

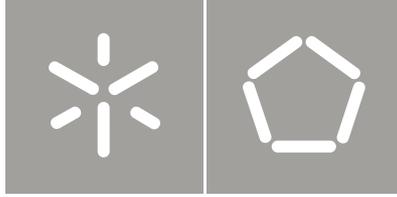


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Pedro da Silva Malheiro

Água e Alimentação no
Contexto das Alterações Climáticas

Rui Pedro da Silva Malheiro
Água e Alimentação no
Contexto das Alterações Climáticas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Pedro da Silva Malheiro

Água e Alimentação no
Contexto das Alterações Climáticas

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Naim Haie

AGRADECIMENTOS

Para a realização da dissertação de mestrado foram não poucas as ajudas de amigos, colegas e professores e, face à sua importância na elaboração deste trabalho, seria ingrato não lhes prestar referência.

A primeira referência é feita ao orientador Professor Doutor Naim Haie devido ao seu interesse pela temática abordada neste trabalho, contribuindo com a sua opinião, de forma pertinente, para o enriquecimento da dissertação. Para além dos ensinamentos académicos por ele transmitido à minha pessoa agradeço também os seus conselhos sobre a vida e o seu humanismo. Bem-haja professor.

Em segundo lugar, é importante também agradecer o empenho e trabalho desenvolvido pelo departamento de engenharia civil da Universidade do Minho ao longo destes cinco anos da minha formação. Muito obrigado a todos os professores deste departamento, em especial aos do perfil de Hidráulica e Ambiente, estando certo que o trabalho por eles desenvolvido muito contribuiu para o enriquecimento do meu conhecimento sobre engenharia civil.

Expresso um caloroso obrigado a todos os colegas e amigos que tive a felicidade de encontrar ao longo do mestrado e que muito me ajudaram nesta caminhada académica. É justo destacar o colega Emanuel que foi a pessoa com quem mais troquei ideias nos últimos meses.

Por fim, pretendo também aqui deixar registado referência à minha família por toda a ajuda prestada para a conclusão do curso. OBRIGADO.

A possibilidade da realização deste trabalho deve-se a todas as pessoas e instituições invocadas anteriormente mas ainda, aos professores e colegas que tive o prazer de encontrar e conviver ao longo da minha vida escolar, incluo: jardim-de-infância da Carvalhosa, Escola primária de Vila Verde, Escola E, B 2 e 3 de Vila Verde e Escola Secundária de Vila Verde.

ÁGUA E ALIMENTAÇÃO NO CONTEXTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

RESUMO

A crescente consciencialização por parte das pessoas da problemática ambiental torna o estudo das alterações climáticas um mecanismo importante e central para aferir dos reais impactos que este conceito tem e terá no campo da gestão dos recursos hídricos e da produção de alimentos a nível regional, nacional e global. Nesta dissertação o autor tecerá comentários genéricos sobre o trinómio “Recursos hídricos, alimentação e alterações climáticas” para posteriormente apresentar o caso de estudo. O cálculo da evapotranspiração das culturas é um mecanismo básico para aferir os balanços hídricos e para estimar a disponibilidade de água e exigências sendo obrigatório o seu conhecimento em escalas temporais e espaciais para uma gestão equilibrada dos recursos hídricos. Com efeito, o que se pretende, em termos gerais, com a elaboração da presente tese de mestrado é avaliar os efeitos que as mudanças climáticas terão nos recursos hídricos e na produtividade alimentar da região de Alqueva. Serão avaliadas cinco culturas, a saber: oliveira, vinha, tomate, citrinos e trigo. Far-se-á também o estudo do modelo de Fu para as culturas da oliveira e vinha.

Fruto do relacionamento que a produção agrícola manifesta diretamente com a evapotranspiração da cultura revela-se importante estimar a sua magnitude. A ET_c encontra-se muito dependente dos valores de temperatura e da humidade relativa e o software CROPWAT 8.0 permite a aferição dos valores de ET_c e o cálculo das diferentes produtividades das culturas em análise ao longo dos anos. As culturas com maior variação de ET_c é o trigo seguida dos citrinos, oliveira, vinha e tomate e a que exige mais milímetros de rega para suprimir o *deficit* hídrico são os citrinos e, no Pólo oposto encontra-se o trigo devido à época em que é semeado. Verificou-se também a existência de discrepância significativas entre a opção agricultura de regadio e de sequeiro sendo a vinha o caso mais extremo. Na opção agricultura de regadio, e relativamente ao trigo, constatou-se um aumento de produção, reduzido, entre 2011-2020.

Palavras-chave: Água, Alimentação, alterações climáticas, evapotranspiração.

WATER AND FOOD IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

ABSTRACT

The growing awareness on the part of people in environmental issues makes the study of climate change and an important mechanism central to gauge the real impact that this concept has and will have in the field of water resources management and food production at regional, national and global level. In this thesis, the author will weave general comments about the trinomial “Water resources, food and climate change” to later present the case of study. The calculation of crop evapotranspiration is a basic mechanism to assess water balances and to estimate water availability and requirements being required their knowledge in spatial and temporal scales for a balanced management of water resources. Indeed, what is intended, in general words, and with the preparation of this master thesis is to evaluate the effects that climate change will have on water resources and food productivity in the region of Alqueva. Will be evaluated five crops are olive, vine, tomato, citrus and wheat. Far will also Fu model study for the olive tree and vine crops.

Fruit of the relationship that manifests directly with agricultural crop evapotranspiration is important to estimate its magnitude. The ET_c is very dependent on the temperature and relative humidity and CROPWAT 8.0 software allows the measurement values of ET_c and calculating the yield of different crops under consideration over the years. Cultures with greater variation ET_c is wheat followed by citrus, olive, vine, tomato and one that requires more millimeters of irrigation to suppress the water deficit are the citrus due to the wheat season it's seeded. It was also observe that there are significant discrepancies between the switch irrigated agriculture and rainfed being the vine the extreme case. In option, agriculture by irrigation and for the wheat there was reduced increased production between of 2011-2020.

Key-words: Water, food, climate change and evapotranspiration.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XII
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. INTERESSES DO TEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO EM CAPÍTULOS	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	5
2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	5
2.3. RECURSOS HÍDRICOS	6
2.3.1. Aspetos introdutórios	6
2.3.2. UN-Water.....	6
2.3.3. Balanço Global de Água	7
2.3.4. Pressões antropogénicas.....	8
2.3.5. Consumo mundial de água.....	8
2.3.6. Pegada da Água, Ecológica e nacional	9
2.4. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	11
2.4.1. Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas	11
2.4.2. Conceito.....	11
2.4.3. Efeito de Estufa.....	12
2.4.3.1. <i>O que é?</i>	12
2.4.3.2. <i>Gases contribuintes para o efeito de estufa</i>	12
2.4.3.3. <i>Causas naturais ou antropogénicas?</i>	14
2.4.3.4. <i>Atividades humanas</i>	17
2.4.4. Cenários propostos para as alterações climáticas.....	17
2.4.5. Projeções.....	19

2.4.5.1.	<i>Evolução da temperatura</i>	19
2.4.5.2.	<i>Precipitação média</i>	19
2.4.5.3.	<i>Neve e gelo</i>	20
2.4.5.4.	<i>Impactos Globais</i>	20
2.5.	ALIMENTAÇÃO.....	23
2.5.1.	FAO	23
2.5.2.	Situação Global.....	23
2.6.	EVAPOTRANSPIRAÇÃO	27
2.6.1.	Evapotranspiração de referência	28
2.6.2.	Evapotranspiração da cultura	29
2.6.3.	Equação de Penman-Monteith	30
2.7.	MODELO DE FU	31
3.	METODOLOGIAS	33
3.1.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
3.1.1.	Estado da Arte.....	33
3.1.2.	Plano de dissertação.....	34
3.2.	ESCRITA DA DISSERTAÇÃO	35
3.3.	ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.3.1.	Âmbito geográfico	36
3.3.2.	Clima.....	37
4.	APLICAÇÕES E RESULTADOS	39
4.1.	EXEMPLOS	39
4.1.1.	Modelo de Fu	39
4.1.2.	Analogia entre o parâmetro do modelo de Fu e o coeficiente de cultura	41
4.1.3.	CROPWAT 8.0. aplicado ao modelo de Fu	42
4.2.	CENÁRIOS	44
4.2.1.	1ª Fase	44
4.2.2.	2ª Fase	46
4.3.	RESULTADOS DO CASO EM ESTUDO	47
4.3.1.	Aplicação do modelo de Fu	47
4.3.2.	Problemas da aplicação do modelo de Fu	50
4.3.3.	Evapotranspiração da cultura	51
4.3.4.	Irrigação das culturas	54
4.3.5.	Produtividade das culturas	57
4.3.5.1.	<i>Sequeiro</i>	57
4.3.5.2.	<i>Regadio</i>	61
4.3.6.	Produções.....	66
5.	CONCLUSÃO	68

5.1. CONCLUSÕES GERAIS	68
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	71
6. BIBLIOGRAFIA	73
7. LISTA DE SITES	83
8. ANEXOS	84
ANEXO 1 – APLICAÇÃO DO CROPWAT 8.0. AO MODELO DE FU.....	84
ANEXO 2 – DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE FU DO CASO DE ESTUDO	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - De quantos planetas precisamos para sobreviver? (Global Footprint Network, 2003)	5
Figura 2 - Ciclo da Água (SNIRH, 2012)	7
Figura 3 - Variação da temperatura da superfície terrestre nos últimos 140 anos (Working Group I - IPCC, 2001c).....	13
Figura 4 - Mudanças globais e continentais das temperaturas (IPCC, 2007c).....	16
Figura 5 - A falta de neve em Cypress Mountain a poucos dias do início dos jogos.....	22
Figura 6 - Organograma da Dissertação de Mestrado.....	35
Figura 7 - Concelhos abrangidos pela RH7 (GPAa, 2004a)	37
Figura 8 – Organograma dos vários cenários adotados.....	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da temperatura média de 1980-1999 a 2090-2099	19
Tabela 2 – Exemplo de aplicação de um modelo de Fu hipotético	40
Tabela 3 – Relação entre Kc e w	41
Tabela 4 – Cenários para o período de 1991-2020.....	45
Tabela 5 - Cenários para o período de 2020-2050	45
Tabela 6 - Cenários para o período de 2071-2100	46
Tabela 7 – Caracterização geográfica das culturas de Alqueva (GPAa, 2004a; GPAa, 2004b) 46	
Tabela 8 – Resultados aferidos para o parâmetro w	48
Tabela 9 – Análise da evapotranspiração da cultura em 2000 e 2002.....	50
Tabela 10 - Resultados da evapotranspiração da cultura para o ano de 2011	51
Tabela 11 – Coeficientes de cultura e ciclo das culturas (Allen, et al., 1998; Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, 2012).....	51
Tabela 12 - Resultados da evapotranspiração de cultura para a oliveira, vinha e tomate (mm/ano)	52
Tabela 13 - Resultados da evapotranspiração de cultura para os citrinos e trigo (mm/ano)	53
Tabela 14 - Irrigação requerida para a cultura da oliveira, vinha e tomate (mm/ano).....	54
Tabela 15 - Irrigação requerida para a cultura dos citrinos e trigo (mm/ano)	55
Tabela 16 – Produtividades das oliveiras, vinha e tomate (kg/ha)	58
Tabela 17 - Produtividades dos citrinos e trigo (kg/ha).....	59
Tabela 18 - Produtividades das oliveiras, vinha e tomate (kg/ha).....	62
Tabela 19 - Produtividades dos citrinos e trigo (kg/ha).....	64
Tabela 20 – Evolução da produção agrícola (ton).....	66
Tabela 21 – Dados sobre as temperaturas mínimas e máximas	84
Tabela 22 – Valores da humidade relativa média diária	85
Tabela 23 – Dados da velocidade do vento média diária	85
Tabela 24 – Horas de sol diárias	85
Tabela 25 – Valores da precipitação média mensal	86
Tabela 26 – Valores da radiação solar.....	86
Tabela 27 – Resultados para a evapotranspiração potencial	86
Tabela 28 – Resultados da evapotranspiração potencial e da precipitação média diária mensal e coeficiente de cultura e evapotranspiração real.....	87
Tabela 29 – Relação entre a evapotranspiração potencial média diária e a precipitação média diária.....	87

Tabela 30 – Parâmetro do modelo de Fu.....	88
Tabela 31 – Dados climatológicos no período de 1982-86	89
Tabela 32 – Valor da precipitação anual verificada entre 1982-11	89
Tabela 33 – Resultados da evapotranspiração potencial e de cultura.....	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição global das emissões de CO ₂ (adaptado de Haie, 2010b)	17
Gráfico 2 - Distribuição da fome a nível mundial, em milhões (adaptado, Müller, 2011a).....	23
Gráfico 3 - Passado e Presente da Agricultura (adaptado, Müller, 2011a).....	24
Gráfico 4 - Relação entre a evapotranspiração de referência e a precipitação (E/P) em função do índice de aridez para diferentes valores de w (Zhang, et al., 2004)	32
Gráfico 5 – Resultados gráficos do modelo de Fu hipotético	40
Gráfico 6 - K_c em função de w	42
Gráfico 7 - w em função de K_c	42
Gráfico 8 – Relação entre a evapotranspiração potencial e da precipitação média diária mensal e evapotranspiração real com o tempo	43
Gráfico 9 – Representação do parâmetro w em função do tempo.....	48
Gráfico 10 - Rácio Precipitação/Evapotranspiração da cultura em Alqueva	49
Gráfico 11 – Valores de irrigação para as culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo	57
Gráfico 12 – Produtividade das culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo..	61
Gráfico 13 - Produtividade das culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo ..	65
Gráfico 14 – Produções das culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo	67
Gráfico 15 - Relação entre a evapotranspiração potencial e a precipitação em função do índice de aridez	88

ACRÓNIMOS

Por questões de clareza para os leitores, a descrição de cada símbolo ou anotação é feita após a sua primeira aparência na dissertação. A lista seguinte é apresentada por ordem alfabética e não inclui símbolos ou anotações de cariz secundária, ou seja, aqueles cuja aplicação está restrita a conceitos localizados.

<i>Notação</i>	<i>Descrição</i>
<i>ARH</i>	Administração das Regiões Hidrográficas
<i>A_r</i>	Área de regadio
<i>A_s</i>	Área de sequeiro
<i>CPR</i>	Conselho Português para os Refugiados
<i>DQA</i>	Diretiva Quadro da Água
<i>EFMA</i>	Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva
<i>EDIA</i>	Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas de Alqueva
<i>EUA</i>	Estados Unidos da América
<i>ENAAAC</i>	Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas
<i>ECCP</i>	European Climate Change Programme
<i>ET</i>	Evapotranspiração
<i>ET_o</i>	Evapotranspiração de referência
<i>ET_p</i>	Evapotranspiração potencial
<i>FAO</i>	Food and Agriculture Organization
<i>GEE</i>	Gases de efeito de estufa
<i>INAG</i>	Instituto da Água
<i>IPCC</i>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<i>MDG</i>	Millenium Development Goals
<i>NPI</i>	Novos países industrializados
<i>ONU</i>	Organização das Nações Unidas
<i>PVI</i>	Países em vias de industrialização
<i>PI</i>	Países industrializados
<i>w</i>	Parâmetro do modelo de Fu
<i>PNALE</i>	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
<i>PNAC</i>	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
<i>PGBH</i>	Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas
<i>Ph</i>	Potencial de Hidrogénio
<i>P</i>	Precipitação
<i>P_r</i>	Produtividade em regadio

<i>P_{r,s}</i>	Produtividade em regadio mas com necessidades hídricas
<i>P_s</i>	Produtividade em sequeiro
<i>PIB</i>	Produto interno bruto
<i>RH</i>	Região Hidrográfica
<i>SRES</i>	Special Report on Emissions Scenarios
<i>EU</i>	União Europeia
<i>WFP</i>	World Foot Print
<i>WMO</i>	World Meteorological Organization
<i>WWAP</i>	World Water Assessment Programme

1. INTRODUÇÃO

1.1. Interesses do tema

A água e a alimentação¹ são dois conceitos que indelévelmente andarão juntos até ao fim dos tempos (um exemplo recente consiste no facto do ministério do XIX Governo Constitucional Português, liderado pela Doutora Assunção Cristas ser a fusão dos antigos ministérios do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas).

Desde os primórdios da humanidade até aos nossos dias o Homem, indivíduo possuidor de racionalidade, imaginação e criatividade, características intrínsecas indubitavelmente incomparáveis com outras raças, foi avançando gradualmente para terrenos até então dominados pelos animais irracionais. Sempre com um cântaro de água preso à cinta e um pedaço de carne no bolso oriundo da caça que efetuava, não temia os outros animais e, quando o clima era agreste utilizava medidas adaptativas para lacerar o problema. Desde sempre o Homem se habituou a ultrapassar obstáculos, mesmo perante a incapacidade de comunicação oral e escrita, tal como hoje a conhecemos, os rudimentares artefactos militares ou a instabilidade do clima. Os animais rapidamente se aperceberam das variabilidades climáticas e com o seu instinto de sobrevivência foram-se adaptando tornando-se nómadas. De facto, o ser humano tomou medidas adaptativas (exemplos disso são as habitações, estradas, carros ou a tecnologia) face à instabilidade do clima mas sem nunca o conseguir controlar.

O clima, segundo a World Meteorological Organization (WMO), é o estado meteorológico médio que se regista numa determinada região durante um período de 30 anos (WMO, 2011). O conceito clima envolve inúmeras variáveis, exemplo disso são a temperatura, vento, precipitação ou nebulosidade. Enquanto pequenas variações do tempo são facilmente aceites pelo corpo humano o mesmo já não acontece com a água, fauna e flora. Porém, o ser humano manifesta grande vulnerabilidade a alterações profundas do clima. Em 2010, no Conselho

¹ Na presente dissertação quando o autor agrafar a palavra “Alimentação” o leitor deverá entendê-la como produção agrícola.

Português para os Refugiados (CPR), de acordo com o Professor Doutor Filipe Duarte Santos existiam 25 milhões de refugiados climáticos e segundo Nuno Lacasta existiam no mesmo ano, leia-se em 2010, 200 milhões de refugiados climáticos. A discrepância destes dados pode ser explicada pela dificuldade em definir refugiado climático (CPR, 2010). Fica assim demonstrado a influência que o clima exerce sobre o Humano.

Como é perceptível para toda a humanidade os recursos hídricos e a alimentação são a sua maior fonte de sobrevivência enquanto o clima é a sua maior dependência. Após o conflito que se verificou há muitos anos entre humanos e animais, nos dias de hoje existe uma outra batalha mas agora protagonizada entre os humanos e a Natureza, ou alterações climáticas.

Todos os dias ouvimos ou vemos ou comentamos com alguém, o conceito alteração climática, ou seja, o clima está a mudar e a dependência do Homem face à Natureza continua a cada dia que passa a ser mais preocupante. É inquestionável, na minha ótica, que todo o mundo está dependente da Natureza para poder sobreviver mais um dia e que grande parte da população mundial alterou os seus hábitos quotidianos, digamos na última década, devido ao conceito alteração climática. Será uma medida que manifesta medo ou uma crença?

Face à minha curiosidade nos temas água, alimentação, alterações climáticas e energia e ao facto de ser um quarteto muito atual, a nível de Portugal, União Europeia (UE), Organização das Nações Unidas (ONU), Estados Unidos da América (EUA), países industrializados (PI) e novos países industrializados (NPI) decidi fazer deste tema a minha dissertação de mestrado. É um campo bastante atual e sobre o qual vale a pena refletir.

1.2. Objetivos

Relativamente aos objetivos a que me proponho atingir com a elaboração da dissertação é consagrar neste uma melhor compreensão teórica dos conceitos água, alimentação a nível global e o modo como estes são influenciados pelas alterações climáticas. As alterações climáticas estão a originar e irão induzir diferenças significativas na gestão dos recursos hídricos dos países e na produção alimentar dos mesmos como pode ser ilustrado nos jornais, nos telejornais, na internet e noutros meios de difusão noticiosa.

O que o autor pretende é avaliar as alterações que as diferenças climáticas (variação do clima, precipitação ou humidade relativa) terão na água, responsável pela produção alimentar nomeadamente, na evapotranspiração das culturas (ET_c), irrigação e na produtividade. Refere-se no imediato que o caso de estudo será na região de Alqueva. Outro dos objetivos a concretizar é o estudo do modelo de Fu para a região anteriormente identificada. Estes são os objetivos que me proponho atingir com a elaboração da dissertação de mestrado.

1.3. Organização em capítulos

A presente dissertação de mestrado está organizada em cinco capítulos, o 1º dos quais é constituído pela presente **Introdução**.

O **Capítulo 2** inicia-se com a apresentação do conceito de desenvolvimento sustentável que servirá de tópico introdutório para os três conceitos principais que constituem a presente tese. Posteriormente, abordarei os recursos hídricos em que escreverei sobre o ciclo da água, consumo de água a nível global, e as pressões antropogénicas que sobre este recurso são exercidas. Seguidamente aborda-se a temática da alimentação a nível global. Na fase intermédia do segundo capítulo debruçar-me-ei sobre as alterações climáticas em que procuro apresentar os cenários realizados propostos e apontar as projeções advindas desses mesmos cenários. No término do capítulo aborda-se, em especial foco o conceito de evapotranspiração e os seus múltiplos significados bem como o modelo de Fu.

No **Capítulo 3** consagrar-se-á as metodologias adotadas pelo autor nesta dissertação de mestrado tendo o autor o propósito de descrever sucintamente mas sem ser omissivo o caminho por ele percorrido até à finalização da escrita da dissertação. Aborda-se ainda, a identificação do caso de estudo através da apresentação de esquemas gráficos e do elenco dos dados climatológicos mais relevantes.

O **Capítulo 4** demarca-se dos restantes por neste consagrar-se as aplicações e os resultados obtidos. Inicialmente, apresentarei alguns exemplos sobre o funcionamento do *Cropwat 8.0* da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) e de que forma este *software* se interliga com o modelo de Fu e, farei uma analogia entre o parâmetro do modelo de Fu e o coeficiente de cultura. Na fase dos resultados, aplicarei o referido modelo ao caso em estudo em específico, apontarei os problemas sentidos com a sua aplicação e escreverei

sobre os resultados conseguidos das culturas, oliveira, vinha, tomate, citrinos e trigo em relação à evapotranspiração de cultura, irrigação requerida e da produtividade da água.

Finalmente, no **Capítulo 5** é apresentada uma síntese do trabalho realizado, salientando-se as conclusões que o autor acha mais relevantes. São ainda identificadas sugestões e apontados desenvolvimentos para trabalhos futuros iniciados com esta dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Considerações gerais

Dentro desta secção – 2. Estado da Arte - irei apresentar a síntese do conhecimento atual sobre o tema: “Influência das alterações climáticas nos recursos hídricos e alimentação”. Enquanto as palavras água e alimentação fazem parte do vocabulário populacional desde há séculos o termo alteração climática é bastante recente estando a sua origem intimamente ligada ao ser humano.

2.2. Desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável define-se como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades (ONU, 1987). De acordo com este princípio, consagrado no relatório Brundtland, os povos futuros tem direito a herdar a terra nas mesmas condições em que nós as herdamos. Mas este desígnio verifica-se?

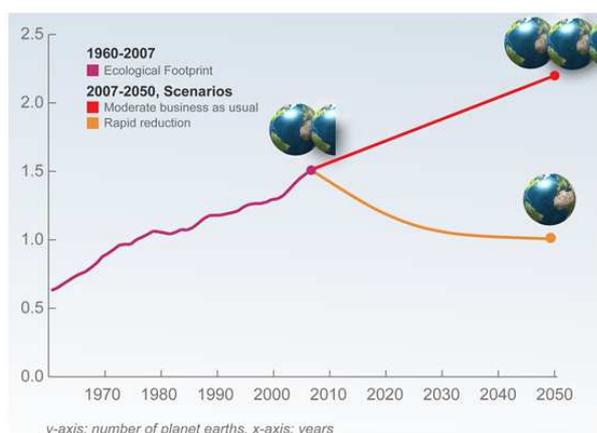


Figura 1 - De quantos planetas precisamos para sobreviver? (Global Footprint Network, 2003)

De acordo com a informação apresentada na **Figura 1** nos dias de hoje a pegada mundial é de 1,5 planetas, ou seja, a população mundial está a consumir os recursos disponibilizados pelo

planeta a uma taxa superior à que efetivamente são repostos os recursos consumidos, porém a situação poderá ser ainda mais preocupante. Ora vejamos. A Global Footprint Network projecta duas situações para o futuro sendo que uma, pode-se dizer, é o contraste da outra. Caso o padrão de consumo dos humanos não manifestem desvios de comportamento esta entidade prevê que em vez dos actuais 1,5 planetas sejam necessários 2,3 planetas, todavia se existir uma rápida redução dos recursos consumíveis é plausível que no ano de 2050 a situação esteja em equilíbrio ou seja, o planeta demorará 1 ano a regenerar os recursos usufruídos e o mesmo tempo a absorver os resíduos produzidos, situação de equilíbrio. O resultado da não alteração de hábitos é o colapso de vários sectores imprescindíveis para a vida humana desde a diminuição da quantidade de peixe, da área florestal, a redução abrupta das reservas de água doce (muito contribuirá certamente a ET_c) e alimentação e o acumular das emissões de dióxido de carbono que obviará num impacte negativo nas alterações climáticas (Global Footprint Network, 2003). Tudo isto poderá resultar numa aumento exponencial dos refugiados climáticos e ambientais segundo o Doutor Filipe Duarte Santos e num aumentar de conflitos armados (CPR, 2010; Global Footprint Network, 2003).

2.3. Recursos hídricos

2.3.1. Aspectos introdutórios

A cada 20 segundos 1 criança morre de uma doença relacionada com a água. Quem o afirma é a Water.org sendo esta, na minha ótica uma afirmação pertinente para introduzir a temática recursos hídricos. Mais do que falarmos em recurso hídrico quando nos dirigimos à água é mais correta a expressão, gestão da água, fruto das pressões antropogénicas que sobre ela são exercidas. De facto, a água é um bem vital para a sobrevivência da fauna e flora existente no planeta Terra.

2.3.2. UN-Water

A **UN-Water** foi criada no ano de 2003 e é uma entidade da ONU com o propósito de reforçar a coordenação e a coerência entre todos os organismos da ONU que lidam com questões relacionadas com a água, tais como, saúde, agricultura, meio ambiente, energia, alimentos, clima, saneamento e desastres naturais (GLAAS, 2010). Ao fomentar a dita

cooperação propiciará, entre outros, aperfeiçoar a coerência a todos os níveis do Sistema da ONU, incentivar o debate político e a participação ativa das pessoas, prever questões emergentes relacionadas com os novos desafios globais ou elaborar relatórios sobre a temática em discussão (Water in a Green Economy, 2012):

2.3.3. Balanço Global de Água

À circulação da água no planeta Terra designamos por ciclo hidrológico. As suas principais fases são precipitação, infiltração, enxurro e evaporação (Ribeiro, 1987). A **Figura 2** representa o ciclo hidrológico anteriormente referido.



Figura 2 - Ciclo da Água (SNIRH, 2012)

Verifica-se pela figura acima que a afirmação célebre do químico francês Lavoisier, “Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”, é legítima, pois a quantidade de água no planeta permanece constante. De acordo com os dados disponibilizados pelo UN-Water – Statistics (UN-Water, 2011), a superfície terrestre é maioritariamente coberta por água cerca de 70% sendo os restantes 30% atribuídos à fração sólida, entenda-se continentes. Contudo destes setenta por cento 97,5% são de água salgada e os restantes de água doce (correspondendo a cerca de 35 milhões km³). Porém, dos 35 milhões km³ apenas 0,3% se encontram em lagos e rios estando a restante fração dispersa em neve ou gelo (70%) e no subsolo (30%) (UN-Water, 2011).

É importante referir que 70% da água doce subterrânea encontra-se a profundidades superiores a 750m (Haie, 2006) dificultando deste modo o acesso à sua captação e aumentando os encargos inerentes aos consumidores da água. Quer o autor da presente

dissertação esclarecer que os cerca de 97,2% de água salgada são também utilizados pelo Homem, exemplo disso, no abastecimento de água, porém o seu tratamento é muito oneroso levando a que o processo de dessalinização² (Duarte, 2011) seja empregue nas regiões abundantes em energia (petróleo, gás natural, carvão) e/ou sejam deficitárias em recursos hídricos. Em suma, de acordo com Naim Haie em 2006, apenas 2 gotas de água em 1000 gotas são de água doce.

2.3.4. Pressões antropogénicas

Relativamente aos poluentes suscetíveis de contaminarem a água a UN-Water em 2011 afirma que em média todos os dias dois milhões de toneladas de lixo são depositadas nos recursos hídricos contribuindo deste modo para a sua degradação e, nos países em vias de industrialização (PVI) 70% da sua produção industrial não sofre qualquer processo de tratamento antes da deposição na água. Ainda, segundo esta entidade metade das terras húmidas foram perdidas no último século devido a este problema e, a contínua fertilização do solo e posterior escorrência das terras para os cursos de água é também uma das causas para a degradação dos recursos hídricos.

Como foi anteriormente referido e realçado a água é suporte de vida e, a sua preservação deveria ser um facto adquirido porém, e principalmente ao longo do último século tem-se assistido a uma crescente degradação deste recurso. Deste modo torna-se prioritário reduzir a pegada nacional da água, aumentar as áreas de conservação, melhorar a eficiência do uso da água, reduzir a pegada nacional e aumentar a sua reutilização e reciclagem (Müller, 2011b).

2.3.5. Consumo mundial de água

Após ter abordado o ciclo da água e apresentado as respetivas quantidades globais, identificarei as múltiplas formas em que esta é utilizada pelas pessoas. Segundo a WFP, as pessoas utilizam a água numa grande variedade de atividades, desde o próprio consumo, o cozinhar até ao lavar (utilização direta). Indiretamente a água pode ser empregue na produção de comida, papel ou roupas. Cada um de nós precisa de beber 2 a 4 litros de água por dia (World Water Day: UN-Water, 2012). É interessante pensar que são precisos 2500 litros de

² É um dos usos da osmose inversa (Duarte, 2011). A osmose inversa envolve a separação de partículas ou iões presentes na água a tratar, através da passagem desta por uma membrana semipermeável (AWWA & ASCE, 2005).

água para a produção de 1kg de arroz, de 10000 litros para a produção de 1kg de roupa ou 15400 litros de água para que o humano tenha oportunidade de saborear 1kg de carne. Por dia, são necessários 2000 a 5000 litros de água para produzir a alimentação necessária para uma pessoa (Water Footprint Network, 2008). Fica deste modo assinalada a importância e variedade da água nas nossas vidas.

A produção de alimentos, a partir de culturas, pecuária, aquicultura e florestas requer água. A água necessária para desenvolver as atividades provém da precipitação (água verde), disponibilizados diretamente ou por meio da humidade armazenada no solo, ou pela derivação de água presente nos cursos de água, pântanos, lagos e aquíferos – água azul (World Water Day: UN-Water, 2012). Informa-se, que em termos planetários 70% da água azul consumida vai para irrigação, representando a agricultura irrigada 20% da terra cultivada e 40% do total de alimentos produzidos na Terra (World Water Day: UN-Water, 2012). Informa o autor que o volume total de água anual usado globalmente para a produção de culturas é de cerca de 6390 km³ (Hoekstra & Chapagain, 2007).

Acrescenta-se, a FAO e UN-Water, no último século, a taxa de crescimento populacional não acompanhou o aumento de água utilizada. No ano 2000 o Homem utilizava duas vezes e meia mais água do que há um século (UN-Water, 2011). A World Water Assessment Programme (WWAP) estima que atualmente 54% da população mundial usufrua de água doce a partir de rios, lagos e aquíferos.

Como seria de esperar, constata-se que são os PI os principais responsáveis pelo consumo de água (existem alguma exceções), todavia por cabeça é a Mongólia a nação que anualmente mais utiliza o recurso hídrico. Portugal tem um consumo de água anual *per capita* de 2505m³, valor muito acima da média mundial, tal como a Espanha 2461m³/capita/ano (80% do consumo está alocado à agricultura). Os dois maiores países da Península Ibérica representam uma fatia elevada do consumo de água a nível europeu sendo a Espanha a nação que possui os terrenos mais áridos da UE (Haie, 2010a).

2.3.6. Pegada da Água, Ecológica e nacional

A **pegada da água** – water footprint - é um conceito inovador, relativamente recente (Hoekstra & Hung, 2002) e permite medir o volume total de água que é usada para produzir

os bens e serviços consumidos por um indivíduo, uma comunidade ou um negócio (Water Footprint Network, 2008).

Um outro conceito desenvolvido paralelamente à pegada de água é o da **pegada ecológica** - ecological footprint - que foi introduzido pela comunidade científica na última década do século passado (Rees, 1992; Wackernagel e Rees 1996; Wackernagel et al, 1997; citado por Hoekstra & Chapagain, 2007). A pegada ecológica de uma população é representativa da área de terra produtiva e ecossistemas aquáticos necessários para produzir os bens pretendidos e decompor os resíduos produzidos (Hoekstra & Chapagain, 2007).

A **pegada de água nacional** é um conceito importante nos dias de hoje e como tal deve ser aceite e entendido pela generalidade das pessoas. A pegada de água de uma nação pode ser legitimamente definida como o volume total de água doce necessária para produzir os serviços e bens indispensáveis para o quotidiano das pessoas daquele estado. A pegada de água nacional é obtida pela adição da pegada de água interna e externa do mesmo. A pegada de água interna IWW - Internal Water FootPrint - define-se como o volume de água utilizado para produzir os bens e serviços consumidos pelos habitantes do país menos o volume de água utilizada na produção dos produtos exportados (Hoekstra & Chapagain, 2007). Matematicamente vêm:

$$IWW = AWU + IWW + DWW - VWE_{dom} \quad [1]$$

De acordo com Hoekstra & Chapagain em 2007 as variáveis presentes na equação 1 possuem a seguinte designação. *AWU* - água utilizada na agricultura, considerada igual à evaporação; *IWW* - água empregue na indústria nacional; *DWW* - quantidade de água utilizada pelas pessoas no âmbito doméstico e *VWE_{dom}* - representa o volume de água virtual exportada pela nação em análise para outros países.

Relativamente à pegada nacional de água externa (EWW) - External Water FootPrint - define-se como o volume anual de água utilizada por outros países na produção de bens e serviços importados para a nação em questão (Hoekstra & Chapagain, 2007). Os mesmos autores definiram a seguinte formulação matemática para o conceito em análise.

$$EWFP = VWI - VWE_{re-export} \quad [2]$$

Basicamente, o EWFP é equivalente à importação de água para a nação em causa menos o volume de água virtual reexportada para outros países (Hoekstra & Chapagain, 2007). Segundo os mesmos autores, a pegada de água nacional interna e externa envolvem a utilização de água azul e água verde anteriormente referidas.

2.4. Alterações climáticas

2.4.1. Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas

A instituição que lidera, estuda e procede à avaliação das alterações climáticas a nível mundial é o IPCC. A origem do IPCC remonta ao ano de 1988 e foi criada pela WMO e pelo Programa da ONU para o Meio Ambiente (IPCC, 2007b). A sua sede é em Genebra e atualmente 195 países são membros do IPCC. Tanto o IPCC como o senhor Albert Arnold Gore Jr. foram em 2007 agraciados com o prémio Nobel da Paz pelos seus esforços no quadro das alterações climáticas.

2.4.2. Conceito

Citando vários autores na sua obra (Pousada, 2010), o aquecimento global é uma expressão que traduz o aumento da temperatura média dos oceanos e do ar perto da superfície terrestre que se tem vindo a verificar, fruto de causas naturais ou humanas, nas décadas mais recentes, e à possibilidade do seu continuar durante o corrente e próximos séculos (Pearce, 1989; Shah, 1998; Braasch, 2007; IPCC, 2011).

O primeiro fator que influencia o clima terrestre prende-se com a existência e composição da sua atmosfera. As alterações climáticas podem-se evidenciar em mudanças globais ou regionais, dependendo da magnitude dos fenómenos causadores da mudança do clima e da replicação dos mesmos impactos à escala planetária sendo que as mudanças globais afetam o clima regional, podendo levá-los a evoluir num sentido inverso à tendência global. Deste modo, as alterações climáticas dependem não apenas das modificações verificadas a nível global mas também de fatores específicos (Novo, 2009).

2.4.3. Efeito de Estufa

2.4.3.1. *O que é?*

Aproximadamente um terço da energia solar que chega á atmosfera do planeta Terra, é refletida e volta ao espaço e os restantes dois terços é absorvida pela superfície. Para garantir um equilíbrio energético no planeta, a Terra irradia a mesma quantidade de energia absorvida para o espaço. Porém, grande parte da radiação térmica emitida pela terra e o mar é absorvida pela atmosfera levando-a de volta à superfície terrestre e oceânica originando o conceito de efeito de estufa (IPCC, 2007c) fazendo-se sentir com maior prevalência no planeta quanto maior for a barreira de gases que impedem a saída da energia.

2.4.3.2. *Gases contribuintes para o efeito de estufa*

Os gases mais abundantes na atmosfera, o nitrogénio (78% da atmosfera seca) e o oxigénio (21%) não são responsáveis pelo efeito de estufa. Os gases que exercem maior influência no efeito de estufa são, em primeiro lugar o vapor de água e em seguida o dióxido de carbono. O metano, o óxido nitroso, o ozono e outros gases presentes na atmosfera contribuem a uma escala menor para o aquecimento global, especifica-se (IPCC, 2007c):

- ⇒ O **CO₂** aumentou devido ao uso dos combustíveis fósseis nos transportes, aquecimento e refrigeração das habitações, fabrico do cimento, construção civil ou desmatção levando a uma redução da quantidade de dióxido de carbono absorvido pelas plantas;
- ⇒ O **metano** aumentou nos últimos 2000 anos devido às atividades antropogénicas como a agricultura, distribuição de gás natural ou aterros sanitários. O **CH₄** liberta-se por processos naturais que ocorrem, por exemplo, nas zonas húmidas;
- ⇒ O **óxido nitroso** é emitido para atmosfera através do uso de fertilizantes e a queima de combustíveis fósseis. Naturalmente, o **N₂O** liberta-se por processos naturais do solo e dos oceanos;
- ⇒ Os **gases halogenados** aumentaram devido às atividades humanas. Os principais halogenados são o **CFC-11** e **CFC-12** (na gíria conhecidos como clorofluorcarbonetos).

Face à implementação de leis internacionais que visam proteger a camada de ozono têm-se vindo a assistir a uma diminuição dos clorofluorcarbonetos;

- ⇒ O **ozono** contribui para o efeito de estufa e é produzido continuamente e destruído por processos químicos na atmosfera;
- ⇒ O **vapor de água** sendo o gás mais abundante na atmosfera, a sua concentração não é influenciada diretamente pelas atividades humanas. No entanto, de forma indireta, os humanos alteram a quantidade de vapor de água através das mudanças climáticas por eles induzidas. Quanto mais quente a atmosfera mais vapor de água existe;
- ⇒ Os **aerossóis** são pequenas partículas, complexas quimicamente, presentes na atmosfera. Os aerossóis são emitidos para a atmosfera face às atividades humanas (utilização de combustíveis fósseis, queima de biomassa e mineração) ou naturalmente (exemplo, poeira mineral libertada do sal do mar existente, erupções vulcânicas).

A presença de gases efeito de estufa (GEE) na atmosfera permite a entrada de radiação solar e absorve parte da radiação infravermelha proveniente da superfície terrestre, sendo de referir que a sua ausência levaria a um arrefecimento médio da superfície da Terra superior a 30°C (Duarte, 2007).

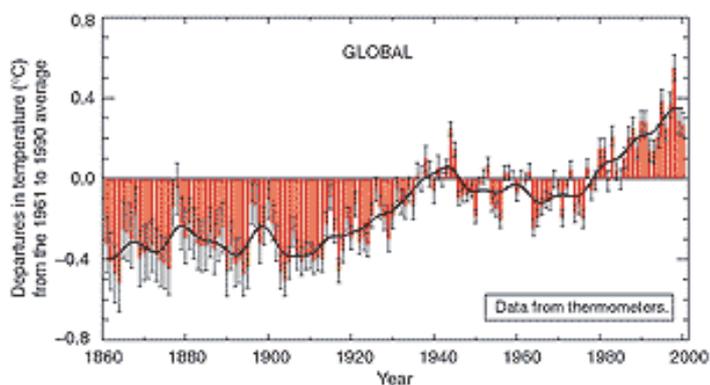


Figura 3 - Variação da temperatura da superfície terrestre nos últimos 140 anos (Working Group I - IPCC, 2001c)

Na figura acima expõe-se a evolução da temperatura na superfície terrestre, de 1860 a 2000, ano após ano (barras vermelhas) e década após década (linha preta flutuante). De acordo com os autores da figura existem incertezas associadas aos diversos dados anuais, devido, entre outros, à ausência de dados, erros instrumentais aleatórios, incertezas de correções nos dados da temperatura superficial oceânica e dificuldades de ajustes devidos às urbanizações. Em

suma, nos últimos 140 anos estimou-se um aumento da temperatura média da superfície global de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. É importante notar que até ao ano de 1950 e devido a fenómenos naturais, ocorreu um leve efeito de aquecimento. Contudo, depois dessa data verificou-se um ligeiro arrefecimento da temperatura (Franklin H., 1976). As principais mudanças verificadas no planeta devido às alterações climáticas são (Working Group I - IPCC, 2001a; Working Group I - IPCC, 2001b):

- Maior preponderância de dias com temperaturas mais altas e menor frequência das temperaturas mais baixas;
- Forte possibilidade do aumento generalizado das temperaturas médias globais. A temperatura média do ar subiu cerca de $0,6^{\circ}\text{C}$ durante o último século;
- Diminuição de cerca de 10% das superfícies cobertas por gelo e neves desde a década de 1960, com redução em cerca de 2 semanas do período de congelamento de lagos e rios bem como menores períodos e intensidades de quedas de neve;
- A superfície dos gelos oceânicos durante as estações da primavera e verão diminuiu cerca de 10 a 15% desde 1950, com possível redução de cerca de 40% da espessura da calote polar ártica no término do verão e início do outono nas últimas décadas;
- Existência de maiores probabilidades de episódios do El Niño;
- Aumento de 2 a 4% dos fenómenos de precipitação intensas nas médias e altas latitudes do Hemisfério Norte, sendo muito provável que durante o último século a precipitação tenha subido num intervalo de 0,5 a 1% por década nas médias e altas latitudes do Hemisfério Norte e decrescido 0,3% por década nas regiões subtropicais;
- Aumento do nível médio do mar e da temperatura da superfície do mesmo. Estimou-se um aumento de 10 a 20 cm durante o último século do nível médio das águas do mar;
- Os efeitos das alterações climáticas influem na gestão dos caudais dos rios;
- No continente africano, em particular, e noutras regiões, em geral, verificou-se agravamento dos fenómenos de seca.

2.4.3.3. *Causas naturais ou antropogénicas?*

Na sua obra de 2009, Novo afirma que as alterações que atualmente se assistem parecem ser muito mais intensas do que as registadas nos últimos milénios e embora não apontem forçosamente para ação humana é um facto que estas têm maior influência após meados de século XVIII, ou seja, aquando da revolução industrial. A polémica atual dos climatologistas

revela um não consenso em relação às posições da organização do IPCC e da WMO e centra-se na não convicção do aquecimento global e deste ser potenciado pelas causas humanas. (Duarte, 2007). As incertezas e a complexidade que caracterizam a questão das mudanças climáticas estão na base de frequentes desacordos entre cientistas (Carvalho, 2002). De forma a corroborar as observações de muitos teóricos de que as ações antropogénicas têm efetivamente impacto nas alterações climáticas estão os seguintes factos relativos à emissão de gases (Working Group I - IPCC, 2001a; Haie, 2010b; IPCC, 2007c):

- **CO₂** – no ano de 2005 a emissão de CO₂ cifrou-se em 379 ppm, crescimento de 35% desde a revolução industrial, muito superior às registadas nos últimos 20000 anos;
- **CH₄** – desde o início da revolução industrial até ao fim do século passado a emissão do metano subiu de 1060 até 1745 ppb;
- **N₂O** – Verifica-se relativamente ao óxido nitroso um aumento de 16% desde o ano de 1750 até ao fim do século XX sendo que atualmente a subida anual é de 0,25%.

A vertente cética do problema não acredita que o aquecimento global seja resultado das ações antropogénicas, argumentando com o facto de na idade geológica do planeta este já ter estado sujeito a profundas variações de clima. O físico Antonino Zichichi, afirmou que as atividades humanas têm um impacto no clima inferior a 10% e que os modelos utilizados pelo IPCC são incoerentes e inválidos do ponto de vista científico, constituindo “uma metodologia para forçar conclusões que demonstram o preconceito da responsabilidade humana nas alterações climáticas” (Zichichi, 2007). Este cientista diz não estar convencido que o aquecimento global seja provocado pelas emissões de GEE originadas pelas atividades humanas, salientando que a meteorologia depende de causas naturais e que até hoje, no intervalo de 500 mil anos, os polos norte e sul recuaram e avançaram quatro vezes (Duarte, 2007). A outra vertente do problema advoga o contrário, fundamenta que o aquecimento atual do planeta (este é um facto indesmentível) resulta profundamente das atividades humanas devendo-se para isso adotar políticas que mitiguem o problema em questão. Aliás, no volume de 2007, o IPCC concluiu um aumento de $0,74\text{ °C} \pm 0,18\text{ °C}$ durante o século passado sendo a responsabilidade deste acréscimo imputada às atividades humanas devendo-se implementar medidas de mitigação para corrigir estes valores.

Não existe nenhuma solução simples para o problema. Fazer-lhe face terá que passar por um importante reajustamento a nível industrial com, entre outras medidas, uma reestruturação das

fontes de energia, uma transferência significativa dos combustíveis fósseis para as energias alternativas, um racionamento do uso de energia, uma alteração nos estilos de transporte, e um importante investimento nos transportes coletivos (IPCC, 2007b).

Atualmente os cientistas procuram simular os efeitos das atividades humanas na evolução do clima e comparar os resultados obtidos com o cenário da não consideração das ações humanas. No entanto, a simulação deste problema é complexa pois, a qualidade dos resultados obtidos dependem de uma base de dados confiável e de computadores com capacidade para incorporar informações de todas as variáveis em causa. Recentemente foram incorporados nos modelos módulos interativos de aerossóis que permitem atender à influência que direta e indiretamente estes exercem na dinâmica climática (Randall, et al., 2007). Utilizando a mesma referência bibliográfica, assiste-se atualmente a avanços significativos nos processos terrestres enquanto as diversas componentes individuais devem ser melhoradas para uma maior precisão dos modelos. A figura seguinte aborda esta temática.

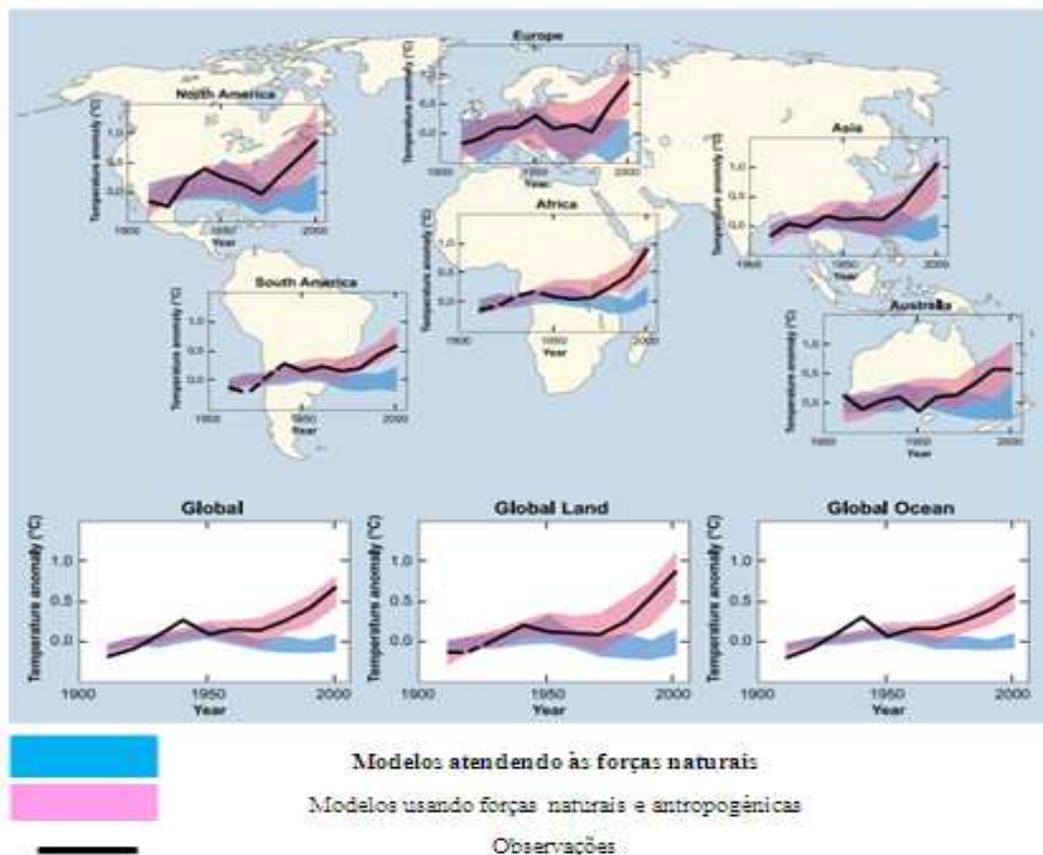


Figura 4 - Mudanças globais e continentais das temperaturas (IPCC, 2007c)

A **Figura 4**, que foi desenvolvida a partir de modelos do IPCC, demonstra que o sistema climático sofreu mudanças de temperatura devidas a causas antropogénicas (IPCC, 2007e). O padrão observado demonstra isto mesmo, ou seja, a linha a negrito, que representa os resultados reais, aproxima-se dos modelos quando estes incorporam em si forças naturais e antropogénicas responsáveis pela evolução do clima corroborando a hipótese de muitos cientistas que preconizam esta teoria. Pretendo notar ainda, que os modelos não sendo 100% eficientes, alimentam a ideia dos que suportam a teoria que as futuras alterações climáticas são devidas a fenómenos naturais.

2.4.3.4. *Atividades humanas*

O impacto das atividades humanas, queima dos combustíveis fósseis, desmatamento de florestas, construção, agricultura ou indústria contribuem para uma forte intensificação do efeito de estufa natural, causando o aquecimento global (IPCC, 2007c). No ano de 2000 foram produzidas aproximadamente 42 GtCO₂ sendo a distribuição deste valor feita do seguinte modo (Haie, 2010b).

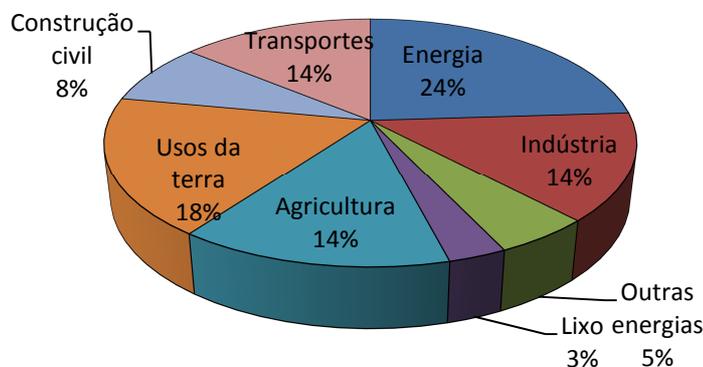


Gráfico 1 - Distribuição global das emissões de CO₂ (adaptado de Haie, 2010b)

2.4.4. **Cenários propostos para as alterações climáticas**

As delineações dos cenários climáticos obtêm-se através do desenvolvimento de GMC³ em que estes incluem a interação atmosfera, oceano e o efeito dos aerossóis (Araújo, 2006).

³ Programas de computadores especializados em resolver numericamente aproximações de equações matemáticas que representam as leis da Física (conservação do movimento, de massa, de energia, água na atmosfera, sal no oceano e gás ideal na atmosfera). Estas leis permitem orientar os movimentos na atmosfera e as correntes dos oceanos, a interação entre estes dois fluidos e a interação da atmosfera com a vegetação (Araújo, 2006).

No relatório do IPCC, relativamente às projeções, foram elaborados vários cenários. São esses cenários que de seguida vou descrever minuciosamente para melhor compreensão dos resultados então obtidos (Nakicenovic, et al., 2000):

- I. **A1** – assume no futuro uma taxa de crescimento económica muito elevada, a população global atinge um pico em meados do século XXI e declina em seguida e são introduzidas novas tecnologias e mais eficientes. Este cenário desdobra-se em três outros cenários distinguindo-se estes pela sua componente ecológica, o **A1FI** – uso intensivo de recursos fósseis; **A1T** – fontes de energia não fósseis; **A1B** – equilíbrio entre o uso de todas as energias;
- II. **A2** – descreve um mundo heterogéneo, entenda-se, preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que resulta em aumento contínuo da população mundial. O desenvolvimento económico é orientado regionalmente e as mudanças tecnológicas são mais lentas do que comparativamente a outros cenários;
- III. **B1** – semelhante ao cenário A1 em termos de evolução da população (cresce de forma rápida, atingindo o pico em meados do século XXI e declina em seguida), mas modela rápidas mudanças nas estruturas económicas em direção a uma economia de serviços e informações e à introdução de tecnologias limpas e recursos eficientes;
- IV. **B2** – este cenário defende que o equilíbrio mundial deve ser alcançado através de soluções locais para o desenvolvimento económico, social e sustentabilidade ambiental. A evolução da população apresenta saldo positivo mas a uma taxa inferior à do cenário **A2**. Apresenta níveis de desenvolvimento económico entre os cenários **B1** e **A1** e as alterações tecnológicas são mais lentas mas mais diversificadas comparativamente aos dois cenários anteriores.

Ao todo foram desenvolvidos 40 cenários pelo Special Report On Emissions Scenarios (SRES) por seis equipas de modelagem. Os conjuntos de cenários consistem em seis grupos de cenários extraídos de quatro famílias: um grupo nas famílias **A2**, **B1**, **B2** e três grupos da família **A1**. Dentro de cada família alguns cenários fazem suposições relativas à evolução da população, crescimento mundial e energias sendo estes cenários identificados por HS - Harmonized Scenarios. A sigla OS - Others Scenarios - pretende explorar as incertezas associadas às “Driving Forces”.

É importante notar e, em forma de conclusão deste tópico, que existem dificuldades inerentes à simulação dos modelos, em particular nas mudanças de temperaturas observadas em escalas menores. Obviamente, nestas escalas a variabilidade climática é maior, tornando mais difícil distinguir as mudanças devidas a forças externas (IPCC, 2007e; Araújo, 2006).

2.4.5. Projeções

Conhecer a real evolução dos GEE é o principal obstáculo que se opõe à boa resolução dos cenários presentes no SRES, pois esta variável depende de sistemas dinâmicos complexos determinados, entre outros, pelo sócio desenvolvimento económico e pelas mudanças tecnológicas (Nakicenovic, et al., 2000). Os cenários não têm apenas o propósito de avaliar os impactos da evolução da população, do crescimento económico, das tecnologias, entre outros, no clima mas também o de permitir conhecer qual o efeito que certas medidas de mitigação aplicadas no presente têm no futuro climático.

2.4.5.1. *Evolução da temperatura*

Os modelos desenvolvidos pelo IPCC não consideram políticas de mitigação resultando num aumento da superfície média global da temperatura do ar ao longo do século XXI sendo os GEE antropogénicos os responsáveis por este resultado. A próxima tabela expõe os valores obtidos pela modelação para esta variável (Nakicenovic, et al., 2000):

Tabela 1 – Evolução da temperatura média de 1980-1999 a 2090-2099

Designação do cenário	Resultado (°C)
<i>B1</i>	+ 1,1 a 2,9
<i>B2</i>	+ 1,4 a 3,8
<i>A1B</i>	+ 1,7 a 4,4
<i>A1T</i>	+ 1,4 a 3,8
<i>A2</i>	+ 2,0 a 5,4
<i>A1FI</i>	+ 2,4 a 6,4

2.4.5.2. *Precipitação média*

Os modelos desenvolvidos indicam que para um clima mais quente a precipitação aumenta nas regiões tropicais com elevadas pluviosidades e no pacífico tropical, com diminuição nos subtropicais e aumenta nas altas latitudes como consequência da intensificação do ciclo

hidrológico global. A média global do vapor de água, evaporação e precipitação aumentarão de acordo com as projeções realizadas (Nakicenovic, et al., 2000).

“Portugal entre os países com maior risco de cheias. Portugal é um dos países de maior risco de cheias. No Congresso da Água foi apresentado o "ranking" dos países de risco: entre os 90 considerados, Portugal ocupa o 37º lugar...⁴”

2.4.5.3. Neve e gelo

Face ao aquecimento global projetado, os mesmos cenários transmitiram aos cientistas a conclusão de que a superfície coberta com neve e gelo diminuirá, levando à subida do nível médio do mar. Foram projetadas reduções mais rápidas de gelo no ártico do que na Antártida, sendo em ambos os polos uma diminuição acentuada. O cenário A2 concluiu ainda uma redução generalizada do gelo no Ártico no fim do próximo século (Nakicenovic, et al., 2000).

“Escoamento de metano no oceano ártico – poderosa energia de efeito de estufa pode acelerar as alterações climáticas. Abertura de fendas no gelo ártico liberta metano, acumulado no gelo ao longo dos milhares de anos, um gás efeito de estufa mais poderoso que o dióxido de carbono de acordo com os cientistas da NASA...⁵”.

2.4.5.4. Impactos Globais

África - No continente africano espera-se que o aquecimento seja superior à média global anual durante todas as estações. Na zona do Mediterrâneo africano e norte do deserto de Saara espera-se diminuição da precipitação enquanto no sul do continente é suscetível que a precipitação diminua, em especial no inverno. Relativamente ao Sahel, Costa da Guiné e sul do Saara, não é conhecida a evolução da precipitação.

Mediterrâneo e Europa - Atualmente, já são sensíveis impactos no ciclo hidrológico destas alterações climáticas: 8 dos nove glaciares europeus estão em processo de fusão (Duarte, 2007). As temperaturas médias anuais na Europa terão a tendência de aumentar mais do que a média global registando-se o maior aquecimento no norte da Europa na estação de inverno e

⁴ http://jpn.c2com.up.pt/2004/03/10/portugal_entre_os_paises_com_maior_risco_de_cheias.html - 10 de março de 2004.

⁵ <http://www.cbc.ca/news/technology/story/2012/04/23/tech-arctic-methane.html> - 23 de abril de 2012.

na zona mediterrânica por épocas do verão. A precipitação anual é muito provável que aumente na maioria do norte da Europa e diminua na maior parte da área do Mediterrâneo. No norte da Europa, espera-se que as temperaturas mínimas e máximas durante o inverno e verão, respetivamente, registem uma taxa de crescimento superior à média europeia. Na região do mediterrâneo a frequência de dias com chuva diminuirá e as temperaturas máximas no verão tenderão a aumentar mais do que na Europa meridional elevando assim o risco de seca. Na Europa central a precipitação tende a aumentar no inverno e diminuir no verão propiciando o risco de seca durante esta estação.

Ásia - O aquecimento tenderá a ser superior à média global na Ásia central, planalto tibetano, leste da Ásia, sul da Ásia e no norte da Ásia e semelhante à média global no sudeste asiático. Relativamente à precipitação é muito provável que aumente no norte da Ásia, leste da Ásia, sul, sudeste e no planalto tibetano durante o inverno. Durante o verão a pluviosidade aumentará no norte da Ásia, leste da Ásia, sul da Ásia e na maior parte do sudeste asiático, mas é provável que diminua na Ásia central.

América do Norte - O aquecimento médio anual ultrapassa o aquecimento global médio na maioria das áreas sendo maior nas regiões do norte durante o inverno e no sudoeste durante o verão. As temperaturas de inverno mínimas são previsíveis que aumentem mais do que a média no norte da América do Norte enquanto as temperaturas máximas tendem a aumentar mais do que a média global no sudoeste durante o verão. Relativamente à precipitação média anual é muito provável que aumente no Canadá e nordeste dos E.U.A. e diminua no sudoeste deste país. Espera-se ainda uma redução da frequência de dias com neve e sua profundidade, exceto no extremo norte do Canadá onde a sua profundidade tenderá a aumentar.

“Não há neve! Jogos Olímpicos de Inverno em Vancouver enfrentam tempo quente a poucos dias do início dos jogos. Faltam 5 dias para a Cerimónia de abertura dos jogos Olímpicos de Inverno de 2010 e o tempo ameno e falta de neve na Colômbia Britânica tem preocupado as autoridades responsáveis pelo evento...⁶.”

⁶http://articles.nydailynews.com/2010-02-08/news/27055755_1_cypress-mountain-snow-north-shore-mountains - 8 de Fevereiro de 2010.



Figura 5 - A falta de neve em Cypress Mountain a poucos dias do início dos jogos

América do Sul e Central - O aquecimento médio anual é provável que seja semelhante ao aquecimento global médio na América do Sul. A precipitação anual deverá diminuir na maior parte da América Central e no sul dos Andes. A precipitação durante o inverno na Terra do Fogo e durante o verão no sudeste da América do Sul é perceptível de aumentar. É incerto, como anualmente e sazonalmente a precipitação média vai mudar no norte da América do Sul, incluindo o pulmão Amazônico.

Austrália e Nova Zelândia - Espera-se que aquecimento que seja comparável à média global. Os modelos preveem um aumento da frequência das temperaturas altas diárias na Austrália e Nova Zelândia, e é muito provável uma diminuição do número de dias de frio extremo. A precipitação é suscetível que possa diminuir no sul da Austrália durante o inverno e primavera, é muito provável que baixe no sudoeste da Austrália no inverno e é previsível que aumente a oeste da Ilha Sul da Nova Zelândia.

Micro ilhas - A subida do nível do mar devido ao aquecimento global não será uniforme ao longo do próximo século e algumas ilhas serão mais afetadas que outras pela subida do mar.

“Subida do nível do mar ameaça pequenas ilhas do Pacífico. Previsões das alterações climáticas podem parecer ficção científica em muitas partes do mundo. Tuvalu é composta por nove atóis, totalizando apenas 26 quilômetros quadrados ou 10 milhas quadradas e, ... as estradas principais ficaram inundadas, coqueiros parcialmente submersos e terrenos cultiváveis ficaram inutilizados devido ao avanço da água salgada...⁷”.

⁷ <http://www.nytimes.com/2007/05/03/world/asia/03iht-pacific.2.5548184.html?pagewanted=all> – 3 de Maio de 2007.

2.5. Alimentação

2.5.1. FAO

Primeiramente importa esclarecer que a FAO é, a entidade máxima responsável da ONU pela promoção da sustentabilidade alimentar e em Setembro de 2000, definiu oito objetivos que ficaram conhecidos como “As Metas de Desenvolvimento do Milénio” sendo a primeira erradicar a pobreza e a fome (United Nations Development Programme, 2011).

2.5.2. Situação Global

Foi anteriormente referido que a agricultura é a atividade humana que consome mais recursos hídricos estando esta atividade muito dependente da Natureza. Em termos mundiais (ver **Gráfico 2**) a região líder é a Ásia e Pacífico, com 578 milhões de famintos, seguida da África Subsariana com 239 milhões. Os países desenvolvidos comportam “apenas” 19 milhões de pessoas com fome (Müller, 2011a).

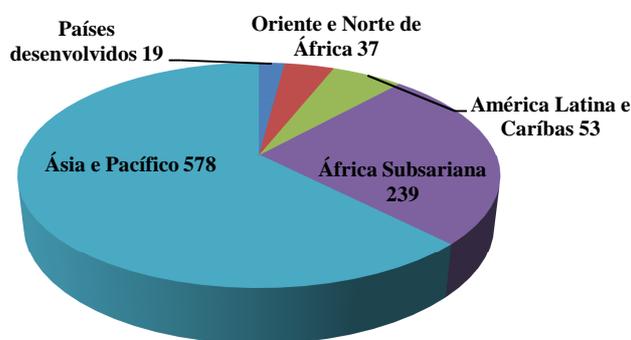


Gráfico 2 - Distribuição da fome a nível mundial, em milhões (adaptado, Müller, 2011a)

As principais causas que explicam os quase mil milhões de pessoas famintas são, de acordo com World Food Programme, os desastres naturais tais como cheias, tempestades tropicais e longos períodos de seca, traduzindo-se deste modo numa menor segurança alimentar e maior pobreza nos países em desenvolvimento, as guerras, falta de financiamento para iniciar a

prática agrícola, desflorestação, erosão dos solos e a salinização são outras das causas explicativas do fenómeno (World Food Programme, 2011).

As necessidades mundiais de comida estão diretamente relacionadas com a evolução da população, tendo-se assistido no último século a um crescimento exponencial da população. Da informação patente no **Gráfico 3** constatamos uma evolução muito pronunciada da atividade agrícola desde os anos 60 do século passado até meados da primeira década deste milénio. Porém, a previsão apresentada por Alexander Müller na sua 1ª conferência de Estocolmo traduz uma diminuição da taxa de crescimento para valores da ordem de um terço dos verificados no período anteriormente referidos.

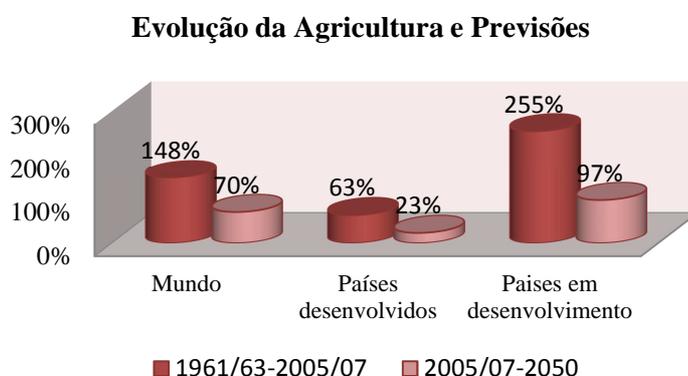


Gráfico 3 - Passado e Presente da Agricultura (adaptado, Müller, 2011a)

As mudanças bruscas do tempo, a erosão do sol, a desflorestação ou a salinização podem ser legitimamente apontadas como as principais razões para os valores presentes no **Gráfico 3**.

Seguidamente far-se-á descrições sucintas sobre a realidade da agricultura em várias regiões mundiais. Aquando da elucidação das previsões da agricultura mundial aparecerão siglas correspondentes a cenários climáticos estando o seu significado explanado na secção **2.4.4**.

África - Os resultados das avaliações dos impactos das mudanças climáticas na agricultura com base no SRES do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicam que certas áreas agrícolas possam sofrer significativas alterações negativas. Estima-se, que em 2100 partes do deserto do Saara surjam perdas agrícolas de 2 a 7 % do produto interno bruto (PIB). A África Ocidental e Central são também vulneráveis às mudanças climáticas sendo o

impacto de 2 a 4 % (Boko, et al., 2007). No norte e sul de África espera-se que as perdas sejam de 0,4 a 1,3% (Mendelsohn et al., 2000, citado em Boko, et al., 2007).

Ásia - As projeções indicam que as culturas diminuirão 20% no Este e Sudeste asiático enquanto no Centro e Sul da Ásia poderão aumentar até 30% durante o século XXI. Estudos recentes concluíram que no fim deste século se assistam a reduções significativas de cereais, por exemplo a produção de arroz em 2050 diminuiria no Bangladesh em cerca de 8 a 32% ou um aumento da temperatura em meio grau durante o inverno reduziria a produtividade de trigo em 0,45 toneladas por hectare na Índia (Faisal & Parveen, 2004; Lal, et al., 1998; Kalra, et al., 2003; Cruz, et al., 2007). Considerando o crescimento da população e a urbanização o risco de fome permanecerá muito alto em vários países (IPCC, 2007a).

Austrália e Nova Zelândia - Na Austrália os potenciais impactos das mudanças climáticas sobre o trigo variam regionalmente (Hennessy, et al., 2007; Howden & Jones, 2004). No Sudoeste da Austrália é suscetível e provável que se verifique uma redução significativa na produtividade de trigo até 2070 ao invés, no nordeste da Austrália os modelos vaticinaram aumento da produção (Hennessy, et al., 2007). Na Nova Zelândia, devido às temperaturas quentes do verão, os kiwis Hayward ficam suscetíveis de aumentarem o crescimento da vegetação em detrimento do crescimento de frutos de qualidade e, a abertura das flores é provável que ocorra mais tarde reduzindo o número de flores e de produção no norte da ilha.

Europa - Citando vários autores (Alcamo, et al., 2007) os efeitos das alterações climáticas e o aumento do CO₂ contribuirá para um aumento residual da produtividade das culturas europeias. No entanto, os desenvolvimentos tecnológicos podem superar em muito o efeito das alterações climáticas (Ewert et al., 2005). Aumento do rendimento do trigo em 2050 pode variar de 37% no cenário B2 a 101% no cenário A1 (Ewert et al., 2005). Aumentos das produtividades das culturas são esperados principalmente no norte da Europa, por exemplo, o trigo: 2-9% em 2020, 8 a 25% em 2050, 10 a 30% em 2080 (Alexandrov et al. 2002; Ewert et al, 2005; Audsley et al, 2006; Olesen et al., 2007) enquanto as maiores reduções das culturas são esperadas no Mediterrâneo, Balcãs, sudoeste e sul da Rússia europeia (Olesen and Bindi, 2002;. Alcamo et al, 2005;. Maracchi et al, 2005). No sul da Europa, em geral o rendimento diminui (legumes -30 a +5%, girassol -12 a +3% e tubérculos -14 a 7% em 2050) e aumento da procura de água (por exemplo, para o milho 2 a 4% e batata 6-10% em 2050) nas culturas semeadas na primavera (Giannokopoulos et al., 2005; Audsley et al., 2006).

América Latina - Citando vários autores (Magrin, et al., 2007), de acordo com uma avaliação global (Parry et al., 2004), se os efeitos do CO₂ não são considerados, as reduções de produtividades podem chegar até 30% em 2080 sob o cenário mais quente (HadCM3 SRES A1FI), e o aumento do número de pessoas em risco de fome de acordo com o cenário A2 pode atingir 5, 26 e 85 milhões em 2020, 2050 e 2080, respectivamente (Warren et al., 2006). No entanto, se os efeitos diretos de CO₂ são incluídos nos cenários, as mudanças de rendimento podem variar entre as reduções de 30% no México e aumentos de 5% na Argentina (Parry et al., 2004), e o número de pessoas em risco de fome sob o cenário SRES A2 aumentaria 1 milhão em 2020, permaneceria inalterado em 2050 e diminuiria em 4 milhões em 2080. Face à grande variabilidade nas projeções de rendimento, alguns comportamentos parecem ser consistentes em toda a região, como a redução projetada para a produção de arroz após o ano 2010 e o aumento da produtividade da soja quando os efeitos de CO₂ são considerados (Magrin, et al., 2007).

América do Norte - Durante o século XX, os rendimentos das culturas nos E.U.A. aumentaram de forma consistente a taxas de 1 a 2% ao ano (Troyer, 2004; Field, et al., 2007) com variações significativas entre os estados deste país estando estas discrepâncias relacionadas com as tecnologias, clima, mão-de-obra e o uso de fertilizantes. Citando múltiplos artigos (Field, et al., 2007) refere que no Centro-Oeste dos E.U.A. de 1970-2000 o rendimento do milho aumentou 58% e da soja 20% (Hicke e Lobell, 2004). Em termos médios, nos E.U.A. de 1982 a 1998 registou-se uma descida de 17% da produção de milho e soja por cada subida anormal de 1°C (Lobell e Asner, 2003). De acordo com (Field, et al., 2007) as projeções mais recentes revelam que a mudança do clima provavelmente irá aumentar o rendimento da agricultura de sequeiro do continente norte-americano (Reilly, 2002), porém estes resultados são menos positivos que os apresentados em cenários anteriores a estes. A maior parte dos estudos relacionados com o clima indicam aumentos de rendimento das culturas de 5 a 20% sobre as primeiras décadas do século, com os efeitos positivos do clima persistindo através de grande parte ou todo o século XXI (Field, et al., 2007). Fruto das mudanças climáticas espera-se que o clima melhore a produção de frutos na região dos Grandes Lagos e no leste do Canadá, mas com riscos no início da estação de geadas e prejudiciais no Inverno (Bélanger et al, 2002; Winkler et al., 2002).

2.6. Evapotranspiração

O método de passagem de água no estado de vapor de água para a atmosfera constitui um importante ciclo hidrológico da natureza (Fernandes & Foster, 2006). “A combinação de dois processos separados através do qual a água é perdida, por um lado a partir da superfície do solo, por meio de evaporação e, por outro lado, a partir da cultura por transpiração, é referido como a **evapotranspiração** (ET) ” (Allen, et al., 1998). A distinção e estimação dos processos de evaporação e transpiração, não é fácil de ser realizada pois ocorrem simultaneamente.

A evapotranspiração pode ser medida por lisímetros ou por equações sendo a sua taxa normalmente expressa em milímetros por unidade de tempo⁸ (Pousada, 2010). Excluindo a precipitação, a evapotranspiração é a componente mais importante do ciclo hidrológico (Alexandris, et al., 2008). Segundo Rosenberg et al. em 1983, este defende que 70% da precipitação que chega à superfície terrestre volta à atmosfera pelos meios de evaporação e/ou evapotranspiração e nas regiões áridas a percentagem eleva-se a 90% (Burman & Pochop, 1994).

O cálculo da evapotranspiração das culturas é um mecanismo básico para aferir os balanços hídricos e para estimar a disponibilidade de água e exigências sendo obrigatório o seu conhecimento em escalas temporais e espaciais para uma gestão equilibrada dos recursos hídricos (Pereira, et al., 1999; Jiang, et al., 2009). Uma vez que a produção agrícola se encontra diretamente relacionada com a evapotranspiração real revela-se importante estimar a sua magnitude (Kotsopoulos, et al., 2003).

A **evaporação** corresponde a um processo de conversão de água, no estado líquido, em vapor de água, que é posteriormente removida a partir de superfícies de evaporação sendo os lagos, rios, vegetação húmida, estradas ou solos disso exemplos (Allen, et al., 1998). A água perde-se em forma de vapor devido às fendas, que se designam por ostíolo, formadas nos estômatos⁹ (Pousada, 2010). O vento tem um efeito importante no processo de evaporação pois permite a remoção e renovação do ar logo acima da superfície evaporante (Fernandes & Foster, 2006).

⁸ Esta unidade de tempo pode ser hora, dia, mês, década ou o ciclo completo da cultura (Pousada, 2010).

⁹ São estruturas presentes na camada exterior da folha abertas em plantas e consistem em duas células (células-guarda) que cercam um pequeno poro chamado de estoma (Swarthout & Hogan, 2011).

A **transpiração** revela-se pela vaporização de água contida nos tecidos da planta e sua libertação para atmosfera. Os valores da transpiração dependem da magnitude da energia fornecida, do gradiente de pressão de vapor e do vento daí ser necessário para a sua quantificação o conhecimento dos valores de radiação solar, temperatura e humidade relativa do ar bem como da velocidade do vento, variáveis estas que fazem também parte do processo de avaliação da evaporação (Allen, et al., 1998).

O conhecimento robusto da evapotranspiração é muito importante para uma gestão racional dos recursos hídricos das regiões e para promover a sustentabilidade da agricultura mundial. Por exemplo, nos EUA a agricultura é responsável por 80% do consumo nacional de água e o rendimento agrícola diminui caso a quantidade de irrigação e precipitação não sejam iguais à ET (Jiang, et al., 2009).

Em várias regiões mundiais, quando a precipitação é escassa e de modo a atender à pressão hídrica das culturas a irrigação é uma componente pertinente no planeamento agrícola. Na agricultura de sequeiro, ou seja, quando a pluviosidade é diminuta, necessita-se de definir quando e qual a quantidade a aplicar e, determinar o ciclo de cultura ótimo de modo a tirar vantagem da humidade do solo disponível e da precipitação (Alexandris, et al., 2008).

2.6.1. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi ao longo dos tempos sendo definida de variadíssimas formas consoante os autores e inicialmente empregava-se o conceito evapotranspiração potencial (ET_p). Na obra de Linsley et al. de 1958, "*Hydrology for Engineers*" os autores afirmam que a ET_p é aquela que ocorreria caso existisse sempre água disponível ao longo dos tempos. Posteriormente, Eagleson em 1970, "*Dynamic Hydrology*", acrescenta uma nova qualificação: água ilimitada aos estômatos da planta. Porém, o termo é ambíguo pois o limite superior da ET está dependente do tipo de vegetação, da água no solo e das condições climáticas. Jensen et al. (1970) em "*Scheduling irrigations using climate-crop-soil data*" propuseram o termo evapotranspiração de referência (ET_r) substituindo desta forma o termo ET_p para alfafa com alturas de 30 a 50 cm. Em 1974, Jensen escreveu a obra "*Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements*" e nesta afirma que a ET_p refere-se a uma cultura bem regada como a alfafa (Burman & Pochop, 1994). Posteriormente foi apresentado por Doorenbos e Pruitt em 1977 o livro "*Guidelines for predicting crop water*

requirements” e, segundo estes autores a ET_o é aquela que ocorre em uma vasta superfície coberta com relva de espessura entre 0,08 a 0,15m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem déficit hídrico porém, não atende às características do solo e das culturas (Shahidian, et al., 2007; Allen, et al., 1998). A ET_o pode ser medida diretamente a partir de uma superfície de referência; por uma expressão semi-empírica e empírica tendo como base formulações analíticas e estatísticas (Lazzara & Rana, 2012):

2.6.2. Evapotranspiração da cultura

A ET_o como foi referido anteriormente não reflete o efeito das propriedades do solo e das culturas devendo-se para tal introduzir um coeficiente que reflita esta incongruência, o designado coeficiente de cultura (K_c). Determinar as necessidades de cada cultura em cada época é fundamental de modo a auxiliar os produtores com informações úteis e isso consegue-se com o acumular de conhecimento sobre o coeficiente de cultura (Piccinni, et al., 2009).

Na obra de Lazzara & Rana em 2012 refere-se que K_c , ou seja o coeficiente de cultura, foi introduzido por Jensen no ano de 1968 e mais tarde desenvolvido por outros investigadores interessados nesta temática (Doorenbos and Pruitt, 1975, 1977; Burman et al., 1980a, Burman et al., 1980b; Allen et al., 1998). A variável K_c é reconhecida como um coeficiente de cultura e atende aos efeitos da cultura propriamente dita. A implementação destes efeitos não é objetiva e outros impactos deverão ser incluídos no coeficiente agora retratado sendo os seus valores determinados experimentalmente, graficamente ou pelos meios computacionais (Burman & Pochop, 1994).

Assim, à ET_o aplica-se o coeficiente de cultura de modo a determinar a evapotranspiração da cultura (Doorenbos & Pruitt, 1977).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad [3]$$

O coeficiente de cultura é específico para cada cultura e para a época de desenvolvimento da espécie (Lazzara & Rana, 2012). São assim identificadas quatro fases de crescimento da cultura, a saber (Allen, et al., 1998):

- I. Fase inicial** – Corresponde a cerca de 10% do desenvolvimento da cultura.
- II. Fase de desenvolvimento da cultura** – Inicia-se, obviamente após o término da fase inicial e prolonga-se até ao ponto em que a cultura atinge o crescimento máximo;
- III. Fase intermédia** – É durante esta etapa que o coeficiente da cultura atinge o seu valor máximo e como tal as perdas por evapotranspiração é máxima;
- IV. Fase final** – Começa a partir do início da maturidade e termina com a colheita da cultura ou quando esta deixa de receber água.

2.6.3. Equação de Penman-Monteith

A FAO adotou a equação de Penman-Monteith como um método padrão para o cálculo da ET_o . A equação de Penman-Monteith tem demonstrado alta firmeza e adaptabilidade ao cálculo da ET_o ao longo dos últimos anos sendo aceite pelos teóricos do tema como um método competente para a calibração de vários modelos (Allen, et al., 1998; Shahidian, et al., 2007). Para a utilização do método de Penman-Monteith é imprescindível conhecer o local onde se encontra a estação e apropriar-se de dados referentes à temperatura, humidade relativa, vento e radiação líquida (Shahidian, et al., 2007). O modelo de Penman-Monteith envolve várias variáveis estando a sua representação matemática abaixo indicada (Allen, et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad [4]$$

Em que, as variáveis acima exposta representam,

ET_o	Evapotranspiração de referência,	<i>mm/dia</i>
R_n	Radiação líquida na superfície da cultura,	<i>MJ/m²/dia</i>
G	Densidade do fluxo de calor no solo,	<i>MJ/m²/dia</i>
T_a	Temperatura média diária a 2m de altura,	<i>°C</i>
u_2	Velocidade do vento a 2m de altura,	<i>m/s</i>
e_s	Pressão de saturação do vapor,	<i>kPa</i>
$e_s - e_a$	Défice de pressão de saturação de vapor,	<i>kPa</i>
Δ	Declive da curva de pressão de vapor,	<i>kPa/°C</i>
γ	Constante psicrométrica,	<i>kPa/°C</i>

O tempo e o custo envolvido no processo de aquisição e processamento dos dados necessários torna o processo demorado e dispendioso sendo as variáveis temperatura e a radiação solar as mais importantes para estimar a ET_o e segundo Jensen em 1985, pelo menos 80% da ET_o pode ser explicada pelo binómio temperatura e radiação solar (Samani, 2000; Shahidian, et al., 2012).

É importante referir (Silva, et al., 2005), invocando vários autores (Chiew et al., 1995; Michalopoulou & Papaioannou, 1998; Jensen et al., 1997; Sentelhas, 1998; Silva et al., 2001), que nos últimos anos os teóricos tem como objetivo comparar múltiplos métodos de quantificação da evapotranspiração de referência de modo a encontrar aquele que melhor se ajusta ao local em questão e aos dados disponíveis.

2.7. Modelo de Fu

Na obra de Zhan, et al., em 2012 faz-se referência que Budyko constatou que a evapotranspiração média anual de uma captação é determinada pelo balanço entre a energia disponível para a evaporação e a quantidade de água disponível (Budyko 1963; 1974). Sobre a hipótese de Budyko, Fu em 1981 consagrou no seu artigo que ao longo de uma escala de tempo médio anual para uma dada taxa de evapotranspiração potencial (ET_o), a taxa de alteração da evapotranspiração com a precipitação ($\partial ET_c / \partial P$) aumenta com a evapotranspiração potencial ($ET_o - E$) mas diminui com a precipitação (P). Da mesma forma, para uma dada precipitação a taxa de variação da evapotranspiração em relação à evapotranspiração potencial ($\partial ET_c / \partial ET_o$) aumenta com a precipitação residual ($P - ET_c$), e diminui com a evapotranspiração potencial ET_o . A expressão matemática é,

$$\frac{ET_c}{P} = 1 + \frac{ET_o}{P} - \left[1 + \left(\frac{ET_o}{P} \right)^w \right]^{1/w} \quad [5]$$

Ou,

$$\frac{ET_c}{ET_o} = 1 + \frac{P}{ET_o} - \left[1 + \left(\frac{P}{ET_o} \right)^w \right]^{1/w} \quad [6]$$

A letra w traduz o parâmetro do modelo.

A precipitação real define-se como a quantidade de chuva que fisicamente cai sobre a superfície terrestre enquanto a precipitação efetiva distingue-se por ser a porção da precipitação que satisfaz a ET_c da planta (Burman & Pochop, 1994). Em termos matemáticos as equações [5] e [6] poderão adquirir os seguintes desenvolvimentos dependendo dos valores que as variáveis tomam entenda-se.

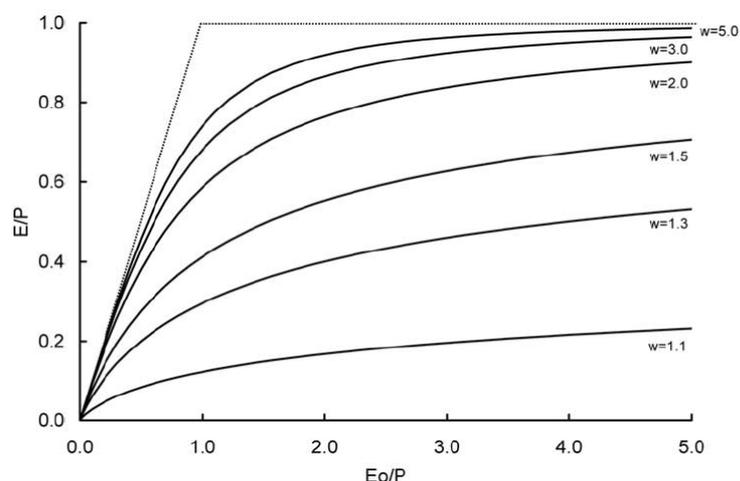


Gráfico 4 - Relação entre a evapotranspiração de referência e a precipitação (E/P) em função do índice de aridez para diferentes valores de w (Zhang, et al., 2004)

O **Gráfico 4** permite concluir que a relação ET_c/P varia entre o valor zero e a unidade, enquanto ET_0/P detém um intervalo mais amplo. A razão para que o rácio ET_c/P não seja superior a um é devido à impossibilidade de numa bacia hidrográfica a quantidade de água que entra ser inferior à que sai, ou seja, a energia disponível (água) será sempre superior à que se perde.

3. METODOLOGIAS

O presente capítulo tem como propósito esclarecer a metodologia por mim empregue para a realização da presente dissertação encontrando-se o organograma da mesma presente na **Figura 6**. A metodologia consiste no estudo (logia) dos métodos (metodo) ou, a explicação minuciosa, detalhada, rigorosa e exata de toda ação desenvolvida no caminho do trabalho desenvolvido. Passarei a explicar de forma concisa mas sem ser omissa, as diferentes etapas que compõem a metodologia adoptada. Pela análise da **Figura 6** constata-se a existência de duas grandes fases, a revisão bibliográfica e a escrita da dissertação (elaboradas nas cadeiras de Seminário e de Projecto).

3.1. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica iniciou-se nos princípios do mês de novembro do ano de 2011 e terminou em meados do mês de maio do ano seguinte. A etapa desenvolvida durante este período teve como propósito reunir um conjunto de documentos enquadráveis no tema que constitui a dissertação bem como familiarização com a bibliografia disponível sobre a temática em apreço. A revisão bibliográfica permitiu, numa fase inicial a redação do estado da arte e do plano de dissertação. São estes documentos que de seguida serão analisados.

3.1.1. Estado da Arte

Relativamente a este documento a sua redação aconteceu durante os meses de novembro e dezembro do ano de 2011. O estado da arte consiste, em linguagem corrente, basicamente, numa síntese do conhecimento atual e respectivas referências bibliográficas. O desenvolvimento desta etapa teve como propósito reunir a informação mais relevante a cerca das seguintes temáticas.

Água – identificar as atividades que consomem mais água; quantidade e distribuição mundial da água; atividades que poluem a gestão do recurso hídrico e, apresentação dos conceitos de pegada de água e ecológica.

Alimentação – análise comparativa entre a evolução populacional e a produção de alimentos; distribuição mundial dos famintos e identificação das suas causas e, por fim, áreas de intervenção da FAO;

Alterações climáticas – notas históricas relativas ao IPCC; definição do conceito “Alterações Climáticas”; elenco das causas naturais e humanas explicativas das mudanças climáticas e, identificação das atividades que produzem maiores quantidades de dióxido de carbono;

Protocolos mundiais – identificar os principais protocolos assinados na temática alterações climáticas a nível mundial nos últimos cinquenta anos;

Situação portuguesa – definir os objetivos consagrados no protocolo de Quioto relativamente aos GEE; conhecer os programas aprovados no âmbito das alterações climáticas e, apresentação das regiões hidrográficas e das Áreas de Região Hidrográfica;

Caso de estudo – identificar a área de estudo.

3.1.2. Plano de dissertação

O plano de dissertação foi elaborado entre meados do mês de dezembro de 2011 e princípios do mês de janeiro de 2012. Neste documento ficou consagrado a definição dos objetivos a que me proponho a atingir com a elaboração da dissertação bem como a identificação/apresentação e duração das principais etapas que constituem a dissertação. No plano de dissertação ou plano de trabalhos foram também referidos os resultados esperados com a dissertação. O *software* a utilizar, CROPWAT 8.0 da FAO, foi identificado nesta fase do trabalho.

Recolha de dados - O processo de recolha de dados ocorreu durante o mês de abril e consiste basicamente, na obtenção de dados históricos relativos a várias variáveis imprescindíveis para a concretização do traçado de diferentes cenários.

Software - A utilização do CROPWAT 8.0 permitiu-me a elaboração de vários exemplos hipotéticos que visam melhor compreender o funcionamento do *software* utilizado nesta dissertação de mestrado e estudar o modelo de Fu.

Cenários - Após a recolha dos dados foram definidos três cenários sendo que a sua implementação no *software* aconteceu durante o mês de setembro. Esta etapa visa estudar o comportamento de cinco culturas, oliveira, vinha, tomate, citrinos e trigo relativamente à evapotranspiração de referência e à quantidade de irrigação requerida.

Resultados e sua análise - Depois da concretização da etapa anterior “Cenários”, procedeu-se à extração dos valores presentes no *software*, em cada cenário e cultura, para futura análise. Posteriormente, avaliou-se o comportamento de cada cultura ao longo de um dado período temporal e comparou-se as diferenças de valores presentes nos três cenários.

3.2. Escrita da dissertação

A escrita de dissertação aparece aqui em último plano, não quer isto dizer que foi a última etapa a ser iniciada mas sim a última a terminar devido à dependência que esta fase manifesta face às demais. A escrita da tese iniciou-se aquando da revisão bibliográfica e finalizou-se em outubro de 2012. A estrutura da dissertação divide-se em sete tópicos principais, a saber: introdução, estado da arte, metodologias, aplicações e resultados, conclusões, bibliografia e anexos.

A figura seguinte representa um organograma da dissertação.

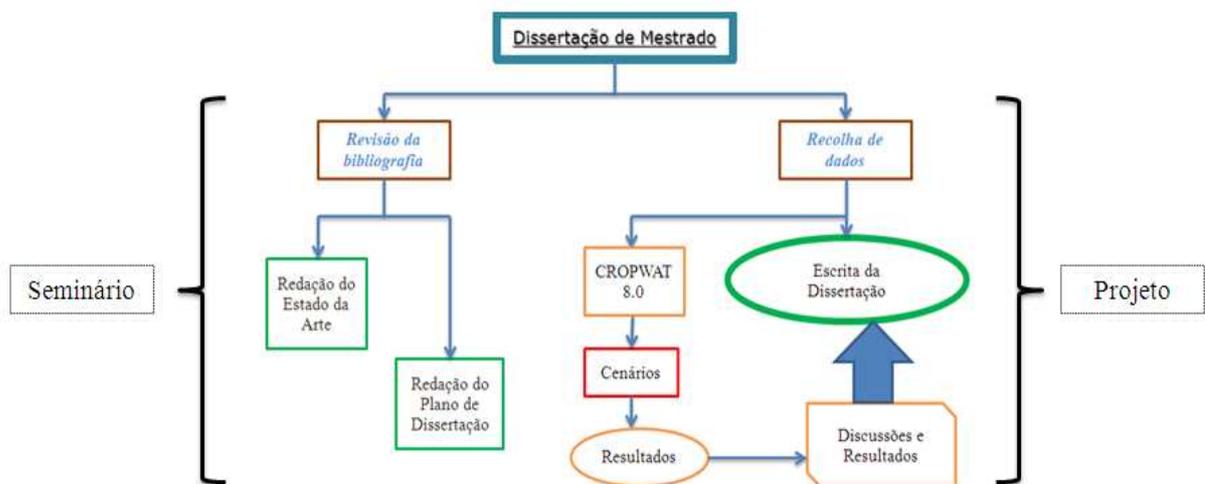


Figura 6 - Organograma da Dissertação de Mestrado

Em termos genéricos a elaboração da tese divide-se em dois ramos, o primeiro foi desenvolvido na unidade curricular de Seminário e o segundo ramo foi executado na disciplina de Projeto.

Na cadeira de Seminário procedeu-se à escrita da redação do Estado da Arte e do plano de dissertação enquanto na disciplina de projeto procedeu-se inicialmente à recolha de dados e posterior tratamento dos mesmos permitindo deste modo o estudo do modelo de Fu. Elaboraram-se cenários relativos ao caso em estudo e após esta etapa foram implementados no *software* CROPWAT 8.0. Procedeu-se posteriormente à recolha dos resultados seguido da leitura dos mesmos e por fim finalizou-se a metodologia com a escrita da dissertação. Em termos gerais foi esta a metodologia utilizada neste trabalho académico.

3.3. Área de Estudo

Dentro desta subsecção o autor do trabalho tecerá alguns comentários acerca do enquadramento geográfico do caso de estudo e elencará posteriormente os dados climatológicos da região.

3.3.1. Âmbito geográfico

Como foi referido anteriormente a região portuguesa em estudo nesta dissertação é o **Alqueva**. Escolhi este local pois permite incorporar os três conceitos da dissertação ou seja, a **água** face à construção da barragem do Alqueva, a **alimentação** devido à reconversão de milhares de hectares de áreas incultas em áreas de regadio e às **alterações climáticas** pois esta região será uma das mais afetadas pelo aumento da temperatura e diminuição da temperatura ao longo deste século não apenas a nível nacional mas também a nível continental e mundial. O rio Guadiana¹⁰ nasce em Espanha a cerca de 1700m de altitude nas lagoas de Ruidera, na província de Ciudad Real desenvolvendo-se ao longo de 810 km até à foz, no oceano Atlântico, junto às cidades de Vila Real de Santo António, em Portugal, e Ayamonte, em Espanha. Dos 810 km de extensão do rio apenas 260 km se fazem em Portugal e destes 110 km delimitam a fronteira entre os referidos países estando a área de estudo na **Figura 7**.

¹⁰ Termo que deriva do árabe *Uádi* (“rio”) e do romano *Anas* (“dos patos”).

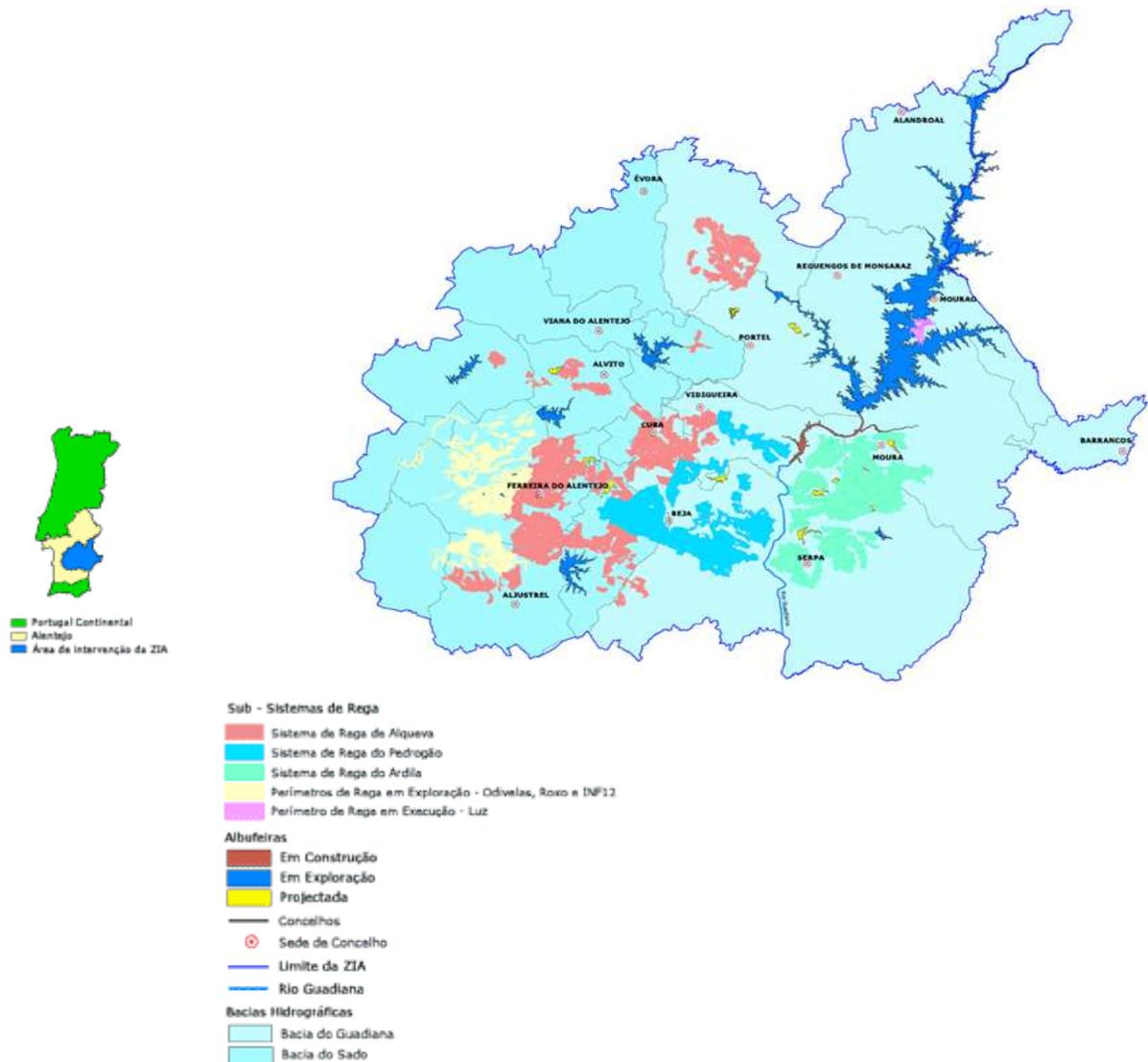


Figura 7 - Concelhos abrangidos pela RH7 (GPAa, 2004a)

A RH do Guadiana afetava em 2006, 557 hm³ de água correspondendo a cerca de 5,7% do total nacional e sendo a rega a atividade que mais água utilizava seguida da aplicação urbana, industrial e turística (Santos & Miranda, 2006).

3.3.2. Clima

Relativamente a este ponto abordarei os aspetos contemplados no plano de Gestão das Bacias Hidrográficas integradas na RH7, a saber (NEMUS-ECOSSISTEMAS-AGRO.GES, 2011):

- **Temperatura** – a temperatura média anual varia entre os 9,1 °C em janeiro e os 24,4 °C em Julho sendo o intervalo de maio a outubro o período mais quente e os meses de novembro a abril reclamam o período mais frio para a RH7;
- **Insolação** – a média da insolação mensal varia entre 147 horas a 369,3 horas sendo o mínimo anual de 2 749 horas e o máximo de 2 932,1 horas;
- **Humidade relativa do ar** – a média ponderada varia entre 59,2% e 88,5% sendo mais baixa nos meses mais quentes (julho e agosto) e mais alta nos meses mais frios (dezembro e janeiro);
- **Velocidade média do vento** – em média anualmente varia entre 0 km/h a 13,8 km/h sendo o valor médio de 8,2 km/h. Em termos mensais a média da velocidade varia entre 7,6 km/h em outubro e novembro e 8,8 km/h em março;
- **Precipitação** – a distribuição da precipitação mensal ao longo do ano é muito irregular, variando de quase nula em julho e agosto a 29% da precipitação média anual nos meses mais chuvosos de dezembro e janeiro. A precipitação do semestre húmido (outubro a março) totaliza cerca de 76% da precipitação média anual, sendo que a do semestre seco representa os restantes 24%. A precipitação média anual em ano seco na RH7 é de 436 mm, em ano médio é de 566 mm e em ano húmido é de 729,5 mm;
- **Evapotranspiração** - A evapotranspiração potencial média ponderada varia entre 18,9 mm em Janeiro e 147,2 mm no mês de Julho. Em termos anuais, esta evapotranspiração varia entre um mínimo de 758,1 mm e um máximo de 956,3 mm para uma média de 835,3 mm e observam-se os valores mais elevados nas sub-bacias com usos de solo de agricultura e de regadio que se apresentam com maior relevância na zona de Espanha. No que diz respeito ao território nacional, verificam-se valores mais elevados da evapotranspiração ao longo dos vales de jusante dos rios Xévorá e Caia, na zona Nordeste da bacia hidrográfica do rio Degebe, Ardila e Guadiana. Os valores mais reduzidos de evapotranspiração ocorrem nas cabeceiras das bacias hidrográficas dos rios Caia e de Xévorá” (Instituto da Água, I.P., 2011).

4. APLICAÇÕES E RESULTADOS

4.1. Exemplos

Através das fórmulas apresentadas nas subsecções 2.6 e 2.7 construíram-se **exemplos hipotéticos** que visam melhor compreender o *software* utilizado nesta dissertação de mestrado e estudar o modelo de Fu. Inicialmente, apresentar-se-á alguns exemplos sobre o funcionamento do *Cropwat 8.0* da FAO e de que forma este programa se interliga com o modelo de Fu e, farei uma analogia entre o parâmetro do modelo de Fu e o coeficiente de cultura. Como nota de rodapé é importante esclarecer que os exemplos hipotéticos construídos e que brevemente serão apresentados têm o propósito único de compreender o funcionamento do programa e do modelo de Fu não se pretendendo com isto retirar conclusões sobre o caso de estudo.

Na fase dos **resultados**, aplicarei o referido modelo ao caso em estudo para as culturas da vinha e da oliveira, apontarei os problemas sentidos com a sua aplicação e escreverei sobre os resultados obtidos relativamente às culturas da oliveira, vinha, tomate, citrinos e trigo em relação à evapotranspiração de cultura, irrigação requerida, produtividade agrícola e produção. A partir dos resultados consagrados na secção 4.3 é que serão retiradas conclusões acerca do caso de estudo.

4.1.1. Modelo de Fu

A equação [5] possui quatro variáveis, a precipitação, a evapotranspiração de cultura e potencial e w , logo, para ser resolvida dever-se-á conhecer três variáveis e estimar a outra. Face a este exercício ser meramente académico vou assumir que a incógnita é a relação ET_c/P e dar diferentes valores às outras variáveis. Faz-se a apresentação de um exemplo válido/hipotético da aplicação da equação referida em que se comprova o que foi apontado em 2.7.

Tabela 2 – Exemplo de aplicação de um modelo de Fu hipotético

w	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,55274	0,76393	0,86544	0,91992	0,95101	0,96946	0,98069	0,98765	0,99204	0,99483
2,5	0,59439	0,80742	0,90172	0,94777	0,9715	0,98415	0,99106	0,9949	0,99706	0,9983
3	0,62649	0,83772	0,92445	0,96341	0,98181	0,99078	0,99526	0,99753	0,99871	0,99931
3,5	0,65216	0,85995	0,93969	0,973	0,98759	0,99418	0,99723	0,99867	0,99935	0,99968
4	0,67325	0,87689	0,95046	0,97927	0,9911	0,9961	0,99827	0,99922	0,99964	0,99984
4,5	0,69098	0,89023	0,95839	0,9836	0,99336	0,99726	0,99885	0,99951	0,99979	0,99991
5	0,70613	0,90098	0,96441	0,9867	0,9949	0,998	0,99921	0,99968	0,99987	0,99995
5,5	0,71928	0,90983	0,96912	0,989	0,99598	0,9985	0,99943	0,99978	0,99992	0,99997
6	0,73083	0,91724	0,97288	0,99075	0,99676	0,99884	0,99958	0,99985	0,99994	0,99998
6,5	0,74107	0,92353	0,97593	0,99212	0,99735	0,99909	0,99968	0,99989	0,99996	0,99999
7	0,75024	0,92893	0,97845	0,9932	0,9978	0,99927	0,99976	0,99992	0,99997	0,99999

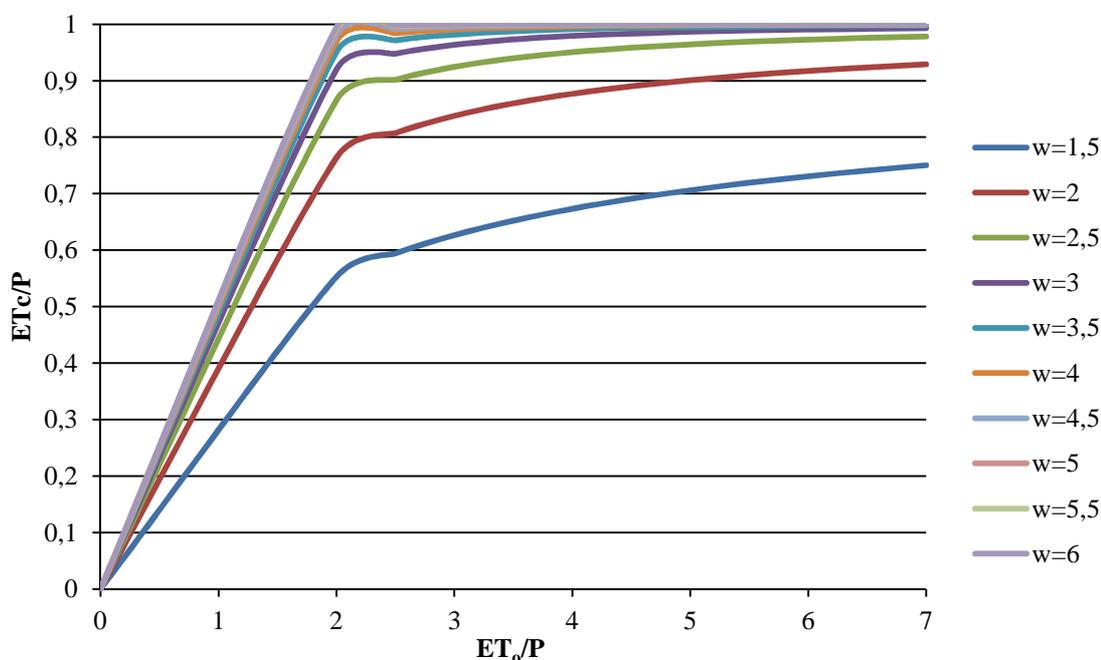


Gráfico 5 – Resultados gráficos do modelo de Fu hipotético

Os resultados patentes no **Gráfico 5** vão de encontro aos obtidos no **Gráfico 4** aquando da apresentação do modelo de Fu. Verifica-se, em específico, que para quocientes de ET_0/P inferiores a 2, um crescimento acentuado do rácio ET_c/P seguido de uma estabilização deste. Confirma-se que por mais alta que seja a evapotranspiração potencial a evapotranspiração da cultura atinge um valor máximo fruto da falta de energia propiciada pela precipitação.

4.1.2. Analogia entre o parâmetro do modelo de Fu e o coeficiente de cultura

Utilizando as equações [3] e [5] é possível aferir a seguinte igualdade,

$$\frac{K_c \times ET_o}{P} = 1 + \frac{ET_o}{P} - \left[1 + \left(\frac{ET_o}{P} \right)^w \right]^{\frac{1}{w}} \Leftrightarrow \quad [7]$$

$$\Leftrightarrow K_c = \frac{P}{ET_o} \left[1 + \frac{ET_o}{P} - \left(1 + \left(\frac{ET_o}{P} \right)^w \right)^{\frac{1}{w}} \right] \quad [8]$$

Obtemos assim uma relação explícita entre K_c e o parâmetro do modelo de Fu. Diga-se que a finalidade da dedução anterior é avaliar o comportamento matemático das duas variáveis, ou seja, pretende-se conhecer a intensidade da variação de uma varável quando se altera a outra. Selecionando diferentes valores de evapotranspiração potencial, precipitação e do parâmetro do modelo de Fu constrói-se a seguinte tabela de resultados.

Tabela 3 – Relação entre K_c e w

w	ET_o (mm)	P (mm)	ET_o/P	K_c
1	1341,6	526,8	2,546697	0
1,1				0,072257
1,5				0,234710
2				0,318335
2,5				0,355084
3				0,372878
3,5				0,381970
4				0,386774
4,5				0,389374
5				0,390805
5,5				0,391604
6				0,392055
6,5				0,392312
7				0,392460
7,5				0,392545
8				0,392595
8,5				0,392624
9				0,392641
9,5				0,392651
10				0,392657

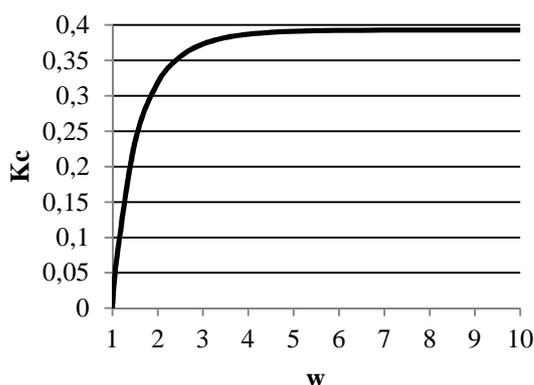


Gráfico 6 - K_c em função de w

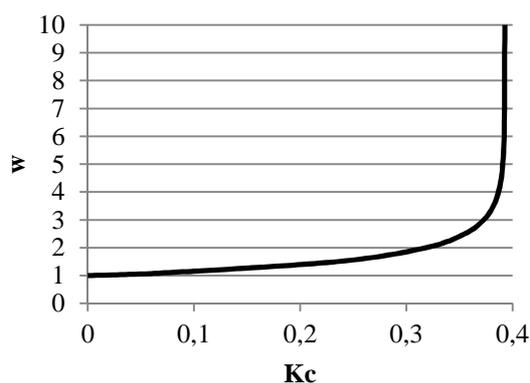


Gráfico 7 - w em função de K_c

A construção dos dois gráficos permite-nos verificar, para o exemplo em questão, a existência de uma assintota para o coeficiente de cultura quando o parâmetro do modelo de F_u é aproximadamente igual a 2,5. Para valores do coeficiente de cultura entre zero e 0,3, constata-se que o declive da assintota é reduzido, ou seja, pequenos aumentos de w traduzem-se em grandes variações de K_c . Por fim, refere-se a inexistência de declives negativos nos gráficos levando a que quanto maior for K_c maior também será o parâmetro w .

O objetivo com este trabalho é, entre outros objetivos, apurar os valores do parâmetro w para o caso em estudo.

4.1.3. CROPWAT 8.0. aplicado ao modelo de F_u

O seguinte exemplo pretenderá de uma forma académica e hipotética demonstrar o funcionamento em simultâneo do *software CROPWAT 8.0* e do modelo de F_u .

De acordo com a web *site* da FAO, o *CROPWAT 8.0* é um programa de computador que permite a quantificação dos requisitos da colheita de água para irrigação com base em dados de clima, solo e coeficientes de cultura. Para além disto, o programa permite o desenvolvimento de programas de irrigação para diferentes condições de atuação, o cálculo de sistemas de abastecimento de água para diferentes padrões de cultura e estimar o desempenho das culturas nas condições de sequeiro e regadio. Feita a apresentação do *software* irei apresentar um exemplo académico onde conjugo o programa referido e o modelo de F_u .

Para a resolução deste exercício académico recorri à plataforma web do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídrico (SNIRH). Nesta página pude identificar a localidade para o problema em questão Abrantes, sendo o código da estação 17H/01C, a precipitação, humidade, vento e precipitação. Relativamente às horas de sol obtive os dados no Instituto Geográfico Português. Assim foram identificadas 11 décadas, a saber: 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2010, 2020, 2030, 2040, 2050. Face às dificuldades surgidas aquando da reunião dos dados procedi a várias tomadas de decisões que na minha ótica são lógicas e que de seguida serão apresentadas. Para finalizar informo os leitores que os dados da temperatura média mensal mínima e máxima, humidade relativa média diária, velocidade do vento média diária, horas de sol diárias e precipitação podem ser consultados na **Tabela 21**, **Tabela 22**, **Tabela 23**, **Tabela 24** **Tabela 25**. Introduzindo todos estes dados no *software* possibilitou-se o conhecimento da radiação e da evapotranspiração real, **Tabela 26** e **Tabela 27**, respetivamente. Posteriormente efetuou-se a média mensal dos valores da evapotranspiração potencial e da precipitação e estimei a evapotranspiração real a partir dos valores da constante do coeficiente de cultura por mim assumidos (**Tabela 28**). A partir dos valores dessa tabela construí o seguinte gráfico.

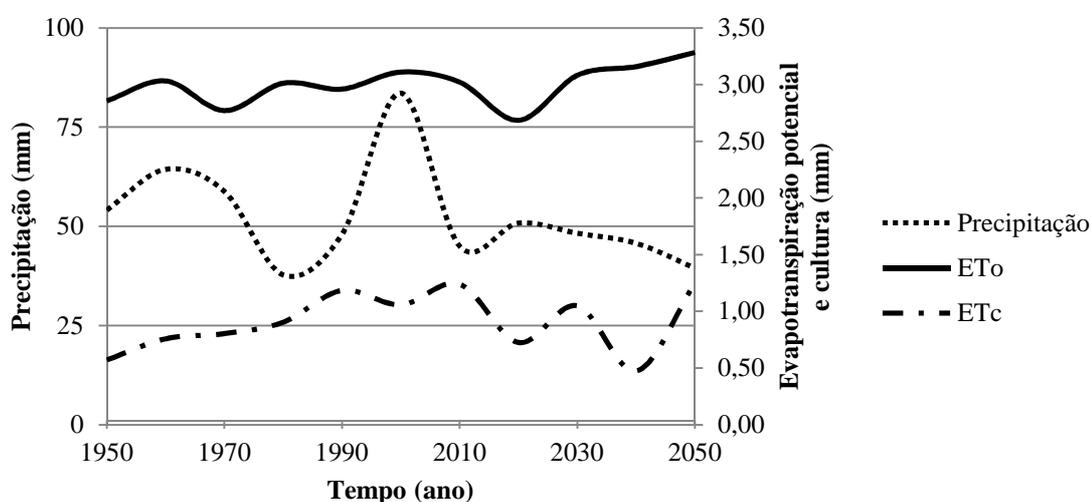


Gráfico 8 – Relação entre a evapotranspiração potencial e da precipitação média diária mensal e evapotranspiração real com o tempo

O **Gráfico 8** marca o término da aplicação do *CROPWAT 8.0*. Apresenta-se novamente o modelo de Fu.

Face à grande quantidade de tabelas a apresentar e também a este exercício ser uma mera demonstração das ferramentas do *CROPWAT 8.0* e do modelo de Fu apresentarei apenas os resultados referentes à década de 1950 (consultar **Tabela 29**, **Tabela 30** e **Gráfico 15**). Com este exercício hipotético retirei as seguintes conclusões, a elencar:

1. Verifiquei que com aumento da temperatura a evapotranspiração aumenta;
2. Caso a humidade diminua a evapotranspiração irá aumentar;
3. A velocidade do vento favorece o aumento da evapotranspiração;
4. Quantas maiores horas de sol diárias se verificarem maior a quantidade de água perdida o que obviará num maior abastecimento da mesma às culturas;
5. Relativamente ao modelo de Fu constatei que quanto mais íngreme forem as curvas maior o coeficiente de cultura e menor será o índice de aridez.

4.2. Cenários

Com esta tese pretende-se, entre outros objetivos, avaliar os impactos das alterações climáticas no processo de gestão da água e da alimentação. Como estamos a fazer projeções a incerteza dos resultados é uma realidade exigindo-se a elaboração de vários cenários. São esses cenários que seguidamente o autor discriminará.

4.2.1. 1ª Fase

Na 1ª fase de elaboração de cenários procurarei retirar conclusões a cerca da evapotranspiração das culturas e da irrigação necessária para suprir todas as necessidades hídricas.

Em 2010, o instituto da água (INAG) apresentou um trabalho sólido que consiste na previsão da evolução das variáveis, temperatura, precipitação e humidade relativa ao longo deste século para o período de 1991-2020, 2020-2050 e 2071-2100 tendo por referência o período 1951-1980. Nesse documento foram consagrados os resultados aferidos por 18 modelos em que em cada modelo eram obtidos os valores mínimos, médios e máximos para as três variáveis em questão. Foram assim elaborados três cenários para cada período de tempo através dos valores médios dos valores mínimos (cenário 1), máximos (cenário 2) e médios (cenário 3) apreciados pelos 18 modelos. Importa ainda referir, que o documento

anteriormente invocado faz uma discriminação estacional das variáveis temperatura e precipitação mas relativamente á humidade relativa os resultados lá consagrados são anuais. As próximas tabelas exortam os dados para os três períodos de tempo e para os três cenários (INAG, 2010).

Tabela 4 – Cenários para o período de 1991-2020

Cenário	Estação	Temperatura ($\Delta^{\circ}\text{C}$)	Precipitação ($\Delta\%$)	Humidade relativa ($\Delta\%$)
1	<i>Inverno</i>	0,4	-0,3	-1,5
	<i>Primavera</i>	0,6	-16,2	
	<i>Verão</i>	0,8	-34,1	
	<i>Outono</i>	0,8	-6,2	
2	<i>Inverno</i>	0,6	13,7	0,3
	<i>Primavera</i>	0,8	-5,1	
	<i>Verão</i>	1,1	5,6	
	<i>Outono</i>	0,9	11,5	
3	<i>Inverno</i>	0,5	6,0	-0,8
	<i>Primavera</i>	0,7	-12,2	
	<i>Verão</i>	1,0	-17,7	
	<i>Outono</i>	0,8	1,6	

Tabela 5 - Cenários para o período de 2020-2050

Cenário	Estação	Temperatura ($\Delta^{\circ}\text{C}$)	Precipitação ($\Delta\%$)	Humidade relativa ($\Delta\%$)
1	<i>Inverno</i>	1,4	2,1	-4,3
	<i>Primavera</i>	1,5	-21,9	
	<i>Verão</i>	1,9	-45,4	
	<i>Outono</i>	1,8	-26,5	
2	<i>Inverno</i>	1,6	14,5	-2,5
	<i>Primavera</i>	1,6	-9,4	
	<i>Verão</i>	2,4	-2,2	
	<i>Outono</i>	2,0	-12,1	
3	<i>Inverno</i>	1,5	8,8	-3,5
	<i>Primavera</i>	1,6	-16,0	
	<i>Verão</i>	2,1	-29,1	
	<i>Outono</i>	1,9	19,9	

Tabela 6 - Cenários para o período de 2071-2100

Cenário	Estação	Temperatura ($\Delta^{\circ}\text{C}$)	Precipitação ($\Delta\%$)	Humidade relativa ($\Delta\%$)
1	<i>Inverno</i>	2,6	-8,7	-8,8
	<i>Primavera</i>	3,3	-43,5	
	<i>Verão</i>	4,5	-62,1	
	<i>Outono</i>	3,9	-37,2	
2	<i>Inverno</i>	2,8	5,9	-5,3
	<i>Primavera</i>	3,8	-31,4	
	<i>Verão</i>	5,4	-22,6	
	<i>Outono</i>	4,3	-23,4	
3	<i>Inverno</i>	2,7	-0,6	-7,3
	<i>Primavera</i>	3,6	-37,9	
	<i>Verão</i>	5,0	-49,3	
	<i>Outono</i>	4,1	-30,0	

4.2.2. 2ª Fase

A 2ª fase de elaboração de cenários tem como propósito compreender a relação existente entre as culturas de regadio e de sequeiro bem como avaliar a evolução da produtividade das cinco culturas ao longo do século XXI em análise. A próxima tabela sintetiza informação relevante e imprescindível para o problema em apreço. Apresenta-se,

Tabela 7 – Caracterização geográfica das culturas de Alqueva (GPAA, 2004a; GPAA, 2004b)

Variável	Culturas				
	Oliveira	Vinha	Tomate	Citrinos	Trigo
<i>Biomassa de regadio 2011 (kg/ha)</i>	6000	7500	80000	20000	2700
A_s , 2011 (ha)	31275	5008	95	201	108896
A_r , 2011 (ha)	185	23	377	1	5712
$A_t =$	31460	5031	472	202	114608
A_s/A_t (%)	99,41	99,54	20,13	99,50	95,02
A_r/A_t (%)	0,59	0,46	79,87	0,50	4,98
A_s , 2020-2100 (ha)	31275	5008	95	201	108896
A_r , 2020-2100 (ha)	13325	1684	835	53	13676
$A_t =$	44600	6692	930	254	122572
A_s/A_t (%)	70,12	74,84	10,22	79,13	88,84
A_r/A_t (%)	29,88	25,16	89,78	20,87	11,16

Uma variável de difícil definição prende-se com a quantidade de água a empregar para satisfazer as necessidades hídricas das culturas na situação de regadio. Devido ao não conhecimento do valor em causa o autor do trabalho assumirá a existência de 6 regas. De

forma a facilitar a leitura dos futuros leitores, faz-se a apresentação de um organograma que tem como propósito criar um elo entre a 1ª e a 2ª fase dos cenários.

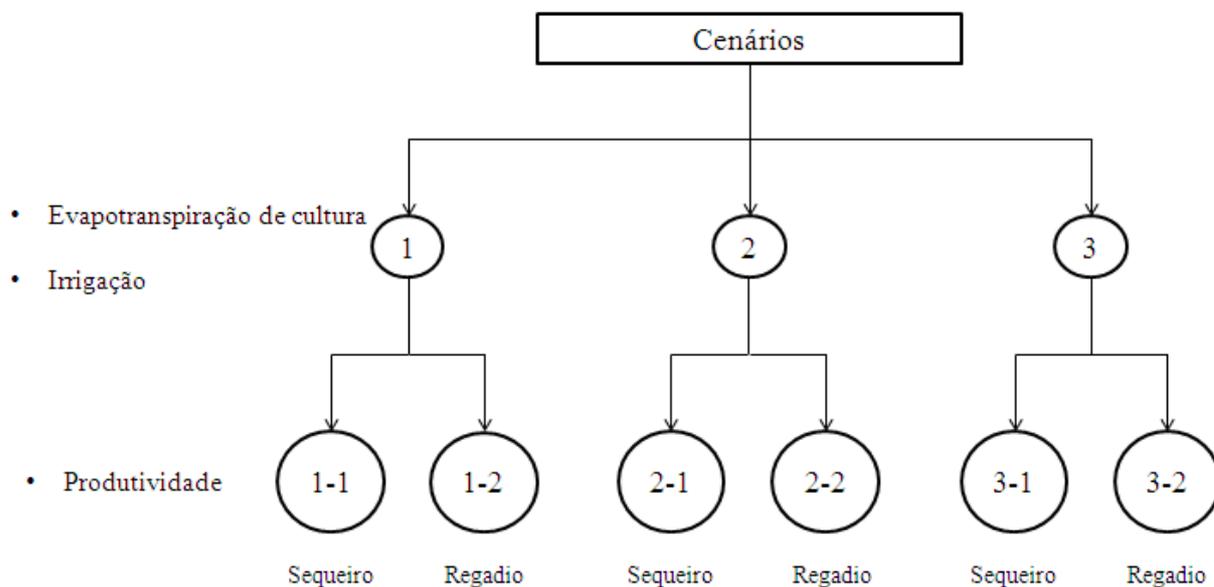


Figura 8 – Organograma dos vários cenários adotados

4.3. Resultados do caso em estudo

4.3.1. Aplicação do modelo de Fu

A conjugação do *software* utilizado nesta dissertação com o modelo de Fu incidirá sobre a avaliação do parâmetro w em seis períodos de tempo quinquenais (1982-86, 1987-91, 1992-96, 1997-01, 2002-06 e 2007-11) para as culturas da oliveira e do vinho.

De forma a ser possível realizar um elo entre o *CROPWAT 8.0* e o modelo de Fu teve tal, como no exemplo proposto na secção 4.1.3, que recolher informações quantitativas no SNIRH sobre várias variáveis (Amieira 24L/01C). Informo que essas variáveis são a temperatura mínima e máxima, humidade relativa, velocidade do vento e precipitação. Os dados relativos às horas de sol diárias foram recolhidos no *site* do Instituto Geográfico Português (consultar **Tabela 31** e **Tabela 32**). Utilizando a equação de Penman-Monteith, obteve-se os valores relativos à ET_o e ET_c para os períodos em análise (consultar **Tabela 33**). Após esta etapa calculei o parâmetro w para os diversos períodos de tempo através da aplicação da equação [5]. Os resultados estão sintetizados na próxima tabela.

Tabela 8 – Resultados aferidos para o parâmetro w

Período	Cultura	
	Oliveira	Vinho
1982-1986	2,675	2,100
1987-1991	2,285	1,923
1992-1996	2,175	1,864
1997-2001	1,954	1,732
2002-2006	4,648	2,474
2007-2011	2,930	2,194

Tal como tinha sido por mim apontado na secção **4.1.2**, verificou-se que quanto maior fosse o coeficiente de cultura maior também seria o w. Neste caso real a situação tornou-se a repetir. Devido ao coeficiente de cultura da oliveira ser superior à do vinho o parâmetro w da oliveira foi em todos os quinquênios superiores à do vinho. Nos próximos parágrafos comentarei a magnitude dos valores aferidos para este problema. A evolução do parâmetro w ao longo do tempo e para as duas culturas está representado no **Gráfico 9**.

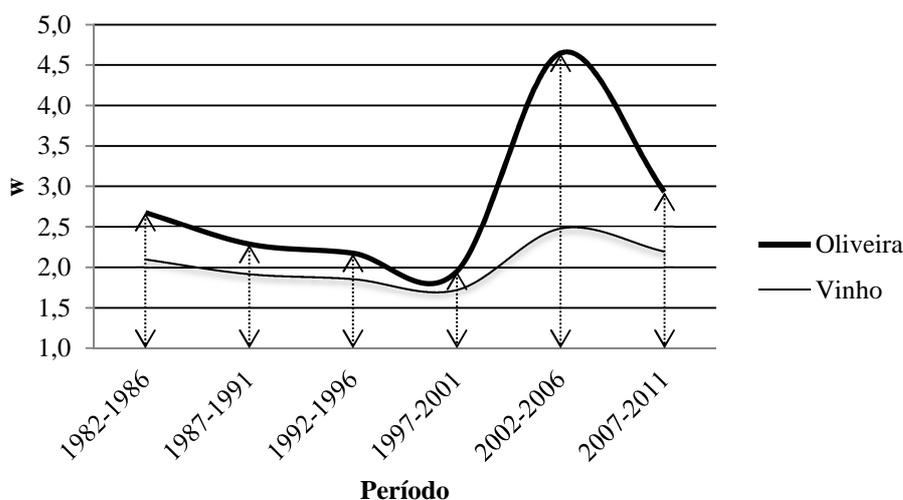


Gráfico 9 – Representação do parâmetro w em função do tempo

Pelo **Gráfico 9**, na região analisada constata-se uma diminuição do parâmetro w desde o início do período analisado até 1997-2001 sendo que a diminuição é mais intensa no caso da oliveira do que no vinho. A razão para a diminuição do parâmetro w pode ser legitimamente justificada, pelo aumento sucessivo da precipitação verificada entre 1982 e 2001. No primeiro período em análise a precipitação rondava um valor médio de 2481,4 mm enquanto no intervalo de 1997-2001 a precipitação da região em estudo cifrava-se em cerca de 3369,6 mm,

ou seja, registou-se um aumento da pluviosidade de 26,4%. Em termos do variável em estudo (w), na situação da oliveira assinalou-se uma diminuição de 37,0% e no vinho de 21,3%.

Entre 1997-01 e 2002-06 os valores do parâmetro w subiram bastante, mais uma vez, a variação desta variável na cultura do vinho comportou-se de forma mais rígida do que no caso da oliveira (137,9% relativamente à cultura da oliveira e 42,8% na do vinho). A justificação para o seu crescimento prende-se com a diminuição da pluviosidade durante estes anos o que originou os maiores valores do parâmetro w nos últimos 30 anos.

Por fim, e face à diminuição da precipitação, o parâmetro w decresceu 37,0% na cultura da oliveira e 11,3% na do vinho. Conclui-se portanto, que a diminuição da precipitação origina maiores valores do parâmetro w e quanto maior for o coeficiente de cultura maiores flutuações experimenta a variável w . O **Gráfico 10** representa a relação (precipitação/evapotranspiração da cultura) em função da precipitação.

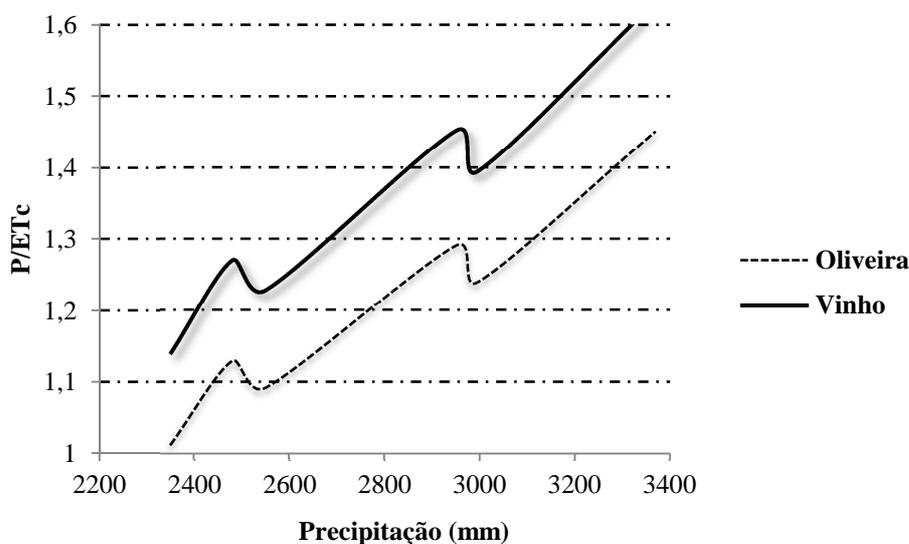


Gráfico 10 - Rácio Precipitação/Evapotranspiração da cultura em Alqueva

O **Gráfico 10** foi introduzido neste documento com o propósito de avaliarmos a relação entre o quociente precipitação e evapotranspiração da cultura em função da precipitação. Verifica-se que, em geral, com o aumento da precipitação existe uma maior quantidade de pluviosidade disponível na região sendo que a oliveira induz maiores consumos de água devido ao seu maior coeficiente de cultura quando comparado com o vinho. Para finalizar refere-se que anualmente a oliveira possui ET_c de 462,7 mm e o vinho de 411,3 mm. Salienta-

se, ainda o facto, de se ter verificado valores anuais da evapotranspiração da cultura próximos para dois anos com precipitações bastante díspares. Os anos analisados foram os de 2000 e 2002. A tabela abaixo mostra os dados obtidos.

Tabela 9 – Análise da evapotranspiração da cultura em 2000 e 2002

Ano	Precipitação (mm)	ET _c (mm)	
		Oliveira	Vinha
2000	746,5	463,3	411,8
2002	365,2	495,0	440,0

Os valores presentes na tabela acima refletem um ano de 2000 húmido e o de 2002 seco (a pluviosidade diminuiu 51,1 %) e relativamente à ET_c esta aumentou em 31,1 mm para a oliveira e 28,2 mm para o vinho. Deste modo comprova-se que a evapotranspiração de cultura depende mais do clima do que da precipitação.

4.3.2. Problemas da aplicação do modelo de Fu

Na **Tabela 9** verifica-se que no ano de 2002 a evapotranspiração da cultura foi superior à precipitação em ambas as cultura, o que significa que,

$$\frac{ET_c}{P} > 1 \quad [9]$$

Ou seja, a quantidade de pluviosidade no ano de 2002 foi inferior à energia perdida, por outras palavras, perdeu-se mais água do que aquela que entrou no sistema, o que de acordo com o modelo de Fu é inviável de acontecer, pois dever-se-á verificar sempre,

$$\frac{ET_c}{P} \leq 1 \quad [10]$$

De forma a ocorrer a referida relação acima deve-se alargar o período de análise. Irei agora demonstrar o que aconteceria ao parâmetro w relativamente ao ano de 2011. Introduzindo todos os dados necessários obteve-se os seguintes resultados.

Tabela 10 - Resultados da evapotranspiração da cultura para o ano de 2011

Cultura	ET_o (mm)	ET_c (mm)	W
<i>Oliveira</i>	1087,5	489,3	77,3
<i>Vinho</i>		434,9	46,38

Valores completamente diferentes dos presentes na **Tabela 8** indo neste caso ao encontro do referido anteriormente, ou seja, deve-se procurar utilizar o modelo de Fu em intervalos de tempo grandes de modo a validar os resultados obtidos.

4.3.3. Evapotranspiração da cultura

Como referi anteriormente nesta dissertação foram delineados três cenários para avaliar o comportamento das culturas oliveira, vinha, tomate, citrinos e trigo ao longo deste século.

O software CROPWAT 8.0. permite ao utilizador do mesmo retirar informação sobre várias variáveis em apreço, por exemplo, evapotranspiração das culturas, precipitação efetiva, irrigação requerida ou produção das culturas. São estes mesmos parâmetros sobre os quais me debruçarei nas próximas páginas.

Na tabela abaixo estão representados os coeficientes de cultura das cinco culturas analisadas bem como os respetivos tempos de cultura das mesmas. Apresenta-se.

Tabela 11 – Coeficientes de cultura e ciclo das culturas (Allen, et al., 1998; Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, 2012)

Cultura	Coeficiente de cultura			Ciclo da cultura
	$K_{c, inicial}$	$K_{c, médio}$	$K_{c, final}$	
Oliveira	0,65	0,45	0,65	1 De março a 26 de novembro
Vinha	0,15	0,65	0,4	1 De março a 27 de outubro
Tomate	0,6	1,15	0,8	1 De maio a 29 de agosto
Citrinos	0,75	0,7	0,75	1 De janeiro a 31 de dezembro
Trigo	0,7	1,15	0,3	30 De novembro a 28 de maio

Os resultados referentes á evapotranspiração de cultura para as oliveiras, vinha e tomate encontram-se na tabela seguinte. Faz-se de imediato a apresentação dos valores para posteriormente proceder à sua análise.

Tabela 12 - Resultados da evapotranspiração de cultura para a oliveira, vinha e tomate (*mm/ano*)

Período	Oliveira			Vinha			Tomate		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Presente</i>		518			504			500	
2020	530	530	533	514	515	517	510	511	512
2050	550	551	551	532	534	534	526	528	530
2100	589	591	590	568	572	571	560	566	565
<i>Presente/2100 (%)</i>	13,5	14,0	13,9	12,8	13,6	13,4	12,0	13,2	13,0

Anteriormente foram discriminados os cenários e o que se verifica em termos gerais é uma grande semelhança entre os vários valores obtidos, sem exceção.

Fazendo uma abordagem cultura a cultura verificou-se que para as **oliveiras** a sua ET_c é de atualmente 518 *mm* por ano e ao longo deste século apresentará valores sucessivamente maiores que culminará em 2100 com a evapotranspiração de cultura igual a 591 *mm/ano*, um incremento de 73 *mm* em valores absolutos ou de 14% em linguagem percentual. A razão para os valores máximos terem sido obtidos no segundo cenário prende-se com a matriz de cálculo em que se assumiu maiores incrementos de temperatura. Ao comparar cada cenário, verifica-se que é em 2020 que existe uma maior discrepância de valores entre os três cenários, o terceiro cenário apresenta o resultado de 533 *mm/ano* enquanto no primeiro vigora um valor 3 *mm* inferior.

Relativamente à **vinha** esta é responsável pela perda anual de água do sistema de 504 *mm*, um valor inferior à da oliveira devido ao ciclo de cultura e ao coeficiente de cultura. À semelhança dos comentários tecidos para a cultura da oliveira também, na vinha os valores máximos estão representados no cenário 2 (o aumento da temperatura induz maiores valores de ET_c que o aumento da humidade relativa que instiga menores valores de ET_c) e, a maior discrepância de valores entre os cenários encontra-se em 2100 com a diferença existente de 4 *mm*. Em termos percentuais concluiu-se um aumento de 12,8, 13,6 e 13,4% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente durante este século.

Comparativamente aos resultados obtidos para a cultura do **tomate** constatei que atualmente a sua ET_c é equivalente a 500 *mm* anualmente, inferior à da vinha e da oliveira. Para o cenário 1, e no ano de 2020 a ET_c é praticamente igual, a combinação da temperatura e da humidade relativa não alterou o valor final da ET_c . De acordo com o cenário mais desfavorável, a

cultura do tomate poderá induzir perdas de água no final do século de 566 mm/ano . Tal como tinha acontecido com as culturas anteriores, o maior aumento da ET_c ocorre entre 2050 e 2100, pois as projeções elaboradas para o caso em estudo apontam para um aumento da temperatura média do ar significativo neste período. Em termos percentuais concluiu-se um aumento de 12,0, 13,2 e 13,0% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente durante este século.

Os resultados referentes á evapotranspiração de cultura para os citrinos e trigo encontram-se na tabela seguinte. Faz-se a apresentação dos valores para posteriormente proceder à sua análise.

Tabela 13 - Resultados da evapotranspiração de cultura para os citrinos e trigo (mm/ano)

Período	Citrinos			Trigo		
	1	2	3	1	2	3
<i>Presente</i>		743			354	
2020	762	761	763	367	365	367
2050	792	792	792	383	382	382
2100	849	852	852	412	408	413
<i>Presente/2100 (%)</i>	14,2	14,6	14,7	16,3	15,4	16,7

Face aos **citrinos** terem um ciclo de cultura e de colheita separados por um ano e também devido aos seus coeficientes de cultura serem relativamente altos, os citrinos são das cinco culturas analisados nesta dissertação, aquela que apresentam maior valor de evapotranspiração, tanto potencial como de cultura (aproximadamente 743 mm/ano), e caso o cenário 3 se confirme é expectável que atinja 852 mm no fim do século XXI. A leitura dos resultados em linguagem percentual confirma um aumento de 14,2, 14,6 e 14,7% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente durante este século. Na cultura dos citrinos verificou-se que o cenário que induz maiores valores de ET_c é o terceiro ao contrário do que aconteceu nas culturas da oliveira, vinha e tomate e à semelhança da cultura do trigo. Apesar do terceiro cenário provocar um aumento de 14,7% na ET_c será a cultura do trigo que sofrerá um maior impulso da evapotranspiração de cultura.

A sementeira do **trigo** é realizada em finais de novembro sendo a colheita efetivada entre os meses de maio/junho (aproximadamente 180 dias). O trigo, e ao contrário das culturas analisadas anteriormente, não está sujeito a grandes valores de temperatura e aliado ao fato do ciclo da cultura não ser longo obteve-se os menores valores da ET_c para todos os períodos em

análise. Contudo, caso analisemos a variação dos resultados em termos percentuais é o trigo a cultura que maior perda relativa de água evidenciará. Essas variações foram estimadas em 16,3, 15,4 e 16,7% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente, curiosamente o cenário que infere menores aumentos de ET_c é o segundo cenário. A explicação para este facto residirá na combinação dos valores de temperatura e da humidade relativa e no ciclo de cultura.

Se fizer uma análise geral dos resultados conseguidos posso legitimamente ordenar as culturas por ordem crescente de água perdida da seguinte forma (ordenação percentual): trigo, citrinos, oliveira, vinha e tomate.

4.3.4. Irrigação das culturas

Os resultados referentes á irrigação requerida para as culturas das oliveiras, vinha e tomate encontram-se na tabela seguinte. Faz-se a apresentação dos valores para posteriormente proceder à sua análise.

Tabela 14 - Irrigação requerida para a cultura da oliveira, vinha e tomate (*mm/ano*)

Período	Oliveira			Vinha			Tomate		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Presente</i>	293			360			449		
2020	330	300	319	386	371	381	470	462	468
2050	363	328	352	406	386	401	488	478	488
2100	424	400	415	469	446	460	532	530	534
<i>Presente/2100 (%)</i>	44,8	36,6	41,7	30,3	23,8	27,9	18,6	18,2	19,0

Estima-se que anualmente sejam precisos cerca de 293 *mm* de água para satisfazer as necessidades hídricas da **oliveira**. Aquando da análise dos valores relativos à ET_c constatou-se que os resultados de cada cenário eram bastante semelhantes, as razões para essa semelhança foram anteriormente apontadas, porém, os valores de irrigação são bastante diferentes de cenário para cenário chegando-se a ter diferenças de 35 *mm*. Em termos absolutos verifica-se que o cenário que induz maiores quantidades de rega é o primeiro seguido do terceiro e por fim o segundo. Isto resulta das reduções de precipitação serem maiores no primeiro cenário do que nos restantes. O primeiro cenário vaticina um consumo anual de água em 2100 de aproximadamente 424 *mm*. As variações foram estimadas em 44,8, 36,6 e 41,7% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente.

Relativamente à **vinha**, estima-se que anualmente sejam precisos cerca de *360 mm* de água para satisfazer as necessidades hídricas da vinha. A diferença máxima existente entre os cenários elaborados acontecerá em 2100 e será igual a *23 mm/ano*. Em termos percentuais estimou-se um aumento do consumo de água entre 23,8% a 30,3%.

Relativamente aos resultados obtidos para a cultura do **tomate** constatei que atualmente a rega é equivalente a *449 mm/ano*, superior à da vinha e da oliveira. Um valor bastante elevado face ao ciclo de sementeira que dura cerca de 120 dias. Fruto do aumento da ET_c e da diminuição da precipitação para todos os cenários a irrigação aumentará durante este século acarretando maiores encargos. Ao contrário do sucedido para as culturas da oliveira, vinha, citrinos e trigo, na cultura do tomate é difícil dizer qual o cenário mais desfavorável pois, até 2050 é o cenário 1 o que requer maiores quantidades de rega porém, a partir desta data é o cenário 3 que vaticina maiores porções de rega. Pelo cenário 3 constata-se perdas de água no final do século de *534 mm/ano*. Tal como tinha acontecido com as culturas anteriores, o maior aumento da ET_c ocorre entre 2050 e 2100, pois as projeções elaboradas para o caso em estudo apontam para um aumento significativo da temperatura média do ar, principalmente no verão (época da cultura do tomate), e para uma redução da precipitação neste período. Em termos percentuais concluiu-se um aumento de 18,6, 18,2 e 19,0% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente durante este século.

Os resultados referentes à irrigação requerida para os citrinos e trigo encontram-se na tabela seguinte. Faz-se a apresentação dos valores para posteriormente proceder à sua análise.

Tabela 15 - Irrigação requerida para a cultura dos citrinos e trigo (*mm/ano*)

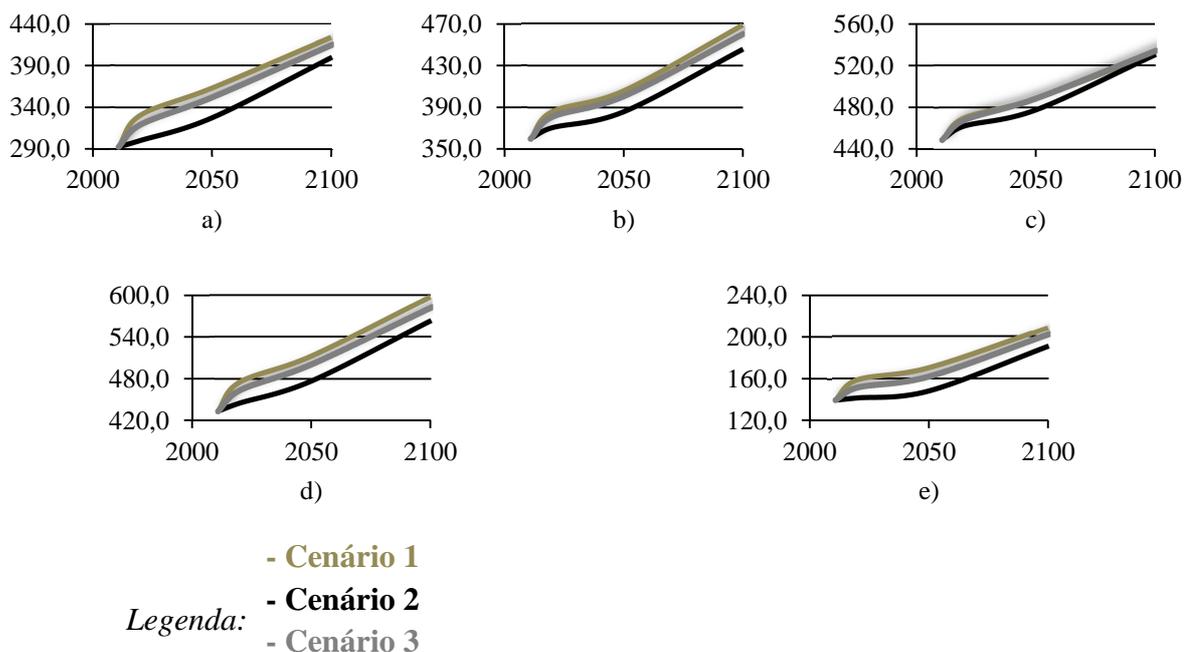
Período	Citrinos			Trigo		
	1	2	3	1	2	3
<i>Presente</i>		434			139	
<i>2020</i>	475	445	464	159	142	151
<i>2050</i>	512	477	501	170	148	162
<i>2100</i>	597	563	582	209	191	202
<i>Presente/2100 (%)</i>	37,7	29,8	34,1	49,5	36,7	44,9

Como foi referido anteriormente, os **citrinos** tem um tempo de sementeira e de colheita separados por um ano e face também os seus coeficientes de cultura serem relativamente altos, os citrinos são das cinco culturas analisados nesta dissertação, aquela que apresentam

maior valor de ET_c e devido a este facto também o são no que à irrigação diz respeito, porém não é a cultura que induz maiores aumentos percentuais de consumo de água, essa é o trigo. Para esta cultura o cenário mais desfavorável no que à irrigação diz respeito é o cenário número 1 e, no final do século é expectável que as necessidades hídricas cheguem aos 597 *mm/ano*. A leitura dos resultados em linguagem percentual confirma um aumento de 37,7, 29,8 e 34,1% para os cenários 1, 2 e 3, respetivamente durante este século.

A cultura do **trigo** distingue-se das demais por ser a responsável pelas maiores variações percentuais de ET_c e de irrigação. O ciclo de cultura do trigo inicia-se em finais de novembro e termina em finais de maio (180 dias), daí não ter grandes valores absolutos de ET_c nem de irrigação, pois a precipitação consegue cobrir favoravelmente a água perdida. O cenário que exige maiores doses de água para cobrir as necessidades hídricas é o primeiro cenário. De acordo com este cenário atualmente a rega foi estimada em 139 *mm/ano* e no ano 2100 em 209 *mm/ano*. Apesar de apresentar valores reduzidos de ET_c e de irrigação é a cultura que induz maiores variações de quantidades de rega.

Se fosse possível aplicar uma lei matemática poderia afirmar que as culturas com comportamento mais rígido, entenda-se menores variações, são aquelas que são cultivadas em períodos de maior calor. Para terminar este subcapítulo faz-se a apresentação dos resultados obtidos mas em termos gráficos.



Eixo horizontal – tempo; Eixo vertical - Irrigação necessária (mm/ano)

Gráfico 11 – Valores de irrigação para as culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo

4.3.5. Produtividade das culturas

A produtividade das culturas é o conceito que permite avaliar verdadeiramente os efeitos que as alterações climáticas têm na gestão dos recursos hídricos e na produção de alimentos. A tese que desenvolvi nos últimos meses e que neste documento está consagrada, tem como propósito aferir a interdependência manifestada pelo triângulo formado por, alterações climática, água e alimentação. Como foi explicitado anteriormente foram elaborados dois cenários dentro de cada cenário que compõem os cenários relativos à evapotranspiração de cultura e da irrigação.

4.3.5.1. *Sequeiro*

Procederei à apresentação dos dados relativos à variação das culturas de sequeiro para as culturas da oliveira, vinha e tomate para posteriormente fazer a sua análise.

Tabela 16 – Produtividades das oliveiras, vinha e tomate (*kg/ha*)

<i>Culturas</i>	ΔP_s (%)								
	<i>Oliveira</i>			<i>Vinha</i>			<i>Tomate</i>		
<i>Cenário</i>	<i>1-1</i>	<i>2-1</i>	<i>3-1</i>	<i>1-1</i>	<i>2-1</i>	<i>3-1</i>	<i>1-1</i>	<i>2-1</i>	<i>3-1</i>
<i>Presente – 2020</i>	7,2	1,4	4,8	5,2	1,2	3,6	2,9	1,4	2,3
<i>Presente – 2050</i>	11,4	3,4	8,7	7,8	2,3	6,1	4,6	2,4	4,2
<i>Presente – 2100</i>	19,9	14,6	17,8	14,4	10,8	13,1	9,2	8,2	8,9
<i>Presente</i> $\left\{ \frac{P_r - P_s}{P_r} (\%) \right\}$	47,5			63,0			55,3		

As **oliveiras** produzem atualmente 6000 *kg/ha* para o caso da cultura ser de regadio e das necessidades hídricas serem todas suprimidas. Consta-se, que caso optemos que a produção de azeite seja realizada por sequeiro, uma diminuição na produtividade de 47,5%, ou seja, a produção passaria a ser de 3150 *kg/ha*. Devido ao aumento da ET_c com o passar dos anos, fruto do aumento das temperaturas e da diminuição da humidade relativa, e face também à redução da precipitação, o que obriga ao aumento do stress hídrico, verifica-se ao longo deste século reduções progressivas na produção de azeite. Exemplo disso consiste, para a agricultura de sequeiro, na diminuição da produtividade de 19,9% (cenário 1-1) em 2100 face ao presente. Em termos de comparação, verificou-se que nos três cenários elaborados os resultados obtidos são díspares, contrastando com a análise feita aquando da ET_c . Para esta situação, o cenário mais desfavorável é o 1-1, e o mais favorável é o 2-1. A explicação reside no facto desta cultura possuir bastantes dias do ciclo de sementeira durante as estações da primavera e do verão e, é nestas estações que ocorrem maiores reduções de precipitação. De acordo com os cenários 1-1, 2-1 e 3-1, verificou-se no fim do século XXI face a 2011, reduções de 19,9, 14,6 e 17,8%, respetivamente na produção de sequeiro.

Para a cultura da **vinha** estima-se que a produção de regadio atual ronda os 7500 *kg/ha* e de sequeiro 2775 *kg/ha*, ou seja, um valor 63% inferior. Na cultura da vinha também se verifica um aumento progressivo da ET_c e diminuição da precipitação o que origina menores quantidades de vinho produzido. À semelhança das outras culturas analisadas também na vinha o cenário que induz menores quantidades de vinho produzido é o 1-1 e o mais favorável o 2-1. Aquando da análise dos valores da ET_c para a cultura em questão escreveu-se que o cenário que provoca maiores incrementos da evapotranspiração de cultura é o segundo e o que induz menores variações de ET_c é o primeiro pretendendo com isto dizer que não se pode afirmar que maiores quantidades de água perdida não é sinónimo de menores índices de produtividade alimentar. Em termos comparativos nota-se uma grande diferença entre os

resultados presentes nos três cenários, diferença essa que chega a ser de 75% entre 2011-2020, mas que ao longo do tempo se vai mitigando. Se a vinha for cultivada por sequeiro os cenários traçados vaticinam no período de 2011-2020 reduções de 1,2 a 5,2%, de 2011-2050 diminuições de 2,3 a 7,8% e 2011-2100 reduções 10,8 a 14,4%.

Nesta dissertação, foi anteriormente referido que a cultura do **tomate** é das cinco analisadas a que tem menores valores percentuais de ET_c e de irrigação requerida porém, a cultura do trigo é a que apresenta melhor relação produção com sequeiro/regadio. Os tomates são das cinco analisadas aquela que consegue produzir maiores quantidades por hectare, 80000 kg/ha , em regadio e as necessidades hídricas serem todas suprimidas, entenda-se. Constatase, que caso os agricultores da região do Guadiana optem que a produção do tomate seja realizada por sequeiro virão a produtividade cair no presente 55,3%, ou seja, a produção passaria a ser de 35760 kg/ha e no fim de século em 64,5% (cenário 1-1) o que corresponderá a 28400 kg/ha . A razão para a presença destes valores tão elevados, prende-se com o facto de a cultura ser realizada maioritariamente durante as estações da primavera e do verão originando grandes discrepâncias entre a produção em regadio e em sequeiro. Face a isto, é especialmente recomendado a presença de mecanismos de rega. Os cenários vaticinam reduções na produtividade do tomate de sequeiro em 2100 de 9,2, 8,2 e 8,6%, para os cenários 1-1, 2-1 e 3-1, respetivamente. Nesta cultura não se espera grandes reduções na produtividade de sequeiro mas existe diferenças significativas entre a opção regadio/sequeiro.

Os resultados referentes às produtividades dos citrinos e trigo encontram-se na tabela seguinte. Faz-se a apresentação imediata dos resultados para posteriormente proceder à sua observação.

Tabela 17 - Produtividades dos citrinos e trigo (kg/ha)

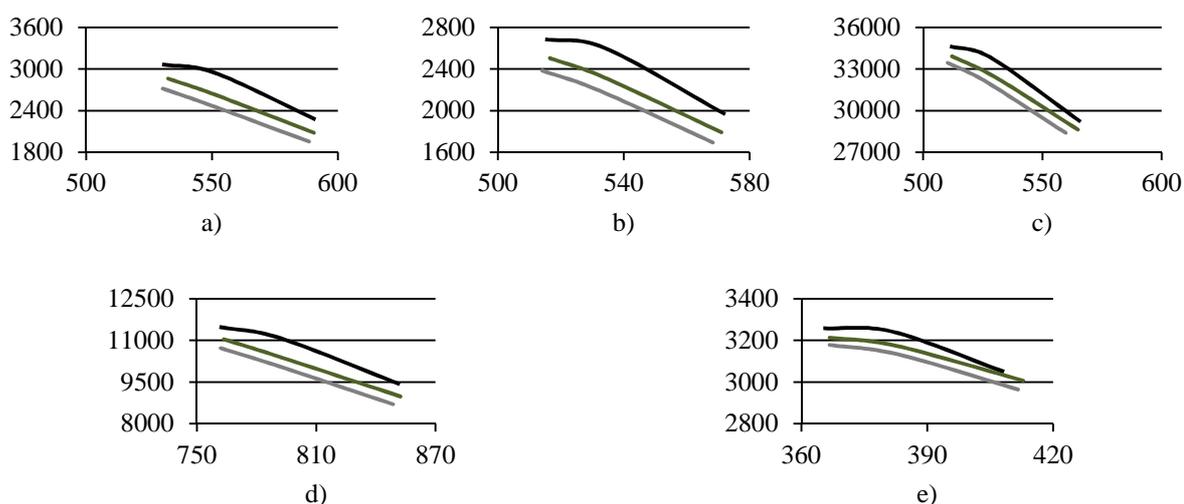
<i>Culturas</i>	ΔP_s (%)					
	<i>Citrinos</i>			<i>Trigo</i>		
<i>Cenário</i>	<i>1-1</i>	<i>2-1</i>	<i>3-1</i>	<i>1-1</i>	<i>2-1</i>	<i>3-1</i>
<i>Presente – 2020</i>	4,9	1,1	3,3	2,5	0,2	1,5
<i>Presente – 2050</i>	8,2	3,1	6,5	3,8	0,7	2,6
<i>Presente - 2100</i>	15,0	11,4	13,6	8,6	6,2	7,4
<i>Presente</i> $\left\{ \frac{P_r - P_s}{P_r} (\%) \right\}$		41,5			6,7	

Os **citrinos** têm o ciclo de cultura igual a um ano o que dificulta a tomada de decisões relativamente às datas do início e fim do ciclo e é das cinco culturas analisadas nesta dissertação, aquela que apresenta maior valor de evapotranspiração, tanto potencial como de cultura (aproximadamente 743 mm/ano). Para esta cultura estima-se que a produção de regadio atual ronda os 20000 kg/ha e de sequeiro 11700 kg/ha , ou seja, um valor 41,5% inferior mas superior ao que se verifica nas oliveiras, vinha e tomate. À semelhança do que foi escrito anteriormente, na cultura do tomate também se verifica, em termos gerais, um aumento progressivo da ET_c e diminuição da precipitação o que origina quebras na produção. Mais uma vez, o cenário que vaticina maiores reduções de produção é o 1-1 e o mais “amigo” da produção o 2-1. À semelhança das outras culturas analisadas também na vinha o cenário que induz menores quantidades de vinho produzido é o 1-1 e o mais favorável o 2-1. Se os citrinos forem cultivados por sequeiro os cenários traçados vaticinam no período de 2011-2020 reduções de 1,1 a 4,9%, de 2011-2050 diminuições de 3,1 a 8,2% e 2011-2100 reduções 11,4 a 15,1%. Aquando da análise dos valores da ET_c para a cultura em questão escreveu-se que o cenário que provoca maiores incrementos da evapotranspiração de cultura é o terceiro e o que induz menores variações de ET_c é o primeiro pretendendo com isto dizer que a relação $ET_c/\text{produção}$ é complexa e não se pode afirmar que quanto menor for a ET_c menor será a produção agrícola. Em termos comparativos nota-se uma grande diferença entre os resultados presentes nos três cenários, diferença essa que chega a ser de 80% entre 2011-2020, mas que ao longo do tempo se vai mitigando.

Relativamente ao **trigo**, e num comentário geral, constatou-se que das cinco culturas analisadas é a que menos sofre com as profundas alterações climáticas que se avizinham ao longo deste século. De acordo com os dados da bibliografia, o trigo possui uma produtividade de 3500 kg/ha para regadio e caso as necessidades hídricas sejam satisfeitas na sua totalidade. Fruto do ciclo de cultura iniciar-se em finais de novembro e terminar nos fins de maio pode-se afirmar que o trigo é uma cultura de sequeiro e por isso apresenta atualmente uma diferença de 6,7% para as condições de regadio, o que equivale a afirmar uma produtividade de 3266 kg/ha . À semelhança das culturas anteriormente analisadas também o trigo manifesta reduções de produtividade ao longo do século XXI. Se o trigo for cultivado por sequeiro, os cenários traçados vaticinam no período de 2011-2020 reduções de 0,2 a 2,5%, de 2011-2050 diminuições de 0,7 a 3,8% e 2011-2100 limitações de 6,2 a 8,6%. Pretendo ainda agrafar que a diferença entre os cenários 1-1 e 2-1 é de, em termos nominais,

2,3 % e em termos relativos, de 92% porém, e à semelhança das outras culturas, esta diferença esbate-se com o passar do tempo e em 2100 é de 28%.

Assim, terminada a análise individual das culturas, faz-se a apresentação gráfica dos resultados obtidos.



- Cenário 1-1
 - Cenário 2-1
 Legenda: - Cenário 3-1
Eixo horizontal – ET_c (mm), Eixo vertical – Produção (kg/ha)

Gráfico 12 – Produtividade das culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo

Com os cinco gráficos acima, quero dizer que a relação evapotranspiração de cultura versus produção é bastante complexa não se podendo por isso agraphar que a produtividade das culturas será tanto maior quanto menor for a ET_c mas a produtividade das culturas também não será tanto menor quanto maior for a ET_c . É bastante ambíguo estabelecer uma relação entre estes dois conceitos pois torna-se difícil definir uma equação geral para um caso.

4.3.5.2. Regadio

Os resultados referentes á rega para as culturas das oliveiras, vinha e tomate encontram-se na tabela seguinte. Faz-se a apresentação dos valores para posteriormente proceder à sua análise.

Tabela 18 - Produtividades das oliveiras, vinha e tomate (*kg/ha*)

<i>Culturas</i>	$\Delta P_{r,s}(\%)$								
	<i>Oliveira</i>			<i>Vinha</i>			<i>Tomate</i>		
<i>Cenário</i>	<i>1-2</i>	<i>2-2</i>	<i>3-2</i>	<i>1-2</i>	<i>2-2</i>	<i>3-2</i>	<i>1-2</i>	<i>2-2</i>	<i>3-2</i>
<i>Presente – 2020</i>	2,9	1,1	2,2	1,8	0,8	1,5	0,2	0,1	0,2
<i>Presente – 2050</i>	4,3	1,6	3,5	3,1	1,6	2,9	0,4	0,2	0,3
<i>Presente - 2100</i>	8,9	6,8	8,0	6,3	5,5	6,2	1,1	0,9	1,0
<i>Presente</i> $\left\{ \frac{P_r - P_{r,s}}{P_r} (\%) \right\}$	8,4			18,6			0,7		

Relativamente à cultura dos **olivais** estima-se que a produção de regadio máxima atual ronda os 6000 *kg/ha* e de regadio 5496 *kg/ha*, ou seja, um valor 8,4% inferior mas superior ao que se registou no caso de a cultura ser de sequeiro, 47,5%. À semelhança do que aconteceu na secção **4.3.5.1** o cenário que vaticina menores reduções de produtividade é o 2-2 seguido do 3-2 e do 1-2. Fruto do aumento progressivo da ET_c e da diminuição da precipitação a relação quantidade/área de azeite diminuirá ao longo do século. Se o cenário mais desfavorável se concretizar (1-2), a produtividade em 2100 será de 4962 *kg/ha* valor superior ao que se verifica na produção de sequeiro que se cifrou em 1956 *kg/ha*. Uma análise curiosa consiste no facto de o cenário com maiores valores da ET_c para a cultura em questão é o segundo e, o cenário que provoca menores incrementos de perdas produtivas é o segundo. Ou seja, em 2100 o cenário que apresentará uma maior produtividade de azeite é aquele que exhibirá maiores perdas de água por evapotranspiração. Para comprovar esta afirmação aconselha-se o leitor a consultar o **Gráfico 13**.

Face à produção de **vinho**, é possível produzir 7500 *kg/ha* para as condições de regadio e em que as necessidades hídricas são totalmente suprimidas. Se optarmos pelas condições consagradas na secção “**2ª fase**”, o valor desce atualmente para 6105 *kg/ha* o que em termos percentuais representa uma diminuição de 18,6% enquanto nas condições de sequeiro a produtividade era de 2775 *kg/ha*. Estes últimos valores invocados vão ao encontro que a agricultura por regadio é mais produtiva que a de sequeiro porém, incorpora maiores encargos com os sistemas de rega. Em termos comparativos com as outras culturas, verificou-se que é nesta cultura leia-se vinho, a existência duma maior discrepância entre os valores de regadio com todas as necessidades hídricas suprimidas e as consagradas na secção **4.2.2**. O cenário com melhores índices de produtividade no futuro é 2-2 é o pior é o 1-2. De acordo com os cenários 1-2, 2-2 e 3-2 a produtividade em 2100 será de 5633 *kg/ha*, 5693 *kg/ha* e

5640 *kg/ha*, respetivamente e nas condições de sequeiro seria de 1695 *kg/ha*, 1965 *kg/ha* e 1793 *kg/ha*.

O **tomate** possui capacidade para produzir atualmente 80000 *kg/ha* para o caso da cultura ser de regadio e das necessidades hídricas serem todas suprimidas e de 79440 *kg/ha* para as condições traçadas na 2ª fase dos cenários com uma variação de 0,7%. Podemos ver que a diferença entre os dois valores é bastante reduzida o que demonstra que a opção por regadio nas condições anteriormente traçadas é bastante eficiente. Constata-se, que caso optemos que a produção de tomate seja realizada por sequeiro, uma diminuição na produtividade de 55,3%, ou seja, a produção passaria a ser de 35760 *kg/ha*, valor bastante inferior às condições de regadio e que vem demonstrar a inviabilidade económica da opção por sequeiro para a cultura em apreço. Comprova-se, novamente, que devido ao aumento da ET_c com o passar dos anos, fruto do aumento das temperaturas e da diminuição da humidade relativa, e face também à redução da precipitação, o que obriga ao aumento do stress hídrico, verifica-se, na generalidade dos cenários, reduções progressivas ao longo deste século na produção de tomate. Em termos de comparação, verificou-se que nos três cenários elaborados os resultados obtidos são díspares, contrastando com a análise feita aquando da ET_c . Para esta situação, o cenário mais desfavorável é o 1-2, e o mais favorável é o 2-2. A explicação reside no facto desta cultura possuir bastantes dias do ciclo de sementeira durante as estações da primavera e do verão e, é nestas estações que ocorrem maiores reduções de precipitação, exemplo disso é o cenário 1-2. Os cenário 1-2, 2-2 e 3-2 preveem produtividades em 2100 de 78560 *kg/ha*, 78720 *kg/ha* e 78640 *kg/ha*, respetivamente.

Após a análise das produtividades das oliveiras, vinha e tomate ao longo do século XXI procederei à apresentação dos resultados obtidos para as culturas dos citrinos e trigo para posteriormente tecer comentários.

Tabela 19 - Produtividades dos citrinos e trigo (*kg/ha*)

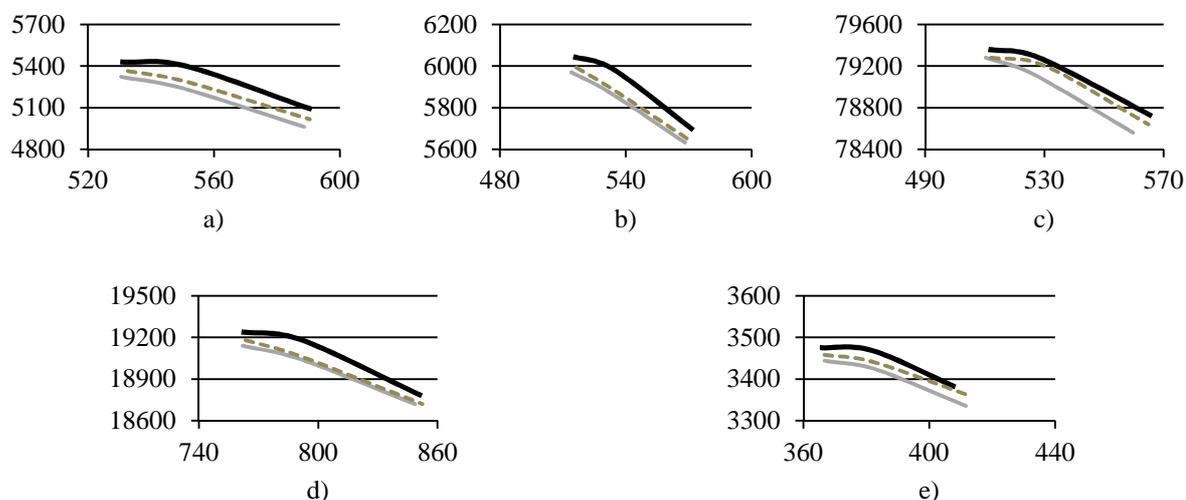
<i>Culturas</i>	$\Delta P_{r,s}(\%)$					
	<i>Citrinos</i>			<i>Trigo</i>		
<i>Cenário</i>	<i>1-2</i>	<i>2-2</i>	<i>3-2</i>	<i>1-2</i>	<i>2-2</i>	<i>3-2</i>
<i>Presente – 2020</i>	0,9	0,4	0,7	0,8	-0,1	0,4
<i>Presente – 2050</i>	1,4	0,7	1,3	1,4	0,1	0,9
<i>Presente – 2100</i>	3,0	2,7	3	3,9	2,6	3,2
<i>Presente</i> $\left\{ \frac{P_r - P_{r,s}}{P_r} (\%) \right\}$		3,4			0,8	

Nesta dissertação, foi anteriormente referido que a cultura dos **citrinos** é das cinco analisadas aquela que possui um maior ciclo de cultura, um ano, o que dificulta mudanças bruscas nas datas de sementeira e de colheita de forma a “jogar-se” com as condições climáticas potenciando a sua produção. Os citrinos são responsáveis no presente pela produção de 20000 *kg/ha* em regadio e nas condições descritas na secção 4.2.2 de 19320 *kg/ha* (variação de 3,4%). Diga-se que na agricultura de sequeiro e para o mesmo período de tempo a produção será, hipoteticamente, de 11700 *kg/ha* (variação de 41,5%) Se os citrinos forem cultivados por regadio, os cenários traçados vaticinam no período de 2011-2020 reduções de 3,8 a 4,3%, de 2011-2050 diminuições de 4,1 a 4,8% e 2011-2100 limitações de 6,1 a 6,4%. Com o desenvolvimento dos três cenários constatou-se em 2100 valores iguais para os cenários 1-2 e 3-2 sendo o cenário 2-2 o mais favorável. Em termos de proveito do regadio, verificou-se que a cultura que tem maior variação de rendimento é a vinha seguida dos olivais, citrinos, tomate e trigo. Os cenário 1-2, 2-2 e 3-2 preveem produtividades em 2100 de 18720 *kg/ha*, 18780 *kg/ha* e 18720 *kg/ha*, respetivamente enquanto os cenários 1-1, 2-1 e 3-1 (agricultura de sequeiro) auguram 8700 *kg/ha*, 9420 *kg/ha* e 8980 *kg/ha*, concluindo-se, novamente, que a agricultura de regadio é mais proveitosa que a de sequeiro. O autor afirma que nas culturas de regadio existe melhor rendimento das mesmas face às de sequeiro porém, o resultado financeiro final poderá ser mais atrativo na agricultura de sequeiro. Deverá ser realizado um estudo de viabilidade económica de modo a emitir um parecer confiável.

Relativamente ao **trigo**, e num comentário geral, constatou-se que das cinco culturas analisadas é das que menos sofre com as profundas alterações climáticas que se avizinham ao longo deste século. De acordo com os dados da bibliografia, o trigo possui uma produtividade atual de 3500 *kg/ha* para regadio e caso as necessidades hídricas sejam satisfeitas na sua totalidade, e de 3472 *kg/ha* (variação de 0,8%) para as condições descritas na 2ª Fase. Na

cultura do trigo acontece um fenómeno curioso, o qual merecerá do autor significativo destaque. De acordo com o cenário 2-2 a redução de produtividade em 2020 face a 2011 é de 0,7% o que significa que a produção neste ano é superior à de 2011 (3476 *kg/ha*), ou seja, 4 *kg/ha* superior ao valor registado em 2011. Em linguagem corrente, produzir-se-á mais 4 quilos de trigo por hectare em 2020 face a 2011. A explicação deste fenómeno reside no facto desta cultura ter o início de sementeira em finais de novembro e por isso a cultura está sujeita a temperaturas baixas o que atrofia o desenvolvimento da planta. Face à variação de duas variáveis, aumento da temperatura e redução da humidade relativa, as condições climatológicas serão mais propícias às que se verificam em 2011 e, como tal, teremos um melhor rácio massa/área. Informa-se ainda, que a produtividade de trigo terá tendência a diminuir fruto do aumento excessivo da temperatura e da redução significativa da precipitação. Os cenários 1-2, 2-2 e 3-2 pressaugam produtividades em 2100 de 3336 *kg/ha*, 3381 *kg/ha* e 3360 *kg/ha*, respetivamente enquanto os cenários 1-1, 2-1 e 3-1 (agricultura de sequeiro) auguram 2965 *kg/ha*, 3049 *kg/ha* e 3007 *kg/ha*.

Por fim, faz-se a apresentação gráfica dos resultados vigentes nas duas tabelas anteriores.



- Cenário 1-2
 - Cenário 2-2
 -- Cenário 3-2

Eixo horizontal – ET_c (mm), Eixo vertical – Produção (kg/ha)

Gráfico 13 - Produtividade das culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo

Com os cinco gráficos acima, quero dizer que a relação evapotranspiração de cultura versus produção é bastante complexa não se podendo por isso agrafar que a produtividade das culturas será tanto maior quanto menor for a ET_c mas a produtividade das culturas também não será tanto menor quanto maior for a ET_c . Se analisarmos cuidadosamente o terceiro gráfico conclui-se que a produtividade maior acontece no cenário que vaticina maior valor de ET_c mas no gráfico número 5 a produtividade será tanto maior quanto mais pequena for a evapotranspiração de cultura. Mais uma vez, torna-se ambíguo estabelecer uma relação entre estes dois conceitos.

4.3.6. Produções

As quantidades de alimentos produzidos pelas culturas analisadas ao longo deste século estão sintetizadas na próxima tabela. Importa referir que os valores presentes **Tabela 20** resultam da aferição média dos valores tabelados em **Tabela 16**, **Tabela 17**, **Tabela 18** e **Tabela 19** e dos valores absolutos presentes na **Tabela 7**.

Tabela 20 – Evolução da produção agrícola (ton)

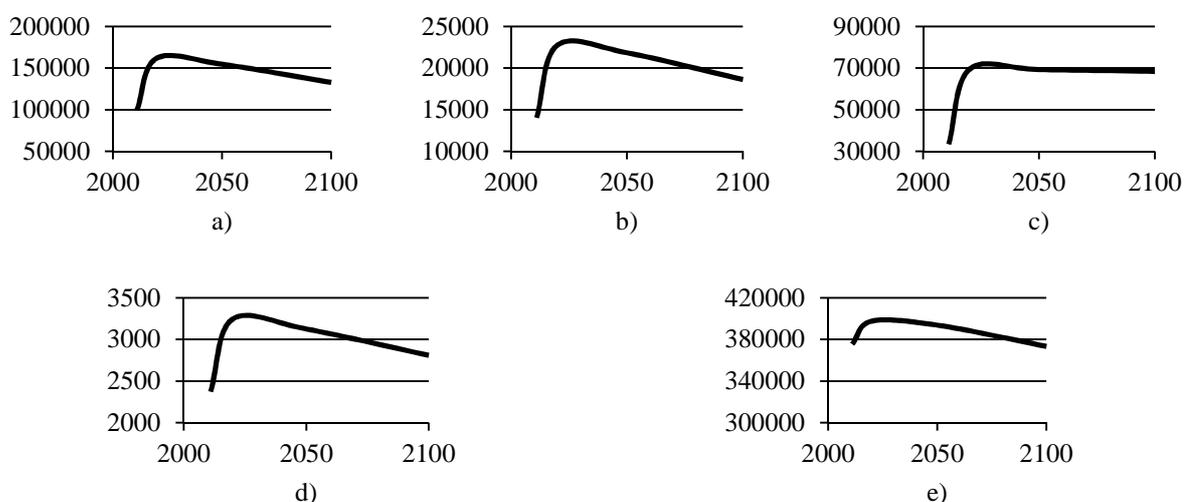
<i>Culturas</i>	<i>Oliveira</i>	<i>Vinha</i>	<i>Tomate</i>	<i>Citrinos</i>	<i>Trigo</i>
<i>Presente</i>	99533	14038	33346	2371	375432
<i>2020</i>	161716	22753	69451	3241	397572
<i>2050</i>	154546	21830	69245	3125	393680
<i>2100</i>	132721	18625	68395	2809	373331

Depois do que já foi afirmado anteriormente pouco mais à acrescentar. Face aos novos campos de regadio que estão a ser construídas na zona de Alqueva constata-se que em 2020 iremos ter as maiores quantidades de azeite, vinho, tomate, citrinos e trigo produzido na região para depois verificar-se diminuições do produto. As razões para a diminuição da produção já foram explanadas anteriormente pelo que remeto o leitor para a secção **4.3.5** da presente obra académica.

A Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas de Alqueva (EDIA) é a sociedade anónima responsável pela conceção, construção e exploração das infraestruturas que estão afetas ao Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA). O propósito inicial era terminar a construção das novas áreas de regadio (cerca de 131438 *ha*) em 2015 porém, devido à falta de financiamento esta data tem sido posta em causa por várias entidades ligadas ao processo

do Plano de Intervenção para a Zona de Alqueva o que obviará num atraso dos objetivos traçados. É muito provável que o processo de conversão das áreas de sequeiro em regadio alongue-se para lá de 2015 apesar da ministra do governo responsável pela pasta da agricultura, doutora Assunção Cristas, afirmar que o executivo governamental encontra-se a trabalhar de modo a garantir o financiamento sustentável para concluir o projeto Alqueva em 2015¹¹.

No próximo gráfico ilustram-se os valores representados na tabela anterior, apresenta-se.



Legenda: Eixo horizontal – Tempo (anos), Eixo vertical – Produção (ton)

Gráfico 14 – Produções das culturas: a) oliveira; b) vinha; c) tomate; d) citrinos; e) trigo

Os cinco gráficos anteriores corroboram a afirmação de que iremos ter produções máximas em 2020 para depois se assistir a reduções significativas das produções devido ao aumento da temperatura e redução da precipitação.

Com a apresentação do **Gráfico 14** finalizo o capítulo respeitante aos resultados obtidos para o caso de estudo.

¹¹ <http://www.portugal.gov.pt/pt/os-ministerios/ministerio-da-agricultura-mar-ambiente-e-ordenamento-do-territorio/mantenha-se-atualizado/20120615-mamaot-alqueva.aspx>.

5. CONCLUSÃO

5.1. Conclusões gerais

A relação “Alterações Climáticas – água – alimentação” constitui um triângulo bastante interessante de estudar devido ao impacto que estes têm no quotidiano da população mundial.

Em termos de recursos hídricos percebeu-se o aumento da preocupação generalizada no contexto global devido à sua importância (o consumo mundial de água aumenta de dia para dia) e às progressivas pressões antropogénicas sobre estas exercidas. A deposição de lixo não tratado em cursos de água e a contínua fertilização dos solos são as causas mais apontadas para a degradação da água.

Relativamente ao conceito alimentação foi nesta tese incluído os quase mil milhões de pessoas famintas, que corresponde a cerca de um sétimo da população mundial sendo a região da Ásia e Pacífico e a África subsariana as regiões mais afetadas por este flagelo mundial. As causas que explicam estes valores são os desastres naturais (cheias, tempestades ou períodos longos de seca), guerras, falta de financiamento para iniciar a atividade agrícola, desflorestação ou a erosão dos solos. Espera-se que o número de pessoas com fome durante este século aumente devido ao aumento da população mundial e à diminuição das produtividades alimentares. O caso de estudo vem comprovar isto mesmo.

As alterações climáticas é um conceito bastante “popular” entre a comunidade científica. A entidade incumbida, por parte da ONU, para o seu estudo é o IPCC. A razão para o aumento da temperatura média mundial nos últimos anos e neste século é o efeito de estufa. Os gases que mais contribuem para o efeito de estufa e posterior aquecimento global são o vapor de água e o dióxido de carbono devido a causas naturais e antropogénicas. De forma a comprovar a teoria de que as causas humanas exercem maior influência que as causas naturais o IPCC elaborou projeções que vão ao encontro da afirmação anterior.

As conclusões gerais sobre o caso de estudo são:

Modelo de Fu - Em relação ao modelo de fu verificou-se que quanto maior fosse o coeficiente de cultura maior também seria o w ; A razão para a diminuição do parâmetro w de 1982 até 2001 pode ser legitimamente justificada pelo aumento sucessivo da precipitação verificada neste período; A variação do parâmetro w na cultura do vinho comporta-se de forma mais rígida do que no caso da oliveira devido ao seu coeficiente de cultura ser inferior ao da oliveira.

Evapotranspiração da cultura – Em termos de resultados médios dos três cenários elaborados verificou-se que a cultura com maior variação relativa de ET_c é o trigo com 16,11%. Relativamente às outras culturas, verificou-se que a variação da evapotranspiração no período 2011/2100 é: os citrinos com 14,5%, as oliveiras com 13,8%, o vinho com 13,3% e o tomate com 12,7%.

Irrigação – Os valores médios dos três cenários executados revelam que a cultura com maior aumento de rega é o trigo (43,7%) seguido da oliveira (41,0%), citrinos (33,9%), vinha (27,3%) e por fim o tomate (18,6%). Em termos de valores absolutos obteve-se os seguintes resultados para o ano de 2011: tomate (448,9 mm), citrinos (433,8 mm), vinha (360,0 mm), oliveira (292,8 mm) e trigo (139,5 mm) e para o ano de 2100: citrinos (580,8 mm), tomate (532,3 mm), vinha (458,5 mm), oliveira (412,9 mm) e trigo (200,4 mm). As culturas que possuem maiores valores de rega são as que têm grande parte do seu ciclo de cultura durante as estações mais quentes (exemplo, tomate e citrinos) e as culturas que apresentam menores valores de rega (exemplo, trigo) é pela razão contrária.

Produtividade em sequeiro - As oliveiras produzem atualmente 6000 kg/ha para o caso da cultura ser de regadio e das necessidades hídricas serem todas suprimidas e na agricultura de sequeiro verifica-se uma diminuição na produtividade de 47,5%, ou seja, a produção passaria a ser de 3150 kg/ha .

Para a cultura da **vinha** estima-se que a produção de regadio atual ronda os 7500 kg/ha e de sequeiro 2775 kg/ha , ou seja, um valor 63% inferior.

A produtividade atual do **tomate** é de 80000 kg/ha e em sequeiro a produtividade desce no presente 55,3%, ou seja, a produção passaria a ser de 35760 kg/ha .

Os **citrinos** virão a produção passar dos 20000 *kg/ha* em regadio e 11700 *kg/ha* em sequeiro.

O **trigo** passa de uma produtividade de 3500 *kg/ha* em regadio para 3266 *kg/ha* em sequeiro.

Produtividade em regadio - Relativamente à cultura das **oliveiras** estima-se que a produção de regadio máxima atual ronda os 6000 *kg/ha* e de regadio 5496 *kg/ha*. Se o cenário mais desfavorável se concretizar (1-2), a produtividade em 2100 será de 4962 *kg/ha* valor superior ao que se verifica na produção de sequeiro que se cifrou em 1956 *kg/ha*.

Face à produção de **vinho**, se optarmos pelas condições consagradas na secção “2ª fase”, o valor desce atualmente para 6105 *kg/ha*. De acordo com os cenários 1-2, 2-2 e 3-2 a produtividade em 2100 será de 5633 *kg/ha*, 5693 *kg/ha* e 5640 *kg/ha*, respetivamente e nas condições de sequeiro seria de 1695 *kg/ha*, 1965 *kg/ha* e 1793 *kg/ha*.

O **tomate** possui capacidade para produzir atualmente 80000 *kg/ha* para o caso da cultura ser de regadio e das necessidades hídricas serem todas suprimidas e de 79440 *kg/ha* para as condições traçadas na 2ª fase dos cenários com uma variação de 0,7%. Os cenários 1-2, 2-2 e 3-2 preveem produtividades em 2100 de 78560 *kg/ha*, 78720 *kg/ha* e 78640 *kg/ha*, respetivamente.

Os **citrinos** são responsáveis no presente pela produção de 20000 *kg/ha* em regadio e nas condições descritas na secção 4.2.2 de 19320 *kg/ha* (variação de 3,4%). Os cenários 1-2, 2-2 e 3-2 preveem produtividades em 2100 de 18720 *kg/ha*, 18780 *kg/ha* e 18720 *kg/ha*, respetivamente enquanto os cenários 1-1, 2-1 e 3-1 (agricultura de sequeiro) auguram 8700 *kg/ha*, 9420 *kg/ha* e 8980 *kg/ha*.

O **trigo** possui uma produtividade atual de 3500 *kg/ha* para regadio e caso as necessidades hídricas sejam satisfeitas na sua totalidade, e de 3472 *kg/ha* para as condições traçadas em 4.2.2 (variação de 0,8%). Os cenários 1-2, 2-2 e 3-2 pressagiam produtividades em 2100 de 3336 *kg/ha*, 3381 *kg/ha* e 3360 *kg/ha*, respetivamente enquanto os cenários 1-1, 2-1 e 3-1 (agricultura de sequeiro) auguram 2965 *kg/ha*, 3049 *kg/ha* e 3007 *kg/ha*.

Relativamente ao plano de conversão das áreas de sequeiro em área de regadio verificou-se que as produções das cinco culturas analisadas aumentarão bastante face aos valores atuais para depois se verificar diminuições dos valores obtidos a partir do ano de 2020 validando o projeto elaborado para a região de Alqueva. Pretende-se chamar ainda atenção para os problemas financeiros que a EDIA tem em mãos e que comprometerá os prazos iniciais do projeto e, por consequência, nas produções agrícolas. Deste modo fazem-se as seguintes perguntas. O que fazer à água da albufeira de Alqueva? Produz-se eletricidade! Mas foi para este fim que a barragem foi construída? Não.

Se fores tu sê bem-vindo desenvolvimento sustentável.

5.2. Desenvolvimentos futuros

No seguimento do trabalho, desenvolvido ao longo dos últimos oito meses, iniciado na presente dissertação e tendo consciência das inseguranças inerentes a diversos aspetos de cariz teórico que se materializaram nas metodologias adotadas e face também às limitações surgidas aquando da recolha de dados, o autor desta dissertação de mestrado enumera os tópicos mais relevantes que poderão ser a base para um futuro trabalho académico ou governamental:

- Será interessante analisar os resultados da evapotranspiração potencial e de cultura obtidos com os valores aferidos pelos instrumentos práticos. Visa-se comparar os resultados aferidos por uma equação semi-empírica com a realidade e, após essa comparação utilizar coeficientes que melhor se ajustam ao caso em estudo ou a outras regiões nacionais e internacionais;
- Neste trabalho foram estudadas cinco culturas (oliveira, vinha, tomate, citrinos e trigo). Recomendo que se difusa a análise a outras culturas plantadas na região, ou à semelhança do que foi escrito na fase final do tópico anterior, a outros locais nacionais e internacionais;
- Outro objetivo que na minha tópica é interessante seria, numa escala global, avaliar a variação da produção de alimentos que Portugal importa e comparar com as necessidades da população portuguesa ao longo deste século;

- Aprofundamento do desenvolvimento de cenários mais complexos com variações dos dados climatológicos menos ajustados aos resultados consagrados no documento “Estratégia Nacional de Adaptação aos Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos – Região hidrográfica de Guadiana (RH7) e bacia hidrográfica do rio Guadiana em território espanhol”;
- Tudo o que é produzido possui valor acrescentado. O que sugiro é proceder a uma avaliação regional e nacional do impacto económico que as culturas originarão durante este século;
- Devido, em geral, à estimação que o aquecimento induzirá nas culturas e também à redução da precipitação, essencialmente na primavera e verão, espera-se o antecipar do ciclo produtivo. Proponho que em outros trabalhos académicos ou governamentais se estude o impacto da antecipação do ciclo das culturas.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alcamo, J., Moreno, J. M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R. J. N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J. E., Shvidenko, A., 2007: *Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C.E. Hanson: Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
- Alexandris, S., Stricevic, R. & Petkovic, S., 2008, Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula. *European Water (e-bulletin of EWRA)*, Volume 21/22, pp. 17-28.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M., 1998, *Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome - Italy.
- Araújo, O. F. S. F. B., 2006, *Vulnerabilidade dos recursos hídricos costeiros face à variação do nível do mar motivadas pelas alterações climáticas*. Guimarães: Dissertação apresentada na Universidade do Minho para a obtenção do grau de Licenciado em Engenharia Civil.
- AWWA & ASCE, 2005, *Water Treatment Plant Design*. 4th ed. New York: McGRAW-HILL.
- Bindoff, N. L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C. K. & Talley, L. D., Unnikrishnan, A., 2007: *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)] : Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A., Medany, M., Osman-Elasha, B., Tabo, R. & Yanda, P., 2007: *Africa. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson: Eds., Cambridge University Press Cambridge UK, 433-467 .
- Burman, R. & Pochop, L. O., 1994, *Evaporation, Evapotranspiration and Climate Data*. Amsterdam: Elsevier.
- Cai, X. & Rosegrant, M. W., 2003, World Water Productivity: Current Situation and Future Options. In: *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. Colombo, Sri Lanka: (eds. J. W. Kijne, R. Barker and D. Molden). CABI Publishing, Wallingford, U.K., and International Water Management Institute, pp. 163-178.
- Carvalho, A., 2002, *Mudanças climáticas, organizações ambientais e a imprensa britânica: uma análise do poder de perspectivação*". pp. 750-762, in Miranda, J. B. e J. F. Silveira (org.) *As Ciências da Comunicação na Viragem do Século*, actas do I Congresso da Associação Portuguesa de Ciências da Comunicação, Lisboa: Vega.
- Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, 2012, *Necessidades em Água das Culturas - Região do Alentejo - Campanha de Rega de 2010/11*. Beja, 2012.
- Christensen, J. H. Hewitson, B. Busuioc, A. Chen, A. Gao, X. Held, I. Jones, R. Kolli, R. K. Kwon, W. T. Laprise, R. Rueda, V. M., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., Whetton, P., 2007: *Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- CPR, 2010, *IX Congresso Internacional do Conselho Português para os Refugiados*. [Online] Available at: http://refugiados.net/_novosite/publicacoes/ACTAS_CPR.pdf [Accessed 22 Dezembro 2011].

- Cruz, R. V., Harasawa, H., Lal, M., Wu, S., Anokhin, Y., Punsalmaa, B., Honda, Y., Jafari, M., Li, C., Ninh, N. H., 2007: *Asia. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C.E. Hanson: Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 469-506.
- Damon, M., WaterPartners & White, G., 2011, *water.org*. [Online] Available at: <http://water.org/water-crisis/water-facts/children/> [Accessed 15 Dezembro 2011].
- Davie, T., 2003, *Fundamentals of Hydrology (Routledge Fundamentals of Physical Geography)*. 2 ed. London: Routledge.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O., 1977, *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24*. 2 ed. Rome, Italy: United Nations FAO.
- Duarte, A. A. L. S., 2007, Impacto das Alterações Climáticas na Gestão da Água, "*Revista águas e resíduos*". ISSN 0873-1713. Série III: 2 (2007) 58-73: APESB - Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Duarte, A. A. L. S., 2011, *Aulas teóricas de Processos em Hidráulica Ambiental*. Guimarães, Universidade do Minho.
- Faisal, I. M. & Parveen, S., 2004, Food security in the face of climate change population growth and resource constraints: Implications for Bangladesh. *Environmental Management*, Volume 34, pp. 487-498.
- Fernandes, D. S. & Foster, P. R. P., 2006, *Cálculo da Evapotranspiração Potencial Através do Método de Thornthwaite e Comparação com Dados de Reanálise de Evaporação Potencial do NCEP para a Cidade de Pelotas-RS*. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis.
- Field, C. B., Mortsch, L. D., Brklacich, M., Forbes, D. L., Kovacs, P., Patz, J. A., Running, S. W., Scott, M. J., 2007: *North America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C.E. Hanson: Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 617-652.

- Franklin H., 1976, *Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America*. EUA: National Academy of Sciences. Giordano, M. A. & Wolf, A. T., 2011. *Atlas of International Freshwater Agreements*. [Online] Available at: http://www.transboundarywaters.orst.edu/publications/atlas/atlas_html/interagree.html [Accessed 9 Dezembro 2011].
- GLAAS, 2010, *UN-water global annual assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS): targeting resources for better results*, Geneva 27, Switzerland: World Health Organization.
- Global Footprint Network, 2003, *Global Footprint Network - Advancing the Science of Sustainability*. [Online] Available at: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/gfn/page/world_footprint/ [Accessed 25 Dezembro 2011].
- GPAa, 2004a, *Plano de Intervenção para a Zona de Alqueva - Caracterização da Zona de Alqueva - Tomo 2*. http://sir.dgadr.pt/conteudos/gpaa/tomos/tomo_2.pdf, Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.
- GPAa, 2004b, *Plano de Interevenção para a zona de Alqueva - Identificação das Potencialidades do Regadio de Alqueva*. http://sir.dgadr.pt/conteudos/gpaa/tomos/tomo_3.pdf, Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.
- Haie, N., 2006, *Ambiente e sustentabilidade. A água, um bem primordial.*, Escola Secundária Martins Sarmiento: Universidade do Minho.
- Haie, N., 2010a, *Análise de Impacte Ambiental - 2ª parte*. Guimarães, Universidade do Minho.
- Haie, N., 2010b, *Análise de Impacte Ambiental - 2ª parte (Alterações Climáticas - Aquecimento Global)*. Guimarães, Universidade do Minho.
- Hennessy, K., Fitzharris, B., Bates, B. C., Harvey, N., Howden, S. M., Hughes, L., Salinger, J., Warrick, R., 2007: *Australia and New Zeland. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C.E. Hanson : Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 507-540.

- Hoekstra, A. Y. & Hung, P. Q., 2002, *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf.
- Hoekstra, M. M. & Mekonen, A. Y., 2011, *National Water Footprint Accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*, Value of Water Research Report Series: No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, Y. A. & Chapagain, K. A., 2007, Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, Volume 21 (1), pp. 35-48.
- Hood, M., Broadgate, W., Urban, E. & Gaffney, O., 2009, *Acidificação Oceânica. Sumário para Formuladores de Políticas Públicas Segundo Simpósio sobre Oceanos em um Mundo com Elevado CO2*. [Online] Available at: <http://www.ocean-acidification.net/> [Accessed 29 Maio 2012].
- Hood, M., Poertner, H. O., Fabry, V., Gattuso, J. P., Reibesell, U., 2007, *How will ocean acidification affect marine life? - Ocean Acidification*. [Online] Available at: <http://www.ocean-acidification.net/FAQeco.html> [Accessed 29 Maio 2012].
- Howden, M. & Jones, R. N., 2004, *Risk assessment of climate change impacts on Australia's wheat industry*. New Directions for a Diverse Planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress ed. Brisbane: http://www.cropsociety.org.au/icsc2004/symposia/6/2/1848_howdensm.htm.
- INAG, 2010, *Estratégia Nacional de Adaptação aos Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos - Impactos das alterações climáticas relacionados com os recursos hídricos*. Região hidrográfica de Guadiana (RH7) e bacia hidrográfica do rio Guadiana em território espanhol, Versão de trabalho. Instituto da Água, I. P., Agosto de 2010, Lisboa.
- Instituto da Água, I.P., 2011, *Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas integradas nas Regiões Hidrográficas 6 (Sado e Mira) e 7 (Guadiana)*. [Online] Available at: http://www.arhalentejo.pt/downloads/part_public_pgrh/fase_final/RH7/t09122_01_PG_BH_RH7_RNT.pdf [Accessed 26 Dezembro 2011].

- IPCC, 2007a: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson: Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
- IPCC, 2007b: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]: IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp..
- IPCC, 2007c: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007d: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C.E. Hanson: Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- IPCC, 2007e: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2011: *Glossary - Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Online] Available at: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/518.htm> [Accessed 10 Dezembro 2011].
- Jiang, L., Shafiqul, I., Guo, W., Antarpreet S., Senarath, S. U. S., Ramsay, B. H., Eltahir, E., 2009, A satellite-based Daily Actual Evapotranspiration estimation algorithm over South Florida. *Global and Planetary Change*, 3 Janeiro, Volume 67, pp. 62-77.

- Kalra, N., Aggarwal, P. K., Chander, S., Pathak, H., Choudhary, R., Chaudhary, A., Mukesh, S., Rai, H. K., Soni, U. A., Anil, S. M., Jolly, U. K. S., Ows, A., Hussain, M. Z., 2003, *Impacts of climate change on agriculture. Climate Change and India: Vulnerability Assessment and Adaptation*, P. R. Shukla, S. K. Sharma, N. H. Ravindranath, A. Gargand S. Bhattacharya, Eds., Orient Longman Private, Hyderabad, 193-226.
- Kijne, J., Barron, J., Hoff, H., Rockstöm, J., Karberg, L., Gowing, J., Wani, S. P., Wichelns, D., 2009, *Opportunities to increase water productivity in agriculture with special reference to Africa and South Asia. Stockholm Environment Institute, Project Report - 2009*. Project Report. Stockholm Environment Institute: Stockholm, Sweden.
- Kotsopoulos, S., Kalfountzos, D., Alexiou, I., Zerva, G., Karamaligas, C., Vyrlas, P., 2003, Actual Evapotranspiration and Soil Moisture Studies in Irrigated Cotton Fields. *European Water (e-bulletin of EWRA)*, Volume 3/4, pp. 25-31.
- Lal, M., Singh, K. K., Rathore, L. S., Srinivasan, G., Saseendran, S. A., 1998, Vulnerability of rice and wheat yields in NW - India to future changes in climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 89, pp. 101-114.
- Lazzara, P. & Rana, G., 2012, *The crop coefficient (Kc) values of the major crops grown under Mediterranean climate*. Bari: CRA- Research Unit for Agricultural in Dry Environments.
- Magrin, G., García, C. G., Choque, D. C., Giménez, J. C., Moreno, A. R., Nagy, G. J., Nobre, C., Villamizar, A., 2007: *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson: Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., Knutti, A. K. R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver, A. J., Zhao, Z. C., 2007: *Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Müller, A., 2011a, *Presentation from the 2011 World Water Week in Stockholm, Water and food security: Feeding the world in a sustainable way*. Stockholm, 24 Agosto.

- Müller, A., 2011b, *Presentation from the 2011 World Water Week, Water and Agriculture: Feeding a Future Green Economy*. Stockholm, 28 Agosto.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press: Cambridge. 599 pp.
- NEMUS-ECOSSISTEMAS-AGRO.GES, 2011, *Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas nas Regiões Hidrográficas 6 e 7. Região Hidrográfica 7*, ARH - Alentejo: Lisboa, Dezembro de 2011.
- Novais-Barbosa, J. Â., 1985, *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral*. Porto: Porto Editora.
- Novo, M. E. J. S., 2009, *Alterações climáticas e seus impactos nos recursos hídricos subterrâneos em ilhas de pequena dimensão: caso de estudo: Açores - Ilha Terceira*. 1ª ed. Lisboa: LNEC.
- ONU, 1987, *Our Common Future - Relatório Brundtland*, Nova Iorque: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.
- Pereira, L. S., Perrier, A., Allen, R. G., Alves, I., 1999, Evapotranspiration: Concepts and Future Trends. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Volume 125, pp. 45-51.
- Piccinni, G., Ko, J., Marek, T. & Howell, T., 2009, Determination of growth-stage-specific crop coefficients (Kc) of maize and sorghum. *Agricultural Water Management*, Volume 96, p. 1698–1704.
- Pousada, S. A. N., 2010, *Impactes das Áreas de Rega e da Barragem do Alqueva nas Temperaturas Regionais: Evidências no Sul da Península Ibérica*. PhD Thesis, Universidade do Minho.
- Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R. J., Sumi, A., Taylor, K. E., 2007: *Climate Models and Their Evaluation. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ribeiro, A. Â., 1987. *Hidrologia - Águas Superficiais*. Porto: FEUP.

- Samani, Z., 2000, Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration using minimum Climatological Data (Hargreaves-Samani equation). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Volume 126, pp. 265-277.
- Santos, F. D., Forbes, K. & Moita, R., 2001, *Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação - SIAM*. Sumário Executivo e Conclusões, Gradiva, Lisboa.
- Santos, F. D. & Miranda, P., 2006, *Alterações climáticas em Portugal cenários, impactos e medidas de adaptação : Projecto SIAM II*. Lisboa: Gradiva.
- Shahidian, S., Serralheiro, R. P., Teixeira, J. L., Santos, F. L., Rosário, M. C., Costa, J. L., Toureiro, C. & Haie, N., 2007, *Desenvolvimento dum sistema de rega automático, autónomo e adaptativo – Estudo comparativo de cinco métodos para o cálculo da ETo*. I Congresso Ibérico de Agroengenharia, Albacete (Espanha), de 4 a 6 de Setembro.
- Shahidian, S., Serralheiro, R., Serrano, J., Teixeira, J. L., Haie, N. & Santos, F., 2012, Hargreaves and Other Reduced-Set Methods for Calculating Evapotranspiration. In *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling*, Edited by: Ayse Irmak. ISBN 978-953-307-808-3, p. 514.
- Sherman, R., 2001, *Freshwater resources and Climate Change*. Abridge version of a GLOBE Southern Africa lecture given in the South Africa parliament on 5 April 2001: South Africa.
- Silva, V. P. R., Filho, A. F. B., Silva, B. B. & Campos, J. H. B. C., 2005, Desenvolvimento de um Sistema de Estimativa da Evapotranspiração de Referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Volume 9, pp. 547-553.
- SNIRH, 2012, *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. [Online] Available at: http://snirh.pt/junior/trabalhos_escolas/flavioferreiracinafaes/Ana_Rita_Diogo/Ciclo%20da%0%C3%81gua.htm [Accessed 3 Abril 2012].
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D. & Fereres, E., 2009, AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, Volume 101, pp. 426-437.
- Swarthout, D. & Hogan, C. M., 2011, *The Encyclopedia of Earth*. [Online] Available at: <http://www.eoearth.org/article/Stomata> [Accessed 18 Abril 2012].
- Troyer, A. F., 2004, Background of U.S. Hybrid Corn II: Breeding, Climate, and food. *Crop Science*, Volume 44, pp. 370-380.

- UE, 2000, *DIRECTIVA 2000/60/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO*, Bruxelas: Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- United Nations Development Programme, 2011, *Millennium Development Goals*. [Online] Available at: <http://www.beta.undp.org/undp/en/home/mdgoverview.html> [Accessed 10 Dezembro 2011].
- UN-Water, 2011. *UN-Water-Statistics*. [Online] Available at: http://www.unwater.org/statistics_use.html [Accessed 25 Dezembro 2011].
- Water Footprint Network, 2008, *Water Footprint Network - Introduction*. [Online] Available at: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home> [Accessed 7 Dezembro 2011].
- Water in a Green Economy, 2012, *A Statement by UN-Water for the UN Conference on Sustainable Development 2012 (Rio+20 Summit)*, Rio de Janeiro: UN-Water.
- WMO, 2011, *World Meteorological Organization*. [Online] Available at: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.html> [Accessed 8 Dezembro 2011].
- Working Group I - IPCC, 2001a, *Summary for Policymakers: A Report of the Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Exchange*, IPCC: pp.20.
- Working Group I - IPCC, 2001b, *Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers*, IPCC: pp. 33.
- Working Group I - IPCC, 2001c, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Summary for the Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Third Assessment Report*, IPCC: UNEP, WMO, pp.98.
- World Food Programme, 2011, *World Food Programme - Fighting Hunger Worldwide*. [Online] Available at: <http://www.wfp.org/hunger/causes> [Accessed 12 Dezembro 2011].
- World Water Day: UN-Water, 2012, *Water and Food Security*. 22 de março, Food and Agriculture Organization of the United Nations .
- Zhan, C., Zhang, Y. & Xia, J., 2012, Hydrologic response to climate variability and human activities in the Chao River catchment near Beijing. *Water International*, Volume 37, pp. 585-597.

7. LISTA DE SITES

- Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, <http://www.aprh.pt/>, 12-fev-2012.
- Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, <http://www.cotr.pt/>, 4-out-2012.
- Conselho Português para os Refugiados, <http://www.cpr.pt/>, 4-jan-2012.
- Diário da República, <http://dre.pt/>, 26-mar-2012.
- Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, <http://www.dgadr.pt/>, 12-out-2012.
- Instituto da Água, http://www.inag.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=37, 28-ago-2012.
- European Union, <http://europa.eu/>, 18-jul-2012.
- Food and Agriculture Organization, http://www.fao.org/index_en.htm, 31-abr-2012.
- Global Footprint Network, <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>, 25-fev-2012.
- Instituto Nacional de Estatística, http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main, 18-out-2012.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>, 4-jun-2012.
- Ministério da agricultura do mar do ambiente e do ordenamento do território, <http://www.portugal.gov.pt/pt/os-ministerios/ministerio-da-agricultura-mar-ambiente-e-ordenamento-do-territorio.aspx>, 4-set-2012.
- Serviços de Documentação da Universidade do Minho, <http://www.sdum.uminho.pt/>, 15-mai-2012.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, <http://snirh.pt/>, 8-set-2012.
- UN-Water, <http://www.unwater.org/>, 16-mar-2012.
- United Nations, <http://www.un.org/>, 12-mai-2012.
- United Nations World Food Programme, <http://www.wfp.org/>, 21-dez-2011.
- Water Footprint Network, <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>, 25-fev-2012.
- World Meteorological, http://www.wmo.int/pages/index_en.html, 17-fev-2012.
- World Water Day, <http://www.unwater.org/worldwaterday/>, 16-mar-2012.
- World Water Week, <http://www.worldwaterweek.org/>, 25-mar-2012.

8. Anexos

Anexo 1 – Aplicação do Cropwat 8.0. ao modelo de Fu

Tabela 21 – Dados sobre as temperaturas mínimas e máximas

Mês	Década de 1950, 1980, 1990, 2000, 2010, 2020		Década de 1960	
	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Máxima (°C)
<i>Janeiro</i>	7,1	11,0	9,1	13,0
<i>Fevereiro</i>	7,7	12,8	9,7	14,8
<i>Março</i>	10,3	14,9	12,3	16,9
<i>Abril</i>	10,9	16,7	12,9	18,7
<i>Maio</i>	14,0	19,6	16,0	21,6
<i>Junho</i>	17,9	24,4	19,9	26,4
<i>Julho</i>	21,2	25,7	23,2	27,7
<i>Agosto</i>	21,1	25,6	23,1	27,6
<i>Setembro</i>	18,7	24,7	20,7	26,7
<i>Outubro</i>	14,3	20,6	16,3	22,6
<i>Novembro</i>	10,1	16,2	12,1	18,2
<i>Dezembro</i>	6,5	13,0	8,5	15,0
	Década de 1970		Década de 2030, 2040, 2050	
<i>Janeiro</i>	6,1	10,0	11,6	15,5
<i>Fevereiro</i>	6,7	11,8	12,2	17,3
<i>Março</i>	9,3	13,9	14,8	19,4
<i>Abril</i>	9,9	15,7	15,4	21,2
<i>Maio</i>	13,0	18,6	18,5	24,1
<i>Junho</i>	16,9	23,4	22,4	28,9
<i>Julho</i>	20,2	24,7	25,7	30,2
<i>Agosto</i>	20,1	24,6	25,6	30,1
<i>Setembro</i>	17,7	23,7	23,2	29,2
<i>Outubro</i>	13,3	19,6	18,8	25,1
<i>Novembro</i>	9,1	15,2	14,6	20,7
<i>Dezembro</i>	5,5	12,0	11,0	17,5

Tabela 22 – Valores da humidade relativa média diária

	Década de 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000	Década de 2010	Década de 2020, 2030, 2040, 2050
Mês	<i>Humidade (%)</i>		
<i>Janeiro</i>	85	72	98
<i>Fevereiro</i>	84	71	97
<i>Março</i>	76	65	87
<i>Abril</i>	69	59	79
<i>Maio</i>	71	60	82
<i>Junho</i>	62	53	71
<i>Julho</i>	63	54	72
<i>Agosto</i>	64	54	74
<i>Setembro</i>	66	56	76
<i>Outubro</i>	75	64	86
<i>Novembro</i>	84	71	97
<i>Dezembro</i>	84	71	97

Tabela 23 – Dados da velocidade do vento média diária

	Década de 1950, 1960, 1970, 1990, 2010, 2020, 2030	Década de 1980, 2000, 2040, 2050
Mês	<i>V (m/s)</i>	
<i>Janeiro</i>	1,2	1,8
<i>Fevereiro</i>	1,0	1,5
<i>Março</i>	0,9	1,4
<i>Abril</i>	0,8	1,2
<i>Maio</i>	1,1	1,7
<i>Junho</i>	1,7	2,6
<i>Julho</i>	2,0	3,0
<i>Agosto</i>	1,7	2,6
<i>Setembro</i>	1,3	2,0
<i>Outubro</i>	1,2	1,8
<i>Novembro</i>	1,1	1,7
<i>Dezembro</i>	1,4	2,1

Tabela 24 – Horas de sol diárias

	Década de 1950, 1960, 1970, 1980, 2010, 2020, 2030, 2040	Década de 1990, 2000, 2050
Mês	<i>Horas de sol (h/dias)</i>	
<i>Janeiro</i>	6,5	7,2
<i>Fevereiro</i>	6,8	7,5
<i>Março</i>	7,4	8,1
<i>Abril</i>	8,2	9,0
<i>Maio</i>	9,0	9,9
<i>Junho</i>	10,3	11,3
<i>Julho</i>	10,0	11,0
<i>Agosto</i>	9,5	10,5
<i>Setembro</i>	8,5	9,4
<i>Outubro</i>	7,6	8,4
<i>Novembro</i>	7,1	7,8
<i>Dezembro</i>	6,7	7,4

Tabela 25 – Valores da precipitação média mensal

Mês	Década										
	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
	<i>Precipitação (mm)</i>										
<i>Janeiro</i>	105	29	150	2	48	167	64	71,6	68,0	64,4	57,8
<i>Fevereiro</i>	95	8	5	29	98	155	50	55,7	52,9	50,2	45,0
<i>Março</i>	83	40	51	73	110	150	64	72,4	68,8	65,2	58,5
<i>Abril</i>	45	127	151	88	17	9	55	62,4	59,3	56,2	50,4
<i>Mai</i>	29	41	94	51	5	4	28	32,0	30,4	28,8	25,9
<i>Junho</i>	35	23	69	18	13	7	21	23,6	22,4	21,2	19,0
<i>Julho</i>	0,2	0,3	19	3	0,3	32	7	7,8	7,5	7,1	6,3
<i>Agosto</i>	0,1	9	16	0,1	0,2	2	4	3,9	3,7	3,5	3,2
<i>Setembro</i>	40	50	0,4	22	31	25	21	24,1	22,9	21,7	19,5
<i>Outubro</i>	34	234	6	46	194	77	75	85,3	81,0	76,7	68,8
<i>Novembro</i>	151	160	109	100	112	135	97	109,7	104,2	98,7	88,6
<i>Dezembro</i>	32	51	35	21	36	240	53	59,4	56,4	53,4	47,9

Tabela 26 – Valores da radiação solar

Mês	Década de 1950, 1960, 1970, 1980, 2010, 2020, 2030, 2040	Década de 1990, 2000, 2050
	<i>Radiação (MJ/m²/dia)</i>	
<i>Janeiro</i>	10,4	11,1
<i>Fevereiro</i>	13,3	14,1
<i>Março</i>	17,4	18,5
<i>Abril</i>	21,6	23
<i>Mai</i>	24,7	26,2
<i>Junho</i>	27,1	28,8
<i>Julho</i>	26,3	28
<i>Agosto</i>	24	25,5
<i>Setembro</i>	19,8	21
<i>Outubro</i>	15,1	16
<i>Novembro</i>	11,5	12,2
<i>Dezembro</i>	9,8	10,4

Tabela 27 – Resultados para a evapotranspiração potencial

Década	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Mês	<i>Evapotranspiração potencial (mm/dia)</i>										
<i>Janeiro</i>	0,77	0,84	0,73	0,84	0,77	0,84	0,94	0,60	0,75	0,73	0,75
<i>Fevereiro</i>	1,25	1,35	1,20	1,30	1,29	1,33	1,39	1,11	1,33	1,30	1,35
<i>Março</i>	2,15	2,30	2,08	2,22	2,23	2,30	2,26	2,04	2,38	2,38	2,48
<i>Abril</i>	3,02	3,21	2,93	3,10	3,15	3,23	3,10	2,94	3,36	3,40	3,55
<i>Mai</i>	3,84	4,06	3,73	3,93	4,02	4,10	3,98	3,69	4,20	4,21	4,41
<i>Junho</i>	5,09	5,37	4,95	5,37	5,30	5,57	5,29	4,88	5,50	5,72	5,96
<i>Julho</i>	5,38	5,67	5,24	5,70	5,60	5,90	5,64	5,11	5,77	6,01	6,25
<i>Agosto</i>	4,83	5,09	4,70	5,14	5,01	5,31	5,06	4,59	5,19	5,40	5,62
<i>Setembro</i>	3,70	3,91	3,60	3,97	3,83	4,09	3,85	3,54	4,03	4,22	4,38
<i>Outubro</i>	2,29	2,45	2,21	2,44	2,35	2,50	2,44	2,13	2,49	2,56	2,64
<i>Novembro</i>	1,19	1,29	1,14	1,27	1,21	1,29	1,34	1,02	1,26	1,24	1,28

Tabela 28 – Resultados da evapotranspiração potencial e da precipitação média diária mensal e coeficiente de cultura e evapotranspiração real

Década	Valor de ET_o (mm/dia)	Precipitação média (mm)	Valor da constante k_c	ET_c
1950	2,86	54,11	0,2	0,57
1960	3,03	64,36	0,25	0,76
1970	2,77	58,78	0,29	0,80
1980	3,01	37,76	0,3	0,90
1990	2,96	48,00	0,4	1,18
2000	3,11	83,6	0,34	1,06
2010	3,02	0,72	0,41	1,24
2020	2,69	50,7	0,27	0,72
2030	3,08	48,1	0,34	1,05
2040	3,16	45,6	0,15	0,47
2050	3,28	39,4	0,38	1,25

Tabela 29 – Relação entre a evapotranspiração potencial média diária e a precipitação média diária

Década	Et_o (mm/dia)	Precipitação (mm/dia)	Et_o/P	Et_o/P
1950	0,77	105,0	0,007	0,007
	1,25	95,0	0,013	0,008
	2,15	83,0	0,026	0,013
	3,02	45,0	0,067	0,024
	3,84	29,0	0,132	0,026
	5,09	35,0	0,145	0,067
	5,38	0,2	26,900	0,067
	4,83	0,1	48,300	0,093
	3,70	40,0	0,093	0,132
	2,29	34,0	0,067	0,145
	1,19	151,0	0,008	26,900
	0,77	32,0	0,024	48,300
				Ordenado

Tabela 30 – Parâmetro do modelo de Fu

		w								
		1,1	1,3	1,5	1,7	2	2,5	3	4	5
E/P		0,0033	0,0060	0,0069	0,0072	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073	0,0073
		0,0035	0,0065	0,0074	0,0077	0,0078	0,0079	0,0079	0,0079	0,0079
		0,0054	0,0104	0,0122	0,0128	0,0131	0,0131	0,0132	0,0132	0,0132
		0,0090	0,0180	0,0216	0,0230	0,0238	0,0240	0,0241	0,0241	0,0241
		0,0096	0,0193	0,0231	0,0247	0,0256	0,0259	0,0259	0,0259	0,0259
		0,0207	0,0442	0,0556	0,0612	0,0649	0,0666	0,0670	0,0671	0,0671
		0,0207	0,0444	0,0557	0,0614	0,0651	0,0669	0,0673	0,0673	0,0674
		0,0264	0,0578	0,0738	0,0823	0,0882	0,0915	0,0922	0,0925	0,0925
		0,0345	0,0773	0,1005	0,1136	0,1237	0,1299	0,1316	0,1323	0,1324
		0,0370	0,0833	0,1088	0,1234	0,1349	0,1422	0,1444	0,1453	0,1454
		0,3467	0,7140	0,8716	0,9413	0,9814	0,9971	0,9995	1,0000	1,0000
		0,3835	0,7598	0,9041	0,9610	0,9896	0,9988	0,9999	1,0000	1,0000

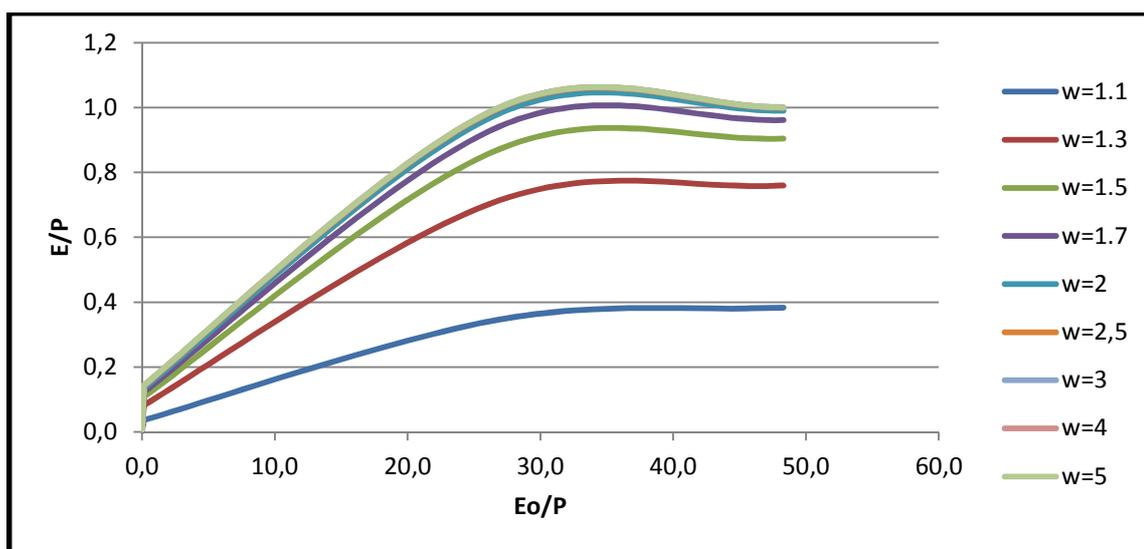


Gráfico 15 - Relação entre a evapotranspiração potencial e a precipitação em função do índice de aridez

Anexo 2 – Desenvolvimento do modelo de Fu do caso de estudo

Tabela 31 – Dados climatológicos no período de 1982-86

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Humidade (%)	Vento (m/s)	Horas de sol (h)	Radiação (MJ/m ² /dia)
<i>Janeiro</i>	1,9	12,8	83	1,0	5,7	8,9
<i>Fevereiro</i>	3,9	13,8	79	1,1	6,2	11,6
<i>Março</i>	4,7	16,8	71	1,3	7,1	15,6
<i>Abril</i>	7,5	18,8	64	1,4	7,8	19,3
<i>Mai</i>	9,1	19,9	66	1,4	8,5	22,0
<i>Junho</i>	13,4	27,3	59	1,5	9,2	23,5
<i>Julho</i>	13,8	28,1	64	1,6	9,5	23,6
<i>Agosto</i>	13,3	30,5	63	1,5	8,8	21,2
<i>Setembro</i>	11,4	27,1	68	1,4	7,9	17,5
<i>Outubro</i>	9,6	22,7	74	1,2	7,1	13,4
<i>Novembro</i>	6,4	16,8	79	1,1	6,5	10,1
<i>Dezembro</i>	3,5	13,4	82	1,1	5,9	8,4

Tabela 32 – Valor da precipitação anual verificada entre 1982-11

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1982	322,7	1992	436,4	2002	403,3
1983	550,6	1993	591,3	2003	563,4
1984	688,4	1994	331,0	2004	327,5
1985	451,0	1995	872,4	2005	384,3
1986	468,7	1996	720,8	2006	672,0
Σ=	2481,4	Σ=	2951,9	Σ=	2350,5
1987	670,5	1997	942,5	2007	495,7
1988	577,8	1998	396,7	2008	364,0
1989	879,9	1999	568,2	2009	514,0
1990	461,7	2000	746,5	2010	650,2
1991	402,9	2001	715,7	2011	526,8
Σ=	2995,8	Σ=	3369,6	Σ=	2550,7

Tabela 33 – Resultados da evapotranspiração potencial e de cultura

Período	ET _o (mm/mês)	Oliveira	Vinho
		ET _c (mm/mês)	ET _c (mm/mês)
1982-86	4883,1	21978,5	1953,3
1987-91	5370,7	2416,0	2148,3
1992-96	5080,6	2286,4	2032,2
1997-2001	5159,0	2321,0	2064,0
2002-2006	5162,2	2322,5	2064,8
2007-2011	5191,8	2336,4	2067,8