	9939	638
jan-2094	4660	28106	8406	1192
fev-2094	2489	20371	3389	603
mar-2094	15824	4751	973	2579
abr-2094	2041	1993	4073	3674
mai-2094	0	0	465	1093
jun-2094	0	0	0	0
jul-2094	0	0	0	0
ago-2094	0	0	0	0
set-2094	4056	0	185	0
out-2094	12224	6185	3368	5400

HEC/MTN	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2094	621	8477	6065	6733
dez-2094	10099	11443	11750	2347
jan-2095	0	8272	3406	445
fev-2095	21	3885	453	9309
mar-2095	6530	8182	5809	0
abr-2095	2314	4186	3758	895
mai-2095	328	0	5313	0
jun-2095	0	275	0	384
jul-2095	0	0	0	0
ago-2095	388	0	0	0
set-2095	0	657	0	0
out-2095	5527	110	4937	1615
nov-2095	1612	6467	12579	13328
dez-2095	4610	11	7248	5209
jan-2096	279	2704	13056	7444
fev-2096	6565	65	4703	4804
mar-2096	1332	7362	9525	10600
abr-2096	17908	4280	0	2075
mai-2096	2559	360	84	0
jun-2096	563	0	950	0
jul-2096	0	0	0	0
ago-2096	0	0	0	0
set-2096	0	1980	16943	1390
out-2096	6823	1432	0	49
nov-2096	4679	14237	1614	2306
dez-2096	22901	20	1705	5103
jan-2097	935	28277	1117	13761
fev-2097	15256	393	4960	6464
mar-2097	4788	2365	5472	1770
abr-2097	269	4497	6035	0
mai-2097	2254	7845	807	1776
jun-2097	0	0	0	0
jul-2097	0	0	0	0
ago-2097	0	0	0	116
set-2097	0	0	0	0
out-2097	2129	1320	9262	1293
nov-2097	1313	10327	4810	7828
dez-2097	8664	14099	11634	4931
jan-2098	5578	10834	1869	20674
fev-2098	11868	4539	2170	4085
mar-2098	16664	4759	6292	2247
abr-2098	7131	6466	3435	4555
mai-2098	746	38	2391	3083
jun-2098	622	1	0	528
jul-2098	5	0	0	0
ago-2098	0	0	0	0
set-2098	710	1510	363	0
out-2098	3248	2918	224	13581
nov-2098	8724	26	2750	12483
dez-2098	12899	4146	9199	10223
jan-2099	1142	2327	14101	16510
fev-2099	0	6677	13446	3331
mar-2099	3400	2222	2008	1324
abr-2099	6612	303	12353	343

<b>HEC/MTN</b>	<b>Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam<sup>3</sup>)</b>
mai-2099	831	9145	79	0
jun-2099	0	1398	0	0
jul-2099	0	0	0	0
ago-2099	0	0	611	0
set-2099	1593	446	394	0
out-2099	1039	3742	687	6877
nov-2099	9229	2270	8871	17717
dez-2099	316	2759	6390	4966
jan-2100	8354	22288	12957	11678
fev-2100	10111	14984	13134	729
mar-2100	3426	5056	4211	128
abr-2100	703	2308	323	1346
mai-2100	1715	31	818	0
jun-2100	704	0	0	0
jul-2100	0	0	0	0
ago-2100	0	98	0	10
set-2100	355	0	1010	4807
out-2100	2315	0	3277	1373
nov-2100	9740	5413	48	1253
dez-2100	6432	4397	27518	10949

Tabela 7.4 – Valores de volume observado e simulado para o período de calibração na bacia de Vigia

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
out/94	2017	2079
nov/94	2346	2407
dez/94	1700	1905
jan/95	1890	1690
fev/95	900	916
mar/95	634	650
abr/95	432	450
mai/95	292	307
jun/95	73	89
jul/95	338	355
ago/95	0	0
set/95	1380	1397
out/95	160	177
nov/95	6606	6773
dez/95	13497	13573
jan/96	12710	12851
fev/96	2259	2084
mar/96	1831	1772
abr/96	382	299
mai/96	4299	4332
jun/96	0	0
jul/96	0	0
ago/96	0	0
set/96	1310	1327
out/96	1605	1621
nov/96	2629	2645
dez/96	12993	13052
jan/97	6739	6703
fev/97	6	21
mar/97	0	0
abr/97	2029	2062
mai/97	4159	4356
jun/97	970	822
jul/97	430	446
ago/97	1576	1608
set/97	656	689
out/97	3409	3424
nov/97	12219	12238
dez/97	8301	8314

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
jan/98	1994	2091
fev/98	3637	3540
mar/98	849	928
abr/98	1632	1614
mai/98	3661	3744
jun/98	82	26
jul/98	0	0
ago/98	0	0
set/98	1300	1323
out/98	7	0
nov/98	66	82
dez/98	514	535
jan/99	2086	2080
fev/99	500	538
mar/99	3175	3195
abr/99	1206	1258
mai/99	1080	1068
jun/99	0	0
jul/99	0	0
ago/99	272	288
set/99	2666	2682
out/99	5662	5689
nov/99	613	659
dez/99	2489	2478
jan/00	45	134
fev/00	339	279
mar/00	507	679
abr/00	7967	7988
mai/00	2520	2359
jun/00	0	0
jul/00	0	0
ago/00	0	0
set/00	55	72
out/00	841	890
nov/00	5809	6146
dez/00	11086	10780

Tabela 7.5 – Valores de volume observado e simulado para o período de calibração na bacia de Vigia

Meses	Volume observado (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado (dam <sup>3</sup> )
jan/01	6594	6064
fev/01	4498	5004
mar/01	6206	5750
abr/01	1	42
mai/01	1140	1132
jun/01	0	0
jul/01	0	0
ago/01	0	0
set/01	4316	4496
out/01	3226	3109
nov/01	1312	1344
dez/01	1191	1207
jan/02	1733	1750
fev/02	1147	1146
mar/02	4274	4306
abr/02	3594	3610
mai/02	483	499
jun/02	19	35
jul/02	0	0
ago/02	0	0
set/02	4381	4418
out/02	1058	1097
nov/02	4637	4656
dez/02	5767	5793
jan/03	4023	4008
fev/03	3270	3305
mar/03	1809	1844
abr/03	2810	2820
mai/03	90	107
jun/03	0	0
jul/03	0	0
ago/03	165	214
set/03	979	1184
out/03	4951	4996

nov/03	2153	2058
dez/03	2380	2290
jan/04	1769	1956
fev/04	2605	2466
mar/04	1128	1420
abr/04	944	701
mai/04	14	30
jun/04	0	0
jul/04	0	0
ago/04	0	0
set/04	465	482
out/04	7466	7503
nov/04	471	690
dez/04	639	432
jan/05	0	0
fev/05	2	11
mar/05	1212	1228
abr/05	92	94
mai/05	1601	1659
jun/05	28	3
jul/05	0	0
ago/05	0	0
set/05	0	0

Tabela 7.6 – Valores de volume observado e simulado para o período de cenário futuro na bacia de Vigia

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sub>3</sub> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
jan-2010	2639	5887	406	5200
fev-2010	2258	7984	1026	3890
mar-2010	1005	8900	101	2176
abr-2010	1039	4064	3022	1076
mai-2010	0	294	226	1631
jun-2010	432	0	257	0
jul-2010	0	850	0	0
ago-2010	0	0	1084	0
set-2010	1035	2291	0	0
out-2010	110	1965	1072	1408
nov-2010	5475	2016	2432	2429
dez-2010	9642	2053	1324	10031
jan-2011	4577	6439	1994	1251
fev-2011	3144	1229	2826	1876
mar-2011	384	1548	1817	1100
abr-2011	729	506	3081	2668
mai-2011	427	1669	0	728
jun-2011	140	2	0	322
jul-2011	0	0	0	0
ago-2011	0	0	0	0
set-2011	1577	0	4234	0
out-2011	2031	178	582	1097
nov-2011	6403	1115	3558	2488
dez-2011	3426	5618	3153	1648
jan-2012	4524	3414	923	1167
fev-2012	5065	3467	456	3325
mar-2012	1474	3237	2302	1904
abr-2012	1270	2879	1132	180
mai-2012	972	111	206	0
jun-2012	1773	0	0	0
jul-2012	0	0	0	0
ago-2012	0	56	0	0
set-2012	975	15	369	17
out-2012	819	0	1542	868
nov-2012	445	947	1685	774
dez-2012	964	3114	808	4271
jan-2013	3429	9837	9130	1099
fev-2013	1190	2864	1934	3350
mar-2013	2879	1239	670	1272
abr-2013	667	556	2930	1955
mai-2013	610	84	514	836
jun-2013	0	584	165	0
jul-2013	0	0	78	0
ago-2013	0	120	0	0
set-2013	0	0	966	45
out-2013	2281	0	811	2214
nov-2013	7369	8474	7653	2723
dez-2013	7410	5950	1590	3212
jan-2014	2414	3423	1174	8413
fev-2014	5562	1881	463	4033

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sub>3</sub> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mar-2014	1349	5685	1422	3025
abr-2014	832	63	1201	2912
mai-2014	58	3337	227	1588
jun-2014	0	38	0	0
jul-2014	0	0	0	0
ago-2014	2171	0	0	180
set-2014	0	0	4382	413
out-2014	1503	910	618	5673
nov-2014	5725	3641	1522	1077
dez-2014	3044	9270	4765	6741
jan-2015	1153	587	9	1733
fev-2015	6215	1809	2343	4682
mar-2015	5166	1634	2363	2494
abr-2015	609	983	3569	6195
mai-2015	2494	0	44	990
jun-2015	0	0	0	656
jul-2015	0	0	0	0
ago-2015	0	148	0	0
set-2015	0	724	0	1011
out-2015	2167	243	2828	45
nov-2015	4	5566	407	5626
dez-2015	1633	4904	2135	3346
jan-2016	6856	3956	2380	8400
fev-2016	3159	2582	6566	1638
mar-2016	3372	716	1328	4253
abr-2016	2295	2713	3689	1866
mai-2016	991	2068	0	718
jun-2016	129	0	293	0
jul-2016	0	0	0	0
ago-2016	0	0	20	13
set-2016	0	0	0	267
out-2016	2589	567	806	1214
nov-2016	1249	2980	2102	1922
dez-2016	4946	5701	5710	6814
jan-2017	1737	2853	856	3098
fev-2017	8494	3362	3906	7977
mar-2017	6877	2179	1592	1990
abr-2017	740	75	32	3617
mai-2017	156	2973	48	1289
jun-2017	233	295	68	0
jul-2017	0	330	0	0
ago-2017	0	1286	9	0
set-2017	361	400	104	3177
out-2017	0	842	318	1166
nov-2017	881	2169	4295	1596
dez-2017	1426	6395	14	504
jan-2018	1874	1440	1271	3653
fev-2018	0	1296	749	302
mar-2018	1336	4135	111	103
abr-2018	2657	7601	1023	1459

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2018	1626	1061	3440	849
jun-2018	0	32	220	0
jul-2018	0	0	0	0
ago-2018	0	187	238	0
set-2018	253	0	527	87
out-2018	1813	113	534	1142
nov-2018	4722	1069	1760	5345
dez-2018	1879	2136	5892	3139
jan-2019	4367	2314	2781	9839
fev-2019	152	1116	751	2029
mar-2019	4149	1864	1092	2888
abr-2019	1735	716	1332	1215
mai-2019	66	769	1012	180
jun-2019	0	0	21	0
jul-2019	0	0	0	0
ago-2019	0	0	86	0
set-2019	0	0	1	0
out-2019	900	0	196	116
nov-2019	1548	4661	207	9117
dez-2019	6741	1403	1311	0
jan-2020	3920	5608	7596	2966
fev-2020	1169	2734	1694	2659
mar-2020	6297	212	2984	5241
abr-2020	1292	3204	2291	4415
mai-2020	9	1564	0	553
jun-2020	0	1509	0	0
jul-2020	0	0	0	0
ago-2020	0	147	0	0
set-2020	0	379	825	0
out-2020	1543	0	2610	207
nov-2020	2550	1999	7572	718
dez-2020	3798	668	0	1869
jan-2021	5694	3967	4715	3406
fev-2021	34	1710	530	1835
mar-2021	3782	1349	859	2234
abr-2021	322	241	1420	855
mai-2021	3526	594	3	32
jun-2021	0	0	0	236
jul-2021	0	0	0	0
ago-2021	0	331	0	0
set-2021	656	1097	80	0
out-2021	1107	4055	2356	481
nov-2021	318	6245	885	0
dez-2021	282	3645	1004	3112
jan-2022	1915	1826	2338	10012
fev-2022	0	6405	4379	1615
mar-2022	1112	3291	1813	10963
abr-2022	872	1052	1559	6940
mai-2022	1137	0	33	6
jun-2022	0	0	27	225
jul-2022	0	0	0	0
ago-2022	182	0	800	0
set-2022	145	0	1262	204
out-2022	857	846	978	1867

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2022	1299	650	0	1523
dez-2022	2630	4775	3149	2705
jan-2023	395	1800	4314	8079
fev-2023	1533	2125	215	5733
mar-2023	3000	75	4749	479
abr-2023	747	1291	471	62
mai-2023	946	1746	2827	1763
jun-2023	29	186	1	364
jul-2023	0	0	0	0
ago-2023	0	0	0	0
set-2023	0	0	1344	0
out-2023	73	5957	975	495
nov-2023	0	9075	5505	4698
dez-2023	636	4911	1522	2205
jan-2024	10468	159	3794	4133
fev-2024	1347	4658	5548	3678
mar-2024	4818	1576	2035	105
abr-2024	122	682	728	1162
mai-2024	17	31	287	0
jun-2024	147	0	1	583
jul-2024	0	0	0	0
ago-2024	0	108	82	0
set-2024	0	869	0	87
out-2024	2344	526	1093	4487
nov-2024	278	196	2539	3047
dez-2024	9653	8991	4840	2222
jan-2025	2060	1850	7035	1521
fev-2025	246	9860	401	2414
mar-2025	3821	2791	2772	429
abr-2025	1389	631	523	1200
mai-2025	1369	1276	752	218
jun-2025	0	0	0	0
jul-2025	0	0	0	0
ago-2025	0	0	0	0
set-2025	997	1125	26	0
out-2025	1315	2545	2655	4392
nov-2025	1755	2224	2157	2497
dez-2025	7748	4711	4492	2317
jan-2026	1669	1051	4	5299
fev-2026	94	2490	5395	9410
mar-2026	1237	5904	203	1686
abr-2026	2407	507	0	352
mai-2026	42	1265	2101	29
jun-2026	0	0	52	0
jul-2026	0	0	0	0
ago-2026	0	0	1	0
set-2026	0	7	462	0
out-2026	1025	2729	944	1873
nov-2026	1101	1766	940	6106
dez-2026	2849	430	2165	10700
jan-2027	3929	82	417	1680
fev-2027	821	2929	5559	242
mar-2027	1436	9376	493	4851
abr-2027	731	5593	2094	2111

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2027	243	1838	1275	953
jun-2027	0	0	43	0
jul-2027	0	0	0	0
ago-2027	0	0	0	204
set-2027	233	195	561	0
out-2027	2654	8	3026	133
nov-2027	10986	5158	3667	186
dez-2027	2905	853	1847	2797
jan-2028	2377	1500	3504	7296
fev-2028	2124	6548	51	4534
mar-2028	1364	2535	1357	4264
abr-2028	3170	125	2375	0
mai-2028	984	1721	0	49
jun-2028	0	0	0	0
jul-2028	0	0	0	0
ago-2028	0	0	0	0
set-2028	541	349	0	2002
out-2028	3013	436	4888	0
nov-2028	4892	5290	2169	2924
dez-2028	5443	7491	2184	1793
jan-2029	3239	3893	1593	629
fev-2029	3601	4264	166	984
mar-2029	957	3531	2651	120
abr-2029	1696	16	3931	2932
mai-2029	277	972	223	1568
jun-2029	0	110	0	0
jul-2029	0	0	0	0
ago-2029	0	0	0	0
set-2029	190	0	407	1888
out-2029	491	763	1085	448
nov-2029	3492	5509	1160	328
dez-2029	2226	1572	4636	5438
jan-2030	1653	105	50	1363
fev-2030	3779	2624	1561	1715
mar-2030	832	1976	0	429
abr-2030	2838	1309	913	0
mai-2030	337	1258	0	233
jun-2030	891	0	0	0
jul-2030	0	0	0	0
ago-2030	0	65	75	0
set-2030	1202	866	964	74
out-2030	2892	2549	1280	3433
nov-2030	2437	1435	6306	4208
dez-2030	119	6774	3060	8968
jan-2031	2615	4439	458	1650
fev-2031	4342	1066	4590	1676
mar-2031	3319	1396	2103	1887
abr-2031	3746	883	2929	4375
mai-2031	425	187	1037	1837
jun-2031	0	74	526	25
jul-2031	0	0	0	0
ago-2031	12	0	0	0
set-2031	1247	0	66	0
out-2031	6918	0	1354	139

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2031	2545	690	955	2090
dez-2031	754	6654	1400	1614
jan-2032	966	6026	284	2186
fev-2032	3310	1628	1724	1152
mar-2032	737	1551	2001	13165
abr-2032	709	800	1382	4597
mai-2032	1115	27	1626	0
jun-2032	3	0	0	145
jul-2032	0	0	0	566
ago-2032	0	0	128	374
set-2032	0	948	1309	0
out-2032	0	1358	3882	1437
nov-2032	3507	4241	1764	4687
dez-2032	198	6652	3793	1252
jan-2033	6404	3674	5216	465
fev-2033	697	180	3589	7
mar-2033	4323	3562	5225	2504
abr-2033	72	310	2417	7204
mai-2033	828	2305	607	1379
jun-2033	284	3	0	0
jul-2033	0	0	0	0
ago-2033	325	0	0	0
set-2033	13	0	0	0
out-2033	3969	4300	279	2649
nov-2033	2529	2181	2887	1766
dez-2033	3618	6003	8335	8213
jan-2034	1984	855	3828	4695
fev-2034	361	4127	330	7
mar-2034	272	2012	1818	3792
abr-2034	1577	702	3753	1353
mai-2034	750	159	114	45
jun-2034	0	0	425	0
jul-2034	140	0	0	0
ago-2034	0	0	0	0
set-2034	473	547	0	0
out-2034	1689	1915	0	1509
nov-2034	119	739	2050	5459
dez-2034	1452	3534	6679	1676
jan-2035	2373	5062	1134	2267
fev-2035	2797	2036	3574	1
mar-2035	2135	1554	2922	5135
abr-2035	1133	0	1310	1123
mai-2035	933	1191	1200	587
jun-2035	0	74	0	0
jul-2035	0	0	0	0
ago-2035	0	0	0	0
set-2035	1043	0	0	0
out-2035	824	212	576	4604
nov-2035	2280	336	449	4233
dez-2035	1539	406	1072	1890
jan-2036	562	12314	6046	4535
fev-2036	3164	0	2103	736
mar-2036	3450	5105	139	4160
abr-2036	1152	4410	2617	3901

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2036	1	4	1370	1808
jun-2036	0	670	0	21
jul-2036	0	0	0	0
ago-2036	0	0	0	0
set-2036	797	0	1047	716
out-2036	3488	1645	2728	0
nov-2036	380	778	3541	8087
dez-2036	1779	3952	6603	1152
jan-2037	1231	3526	1309	695
fev-2037	4163	693	1878	1779
mar-2037	1790	626	794	3729
abr-2037	3821	3167	215	932
mai-2037	293	1650	0	1369
jun-2037	179	15	0	44
jul-2037	0	0	0	0
ago-2037	0	0	0	322
set-2037	1591	154	0	0
out-2037	3910	89	1358	1432
nov-2037	6086	3101	3621	1749
dez-2037	1976	3568	3431	573
jan-2038	432	58	182	3147
fev-2038	173	193	316	417
mar-2038	0	3115	2120	4777
abr-2038	2376	1546	2663	1610
mai-2038	0	2874	59	1028
jun-2038	0	0	0	407
jul-2038	0	0	0	0
ago-2038	0	0	0	0
set-2038	0	0	0	0
out-2038	257	2018	1860	1751
nov-2038	2479	5397	4275	1903
dez-2038	1746	10131	3607	0
jan-2039	8691	3393	1342	55
fev-2039	2616	499	7675	2463
mar-2039	11591	2769	1311	1786
abr-2039	4241	1084	0	2170
mai-2039	0	489	3	1598
jun-2039	0	0	212	1091
jul-2039	0	0	0	0
ago-2039	0	0	0	0
set-2039	102	0	35	197
out-2039	4327	2024	4236	2206
nov-2039	5274	2956	2213	1667
dez-2039	1228	8597	1201	3663
jan-2040	9146	1217	5867	3
fev-2040	7951	2960	3982	1350
mar-2040	1636	5580	1549	1687
abr-2040	1118	393	4492	459
mai-2040	153	6	100	322
jun-2040	0	0	0	49
jul-2040	245	0	0	0
ago-2040	1	0	465	0
set-2040	0	0	0	0
out-2040	0	2899	1111	376

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2040	4345	1965	2503	2429
dez-2040	1390	3201	3522	3901
jan-2041	746	974	3301	0
fev-2041	1060	1198	7981	198
mar-2041	3698	1413	7397	644
abr-2041	3465	583	1235	459
mai-2041	1144	543	154	521
jun-2041	0	0	404	0
jul-2041	0	0	0	0
ago-2041	650	0	0	1432
set-2041	0	0	89	0
out-2041	0	4019	4226	5557
nov-2041	3423	3148	1056	3303
dez-2041	4240	8032	3322	6453
jan-2042	180	7101	7872	2681
fev-2042	1366	745	1722	397
mar-2042	3247	1465	813	1706
abr-2042	118	2482	2351	1520
mai-2042	0	703	7	65
jun-2042	124	0	0	0
jul-2042	0	0	0	0
ago-2042	0	0	0	0
set-2042	741	1601	0	601
out-2042	3914	1634	155	0
nov-2042	244	4918	2586	1072
dez-2042	3839	862	1953	3750
jan-2043	5068	3931	781	2896
fev-2043	6440	4608	1463	1939
mar-2043	951	1253	437	379
abr-2043	695	1825	1002	2460
mai-2043	958	103	724	0
jun-2043	0	0	0	0
jul-2043	0	0	0	0
ago-2043	0	0	0	0
set-2043	0	406	910	0
out-2043	322	850	1620	4335
nov-2043	592	4796	7701	5612
dez-2043	3327	2318	142	4334
jan-2044	4436	2543	2463	1909
fev-2044	586	4293	3355	546
mar-2044	2235	4060	2971	2595
abr-2044	1	562	863	1997
mai-2044	482	1031	188	1
jun-2044	0	0	0	0
jul-2044	91	0	0	0
ago-2044	100	0	0	0
set-2044	1838	0	0	90
out-2044	160	5887	0	180
nov-2044	22	5012	236	1786
dez-2044	4515	881	73	2811
jan-2045	9277	2171	2107	5973
fev-2045	1319	1875	3417	5752
mar-2045	1080	3325	4564	717
abr-2045	455	212	3134	1258

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2045	0	0	300	303
jun-2045	315	0	0	0
jul-2045	0	0	833	0
ago-2045	0	0	0	0
set-2045	1350	606	463	0
out-2045	3145	786	6730	0
nov-2045	2622	2818	1361	834
dez-2045	1697	6321	245	6091
jan-2046	1271	8966	3446	2658
fev-2046	7543	3317	350	386
mar-2046	1130	4513	5832	457
abr-2046	1184	1223	0	1182
mai-2046	1781	796	0	4044
jun-2046	121	134	8	0
jul-2046	0	0	0	0
ago-2046	0	0	0	0
set-2046	7784	0	0	0
out-2046	2038	3669	3018	2554
nov-2046	0	4902	452	11613
dez-2046	1160	1652	3237	887
jan-2047	3713	3053	2807	606
fev-2047	101	2749	731	2408
mar-2047	4040	3419	4078	4828
abr-2047	1101	576	233	607
mai-2047	1586	403	874	1181
jun-2047	0	76	0	0
jul-2047	0	0	0	0
ago-2047	0	0	11	0
set-2047	67	0	1174	0
out-2047	1048	918	667	0
nov-2047	2499	3541	346	4780
dez-2047	1180	7736	3180	6364
jan-2048	2945	1627	4052	1857
fev-2048	6323	152	1657	0
mar-2048	2822	3203	3218	2705
abr-2048	2202	2220	29	222
mai-2048	0	292	290	0
jun-2048	0	47	42	0
jul-2048	0	0	0	208
ago-2048	0	0	0	0
set-2048	267	1482	54	0
out-2048	0	221	1686	4986
nov-2048	1516	7835	2624	1288
dez-2048	1204	4226	4001	1875
jan-2049	1464	2997	9144	6152
fev-2049	102	7797	439	2615
mar-2049	443	6844	2415	4029
abr-2049	2852	5794	652	89
mai-2049	303	1116	816	0
jun-2049	7	1	428	0
jul-2049	0	0	0	0
ago-2049	0	0	614	0
set-2049	0	0	60	0
out-2049	2009	3048	773	5041

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2049	2496	2317	3094	2000
dez-2049	12	3843	154	3273
jan-2050	3206	3365	537	2662
fev-2050	587	1987	503	6297
mar-2050	0	1005	6046	1608
abr-2050	1035	4098	4425	3884
mai-2050	416	1691	895	84
jun-2050	785	456	0	107
jul-2050	149	0	0	0
ago-2050	1025	0	0	0
set-2050	758	579	624	1
out-2050	2165	0	841	43
nov-2050	67	2918	429	2449
dez-2050	1050	2342	3061	3300
jan-2051	0	1323	1112	3760
fev-2051	3635	1601	6	1209
mar-2051	1386	1478	600	1604
abr-2051	3711	1507	2210	4239
mai-2051	586	1375	0	0
jun-2051	0	0	0	0
jul-2051	0	0	0	0
ago-2051	0	0	0	136
set-2051	212	3640	0	0
out-2051	4993	3261	197	869
nov-2051	1600	6365	4393	899
dez-2051	3475	876	914	5694
jan-2052	123	899	752	2760
fev-2052	6517	720	1520	7833
mar-2052	894	1161	1392	3925
abr-2052	102	2554	1619	370
mai-2052	0	0	7	0
jun-2052	151	0	0	0
jul-2052	0	0	0	0
ago-2052	0	0	0	0
set-2052	108	0	2804	0
out-2052	3414	0	648	66
nov-2052	686	1959	1556	4281
dez-2052	2715	3328	0	3519
jan-2053	1851	1641	5114	11117
fev-2053	1276	3979	1	6340
mar-2053	1490	1992	444	6395
abr-2053	1471	1060	1562	953
mai-2053	238	858	936	0
jun-2053	0	1778	302	0
jul-2053	0	0	239	0
ago-2053	0	0	0	0
set-2053	118	596	1321	1653
out-2053	255	1	136	6505
nov-2053	4308	2799	1121	294
dez-2053	3610	329	4967	6170
jan-2054	1802	1518	8171	1452
fev-2054	1700	12	3662	784
mar-2054	2631	708	1041	1508
abr-2054	1525	4298	41	919

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2054	0	38	174	523
jun-2054	2456	0	0	0
jul-2054	0	0	0	0
ago-2054	0	0	0	0
set-2054	0	431	233	0
out-2054	305	547	222	890
nov-2054	29	518	1436	7010
dez-2054	1328	0	2051	2794
jan-2055	6929	1282	797	2483
fev-2055	396	2855	732	2582
mar-2055	2201	737	771	3982
abr-2055	703	1126	175	355
mai-2055	1020	1323	559	3252
jun-2055	368	0	0	0
jul-2055	0	0	0	0
ago-2055	0	215	0	0
set-2055	0	0	804	2012
out-2055	1084	3939	2251	487
nov-2055	948	2376	3541	1802
dez-2055	3152	2840	5543	5179
jan-2056	3700	7352	7546	4879
fev-2056	3696	17	1420	1714
mar-2056	4582	4667	3462	996
abr-2056	284	1870	617	4632
mai-2056	0	0	449	367
jun-2056	0	138	0	3249
jul-2056	0	3	0	0
ago-2056	0	0	0	0
set-2056	0	0	1095	0
out-2056	0	1310	1432	1468
nov-2056	928	387	4447	2215
dez-2056	1183	2595	1585	4
jan-2057	0	4429	1735	42
fev-2057	3247	5973	1399	423
mar-2057	0	5084	3009	7337
abr-2057	0	638	2408	504
mai-2057	576	828	1556	1749
jun-2057	0	0	0	0
jul-2057	0	0	199	0
ago-2057	1264	0	1	0
set-2057	259	0	0	0
out-2057	4386	1942	1305	150
nov-2057	1474	3705	5714	777
dez-2057	1658	5894	2182	606
jan-2058	2476	12484	170	2926
fev-2058	3405	1669	2199	177
mar-2058	2903	5008	1287	4968
abr-2058	2130	3316	1224	3035
mai-2058	0	685	288	0
jun-2058	27	0	4	0
jul-2058	0	0	0	0
ago-2058	0	0	644	0
set-2058	96	0	149	706
out-2058	0	452	6989	483

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2058	3972	837	3928	4516
dez-2058	493	10544	12676	2395
jan-2059	4055	3082	1232	1424
fev-2059	4965	5460	358	171
mar-2059	3105	7043	2262	2143
abr-2059	1207	993	1323	1334
mai-2059	125	0	454	398
jun-2059	471	0	725	0
jul-2059	0	0	0	0
ago-2059	0	0	0	0
set-2059	516	0	0	1448
out-2059	1999	663	1143	0
nov-2059	4460	8672	409	4124
dez-2059	5620	204	277	910
jan-2060	2188	1353	3749	270
fev-2060	2938	2150	2602	244
mar-2060	3283	2541	3336	1624
abr-2060	530	4790	1457	1074
mai-2060	17	3543	811	0
jun-2060	0	393	658	245
jul-2060	0	0	0	0
ago-2060	0	0	0	0
set-2060	0	0	0	0
out-2060	134	1117	1140	1567
nov-2060	1973	836	1745	5389
dez-2060	1404	986	1999	1995
jan-2061	12587	5378	2875	761
fev-2061	1875	1711	1289	1743
mar-2061	691	283	3445	5619
abr-2061	1087	12	3803	3254
mai-2061	0	98	1231	0
jun-2061	0	0	0	0
jul-2061	312	0	0	0
ago-2061	1	0	0	0
set-2061	0	0	56	1054
out-2061	3214	0	0	2947
nov-2061	1297	613	3242	446
dez-2061	2924	1441	2727	1481
jan-2062	587	4943	3910	1675
fev-2062	2021	2074	23	4359
mar-2062	1607	1354	2110	854
abr-2062	621	1487	1765	1831
mai-2062	3	565	217	0
jun-2062	144	0	0	0
jul-2062	1617	0	0	0
ago-2062	0	0	0	0
set-2062	0	2449	319	478
out-2062	0	508	362	5775
nov-2062	4461	1083	888	2
dez-2062	1007	2539	3881	5165
jan-2063	342	5456	8940	545
fev-2063	4571	923	2138	3866
mar-2063	2116	1735	2365	2936
abr-2063	1046	0	1042	965

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2063	480	1608	0	262
jun-2063	204	0	0	0
jul-2063	0	0	0	0
ago-2063	0	0	0	1010
set-2063	0	0	0	0
out-2063	133	380	996	999
nov-2063	4126	2359	663	2179
dez-2063	8669	665	2903	0
jan-2064	2351	0	2559	5328
fev-2064	146	3804	3832	1717
mar-2064	476	3072	384	2155
abr-2064	639	1554	0	6632
mai-2064	6	1257	1077	2372
jun-2064	105	0	0	0
jul-2064	0	322	0	0
ago-2064	0	0	0	0
set-2064	0	781	693	0
out-2064	827	2563	2022	1062
nov-2064	3894	8939	7037	3162
dez-2064	2553	4349	4494	11504
jan-2065	1300	3591	2907	7946
fev-2065	457	6212	2890	87
mar-2065	860	8578	1818	5541
abr-2065	82	647	0	583
mai-2065	642	2537	1783	567
jun-2065	0	109	518	10
jul-2065	0	0	0	0
ago-2065	0	0	0	0
set-2065	33	1162	1060	0
out-2065	1747	811	109	1544
nov-2065	481	4137	1108	3262
dez-2065	7025	5143	9013	5127
jan-2066	6285	6106	6019	6245
fev-2066	5918	7	6182	6713
mar-2066	1120	821	1478	6914
abr-2066	1332	299	746	3906
mai-2066	204	968	1566	696
jun-2066	0	1503	0	0
jul-2066	0	0	0	0
ago-2066	0	0	0	481
set-2066	304	0	0	51
out-2066	1515	17	2630	2176
nov-2066	959	13273	2195	2123
dez-2066	2988	7192	2242	3517
jan-2067	9631	1495	750	8660
fev-2067	1150	530	948	1046
mar-2067	3715	1550	0	1066
abr-2067	89	351	380	2984
mai-2067	0	908	0	0
jun-2067	0	0	0	0
jul-2067	0	0	0	0
ago-2067	0	0	0	0
set-2067	0	0	0	0
out-2067	0	3026	185	615

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2067	959	6406	4125	7005
dez-2067	7390	1023	2225	1581
jan-2068	9006	2367	1124	88
fev-2068	508	7904	54	4068
mar-2068	0	632	6622	1975
abr-2068	874	110	1062	1231
mai-2068	486	0	51	285
jun-2068	0	44	0	177
jul-2068	0	0	0	0
ago-2068	0	0	0	0
set-2068	119	2988	0	0
out-2068	3538	2287	1652	1401
nov-2068	3728	93	1718	70
dez-2068	3589	1205	5831	8730
jan-2069	5606	1260	2299	4821
fev-2069	7425	983	0	3106
mar-2069	3786	419	941	6041
abr-2069	2615	5	2404	3005
mai-2069	2374	359	497	1704
jun-2069	287	0	0	0
jul-2069	0	0	0	30
ago-2069	0	0	0	0
set-2069	0	560	819	0
out-2069	254	6013	2195	972
nov-2069	1991	1821	1857	3677
dez-2069	1	6742	7984	242
jan-2070	1543	4526	6973	6774
fev-2070	1756	6952	0	2356
mar-2070	5085	5017	2549	2477
abr-2070	301	4435	854	3681
mai-2070	52	1423	595	119
jun-2070	0	0	0	172
jul-2070	0	0	0	0
ago-2070	0	2094	0	0
set-2070	0	199	0	7
out-2070	1072	1276	0	617
nov-2070	3522	3491	4875	5939
dez-2070	2540	633	3455	3130
jan-2071	4623	764	9241	1488
fev-2071	2855	5504	3270	0
mar-2071	0	2516	2447	2668
abr-2071	453	522	2791	80
mai-2071	322	199	0	1
jun-2071	621	670	75	0
jul-2071	0	0	0	0
ago-2071	101	0	0	0
set-2071	0	351	356	119
out-2071	1617	701	1702	970
nov-2071	3642	973	1423	1945
dez-2071	2652	1920	2156	818
jan-2072	885	4623	2250	3115
fev-2072	962	991	759	2314
mar-2072	2321	5044	2132	2591
abr-2072	230	5627	452	2264

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2072	328	383	15	24
jun-2072	600	0	0	0
jul-2072	0	0	0	0
ago-2072	0	0	0	57
set-2072	0	66	0	528
out-2072	4123	119	97	1618
nov-2072	5216	7450	4739	573
dez-2072	6969	9541	2403	10057
jan-2073	1101	13167	2216	6711
fev-2073	1651	0	90	8659
mar-2073	1575	2020	394	7730
abr-2073	5939	1025	937	35
mai-2073	133	253	344	939
jun-2073	0	0	1008	0
jul-2073	0	0	0	0
ago-2073	0	0	0	0
set-2073	255	126	0	0
out-2073	575	227	4	426
nov-2073	0	1474	7073	4720
dez-2073	2657	2203	8037	8953
jan-2074	339	2288	6795	991
fev-2074	4358	6970	4331	744
mar-2074	1306	7652	5669	736
abr-2074	160	764	2223	4687
mai-2074	1176	0	1645	124
jun-2074	81	0	86	0
jul-2074	0	0	0	0
ago-2074	0	0	0	0
set-2074	177	0	883	652
out-2074	1436	1286	0	1128
nov-2074	1083	4894	2893	0
dez-2074	1122	6210	5635	241
jan-2075	2169	1837	6	26
fev-2075	1944	7522	2279	31
mar-2075	4570	565	437	4512
abr-2075	802	644	1647	242
mai-2075	211	355	312	0
jun-2075	0	312	0	5
jul-2075	0	0	0	0
ago-2075	0	0	0	0
set-2075	836	807	0	2385
out-2075	1598	2913	1042	0
nov-2075	185	1144	3188	10056
dez-2075	2058	1153	5338	3324
jan-2076	7254	3287	2594	1490
fev-2076	4876	3766	4688	1398
mar-2076	2467	2212	2672	1957
abr-2076	3547	777	446	7
mai-2076	106	874	127	279
jun-2076	0	0	510	0
jul-2076	0	0	0	0
ago-2076	0	0	541	0
set-2076	0	50	0	710
out-2076	309	1116	1996	86

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2076	722	2238	205	1982
dez-2076	7561	1715	634	6555
jan-2077	1352	453	2372	616
fev-2077	2479	9123	4790	803
mar-2077	295	6491	211	1321
abr-2077	784	1	2250	577
mai-2077	701	252	993	0
jun-2077	0	0	0	0
jul-2077	0	0	0	0
ago-2077	0	0	0	0
set-2077	451	501	0	0
out-2077	23	0	1243	1978
nov-2077	2737	1389	1234	2474
dez-2077	2848	6196	34	721
jan-2078	2201	3553	3463	691
fev-2078	3242	1496	557	9867
mar-2078	2041	2283	867	3116
abr-2078	0	3346	465	777
mai-2078	19	12	423	0
jun-2078	0	1140	213	2373
jul-2078	0	0	0	0
ago-2078	0	0	0	0
set-2078	481	1660	0	91
out-2078	4186	388	15	0
nov-2078	4229	2654	1769	1754
dez-2078	10328	3181	9545	4260
jan-2079	346	6047	115	1342
fev-2079	2187	3634	2848	4227
mar-2079	1513	809	2033	1377
abr-2079	878	2746	1942	1253
mai-2079	1104	2270	0	614
jun-2079	0	55	0	141
jul-2079	0	0	0	136
ago-2079	0	0	0	0
set-2079	0	0	866	0
out-2079	416	3066	1101	0
nov-2079	3315	7347	3583	8385
dez-2079	4272	1063	3455	5671
jan-2080	49	3131	4344	5750
fev-2080	390	2270	3044	1457
mar-2080	2216	1528	860	2862
abr-2080	1141	0	0	763
mai-2080	242	1197	653	92
jun-2080	1399	1158	0	112
jul-2080	0	0	0	0
ago-2080	0	0	0	0
set-2080	0	0	0	0
out-2080	846	1230	1027	2282
nov-2080	553	1925	2156	2697
dez-2080	5006	4069	4973	3471
jan-2081	4718	5112	3190	593
fev-2081	4210	231	3978	3293
mar-2081	4838	3087	184	1585
abr-2081	1791	174	574	966

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2081	967	108	640	1996
jun-2081	185	0	0	729
jul-2081	0	0	0	0
ago-2081	0	0	0	0
set-2081	11	0	0	0
out-2081	1287	0	861	0
nov-2081	1870	3030	427	94
dez-2081	0	13052	0	513
jan-2082	2470	1413	0	1239
fev-2082	4089	1228	2627	786
mar-2082	5000	964	631	864
abr-2082	572	54	198	1716
mai-2082	754	1	0	2586
jun-2082	0	38	0	0
jul-2082	0	0	0	0
ago-2082	0	0	0	0
set-2082	1324	136	53	0
out-2082	744	18	0	92
nov-2082	2545	4675	2271	405
dez-2082	4078	1943	2627	0
jan-2083	3418	4366	2451	1394
fev-2083	282	6098	190	4131
mar-2083	1053	2803	3272	285
abr-2083	4570	915	1091	553
mai-2083	0	0	1757	578
jun-2083	41	136	0	0
jul-2083	0	342	0	0
ago-2083	0	0	586	0
set-2083	267	5068	1182	0
out-2083	2372	3311	2205	4884
nov-2083	34	3339	5081	118
dez-2083	2605	2710	4975	858
jan-2084	3762	6300	8426	2313
fev-2084	121	5141	3076	5029
mar-2084	2470	2136	1625	1162
abr-2084	5070	3611	0	459
mai-2084	717	696	0	0
jun-2084	164	1	0	552
jul-2084	0	0	0	0
ago-2084	0	0	0	0
set-2084	0	125	0	522
out-2084	412	1457	143	3627
nov-2084	1932	1700	312	3839
dez-2084	763	7055	4897	2164
jan-2085	913	3556	8199	2736
fev-2085	1106	2118	836	2058
mar-2085	0	576	5	108
abr-2085	692	3035	2877	0
mai-2085	659	546	0	0
jun-2085	0	0	0	0
jul-2085	0	0	0	0
ago-2085	0	0	0	0
set-2085	1203	0	0	0
out-2085	704	1121	27	750

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2085	3723	1814	375	1836
dez-2085	287	149	216	3336
jan-2086	4993	9416	2622	4446
fev-2086	4063	9536	912	1077
mar-2086	6373	2323	162	3230
abr-2086	1550	2407	1052	1838
mai-2086	607	0	900	434
jun-2086	9	0	0	1
jul-2086	0	0	0	0
ago-2086	372	0	0	0
set-2086	315	0	0	0
out-2086	3828	1339	3941	5737
nov-2086	2723	11116	2029	495
dez-2086	1542	5310	2585	5860
jan-2087	1550	1	3773	7003
fev-2087	241	9118	1920	1791
mar-2087	4522	53	4283	1066
abr-2087	215	1160	323	1936
mai-2087	1173	0	1072	784
jun-2087	0	0	0	0
jul-2087	0	0	0	0
ago-2087	0	0	0	3217
set-2087	0	1052	915	926
out-2087	7	0	401	696
nov-2087	1876	945	4663	652
dez-2087	758	341	2667	3506
jan-2088	422	4111	59	4294
fev-2088	354	9326	4324	1359
mar-2088	3436	1317	3822	0
abr-2088	5048	3961	1957	1488
mai-2088	3892	794	2353	2035
jun-2088	0	0	579	0
jul-2088	893	0	0	0
ago-2088	433	0	118	0
set-2088	288	4583	0	0
out-2088	1690	1994	460	423
nov-2088	1256	3741	5811	1067
dez-2088	3268	2398	1667	2233
jan-2089	953	6965	2926	953
fev-2089	1011	2600	1014	360
mar-2089	721	6485	2785	251
abr-2089	1394	342	251	562
mai-2089	2101	286	300	149
jun-2089	160	0	0	0
jul-2089	0	0	0	270
ago-2089	91	0	263	0
set-2089	445	0	1537	0
out-2089	1238	439	743	6676
nov-2089	8005	894	561	1016
dez-2089	9617	2108	2117	4484
jan-2090	3230	4742	989	5489
fev-2090	766	3679	1	1931
mar-2090	45	2924	69	3637
abr-2090	5850	6206	1840	4050

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
mai-2090	26	0	184	0
jun-2090	0	0	0	0
jul-2090	0	0	339	0
ago-2090	758	0	0	3234
set-2090	281	0	254	1
out-2090	2591	244	504	1204
nov-2090	703	383	1710	2421
dez-2090	3765	2650	4100	1230
jan-2091	4799	2045	5054	2062
fev-2091	4306	4200	1258	4636
mar-2091	2965	1567	1805	3898
abr-2091	0	719	576	3383
mai-2091	0	625	611	0
jun-2091	0	0	709	0
jul-2091	0	0	0	0
ago-2091	0	160	0	0
set-2091	0	2305	0	0
out-2091	1207	518	1425	247
nov-2091	13187	3142	1552	1592
dez-2091	7479	1854	5253	6758
jan-2092	3940	0	10847	5474
fev-2092	4597	2411	10247	1241
mar-2092	1135	2275	1956	2604
abr-2092	210	1894	911	296
mai-2092	0	304	553	62
jun-2092	0	0	0	0
jul-2092	0	260	0	0
ago-2092	0	0	138	0
set-2092	0	0	7	285
out-2092	212	679	0	0
nov-2092	7968	4470	4976	4361
dez-2092	5693	10059	1730	2909
jan-2093	13763	3709	3256	9411
fev-2093	9432	947	664	298
mar-2093	1819	4861	408	1185
abr-2093	1200	911	194	165
mai-2093	3140	1275	8	0
jun-2093	16	111	0	0
jul-2093	0	0	0	0
ago-2093	0	0	0	0
set-2093	1005	0	228	0
out-2093	1420	228	416	0
nov-2093	546	3534	597	0
dez-2093	1125	452	4181	235
jan-2094	1897	11761	3469	458
fev-2094	998	8567	1388	215
mar-2094	6587	1962	338	1047
abr-2094	743	762	1700	1485
mai-2094	0	0	166	384
jun-2094	0	0	0	0
jul-2094	0	0	0	0
ago-2094	0	0	0	0
set-2094	1714	0	29	0
out-2094	4986	2542	1341	2166

HEC/VG	Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )	Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam <sup>3</sup> )
nov-2094	223	3518	2458	2828
dez-2094	4175	4812	4934	911
jan-2095	0	3445	1358	205
fev-2095	0	1598	263	3826
mar-2095	2672	3368	2322	0
abr-2095	898	1691	1505	338
mai-2095	90	0	2167	0
jun-2095	0	77	0	123
jul-2095	0	0	0	0
ago-2095	124	0	0	0
set-2095	0	254	0	0
out-2095	2267	31	2030	978
nov-2095	649	2685	5191	5187
dez-2095	1856	0	3005	2230
jan-2096	80	1061	5492	3012
fev-2096	2695	0	2050	1984
mar-2096	514	3019	3825	4423
abr-2096	7465	1750	0	838
mai-2096	1007	122	2	0
jun-2096	191	0	361	0
jul-2096	0	0	0	0
ago-2096	0	0	0	0
set-2096	0	731	7097	511
out-2096	2796	525	0	2
nov-2096	1920	5958	641	894
dez-2096	9603	0	725	2072
jan-2097	355	11845	386	5819
fev-2097	6350	152	2109	2675
mar-2097	1923	920	2161	653
abr-2097	68	1892	2470	0
mai-2097	911	3187	301	708
jun-2097	0	0	0	0
jul-2097	0	0	0	0
ago-2097	0	0	0	11
set-2097	0	0	0	0
out-2097	858	478	3817	467
nov-2097	514	4298	1956	3249
dez-2097	3610	5913	4853	2043
jan-2098	2271	4465	710	8695
fev-2098	4960	1859	890	1609
mar-2098	6941	1916	2595	916
abr-2098	2966	2583	1370	1879
mai-2098	274	0	944	1223
jun-2098	185	0	0	184
jul-2098	1	0	0	0
ago-2098	0	0	0	0
set-2098	269	597	114	0
out-2098	1287	1151	55	5608
nov-2098	3591	7	1119	5160
dez-2098	5394	1710	3835	4271
jan-2099	403	902	5904	6939
fev-2099	0	2875	5587	1364
mar-2099	1316	795	1020	480
abr-2099	2732	89	4922	106

<b>HEC/VG</b>	<b>Volume simulado RACMO22E RCP4.5 (dam<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume simulado RCA4 RCP4.5 (dam<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume simulado RACMO22E RCP8.5 (dam<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume simulado RCA4 RCP8.5 (dam<sup>3</sup>)</b>
mai-2099	286	3796	23	0
jun-2099	0	528	0	0
jul-2099	0	0	0	0
ago-2099	0	0	251	0
set-2099	632	149	133	0
out-2099	399	1537	268	2858
nov-2099	3812	859	3681	7423
dez-2099	102	1096	2652	2053
jan-2100	3471	9354	5419	4828
fev-2100	4223	6285	5531	288
mar-2100	1365	2055	1695	34
abr-2100	245	890	97	499
mai-2100	684	0	306	0
jun-2100	257	0	0	0
jul-2100	0	0	0	0
ago-2100	0	6	0	3
set-2100	111	0	348	1987
out-2100	1038	0	1273	516
nov-2100	3858	2200	7	434
dez-2100	2674	1798	11649	4573

Tabela 7.7 – Estimativa dos valores de parâmetros de calibração para todas as classes de CORINE Land Cover (Gomes, 2008)

CLASSE	CODE	Canopy (%)	Surface (%)	Soil (%)	Groundwater 1 (%)	Groundwater 2 (%)	Canopy Storage (mm)	Surface storage (mm)	Maximum infiltration (mm/hr)	Impervious (%)	Soil storage (mm)	Tension Storage (mm)	Soil percolation (mm/hr)	Soil tension (mm)	Groundwater 1 Storage (mm)	Groundwater 1 percolation (mm/hr)	Groundwater coefficient (j)
Tecido urbano contínuo	111	0	100	0	0	0	0,0	6,35	50,0	80	200	12	1,2	50	0	0	0
Tecido urbano descontínuo	112	0	80	20	0	0	0,0	5,00	100,0	60	200	12	1,2	150	0	0	0
Indústria, comércio e equipamentos gerais	121	0	100	0	0	0	0,0	5,50	50,0	75	200	12	1,2	150	0	0	0
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	122	0	90	10	0	0	0,0	6,35	200,0	82,5	200	12	1,2	75	0	0	0
Zonas portuárias	123	0	20	100	0	0	0,0	5,00	230,0	100	200	12	150	100	0	0	0
Aeroportos	124	0	80	20	0	0	0,0	6,35	200,0	82,5	200	12	1,5	200	0	0	0
Áreas de extração mineira	131	0	10	90	0	0	0,0	7,00	10,0	50	300	12	0,5	350	0	0	0
Áreas de deposição de resíduos	132	0	90	10	0	0	0,0	50,00	0,5	25	300	12	1,2	200	0	0	0
Áreas em construção	133	0	90	10	0	0	0,0	10,00	0,5	82,5	300	12	1,2	250	0	0	0
Espacos verdes urbanos	141	40	0	60	0	0	2,0	50,00	150,0	35	500	12	1,5	280	0	0	0
Equipamentos desportivos e de lazer	142	0	90	10	0	0	0,0	6,35	150,0	85	200	12	1,2	150	0	0	0
Culturas anuais de sequeiro	211	20	0	80	0	0	1,3	50,00	150,0	50	500	12	10	300	0	0	0
Culturas anuais de regadio	212	10	0	90	0	0	1,3	50,00	150,0	20	500	12	10	100	0	0	0
Arrozais	213	0	0	100	0	0	0,0	3,20	230,0	80	500	12	10	100	0	0	0
Vinhais	221	30	0	70	0	0	4,0	1,00	150,0	30	500	12	1,2	280	0	0	0
Pomares	222	80	0	20	0	0	4,0	12,70	150,0	30	500	12	1,2	250	0	0	0
Olivais	223	80	0	20	0	0	4,0	12,70	150,0	30	500	12	1,2	280	0	0	0
Pastagens	231	10	0	90	0	0	2,0	35,00	150,0	35	500	12	1,2	220	0	0	0
Culturas anuais associadas as culturas permanentes	241	20	0	80	0	0	5,1	12,70	150,0	40	500	12	10	220	0	0	0
Sistemas culturais e parcelares complexos	242	20	0	80	0	0	2,0	12,70	100,0	40	400	12	5	250	0	0	0
Agricultura com espaços naturais	243	20	0	80	0	0	1,3	12,70	150,0	40	500	12	5	250	0	0	0
Sistemas agro-florestais	244	50	0	50	0	0	4,0	10,00	100,0	40	500	12	5	280	0	0	0
Florestas de folhosas	311	90	0	10	0	0	5,1	35,00	100,0	30	500	12	2	260	0	0	0
Florestas de resinosas	312	90	0	10	0	0	5,1	35,00	100,0	30	500	12	2	280	0	0	0
Florestas mistas	313	90	0	10	0	0	5,1	35,00	100,0	30	500	12	2	260	0	0	0
Pastagens naturais	321	10	0	90	0	0	5,0	12,70	100,0	35	500	12	2	260	0	0	0
Matos	322	90	0	10	0	0	3,5	12,70	100,0	30	500	12	2	260	0	0	0
Vegetação esclerofítica	323	80	0	20	0	0	2,0	12,70	100,0	25	500	12	2	260	0	0	0
Espacos florestais degradados, cortes e novas plantações	324	40	0	60	0	0	2,0	12,70	150,0	30	500	12	1,2	220	0	0	0
Praias, dunas e areais	331	0	0	100	0	0	0,0	1,00	230,0	10	508	12	200	100	0	0	0
Rocha nua	332	0	100	0	0	0	0,0	6,35	0,5	100	100	12	0,5	50	0	0	0
Vegetação esparsa	333	30	0	70	0	0	1,3	6,35	150,0	30	500	12	1,2	150	0	0	0
Áreas áridas	334	0	0	100	0	0	0,0	35,00	150,0	30	500	12	1,2	200	0	0	0
Paus	411	5	0	95	0	0	1,3	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Sapais	421	5	0	95	0	0	1,3	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Salinas	422	0	0	100	0	0	0,0	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Zonas interflúvias	423	0	0	100	0	0	0,0	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Linhas de água	511	0	0	100	0	0	0,0	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Planos de água	512	0	0	100	0	0	0,0	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Lagunas litorais	521	0	0	100	0	0	0,0	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0
Estuários	522	0	0	100	0	0	0,0	50,00	230,0	100	500	12	200	100	0	0	0

