



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



Cátia Sofia da Cruz Bento

ADAPTAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DE ALBUFEIRAS A
CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente, orientada pelo Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e pela Professora Doutora Maria da Conceição Morais de Oliveira Cunha e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fevereiro 2019



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Cátia Sofia da Cruz Bento

ADAPTAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DE ALBUFEIRAS A CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

ADAPTATION OF WATER RESERVOIR SYSTEMS OPERATION TO FUTURE CLIMATE SCENARIOS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, na área de Especialização em Território e Gestão do Ambiente, orientada pelo Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e pela Professora Doutora Maria da Conceição Morais de Oliveira Cunha

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, declina qualquer
responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões
que possam surgir.

Coimbra, 7 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Durante todo mestrado, mas em especial na realização da presente dissertação, pude contar com o apoio e incentivo de algumas pessoas, aproveito agora para expressar o meu agradecimento a todos os que fizeram parte de alguma forma e ajudaram a concluir esta etapa.

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar aos meus orientadores, ao Professor Doutor João Carlos dos Santos Alves Vieira e à Professora Doutora Maria da Conceição Morais de Oliveira Cunha, pelo apoio, orientação e disponibilidade demonstrada ao longo desta etapa.

Ao Ricardo Luís, agradeço a cedência de informação, mas principalmente a ajuda, amizade e todos os conselhos.

Às Águas do Algarve S.A e à Administração da Região Hidrográfica do Algarve – Agência Portuguesa do Ambiente agradeço a colaboração e a cedência de informação.

À equipa do AQUATOOL+ da Universidade Politécnica de Valência pela disponibilização da licença.

A toda a minha família, agradeço o carinho e apoio demonstrado. Mas em especial agradeço aos meus pais, tudo o que fizeram por mim, todo o esforço, preocupação e amor incondicional. Ao meu irmão, agradeço do fundo do meu coração toda a ajuda, conselhos, preocupação e motivação em todos os momentos.

Ao Bruno, um agradecimento especial pela paciência, apoio e amor demonstrado.

Aos amigos de sempre e para sempre, Daniela, Patrícia, Marco e Miguel, obrigada pela amizade, preocupação, pelo apoio e força ao longo de todo o percurso académico partilhado em Coimbra e não só.

Um obrigado à Carla, por tudo, por estar sempre presente, por ser uma verdadeira amiga nos bons e maus momentos, pelas palavras de incentivo e carinho. Às amigas de Coimbra, Raquel, Isabel e Catarina, agradeço a amizade, as parvoíces, e aventuras ao longo destes anos.

Por fim, um agradecimento a todos os que direta ou indiretamente fizeram parte desta etapa. O meu obrigada.

RESUMO

Ao longo dos anos, a variabilidade climática ganhou importância devido aos impactos negativos no planeta Terra. A partir dos fenómenos meteorológicos extremos e da incerteza destes eventos, surgiu a necessidade de analisar o comportamento e disponibilidade dos recursos hídricos para conseguir satisfazer as necessidades hídricas. Na presente dissertação, pretendeu-se avaliar diferentes estratégias e reduzir os efeitos dos eventos de escassez de recursos, a partir da simulação e adaptação da exploração do empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche, para diferentes cenários climáticos futuros no período de 2021/2050, com a aplicação de diferentes regras de exploração alternativas. O desempenho do sistema é simulado com base num sistema de apoio à decisão, o software AQUATOOL+. De forma a ir ao encontro do objetivo da dissertação, a metodologia considerada envolveu: a caracterização do empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche; a análise dos cenários climáticos futuros a utilizar; a definição de regras de exploração; a simulação do comportamento da albufeira; e a análise do desempenho do sistema com recurso a indicadores de desempenho. Para além da simulação do sistema com a regra de exploração padrão (SOP, do inglês Standard Operating Policy), foram experimentadas quatro regras de exploração diferentes, nas quais se impuseram restrições crescentes à satisfação da procura para menores volumes armazenados, variando a condição de ativação dessas mesmas restrições. No estudo de caso, a condição de ativação foi definida em função de volumes armazenados, tendo-se experimentado quatro valores diferentes para o início da imposição de restrições à satisfação da procura. Os resultados obtidos mostram que, a simulação com a regra SOP apresenta um menor número de situações de défices, contudo a gravidade desses défices pode ser elevada. Com as outras regras, à medida que as restrições se iniciam com um volume armazenado na albufeira superior, a quantidade de défices gerados é superior, contudo a gravidade dos défices é menor. No geral, os resultados mais positivos foram obtidos com a regra SOP e com a regra de exploração com o nível de ativação mais baixo. Importante realçar que para a população é preferível, em geral, confrontar-se com pequenos défices em largos períodos de tempo do que grandes défices em curtos períodos de tempo. Concluindo, todas as simulações com aplicação de regras de exploração apresentam vantagens e desvantagens, a sua aplicação deve ser devidamente fundamentada e estudada caso a caso.

Palavras-chave: Regras de Exploração, Cenários Climáticos Futuros, AQUATOOL+, Empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche.

ABSTRACT

Over the years, climate variability has become increasingly important due to its negative impacts on the planet Earth. Therefore, from the extreme weather phenomena and the uncertainty of these events, appeared the necessity to analyze the behavior and disponibility of water resources, to allow the satisfaction of the basic water needs. In this dissertation, it is intended to study and evaluate different strategies to prevent and reduce the effect of water scarcity events, through the simulation and adaptation of the multipurpose system of Odeleite-Beliche operation to different future climate scenarios in the period 2021/2050, with the application of different operating rules. The simulation of the system performance is based on a decision support system, software AQUATOOL+. To meet the objectives, the methodology used involved: the characterization of the multipurpose system of Odeleite-Beliche; the analysis of the future climate scenarios; definition of the operating rules; simulation of the water resource system; and system performance evaluation with performance criteria. Beyond the system simulation with the standard operating rule, SOP (Standard Operating Policy), four different rules were evaluated, each one with increasing restrictions imposed on the demand satisfaction for smaller storage volumes, varying the activation condition for the restrictions. In the case of study, the activation condition was defined from the storage volume, having tested four different values for the beginning of the imposition of restrictions on demand satisfaction. The results showed that the simulation with the rule SOP, show a lower number of deficit situations, however the severity of those deficits can be bigger. With the other rules, when the restrictions initiate with a volume storage in the water resource system higher, the amount of deficits is higher, however the severity of the deficits is lower. The most positive results were obtained with the rule SOP, and with the operating rule with the activation level with the smaller storage volume. To the population, in general, it is better to have smaller deficits for a large period of time, than big deficits for a shorter period of time. In conclusion, all the simulations with application of operating rules introduce advantages and disadvantages, however to be applied the system must be studied case by case.

Keywords: Operating Rules, Future Climate Scenarios, AQUATOOL+, Multipurpose System of Odeleite-Beliche.

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice	iv
Índice de Figuras	vi
índice de Quadros	vii
Abreviaturas.....	viii
Simbologia.....	x
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo do trabalho	2
1.3 Estrutura do trabalho.....	3
2 Gestão de Albufeiras	4
2.1 Introdução	4
2.2 Regras de Exploração definidas à priori	7
2.2.1 Regra de exploração padrão	7
2.2.2 Modificação à regra de exploração padrão.....	8
2.3 Definição das regras de exploração	12
2.4 Indicadores de Desempenho	13
2.4.1 Fiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade	14
2.4.2 Outros Indicadores de Desempenho	16
3 AQUATOOL+	18
3.1 Introdução	18
3.2 Regras de exploração	20
4 Estudo de caso.....	22
4.1 Introdução	22
4.2 Caracterização do empreendimento de fins múltiplos	23
4.3 Cenários Hidrológicos	25

4.4	Representação do EFM no AQUATOOL.....	28
4.5	Regras de exploração	31
5	Resultados	36
5.1	Introdução	36
5.2	Fiabilidade.....	37
5.2.1	Fiabilidade – Simulação SOP	37
5.2.2	Fiabilidade – Simulação X 3/4	38
5.2.3	Fiabilidade – Simulação X 2/3	39
5.2.4	Fiabilidade – Simulação X 1/2	40
5.2.5	Fiabilidade – Simulação X 1/3	41
5.2.6	Fiabilidade Média	42
5.3	Máximo Défice Mensal.....	44
5.4	# Défices 100%	45
5.5	Critérios do Plano Especial de Secas	46
5.6	Análise de Sensibilidade	48
5.7	Análise em Pormenor.....	52
5.7.1	Cenário Hidrológico Húmido	52
5.7.2	Cenário Hidrológico Seco	56
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	60
6.1	Conclusões	60
6.2	Trabalhos Futuros	62
	Referências Bibliográficas.....	64
	Anexo A – Resultados	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração da regra de exploração SOP (adaptado de Oliveira, 2017)	8
Figura 2.2 – Ilustração regra de exploração do tipo “hedging” – Exemplo 1 (adaptado de Oliveira, 2017).....	9
Figura 2.3 – Ilustração regra de exploração do tipo “hedging” – Exemplo 2 (adaptado de Oliveira, 2017).....	10
Figura 2.4 – Ilustração regra de exploração do tipo “hedging” – Exemplo 3 (adaptado de Oliveira, 2017).....	10
Figura 2.5 – Ilustração regra de exploração do tipo “hedging” – Exemplo 4 (adaptado de Oliveira, 2017).....	11
Figura 2.6 – Representação da curva guia (retirado de Oliveira, 2017).....	12
Figura 2.7 – Representação das características de um evento de falha (adaptado de Kjeldsen e Rosbjerg (2004)).....	15
Figura 3.1 – <i>Software</i> AQUATOOL+ (retirado de IIAMA, 2018).....	18
Figura 3.2 – Excerto da interface gráfica do <i>software</i> AQUATOOL+.....	19
Figura 3.3 – Curva de valores escalonada	21
Figura 4.1 – Representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche.....	23
Figura 4.2 – Barragem de Odeleite (retirado de Município de Castro Marim, 2018).....	24
Figura 4.3 – Barragem de Beliche (retirado de Águas do Algarve, 2018).....	25
Figura 4.4 – Representação esquemática dos 36 cenários hidrológicos.....	27
Figura 4.5 – Representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche (estudo de caso).....	28
Figura 4.6 – Representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche (interface do <i>software</i> AQUATOOL+)	29
Figura 4.7 – Representação esquemática do volume armazenado por zonas.....	32
Figura 4.8 – Curva de valores escalonada	33
Figura 5.1 – Fiabilidade – Simulação SOP.....	38
Figura 5.2 – Fiabilidade – Simulação X 3/4.....	38
Figura 5.3 – Fiabilidade – Simulação X 2/3.....	39
Figura 5.4 – Fiabilidade – Simulação X 1/2.....	41
Figura 5.5 – Fiabilidade – Simulação X 1/3.....	41
Figura 5.6 – Fiabilidade Média.....	43
Figura 5.7 – Média do Máximo Défice Mensal (%).....	44
Figura 5.8 – Somatório dos meses com défices 100%	45
Figura 5.9 – Critérios do PES – SOP.....	47
Figura 5.10 – Critérios do PES – X 3/4.....	47
Figura 5.11 – Critérios do PES – X 2/3.....	47
Figura 5.12 – Critérios do PES – X 1/2.....	47

Figura 5.13 – Critérios do PES – X 1/3	47
Figura 5.14 – Fiabilidade Média.....	49
Figura 5.15 – Média do Máximo Défice Mensal (%).....	50
Figura 5.16 – Somatório dos meses com défices 100%	50
Figura 5.17 – Critérios do PES – X 1/3_2.....	51
Figura 5.18 – Fiabilidade – Cenário Húmido	53
Figura 5.19 – Máximo Défice Mensal – Cenário Húmido	53
Figura 5.20 – Critérios do PES – Cenário Húmido	54
Figura 5.21 – Volume armazenado e défices – Simulação SOP – Cenário Húmido	55
Figura 5.22 – Volume armazenado e défices – Simulação X 1/3 – Cenário Húmido.....	55
Figura 5.23 – Fiabilidade – Cenário Seco	56
Figura 5.24 – Máximo Défice Mensal (%) – Cenário Seco	56
Figura 5.25 – Critérios do PES – Cenário Seco	57
Figura 5.26 – Volume armazenado e défices – Simulação SOP – Cenário Seco.....	58
Figura 5.27 – Volume armazenado e défices – Simulação X 1/3 – Cenário Seco	58

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Elementos possíveis de inserir no software AQUATOOL+	19
Quadro 4.1 – Necessidades de água para o abastecimento público e rega.	30
Quadro 4.2 – Volumes de ativação das diferentes zonas para os quatro níveis de ativação	34
Quadro 4.3 – Coeficientes de restrição aplicáveis a cada zona	34
Quadro 5.1 – Dados de entrada para a simulação X 1/3_2.....	49

ABREVIATURAS

AP – Abastecimento Público

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CE – Caudais Ecológicos

CLMcom-CCIm 4-8-17 – abreviado CLMcom (Modelo Climático Regional)

CNA – Conselho Nacional da Água

CNRM-CERFACSCNRM-CM5 – abreviado CNRM (Modelo Climático Global)

DC – *Delta Change*

DF – *Direct Forcing*

DQA – Diretiva Quadro da Água

EFM – Empreendimento de fins múltiplos

ETA – Estação de Tratamento de Água

GEE – Gases de Efeito de Estufa

ICHEC-EC-EARTH – abreviado ICHEC (Modelo Climático Global)

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas)

LA – Lei da Água

MCR – Modelo Climático Regional

MCG – Modelo Climático Global

MPI-M-MPI-ESM-LR – abreviado MPI (Modelo Climático Global)

NPA – Nível pleno de armazenamento

ONU – Organização das Nações Unidas

PES – Plano Especial de Secas da bacia do Guadiana

PGRH – Planos de Gestão da Região Hidrográfica

PNA – Plano Nacional da Água

QM – *Quantile Mapping*

R – Rega

RCP – *Representative Concentrations Pathways*

SAD – Sistema de apoio à decisão

SOP – *Standard Operating Policy*

SMHI-RCA4 – abreviado SMHI (Modelo Climático Regional)

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SIMBOLOGIA

$d(j)$ – Duração da falha j

E_t – Volume evaporado no período t

M – Número total de eventos de falha no período de análise

N_t – Volume de procura de água no período t

Q_t – Volume de afluições no período t

R_t – Volume captado e distribuído no período t

S_t – Volume descarregado por exceder a capacidade de armazenamento no período t

T – Período de análise, dividido em t períodos

$v(j)$ – Défice corresponde à falha j

V_t – Volume armazenado no final do período t

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A sobrevivência do ser humano depende do consumo de água, e a importância deste recurso é inquestionável. Ao longo dos anos, analisar o comportamento dos recursos hídricos e a sua distribuição tornou-se imprescindível. Se a distribuição dos recursos hídricos já não era uniforme, a variabilidade climática veio afetar todas as regiões do mundo, e intensificar os fenómenos meteorológicos extremos. De salientar a incerteza destes eventos, e as suas consequências (ONU, 2019a).

Tendo em consideração que a água não se encontra uniformemente distribuída no planeta Terra, a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2010 estabeleceu o direito humano à água e ao saneamento. O objetivo é que todos os seres humanos por direito, tenham acesso a água em quantidade suficiente, e em condições seguras, para uso pessoal e doméstico (entre 50 a 100 litros de água por pessoa e por dia) (ONU, 2019a).

A ONU (2019b) definiu a variabilidade climática como o problema do século XXI, com caráter decisivo e crítico. Juntamente com outras organizações a ONU, fundou o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2019), e com o 5º Relatório (IPCC, 2014), concluiu que as atividades do ser humano são a sua principal causa (ONU, 2019b).

Em 2015, foram definidos os 17 objetivos do Desenvolvimento Sustentável, a aplicar até ao ano de 2030. Os objetivos tem como propósito, a nível global, acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o meio ambiente e combater as alterações climáticas. A conservação e o direito à água juntamente com o alerta para a variabilidade climática, correspondem a dois desses objetivos (ONU, 2017).

Nesta dissertação, o assunto principal irá assentar nos dois objetivos mencionados anteriormente, isto é, analisar as disponibilidades dos recursos hídricos e realizar a sua exploração adequada, a partir de cenários climáticos futuros. O problema que irá ser abordado, consiste na correta adaptação da exploração de albufeiras às alterações climáticas com base na utilização de regras de exploração.

De modo a chegar a uma solução irá ser utilizado um modelo de apoio à decisão, o software AQUATOOL+, que permite simular o comportamento de albufeiras e utilizar regras de exploração para a afetação dos recursos hídricos. As regras de exploração são guias que permitem reduzir a afetação e distribuição de recursos, de modo a salvaguardar recursos para posterior utilização.

Geograficamente, o estudo de caso da presente dissertação situa-se na região do Sotavento Algarvio (região sul de Portugal). Esta região é caracterizada por níveis de precipitação reduzidos e temperaturas elevadas durante grande parte do ano. E contempla o Empreendimento de fins múltiplos (EFM) de Odeleite-Beliche. O rio Guadiana faz parte da região do Sotavento Algarvio, é um rio partilhado entre Portugal e Espanha, e a albufeira de Odeleite e a albufeira de Beliche pertencem a este rio. O país vizinho possui um Plano Especial de Secas (PES) para a bacia do Guadiana, que contém planos de atuação a aplicar em situações adversas, e ajuda na tomada de decisão. Como Portugal não possui este tipo de legislação específica, com medidas a aplicar para cada bacia hidrográfica, o PES irá ter um papel preponderante na definição e compreensão dos resultados.

Face ao desenvolvimento, elevado turismo e população flutuante, a região do Sotavento Algarvio necessita de uma correta gestão dos recursos hídricos, para satisfazer as necessidades hídricas existentes, quer em quantidade quer em qualidade.

Muito se discute o conceito de variabilidade climática e de alterações climáticas, juntamente com o problema da falta de água e as suas preocupações inerentes, neste sentido o tema da presente dissertação é um assunto da atualidade. A solução mais adequada para o presente e para o futuro, será a com mais vantagens e menos consequências para a população, meio ambiente e infraestrutura.

1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo geral da presente dissertação consiste, em simular o comportamento de uma albufeira, em concreto o empreendimento de fins múltiplos (EFM) de Odeleite-Beliche. Para isso, é necessário aplicar um modelo de apoio à decisão (AQUATOOL+), cenários climáticos futuros, e regras de exploração na afetação dos recursos. A partir da avaliação do desempenho do sistema, pretende-se encontrar a melhor solução a aplicar ao estudo de caso.

Depois de definir o problema é necessário uma metodologia rigorosa para alcançar soluções práticas e coerentes, criando assim um consenso entre a realidade e o que a sociedade precisa, a metodologia a aplicar ao estudo de caso, integra três fases diferentes (Cunha, 2006).

Em primeiro lugar, a fase de diagnóstico, consiste na caracterização do estudo de caso e dos recursos disponíveis a intervir. Isto é, analisar o empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche, e caracterizar os cenários hidrológicos para o período de 2021/2050 a utilizar.

Numa segunda fase segue-se a fase da estratégia, que consiste na definição de um conjunto de medidas a implementar, tendo em conta os objetivos e as utilizações previstas. Isto é, definir as regras de exploração a aplicar ao EFM de Odeleite-Beliche, nomeadamente os níveis de ativação, os coeficientes de restrição das regras, e as procuras a ser afetadas.

Na terceira fase é estabelecido o programa ou esquema a seguir, com vista a atingir os objetivos previamente definidos. Depois de definir o EFM de Odeleite-Beliche, caracterizar os cenários hidrológicos, e definir as regras de exploração, é possível simular o comportamento da albufeira, com base no modelo de apoio à decisão, e com um conjunto alargado de simulações e variações. Por fim, com recurso a indicadores de desempenho, avalia-se o desempenho da albufeira através dos resultados obtidos.

1.3 Estrutura do trabalho

A presente dissertação compreende seis capítulos:

- Capítulo 1: consiste numa breve introdução ao trabalho, onde é introduzido o tema, objetivo da dissertação; e metodologia que será utilizada;
- Capítulo 2: introduz o conceito de regras de exploração na temática da gestão de albufeiras, com exemplos de regras de exploração e apresenta indicadores de desempenho que permitem avaliar o comportamento da albufeira; gerais e específicos tendo em conta o estudo de caso;
- Capítulo 3: apresenta a ferramenta a utilizar na simulação do comportamento da albufeira (AQUATOOL+), e as regras de exploração integradas;
- Capítulo 4: consiste na descrição do estudo de caso, incluindo do empreendimento de fins múltiplos a analisar, possui uma breve referência aos cenários hidrológicos, e descreve as regras de exploração utilizadas;
- Capítulo 5: introduz os resultados obtidos da simulação do empreendimento de fins múltiplos, uma análise de sensibilidade, uma análise em pormenor e os respetivos comentários;
- Capítulo 6: apresenta a conclusão do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2 GESTÃO DE ALBUFEIRAS

2.1 Introdução

A dependência da humanidade em relação à água durará para sempre. A água está presente em todas as atividades humanas, e a sua importância é inquestionável para a sobrevivência, como para o bem-estar do ser humano (Loucks e Beek, 2005). A água cobre cerca de 70% da superfície do planeta Terra. Contudo, a quantidade de água doce disponível para a utilização humana, corresponde apenas a 2,5% de toda a água existente na Terra. Este recurso embora seja considerado um recurso renovável, considera-se igualmente finito e muito vulnerável (CNA, 2018). A sua distribuição não é uniforme espacialmente nem temporalmente, o que condiciona e dificulta o acesso a este recurso (Loucks e Beek, 2005). Assim sendo, são habitualmente exigidos grandes investimentos, infraestruturas (e.g. barragens) e um planeamento adequado para realizar uma exploração adequada dos recursos disponíveis.

As barragens consistem em infraestruturas hidráulicas construídas pelo Homem, que retêm a água dos rios, criando deste modo albufeiras. Com base na Lei da Água (LA) (Lei n.º58/2005, de 29 de Dezembro), pode-se definir as barragens como infraestruturas com carácter fixo nos leitos ou margens, e que têm como objetivo facilitar o acesso e permitir a utilização da água. Estas tornaram-se indispensáveis e acarretam inúmeras vantagens, como o melhoramento da qualidade de vida das populações vizinhas, produção de energia, controlo de cheias, e abastecimento de água quer para fins domésticos quer para fins industriais e irrigação (APA, 2018a).

Deste modo, as albufeiras trazem imensos benefícios a nível social, económico e ambiental, e têm um papel preponderante na gestão dos recursos hídricos. Contudo, as albufeiras também têm impactes negativos como por exemplo a inundação de vales aquando da construção da barragem, e conseqüente deslocação de pessoas, a alteração de ecossistemas e interrupção do transporte de sedimentos. É imperativo no momento da construção da infraestrutura prever e precaver os possíveis acontecimentos, minimizando assim os impactes (APA, 2018a).

O planeamento dos recursos hídricos permite orientar a proteção e a gestão das águas, compatibilizando as suas utilizações com a sua disponibilidade, de forma a garantir a sua utilização sustentável, ou seja, assegurando a satisfação das necessidades das gerações atuais não comprometendo a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Proporciona também critérios de afetação aos vários tipos de utilizações pretendidas, tendo em conta o valor económico de cada um, e fixa normas de qualidade ambiental e critérios relativos ao estado das águas (APA, 2018b).

Como Autoridade Nacional da Água, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), tem a competência de estabelecer um planeamento integrado das águas adaptado às características que integram cada região/bacia hidrográfica.

A Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro) abrange o enquadramento para a gestão correta das águas superficiais, em específico das águas interiores, de transição, costeiras, e águas subterrâneas. Com o intuito de promover uma utilização sustentável da água, evitar a contínua deterioração e proteger/melhorar o estado dos ecossistemas, juntamente com a prevenção e eliminação de focos de poluição. A Lei da Água transpôs para a ordem jurídica nacional a Diretiva Quadro da Água (DQA) (Directiva 2000/60/CE de 23 de Outubro), do Parlamento Europeu e do Conselho, que posteriormente foi alterada e republicada pelo Decreto-Lei n.º 130/2012 de 22 de junho.

Em Portugal o planeamento das águas é concretizado através de instrumentos como o Plano Nacional da Água (PNA) de extensão territorial e que abrange todo o território nacional, os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) que abrangem as bacias hidrográficas e as águas costeiras integradas na mesma região hidrográfica, e os Planos Específicos de Gestão de Águas que complementam os PGRH, e podem ser de âmbito territorial ou sectorial (APA, 2018b).

Quando ocorrem falhas na gestão e na tomada de decisão em âmbitos para além dos recursos hídricos, as albufeiras tornam-se inadequadas ou desajustadas. De forma a garantir que o sistema é sustentável, adequado, pouco dispendioso e que a água tem qualidade tanto para a população como para a viabilidade do ecossistema, é necessário ter em atenção fatores socioeconómicos (Loucks e Beek, 2005).

Em determinadas regiões, mesmo com a gestão adequada, as albufeiras não conseguem responder a todas as procuras, por vezes nem mesmo às necessidades básicas da população. Estas situações são devido a causas como, infraestruturas danificadas, poluição através de atividades industriais e agrícolas, eutrofização, salinização, pesca excessiva ou demasiados sedimentos na albufeira (Loucks e Beek, 2005).

É possível antecipar que a água disponível se está a deteriorar, quer em quantidade quer em qualidade, em consequência da atividade humana, crescimento populacional, urbanização, erosão do solo, migração da população de zonas rurais para urbanas, da exploração excessiva dos recursos hídricos e juntamente com a variabilidade climática esta situação tende cada vez mais a agravar-se. Desta forma é necessário encontrar soluções para a correta gestão das albufeiras nomeadamente em situações com objetivos conflitantes, que ocorrem ao longo do tempo e espaço (Loucks e Beek, 2005).

Os empreendimentos de fins múltiplos (EFM) são infraestruturas hidráulicas concebidas para efetuar a gestão de vários propósitos (APA, 2018c). Importante realçar que os reservatórios com fins múltiplos frequentemente entram em conflito devido à necessidade de responder a objetivos distintos. Por exemplo um reservatório concebido para produzir energia elétrica e para distribuição de água, possui mais vantagens quando está cheio. Em contrapartida um reservatório concebido para controlo de cheias é de esperar que esteja vazio ou similar. Assim, quando se juntam os três propósitos enunciados anteriormente ocorre um conflito, impondo-se questões como, que volume de água devo armazenar e como realizar a gestão da albufeira.

Outro problema muito habitual na gestão de albufeiras é ocorrerem situações onde não há recursos hídricos disponíveis ou estes não são suficientes para satisfazer as necessidades da população. Deste modo é necessário tomar algumas medidas para solucionar o problema. Como por exemplo, realizar um controlo ou uma redução da água que é utilizada para o abastecimento, procurar outras origens onde o recurso esteja disponível, nomeadamente águas superficiais ou águas subterrâneas, dessalinização da água e reutilização da água. (Oliveira, 2017)

Pode assim dizer-se que, a gestão das albufeiras é uma tarefa complexa devido à necessidade de se ter em conta vários objetivos dos diferentes utilizadores. É uma tarefa complexa também pela necessidade de resolver conflitos constantemente, não só nas épocas do ano em que existem mais aflúncias à albufeira e o volume armazenado é maior (Outono/Inverno), mas também no período de maior utilização dos recursos e maior evaporação (Primavera/Verão) (APA, 2018d). A APA refere que nas épocas do ano em que ocorre escassez de recursos, os conflitos são resolvidos atribuindo prioridades, regras ou restrições na sua utilização, em particular o abastecimento público é prioritário a todas as outras utilizações (APA, 2018d).

As regras de exploração consistem em guias/orientações para os responsáveis pela gestão das albufeiras se orientarem nos processos de tomada de decisão (Loucks e Beek, 2005). Com base na pesquisa realizada, dividem-se as regras de exploração de albufeiras existentes em dois grandes grupos: regras de exploração definidas à priori, e regras de exploração em tempo real baseadas no estado atual do sistema e em sistemas de previsão.

As regras de exploração definidas à priori consistem em regras definidas através de modelos matemáticos conceptualizadas anteriormente, a sua escolha e aplicação depende do sistema. As regras de exploração definidas em tempo real baseadas no estado atual ou com recurso a sistemas de previsão, apenas são aplicadas para horizontes de tempo curtos devido à incerteza associada principalmente aos sistemas de previsão, à instabilidade e necessidade de atualização (Macian-Sorribes, 2017). Na presente dissertação, apenas irão ser aprofundadas as regras de exploração definidas à priori.

2.2 Regras de Exploração definidas à priori

2.2.1 Regra de exploração padrão

A regra de exploração padrão (SOP, do termo em inglês *Standard Operating Policy*) corresponde a uma política-padrão que pode ser aplicada diretamente em sistemas simples, com uma albufeira (Draper e Lund, 2004; Macian-Sorribes, 2017). É a regra de exploração mais simples e consiste na prática, em distribuir água, para uma procura qualquer, sempre que os recursos estejam disponíveis na albufeira (Taghian et al, 2013).

A equação (1), exprime o balanço hídrico de uma albufeira, que resulta das entradas e saídas de água do sistema, como consequência de características hidrológicas ou da operação de infraestruturas (Cunha, 2006). Na equação (1), V_t corresponde ao volume armazenado no final do período t na albufeira, e é definido em função do volume armazenado no final do período anterior (V_{t-1}), mais as afluências no período t (Q_t), menos a água que é distribuída para os utilizadores no período t (R_t), menos a evaporação no período t (E_t) e menos as descargas de excesso (volume descarregado quando a capacidade de armazenamento máxima é atingida) que tenham de ser efetuadas no período t (S_t).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - R_t - E_t - S_t \quad (1)$$

Para as figuras que se seguem, (Figura 2.1 a Figura 2.5), o eixo das abcissas representa o volume possível de distribuir que corresponde a $V_{t-1} + Q_t$, e o eixo das ordenadas representa a água distribuída para os utilizadores no período t (R_t), juntamente com as descargas de excesso que tenham de ser efetuadas no período t (S_t).

A Figura 2.1 ilustra a aplicação da regra de exploração padrão SOP para um período de tempo qualquer. O volume de água a distribuir (R_t), e o volume de água a descarregar (S_t) é definido em função da soma do volume de água armazenado no final do período anterior com as afluências à albufeira no período atual, isto é, $V_{t-1} + Q_t$. Tendo por base o objetivo de satisfazer uma procura N_t (Oliveira, 2017):

- Na situação em que $V_{t-1} + Q_t < N_t$ (Zona 1), o volume total de água a distribuir por aplicação da regra de exploração SOP é limitado pela água disponível na albufeira, a procura não pode ser satisfeita na totalidade ($R_t < N_t$), e no final do período atual a albufeira ficará vazia.
- Na situação em que $N_t \leq V_{t-1} + Q_t < N_t + V_{max}$ (Zona 2), a procura é satisfeita ($R_t = N_t$) e a albufeira ficará progressivamente mais cheia no final do período atual para valores crescentes da quantidade de água disponível.

- Na situação em que $V_{t-1} + Q_t \geq N_t + V_{max}$ (Zona 3), a procura é satisfeita ($R_t = N_t$), e a albufeira ficará cheia no final do período atual ($V_t = V_{max}$), e terão de se realizar descargas ($S_t > 0$) para que a capacidade de armazenamento máxima não seja excedida.

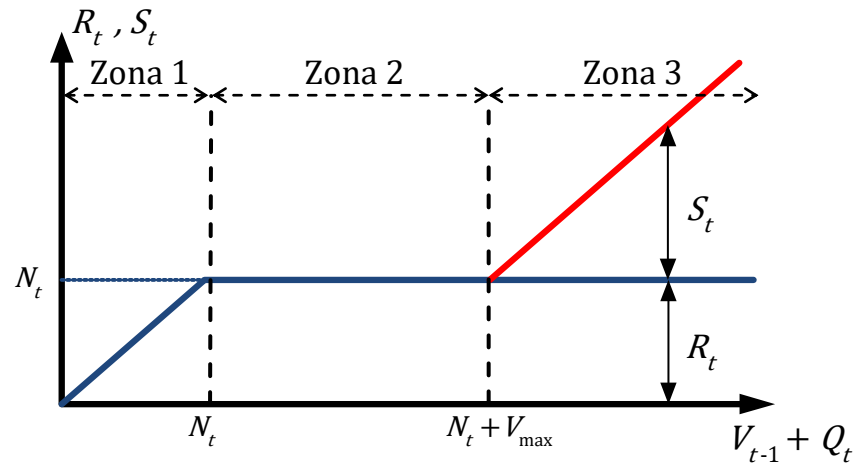


Figura 2.1 – Ilustração da regra de exploração SOP (adaptado de Oliveira, 2017)

2.2.2 Modificação à regra de exploração padrão

Apesar de ser útil para uma introdução ao tema, a regra de exploração padrão quase nunca é estritamente seguida na prática pelos responsáveis pela gestão de albufeiras. As modificações à regra de exploração apresentadas de seguida têm por ideia geral que tentar satisfazer sempre a procura não é a melhor opção. Em determinadas situações, será preferível fazer alguma salvaguarda dos recursos nas albufeiras, de modo a prevenir situações mais gravosas no futuro (Hipólito e Vaz, 2012). Sabendo que os recursos são limitados, e de forma a antecipar possíveis situações de afluências reduzidas às albufeiras, poderá ser mais adequado impor preventivamente restrições à satisfação da procura (ou impor défices), na medida em que é preferível normalmente um maior número de pequenos défices do que um menor número de grandes défices (Hipólito e Vaz, 2012).

Na literatura científica, o termo em inglês de modificações à regra de exploração padrão, que determinam uma salvaguarda dos recursos hídricos nas albufeiras é genericamente conhecido por *hedging rules*. Para a aplicação deste tipo de regras, as duas questões mais relevantes são a definição dos níveis de alerta (e.g. limiares de volumes armazenados em albufeiras) e que quantidade de água racionar em cada caso (Taghian et al, 2013).

Ao restringir os recursos disponíveis a ser libertados, pretende-se efetuar cortes na distribuição e conseqüentemente cortes na satisfação da procura. Esses cortes são normalmente crescentes com a diminuição do volume armazenado disponível, e aumentam continuamente ou de uma forma escalonada.

Seguidamente, irão ser apresentados alguns exemplos elucidativos da aplicação de regras de exploração do tipo “*hedging*”. A Figura 2.2 ilustra uma situação em que as restrições à satisfação da procura começam a ser impostas quando os recursos disponíveis ($V_{t-1} + Q_t$) são inferiores ao volume definido por K^{sup} , ou seja $V_{t-1} + Q_t \leq K^{sup}$. Atuando desta forma são impostas restrições à satisfação da procura, tal que $R_t < N_t$, de modo a que alguma água permaneça na albufeira no final de cada período no intervalo $K^{inf} \leq V_{t-1} + Q_t \leq K^{sup}$. Comparativamente à regra de exploração SOP, esta regra pretende diminuir a ocorrência de défices elevados e mais gravosos. Contudo o número de episódios em que são impostas restrições à satisfação da procura tendem a aumentar (Oliveira, 2017).

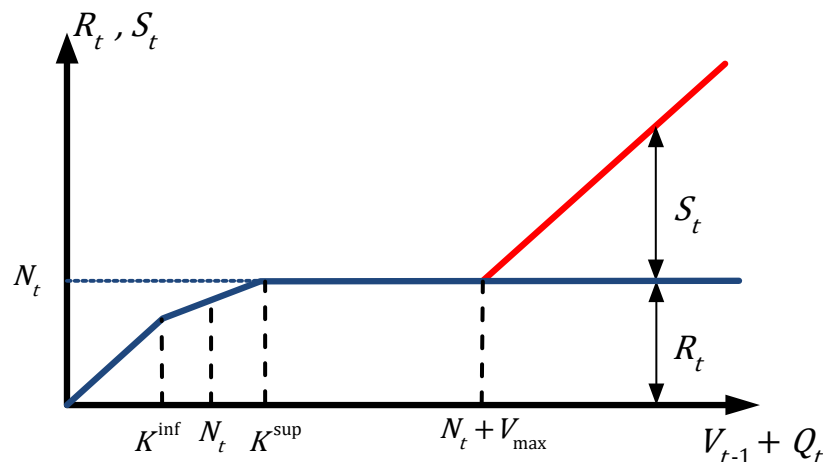


Figura 2.2 – Ilustração regra de exploração do tipo “*hedging*” – Exemplo 1 (adaptado de Oliveira, 2017)

A Figura 2.3, e em jeito de comparação com a figura anterior, mostra uma situação em que é introduzido um maior coeficiente de segurança, e onde é esperado um número mais elevado de défices. O intervalo onde são impostas restrições à satisfação da procura corresponde a $K^{inf} \leq V_{t-1} + Q_t \leq K^{sup}$, e no final do período pretende se que a albufeira não fique totalmente vazia. O intervalo $[K^{inf}; K^{sup}]$ é superior ao intervalo da Figura 2.2 (Oliveira, 2017).

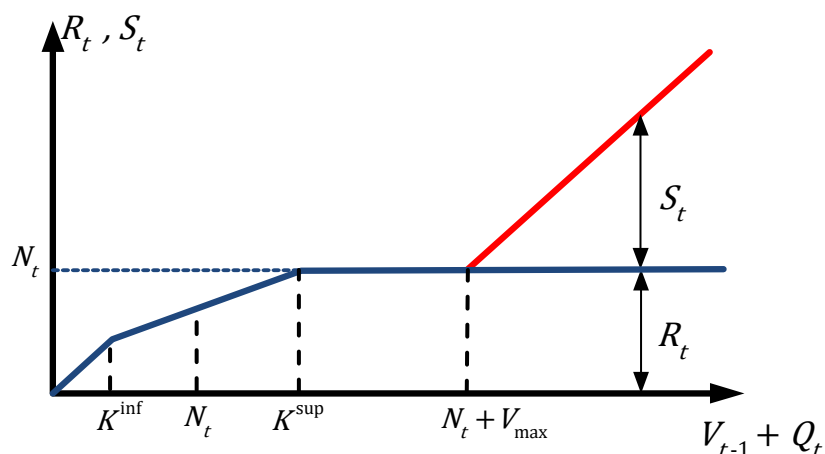


Figura 2.3 – Ilustração regra de exploração do tipo “hedging” – Exemplo 2
(adaptado de Oliveira, 2017)

A Figura 2.4 corresponde a outra possível regra de exploração do tipo “hedging”, onde se sugere uma restrição total da distribuição para situações em que $V_{t-1} + Q_t \leq N_t$. No entanto, tal como a regra de exploração padrão, este tipo de regra não é aplicada de forma estrita na prática. Teoricamente, com esta regra pretende-se que exista um menor número de períodos em que ocorram défices na satisfação da procura. Mas, quando existem, as restrições à satisfação da procura serão totais, uma vez que não será libertado qualquer volume de água da albufeira, ou seja, $R_t = 0$ (Oliveira, 2017).

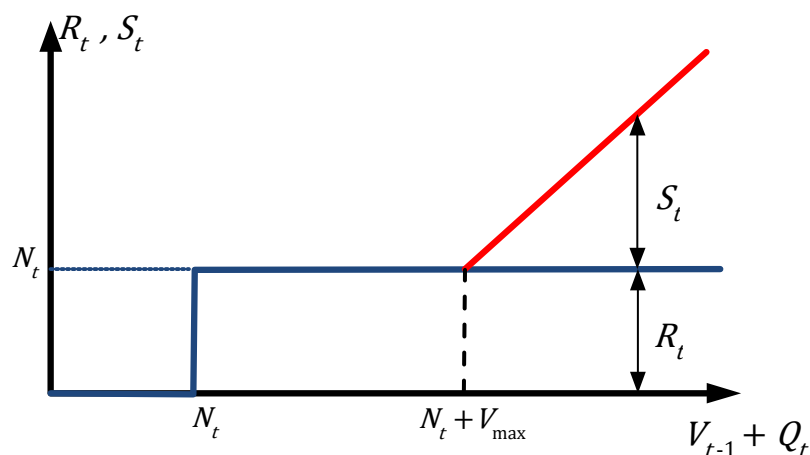


Figura 2.4 – Ilustração regra de exploração do tipo “hedging” – Exemplo 3
(adaptado de Oliveira, 2017)

Por fim, a Figura 2.5 corresponde a outro exemplo de uma regra de exploração do tipo “*hedging*”, em que as restrições à satisfação da procura aumentam de uma forma escalonada para o intervalo $V_{t-1} + Q_t \leq K^{sup*}$, e não de uma forma contínua como na Figura 2.2. Quando o $V_{t-1} + Q_t \leq K^{inf*}$, as restrições à satisfação da procura serão totais, ou seja, $R_t = 0$.

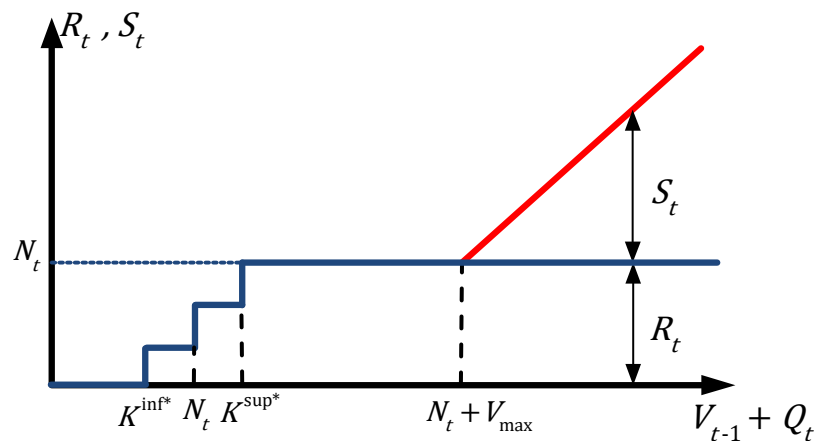


Figura 2.5 – Ilustração regra de exploração do tipo “*hedging*” – Exemplo 4 (adaptado de Oliveira, 2017)

Sabendo que a aplicação das regras de exploração não é um processo fácil, Draper e Lund (2004) referem que em regiões onde aconteçam secas severas num período, seguidas de condições húmidas e de cheia em outros períodos, dificultam a aplicação e a correta gestão da albufeira. Uma regra de exploração adequada e vantajosa depende do equilíbrio entre o armazenamento e a distribuição de água para os utilizadores.

Outro tipo de regra de exploração do tipo “*hedging*” muito utilizada para auxiliar a gestão de albufeiras são as denominadas curvas guia (em inglês, o termo é *rule curves*). Este tipo de regra consiste em dividir o volume útil da albufeira em diferentes zonas com prioridades e estratégias distintas a aplicar. As diferentes zonas das curvas guia têm limites que podem variar sazonalmente ou permanecer constantes, ao longo de todo o ano. A curva guia é utilizada para realizar a gestão da albufeira como por exemplo controlo de cheias, ou prevenir ruturas no abastecimento durante períodos de seca (Nunes et al, 2016).

A Figura 2.6 apresenta um exemplo de uma curva guia. Onde, o nível mínimo de exploração da albufeira corresponde à linha amarela. O volume para controlo de cheias, é representado pela linha vermelha. E a curva guia é representada pela linha azul. Abaixo da curva guia (linha azul), as necessidades dos utilizadores devem ser satisfeitas parcialmente e com restrições, enquanto

que para volumes armazenados acima da curva guia deverá ocorrer uma satisfação total da procura (Oliveira, 2017).

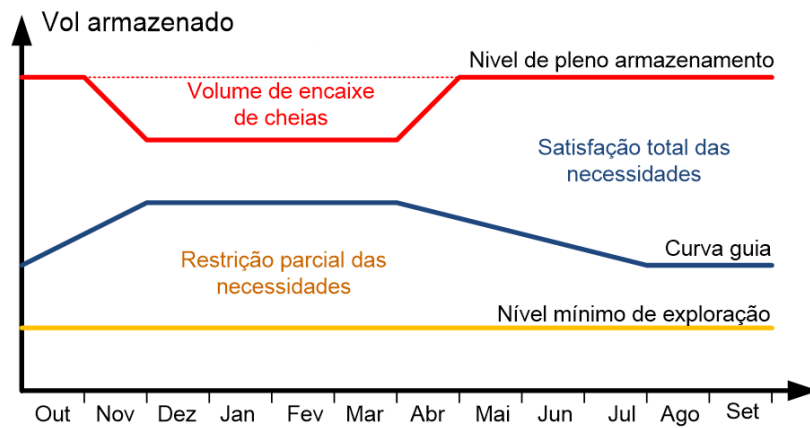


Figura 2.6 – Representação da curva guia (retirado de Oliveira, 2017)

2.3 Definição das regras de exploração

A correta gestão dos recursos hídricos é de extrema importância para a sociedade e para o ambiente, aliada a um ordenamento do território eficiente, possibilita a definição de políticas e estratégias fiáveis. Deste modo para obter regras de exploração ótimas e robustas, é necessário ter em conta a definição das regras de exploração.

Para definir os parâmetros das regras são necessários modelos de simulação, juntamente com indicadores de desempenho ou objetivos de planeamento para melhor definir as regras de exploração. Por fim os modelos de otimização e os métodos de tentativa-erro/conhecimento empírico permitem aperfeiçoar e limar as regras de exploração.

Os modelos matemáticos são expressos através de equações, que relacionam variáveis e parâmetros do sistema. As variáveis consistem em características do sistema cujo valor pode variar, enquanto que os parâmetros correspondem a características que se mantêm fixas e são conhecidos à priori (Cunha, 2006). Os modelos que retratam fenómenos físicos constituem exemplos de modelos matemáticos.

Deste modo, os modelos matemáticos têm o intuito de procurar uma solução para um fim, as variáveis definem o sistema e as condições que o sistema tem de satisfazer e garantir, a resolução do modelo significa encontrar valores para as variáveis, e assim proporcionar a definição de planos, políticas e regras de exploração (Loucks e Beek, 2005).

É importante definir o conceito de sistema, na medida em que estamos a ter em conta o comportamento agregado de todas as parcelas, e não de cada parcela em específico. Isto é, o sistema é representado por um conjunto de variáveis e parâmetros que relacionam estímulos (input) e apresentam respostas (output) (Cunha, 2006).

Os modelos de simulação são fenómenos e na sua aplicação são definidas restrições e variáveis, ao executar o modelo são devolvidas respostas do que acontece no sistema, ou seja, resultados da decisão tomada. A dificuldade de usar modelos de simulação para encontrar soluções ótimas é o facto de existirem demasiadas alternativas a ter em conta, e pouco tempo ou recursos para poder simular todas as hipóteses (Loucks e Beek, 2005).

Um exemplo de um modelo de simulação é a equação (1) apresentada anteriormente, e que exprime um balanço hídrico, outro exemplo é o programa que foi utilizado para simular o comportamento da albufeira a analisar, AQUATOOL+.

Os modelos de otimização são caracterizados pela função objetivo e variáveis, onde a finalidade do modelo consiste em maximizar ou minimizar algo (e.g., minimizar os custos, maximizar os benefícios). Um dos grandes desafios dos modelos de otimização é conseguir expressar matematicamente os objetivos, as restrições, e as variáveis, entre outras considerações importantes na tomada de decisão (Loucks e Beek, 2005). O método tentativa-erro pretende resolver problemas onde várias alternativas são avaliadas para chegar à melhor solução, se uma alternativa não funcionar tenta-se a seguinte, até que a solução ótima seja alcançada.

2.4 Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho podem ser definidos com um valor diretamente medido no sistema ou por um valor que deriva de um valor medido, e que deve ser representativo da situação em causa. Para apoiar a gestão de albufeiras têm sido utilizados diferentes tipos de indicadores para descrever e avaliar o funcionamento dos sistemas.

Na secção 2.4.1, é apresentado o contexto geral de três indicadores de desempenho que têm sido largamente aplicados na avaliação do desempenho de sistemas hídricos (incluindo albufeiras) e respetivas formulações matemáticas mais comuns. Na secção 2.4.2 são apresentados outros indicadores de desempenho mais específicos, que foram considerados no estudo de caso.

2.4.1 Fiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade

Os indicadores de desempenho são ferramentas que descrevem o comportamento do sistema. Os três indicadores de desempenho mais frequentemente utilizados são a fiabilidade, a resiliência e a vulnerabilidade. São indicadores importantes na medida em que traduzem informação relevante e distinta sobre o desempenho dos sistemas e podem auxiliar os processos de tomada de decisão, e metas a serem definidas para a gestão de albufeiras (Hashimoto et al, 1982). De maneira a apresentar formalmente os indicadores de desempenho é necessário definir primeiro o conceito de falha. No contexto da distribuição para uma qualquer utilização, uma falha consiste no não cumprimento de um determinado objetivo. No geral, ocorre uma falha quando a procura não é totalmente satisfeita.

Neste contexto, é possível definir fiabilidade como a probabilidade de um sistema ter sucesso, e de não se encontrar em estado de falha. A resiliência define-se como a capacidade de um sistema recuperar depois de uma falha e voltar a ter sucesso, ou seja, a capacidade de um sistema resistir quando sujeito a condições de stress. A vulnerabilidade pretende representar a gravidade ou magnitude de uma falha (Cunha, 2006; Hashimoto et al, 1982).

Estes indicadores de desempenho conseguem descrever e avaliar um sistema hídrico, com base nos períodos de falha do sistema. Ao considerar um período de análise T , dividido em t períodos de tempo, o sistema pode se encontrar em dois estados, no estado normal (NF) quando o sistema satisfaz a procura, ou estado de falha (F) quando a procura de água não é satisfeita, ou seja, não existem recursos suficientes, e ocorrem défices (Kjeldsen e Rosbjerg, 2004).

As falhas são caracterizadas por uma duração $d(j)$ e pelo défice da falha $v(j)$, conforme ilustrado na Figura 2.7. Entende-se por défice a diferença entre a procura de água no período t [$N(t)$] e o volume de água distribuído para consumo no período t [$R(t)$], apresentado na equação (2). Durante todo o período de análise T podem ocorrer falhas, $j = 1, 2, \dots, M$, sendo M o número total de falhas no período de análise (Kjeldsen e Rosbjerg, 2004).

$$v(j) = \sum_{t=1}^{d(j)} [N(t) - R(t)] \quad (2)$$

Segundo Kjeldsen e Rosbjerg (2004), a expressão mais utilizada para descrever a fiabilidade é dada pela equação (3), e é frequentemente denominada de fiabilidade temporal.

$$Fia_1 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^M d(j)}{T} \quad (3)$$

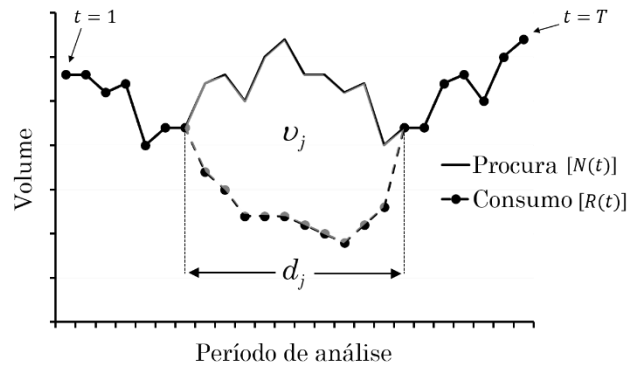


Figura 2.7 – Representação das características de um evento de falha (adaptado de Kjeldsen e Rosbjerg (2004))

Em alternativa, McMahon et al, (2006), referem o conceito de fiabilidade volumétrica (Fia_2), relacionando o défice com o volume correspondente à procura em todo o período de análise T (equação (4)).

$$Fia_2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T [N(t) - R(t)]}{\sum_{t=1}^T N(t)} \quad (4)$$

A fiabilidade (Fia_1 e Fia_2) exibe valores que variam entre 0 e 1, onde 0 corresponde a um mau desempenho, e 1 representa um bom desempenho. Logo quanto mais próximo o valor da fiabilidade estiver de 1, menos falhas ocorrem.

Relativamente à resiliência, Kjeldsen e Rosbjerg (2004) expressam este indicador pelo inverso do tempo médio da falha (equação (5)). A resiliência apresenta valores que variam entre 0 e 1, em que 0 representa um mau desempenho e 1 corresponde a um bom desempenho do sistema.

$$Res = \left[\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \right]^{-1} \quad (5)$$

Segundo Kjeldsen e Rosbjerg (2004), a vulnerabilidade pode ser definida por várias métricas, apresentando-se aqui apenas dois exemplos. A equação (6) apresenta a vulnerabilidade definida pelo valor médio dos défices de todos os eventos de falha e o resultado corresponde a um valor absoluto. A equação (7) pretende obter um valor adimensional, a variar entre 0 e 1, para facilitar a interpretação dos resultados, e corresponde ao défice da falha mais gravosa a dividir pelo valor da procura. O valor de 0, contrariamente aos indicadores anteriores, corresponde a um bom desempenho, enquanto que 1 corresponde a um mau desempenho.

$$Vul_1 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M v(j) \quad (6)$$

$$Vul_2 = \max_{j=\{1,2,\dots,M\}} \frac{v(j)}{D(j)} \quad (7)$$

2.4.2 Outros Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho apresentados nesta secção relacionam-se com o estudo de caso, e descrevem métricas específicas do *software* utilizado (secção 2.4.2.1) e métricas consideradas no Plano Especial de Seca e legislação (secção 2.4.2.2).

2.4.2.1 Indicadores de desempenho do AQUATOOL+

Além dos indicadores de desempenho fiabilidade e vulnerabilidade presentes no AQUATOOL+, os resultados podem também ser analisados diretamente com o critério IPH e o critério UTAH-DWR, estes critérios avaliam a distribuição dos recursos no período de análise. Assim, o critério IPH em específico para a procura urbana, considera a procura satisfeita quando (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Español, 2008):

- O défice em um mês não seja superior a 10% da procura mensal;
- O défice total em dez anos consecutivos não seja superior a 8% da procura anual.

O critério Utah-DWR em específico para a procura da rega, considera a procura satisfeita quando (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Español, 2008):

- O défice em um ano não seja superior a 50% da procura anual;
- O défice total em dois anos consecutivos, não seja superior a 75% da procura anual;
- O défice total em dez anos consecutivos, não seja superior a 100% da procura anual.

2.4.2.2 Plano Especial de Seca do Guadiana

Em Espanha, existe a obrigatoriedade da elaboração de Planos Especiais de Seca (PES) para cada região/bacia hidrográfica (Ministerio de Obras Públicas y Transportes Español, 1992). Os PES consistem em planos de atuação em situações de alerta e eventual estado de seca, que incluem a aplicação de regras de exploração, ou medidas relacionadas com a utilização dos recursos hídricos (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007).

O estudo de caso da presente dissertação (Capítulo 4) localiza-se na bacia do rio Guadiana. Esta bacia é comum a Portugal e Espanha, e as autoridades do país vizinho elaboraram os PES com o objetivo de articular medidas de controlo, avaliar riscos, e ajudar na tomada de decisão. Sendo o objetivo principal minimizar os impactos dos eventos de seca a nível ambiental, económico e social (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007).

Assim, no âmbito do PES, são estabelecidos indicadores de desempenho específicos, e que caracterizam as procuras isto é, a procura urbana, considera-se satisfeita quando (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007):

- O défice em um ano não seja superior a 8% da procura anual;
- O défice total em dois anos consecutivos, não seja superior a 13% da procura anual;
- O défice total em dez anos consecutivos, não seja superior a 23% da procura anual.

A procura da rega considera-se satisfeita quando (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007):

- O défice em um ano não seja superior a 30% da procura anual;
- O défice total em dois anos consecutivos, não seja superior a 45% da procura anual;
- O défice total em dez anos consecutivos, não seja superior a 60% da procura anual.

Os Planos Especial de Seca, tem como base a legislação que compreende instruções, recomendações e técnicas (Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol, 1992), onde se define intervalos específicos para a satisfação das procuras, os valores adotados no PES correspondem a valores intermédios da legislação.

Deste modo, a procura urbana, considera-se satisfeita quando (Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol, 1992):

- O défice em um ano não seja superior a 5-10% da procura anual;
- O défice total em dois anos consecutivos, não seja superior a 10-16% da procura anual;
- O défice total em dez anos consecutivos, não seja superior a 16-30% da procura anual.

Em relação à rega, considera-se que a procura é satisfeita quando (Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol, 1992):

- O défice em um ano não seja superior a 20-40% da procura anual;
- O défice total em dois anos consecutivos, não seja superior a 30-60% da procura anual;
- O défice total em dez anos consecutivos, não seja superior a 40-80% da procura anual.

Como será descrito no Capítulo 4, estes indicadores de desempenho irão proporcionar a definição de planos e regras de exploração, e auxiliar na tomada de decisão na medida em que ajudam a compreender os resultados obtidos.

3 AQUATOOL+

3.1 Introdução

A ferramenta utilizada para a simulação do comportamento do EFM de Odeleite-Beliche foi o *software* AQUATOOL+ (Figura 3.1). Esta ferramenta foi desenvolvida pela Universidade Politécnica de Valência, e consiste num sistema de apoio à decisão (SAD) (Solera et al, 2015). O AQUATOOL+ inclui vários módulos que permitem realizar simulações da gestão das bacias hidrográficas, otimizar a gestão, modelar e obter dados acerca da qualidade da água à escala da bacia hidrográfica e realizar simulações múltiplas juntamente com a análise de riscos da gestão da bacia hidrográfica (Solera et al, 2015).



Figura 3.1 – *Software* AQUATOOL+ (retirado de IIAMA, 2018)

Para efetuar a simulação do EFM de Odeleite-Beliche, foi utilizado o módulo SIMGES. Depois de definir o sistema (desde sistemas simples a sistemas hídricos mais complexos, com elementos superficiais e subterrâneos), o SIMGES permite fazer a afetação dos recursos hídricos disponíveis, com um passo temporal mínimo de um mês, tendo em conta diversas condições e características (Alvarez et al, 2018).

Entre as condições e características que determinam a afetação de recursos para um sistema com origem em albufeiras destaca-se as aflúências naturais, e relativamente às características físicas das albufeiras salienta-se a aplicação do conceito de prioridade e a possibilidade da introdução de diferentes regras de exploração do tipo definidas à priori, que permitem a imposição de restrições à utilização de água de uma qualquer origem em função de se atingirem níveis de alerta definidos pelo utilizador (Solera et al, 2015).

A aplicação do conceito de prioridade determina que, em situações de menor disponibilidade de recursos, seja dada preferência à satisfação da procura para uma utilização em vez de outra. Geralmente, quando os recursos são escassos o abastecimento público tem prioridade superior à rega, e no AQUATOOL+ é possível simular este tipo de situação.

A interface gráfica do AQUATOOL+ está presente na Figura 3.2 . E no Quadro 3.1 estão presentes os elementos principais possíveis de inserir, de maneira a permitir que cada utilizador construa o sistema o mais próximo da realidade, nomeadamente reservatórios, nós finais, afluências, procuras, aduções, cursos de água e retornos superficiais (Solera et al, 2015).

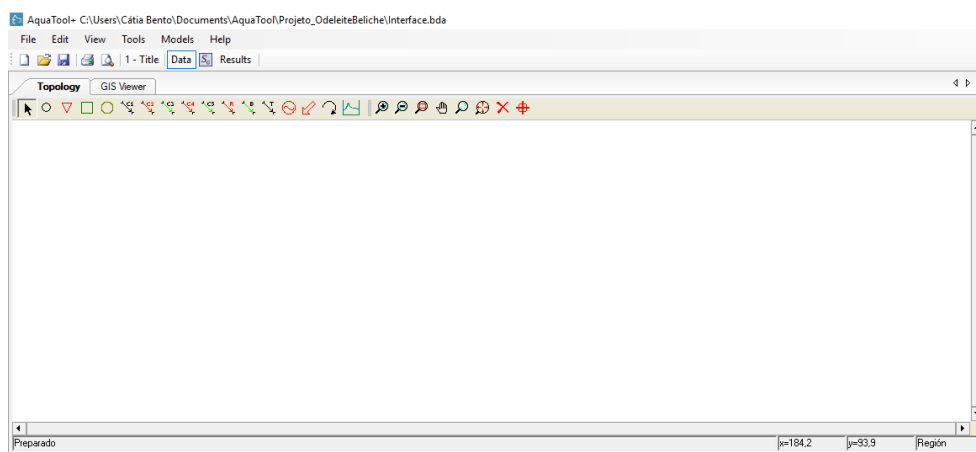







Figura 3.2 – Excerto da interface gráfica do *software* AQUATOOL+.

Quadro 3.1 – Elementos possíveis de inserir no *software* AQUATOOL+

Reservatórios/Albufeiras		Procuras	
Nós finais		Aduções	
Afluências		Cursos de água	
Retornos Superficiais			

O *software* AQUATOOL+ em específico permite determinar o desempenho dos diferentes elementos envolvidos no sistema, como por exemplo, a satisfação das procuras, o desempenho das regras de exploração, as vantagens e desvantagens da imposição de prioridades nas utilizações de água, e a capacidade e desempenho do reservatório (Alvarez et al, 2018).

No estudo de caso irá ser analisado em pormenor o desempenho do sistema, em particular a satisfação da procura para o abastecimento público e rega, a satisfação dos caudais ecológicos, e o desempenho das regras de exploração aplicadas comparando entre si os resultados obtidos.

3.2 Regras de exploração

As regras de exploração necessitam de um processo rigoroso para serem corretamente definidas e aplicadas ao sistema. De maneira a definir uma regra de exploração no AQUATOOL+, é necessário definir um nome para a regra de exploração que se pretende aplicar, selecionar o tipo de regra a utilizar, os elementos onde se vai avaliar a regra (e.g., albufeiras), e por fim, definir as curvas de valores da regra de exploração. De um modo geral, uma regra de exploração compreende uma curva de valores que é definida através de níveis de alerta e de coeficientes de restrição.

Os níveis de alerta permitem simular reduções na afetação dos recursos para um determinado uso, a partir da verificação de limiares específicos referentes a volumes de afluições nos períodos anteriores e/ou volumes armazenados em albufeiras (Alvarez et al, 2018). Os coeficientes de restrição permitem impor limitações à satisfação da procura, crescentes para menores valores de água armazenada na albufeira.

No caso de estudo, os níveis de alerta foram definidos apenas em função de volumes armazenados, e foram aplicados dois tipos de regras de exploração disponíveis no AQUATOOL+, designadas aqui por regra anual e regra específica.

A regra anual consiste em definir uma curva de valores (níveis de alerta e coeficientes de restrição a aplicar num determinado período em função do volume total de água armazenada no final do período anterior) aplicável a todos os meses do ano.

A regra específica consiste em definir uma curva de valores (níveis de alerta e coeficientes de restrição) para um período (mês) específico, a sua ativação depende da verificação do nível de alerta no período anterior, depois do nível de alerta ser atingido, o coeficiente de restrição será aplicado para esse período e períodos subsequentes até encontrar uma nova regra de exploração a aplicar.

A regra específica é aplicada ao estudo de caso com o objetivo de permitir a imposição de diferentes limitações no setor agrícola consoante a altura do ano (e.g., diferentes estações do ano ou início e fim da época chuvosa). De acordo com a ideia anterior, e tendo em conta a variabilidade climática e o consumo de água irregular, esta regra de exploração permite tomar decisões no momento, tendo em conta os recursos disponíveis e os meses subsequentes. Sendo a atividade e produção agrícola dependente do consumo de água, é importante haver uma salvaguarda maior dos recursos disponíveis, para nas situações de escassez não haver uma perda total da cultura.

Os nomes indicados na presente dissertação para as regras de exploração foram escolhidos pela autora, com o objetivo de facilitar a compreensão, e a responsabilidade destes recaí sobre a mesma.

Em relação ao formato das curvas de valores, os coeficientes de restrição podem aumentar de forma contínua ou de forma escalonada. No estudo de caso, optou-se por usar curvas de valores escalonadas, em que os coeficientes de restrição aumentam gradualmente para menores volumes de água armazenada. Na Figura 3.3, está apresentado um exemplo de uma curva de valores escalonada.

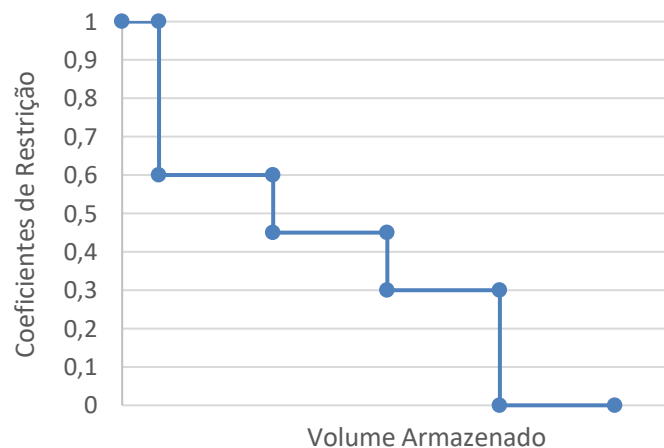


Figura 3.3 – Curva de valores escalonada

O AQUATOOL+ possui indicadores de desempenho inerentes ao programa, nomeadamente a fiabilidade e a vulnerabilidade, bem como outras métricas particulares nomeadamente o critério IPH e o critério Utah-DWR, elucidados na secção 2.4.2.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Introdução

O empreendimento de fins múltiplos (EFM) de Odeleite-Beliche localiza-se na região do Algarve, distrito de Faro, e abrange vários municípios (Castro Marim, Vila Real de Santo António, Tavira e Olhão). Pensado inicialmente para ser apenas um aproveitamento hidroagrícola (área beneficiada de 8621 ha), é hoje em dia também a origem principal do sistema de abastecimento público do Sotavento Algarvio (zona este do Algarve) (DGADR, 2008).

A região do Sotavento Algarvio tem características de semiaridez, com níveis de precipitação reduzidos e temperaturas elevadas durante grande parte do ano, o que leva a que os recursos hídricos sejam escassos (DGADR, 2008). No entanto o Sotavento Algarvio possui uma área abundante com solos e clima propícios à prática de agricultura (em particular horticultura, fruticultura, floricultura e culturas subtropicais). Estas culturas necessitam de água em quantidades suficientes, e adequada ao tipo de cultura, devido à sua precocidade comparativamente com outros países, apresenta inúmeras vantagens competitivas no mercado (DGADR, 2008).

O clima da região do Sotavento Algarvio é do tipo mediterrâneo. A estação seca coincide com o Verão e a temperatura média anual corresponde a 17,5° C (DGADR, 2008). A precipitação média anual para a bacia hidrográfica de Odeleite corresponde a 722 mm (SNIRH, 2018a) e para a bacia hidrográfica de Beliche é de 644 mm (SNIRH, 2018b).

Até à entrada em funcionamento do EFM de Odeleite-Beliche na década de 1990, o fornecimento de água para a rega e para o abastecimento público era assegurado quase na totalidade por origens subterrâneas. Face ao desenvolvimento, população flutuante devido ao turismo, e necessidades crescentes desta região em particular, revelou-se ser necessário encontrar uma nova origem de água de modo a satisfazer as necessidades hídricas, quer em quantidade, quer em qualidade (DGADR, 2008).

A implementação do EFM de Odeleite-Beliche foi faseada devido à dimensão do projeto e à evolução dos consumos. As primeiras infraestruturas a contruir foram nas ribeiras de Beliche e de Odeleite, de maneira a dar resposta às necessidades hídricas urgentes da população. Deste modo o EFM ficou concluído e entrou em funcionamento em 1996 (DGADR, 2008).

O presente capítulo 4 descreve o estudo de caso a analisar, em particular caracteriza o EFM de Odeleite-Beliche, refere os cenários hidrológicos a analisar, e por fim enumera e explica as regras de exploração (capítulo 5).

4.2 Caracterização do empreendimento de fins múltiplos

O EFM de Odeleite-Beliche é constituído por um conjunto de infraestruturas hidráulicas, nomeadamente as albufeiras e barragens de Odeleite e Beliche, o túnel de interligação entre as duas albufeiras e que transfere água da barragem de Odeleite para a barragem de Beliche, condutas adutoras principais e ramais, estações elevatórias, captação de água a partir de Beliche para o reservatório, o reservatório de Santo Estevão que armazena água, e posterior distribuição para o uso urbano e a agricultura (DGADR, 2008). A partir das duas albufeiras devem ser efetuadas descargas periódicas para a satisfação de caudais ecológicos, em linhas de água que terminam no rio Guadiana. A Figura 4.1 consiste numa representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche.

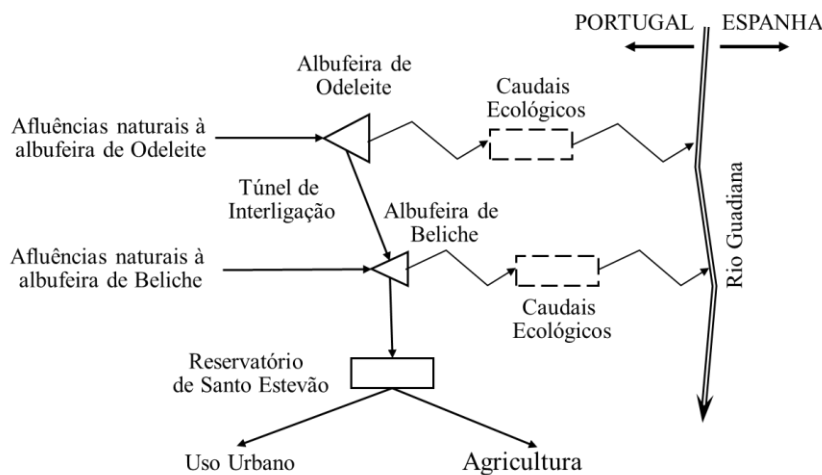


Figura 4.1 – Representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche

A barragem de Odeleite (Figura 4.2) situa-se na ribeira de Odeleite (afluente do Guadiana). A albufeira de Odeleite possui um volume de armazenamento de 130 hm³, a cota do nível de pleno armazenamento (NPA) é de 52 metros, a área inundada ao NPA corresponde a 720 hectares e o volume morto corresponde a 13 hm³ (DGADR, 2008).

A área da bacia hidrográfica que abrange a barragem de Odeleite corresponde a 348 km², o comprimento do curso de água principal é de 79,2 km (SNIRH, 2018a) e o caudal de cheia é de 2350 m³/s para um período de retorno de 5000 anos (DGADR, 2008).



Figura 4.2 – Barragem de Odeleite (retirado de Município de Castro Marim, 2018)

Na albufeira de Odeleite, não existe qualquer captação. A água é transferida para a albufeira de Beliche por um túnel que assegura a interligação entre as duas barragens. O túnel de interligação tem uma secção em forma de ferradura e aproximadamente 3 km de comprimento, com 3,3 m de altura e 3,3 m de largura, é revestido em betão, e está equipado com órgãos de seccionamento na zona de entrada e saída, para possibilitar o isolamento das albufeiras e do próprio túnel, em caso de necessidade de reparação (DGADR, 2008).

A barragem de Beliche (Figura 4.3) situa-se na ribeira de Beliche (afluente do Guadiana). A albufeira de Beliche possui um volume de armazenamento de 48 hm³, a cota do NPA é de 52 metros, a área inundada ao NPA corresponde a 292 hectares, e o volume morto corresponde a 0,4 hm³ (DGADR, 2008). A área da bacia hidrográfica que abrange a barragem de Beliche corresponde a 98 km² e o curso de água principal tem um comprimento de 32,3 km (SNIRH, 2018b). O respetivo caudal de cheia é de 456 m³/s para um período de retorno de 1000 anos (DGADR, 2008).

A oeste da Barragem de Beliche e no final da conduta adutora principal (sistema adutor principal tem aproximadamente 28 km de extensão), encontra-se o reservatório de Santo Estevão.



Figura 4.3 – Barragem de Beliche (retirado de Águas do Algarve, 2018)

O reservatório de Santo Estevão é do tipo colinar, semi-enterrado, a céu aberto e tem a capacidade para armazenar 130.000 m³ (DGADR, 2008). Este reservatório foi concebido com o intuito de armazenar água nos períodos de baixa procura, ou seja, funciona como volante de regularização do sistema adutor, permitindo bombear o caudal máximo possível para o reservatório, nas horas de baixo consumo e com menos encargos elétricos. Deste modo assegura o equilíbrio das pressões e possibilita o armazenamento de água para eventuais avarias no sistema adutor (DGADR, 2008).

A partir do reservatório de Santo Estevão, existe uma derivação para uma ETA com o objetivo de produzir água para consumo humano, e outra para a distribuição de água para rega. Uma pequena parte das necessidades de água para rega associadas ao EFM de Odeleite-Beliche é assegurada por derivações existentes ao longo do sistema adutor principal (DGADR, 2008).

4.3 Cenários Hidrológicos

Os cenários hidrológicos considerados para o estudo de caso correspondem a afluências naturais estimadas para as barragens de Odeleite e Beliche com o modelo de Temez¹, para o período de 2021/2050, num contexto de variabilidade climática em relação ao clima histórico observado, e foram construídos por Luís (2017).

¹ O Modelo de Temez é um modelo que simula o fenómeno de transformação da precipitação em escoamento superficial numa dada bacia (Oliveira, 1998).

Na sua dissertação de mestrado, Luís (2017) começou por selecionar 12 projeções climáticas diferentes para o período de 2021/2050, disponíveis na base de dados de acesso aberto do projeto EURO-CORDEX², referentes a séries temporais de precipitação e temperatura discretizadas em valores mensais.

As projeções disponíveis no EURO-CORDEX são baseadas em simulações efetuadas com diferentes modelos climáticos globais (MCG), combinados com modelos climáticos regionais (MCR) e cenários de emissão de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera. O acoplamento dos MCG com MCR tem sido utilizado para aumentar a resolução das projeções da escala das centenas de quilómetros, para a escala das dezenas de quilómetros (Benestad et al, 2017), e que é uma escala mais apropriada para estudos hidrológicos envolvendo cálculos sobre a determinação da disponibilidade de recursos (Berg et al, 2012). Para além de considerarem uma representação dos diferentes componentes do sistema climático global (i.e., atmosfera, oceanos e superfície terrestre), as projeções climáticas baseadas no acoplamento MCG-MCR do EURO-CORDEX admitem diferentes cenários de emissão de GEE que foram considerados para o 5º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2014). A variabilidade nas projeções climáticas dada pela utilização de diferentes MCG-MCR com diferentes cenários de emissões de GEE é uma justificação para a utilização de diferentes projeções em estudos de impacto (Vieira et al, 2018).

As 12 projeções climáticas selecionadas por Luís, (2017) correspondem às anteriormente também consideradas pelo projeto Portal do Clima³ e que resultam do acoplamento de três MCG (CNRM-CERFACS-CM5, ICHEC-EC-EARTH e MPI-M-MPI-ESM-LR, abreviando CNRM, ICHEC e MPI respetivamente) com dois MCR (CLMcom-CClM 4-8-17 e SMHI-RCA4, abreviando CLMcom e SMHI respetivamente) utilizando os dois cenários de emissões de GEE (RCP4.5 e RCP8.5) mais frequentemente admitidos em estudos de impacto após a publicação do 5º Relatório do IPCC (2014).

Os cenários de emissão, em inglês denominados de *Representative Concentrations Pathways* (RCP), dependem da quantidade de GEE emitido, o cenário mais provável (RCP4.5) assume que o pico das emissões é atingido em 2040 diminuindo posteriormente, e o cenário mais gravoso (RCP8.5), assume que as emissões de GEE continuam a crescer ao longo do século XXI (IPCC, 2014).

² O EURO-CORDEX (2018) é uma iniciativa do *World Climate Research Programme* (WRCP), com o objetivo de gerar projeções regionais de alterações climáticas para todas as regiões do globo, tendo em conta o 5º Relatório do IPCC.

³ O projeto Portal do Clima (IPMA, 2018) é um projeto que tem como objetivo consciencializar e educar a população acerca das alterações climáticas, e consiste numa plataforma de acesso fácil ao público. Este projeto considerou os dados climáticos passados e os dados de projeções climáticas do projeto EURO-CORDEX.

No entanto, as projeções climáticas dadas por MCG-MCR apresentam erros quando são utilizadas na reprodução do clima histórico. Deste modo, frequentemente, os autores não usam diretamente as projeções climáticas para o futuro, e usam técnicas de pós processamento que tem como objetivo ter em consideração os desvios observados na simulação do clima histórico pelas MCG-MCR (Vieira et al, 2018).

Na sua dissertação de mestrado, Luís (2017) ajustou cada uma das doze projeções climáticas selecionadas com três métodos de correção diferentes (Método *Delta Change*⁴ (DC), Método *Direct Forcing*⁵ (DF), e Método *Quantile Mapping*⁶ (QM)) tendo assim considerado 36 projeções climáticas de precipitação e temperatura distintas para o período de 2021/2050, presentes na Figura 4.4.

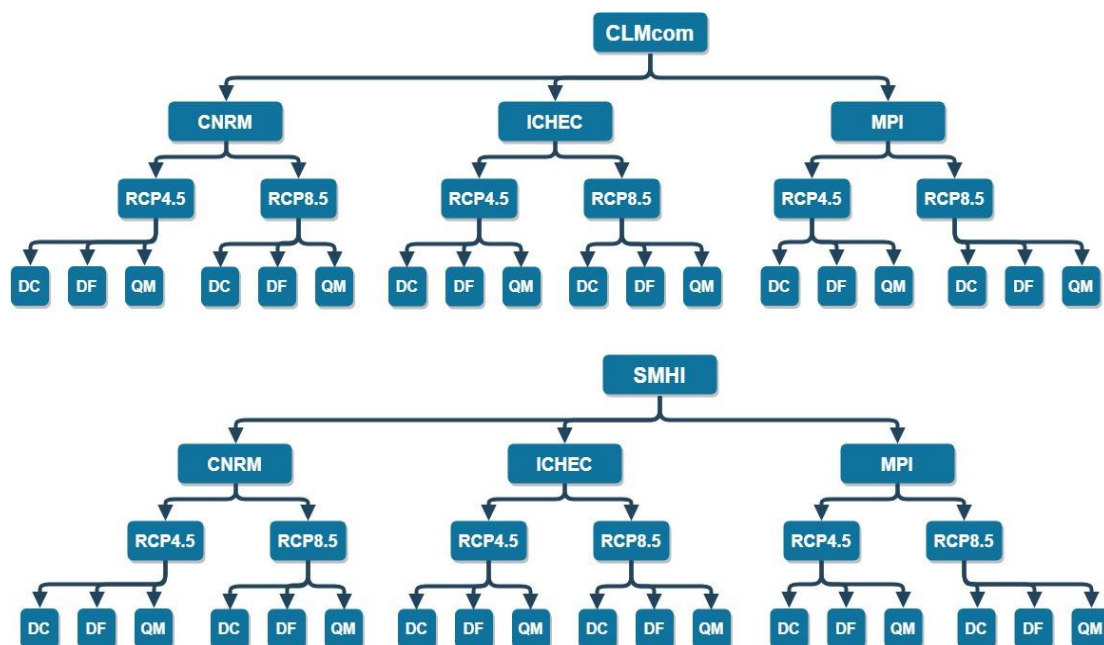


Figura 4.4 – Representação esquemática dos 36 cenários hidrológicos

⁴ O Método *Delta Change* (DC) consiste num método de correção, onde as projeções climáticas são obtidas por aplicação de um fator de correção, assumindo que a variabilidade observada no período de controlo é mantida no cenário futuro e esta variabilidade é apenas corrigida pela evolução prevista no modelo climático (Luís, 2017).

⁵ O Método *Direct Forcing* (DF) consiste num método de correção, que assume que a variabilidade do cenário futuro é apenas corrigida pelos desvios observados no período de controlo entre o modelo climático e as observações (Luís, 2017).

⁶ O Método *Quantile Mapping* (QM) consiste num método de correção, em que o objetivo é estabelecer uma relação estatística através de uma função de distribuição acumulada de probabilidade entre diferentes séries temporais (Luís, 2017).

Essas mesmo 36 projeções climáticas de precipitação e temperatura foram utilizadas por Luís (2017) para a obtenção de afluências naturais às albufeiras de Odeleite e Beliche com o modelo hidrológico de Temez previamente calibrado.

No âmbito do presente estudo de caso, os 36 cenários hidrológicos obtidos por Luís (2017) foram assim utilizados, com o propósito de tentar caracterizar um futuro próximo.

4.4 Representação do EFM no AQUATOOL

O EFM existente na atualidade foi apresentado na Figura 4.1. Ao efetuar a sua representação no AQUATOOL+, foi realizada uma simplificação com o propósito de analisar mais detalhadamente no estudo de caso o efeito da aplicação de diferentes regras de exploração do tipo “hedging” ao sistema.

O sistema simplificado está presente na Figura 4.5, e apresenta uma única albufeira, tendo-se procedido à junção das características da albufeira de Odeleite e da albufeira de Beliche nomeadamente, afluências, volumes, as áreas inundadas, e caudais ecológicos num único reservatório.

As procuras de água existentes no EFM de Odeleite-Beliche correspondem ao abastecimento público e à rega. No estudo de caso, cada uma destas utilizações foi considerada individualmente de maneira a ser possível aplicar regras de exploração distintas e também analisar os resultados de cada procura em separado.

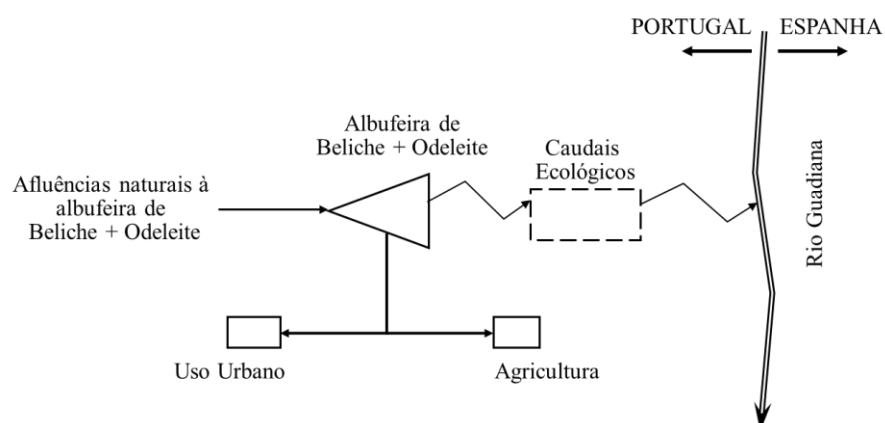


Figura 4.5 – Representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche (estudo de caso)

A Figura 4.6 consiste na representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche elaborada no AQUATOOL+. A ligação da albufeira ao nó final (Rio Guadiana) representa as descargas efetuadas, para a satisfação dos caudais ecológicos e para a eventual necessidade de haver descargas de excesso.

Ao efetuar a representação do EFM de Odeleite-Beliche surge a necessidade de definir certos parâmetros como por exemplo as afluências naturais às albufeiras de Odeleite e Beliche para cada cenário hidrológico (secção 4.3), esses parâmetros são:

- Volume mínimo e máximo de armazenamento e a curva de volume acumulado – área inundada;
- Taxas de evaporação mensais associadas a cada cenário hidrológico;
- Caudais ecológicos mínimos mensais para cada cenário hidrológico;
- Procura mensal para o abastecimento público e rega.

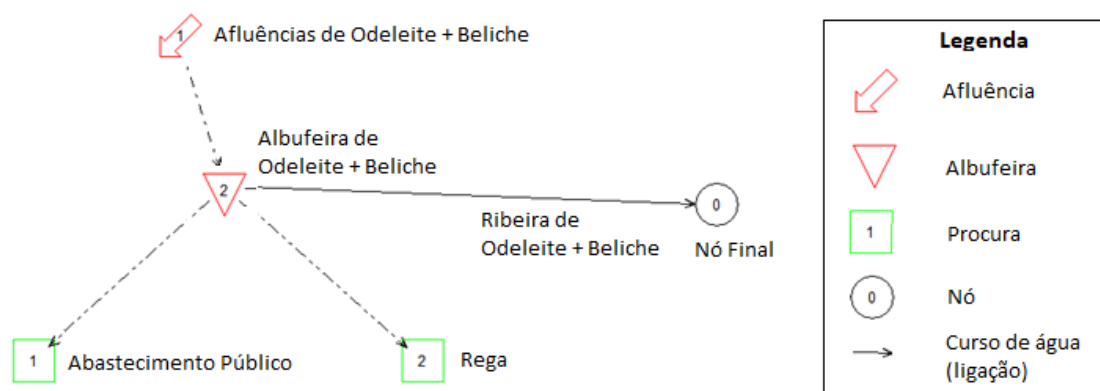


Figura 4.6 – Representação esquemática do EFM de Odeleite-Beliche (interface do *software* AQUATOOL+)

O volume mínimo e o volume máximo de armazenamento (Figura 4.6) foram definidos somando os volumes mínimos e máximos das albufeiras de Odeleite e Beliche (secção 4.2). Assim, o volume mínimo e o volume máximo da albufeira representada foram de 13,4 hm³ e 178 hm³, respetivamente. Em relação à curva de volumes armazenados – área inundada, esta foi determinada considerando também valores acumulados das duas albufeiras existentes.

As taxas de evaporação mensais consideradas correspondem aos valores de evapotranspiração estimados por Luís (2017) que eram iguais para as albufeiras de Odeleite e Beliche, mas diferentes para cada cenário hidrológico. Tal como em Luís (2017), os caudais ecológicos

corresponderam a 15% das afluências médias mensais totais estimadas para cada cenário hidrológico.

Em relação à procura, foram considerados os valores anuais dos títulos de utilização dos recursos hídricos para o abastecimento público e rega, definidos ao abrigo do Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio, de acordo com a informação cedida pela APA. No total, os títulos de utilização de recursos hídricos autorizados correspondem a 64 hm³ (válido até ao ano de 2027). Contudo, este valor nunca foi atingido. O volume máximo retirado foi aproximadamente 51 hm³, em 2015 (APA, 2018e).

Em relação ao título de utilização para o abastecimento público, este corresponde a 45 hm³. A distribuição em valores mensais foi efetuada a partir de dados fornecidos pela empresa Águas do Algarve que gere o sistema de abastecimento público de água em alta no Algarve (Luís, 2017).

Em relação ao título de utilização anual de recursos hídricos para a rega, este corresponde a 19 hm³. A distribuição em valores mensais foi efetuada com base na dissertação de Morais (2018) acerca dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos do Algarve. Onde Morais (2018) especifica as necessidades de água futuras para a rega no Sotavento Algarvio em termos mensais. Nesta dissertação, distribui-se o título de utilização atual (19 hm³/ano) de acordo com a mesma distribuição mensal percentual adotada por Morais (2018).

O Quadro 4.1 resume as necessidades de água mensais para o abastecimento público e rega, consideradas para o estudo de caso.

Quadro 4.1 – Necessidades de água para o abastecimento público e rega.

	Meses do ano												Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Abastecimento Público (hm³)	2,77	2,49	2,87	2,84	3,52	4,15	5,78	6,28	4,65	3,7	3,03	2,92	45
Rega (hm³)	0,16	0,34	0,89	1,29	2,3	3,47	4,1	3,6	1,99	0,53	0,2	0,13	19

4.5 Regras de exploração

As regras de exploração consideradas, e que irão ser aplicadas ao estudo de caso, são a regra de exploração SOP, e a regra de exploração do tipo “hedging” com diferentes níveis de alerta. Em concreto, as regras de exploração do tipo “hedging” a aplicar são a regra de exploração anual para o abastecimento público (AP) e para a satisfação dos caudais ecológicos (CE) e a regra de exploração específica para a rega (R).

A regra de exploração SOP, explicada anteriormente (secção 2.2.1), consiste em libertar água para o consumidor, sempre que os recursos estejam disponíveis na albufeira. Tendo em conta que foram aplicadas diferentes regras de exploração é necessário aplicar a regra de exploração SOP, com o objetivo de possuir uma situação de controlo em que não é imposta qualquer restrição e afetação dos recursos, de forma a compreender como é que a albufeira se comporta em cada cenário, e assim conseguir retirar conclusões mais assertivas dos resultados obtidos da aplicação das regras de exploração.

Em relação à regra de exploração anual (curva de valores idêntica para todos os meses anos (secção 3.2)), com a sua aplicação pretende-se que ao longo do ano um caudal mínimo seja garantido, mesmo em situações de escassez, de maneira a que não ocorra rutura da distribuição. Ao comparar as regras de exploração do tipo “hedging” anual e específica, pretende-se que ao aplicar a regra de exploração anual as procuras associadas tenham maior importância, dado que o abastecimento público tem prioridade em relação a todas as outras procuras, e a satisfação dos caudais ecológicos, envolve a conservação e o equilíbrio dos ecossistemas a jusante do curso de água.

Em relação à regra de exploração específica (curva de valores definida para um período (mês) específico e que é aplicada aos períodos subsequentes até uma nova regra ser definida (secção 3.2)), esta foi aplicada com o propósito de distinguir diferentes alturas do ano, em específico, o fim (maio) e início (novembro) da época chuvosa, tendo em conta o estudo de caso. Desta forma, pretende-se que haja a possibilidade de tomar decisões no presente tendo em conta os recursos disponíveis e pensando nos meses subsequentes, e a possibilidade de impor restrições na afetação dos recursos. Tendo como exemplo um ano em que os recursos são escassos, será indicado pensar se vale a pena cultivar, e se irá haver água disponível até à colheita, para que não ocorra uma perda total da cultura e dos seus benefícios.

Anteriormente foi referido que os níveis de alerta e a aplicação de regras de exploração permitiam reduzir a afetação de recursos para um determinado uso em função da verificação de limiares específicos. Para o estudo de caso, os níveis de alerta foram definidos em função do

volume armazenado no final do período anterior. Neste sentido é preponderante definir zonas concretas para o EFM-Odeleite-Beliche, de forma a aplicar as regras de exploração.

O Plano Especial de Secas (PES) classifica as secas consoante a sua severidade em três níveis de intensidade, nomeadamente seca leve, seca severa e seca extrema. Dependendo dos níveis de intensidade são aplicadas diferentes tipos de medidas de mitigação. Consoante a intensidade das secas é possível definir o correspondente nível de alerta, nomeadamente estado de pré-alerta, estado de alerta e estado de emergência. No caso de não ocorrer nenhum evento de seca considera-se que o sistema se encontra em estado normal (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007).

Ao relacionar os estados de alerta com o volume armazenado na albufeira, é possível definir a correspondente zona, deste modo a Figura 4.7 apresenta o volume possível de armazenar na albufeira dividido por zonas, nomeadamente Zona Normal, Zona de Pré-alerta, Zona de Alerta, Zona de Emergência e Zona Inativa.

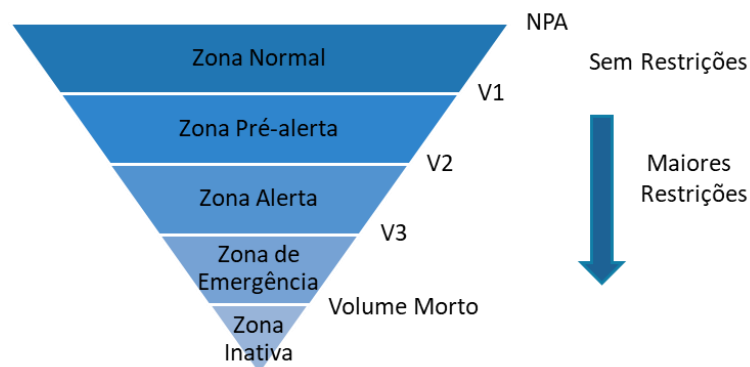


Figura 4.7 – Representação esquemática do volume armazenado por zonas

Importante referir que na Zona Normal (Figura 4.7) não é imposta qualquer restrição, as restrições começam na Zona de Pré-alerta, e à medida que o volume diminui maiores restrições são impostas. O NPA (volume máximo) e o volume morto (volume mínimo) já foram definidos anteriormente na secção 4.4. A Zona Inativa situa-se abaixo do volume morto, e corresponde a uma zona que não é explorada.

Na presente dissertação, pretende-se aplicar regras de exploração do tipo “hedging” com diferentes níveis de ativação, na Figura 4.7 é possível visualizar as diferentes zonas e os limiares, nomeadamente V1, V2, V3 e V.M. De realçar que os limites V3 e V.M são constantes,

estes correspondem ao início da Zona de Emergência e da Zona Inativa, devido ao carácter alarmante e crítico destas zonas. Assim, apenas os limites V1 (início da Zona de Pré-alerta) e V2 (início da Zona de Alerta) irão oscilar no estudo de caso, de forma a ir ao encontro do objetivo de simular o comportamento da albufeira com diferentes níveis de ativação.

A Figura 4.8 consiste numa curva de valores escalonada genérica, que relaciona os coeficientes de restrição com o volume armazenado na albufeira. Os coeficientes de restrição consistem em limitações à satisfação da procura, variam entre 0 (não há restrição) e 1 (restringe 100%), e quanto menor for o volume armazenado maior será o coeficiente de restrição. Os níveis de ativação para a regra de exploração estão presentes na Figura 4.8 através dos limites V1 e V2, (início da Zona de Pré-Alerta e início da Zona de Alerta). As zonas anteriormente definidas também estão presentes através da definição dos limites V1, V2, V3 e V.M, de realçar que na Zona Inativa o coeficiente de restrição é 1, porque não há exploração, e na Zona Normal o coeficiente de restrição é 0.

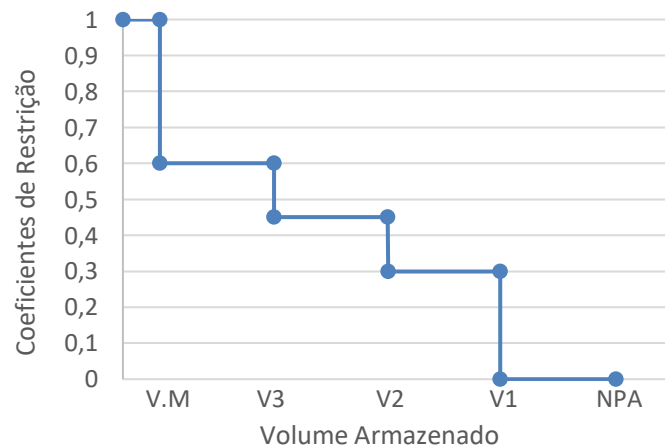


Figura 4.8 – Curva de valores escalonada

Na presente dissertação foram aplicadas regras de exploração com quatro diferentes níveis de ativação para a Zona de Pré-alerta (V1), nomeadamente:

- X 3/4 – as restrições iniciam-se para volumes < 3/4 volume máximo;
- X 2/3 – as restrições iniciam-se para volumes < 2/3 volume máximo;
- X 1/2 – as restrições iniciam-se para volumes < 1/2 volume máximo;
- X 1/3 – as restrições iniciam-se para volumes < 1/3 volume máximo.

O Quadro 4.2 resume os volumes de ativação das diferentes zonas para os quatro diferentes níveis de ativação a aplicar ao estudo de caso. Todos os limites já foram definidos anteriormente, exceto o V2, este limite consiste no valor intermédio entre o V1 (Zona Pré-Alerta) e o V3 (Zona de Emergência) para os quatro diferentes níveis de ativação ($V2 = (V1 + V3)/2$).

Quadro 4.2 – Volumes de ativação das diferentes zonas para os quatro níveis de ativação

Volume (hm ³)				
	X 3/4	X 2/3	X 1/2	X 1/3
NPA	178	178	178	178
V1	136.85	123.13	95.7	68.27
V2	95.7	88.84	75.125	61.41
V3	54.55	54.55	54.55	54.55
V.M	13.4	13.4	13.4	13.4

O Quadro 4.3, resume os coeficientes de restrição impostos à satisfação da procura nas regras de exploração, para o abastecimento público, rega e caudais ecológicos, e foram definidos com base no Plano Especial de Secas (PES) da bacia do Guadiana e na legislação (secção 2.4.2.2) (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007).

Quadro 4.3 – Coeficientes de restrição aplicáveis a cada zona

Coeficientes de Restrição				
Zona (Figura 4.7)	Abastecimento Público	Rega (mai)	Rega (nov)	Caudais Ecológicos
Normal	0	0	0	0
Pré-Alerta	0.08	0.3	0.1	0
Alerta	0.13	0.45	0.16	0
Emergência	0.23	0.6	0.3	0.5
Inativa	1	1	1	0.5

Os coeficientes de restrição aplicados ao abastecimento público, tendo em conta que o abastecimento público tem prioridade em relação a todas as outras, correspondem aos coeficientes de restrição mais baixos, como podemos ver no Quadro 4.3. Detalhadamente 8% para a Zona de Pré-Alerta, 13% para a Zona de Alerta e 23% para a Zona de Emergência (secção 2.4.2.2) (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007).

A rega possui os coeficientes de restrição mais elevados, e considerou-se que os coeficientes de restrição poderiam ser diferentes consoante a época do ano, assim foi aplicada a regra de exploração específica. Deste modo para época chuvosa (novembro) os coeficientes são mais baixos, comparando com o fim da época chuvosa, e correspondem a 10% na Zona de Pré-Alerta, 16% na Zona de Alerta e 30% na Zona de Emergência. Estes valores foram selecionados tendo em conta a legislação (secção 2.4.2.2) e com o objetivo de distinguir diferentes épocas do ano mas não prejudicando a satisfação da procura para o abastecimento público (Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol, 1992).

No fim da época chuvosa (maio) os coeficientes de restrição aumentam consideravelmente, restringindo 30% na Zona de Pré-Alerta, 45% na Zona de Alerta e 60% na Zona de Emergência, estes valores foram definidos com base no PES (secção 2.4.2.2), e correspondem a valores intermédios (Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha, 2007; Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol, 1992).

Os caudais ecológicos apenas apresentam coeficientes de restrição a partir da Zona de Emergência (Quadro 4.3), e estes mantêm-se na Zona Inativa, devido à necessidade de manter o equilíbrio dos ecossistemas a jusante. Situação que não ocorre para a procura do abastecimento público ou para a rega. Neste sentido o coeficiente de restrição corresponde a 50% para a Zona de Emergência e Zona Inativa, ou seja, a procura mensal é satisfeita pela metade.

5 RESULTADOS

5.1 Introdução

O capítulo 5 contém os resultados das várias simulações realizadas, para os 36 cenários hidrológicos considerados, com o AQUATOOL+. Tendo como propósito analisar e discutir os resultados, a utilização de indicadores de desempenho que permitem avaliar o funcionamento do sistema é indispensável. Na presente dissertação já foram apresentados indicadores de desempenho gerais e indicadores de desempenho específicos tendo em conta o estudo de caso (secção 2.4). Dentro dos indicadores apresentados foram escolhidos aqueles com maior relevância e pertinência de maneira a compreender mais facilmente os resultados, ir ao encontro do estudo de caso e auxiliar na tomada de decisão. Assim, os resultados irão ser apresentados através dos indicadores de desempenho: fiabilidade, máximo défice mensal, pelo número de meses em que o défice é 100% e pelos critérios do PES da bacia do Guadiana.

Tendo em consideração as regras de exploração apresentadas na secção 4.5, nomeadamente os níveis de ativação (Quadro 4.2) e os coeficientes de restrição (Quadro 4.3) a aplicar, torna-se importante agora resumir e simplificar a apresentação dos resultados. Assim, as simulações que irão ser apresentadas são:

- SOP (situação de controlo – regra de exploração SOP);
- X 3/4 (regra de exploração, com restrições a iniciar para volumes <3/4 volume máximo);
- X 2/3 (regra de exploração, com restrições a iniciar para volumes <2/3 volume máximo);
- X 1/2 (regra de exploração, com restrições a iniciar para volumes <1/2 volume máximo);
- X 1/3 (regra de exploração, com restrições a iniciar para volumes <1/3 volume máximo).

Em primeiro lugar, secção 5.2, serão apresentados os resultados para o indicador de desempenho fiabilidade. Como este indicador é extensamente utilizado para o planeamento de recursos hídricos devido à sua importância, e tendo como propósito apresentar os resultados da forma mais clara possível, concluiu-se que seria pertinente e adequado apresentar os resultados da fiabilidade para as várias simulações, e para os 36 cenários hidrológicos, seguidos de uma análise geral do indicador (fiabilidade média). Apenas para o indicador de desempenho fiabilidade serão apresentados os resultados para cada cenário hidrológico.

Para os restantes indicadores de desempenho, secção 5.3 a 5.5, será apresentada uma análise geral e a respetiva interpretação dos resultados, devido à expressão dos mesmos, contudo todos os resultados obtidos estão presentes no Anexo A.

Por fim, será apresentada uma análise de sensibilidade fundamentada e respetivos resultados (secção 5.6), e uma análise específica para 2 cenários hidrológicos distintos, nomeadamente um cenário húmido (secção 5.7.1), e um cenário seco (secção 5.7.2), com resultados em concreto, tendo em conta os indicadores de desempenho considerados.

5.2 Fiabilidade

A fiabilidade apresentada consiste na fiabilidade temporal, isto é, considera o período de análise. No geral, a fiabilidade consiste na probabilidade de um sistema ter sucesso, e compreende valores entre 0 a 1, onde 0 corresponde a um mau desempenho do sistema e 1 corresponde a um bom desempenho (secção 2.4.1). Os resultados seguintes apresentam o indicador de desempenho fiabilidade para as várias simulações, para as diferentes procuras (abastecimento público (AP), rega (R) e caudais ecológicos (CE)) e para os 36 cenários hidrológicos referidos anteriormente (secção 4.3).

5.2.1 Fiabilidade – Simulação SOP

Em primeiro lugar, irão ser analisados os resultados para a regra de exploração SOP, ao analisar a Figura 5.1, é possível verificar que a fiabilidade para a procura do abastecimento público e para a rega possui valores idênticos. Isto é, a regra de exploração SOP liberta sempre água para o consumidor desde que os recursos estejam disponíveis, quando há escassez de recursos os défices ocorrem na mesma proporção para as diferentes procuras. Importante realçar que a regra de exploração SOP, não possui coeficientes de restrição ou níveis de alerta (situação de controlo).

O cenário hidrológico com valor mais baixo corresponde ao cenário SMHI-ICHEC-RCP8.5-DF (Fiabilidade = 0.819), e apresenta valor igual para o abastecimento público e rega. O cenário hidrológico com valor mais alto não é possível identificar, porque vários cenários hidrológicos não apresentam défices (Fiabilidade = 1).

Relativamente à satisfação dos caudais ecológicos, para a simulação SOP, verifica-se que não existem défices para todos os 36 cenários hidrológicos (Fiabilidade = 1). Deste modo, ao obter os resultados apresentados para a situação de controlo, conclui-se que os dados de entrada e as simulações estão a ser inseridas e simuladas corretamente.

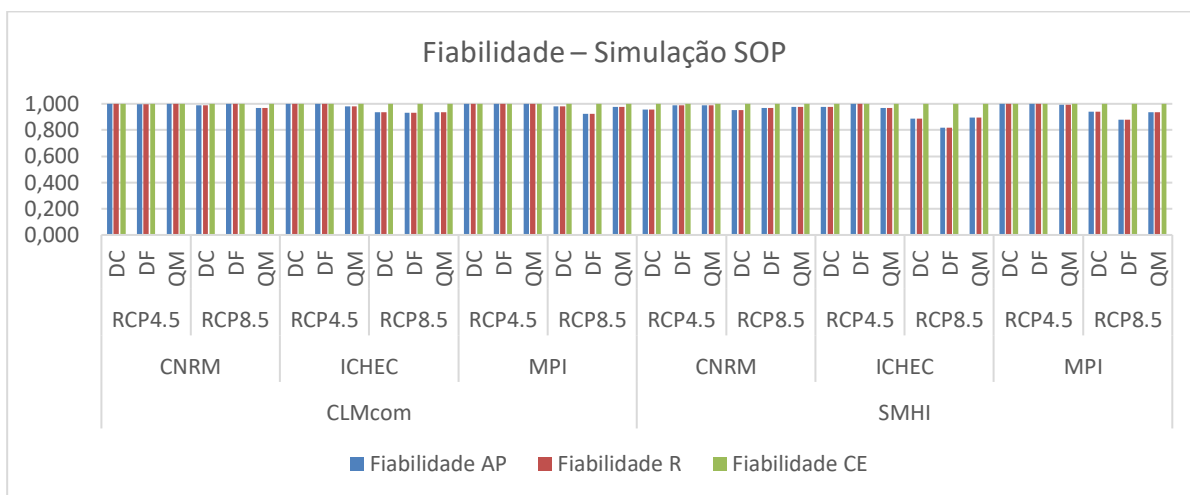


Figura 5.1 – Fiabilidade – Simulação SOP

5.2.2 Fiabilidade – Simulação X 3/4

Os resultados seguintes correspondem à simulação X 3/4, isto é, consiste na aplicação da regra de exploração em que os níveis de ativação se iniciam para volumes < 3/4 volume máximo (relembrando o Quadro 4.2 e o Quadro 4.3). A Figura 5.2 apresenta os resultados da fiabilidade temporal para a simulação X 3/4, para os 36 cenários hidrológicos e para as diferentes procuras.

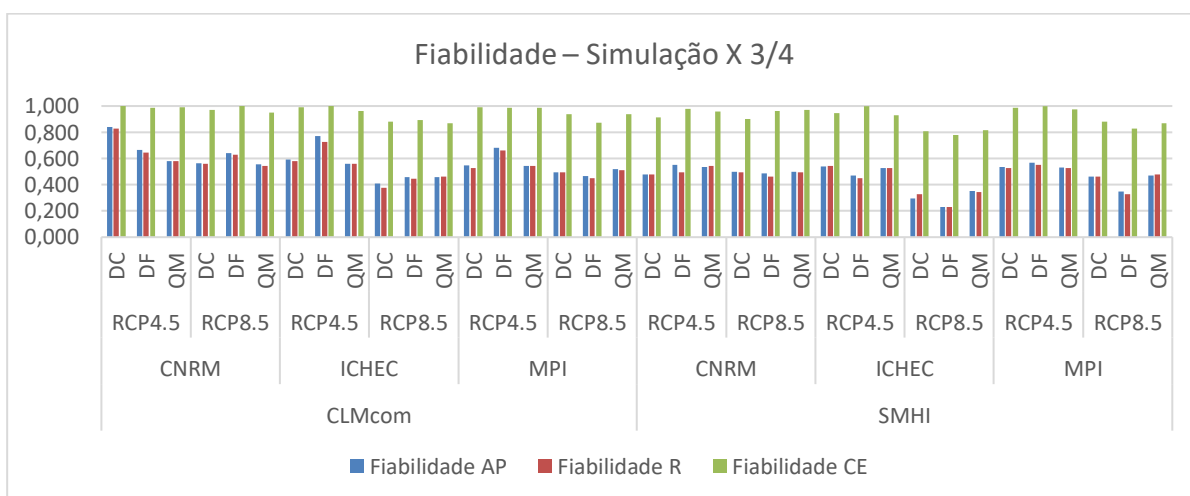


Figura 5.2 – Fiabilidade – Simulação X 3/4

Ao observar a Figura 5.2, conclui-se que o número de défices apresentados para a procura do abastecimento público e rega é elevado, e por isso a fiabilidade apresenta valores reduzidos ($0.220 < \text{Fiabilidade} < 0.850$). Isto é, pelo facto de a regra de exploração ser ativada para volumes $< 3/4$ do volume máximo, com a albufeira quase cheia, a regra de exploração começa a restringir os recursos, e assim a fiabilidade diminui pela grande quantidade de défices gerados ao longo dos períodos.

Relativamente aos caudais ecológicos é possível observar que os resultados não são tão desfavoráveis comparativamente com as outras procuras, da simulação X 3/4, pela razão de que, as restrições para os caudais ecológicos apenas começam na Zona de Emergência. Ao comparar com a regra de exploração SOP, conclui-se que com a introdução de regras de exploração com restrições na afetação dos recursos, os caudais ecológicos passam assim a apresentar défices.

5.2.3 Fiabilidade – Simulação X 2/3

Os resultados seguintes correspondem à simulação X 2/3, onde ocorre a aplicação da regra de exploração, com os níveis de ativação a iniciarem-se para volumes $< 2/3$ volume máximo. A Figura 5.3, apresenta os resultados da fiabilidade temporal para as diferentes procuras, e para os 36 cenários hidrológicos considerados.

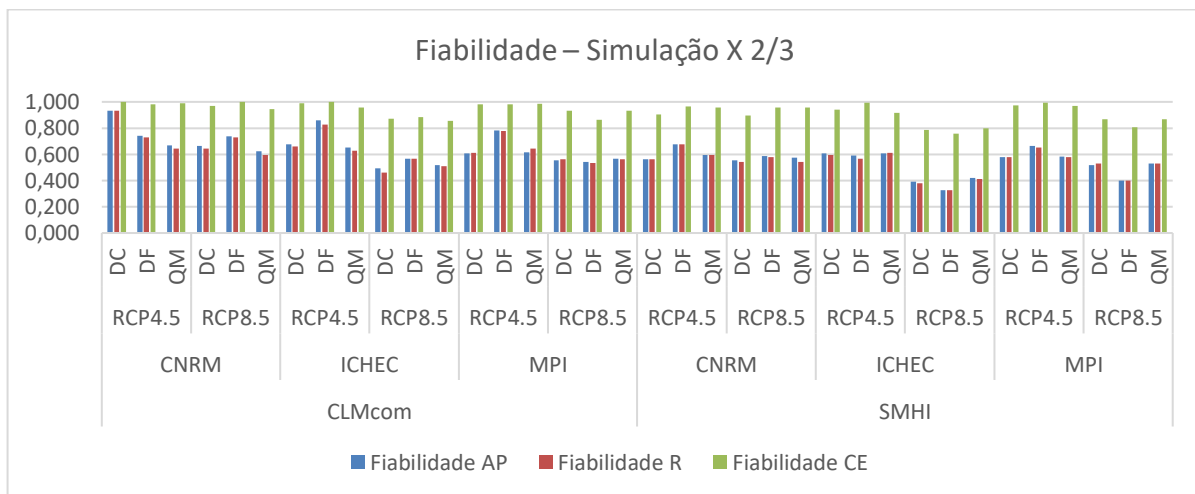


Figura 5.3 – Fiabilidade – Simulação X 2/3

Para a simulação X 2/3, destaca-se que os valores da fiabilidade para o abastecimento público e para a rega não são tão desfavoráveis, comparando com a simulação X 3/4, e os valores estão compreendidos entre $0.320 < \text{Fiabilidade} < 0.935$.

Ao comparar com os resultados apresentados anteriormente, conclui-se que os valores da fiabilidade para os caudais ecológicos são ligeiramente mais baixos, isto é, ocorrem mais défices ao longo dos períodos. A razão de a fiabilidade para os caudais ecológicos ter diminuído deve-se ao facto de os níveis de ativação das restrições para o abastecimento público e rega, terem diminuído, e por isso a salvaguarda dos recursos é menor, prejudicando assim a satisfação da procura para os caudais ecológicos.

De realçar que a regra de exploração aplicada aos caudais ecológicos é fixa, ou seja, os coeficientes de restrição e a zona de ativação não se alteram. Deste modo é possível concluir que todas as procuras estão interligadas entre si, e o facto de os níveis de ativação das restrições para o abastecimento público e rega terem diminuído (volume armazenado menor), altera a satisfação dos caudais ecológicos, e consequentemente a fiabilidade, comparando X 3/4 com X 2/3.

5.2.4 Fiabilidade – Simulação X 1/2

Os resultados seguintes correspondem à simulação X 1/2, isto é, consiste na aplicação da regra de exploração, com os níveis de ativação a iniciarem-se para volumes $< 1/2$ volume máximo. A Figura 5.4 apresenta os resultados da fiabilidade para as diferentes procuras, e para os 36 cenários hidrológicos considerados.

Os valores da fiabilidade apresentados na Figura 5.4 para a procura do abastecimento público e rega, variam entre $0.440 < \text{Fiabilidade} < 0.995$, deste modo pode-se concluir que à medida que os níveis de ativação se iniciam com um volume armazenado na albufeira menor, os défices diminuem, e os valores da fiabilidade aumentam.

Relativamente à satisfação dos caudais ecológicos, ao observar a Figura 5.4 é possível concluir que os valores continuam a baixar ligeiramente, à medida que as restrições são impostas com um volume armazenado na albufeira menor, para o abastecimento público e rega. Como já foi referido anteriormente, esta diminuição é devido à definição da regra de exploração, em particular devido aos níveis de ativação e aos coeficientes de restrição aplicados.

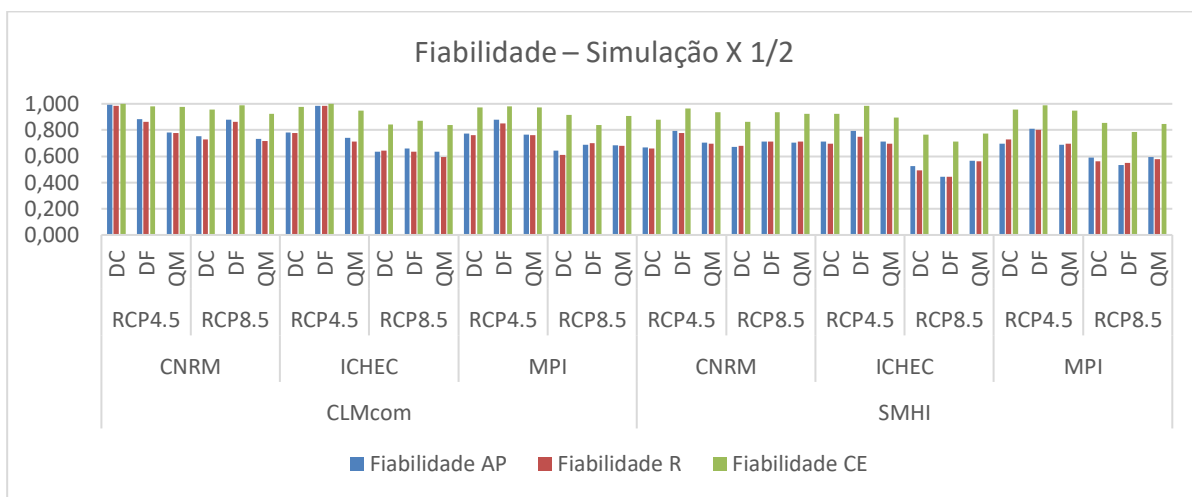


Figura 5.4 – Fiabilidade – Simulação X 1/2

5.2.5 Fiabilidade – Simulação X 1/3

Por fim, seguem-se os resultados relativos à simulação X 1/3, onde ocorre a aplicação de regras de exploração, com os níveis de ativação a iniciarem-se para volumes < 1/3 volume máximo. A Figura 5.5 apresenta os resultados da fiabilidade temporal para as diferentes procuras e para os 36 cenários hidrológicos considerados anteriormente.

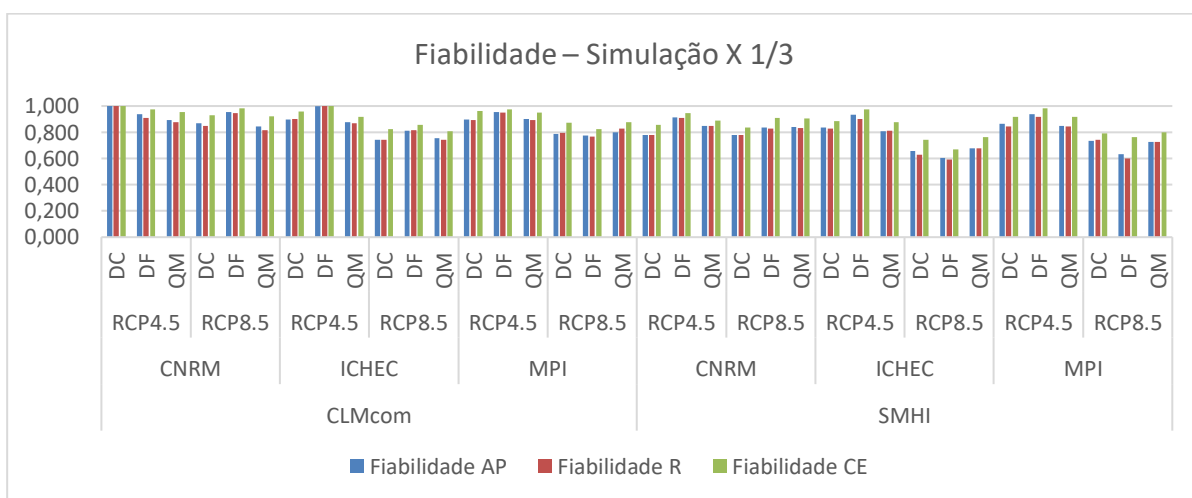


Figura 5.5 – Fiabilidade – Simulação X 1/3

Os valores da fiabilidade para a procura do abastecimento público e rega estão compreendidos entre $0.590 < \text{Fiabilidade} < 1.000$. E tal como vimos anteriormente, a tendência é a fiabilidade aumentar à medida que os níveis de ativação das restrições são ativados para um volume de armazenamento menor na albufeira.

Ao observar a Figura 5.5, em específico os resultados da fiabilidade para os caudais ecológicos, destaca-se que a fiabilidade diminuiu ligeiramente, comparando com as outras simulações. Isto é, acontece o oposto às outras procuras (abastecimento público e rega). À medida que as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira menor, a salvaguarda dos recursos é menor, os défices vão aumentar tendo em conta o volume armazenado na albufeira, e a fiabilidade diminui. A principal razão para isto acontecer consiste na definição da regra de exploração, ou seja, os caudais ecológicos apenas apresentam coeficientes de restrição para a Zona de Emergência.

No geral, e tendo em conta os 36 cenários hidrológicos considerados o cenário hidrológico com valor mais baixo corresponde ao SMHI-ICHEC-RCP8.5-DF, e o cenário hidrológico com valor mais alto corresponde ao CLMcom-CNRM-RCP4.5-DC, idêntico para as diferentes procuras e para todas as simulações. O cenário hidrológico com valores de fiabilidade mais baixos assume que as emissões de GEE continuam a crescer ao longo do próximo século, enquanto que o cenário hidrológico com valores de fiabilidade mais altos assume que o pico das emissões de GEE é atingido por volta de 2040 diminuindo posteriormente.

5.2.6 Fiabilidade Média

Depois de apresentar os resultados da fiabilidade temporal, em específico, para todas as simulações e para os 36 cenários hidrológicos, a Figura 5.6 apresenta a fiabilidade média dos 36 cenários hidrológicos, para as simulações consideradas e para as diferentes procuras.

A partir dos resultados da fiabilidade média para a procura do abastecimento público (AP), é possível destacar que a fiabilidade diminui à medida que as regras de exploração são ativadas com volume armazenado na albufeira superior, isto significa que ao efetuar restrições com a albufeira quase cheia, irá haver uma quantidade de défices superior ao longo do período de análise.

Relativamente aos resultados da fiabilidade média para a procura da rega (R), a explicação é análoga e os resultados muito próximos da procura do abastecimento público. Resumindo, os défices aumentam quando as restrições são impostas com um volume armazenado na albufeira superior, e por consequência a fiabilidade diminui. Os resultados da fiabilidade para a procura

da rega são ligeiramente mais baixos, comparando com os resultados do abastecimento público, devido à regra de exploração, nomeadamente os coeficientes de restrição impostos.

Tal como foi referido anteriormente, para a simulação SOP, os défices apresentados para o abastecimento público e rega são idênticos.

Ao observar a Figura 5.6, em específico, os resultados da fiabilidade média para os caudais ecológicos (CE), destaca-se que a situação é contrária, isto é, os défices são superiores, quando as restrições são ativadas com um volume armazenado menor. Como as procuras se relacionam entre si, é possível concluir que à medida que as restrições para o abastecimento público e rega são ativadas para volumes armazenados menores, os défices para os caudais ecológicos vão sendo maiores. Devido principalmente à definição da regra de exploração, isto é, as restrições para os caudais ecológicos apenas se iniciam na Zona de Emergência, sendo a salvaguarda dos recursos menor.

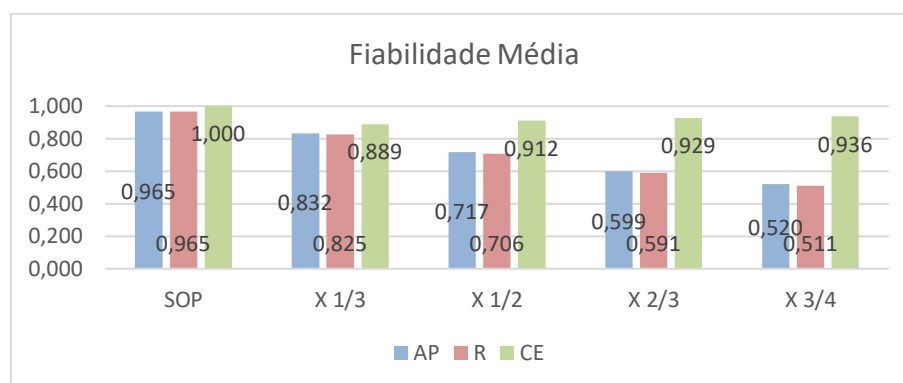


Figura 5.6 – Fiabilidade Média

Por fim, ao comparar as procuras entre si, pode-se concluir que os caudais ecológicos apresentam os valores de fiabilidade média mais elevados, e ao relacionar o abastecimento público com a rega, embora ligeiramente é possível concluir que a rega apresenta os valores mais baixos.

De um modo geral, e tendo em conta apenas o indicador de desempenho fiabilidade, conclui-se que a simulação que apresenta os resultados mais vantajosos, corresponde à simulação SOP.

5.3 Máximo Déficit Mensal

O máximo déficit mensal (%), corresponde ao mês com maior déficit mensal, de 0 a 100%, este indicador de desempenho pretende mostrar a gravidade dos défices, e assemelha-se ao indicador de desempenho vulnerabilidade (secção 2.4.1). A Figura 5.7 apresenta a média do máximo déficit mensal, para o período de 2021/2050, dos 36 cenários hidrológicos, para as várias simulações.

Ao analisar a Figura 5.7 em detalhe, conclui-se que, o abastecimento público apresenta os valores mais baixos, exceto na simulação SOP, e destaca-se uma ligeira diminuição, à medida que a regra de exploração é aplicada com um volume armazenado na albufeira maior. O mesmo acontece para a rega, contudo os valores são mais elevados comparativamente.

Relativamente aos caudais ecológicos, é possível destacar que o máximo déficit mensal está diretamente interligado com os coeficientes de restrição impostos na regra de exploração, na medida em que na simulação SOP não ocorrem défices, e nas restantes simulações o máximo déficit mensal corresponde a exatamente 50%, que consiste no coeficiente de restrição imposto.

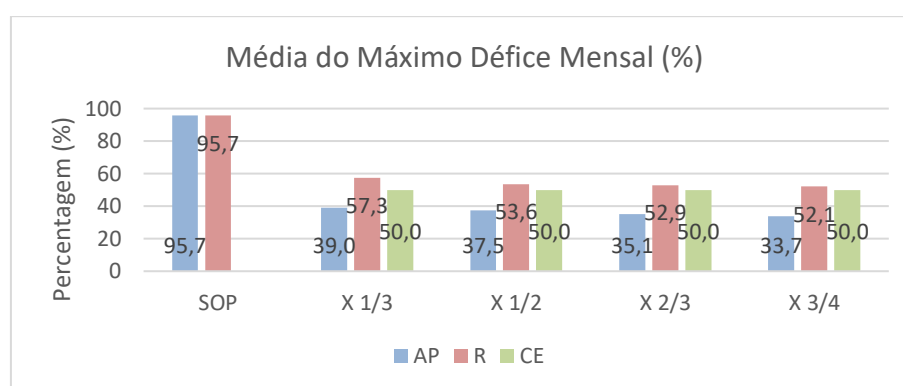


Figura 5.7 – Média do Máximo Déficit Mensal (%)

Concluindo, a simulação SOP apresenta os valores da média do máximo déficit mensal mais elevados, comparando com as outras simulações que apresentam valores muito próximos, e mais baixos.

5.4 # Défices 100%

O indicador de desempenho “# défices 100%”, corresponde ao somatório do número de meses, no período de 2021/2050 (30 anos), em que ocorrem défices de 100%. Este indicador pretende mostrar quantas vezes existe a rutura da distribuição de recursos.

Assim a Figura 5.8 apresenta o somatório dos meses com défices a 100% dos 36 cenários hidrológicos para cada simulação. Relativamente ao abastecimento público, é possível destacar que os défices de 100% diminuem à medida que as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira superior, devido à salvaguarda dos recursos ser superior, e permitir em situações de escassez que os défices não sejam tão elevados porque existe uma ressalva maior dos recursos.

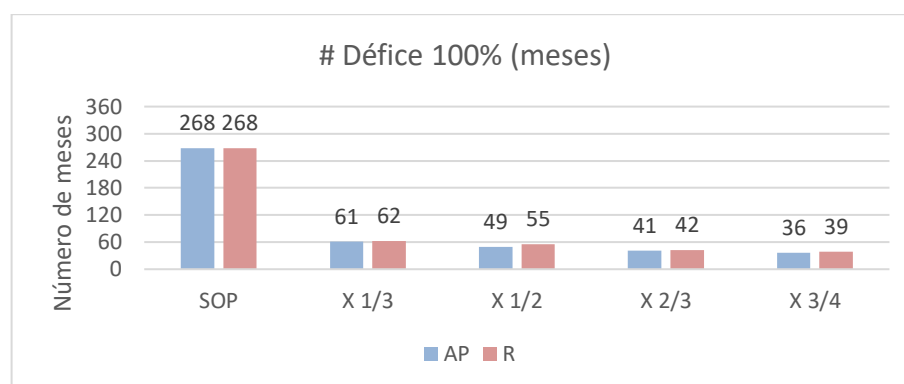


Figura 5.8 – Somatório dos meses com défices 100%

Com base na Figura 5.8, destaca-se que a rega possui em todas as simulações um número de défices de 100% superior (exceto na simulação SOP), comparando com o abastecimento público, isto deve-se à definição da regra de exploração. Para os caudais ecológicos destaca-se que não ocorrem défices de 100%, para as várias simulações durante o período de análise.

Tendo em conta os indicadores de desempenho fiabilidade, máximo défice mensal e o somatório dos meses com défices de 100%, é possível concluir em relação à simulação SOP que ocorrem poucos défices (observando a fiabilidade), contudo quando existe défice, geralmente este significa uma rutura completa do abastecimento. Para as restantes simulações conclui-se que, embora ocorra um grande número de défices (observando a fiabilidade), a gravidade e expressão dos mesmo é reduzida.

Importante referir que, para um sistema de distribuição de água, é mais vantajoso ocorrer pequenos défices durante um largo período de tempo, do que grandes défices num curto período de tempo.

5.5 Critérios do Plano Especial de Secas

O último indicador de desempenho a apresentar corresponde aos critérios do Plano Especial de Seca (PES) da bacia do Guadiana. Os critérios do PES (secção 2.4.2.2) foram utilizados com o objetivo de verificar o cumprimento ou não dos critérios, e o valor apresentado nos resultados (Anexo A) irá corresponder ao máximo défice (em %) em valores acumulados a 1, 2 e 10 anos.

Os resultados seguintes têm em conta o limite superior da legislação, apenas para a procura do abastecimento público (AP) e rega (R) (Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol, 1992). Deste modo, as figuras (Figura 5.9 a Figura 5.13) irão apresentar o cumprimento ou não cumprimento dos objetivos propostos pelos critérios do PES para 1, 2 e 10 anos, dos 36 cenários hidrológicos e para as várias simulações.

A Figura 5.9, apresenta os resultados para a situação de controlo (simulação SOP). No geral, é possível concluir que os resultados para a procura da rega são mais favoráveis, do que para a procura do abastecimento público. Por exemplo, ao observar somente os resultados para 1 ano, para a procura do abastecimento público apenas 12 dos 36 cenários hidrológicos cumprem os critérios, enquanto que para a rega 21 dos cenários hidrológicos cumprem os critérios.

Ao analisar as restantes simulações com aplicação de regras de exploração, verifica-se um elevado número de cenários hidrológicos que não cumprem os critérios do PES. Ao comparar as figuras é possível concluir que à medida que as regras de exploração são ativadas com um volume armazenado na albufeira inferior, o número de cenários hidrológicos a cumprir os critérios do PES aumenta. Assim, é possível ordenar as simulações, tendo em conta o número de cenários hidrológicos a cumprir os critérios do PES, $X_{3/4} < X_{2/3} < X_{1/2} < X_{1/3} < SOP$.

No global, a procura do abastecimento público, apresenta em todas as simulações piores resultados, isto é, o número de cenários hidrológicos a cumprir os critérios é menor, comparando com a procura da rega. Isto deve-se aos valores considerados para os critérios do PES e para os coeficientes de restrição, no sentido em que, são valores muito próximos, e como o máximo défice consiste num valor acumulado a 1, 2 e 10 anos, por vezes mesmo uma pequena percentagem importa, para cumprir os critérios do PES.

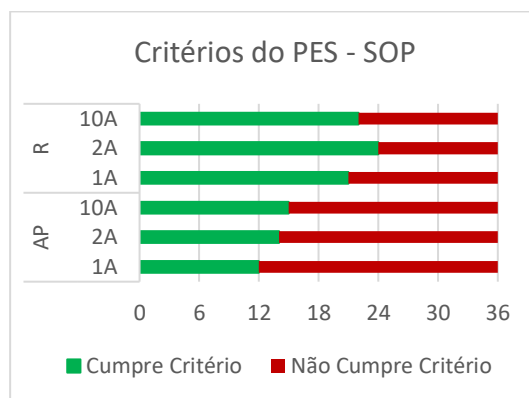


Figura 5.9 – Critérios do PES – SOP

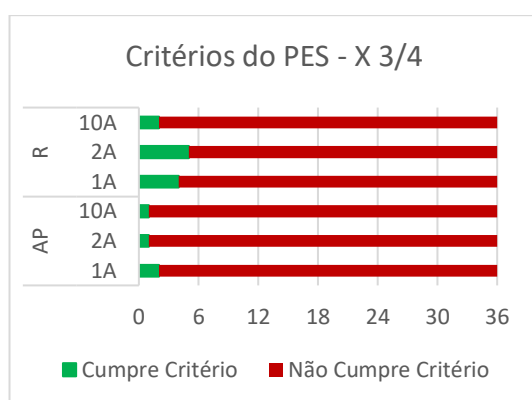


Figura 5.10 – Critérios do PES – X 3/4

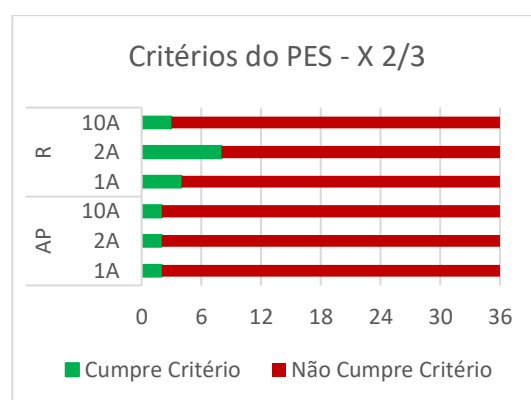


Figura 5.11 – Critérios do PES – X 2/3

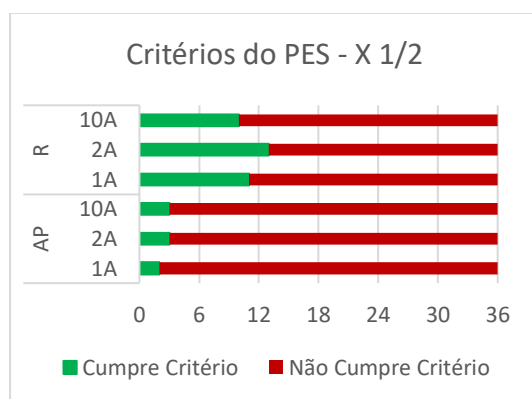


Figura 5.12 – Critérios do PES – X 1/2

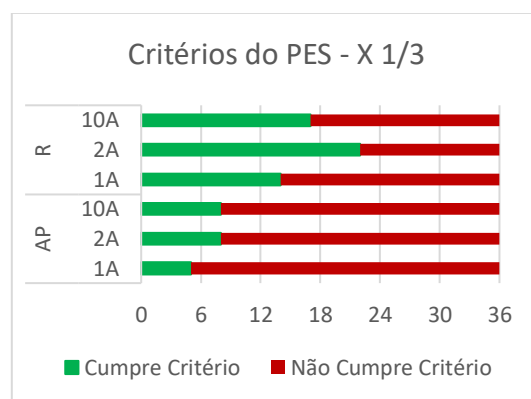


Figura 5.13 – Critérios do PES – X 1/3

Dado o exposto, e tendo em conta os indicadores de desempenho apresentados, conclui-se que existem duas simulações que se destacam pela positiva, nomeadamente a simulação SOP e a

simulação X 1/3. A regra de exploração SOP corresponde a uma regra de exploração padrão, que consiste em libertar água para o consumidor sempre que os recursos estejam disponíveis, e que tem elevada importância, contudo esta regra não contém a aplicação de regras de exploração (nomeadamente, níveis de alerta e coeficientes de restrição). No geral, embora a simulação SOP apresente inúmeras vantagens na sua aplicação, ao observar os resultados, uma das desvantagens consiste no elevado número de défices de 100%.

A simulação X 1/3, inclui a aplicação de regras de exploração com os níveis de ativação a iniciarem-se para volumes $< 1/3$ volume máximo, e tendo em conta os indicadores de desempenho, os resultados apresentados são pertinentes, e é importante realçar, muito próximos da simulação SOP.

5.6 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade que se segue, deve-se ao facto de, ao analisar em pormenor principalmente a simulação X 1/3, verificar-se que vários cenários hidrológicos não apresentavam défices, na procura da rega, no período do verão, contrariamente ao que seria esperado. Esta situação deve-se à definição da regra de exploração, em particular aos níveis de ativação.

Simplificando, ao seleccionar a regra de exploração específica para a procura da rega, a regra será aplicada tendo em conta o volume armazenado na albufeira no período anterior, o período anterior corresponde à época chuvosa. Se o volume armazenado for superior ao nível de ativação, a regra não é aplicada (maio), apenas se volta a aplicar a regra de exploração quando uma nova regra surge (novembro), isto é, início da época chuvosa. Deste modo, como a regra não é ativada, não vão ocorrer restrições (défices) no período do verão, embora o volume armazenado seja reduzido, deste modo prejudica a procura do abastecimento público.

Assim, surgiu a intenção de acrescentar mais uma simulação e simular novamente o comportamento da albufeira do EFM de Odeleite-Beliche, combinando níveis de ativação, com o objetivo de compreender como a albufeira reage a esta modificação, sem alterar as regras de exploração e os coeficientes de restrição. Essencialmente realizar uma análise de sensibilidade, isto é, encontrar os resultados da variação de um parâmetro apenas, no sistema global.

As alterações efetuadas estão presentes no Quadro 5.1, este quadro apresenta os utilizadores, as regras de exploração, os níveis de ativação das restrições e os coeficientes de restrição aplicados para cada zona (simulação X 1/3_2).

Quadro 5.1 – Dados de entrada para a simulação X 1/3_2

Simulação X 1/3_2					
Utilizador	AP	R		CE	
Regra	Anual	Específica		Anual	
Ativação das Restrições	X 1/3	X 1/2 (mai)	X 1/3 (nov)	X 1/3	
Zona (Figura 4.7)	Normal	0	0	0	0
	Pré-Alerta	0.08	0.3	0.1	0
	Alerta	0.13	0.45	0.16	0
	Emergência	0.23	0.6	0.3	0.5
	Inativa	1	1	1	0.5

Em específico, as alterações efetuadas foram nos níveis de ativação da procura da rega para o fim da época chuvosa (maio), de X 1/3 para X 1/2, aumentando assim a salvaguarda dos recursos, e iniciando a ativação das restrições para um volume armazenado na albufeira superior.

A Figura 5.14 apresenta a fiabilidade média dos 36 cenários hidrológicos para as simulações consideradas, inclusive a simulação X 1/3_2, e para as diferentes procuras. Em jeito de comparação, com a simulação X 1/3, é possível destacar que devido à alteração efetuada, a fiabilidade média para o abastecimento público e para os caudais ecológicos aumentou, e em consequência a fiabilidade média para a rega diminuiu.

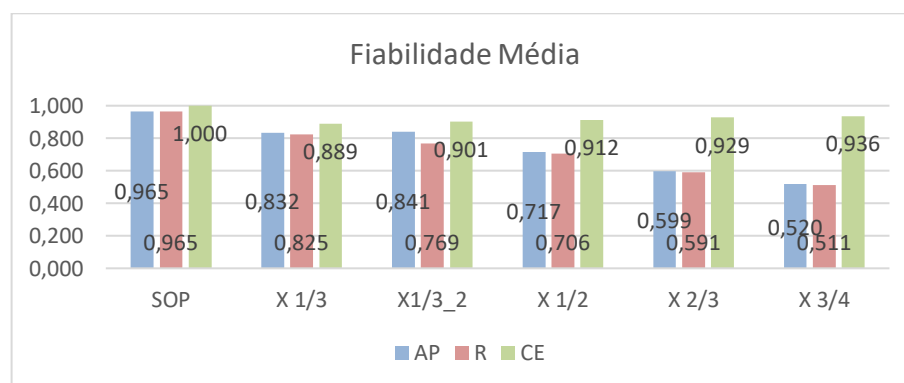


Figura 5.14 – Fiabilidade Média

A simulação X 1/3_2, para o indicador de desempenho média do máximo défice mensal (%) (Figura 5.15), apresenta para o abastecimento público um valor mais baixo, comparando com a simulação X 1/3, enquanto que para a rega a média do máximo défice mensal aumentou. O máximo défice mensal para os caudais ecológicos não apresenta alteração.

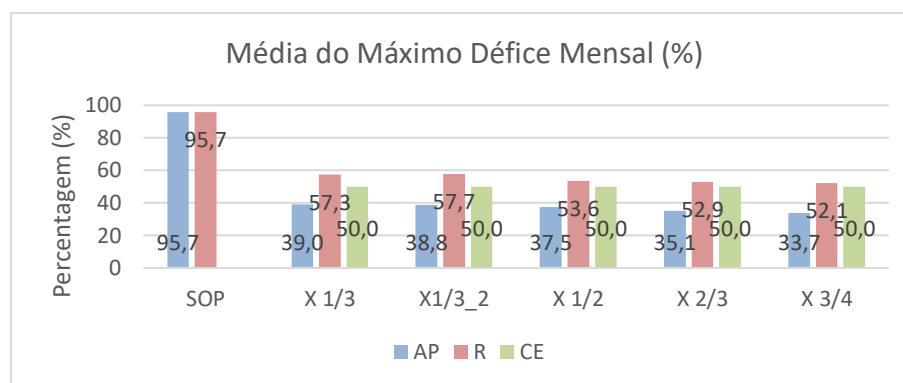


Figura 5.15 – Média do Máximo Déficit Mensal (%)

A Figura 5.16, apresenta os resultados para o indicador de desempenho somatório dos meses com défices de 100%, dos 36 cenários hidrológicos considerados, para as várias simulações e para as diferentes procuras.

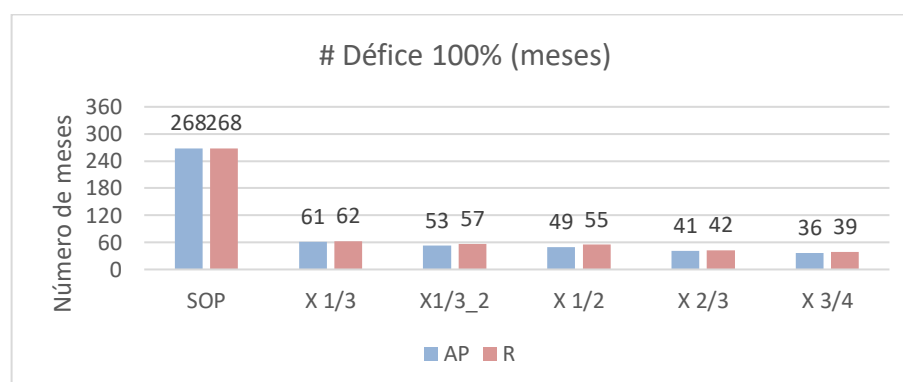


Figura 5.16 – Somatório dos meses com défices 100%

Em específico, na simulação X 1/3_2, destaca-se uma redução no número de meses com défice a 100%, comparando com a simulação X 1/3. Esta diminuição é devido ao nível de ativação da regra de exploração para a procura da rega ter aumentado, isto é, como as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira superior, aumenta a salvaguarda dos recursos, e por consequência diminui o número de meses com défices de 100%.

A Figura 5.17, apresenta os resultados obtidos para a simulação X 1/3_2, para os critérios do PES da bacia do Guadiana. Em jeito de comparação com as simulações anteriores (secção 5.5), é possível concluir que para a procura do abastecimento público os cenários hidrológicos a cumprir os critérios do PES aumentaram, enquanto que para a procura da rega acontece o contrário como seria de esperar, os cenários hidrológicos a cumprir os critérios do PES diminuíram.

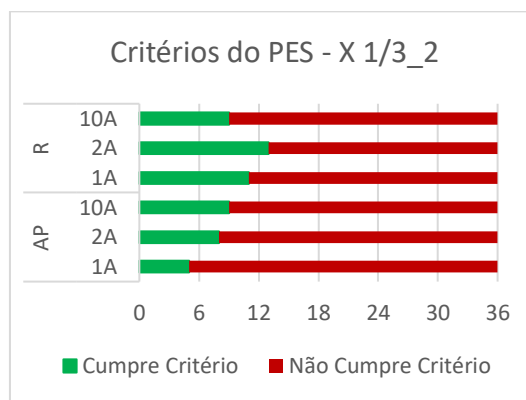


Figura 5.17 – Critérios do PES – X 1/3_2

Desta forma, a análise de sensibilidade sugerida e as alterações propostas, tinham como intuito alterar em específico os resultados dos défices, para a procura da rega, de forma a não prejudicar a procura do abastecimento público. Ao aumentar o nível de ativação pretendia-se que a regra de exploração específica para a rega fosse aplicada com um volume armazenado na albufeira superior. Em suma, ao simular o comportamento da albufeira, e ao analisar os resultados obtidos, conclui-se que as alterações propostas alcançaram o objetivo esperado, embora ligeiramente, houve alterações nos défices para a procura da rega.

5.7 Análise em Pormenor

Até ao momento, o presente capítulo 5 apresentou os resultados obtidos dos indicadores de desempenho considerados de uma forma agregada. Ao observar na globalidade, constata-se que falta uma análise em pormenor dos cenários hidrológicos, para perceber verdadeiramente como os cenários se comportam. Assim, a partir das afluências médias totais de cada cenário hidrológico foi possível ordenar os cenários, e escolher dois cenários hidrológicos distintos. Nomeadamente um cenário mais húmido (percentil 80) e com um valor superior relativamente às afluências médias totais e um cenário mais seco (percentil 20) e com um valor reduzido relativamente às afluências médias totais (APA, 2018f).

Para além dos indicadores de desempenho considerados anteriormente, será adicionado um gráfico elucidativo para cada cenário hidrológico, a relacionar o volume armazenado ao longo do período de análise (2021/2050) e os défices em percentagem para as diferentes procuras (nomeadamente, abastecimento público (AP), rega (R) e caudais ecológicos (CE)), e apenas para as simulações mais relevantes (nomeadamente, a simulação SOP e X 1/3). Deste modo, a secção 5.7.1 e a secção 5.7.2, irão caracterizar o cenário húmido e o cenário seco, respetivamente.

5.7.1 Cenário Hidrológico Húmido

O cenário húmido escolhido (CLMcom-CNRM-RCP4.5-DF) foi caracterizado segundo as afluências médias totais, e corresponde ao percentil 80. A Figura 5.18 apresenta os resultados obtidos do cenário húmido para o indicador de desempenho fiabilidade.

Ao observar os resultados, a simulação SOP apresenta défices para o abastecimento público e para a rega na mesma percentagem. As restantes simulações comportam-se da mesma forma, isto é, à medida que as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira superior, os défices aumentam em quantidade e por isso a fiabilidade diminui. De realçar que devido à definição da regra de exploração, a procura da rega apresenta um valor para a fiabilidade menor.

A fiabilidade para a procura dos caudais ecológicos comporta-se de forma contrária, isto é, à medida que as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira superior, a fiabilidade para os caudais ecológicos aumenta, devido à regra de exploração apenas ser ativada na Zona de Emergência, então quanto maior for a salvaguarda dos recursos, menos défices ocorrem.

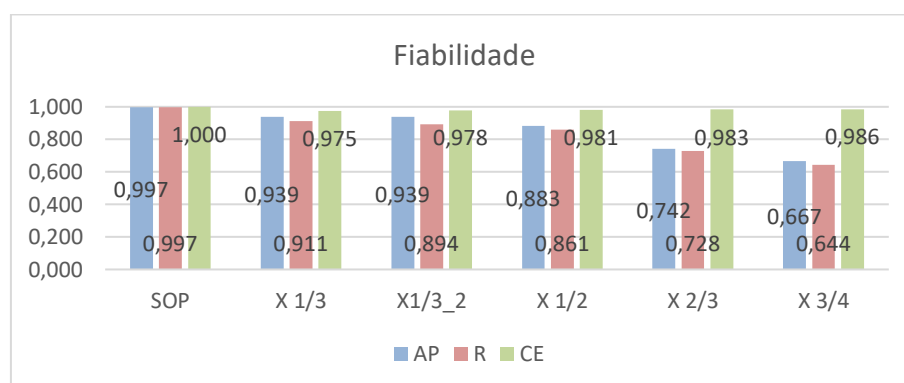


Figura 5.18 – Fiabilidade – Cenário Húmido

A Figura 5.19, apresenta os resultados obtidos do cenário húmido para o indicador de desempenho máximo défice mensal. Ao observar os resultados obtidos, a simulação SOP apresenta os resultados mais baixos (19%). As restantes simulações, apresentam para o indicador de desempenho máximo défice mensal valores idênticos aos coeficientes de restrição definidos na regra de exploração a aplicar.

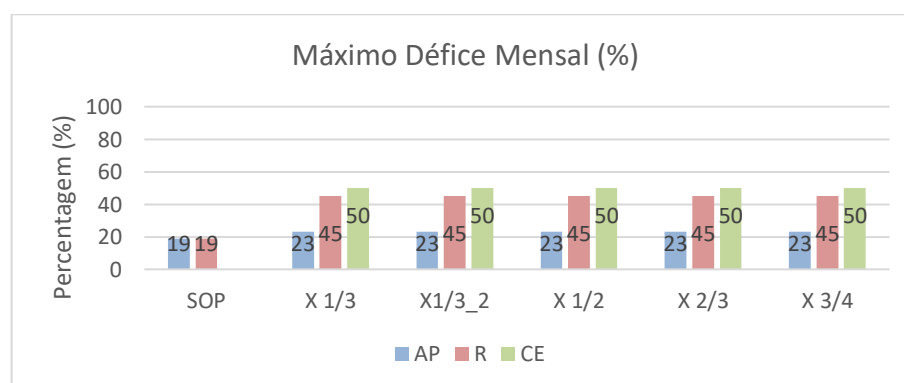


Figura 5.19 – Máximo Défice Mensal – Cenário Húmido

Tendo em conta o indicador de desempenho anterior, é possível concluir que não existem défices de 100% para o cenário húmido. O indicador de desempenho seguinte corresponde aos critérios do PES, a Figura 5.20 apresenta para o cenário húmido, o número de simulações que cumprem os critérios, para a procura do abastecimento público (AP) e rega (R), a 1, 2 e 10 anos. O valor correspondente é possível consultar no Anexo A.

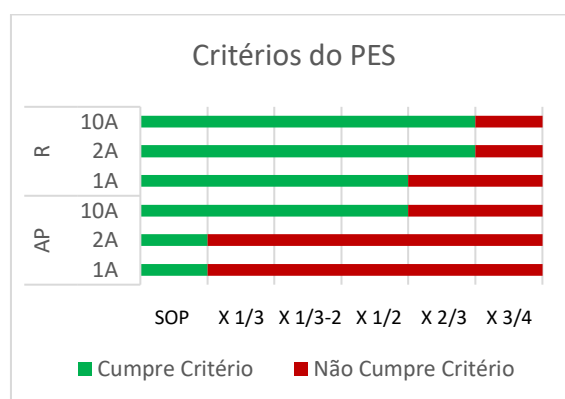


Figura 5.20 – Critérios do PES – Cenário Húmido

Ao observar os resultados obtidos, destaca-se que a simulação SOP cumpre todos os critérios. Em relação às outras simulações à medida que as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira superior o número de simulações a cumprir os critérios diminui. A simulação X 3/4 não cumpre nenhum critério do PES. Relativamente às procuras, a procura da rega obtém melhores resultados comparativamente com a procura do abastecimento público.

No global, e com base nos resultados obtidos destacam-se duas simulações pela positiva, possíveis de aplicar ao estudo de caso, nomeadamente, a simulação SOP e a simulação X 1/3. As figuras seguintes (Figura 5.21 e Figura 5.22) apresentam o volume armazenado e os défices correspondentes em percentagem para cada procura, para o período de análise, para a simulação SOP e para a simulação X 1/3, respetivamente.

A Figura 5.21, simulação SOP, apresenta défices para a procura do abastecimento público e rega na mesma percentagem, como para a regra de exploração SOP não há aplicação de coeficientes de restrição, os défices sobrepõem-se na figura apresentada. Em relação aos caudais ecológicos com base na figura e no indicador de desempenho fiabilidade, conclui-se que não ocorrem défices.

Em relação à simulação X 1/3, a Figura 5.22 contém os défices para cada procura, o volume armazenado, e os níveis de ativação aplicados na regra de exploração (em hm³). Os défices existentes são devido à ativação da regra de exploração (nomeadamente a partir dos 68.27 hm³), importante realçar que não existe a ocorrência de défices de 100% no período em análise.

O volume armazenado, quase que não sofre alterações, comparando a simulação SOP com a simulação X 1/3. Tendo em conta que o cenário em análise é um cenário húmido e naturalmente há mais afluências ao longo do período, em quantidade suficiente para a satisfação das procuras.

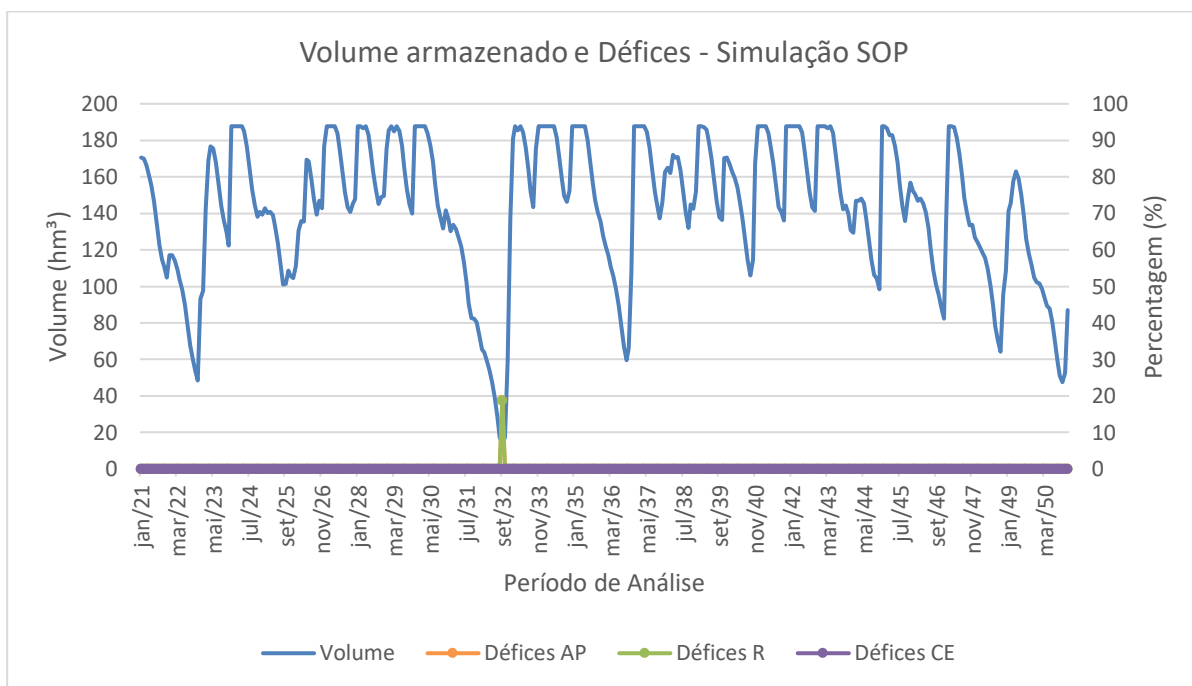


Figura 5.21 – Volume armazenado e défices – Simulação SOP – Cenário Húmido

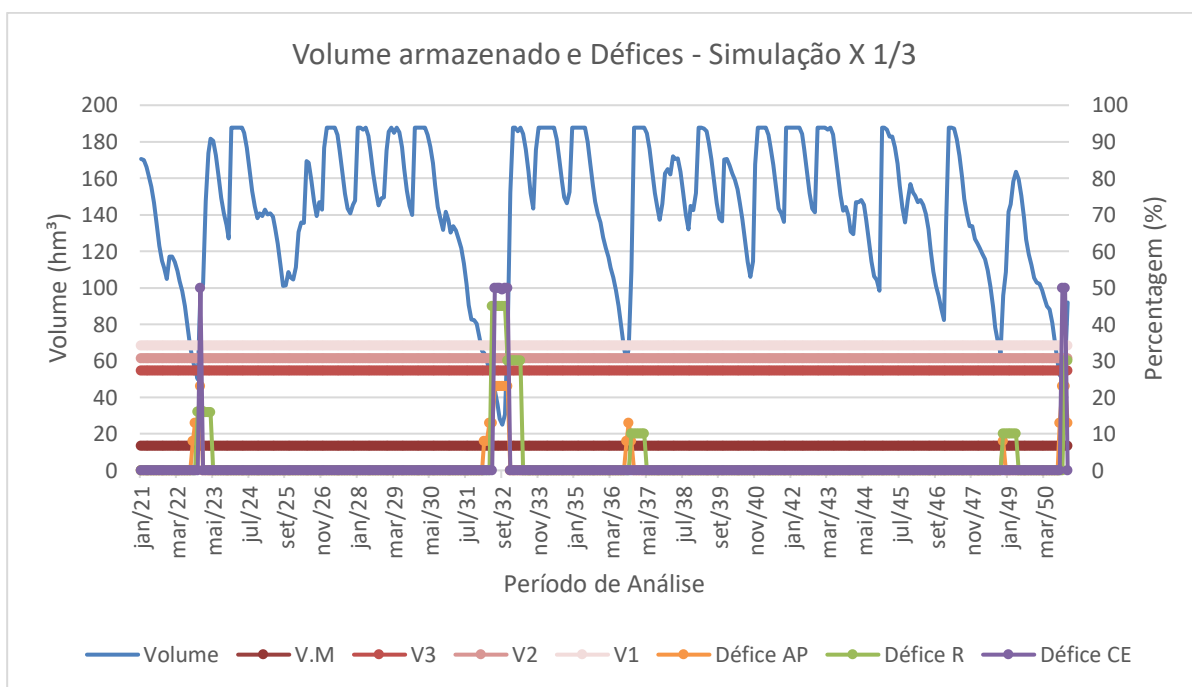


Figura 5.22 – Volume armazenado e défices – Simulação X 1/3 – Cenário Húmido

5.7.2 Cenário Hidrológico Seco

O cenário seco escolhido (SMHI-CNRM-RCP4.5-DF) foi caracterizado segundo as afluências médias totais, e corresponde ao percentil 20. A Figura 5.23 contém os resultados do cenário seco para o indicador de desempenho fiabilidade. Ao observar os resultados, conclui-se que todas as simulações se comportam de igual forma ao cenário húmido.

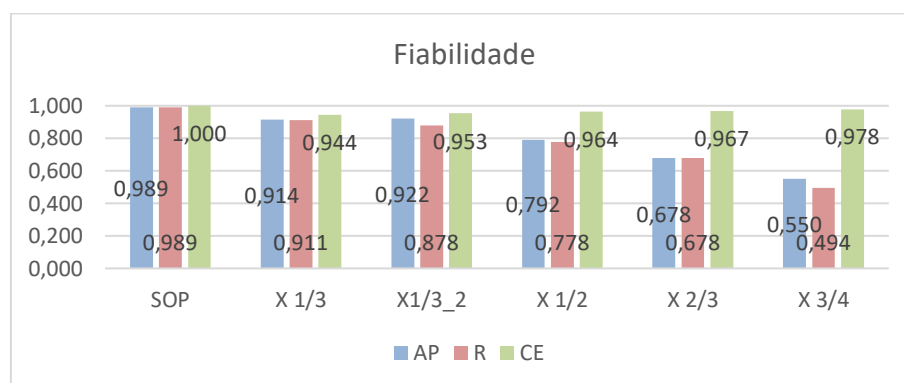


Figura 5.23 – Fiabilidade – Cenário Seco

Os dois cenários hidrológicos apresentam valores para o indicador de desempenho máximo défice mensal idênticos, com exceção da simulação SOP, como podemos ver na Figura 5.24.

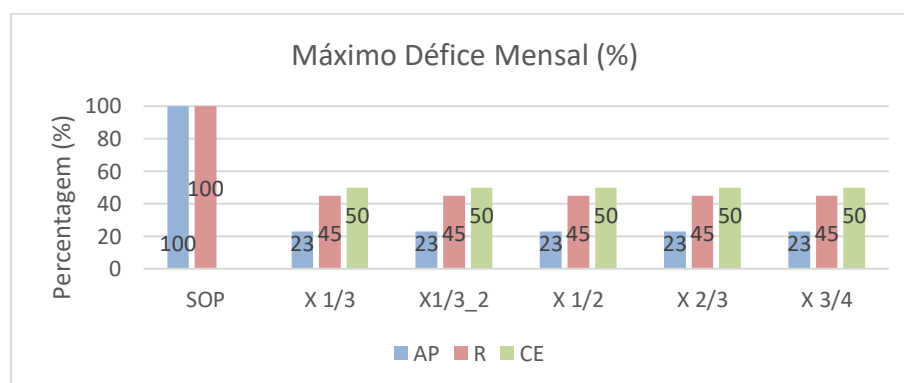


Figura 5.24 – Máximo Défice Mensal (%) – Cenário Seco

O máximo défice mensal para a simulação SOP é de 100%, ocorre a rutura total da distribuição para a procura do abastecimento público e rega. Os caudais ecológicos não apresentam défices para a simulação SOP. No entanto, ao observar o indicador de desempenho número de meses em que o défice é 100%, esta situação apenas acontece em 1 mês.

A Figura 5.25 apresenta para o cenário seco o indicador de desempenho critérios do PES, e comparativamente com o cenário húmido, é notório que o número de cenários hidrológicos a cumprir os critérios do PES diminui. O valor correspondente é possível consultar no Anexo A.

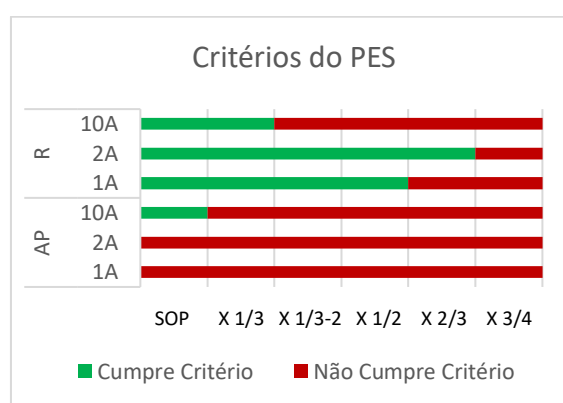


Figura 5.25 – Critérios do PES – Cenário Seco

A explicação e compreensão dos resultados, para o cenário seco, é análoga ao cenário húmido, deste modo ao observar os resultados é possível concluir que a simulação SOP apresenta um maior número de cenários a cumprir os critérios, em relação às outras simulações à medida que as restrições são ativadas com um volume armazenado na albufeira superior, o número de critérios em cumprimento é menor. Relativamente às procuras, o abastecimento público comparativamente com a rega, apresenta um reduzido número de critérios a cumprir o PES.

Na globalidade, destacam-se duas simulações a aplicar ao cenário seco, nomeadamente a simulação SOP e a simulação X 1/3. A Figura 5.26 e a Figura 5.27 relacionam o volume armazenado no período de análise com os défices correspondentes em percentagem para cada procura, para a simulação SOP e para a simulação X 1/3, respetivamente.

A simulação SOP apresenta défices para a procura do abastecimento público e rega na mesma percentagem por isso ocorre sobreposição na Figura 5.26, e não ocorrem défices para os caudais ecológicos.

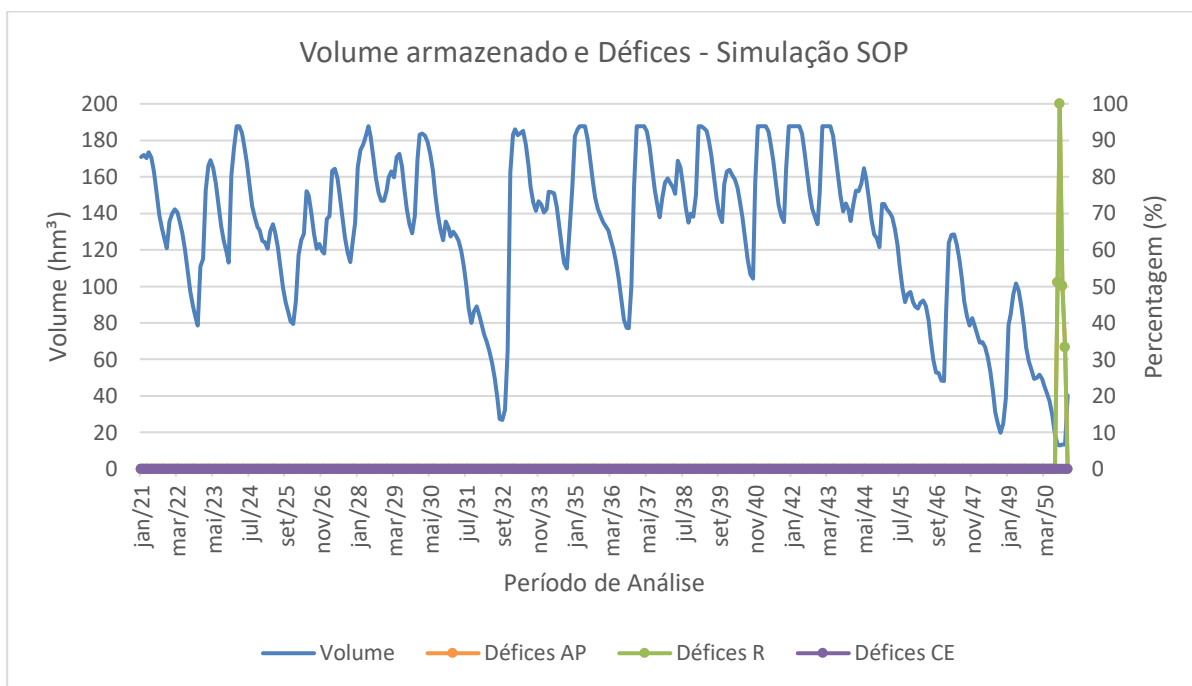


Figura 5.26 – Volume armazenado e défices – Simulação SOP – Cenário Seco

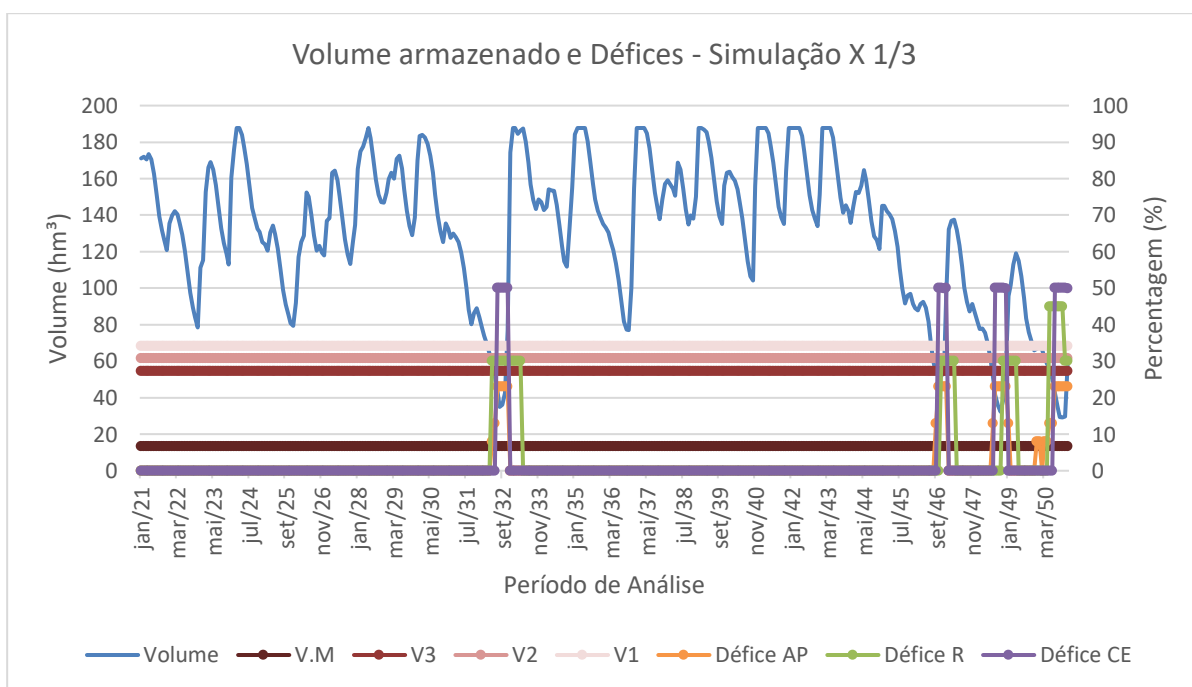


Figura 5.27 – Volume armazenado e défices – Simulação X 1/3 – Cenário Seco

Na simulação X 1/3, (Figura 5.27), é possível destacar que à medida que o volume diminui, os défices aumentam, isto é, quando a regra é ativada para volumes $< 1/3$ do volume máximo da albufeira (nomeadamente 68.27 hm^3), começam a surgir os défices para as procuras.

Importante realçar que a simulação SOP, apresenta défices de 100%, enquanto que a simulação X 1/3 não apresenta. Como foi referido anteriormente, para uma infraestrutura de distribuição de recursos é preferível haver pequenos défices durante um largo período de tempo, do que défices de grandes dimensões, e que podem significar a rutura completa do abastecimento, por um curto período de tempo.

Tendo em consideração todos os resultados apresentados anteriormente, segundo os indicadores de desempenho considerados conclui-se que a simulação SOP e a simulação X 1/3 correspondem às simulações com mais vantagens e aspetos positivos. Contudo também apresentam aspetos negativos, por isso a aplicação de qualquer regra de exploração a uma albufeira deve ser fundamentada e estudada caso a caso.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Em jeito de conclusão, o presente capítulo 6 pretende rever o trabalho elaborado e evidenciar as principais conclusões a retirar acerca das simulações realizadas. Tendo em consideração que o principal problema consistia na correta adaptação da exploração de albufeiras, com base na utilização de cenários climáticos futuros e de regras de exploração. Desta forma, com a presente dissertação pretendeu-se estudar os impactos e avaliar diferentes estratégias de atuação (regras de exploração), para reduzir os eventos de escassez de recursos.

A metodologia considerada envolveu a caracterização do empreendimento de fins múltiplos de Odeleite-Beliche (estudo de caso), a utilização de cenários climáticos futuros e a definição de regras de exploração. Depois de simular o comportamento do sistema, realizou-se uma análise dos resultados obtidos com recurso a indicadores de desempenho. Com os indicadores de desempenho considerados, um cenário ótimo compreenderia resultados como: fiabilidade = 1, máximo défice mensal = 0, número de meses com défices de 100% = 0, e as simulações a não cumprir o Plano Especial de Seca (PES) para a bacia do Guadiana = 0. Assim, para um cenário ótimo, concluía-se que as regras de exploração foram bem definidas e corretamente aplicadas. Contudo os resultados obtidos oscilam e não se encontram próximos do ideal.

Ao observar os resultados obtidos para a simulação SOP, situação de controlo, onde é aplicada a regra de exploração padrão, conclui-se que esta simulação apresenta um menor número de défices, contudo a gravidade dos défices pode ser elevada (défices de 100%), ou seja, pode ocorrer a rutura completa da distribuição. Os défices de 100% apresentam inúmeras desvantagens para a população, infraestrutura, e para o meio ambiente. A partir dos resultados obtidos, destaca-se a importância da regra de exploração padrão, ou seja, uma regra de exploração simples, fácil de aplicar, com inúmeras vantagens, e que demonstra exatamente como a albufeira se comporta, por isso ser tão utilizada.

Relativamente às outras simulações, destaca-se claramente um padrão nos resultados obtidos, sendo a única diferença os níveis de ativação, o volume armazenado na albufeira no início da ativação das restrições. Dado o exposto, destaca-se que à medida que as restrições se iniciam com um volume armazenado na albufeira superior, a quantidade de défices gerados é superior, e a fiabilidade é menor, contudo a gravidade dos défices é reduzida. O que significa que, embora ocorram muitos défices, ao restringir a distribuição, ocorre uma maior salvaguarda dos recursos, para que em situações de escassez a albufeira tenha capacidade para corresponder às necessidades de água, por isso a gravidade é reduzida.

As procuras consideradas no estudo de caso são o abastecimento público, a rega e os caudais ecológicos. Em virtude dos resultados apresentados o abastecimento público e a rega, à medida que as restrições se iniciam com um volume armazenado na albufeira superior, o indicador de desempenho fiabilidade tende a diminuir, devido ao elevado número de défices gerados ao longo do período de análise. De realçar que o valor das procuras é distinto devido às regras de exploração aplicadas a cada procura.

Os caudais ecológicos comportam-se de forma diferente, ou seja, à medida que as restrições se iniciam com um volume armazenado na albufeira superior, a fiabilidade aumenta, principalmente devido à regra de exploração aplicada. Isto é, a regra de exploração para os caudais ecológicos apenas começa a restringir os recursos na Zona de Emergência, então quanto maior for a salvaguarda dos recursos, menos défices ocorrem, logo a fiabilidade aumenta. Os caudais ecológicos correspondem a uma procura com elevada importância na gestão de albufeiras, na medida em que o equilíbrio dos ecossistemas a jusante e a sobrevivência de inúmeras espécies está dependente da satisfação dos caudais ecológicos.

A análise de sensibilidade realizada permitiu compreender como é que a albufeira se comporta apenas modificando os níveis de ativação da procura da rega, e embora as alterações não tenham sido robustas, conseguiu-se compreender as alterações no sistema global. Em suma, o objetivo foi alcançado e a albufeira comportou-se como seria esperado.

Relativamente à análise em pormenor, esta análise surgiu com o objetivo de apresentar os resultados obtidos, sem ser de uma forma agregada, como até então tinham sido apresentados. Tendo em conta, que os cenários foram caracterizados a partir das afluências médias totais, é natural que o cenário húmido apresente resultados mais positivos, comparativamente com o cenário seco, mais recursos significa menos défices.

No geral, conclui-se que as simulações realizadas com mais vantagens e aspetos positivos, tendo em conta os resultados obtidos para o estudo de caso, são a simulação SOP e a simulação X 1/3, curiosamente a simulação X 1/3 das simulações realizadas é a que mais se aproxima da simulação SOP. Contudo, importante realçar que para a população é preferível, no geral, confrontar-se com pequenos défices em largos períodos de tempo do que grandes défices em curtos períodos de tempo, e que podem significar a rutura completa do abastecimento.

A aplicação de regras de exploração à afetação dos recursos numa albufeira, corresponde a uma mais valia e acarreta imensos benefícios. Nomeadamente, benefícios para o equilíbrio do ecossistema a jusante, na medida em que é definido um volume mínimo a atribuir para a satisfação dos caudais ecológicos; benefícios para a população, porque ao aplicar a regra de exploração são impostas restrições, e ao nível do consumo doméstico essas restrições não são

perceptíveis, contudo a salvaguarda dos recursos é maior; benefícios ao nível das culturas, isto é, em anos de seca e escassez de recursos pode ser mais vantajoso escolher apenas culturas com menores necessidades de água, ou dar preferência a culturas permanentes em vez de culturas temporárias; e benefícios ao nível das infraestruturas de distribuição de recursos hídricos, na medida em que, se pretende prevenir a ocorrência de défices de elevada gravidade (défices de 100%).

Contudo, a aplicação de regras de exploração também apresenta desvantagens, na presente dissertação, a principal desvantagem consistiu nas limitações da definição e aplicação das regras de exploração. Isto é, na medida em que, as regras de exploração foram aplicadas apenas segundo o cumprimento de um parâmetro (volume armazenado na albufeira). Não tendo em conta outros parâmetros adjacentes, e que poderiam influenciar a aplicação das regras de exploração, como por exemplo a época do ano. Desta forma, a inclusão de novos parâmetros poderia trazer benefícios acrescidos e que necessitariam de mais pesquisa.

Concluindo, todas as simulações com aplicação de regras de exploração apresentam vantagens e desvantagens. A sua aplicação deve ser devidamente fundamentada e estudada caso a caso, devido à complexidade de cada albufeira.

6.2 Trabalhos Futuros

Com a realização da presente dissertação, foi conduzido um rumo e foram retiradas considerações de maneira a procurar atingir o objetivo proposto. Contudo diferentes caminhos e considerações distintas seriam igualmente possíveis de aplicar ao estudo de caso. Por consequência seguem-se possíveis trabalhos futuros, nomeadamente:

- Aplicação de outras regras de exploração ao EFM de Odeleite-Beliche – o *software* AQUATOOL+ possui diferentes regras de exploração que não foram aplicadas no estudo de caso, seria interessante estudar como cada regra de exploração se comporta e que vantagens oferece ao sistema.
- Definição de um Plano Especial de Seca para Portugal – tendo em conta que os coeficientes de restrição utilizados foram baseados no Plano Especial de Seca criado por Espanha para a bacia do Guadiana, seria uma mais valia também haver este tipo de planos de atuação em Portugal, com medidas e estratégias a adotar que ajudem na tomada de decisão.

- Implementar diferentes níveis de ativação ao EFM de Odeleite-Beliche – na presente dissertação foram aplicados níveis de ativação comuns a todas as procuras, seria interessante realizar uma pesquisa mais profunda e aplicar níveis de ativação diferentes.
- Definição de outros cenários climáticos futuros – com o objetivo de aumentar a precisão e a extensão da sua aplicação, avaliando assim de uma forma mais precisa o impacto das alterações climáticas para o EFM de Odeleite-Beliche.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas do Algarve (2018). Origens Beliche. Obtido a 12 de dezembro de 2018, de <https://www.aguasdoalgarve.pt/content/origens-beliche>.

Alvarez, J. A., Solera, A. S., Romá, J. C., e Polo, J. F. (2018). SIMGES Simulation Model of Water Resource Management including Conjunctive Use - Manual de Usuário - Versão 3.02, Universidade Politécnica de Valência, Valência.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018a). Água - Segurança de Barragens. Obtido a 27 de abril de 2018, de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=31&sub3ref=1296>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018b). Água - Planeamento. Obtido a 27 de abril de 2018, de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018c). Água - Empreendimentos de Fins Múltiplos (EFM). Obtido a 28 de junho de 2018, de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=1239>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018d). Água - Comissão de Gestão de Albufeiras. Obtido a 30 de abril de 2018, de <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=1410>.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018e). "Informação Pessoal".

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2018f). Relatório do Estado do Ambiente - Água - Disponibilidades de águas superficiais e subterrâneas.

Benestad, R., Haensler, A., Hennemuth, B., Illy, T., Jacob, D., Keup-Thiel, E., ... Zsebeházi, G. (2017). "Guidance for EURO-CORDEX Climate Projections Data Use", pp. 1-27, Genebra, Suíça.

Berg, P., Feldmann, H., e Panitz, H.-J. (2012). "Bias Correction of High Resolution Regional Climate Model Data". *Journal of Hydrology*, Vol. 448–449, pp. 80–92.

CNA - Conselho Nacional da Água (2018). Obtido a 24 de abril de 2018, de <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>.

Confederación Hidrográfica del Guadiana - Espanha (2007). Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Guadiana, Badajoz.

Cunha, M. da C. (2006). "Gestão da Água". Material de apoio às aulas, Universidade de Coimbra.

Decreto-Lei n.º 130/2012 de 22 de junho, do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Diário da República, 1.ª série, N.º 120.

Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Diário da República, 1.ª série, N.º 105.

DGADR - Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2008). "Caracterização do Aproveitamento Hidroagrícola do Sotavento Algarvio", pp. 1–24, Lisboa.

Diretiva 2000/60/CE de 23 de Outubro de 2000, do Parlamento Europeu e do Conselho. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, N.º L 327.

Draper, A. J., e Lund, J. R. (2004). "Optimal Hedging and Carryover Storage Value". Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 130, Issue 1, pp. 83–87.

EURO-CORDEX (2018). EURO-CORDEX - Coordinated Downscaling Experiment - European Domain. Obtido a 9 de agosto de 2018, de <https://www.euro-cordex.net/>.

Hashimoto, T., Stedinger, J. R., e Loucks, D. P. (1982). "Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation". Water Resources Research, Vol. 18, Issue 1, pp. 14–20.

Hipólito, J. R., e Vaz, Á. C. (2012). "Hidrologia e Recursos Hídricos". 1ª Edição, IST Press - Instituto Superior Técnico, Lisboa.

IIAMA (2018). AQUATOOL. Obtido a 28 de fevereiro de 2018, de <https://www.iiama.upv.es/iiama/en/technology-transfer/software/aquatool-i.html>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change 2014 - Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Journal of Crystal Growth, pp. 1-151, Genebra, Suíça.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2019). Obtido a 8 de janeiro de 2019, de <https://www.ipcc.ch/>.

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2018). Portal Do Clima. Obtido a 9 de agosto de 2018, de <http://portaldoclima.pt/pt/>.

Kjeldsen, T. R., e Rosbjerg, D. (2004). "Choice of Reliability, Resilience and Vulnerability Estimators for Risk Assessments of Water Resources Systems". *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 49, Issue 5, pp. 755-767.

Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro de 2005, da Assembleia da República. Diário da República n.º 249/2005, Série I-A, N.º 249.

Loucks, D. P., e Beek, E. Van. (2005). "Water Resources Systems Planning and Management: an Introduction to Methods, Models and Applications". 1ª Edição, UNESCO Publishing.

Luís, R. A. C. (2017). "Impactos das Alterações Climáticas em Sistemas Hídricos com Múltiplos Usos". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Macian-Sorribes, H. (2017). "Design of Optimal Reservoir Operating Rules in Large Water Resources Systems Combining Stochastic Programming, Fuzzy Logic and Expert Criteria". Tese de Doutoramento, Universidade Politécnica de Valência, Valência.

McMahon, T. A., Adeloye, A. J., e Zhou, S. L. (2006). "Understanding Performance Measures of Reservoirs". *Journal of Hydrology*, Vol. 324, Issue 1–4, pp. 359–382.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Espanhol (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, BOE núm.229 de 22 septiembre 2008.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes Espanhol (1992). Orden de 24 de septiembre de 1992 - Instruções e Recomendações Técnicas Complementares para a elaboração dos Planos Hidrológicos de Bacias Intercomunitárias, Madrid.

Morais, I. A. M. (2018). "Impactos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos do Algarve". Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Município de Castro Marim (2018). Candidatura do Sistema de Rega da Várzea de Odeleite. Obtido a 28 de fevereiro de 2018, de <https://cm-castromarim.pt/site/noticia/candidatura-do-sistema-de-rega-da-varzea-de-odeleite>.

Nunes, T. H. C., Galvão, C. de O., e Rêgo, J. C. (2016). "Rule Curve for Seasonal Increasing of Water Concessions in Reservoirs with Low Regularized Discharges". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 21, Issue 3, pp. 493–501.

Oliveira, R. P. (1998). "XLWAT: um add-in para Excel, Modelo Hidrológico de Precipitação-Escoamento". Chiron, Monte da Caparica.

Oliveira, R. P. (2017). "Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas". Material de apoio às aulas, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

ONU - Organização das Nações Unidas (2017). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Obtido a 8 de janeiro de 2019, de <https://www.unric.org/pt/component/content/article/32350-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>.

ONU - Organização das Nações Unidas (2019a). Água. Obtido a 8 de janeiro de 2019, de <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/>.

ONU - Organização das Nações Unidas (2019b). Alterações Climáticas. Obtido a 8 de janeiro de 2019, de <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/index.html>.

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2018a). Barragem de Odeleite. Obtido a 13 de junho de 2018, de https://snirh.apambiente.pt/index.php?idRef=MTE3Nw==&simbolo_redehidro=30L/01A.

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2018b). Barragem de Beliche. Obtido a 13 de junho de 2018, de https://snirh.apambiente.pt/index.php?idRef=MTE3Nw==&simbolo_redehidro=30L/02A.

Solera, A. S., Arquiola, J. P., e Álvarez, J. A. (2015). AQUATOOL+ - Manual De Usuário - Versão 1.0, Universidade Politécnica de Valência, Valência.

Taghian, M., Rosbjerg, D., Haghghi, A., e Madsen, H. (2013). "Optimization of Conventional Rule Curves Coupled with Hedging Rules for Reservoir Operation". *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 140, Issue 5, pp. 693–698.

Vieira, J., Cunha, M. C., e Luís, R. (2018). "Integrated Assessment of Water Reservoir Systems Performance with the Implementation of Ecological Flows under Varying Climatic Conditions". *Water Resources Management*, Vol. 32, Issue 15, pp. 5183–5205.

ANEXO A – RESULTADOS

O Anexo A apresenta os resultados obtidos para as várias simulações (simulação SOP, X 3/4, X 2/3, X 1/2, X 1/3 e X 1/3_2), para as diferentes procuras (abastecimento público, rega e caudais ecológicos), para os 36 cenários hidrológicos considerados e para os indicadores de desempenho mencionados anteriormente.

Cenários				SOP															
				Fiabilidade			Máximo Défice Mensal (%)			# Défice 100% (meses)			Critérios (Cumpre ou Não Cumpre)						
				AP	R	CE	AP	R	CE	AP	R	CE	AP			R			
													1A	2A	10A	1A	2A	10A	
CLMcom	CNRM	RCP4.5	DC	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			DF	0.997	0.997	1.000	18.7	18.7	-	0	0	-	1.94	1.94	1.94	1.96	1.96	1.96	1.96
			QM	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		RCP8.5	DC	0.989	0.989	1.000	73.1	73.1	-	0	0	-	11.18	11.18	18.36	11.96	11.96	19.24	19.24
			DF	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			QM	0.969	0.969	1.000	100	100	-	4	4	-	30.58	30.58	50.72	35.80	36.23	56.31	56.31
	ICHEC	RCP4.5	DC	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			DF	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			QM	0.981	0.981	1.000	100	100	-	2	2	-	25.36	40.29	40.29	29.76	33.60	33.60	33.60
		RCP8.5	DC	0.936	0.936	1.000	100.0	100.0	-	12	12	-	62.18	77.13	133.30	82.93	86.77	150.63	150.63
			DF	0.931	0.931	1.000	100	100	-	19	19	-	82.88	161.48	209.10	96.32	185.43	245.47	245.47
			QM	0.936	0.936	1.000	100	100	-	15	15	-	53.96	88.43	149.58	72.35	105.04	179.83	179.83
	MPI	RCP4.5	DC	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			DF	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			QM	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		RCP8.5	DC	0.981	0.981	1.000	100	100	-	1	1	-	21.17	26.53	40.25	14.44	15.27	26.27	26.27
			DF	0.925	0.925	1.000	100	100	-	24	24	-	93.51	138.12	227.45	99.32	141.60	226.72	226.72
			QM	0.975	0.975	1.000	100	100	-	3	3	-	28.18	35.00	54.52	27.18	27.91	39.63	39.63
SMHI	CNRM	RCP4.5	DC	0.958	0.958	1.000	100	100	-	9	9	-	44.37	54.66	100.73	53.98	54.15	105.51	105.51
			DF	0.989	0.989	1.000	100	100	-	1	1	-	23.83	23.83	23.83	21.91	21.91	21.91	21.91
			QM	0.989	0.989	1.000	100	100	-	2	2	-	24.09	30.82	30.82	31.97	33.03	33.03	33.03
		RCP8.5	DC	0.953	0.953	1.000	100	100	-	9	9	-	46.02	55.75	101.76	67.03	67.03	125.40	125.40
			DF	0.969	0.969	1.000	100	100	-	4	4	-	39.25	51.94	74.76	38.48	45.63	64.68	64.68
			QM	0.978	0.978	1.000	100	100	-	5	5	-	51.43	60.55	68.44	77.12	78.22	86.22	86.22
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.978	0.978	1.000	100	100	-	3	3	-	31.35	37.34	48.45	42.08	43.02	54.53	54.53
			DF	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			QM	0.967	0.967	1.000	100	100	-	7	7	-	48.88	68.47	94.08	61.64	70.17	101.83	101.83
		RCP8.5	DC	0.886	0.886	1.000	100	100	-	27	27	-	60.48	103.20	219.44	85.40	128.81	245.05	245.05
			DF	0.819	0.819	1.000	100	100	-	41	41	-	94.47	171.50	453.32	99.28	191.22	483.62	483.62
			QM	0.897	0.897	1.000	100	100	-	27	27	-	63.09	109.24	218.11	83.57	132.57	258.11	258.11
	MPI	RCP4.5	DC	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			DF	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			QM	0.992	0.992	1.000	100	100	-	1	1	-	10.33	10.33	10.33	1.92	1.92	1.92	1.92
		RCP8.5	DC	0.939	0.939	1.000	100	100	-	12	12	-	43.58	59.25	115.66	58.77	61.22	117.12	117.12
			DF	0.878	0.878	1.000	100	100	-	29	29	-	93.51	174.58	318.79	99.32	185.76	302.95	302.95
			QM	0.936	0.936	1.000	100	100	-	11	11	-	39.59	55.40	120.20	55.88	55.88	108.53	108.53

Figura A.1 – Resultados Simulação SOP

Cenários				X 3/4														
				Fiabilidade			Máximo Déficit			# Déficit 100%			Critérios (Cumpre ou Não Cumpre)					
							Mensal (%)			(meses)			AP			R		
				AP	R	CE	AP	R	CE	AP	R	CE	1A	2A	10A	1A	2A	10A
CLMcom	CNRM	RCP4.5	DC	0.842	0.828	1.000	13	16	-	0	0	-	5.35	8.11	15.53	2.25	3.17	7.28
			DF	0.667	0.644	0.986	23	45	50	0	0	0	18.21	26.79	42.24	40.64	67.57	101.34
			QM	0.578	0.578	0.989	23	45	50	0	0	0	16.18	27.36	77.97	40.64	68.42	194.87
		RCP8.5	DC	0.564	0.561	0.972	23	45	50	0	0	0	16.18	31.32	81.89	42.62	83.25	209.71
			DF	0.642	0.628	1.000	13	45	-	0	0	-	13.00	23.28	52.45	40.39	67.33	124.65
			QM	0.556	0.544	0.950	23	45	50	0	0	0	18.86	35.03	95.14	42.62	83.25	236.78
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.592	0.578	0.989	23	45	50	0	0	0	14.11	28.14	76.58	40.39	68.17	192.65
			DF	0.772	0.728	1.000	13	30	-	0	0	-	9.07	16.34	31.97	26.94	52.36	62.53
			QM	0.558	0.561	0.961	23	45	50	0	0	0	18.74	36.08	89.88	42.62	83.25	222.32
		RCP8.5	DC	0.408	0.378	0.881	23.0	60.0	50	0	0	0	23.00	41.74	121.61	55.25	95.88	279.41
			DF	0.456	0.444	0.892	100	100	50	7	5	0	80.68	114.77	208.46	90.18	149.16	399.17
			QM	0.458	0.461	0.869	28.5	62.9	50	0	0	0	23.57	44.52	120.87	55.55	97.86	292.86
	MPI	RCP4.5	DC	0.547	0.528	0.989	23	45	50	0	0	0	16.18	25.14	70.24	40.39	69.55	183.10
			DF	0.681	0.661	0.986	23	45	50	0	0	0	15.14	19.83	65.22	39.79	44.20	171.71
			QM	0.542	0.544	0.986	23	45	50	0	0	0	15.87	24.84	70.65	40.64	69.55	183.10
		RCP8.5	DC	0.494	0.494	0.936	23	45	50	0	0	0	17.57	31.45	96.03	42.62	83.25	249.77
			DF	0.464	0.450	0.872	100	100	50	4	8	0	53.31	74.90	173.67	65.89	118.38	368.97
			QM	0.519	0.511	0.936	23	45	50	0	0	0	17.57	33.33	96.99	42.62	84.99	239.90
SMHI	CNRM	RCP4.5	DC	0.478	0.478	0.914	23	45	50	0	0	0	20.10	37.45	109.44	42.62	85.23	244.03
			DF	0.550	0.494	0.978	23	45	50	0	0	0	15.14	24.11	66.91	40.64	70.39	145.25
			QM	0.533	0.544	0.958	23	45	50	0	0	0	17.57	33.88	96.60	42.62	83.25	239.69
		RCP8.5	DC	0.500	0.494	0.900	23	45	50	0	0	0	21.29	40.03	109.13	42.62	85.23	241.21
			DF	0.486	0.461	0.961	23	45	50	0	0	0	16.18	31.32	91.44	42.62	85.23	201.76
			QM	0.500	0.494	0.969	23	45	50	0	0	0	19.74	32.74	86.18	40.64	81.03	194.23
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.539	0.544	0.944	23	45	50	0	0	0	18.86	35.17	98.43	42.62	84.99	240.96
			DF	0.469	0.450	0.997	23	45	50	0	0	0	13.50	20.82	69.72	40.39	55.56	171.43
			QM	0.528	0.528	0.928	23	45	50	0	0	0	20.95	38.29	105.36	42.62	85.23	256.88
		RCP8.5	DC	0.297	0.328	0.808	47.5	72.7	50	0	0	0	25.49	45.22	149.31	56.58	99.19	352.11
			DF	0.228	0.228	0.781	100	100	50	14	12	0	80.27	151.49	333.86	96.38	183.52	569.36
			QM	0.350	0.344	0.814	100	100	50	2	1	0	39.91	61.49	163.79	61.97	104.58	319.83
	MPI	RCP4.5	DC	0.536	0.528	0.986	23	45	50	0	0	0	15.87	26.74	77.60	40.64	70.15	195.39
			DF	0.569	0.550	0.997	23	45	50	0	0	0	12.43	20.47	67.32	39.55	55.56	158.05
			QM	0.531	0.528	0.975	23	45	50	0	0	0	16.18	25.00	75.86	40.64	70.15	195.71
		RCP8.5	DC	0.461	0.461	0.881	23	45	50	0	0	0	19.38	36.20	111.07	42.62	85.23	256.95
			DF	0.347	0.328	0.828	100	100	50	9	13	0	88.04	109.07	236.66	96.18	148.67	469.72
			QM	0.469	0.478	0.869	23	45	50	0	0	0	19.38	37.56	110.97	42.62	85.23	258.23

Figura A.2 – Resultados Simulação X 3/4

Cenários				X 2/3														
				Fiabilidade			Máximo Déficit			# Déficit 100%			Critérios (Cumpre ou Não Cumpre)					
							Mensal (%)			(meses)			AP			R		
				AP	R	CE	AP	R	CE	AP	R	CE	1A	2A	10A	1A	2A	10A
CLMcom	CNRM	RCP4.5	DC	0.931	0.933	1.000	13	10	-	0	0	0	3.98	5.16	9.14	1.58	2.99	4.75
			DF	0.742	0.728	0.983	23	45	50	0	0	0	19.13	25.62	37.12	40.64	44.87	74.23
			QM	0.667	0.644	0.989	23	45	50	0	0	0	16.18	27.05	71.68	40.64	68.42	194.87
		RCP8.5	DC	0.664	0.644	0.969	23	45	50	0	0	0	16.18	31.32	75.85	42.62	83.25	208.12
			DF	0.736	0.728	1.000	13	45	-	0	0	-	13.00	23.28	45.44	40.39	67.33	97.82
			QM	0.622	0.594	0.944	23	45	50	0	0	0	19.47	35.65	90.15	42.62	83.25	209.95
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.678	0.661	0.989	23	45	50	0	0	0	14.03	27.68	71.38	40.39	68.17	192.54
			DF	0.858	0.828	1.000	13	16	-	0	0	-	7.49	11.15	20.73	2.25	3.94	8.87
			QM	0.650	0.628	0.958	23	45	50	0	0	0	18.74	36.08	85.13	42.62	83.25	209.71
		RCP8.5	DC	0.492	0.461	0.872	23.0	60.0	50	0	0	0	23.00	41.74	116.90	55.25	95.88	278.46
			DF	0.567	0.567	0.883	100	100	50	9	6	0	80.68	125.92	212.60	90.18	154.84	354.35
			QM	0.519	0.511	0.856	26.5	61.9	50	0	0	0	23.36	44.94	118.63	55.44	97.86	254.05
	MPI	RCP4.5	DC	0.608	0.611	0.983	23	45	50	0	0	0	17.26	25.57	67.06	40.39	69.45	180.36
			DF	0.781	0.778	0.981	23	45	50	0	0	0	16.18	19.83	54.31	39.79	44.03	103.84
			QM	0.617	0.644	0.986	23	45	50	0	0	0	15.59	22.69	64.18	40.39	55.56	132.60
		RCP8.5	DC	0.556	0.561	0.931	23	45	50	0	0	0	17.26	32.49	95.03	42.62	85.23	239.98
			DF	0.544	0.533	0.864	100	100	50	5	9	0	61.27	83.48	181.20	72.02	124.51	350.83
			QM	0.567	0.561	0.933	23	45	50	0	0	0	17.26	33.02	94.61	42.62	84.99	239.90
SMHI	CNRM	RCP4.5	DC	0.564	0.561	0.906	23	45	50	0	0	0	20.66	38.00	104.30	42.62	85.23	239.62
			DF	0.678	0.678	0.967	23	45	50	0	0	0	16.92	23.28	60.18	40.64	45.15	115.89
			QM	0.594	0.594	0.956	23	45	50	0	0	0	18.86	35.17	92.47	42.62	83.25	224.54
		RCP8.5	DC	0.553	0.544	0.894	23	45	50	0	0	0	21.29	40.03	106.22	42.62	85.23	228.59
			DF	0.586	0.578	0.958	23	45	50	0	0	0	16.18	31.32	83.44	42.62	85.23	201.76
			QM	0.575	0.544	0.956	23	45	50	0	0	0	19.74	32.22	77.89	42.62	70.64	176.38
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.608	0.594	0.942	23	45	50	0	0	0	18.86	35.17	95.17	42.62	84.99	226.76
			DF	0.589	0.567	0.994	23	45	50	0	0	0	12.91	21.17	60.80	40.39	55.56	144.42
			QM	0.608	0.611	0.917	23	45	50	0	0	0	21.58	38.93	101.44	42.62	85.23	241.84
		RCP8.5	DC	0.392	0.378	0.786	100	100	50	2	1	0	36.31	59.31	159.49	59.44	114.68	340.08
			DF	0.325	0.328	0.758	100	100	50	14	12	0	80.27	151.49	334.75	96.38	183.52	546.12
			QM	0.422	0.411	0.800	100	100	50	2	1	0	41.32	62.91	167.54	62.96	105.58	324.75
	MPI	RCP4.5	DC	0.578	0.578	0.975	23	45	50	0	0	0	15.59	25.49	75.52	40.39	69.27	182.77
			DF	0.664	0.650	0.994	23	30	50	0	0	0	11.58	19.85	53.54	27.78	55.58	114.28
			QM	0.581	0.578	0.969	23	45	50	0	0	0	15.59	24.60	70.33	40.39	69.55	183.10
		RCP8.5	DC	0.517	0.528	0.867	23	45	50	0	0	0	19.78	37.12	107.81	42.62	85.23	242.68
			DF	0.400	0.400	0.808	100	100	50	9	13	0	91.60	114.60	242.39	97.89	153.14	459.33
			QM	0.528	0.528	0.867	23	45	50	0	0	0	19.38	37.56	110.32	42.62	85.23	257.28

Figura A.3 – Resultados Simulação X 2/3

Cenários				X 1/2														
				Fiabilidade			Máximo Déficit			# Déficit 100%			Critérios (Cumpre ou Não Cumpre)					
							Mensal (%)			(meses)			AP			R		
				AP	R	CE	AP	R	CE	AP	R	CE	1A	2A	10A	1A	2A	10A
CLMcom	CNRM	RCP4.5	DC	0.994	0.983	1.000	8	10	-	0	0	0	1.06	1.06	1.06	1.41	1.58	1.58
			DF	0.883	0.861	0.981	23	45	50	0	0	0	18.80	21.35	26.78	39.79	44.03	46.73
			QM	0.781	0.778	0.975	23	45	50	0	0	0	17.57	27.14	61.88	40.64	55.56	105.49
		RCP8.5	DC	0.753	0.728	0.958	23	45	50	0	0	0	17.57	33.04	68.48	42.62	70.64	145.57
			DF	0.878	0.861	0.989	23	45	50	0	0	0	12.46	19.38	30.56	40.39	40.67	70.04
			QM	0.733	0.717	0.922	23	45	50	0	0	0	21.29	38.86	82.46	42.62	83.25	162.63
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.781	0.778	0.975	23	45	50	0	0	0	15.53	28.89	63.59	42.62	70.64	106.76
			DF	0.983	0.983	1.000	13	16	-	0	0	-	3.20	3.70	3.72	2.25	2.53	2.53
			QM	0.742	0.711	0.950	23	45	50	0	0	0	18.74	36.08	77.85	42.62	83.25	169.09
		RCP8.5	DC	0.636	0.644	0.842	72.5	85.7	50	0	0	0	28.12	46.86	114.75	57.94	98.58	232.26
			DF	0.661	0.633	0.869	100	100	50	9	13	0	72.80	126.02	200.96	96.62	165.97	327.77
			QM	0.633	0.594	0.839	58.7	78.6	50	0	0	0	26.69	48.27	111.79	57.19	97.86	252.63
	MPI	RCP4.5	DC	0.772	0.761	0.972	23	45	50	0	0	0	16.67	20.01	45.43	38.38	42.79	58.69
			DF	0.878	0.850	0.981	23	45	50	0	0	0	15.27	16.52	36.65	38.38	42.62	77.19
			QM	0.767	0.761	0.972	23	30	50	0	0	0	14.07	17.11	46.35	27.18	31.41	58.94
		RCP8.5	DC	0.642	0.611	0.914	23	45	50	0	0	0	16.67	32.35	88.20	42.62	72.62	201.77
			DF	0.686	0.700	0.839	100	100	50	8	11	0	72.20	94.42	191.44	82.20	134.69	274.47
			QM	0.683	0.678	0.906	23	45	50	0	0	0	16.37	32.46	90.41	42.62	72.62	192.60
SMHI	CNRM	RCP4.5	DC	0.669	0.661	0.881	23	45	50	0	0	0	22.22	40.96	102.15	42.62	85.23	204.87
			DF	0.792	0.778	0.964	23	45	50	0	0	0	17.29	20.96	48.73	39.79	44.20	99.33
			QM	0.703	0.694	0.936	23	45	50	0	0	0	20.41	37.05	86.15	42.62	72.62	163.99
		RCP8.5	DC	0.672	0.678	0.864	23	60	50	0	0	0	22.22	42.88	99.87	55.25	83.25	190.10
			DF	0.711	0.711	0.936	23	45	50	0	0	0	18.27	35.06	76.80	42.62	85.23	157.73
			QM	0.703	0.711	0.922	23	60	50	0	0	0	21.71	35.06	74.13	55.25	82.43	138.32
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.714	0.694	0.922	23	45	50	0	0	0	19.41	35.59	89.90	42.62	72.62	200.76
			DF	0.794	0.750	0.986	23	30	50	0	0	0	12.43	17.16	40.21	28.02	32.25	66.96
			QM	0.711	0.694	0.897	23	45	50	0	0	0	22.22	39.56	97.75	42.62	85.23	215.03
		RCP8.5	DC	0.525	0.494	0.767	100	100	50	4	2	0	45.10	64.51	157.86	65.40	117.70	318.71
			DF	0.444	0.444	0.711	100	100	50	14	12	0	80.27	151.16	337.11	96.38	183.52	520.42
			QM	0.567	0.561	0.772	100	100	50	2	1	0	42.19	65.19	160.05	63.94	119.19	296.12
	MPI	RCP4.5	DC	0.697	0.728	0.958	23	30	50	0	0	0	14.21	22.24	64.14	27.78	32.29	70.13
			DF	0.811	0.800	0.989	23	30	50	0	0	0	11.12	13.72	32.93	25.77	30.00	65.53
			QM	0.686	0.694	0.947	23	45	50	0	0	0	14.57	25.00	63.25	39.79	55.80	120.86
		RCP8.5	DC	0.592	0.561	0.856	23	45	50	0	0	0	19.97	36.76	101.95	42.62	85.23	232.05
			DF	0.533	0.550	0.786	100	100	50	12	16	0	100.00	129.43	255.36	100.00	156.11	436.41
			QM	0.594	0.578	0.847	23	45	50	0	0	0	19.47	37.24	104.57	42.62	85.23	232.05

Figura A.4 – Resultados Simulação X 1/2

Cenários				X 1/3														
				Fiabilidade			Máximo Défice			# Défice 100%			Critérios (Cumpre ou Não Cumpre)					
							Mensal (%)			(meses)			AP			R		
				AP	R	CE	AP	R	CE	AP	R	CE	1A	2A	10A	1A	2A	10A
CLMcom	CNRM	RCP4.5	DC	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			DF	0.939	0.911	0.975	23	45	50	0	0	0	16.89	16.89	19.32	38.38	42.62	44.20
			QM	0.892	0.878	0.953	23	30	50	0	0	0	17.25	24.32	48.60	30.00	34.23	48.20
		RCP8.5	DC	0.869	0.850	0.928	23	30	50	0	0	0	20.90	35.86	63.32	30.00	34.23	72.04
			DF	0.953	0.944	0.983	23	45	50	0	0	0	8.16	11.18	18.11	40.39	40.67	45.43
			QM	0.844	0.817	0.922	23	60	50	0	0	0	23.00	38.57	69.91	55.25	59.48	110.36
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.897	0.900	0.958	23	30	50	0	0	0	18.46	27.43	47.16	30.00	34.75	46.79
			DF	0.997	1.000	1.000	8	-	-	0	-	-	0.52	0.52	0.52	0.00	0.00	0.00
			QM	0.875	0.867	0.919	23	60	50	0	0	0	23.00	39.12	68.02	55.25	60.00	76.27
		RCP8.5	DC	0.744	0.744	0.822	87.2	93.4	50	0	0	0	32.82	50.40	107.13	60.99	90.99	185.22
			DF	0.811	0.817	0.858	100	100	50	10	14	0	74.42	137.53	191.78	96.62	174.60	278.15
			QM	0.756	0.744	0.806	72.2	85.6	50	0	0	0	28.14	51.14	106.28	57.96	113.21	207.44
	MPI	RCP4.5	DC	0.897	0.894	0.961	23	30	50	0	0	0	12.92	13.42	27.85	4.23	6.16	13.62
			DF	0.956	0.950	0.975	23	30	50	0	0	0	11.54	12.34	20.77	4.23	4.75	9.51
			QM	0.900	0.894	0.950	23	30	50	0	0	0	12.19	12.19	30.64	4.23	7.01	16.27
		RCP8.5	DC	0.786	0.794	0.872	23	45	50	0	0	0	19.47	34.22	79.10	42.62	47.37	91.63
			DF	0.775	0.767	0.825	100	100	50	9	12	0	80.68	102.89	188.49	89.69	142.18	245.47
			QM	0.800	0.828	0.875	23	45	50	0	0	0	18.46	33.67	85.29	42.62	47.37	91.63
SMHI	CNRM	RCP4.5	DC	0.781	0.778	0.856	23	60	50	0	0	0	23.00	40.57	95.97	55.25	85.25	154.23
			DF	0.914	0.911	0.944	23	45	50	0	0	0	17.20	18.52	38.07	38.38	42.62	47.89
			QM	0.850	0.850	0.889	23	45	50	0	0	0	22.22	37.60	77.17	42.62	47.37	65.86
		RCP8.5	DC	0.781	0.778	0.836	23	60	50	0	0	0	23.00	42.95	93.20	55.25	85.25	154.23
			DF	0.836	0.828	0.908	23	60	50	0	0	0	19.60	37.33	69.97	55.25	97.86	142.58
			QM	0.842	0.833	0.906	23	60	50	0	0	0	23.00	33.59	59.42	55.25	59.48	109.90
	ICHEC	RCP4.5	DC	0.836	0.828	0.886	23	60	50	0	0	0	23.00	37.74	81.88	55.25	60.00	103.74
			DF	0.933	0.900	0.975	23	30	50	0	0	0	9.12	10.84	19.99	4.75	8.98	17.43
			QM	0.808	0.811	0.875	23	60	50	0	0	0	23.00	41.21	92.03	55.25	85.25	128.98
		RCP8.5	DC	0.658	0.628	0.744	100	100	50	6	4	0	49.79	72.79	164.60	69.85	125.10	280.46
			DF	0.603	0.594	0.669	100	100	50	16	13	0	80.27	150.64	348.68	96.38	183.52	487.80
			QM	0.678	0.678	0.761	100	100	50	7	4	0	52.04	75.04	172.82	71.83	127.07	259.30
	MPI	RCP4.5	DC	0.864	0.844	0.919	23	30	50	0	0	0	11.54	17.28	48.25	4.75	9.51	27.99
			DF	0.936	0.917	0.981	23	30	50	0	0	0	7.39	7.39	17.28	4.23	4.75	12.04
			QM	0.847	0.844	0.919	23	30	50	0	0	0	12.19	21.49	46.28	4.75	8.98	23.55
		RCP8.5	DC	0.736	0.744	0.792	23	60	50	0	0	0	23.00	40.27	102.34	55.25	85.25	154.75
			DF	0.631	0.600	0.764	100	100	50	13	15	0	99.33	146.20	265.30	99.32	185.76	302.95
			QM	0.728	0.728	0.800	23	60	50	0	0	0	23.00	39.44	104.50	55.25	72.62	167.37

Figura A.5 – Resultados Simulação X 1/3

				X 1/3_2														
Cenários				Fiabilidade			Máximo Déficit Mensal (%)			# Déficit 100% (meses)			Critérios (Cumpre ou Não Cumpre)					
				AP	R	CE	AP	R	CE	AP	R	CE	AP			R		
				1.000	1.000	1.000	-	-	-	-	-	-	1A	2A	10A	1A	2A	10A
CLMcom	CNRM	RCP4.5	DC	0.939	0.894	0.978	23	45	50	0	0	0	16.89	16.89	19.32	38.38	42.62	44.20
			QF	0.897	0.833	0.964	23	45	50	0	0	0	17.25	24.32	43.37	42.62	57.78	109.09
			DC	0.875	0.783	0.947	23	45	50	0	0	0	17.18	30.76	55.35	42.62	81.00	160.38
		RCP8.5	DF	0.953	0.928	0.986	23	45	50	0	0	0	8.16	11.18	17.08	40.39	40.67	70.67
			QF	0.844	0.767	0.906	23	45	50	0	0	0	22.22	37.79	66.86	42.62	82.41	160.84
			DC	0.903	0.850	0.964	23	45	50	0	0	0	16.09	23.71	40.94	42.62	72.62	108.95
	ICHEC	RCP4.5	DF	0.997	1.000	1.000	8	-	-	0	-	-	0.52	0.52	0.52	0.00	0.00	0.00
			QF	0.883	0.783	0.933	23	45	50	0	0	0	20.26	35.01	59.66	42.62	85.23	173.53
			DC	0.747	0.711	0.828	80.8	90.0	50	0	0	0	28.97	46.54	102.76	58.39	101.01	233.11
		RCP8.5	DF	0.814	0.750	0.864	100	100	50	9	13	0	73.59	132.51	183.48	96.92	170.95	336.68
			QF	0.767	0.661	0.828	72.2	85.6	50	0	0	0	28.73	50.32	99.94	58.39	101.01	254.64
			DC	0.911	0.844	0.967	23	45	50	0	0	0	12.92	12.92	24.26	38.38	42.62	55.77
	MPI	RCP4.5	DF	0.956	0.917	0.981	23	45	50	0	0	0	10.15	10.64	18.03	38.38	42.62	72.62
			QF	0.908	0.844	0.958	23	30	50	0	0	0	11.54	11.54	26.47	25.77	30.00	55.77
			DC	0.806	0.694	0.897	23	45	50	0	0	0	17.83	29.64	67.36	42.62	72.62	198.78
		RCP8.5	DF	0.775	0.717	0.825	100	100	50	7	11	0	76.89	99.11	172.49	86.64	139.13	316.96
			QF	0.822	0.711	0.897	23	45	50	0	0	0	14.88	26.20	70.05	42.62	72.62	215.87
			DC	0.797	0.711	0.878	23	45	50	0	0	0	22.22	38.34	86.61	42.62	85.23	226.23
SMHI	CNRM	RCP4.5	DF	0.922	0.878	0.953	23	45	50	0	0	0	15.80	16.60	33.21	38.38	42.62	96.16
			QF	0.858	0.733	0.917	23	45	50	0	0	0	20.41	33.76	67.31	42.62	72.62	186.16
			DC	0.797	0.711	0.847	23	60	50	0	0	0	23.00	42.95	89.13	55.25	97.86	217.34
		RCP8.5	DF	0.858	0.794	0.917	23	60	50	0	0	0	18.97	35.74	64.42	55.25	97.86	180.45
			QF	0.850	0.783	0.914	23	60	50	0	0	0	22.35	32.94	58.78	55.25	81.02	135.15
			DC	0.844	0.744	0.908	23	45	50	0	0	0	21.58	34.00	71.27	42.62	72.62	200.76
	ICHEC	RCP4.5	DF	0.936	0.850	0.981	23	30	50	0	0	0	8.66	10.14	18.80	27.18	31.41	63.48
			QF	0.822	0.761	0.886	23	60	50	0	0	0	23.00	40.08	82.50	55.25	97.86	226.25
			DC	0.667	0.611	0.753	100	100	50	6	4	0	47.38	69.92	156.54	67.34	122.59	319.38
		RCP8.5	DF	0.636	0.517	0.692	100	100	50	14	12	0	80.27	150.64	326.41	96.38	183.52	544.44
			QF	0.683	0.644	0.761	100	100	50	4	2	0	43.14	66.14	153.69	66.29	121.54	309.79
			DC	0.864	0.761	0.944	23	45	50	0	0	0	11.34	16.28	41.47	38.14	38.14	96.71
	MPI	RCP4.5	DF	0.942	0.883	0.983	23	30	50	0	0	0	6.28	6.30	13.27	25.77	30.00	62.53
			QF	0.858	0.744	0.931	23	45	50	0	0	0	11.54	16.34	37.32	38.38	55.80	119.92
			DC	0.750	0.644	0.833	23	45	50	0	0	0	20.39	35.46	89.40	42.62	85.23	243.08
		RCP8.5	DF	0.647	0.583	0.775	100	100	50	13	15	0	99.33	136.65	249.40	98.87	155.59	446.93
			QF	0.733	0.644	0.842	23	45	50	0	0	0	18.86	35.55	94.60	42.62	85.23	243.08

Figura A.6 – Resultados Simulação X 1/3_2