

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

***Análise Prospectiva sobre os Impactos das
Alterações Climáticas na Qualidade e na
Disponibilidade de Água para Consumo Humano***

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Investigação em Ambiente Empresarial

Ana Cláudia Morais de Sousa

Águas do Cávado, S.A.



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Orientador na FEUP: Professor Doutor Rui A. R. Boaventura

Orientador na empresa: Engenheira Raquel Figueiredo

Julho de 2009

Agradecimentos

Começo por agradecer ao meu orientador Professor Doutor Rui A. R. Boaventura, pela disponibilidade, pela orientação, pelos esclarecimentos e sugestões para o tema em estudo, que demonstrou ao longo deste período de trabalho.

Por toda a ajuda que me prestou, o apoio, a orientação, a preocupação e acima de tudo a amizade e simpatia, o meu profundo e sincero agradecimento à minha orientadora pela empresa, Engenheira Raquel Figueiredo.

Também o meu enorme agradecimento ao Professor Doutor Joaquim Góis por toda ajuda, apoio e colaboração dispensada na área de estatística.

Ao Professor Doutor Manuel Maria Pacheco Figueiredo, pelos esclarecimentos, e pela sua ajuda e dedicação na compreensão e orientação do tema.

À empresa Águas do Cávado, S.A. em Areias de Vilar, pela oportunidade que me deu em trabalhar este tema para a minha dissertação de mestrado, pelo acolhimento e simpatia com que todos me receberam. Agradeço à Engenheira Carla Morais e ao laboratório pela informação disponibilizada.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, expresso também o meu agradecimento pelo suporte técnico que me foi facultado.

Ao Engenheiro Jaime Queirós da Electricidade de Portugal (EDP) e ao amigo António Capelo pela colaboração importante prestada.

À Dr.^a Rita Sousa e Dr.^a Sara Dourado da Euronatura, pela disponibilidade em colaborar neste estudo.

Quero agradecer muito à minha família por todo o carinho, apoio e preocupação. Especiais agradecimentos ao meu pai pelos momentos de boa disposição e à minha mãe pela grande dedicação demonstrada durante todo o meu percurso, incitando-me a desenvolver e progredir pessoal e profissionalmente. Sem ela, eu não seria quem sou.

À minha grande amiga Ana Marta Correia, pela amizade sincera com que me apoiou e pela colaboração nas horas mais complicadas.

Por fim, o meu especial agradecimento a todos os meus amigos, de importância crucial na minha estabilidade emocional, pela presença, pela preocupação, pelo apoio, pela compreensão em momentos mais difíceis, pela partilha, pela alegria e pela grande amizade. Sem todos vocês na minha vida não sentiria o especial prazer de todos os momentos que vivi.

Resumo

Este trabalho tem como objectivos identificar e compreender os impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos, interpretar o comportamento das variáveis climáticas temperatura e precipitação, do caudal e dos parâmetros de qualidade da água no rio Cávado na região de Penide, através de dados históricos colectados para a área em estudo, e avaliar a variação da disponibilidade e qualidade da água, relacionando a sua dinâmica com as alterações climáticas.

Nos primeiros capítulos, de carácter essencialmente descritivo, caracteriza-se a bacia hidrográfica do rio Cávado, região onde se insere a zona de interesse deste trabalho, para enquadrar e definir as variáveis a analisar e faz-se um enquadramento do tema a nível global e nacional, analisando a evolução da situação climática do século XX e caracterizando os cenários futuros. Nos capítulos 4, 5 e 6 procura-se aplicar algumas técnicas estatísticas ao tratamento de dados.

Os resultados obtidos permitem concluir a sobre a tendência reduzida de diminuição da precipitação e do caudal, e uma tendência para a temperatura média anual aumentar ao longo do tempo. Associados a estas tendências estão impactos ligeiramente negativos na qualidade da água. As correlações efectuadas mostram que a qualidade da água varia com o caudal, principalmente em relação a alguns parâmetros de qualidade, como a turvação, a carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), a condutividade, o pH e a alcalinidade, com implicações na disponibilidade e qualidade da água.

Propõem-se também medidas preventivas, de mitigação e adaptação que se impõem na exploração e na gestão dos recursos hídricos, face aos efeitos esperados das alterações climáticas.

Palavras-Chave:

Alterações Climáticas; Recursos Hídricos; Bacia Hidrográfica do Rio Cávado; Disponibilidade da Água; Qualidade da Água.

Abstract

This work aims to identify and understand the impacts of climate change on water resources, to interpret the behaviour of the climatic variables temperature and precipitation, flow and water quality parameters in the Penide region of the Cávado river, using historical data collected to the region under study, and assess the change in the availability and quality of water, linking its dynamics with climate change.

In the first chapters, which are essentially descriptive, the Cávado river basin it is characterized, region where it forms the area of interest of this work, to frame and define the variables to analyze and it is subject to a framework of global and national level, examining the evolution of the climate of the twentieth century and featuring future scenarios. The goal of chapters 4, 5 and 6 is to apply some statistical techniques to data processing.

The results allow concluding on the trend of reduced precipitation and decreased flow, and a tendency for the average annual temperature increase over time. Associated with these trends are slightly negative impacts on water quality. The correlations made show that water quality varies with the flow, especially in relation to some parameters of quality such as turbidity, the biochemical oxygen demand (CBO₅), conductivity, pH and alkalinity, affecting the availability and quality water.

Preventive measures are also proposed on mitigation and adaptation that are necessary in the operation and management of water resources, compared to expected effects of climate change.

Key-Words: Climate Change; Water Resources; Cávado River Basin;
Water Availability; Water Quality.

Índice Geral

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objectivo do Trabalho	4
1.3	Estrutura da Dissertação.....	4
2	Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cávado	7
2.1	Âmbito territorial	7
2.2	Hidrologia.....	8
2.3	Geologia e Geomorfologia	9
2.4	Clima	9
2.5	Ocupação do Solo	10
2.6	Paisagem.....	11
2.7	Ecologia	11
2.8	Recursos Hídricos	12
2.8.1	Disponibilidades Hídricas	13
2.8.2	Consumos e Utilizações da Água	14
3	Alterações Climáticas	17
3.1	Considerações Gerais.....	17
3.2	Efeito de Estufa	18
3.3	Principais Políticas a Nível Internacional e Nacional para a Problemática das Alterações Climáticas	21
3.3.1	Situação Internacional	21
3.3.2	Situação Nacional	31
3.4	Impactos das Alterações Climáticas	35
3.4.1	Agricultura	36
3.4.2	Zonas Costeiras.....	36
3.4.3	Saúde Humana.....	37
3.4.4	Turismo.....	37

3.4.5	Pescas	37
3.4.6	Energia	38
3.4.7	Florestas e Biodiversidade	38
3.5	Alterações Climáticas e os Recursos hídricos.....	40
3.5.1	Impactos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos	43
3.6	Modelos Climáticos e Cenários Climáticos Futuros	48
4	Dados Hidrométricos e Climáticos do Rio Cávado - Temperatura do ar, Precipitação e Caudal.....	51
4.1	Recolha da informação disponível	51
4.2	Temperatura do ar.....	52
4.3	Precipitação.....	53
4.4	Caudal	55
5	Dados de Qualidade da Água da ETA de Areias de Vilar	59
5.1	Recolha da informação disponível	59
5.2	Parâmetros de qualidade da água	59
5.2.1	Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅)	59
5.2.2	pH	60
5.2.3	Condutividade	61
5.2.4	Temperatura.....	62
5.2.5	Alcalinidade.....	63
5.2.6	Dureza total	64
5.2.7	Oxigénio dissolvido (OD)	65
5.2.8	Azoto amoniacal e Azoto Kjeldahl (NTK)	66
5.2.9	Nitratos.....	68
5.2.10	Fosfatos	69
5.2.11	Cloretos	70
5.2.12	Ferro.....	71
5.2.13	Coliformes fecais	72
5.2.14	Coliformes totais.....	73
5.2.15	Enterococos.....	74

5.2.16	Turvação	75
6	Análise de Correlação de Dados.....	77
6.1	Análise de Componentes Principais	77
6.2	Técnica de auto-correlação aplicada ao Caudal e Precipitação.....	81
7	Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	83
	Referências Bibliográficas.....	87
	Anexo A.....	93
	Anexo B.....	99
	Anexo C.....	109

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Localização da Estação Hidroelétrica de Penide na Bacia Hidrográfica do rio Cávado.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2: ETA de Areias de Vilar.</i>	<i>4</i>
<i>Figura 3: Âmbito territorial da Bacia Hidrográfica do rio Cávado.)</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4: Efeito de Estufa. (Fonte: Adaptada do IPCC).....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 5: Evolução das concentrações dos GEE nas últimas décadas. (Fonte: IPCC).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 6: Variação da temperatura média da superfície da Terra: (a) nos últimos 140 anos (global) e (b) nos últimos 1000 anos (hemisfério norte).</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7: Indicadores da influência antropogénica na atmosfera durante a era industrial. ..</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8: Mudanças observadas na (a) temperatura média global, (b) média global da subida do nível do mar a partir de dados mareógrafo (azul) e satélite (vermelho) e (c) cobertura de neve do Hemisfério Norte para o intervalo de Março a Abril. Todas as mudanças são relativas às médias correspondentes para o período de 1961 a 1990.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 9: Mudanças significativas em sistemas físicos e biológicos e variações de temperatura de 1970 a 2004.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10: Mudanças nos GEE de testemunhos de gelo e de dados actuais.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11: Médias globais do aquecimento da superfície produzidas por vários modelos.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12: Temperatura média do ar em Portugal Continental: média regional no período de 1931-2000.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 13: Bacias Hidrográficas de Portugal Continental.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 14: Cenários SRES da concentração de CO₂.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15: Representação esquemática das famílias dos cenários de emissões.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 16: Evolução das médias anuais de temperatura do ar em Barcelos.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 17: Médias mensais de temperatura do ar em Barcelos entre 1982 e 2008.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 18: Evolução de precipitações anuais em Barcelos.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 19: Médias mensais de precipitação em Barcelos entre 1932 e 2008.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20: Médias mensais de precipitação em Barcelos para três intervalos de tempo diferentes: 1932-1956, 1957-1982 e 1983-2008.</i>	<i>54</i>

<i>Figura 21: Regressão linear entre caudais de Barcelos e caudais de Penide.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 22: Evolução das médias anuais de caudais em Penide.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 23: Médias mensais de caudais em Penide entre 1982 e 2006.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 24: Frequências relativas de caudais entre 1982-2006.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 25: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de CBO5 desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de CBO5.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de pH desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de pH.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 27: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de condutividade desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de condutividade.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 28: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de temperatura desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de temperatura.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 29: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de alcalinidade desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de alcalinidade.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 30: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de dureza total desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de dureza total.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 31: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de OD desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de OD.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 32: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de azoto amoniacal desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de azoto amoniacal.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 33: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de azoto NTK desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de azoto NTK.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 34: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de nitratos desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de nitratos.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 35: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de fosfatos desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de fosfatos.</i>	<i>70</i>

<i>Figura 36: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de cloretos desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de cloretos.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 37: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de ferro desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de ferro.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 38: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de coliformes fecais desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de coliformes fecais.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 39: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de coliformes totais desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de coliformes totais.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 40: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de enterococos desde 2004 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de enterococos.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 41: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de turvação desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de turvação.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 42: Resultados da análise ACP para o eixo 1 (horizontal) e para o eixo 2 (vertical). ..</i>	<i>80</i>
<i>Figura 43: Resultados da análise ACP para o eixo 3 (vertical).....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 44: Resultados da análise ACP para o eixo 4 (vertical).....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 45: Correlograma de dados de (A) caudal mensal, registos de Penide entre Janeiro de 2000 e Agosto de 2005 e de (B) precipitação mensal, registos de Barcelos entre Janeiro de 1932 e Julho de 2002.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura I: Resultados da análise ACP.</i>	<i>114</i>
<i>Figura II: Resultados da análise ACP.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura III: Resultados da análise ACP.</i>	<i>116</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1: GEE - Aumento das concentrações, Contribuição para o aquecimento global e Principais fontes de emissão.</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 2: Variáveis seleccionadas para a correlação e respectivo código de identificação.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 3: Amostras seleccionadas para a correlação e respectivo código de identificação.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 4: Resultados obtidos na análise factorial - ACP.</i>	<i>81</i>
<i>Tabela I: Mudanças verificadas pelo IPCC no decorrer do século 20.</i>	<i>95</i>
<i>Tabela II: Objectivos e tarefas do PNAC.</i>	<i>96</i>
<i>Tabela III: Disponibilidades hídricas superficiais.</i>	<i>97</i>
<i>Tabela IV: Precipitação Mensal na Estação de Barcelos.</i>	<i>101</i>
<i>Tabela V: Temperatura do ar média na Estação de Barcelos.</i>	<i>104</i>
<i>Tabela VI: Valores médios mensais do Caudal -Penide.</i>	<i>105</i>
<i>Tabela VII: Caudal Mensal na Estação de Barcelos.</i>	<i>106</i>
<i>Tabela VII: Resultados obtidos da regressão linear para o caudal mensal.</i>	<i>107</i>
<i>Tabela IX: Parâmetros seleccionados para a ACP.</i>	<i>111</i>
<i>Tabela X: Matriz das correlações.</i>	<i>113</i>
<i>Tabela XI: Coordenadas das variáveis.</i>	<i>113</i>

Lista de Siglas e Abreviaturas

ACP - Análise de Componentes Principais

CCDRn - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte

CQNNAC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas

EDP - Electricidade de Portugal

ETA - Estação de Tratamento de Água

GEE - Gases com Efeito de Estufa

HadCM - Hadley Centre Climate Model

HadRM - Hadley Centre Regional Climate Model

INAG - Instituto da Água

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (PIAC - Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas)

MAOTDR - Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

MCG - Modelos de Circulação Geral

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PBH - Plano de Bacia Hidrográfica

PNA - Plano Nacional da Água

PNAC - Plano Nacional para as Alterações Climáticas

PNUA - Programa da Nações Unidas para o Ambiente

ppmv - partes por milhão em volume

ppb - partes por bilião

Projecto SIAM - Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação)

RAN - Reserva Agrícola Nacional

REN - Reserva Ecológica Nacional

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SRES - Special Report on Emissions Scenarios

UE - União Europeia

ZPE - Zona de Protecção Especial

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Estudos recentes mostram que as concentrações de gases com efeito de estufa (GEE) na atmosfera têm aumentado desde a Revolução Industrial. A esse acréscimo de gases, originado principalmente por actividades antropogénicas, como a queima de combustíveis fósseis e a deflorestação, atribui-se a responsabilidade principal pelo aquecimento global. Além da temperatura, a precipitação também tem sofrido variações decorrentes dessas práticas e as projecções para o clima futuro deste século indicam a possibilidade de graves consequências para a humanidade e para o ambiente.

As alterações climáticas são influenciadas pelas actividades humanas associadas à emissão de GEE e afectam os processos hidrológicos e biogeoquímicos nas bacias hidrográficas, como a disponibilidade e a qualidade de água. Essas alterações podem criar problemas ambientais, económicos e sociais, sendo os países mais pobres e em desenvolvimento os mais vulneráveis.

O século XXI deverá apresentar maior frequência de episódios extremos de temperatura, precipitação, secas e cheias, que poderão aumentar os riscos de erosão, deslizamento de terras, incêndios florestais, riscos para a saúde humana, redução do potencial agrícola e da disponibilidade de água para os diversos usos. O efeito projectado das alterações climáticas no escoamento de água superficial e na recarga de água subterrânea é variável, dependendo da região e do cenário climático considerado, mas relaciona-se, em grande parte, com as mudanças previstas para a precipitação. Prevê-se que a magnitude e a frequência de escoamentos máximos aumentem na maioria das regiões do planeta e que os escoamentos mínimos sejam menores em muitas regiões. (IPPC)

As actividades antropogénicas têm alterado o ciclo hidrológico e os regimes de caudais de uma forma sem precedentes e a uma escala global com custos e consequências que só recentemente se começaram a fazer sentir. À escala das bacias hidrográficas, as intervenções humanas têm determinado várias alterações, nomeadamente, das zonas de inundação, dos canais naturais de escoamento, da hidrodinâmica das zonas estuarinas e costeiras, da temperatura dos recursos hídricos, da quantidade de sedimentos transportados, bem como a alteração e extinção de espécies da fauna e flora autóctones.

Por outro lado, as consequências das alterações climáticas, traduzidas num aquecimento gradual e global do planeta irão, certamente, introduzir alterações na hidrologia da maioria dos nossos rios, o que implicará uma prudência acrescida na utilização dos

respectivos padrões de escoamento registados até agora, em processos de planeamento para o século XXI.

Com a elevação da temperatura, haverá maior quantidade de precipitação sob a forma de chuva do que sob a forma de neve, tendo como consequência directa a fusão das neves das montanhas mais cedo e mais rápida, originando cheias mais intensas no princípio da Primavera e menores caudais no Verão, quando a procura de água é maior. Estas alterações climáticas poderão ainda contribuir para a intensificação do ciclo hidrológico neste século, aumentando a precipitação em certas regiões e diminuindo-a noutras, bem como alterando, de forma significativa, os ciclos de nutrientes em ecossistemas e influenciando por isso a qualidade da água. Por sua vez, a concentração urbana e o rápido desenvolvimento económico e tecnológico têm determinado uma contínua degradação da qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

A sensibilização para o problema da qualidade da água que inicialmente estava ligada apenas a problemas económicos tem lentamente ganho novas dimensões baseadas em conceitos inovadores de protecção da Natureza, considerando a água não só como um recurso mas também um sistema ambiental. (Vieira, 2003)

No âmbito deste trabalho, o estudo incidirá sobre uma região da bacia hidrográfica do rio Cávado. A água do rio Cávado é utilizada, essencialmente, para abastecimento doméstico e industrial, para fins agrícolas, para fins piscícolas nas zonas estuarinas, para actividades recreativas e para a produção intensiva de energia eléctrica. Nesta bacia funcionam seis grandes aproveitamentos hidroeléctricos, para além de outras pequenas unidades. O vale do Cávado tem estado sujeito a intensas acções poluidoras com origem urbana, industrial e agrícola. Principalmente na região do médio Cávado estão concentradas muitas unidades industriais do sector têxtil, metalomecânico e agro-pecuário, inseridas em zonas densamente povoadas, que têm vindo a deteriorar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. (ODeCav, 2007)

A entidade de acolhimento para a realização deste Projecto foi a empresa Águas do Cávado, S.A., na Estação de Tratamento de Água (ETA) do Sistema Multimunicipal de abastecimento de água à área Norte do grande Porto que se localiza em Areias de Vilar, concelho de Barcelos, a jusante da albufeira do aproveitamento hidroeléctrico de Penide (Figura 1).



Figura 1: Localização da Estação Hidroelétrica de Penide na Bacia Hidrográfica do rio Cávado. (Fonte: Adaptada do SNIRH)

Águas do Cávado, S.A., constituída pelo do Decreto-Lei 102/95, de 19/05, iniciou a sua actividade em Junho de 1995. Esta empresa tem por objecto exclusivo a exploração e gestão do Sistema Multimunicipal de captação e tratamento de água própria para consumo humano e respectiva adução, até aos reservatórios de entrega aos Municípios de Barcelos, Esposende, Maia (Norte), Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Vila do Conde e Vila Nova de Famalicão, com uma cobertura global e actual de 600 mil habitantes.

A água captada no rio Cávado é sujeita a tratamento na Estação de Tratamento de Areias de Vilar (Figura 2), e percorre uma rede de 274 km de condutas adutoras que atingem 4 reservatórios de regularização, 58 reservatórios de entrega aos Municípios integrantes e 21 estações elevatórias, para além de outras infra-estruturas complementares. Todo o investimento foi dimensionado de modo a satisfazer as necessidades de água potável para uma população equivalente de 900 000 habitantes no horizonte até 2024.

Em termos gerais, a missão desta entidade empresarial é produzir e distribuir, em alta, água para consumo humano que satisfaça as exigências de qualidade e atinja as expectativas dos clientes. Pretende também promover e divulgar conceito de qualidade da água. (www.aguas-cavado.pt/empresa.php)



Figura 2: ETA de Areias de Vilar.

1.2 Objectivo do Trabalho

O objectivo principal a que esta dissertação se propõe é o de compreender e analisar os impactos das alterações climáticas na qualidade e na disponibilidade de água para consumo humano na ETA de Areias de Vilar, a partir dos dados que foram possíveis obter e com base nos estudos mais recentes sobre a matéria e disponíveis para Portugal/região.

As tarefas desenvolvidas foram realizadas por várias etapas:

- Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cávado.
- Revisão bibliográfica sobre o estudo da influência das alterações climáticas em geral e em particular nos recursos hídricos;
- Recolha de dados históricos de caudal e de qualidade da água do Rio Cávado;
- Organização e análise dos dados colectados (EDP, ETA de Areias de Vilar e INAG/SNIRH);
- Estabelecer correlações estatísticas com caudais e alguns parâmetros de qualidade de água;
- Analisar a evolução e a tendência dos caudais e da qualidade da água para o Rio Cávado.
- Obter conclusões a partir dos resultados alcançados e propor medidas de adaptação e mitigação para a ETA de Areias de Vilar.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está organizado em 7 capítulos.

No capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho onde é descrito o enquadramento do estudo, o seu objectivo e a sua estrutura.

O capítulo 2 constitui a caracterização da bacia hidrográfica do rio Cávado, região onde está inserida a zona de interesse deste trabalho. Descrevem-se os conteúdos seleccionados para a sua caracterização: âmbito territorial, hidrologia, geologia e geomorfologia, clima, ocupação do solo, paisagem, ecologia e recursos hídricos.

As alterações climáticas são analisadas no capítulo 3. Neste estão assinalados os seguintes conteúdos: considerações gerais, o efeito de estufa, as principais políticas, a nível nacional e internacional, relacionadas com esta problemática, os impactos das alterações climáticas, as alterações climáticas e recursos hídricos e por fim os modelos e os cenários climáticos.

No capítulo 4, 5 e 6 apresentam-se os dados analisados e resultados obtidos neste trabalho relativos à disponibilidade e qualidade de água do rio Cávado na zona da ETA de Areias de Vilar.

O capítulo 7 apresenta as conclusões gerais e relacionadas com os resultados obtidos e algumas medidas sugestivas de prevenção, mitigação e adaptação às alterações climáticas.

2 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cávado

Os Planos de Bacia Hidrográfica (PBH) têm como objectivos definir orientações de valorização, protecção e gestão equilibrada da água, de âmbito territorial, para uma bacia hidrográfica ou agregação de pequenas bacias hidrográficas. (INAG)

A partir do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Cávado disponibilizado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDRn) é possível, para um melhor enquadramento deste estudo, fazer uma caracterização desta região.

2.1 Âmbito territorial

A região do PBH do rio Cávado tem uma área de aproximadamente 1648 km² (Figura 3). Esta região engloba a bacia do rio Cávado, as ribeiras costeiras pertencentes aos conselhos da Póvoa de Varzim e de Esposende, respectivamente a sul e a norte da bacia, e ainda a região de Tourém pertencente à bacia do rio Lima, mas que escoia para Espanha.

A bacia hidrográfica do rio Cávado é limitada, a norte pela bacia hidrográfica dos rios Neiva e Lima, a este pela bacia do rio Douro e a sul pela bacia do rio Ave.

Esta região inclui os conselhos de Amares e Esposende na sua totalidade e atravessa os conselhos de Barcelos, Boticas, Braga, Cabeceiras de Basto, Montalegre, Ponte de Lima, Ponte da Barca, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, Terras de Bouro, Vieira do Minho e Vila Verde. (PBH Rio Cávado, 2000)

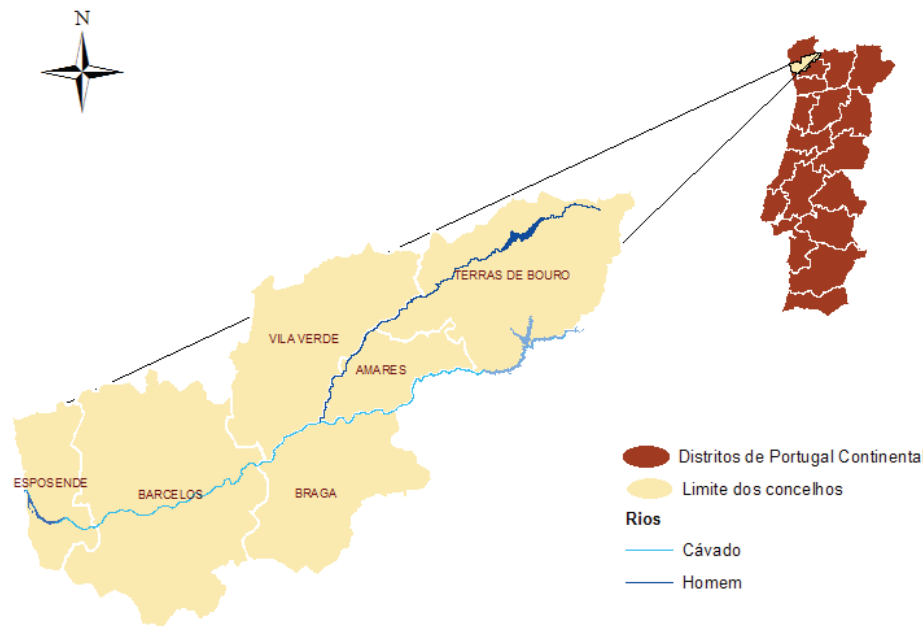


Figura 3: Âmbito territorial da Bacia Hidrográfica do rio Cávado. (Fonte: Adaptada de UM/Simbiente, 2008)

2.2 Hidrologia

A norte de Portugal, o rio Cávado nasce na Serra do Larouco, a norte do concelho de Montalegre, a uma altitude de aproximadamente 1520 m, passa por Braga, Barcelos e desagua no Oceano Atlântico junto a Esposende, após um percurso de aproximadamente 135 km. Tem como principais afluentes, na margem direita os rios Cabril, Caldo, Homem e Prado e, na margem esquerda, o Rabagão. Destes, destacam-se o rio Homem que nasce na Serra do Gerês com um comprimento de 45 km, drenando uma área de 256 km² e o rio Rabagão que nasce entre as Serras do Barroso e Larouco com uma extensão de 37 km, drenando uma área de 248 km².

A precipitação média anual para a região do PBH do rio Cávado varia entre os 900 e os 4200 mm. Verifica-se uma tendência para a precipitação diminuir progressivamente de montante para jusante com valores inferiores a 1500 mm anuais registados junto à costa da bacia. Estima-se uma precipitação média anual na bacia de 2169 mm, correspondendo a 3 500 hm³.

Em média, o escoamento anual na foz do rio é 2123 hm³. Estima-se que a bacia hidrográfica do rio Cávado apresente uma capacidade total de armazenamento de recursos

hídricos na ordem dos 1180 hm³, em regime regularizado, valor que corresponde a quase 30 % do total existente em Portugal. (PBH Rio Cávado, 2000 e UM/Simbiente, 2008)

2.3 Geologia e Geomorfologia

Em praticamente toda a sua extensão, a área do Vale do Cávado é constituída por formações geológicas correspondentes aos afloramentos graníticos das montanhas do Noroeste de Portugal. No litoral da bacia encontram-se depósitos de praias antigas e depósitos dunares.

A importância tectónica marcada por uma rede de fracturas traduz-se por um conjunto de vales de traçado rectilíneo existentes na bacia, que apresentam duas direcções fundamentais: ENE-WSW (Este Nordeste - Oeste Sudoeste), encaminhando os rios Cávado e Homem, e N-S (Norte - Sul) encaminhando os afluentes da margem direita. A drenagem destes rios e seus afluentes é condicionada pela estrutura geológica regional.

A abundância de água aliada com a temperatura facilita as alterações superficiais, enquanto a rede de fracturas que os granitos apresentam propiciam alterações profundas, conduzindo à evolução das características geomorfológicas. (PBH Rio Cávado, 2000 e UM/Simbiente, 2008)

2.4 Clima

A sua posição geográfica e proximidade do Atlântico, bem como a forma e disposição dos principais conjuntos montanhosos do noroeste de Portugal, determinam que a região do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Cávado seja a mais pluviosa de Portugal, onde nos sectores montanhosos da bacia ocorre precipitação anual superior a 3500 mm, em média, repartida em cerca de 160 dias.

A parte da bacia correspondente aos sectores de jusante, intermédio e às áreas expostas a barlavento do sector de montante, encontra-se numa região de clima de tipo marítimo, fachada atlântica. Os Verões são de tipo moderado e os Invernos são do tipo fresco. A parte da bacia do sector de montante correspondente à serra do Larouco insere-se numa região de clima de tipo continental, acentuado pela posição topográfica. Verificam-se Invernos do tipo frio e muito frio.

De acordo com critérios simples de classificação, o clima da área do Plano de Bacia varia entre fresco, húmido e muito chuvoso nos sectores de montante abrangidos pelas serras do Gerês, Larouco, Amarela e Barroso e temperado, húmido e chuvoso na faixa litoral.

Pela classificação climática segundo Thornthwaite, o clima da maior parte da área do Plano de Bacia é super húmido, mesotérmico, com moderada falta de água no Verão e com pequena eficiência térmica no Verão; nos sectores de jusante e intermédio o clima é de tipo semelhante, mas com pequena falta de água no ano. No limite sul da faixa litoral o clima é do tipo sub-húmido a húmido, atendendo a que os quantitativos de precipitação são substancialmente inferiores aos verificados noutras regiões da área do plano. (PBH Rio Cávado, 2000 e UM/Simbiente, 2008)

2.5 Ocupação do Solo

De acordo com a Carta *Corine Land Cover* as áreas essencialmente agrícolas representam uma grande parte da superfície da bacia e apresentam-se com maior incidência nas margens e proximidades do leito do rio Cávado, na área mais próxima do litoral e em grandes manchas no interior da bacia.

As zonas florestais abrangem também uma área muito significativa localizando-se as grandes manchas deste tipo na parte central da bacia.

Nas margens dos rios no Vale do Cávado verifica-se uma significativa presença de espaços urbanos, incidindo principalmente no litoral, junto à foz do Cávado em Esposende, Póvoa de Varzim e sobretudo Braga. Estas regiões potencializam aumentos de solo urbano.

Os espaços industriais são pouco significativos e distribuem-se a jusante do rio Cávado. Nesta zona da bacia tem havido uma progressiva alteração das formas de ocupação do solo, assistindo-se a uma diminuição das zonas agrícolas e florestais com instalação de estruturas urbanas e disseminação de unidades industriais.

Na área mais a montante do rio Cávado encontra-se um território essencialmente composto por espaços agrícolas, com pequenos núcleos urbanos e pequenas manchas florestais.

As áreas classificadas como Reserva Agrícola Nacional (RAN) têm maior incidência na zona intermédia (Braga, Vila Verde e Amares) e as classificadas como Reserva Ecológica Nacional (REN) têm maior incidência nos concelhos de Vila Verde e Terras de Bouro. (PBH Rio Cávado, 2000 e UM/Simbiente, 2008)

2.6 Paisagem

A diversidade paisagística tem como base as diversas características de relevo, de ocupação do solo, pelo diferente perfil transversal dos vales, etc., existentes em todo o vale do Cávado. Assim, é possível definir três unidades geomorfológicas:

- um rio de montanha, estreito, correndo entre linhas de alturas, num relevo ora muito acidentado, ora planáltico, onde a geologia granítica impõe cunho marcante, com casario mais concentrado, baixa densidade populacional, manchas extensas e bem definidas de ocupação do solo;
- um troço intermédio, de leito mais largo, de curvas mais abertas, que corre num relevo de movimentado suave, que imbrica elevações e baixas planas, fortemente rural e humanizado, com grande dispersão e densidade populacional;
- por último, um troço bastante mais curto, correspondente à aproximação do litoral, de grande horizonte visual, relevo plano a ondulado suave, de leito francamente largo, extensos e numerosos meandros, de fortíssima densidade populacional e dispersão humana, onde a grande ruralidade acaba por misturar-se às fainas do mar, adquirindo uma nova feição.

A qualidade paisagística da bacia hidrográfica do rio Cávado é de forma geral boa a muito boa, em que a água é o elemento dominante na paisagem. Existem também aspectos menos positivos ou áreas onde a qualidade paisagística é reduzida. Um exemplo disso é construção de habitação privada desenquadrada na paisagem e sem respeito pelo domínio público hídrico.

Em termos gerais, pode considerar-se que esta bacia está ainda relativamente preservada e ordenada, apresentando belos e distintos trechos de paisagem. Para isto, tem contribuído a forte ruralidade, a existência do Parque Nacional da Peneda-Gerês e a existência de muitas outras áreas naturais ou naturalizadas de difícil acesso e fixação humana. (PBH Rio Cávado, 2000 e UM/Simbiente, 2008)

2.7 Ecologia

Em termos ecológicos, os cursos de água da bacia hidrográfica do Cávado apresentam uma degradação moderada. No entanto, nos rios Homem e Cávado é ainda possível encontrar zonas de alto valor ecológico.

Nas áreas naturais do estuário do rio Cávado o estado de conservação é relativamente satisfatório. Na margem sul estão as zonas menos degradadas, enquanto em toda a parte

norte se encontram paredões de contenção de águas, zonas portuárias e infra-estruturas rodoviárias. A jusante do estuário, na margem norte, encontra-se uma extensa faixa de areal utilizada como zona de praia.

Relativamente à fauna e à flora do estuário, destaca-se a avifauna, muito rica, onde sobressaem algumas espécies como as limícolas, as garças e os passeriformes. Regista-se ainda a ocorrência de uma população indeterminada de lontra (*Lutra lutra*) classificada na Directoria “Habitats”.

Sobre os valores ecológicos estuarinos actuam várias pressões devido a: tráfego de embarcações e matérias potencialmente poluentes, rejeição de efluentes urbanos e industriais (de montante) com a consequente degradação da qualidade de água e acumulação de sedimentos, ocupação das margens com habitações e outras construções, circulação humana acentuada na época de veraneio e abundância de embarcações de recreio.

A flora associada ao Vale do Cávado apresenta uma grande diversidade de espécies, principalmente nas comunidades marginais e aquáticas. A biodiversidade vegetal e a organização e estrutura das comunidades ripárias analisadas constituem um geosistema muito sensível e facilmente alterável.

Relativamente às áreas classificadas e protegidas que constam na listagem dos sítios da Rede Natura 2000 e Áreas Protegidas, pode-se referir o Parque Nacional da Peneda-Gerês, Serra do Gerês (ZPE - Zona de Protecção Especial) importante a nível geológico, geomorfológico e para as espécies migratórias, e o Litoral Norte, que se encontra na faixa litoral, abrangendo um considerável sistema dunar e uma grande riqueza florística e faunística. (PBH Rio Cávado, 2000 e UM/Simbiente, 2008)

2.8 Recursos Hídricos

A água é a base natural da vida mais importante e é um factor de desenvolvimento económico. Os recursos hídricos da área abrangida pelo PBH do rio Cávado, constituem uma rede que contribui ou tem grande potencial para contribuir economicamente para a riqueza nacional através dos diversos usos que as suas águas proporcionam. Têm também um valor ambiental e paisagístico da maior importância, sobretudo na região mais a montante onde se localiza parte do Parque Nacional Peneda-Gerês. Um dos objectivos do PBH do rio Cávado é assegurar uma utilização racional dos seus recursos hídricos num quadro de sustentabilidade ambiental e económica de desenvolvimento regional.

Para a bacia hidrográfica do rio Cávado, as conclusões relacionadas com a vertente quantitativa dos recursos hídricos referem-se à avaliação das disponibilidades naturais

existentes e à avaliação quantitativa do nível de dependência das utilizações de consumo relativas ao abastecimento de água às populações, indústria e agricultura. Numa óptica mais qualitativa, referem-se às questões relacionadas com os usos de não consumo. (PBH Rio Cávado, 2000)

2.8.1 Disponibilidades Hídricas

As disponibilidades hídricas da bacia hidrográfica do rio Cávado, em regime natural, dependem essencialmente da distribuição espacial e temporal da precipitação. Isto deve-se principalmente ao facto dos aquíferos terem uma capacidade de armazenamento reduzida, ocasionando um escoamento rápido como resposta à precipitação. A regularização interanual subterrânea praticamente não se realiza. Assim, o ciclo hidrológico anual da precipitação reflecte-se directamente no do escoamento. A variabilidade dos valores do escoamento anual está fortemente condicionada pela variabilidade dos valores da precipitação, sendo no entanto um pouco superior devido à água que se evapora para a atmosfera. A distribuição dos valores anuais médios da precipitação e do escoamento total médio aumenta para sectores mais a montante da bacia.

A bacia hidrográfica do rio Cávado, sob condições associadas aos climas marítimo-influência atlântica é, em termos médios, uma das regiões europeias mais ricas relativamente a disponibilidades hídricas, com um valor anual médio (cerca de 1317mm) muito superior à média do País mais húmido da Europa com cerca de 700mm.

As características dos recursos hídricos desta região reflectem as condições climáticas da região de Entre-Douro e Minho, condicionada pela proximidade do Atlântico e pelo cordão montanhoso que separa esta região do interior transmontano. Quando se caminha do litoral para o interior, passa-se de uma zona de planície para uma zona montanhosa muito acidentada, duas zonas com características distintas. A zona a montante, de serras, gera, por unidade de área, mais do triplo dos recursos hídricos que a zona muito mais próxima do litoral.

A variabilidade temporal das disponibilidades hídricas manifesta-se a duas escalas:

- interanual, com séries de anos seguidos secos ou húmidos, e
- sazonal, com diferenças muito grandes entre os escoamentos dos meses de Inverno e de Verão.

A variação às escalas interanual e sazonal afecta genericamente todo o tipo de utilização, a capacidade de transporte e a capacidade depuradora das linhas de água relativamente aos efluentes provenientes da actividade humana. Esta variabilidade tem também implicação ao

nível da garantia do abastecimento de água às actividades que dela dependem e implica também a necessidade de se dispor de maiores volumes de armazenamento para garantir segurança no abastecimento.

No que se refere à variabilidade interanual dos escoamentos verifica-se que no período de 1941/42 a 1996/97 existiram conjuntos seguidos de anos com características hidrológicas semelhantes, o que é fundamental na análise da fiabilidade e vulnerabilidade do abastecimento.

Analisando o escoamento anual gerado em toda a região os períodos secos são em maior número e são mais extensos que os períodos mais húmidos, considerando secos os que apresentam um escoamento inferior à média.

Relativamente à variabilidade sazonal dos escoamentos verifica-se que esta região só produz cerca de 24,8% do escoamento anual no semestre seco, e cerca de 4,2 % no trimestre seco.

As disponibilidades hídricas totais médias anuais geradas na bacia hidrográfica do rio Cávado em regime natural (situação pristina) ascendem cerca de 2124 hm³.

Nesta região, as formações geológicas dominantes são granitos e formações metamórficas. As águas subterrâneas ocorrem inteiramente em aquíferos descontínuos com permeabilidade fissural de pequena transmissividade e armazenamento. Existem ainda pequenos depósitos de vale de permeabilidade intersticial. A profundidade das captações verticais não vai além dos 80m. Nesta região existem imensas captações por furo vertical para abastecer pequenos consumos individuais para fins domésticos e agrícolas e mesmo captações públicas de média e pequena dimensão.

Em certas zonas a actividade antropogénica (agricultura, indústria ligeira, deposição selvagem de lixo, etc.) põe em risco a qualidade dos sistemas hidrológicos de interesse local. (PBH Rio Cávado, 2000)

2.8.2 Consumos e Utilizações da Água

A estimativa do volume de água captada designa-se por procura. O consumo, após os retornos à rede hidrográfica, designa-se por consumo efectivo.

As principais utilizações de recursos hídricos têm origem em actividades agrícolas e piscícolas, para abastecimento urbano e industrial, para aquacultura, para recreio e para produção de energia eléctrica.

Cerca de 20% da Bacia do Cávado é área irrigada, pelo que o consumo nesta actividade é um dos mais importantes. A procura da água resulta essencialmente da actividade agrícola, 74% em ano médio e 79% em ano seco, e concentra-se predominantemente no semestre seco.

Nesta bacia funcionam vários e importantes aproveitamentos hidroeléctricos, com albufeiras de grande capacidade de armazenamento e de regularização sazonal de caudais.

O uso da água para consumo doméstico é cerca de 20% do consumo global na bacia não existindo situações problemáticas uma vez que as disponibilidades excedem largamente as necessidades. A utilização para consumo industrial não é significativa em termos de quantidade mas introduz alterações na qualidade dos cursos de água e nos solos. No estuário a pesca constitui um recurso importante da bacia do Cávado. A aquacultura é uma actividade que, embora não consuma água, altera a qualidade da água com o aumento da matéria orgânica e nutrientes. Nesta bacia existem várias albufeiras onde se praticam actividades recreativas e de lazer. (PBH Rio Cávado, 2000)

3 Alterações Climáticas

O problema das mudanças climáticas globais é um dos maiores desafios socioeconómicos e científicos que a humanidade terá que enfrentar no futuro próximo. A dimensão exacta das mudanças climáticas e das suas implicações é uma questão complexa e muito importante no desenvolvimento económico e social do nosso planeta neste século.

3.1 Considerações Gerais

Actualmente, as alterações climáticas a nível global constituem um grave problema que a humanidade e natureza inevitavelmente têm que enfrentar.

A frequência com que se registam fenómenos climáticos extremos por todo o planeta faz com que acções antropogénicas futuras sejam planeadas tendo em vista uma resposta imediata e eficaz, adoptando medidas de mitigação e adaptação.

O aumento da temperatura, a subida do nível médio do mar, a instabilidade da sazonalidade climática e o degelo observado nas calotes polares e nos glaciares são frequentemente referidos por muitos cientistas como potenciais impactos negativos resultantes das alterações climáticas.

O clima é habitualmente definido como um “estado médio da atmosfera” ou como a descrição em termos estatísticos de variáveis meteorológicas (temperatura, precipitação, dados de vento, etc.) ao longo de algumas décadas. Quando aparece uma diferença entre os valores observados numa longa série temporal (mais 150 anos) de alguns parâmetros climáticos e os valores médios num intervalo de tempo de algumas décadas considera-se que houve uma mudança climática. Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) “a mudança climática resulta de uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou na sua variabilidade que persiste durante um intervalo de tempo extenso (tipicamente da ordem de décadas ou superior)”. (SIAM I e II)

O clima do nosso planeta está em constante mudança e a maior parte das mudanças geofísicas ocorre em escalas de tempo de milhares ou milhões de anos. As alterações climáticas podem ter causas naturais e antropogénicas. Os fenómenos naturais mais importantes que provocam alterações climáticas, através de alterações no equilíbrio energético da atmosfera, são as variações na incidência da radiação solar, pequenas variações nos parâmetros que definem a órbita da Terra em torno do Sol e erupções vulcânicas. As variações na órbita da Terra ocorrem lentamente, ao longo de períodos de tempo da ordem

de 20.000 a 400.000 anos, e pensa-se serem responsáveis pela alternância dos períodos glaciares e interglaciares. Por outro lado, as pesquisas indicam que as alterações na composição da atmosfera resultantes das actividades humanas ocorrem num espaço de tempo muito curto (entre 100 e 200 anos). As alterações climáticas devidas a causas antropogénias resultam principalmente de alterações na composição da atmosfera, especialmente no que respeita aos GEE. (Santos, 2005 e SIAM I)

Os principais GEE presentes na atmosfera são: o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), o ozono (O_3), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidroclorofluorcarbonetos (HCFC) e outros de menor importância.

Os GEE, que representam menos de 1% dos gases presentes na atmosfera controlam os fluxos de energia na atmosfera através da absorção da radiação infravermelha. As actividades humanas afectam esta situação quer através do aumento das emissões de GEE quer pelas interferências no potencial de remoção natural de GEE. (www.ceeeta.pt/energia/)

3.2 Efeito de Estufa

O sistema climático é constituído por 5 grandes componentes: a atmosfera (massas de ar), a hidrosfera (corpos de água doce e salgada), a biosfera terrestre e marítima (formas de vida), a criosfera (camada gelada da superfície terrestre) e a litosfera (rochas e solo). Estes componentes interagem continuamente, trocando matéria e energia de diversas formas e determinando o clima terrestre. O sistema climático está normalmente numa situação de equilíbrio térmico: a energia que ele recebe do Sol é igual à que ele emite para o espaço. Nesta situação a temperatura média do planeta mantém-se constante. Se por algum motivo a energia perdida para o espaço se tornar menor que a recebida, isto é, se houver alguma alteração no balanço energético do sistema, o equilíbrio altera-se e a temperatura média do planeta varia. A poluição atmosférica, por exemplo, pode causar um desequilíbrio dessa natureza. Se a perturbação for mantida constante, o sistema climático tende a uma nova situação de equilíbrio, porém a uma temperatura média mais alta. Mas este retorno ao equilíbrio demora um período de tempo que pode ser mais longo ou mais curto, dependendo da intensidade e da natureza da perturbação inicial. Isto deve-se à inércia do sistema climático: há um tempo de ajuste entre a perturbação inicial do equilíbrio térmico e o retorno ao equilíbrio, a uma temperatura mais alta. (Cortizo, 2008)

Uma alteração na composição da atmosfera nos GEE resulta numa mudança climática. Os GEE têm a propriedade de absorverem e emitirem radiação infravermelha. Quando a concentração destes gases na atmosfera aumenta, é absorvida uma maior quantidade da

radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Estabelece-se um desequilíbrio entre a quantidade de energia radiativa recebida do Sol e a quantidade total de energia radiativa emitida pela Terra. O equilíbrio restabelece-se naturalmente por meio de um ligeiro aumento de temperatura na baixa atmosfera (troposfera). Este processo de aumento de temperatura da troposfera devido ao aumento da concentração dos GEE chama-se Efeito de Estufa (Figura 4). Este fenómeno contribui em grande medida para o aquecimento global. (SIAM II)

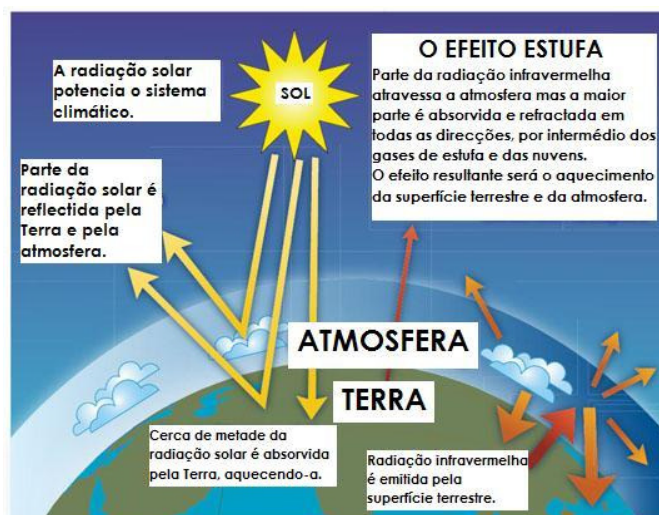


Figura 4: Efeito de Estufa. (Fonte: Adaptada do IPCC)

Como se observar na tabela 1, os GEE têm origem em fontes diferentes e contribuem de forma variável para o aquecimento global da atmosfera.

Tabela 1: GEE - Aumento das concentrações, Contribuição para o aquecimento global e Principais fontes de emissão. (Fonte: Adaptada de www.ceeeta.pt/energia/)

GEE	Aumento da concentração desde 1750 (%)	Contribuição para o aquecimento global (%)	Principais fontes de emissão
CO ₂	31	63	Queima de combustíveis fósseis, desflorestação e alteração do uso do solo.
CH ₄	151	24	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), actividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais.
N ₂ O	17	10	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis
Compostos Halogenados	-	3	Indústria, refrigeração, aerossóis, propulsores, espumas expandidas e solventes.

Ao longo dos últimos séculos, as concentrações de GEE na atmosfera aumentaram significativamente: as concentrações em volume de CO₂ passaram de 280 para 360 ppm (partes por milhão), as de CH₄ de 700 para 1745 ppb (partes por bilião), as de N₂O de 270 para 314 ppb.

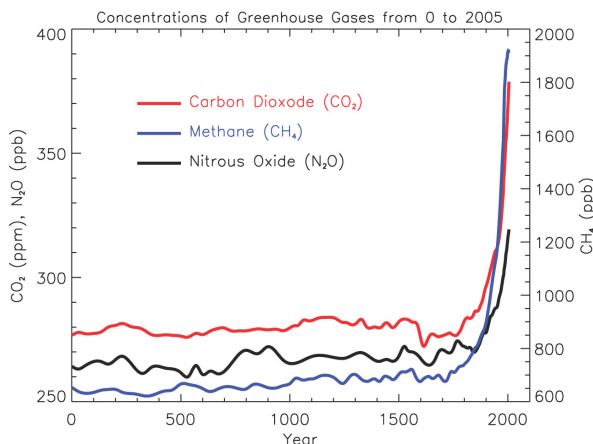


Figura 5: Evolução das concentrações dos GEE nas últimas décadas. (Fonte: IPCC)

Como evidencia a figura 5 as concentrações de GEE têm aumentado significativamente nas últimas décadas, potenciando uma mudança climática e um aumento da temperatura média global.

As projecções realizadas pelo IPCC para o período de 2000 a 2100 e com base nos vários cenários socioeconómicos mostram que as concentrações de CO₂ irão aumentar entre 90 a 250%. (IPCC)

O efeito de estufa actual provoca um desequilíbrio no sistema climático em que o tempo de ajuste é da ordem de séculos. Para estimar a temperatura final, tem que se quantificar a intensidade da perturbação inicial do equilíbrio térmico. Isto é feito pelo conceito de *forcing* ou forçamento radiativo: uma medida do desequilíbrio no balanço de energia do planeta provocado pelas alterações iniciais. No caso do efeito estufa, convencionou-se adoptar como ponto de referência o ano de 1750, anterior à Revolução Industrial e a partir daí são estimados os forçamentos de diversas perturbações, tanto antropogénicos como naturais. Os climatologistas medem o forçamento radiativo em W/m², ou seja, quantos Watts entra a mais no sistema climático (em relação a 1750) para cada m² de superfície do planeta. Considerando, por exemplo, o desequilíbrio no balanço de energia do planeta provocado pelo aumento da quantidade de CO₂ na atmosfera, o forçamento radiativo associado a esta perturbação depende da concentração em volume de CO₂ na atmosfera, medida em partes por milhão (ppmv). A concentração estimada de CO₂ no ano de referência 1750 é 278 ppmv e para esta concentração de CO₂ na atmosfera, o forçamento é zero, pois o

sistema climático estava em equilíbrio térmico. Em 2005 esta concentração era aproximadamente de 379 ppmv, o que corresponde a um forçamento de cerca de $1,7 \text{ W/m}^2$.

Para que a temperatura pare de subir, é necessário que as concentrações estabilizem, ou seja, que as emissões sejam reduzidas a praticamente zero. Mesmo após a estabilização das concentrações, a temperatura continuará a subir por mais algum tempo, devido à inércia do sistema climático.

A sensibilidade climática de equilíbrio é uma medida de quanto a temperatura do planeta aumentará, para uma determinada perturbação do equilíbrio inicial. Trata-se de uma variável importante na avaliação de quanto tempo temos para solucionar o problema do efeito estufa. Convencionou-se medir a sensibilidade usando uma perturbação padrão (hipotética) como referência: que a concentração de dióxido de carbono na atmosfera duplique em relação à do ano 1750, o que corresponde a um forçamento da ordem de $3,7 \text{ W/m}^2$. As estimativas actuais apontam para uma sensibilidade de aproximadamente 3°C , segundo o quarto relatório de avaliação publicado pelo IPCC em 2007. Ou seja, se a concentração de CO_2 duplicar em relação à época pré-industrial, este será o aumento da temperatura média do planeta após a estabilização final da temperatura. (Cortizo, 2008)

3.3 Principais Políticas a Nível Internacional e Nacional para a Problemática das Alterações Climáticas

As alterações climáticas são hoje um problema indiscutível, cujos impactos são inevitáveis, com uma grande probabilidade de se agravarem no futuro e aos quais nos temos que adaptar. Há portanto impactos resultantes das alterações climáticas que a mitigação ainda pode evitar, minimizar e controlar.

Neste sentido, a comunidade científica tem vindo a desenvolver várias acções, envolvendo estudos, publicações, conferências e outras, de modo a desenvolver um conjunto de instrumentos legais e técnicos para identificar e analisar os impactos ambientais e sócio-económicos provocados pelas alterações climáticas e desenvolver estratégias para sua mitigação e adaptação.

3.3.1 Situação Internacional

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA), criaram em 1988 o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) - Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas, para avaliar de forma objectiva e

transparente as últimas informações científicas, técnicas e socioeconómicas relevantes para a compreensão do risco das mudanças climáticas antropogénicas, bem como os seus impactos, observados e potenciais, e formular estratégias para a sua mitigação e adaptação.

O IPCC já publicou quatro relatórios científicos, sendo o último o maior e o mais detalhado sobre as alterações climáticas envolvendo milhares de investigadores de dezenas de países.

O IPCC tem três grupos de trabalho que preparam relatórios de análise nos seguintes temas: informação científica a respeito do sistema climático e mudanças no clima; impactos ambientais e socioeconómicos da mudança climática e formulação de estratégias de resposta quer de mitigação, quer de adaptação.

Com base nas conclusões do terceiro Relatório de Avaliação do IPCC para as Alterações Climáticas publicado em 2001 pode afirmar-se que o clima da Terra está a mudar. A maior parte do aquecimento global observado nos últimos 50 anos é consequência provavelmente das emissões de GEE resultantes das actividades humanas como a queima de combustíveis fósseis e as alterações do uso dos solos, em particular a desflorestação. Também conclui ser muito provável que o aumento da temperatura média global da atmosfera, desde meados do século XIX, tenha contribuído significativamente para aumento observado no nível médio do mar durante o século XX, por meio da expansão térmica das camadas superficiais do oceano e à fusão dos gelos das regiões montanhosas.

Ao longo do século XX a temperatura média global da atmosfera à superfície aumentou 0,6°C. (Figura 6, gráfico (a)). A variação observada na temperatura nos últimos 100 anos excede largamente as variações climáticas naturais dos últimos 1000 anos, como se conclui da análise da figura 6 no gráfico (b). No gráfico a) da figura 6 também se observa que o maior aumento da temperatura média global se deu em dois períodos distintos: de 1910 a 1945 e depois de 1976. A década de 1990 foi a mais quente e 1998 foi o ano mais quente desde 1861. (SIAM II)

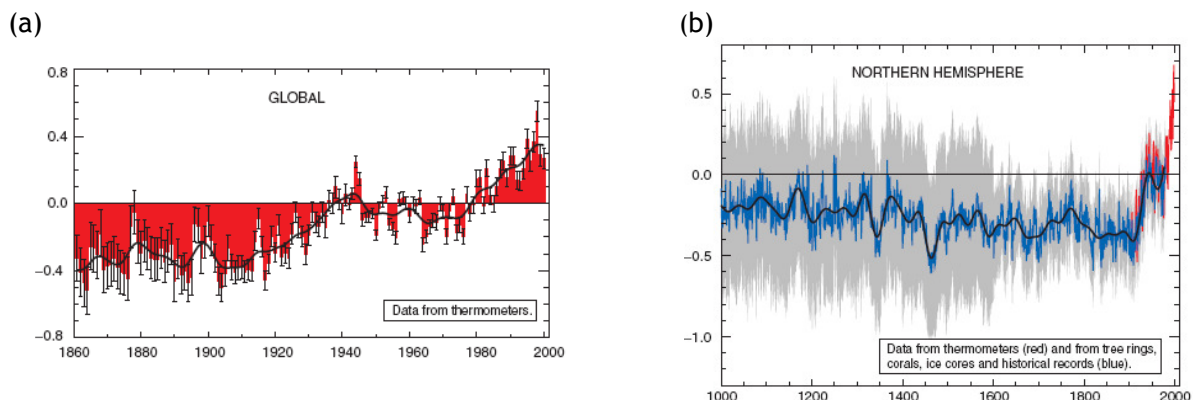


Figura 6: Variação da temperatura média da superfície da Terra: (a) nos últimos 140 anos (global) e (b) nos últimos 1000 anos (hemisfério norte). (Fonte: IPCC)

As actividades humanas estão a alterar a concentração de GEE e de aerossóis na atmosfera como se pode ver na figura 7. Em relação aos valores de referência do ano 2000, desde 1750 a concentração de CO₂ aumentou 31%, a de metano 151% e a de óxido nítrico 17%.

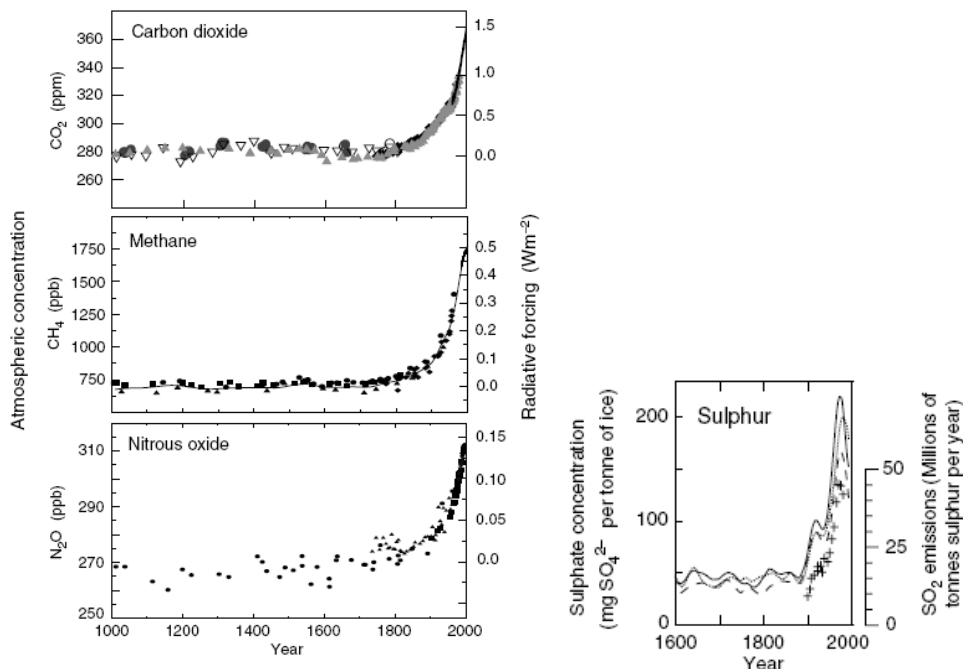


Figura 7: Indicadores da influência antropogénica na atmosfera durante a era industrial.

Fonte: IPCC

Esta mudança é principalmente devida à queima de combustíveis fósseis e à desflorestação. As mudanças regionais na temperatura estão associadas a alterações observadas em sistemas físicos, ecológicos e socioeconómicos em todo o mundo, como a retracção dos glaciares de montanha, a redução em extensão e espessura do Mar Ártico durante o verão, o florescimento antecipado e o aumento do período de crescimento das plantas na Europa, migração de espécies vegetais e animais para maiores latitudes e altitudes, migração antecipada de pássaros, branqueamento de recifes de corais e aumento de perdas económicas devido a eventos climáticos extremos.

No que se refere à precipitação observou-se nas últimas décadas, principalmente nas latitudes médias e altas do Hemisfério Norte, uma maior frequência de episódios de precipitação intensa, embora não houvesse variação significativa da precipitação média anual.

Todos os cenários, mesmo aqueles fortemente baseados em soluções ecológicas projectam um acréscimo das concentrações de GEE nos próximos 100 anos. Os vários cenários analisados chegaram às seguintes projecções:

- Aumento da temperatura média superficial da terra entre 1,4 e 5,8 °C entre 1990 e 2100, com um aumento maior para a superfície terrestre em relação aos oceanos.
- Aumento global da precipitação, com aumentos e decréscimos locais, e aumento de episódios de precipitação forte.
- Aumento da incidência de fenómenos climáticos extremos, como por exemplo inundações, secas, ondas de calor, ciclones tropicais, etc.
- Aumento do nível médio do mar de 9 a 88 cm entre 1990 e 2100.

Relativamente a impactos esperados, as principais conclusões do 3º relatório do IPCC são:

- Diminuição da disponibilidade de água em regiões de escassez de água, em especial em terras áridas e semi-áridas em regiões sub-tropicais.
- Redução da produtividade agrícola nos trópicos e sub-trópicos e nas latitudes médias.
- Mudanças na produtividade e na composição de sistemas ecológicos, sendo as florestas e os recifes de corais os mais vulneráveis.
- Aumento do risco de inundações, mudança de milhões de pessoas devido ao aumento do nível do mar e a episódios de chuvas fortes, especialmente em pequenos estados insulares e em deltas de rios de baixa altitude.

- Aumento, em especial nas regiões tropicais e sub-tropicais, da incidência da mortalidade por *stress* gerado pelo calor e do número de pessoas expostas a doenças transmissíveis por vectores ou através da água.

No início de 2007 foi lançado o quarto relatório de avaliação, “Climate Change 2007” que apresentou uma revisão da literatura científica sobre mudanças climáticas publicada desde 2001. Deste relatório foram retiradas várias conclusões. Uma delas estabelece que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, evidenciado pelas observações de aumento das temperaturas médias globais do ar e do oceano, de fusão generalizada de neve e gelo, e de subida do nível do mar. (IPCC)

A Figura 8 mostra o aquecimento do sistema climático nos últimos 150 anos. As curvas suavizadas representam valores médios decenais, enquanto os círculos indicam valores anuais. As áreas sombreadas são os intervalos estimados com base numa análise abrangente das incertezas conhecidas (a) e (b) e nas séries temporais (c).

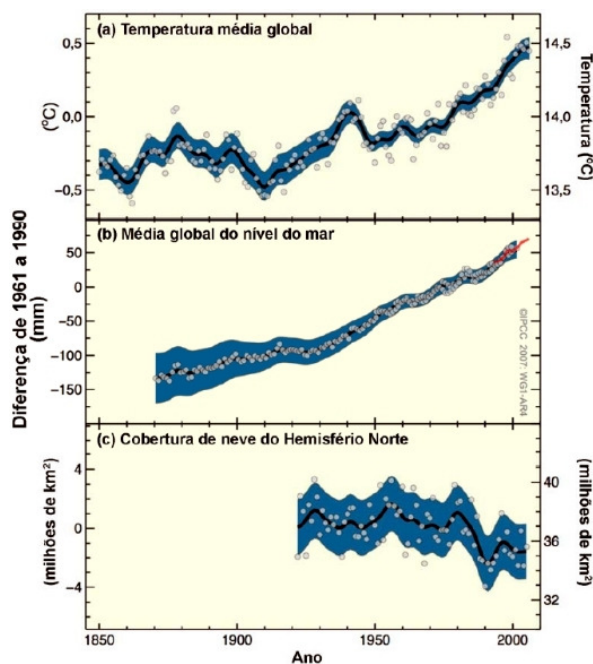


Figura 8: Mudanças observadas na (a) temperatura média global, (b) média global da subida do nível do mar a partir de dados mareógrafo (azul) e satélite (vermelho) e (c) cobertura de neve do Hemisfério Norte para o intervalo de Março a Abril. Todas as mudanças são relativas às médias correspondentes para o período de 1961 a 1990. (Fonte: adaptado do IPCC)

O aumento de temperatura verificou-se em todo mundo de forma diferenciada, sendo maior no hemisfério Norte. Na Figura 9 podemos constatar que nas regiões onde houve um

maior aquecimento foram observadas mais alterações em sistemas naturais. Os locais de mudanças significativas nas observações dos sistemas físicos (neve, gelo e solo congelado; hidrologia; e processos costeiros) e sistemas biológicos (terrestres, marinhos e de água doce) são mostrados juntamente com as mudanças na temperatura do ar da superfície ao longo do período de 1970 a 2004. As áreas brancas não dispõem de dados suficientes de observação climática para que se possa estimar uma tendência da temperatura.

Desde a década de 60 que se observou que a temperatura média do oceano aumentou em profundidade até aos 3000m uma vez que o oceano absorve mais de 80% do calor adicionado ao sistema climático. A expansão resultante dos oceanos tende a provocar a subida do nível médio do mar, em conjunto com o recuo dos glaciares e a fusão das camadas de neve de montanhas.

Por todo o globo se têm verificado variações climáticas, com consequências mais negativas numa zona que noutras. Nos últimos 100 anos as temperaturas médias no Ártico aumentaram quase o dobro em relação aos valores médios globais e as temperaturas do *permafrost*¹ subiram cerca de 3°C; a extensão de gelo do Oceano Ártico diminuiu por década entre 2,1°C e 3,3°C desde 1978. A precipitação aumentou significativamente no Norte da Europa, no Leste da América do Norte e no Norte e Centro da Ásia enquanto nos países mediterrâneos, no Sul de África e no Sul da Ásia a precipitação diminuiu. Estas variações da precipitação vão influenciar a salinidade dos oceanos. Em ambos os hemisférios, as latitudes médias, se fazem sentir ventos mais fortes verificando-se um aumento de actividade ciclónica tropical no Atlântico Norte.

¹ É o tipo de solo encontrado na região do Ártico. É constituído por terra, gelo e rochas permanentemente congeladas. Esta camada é recoberta por uma camada de gelo e neve que, se no inverno chega a atingir 300 metros de profundidade em alguns locais, ao se derreter no verão, reduz-se para de 0,5 a 2 metros, tornando a superfície do solo pantanosa, uma vez que as águas não são absorvidas pelo solo congelado.

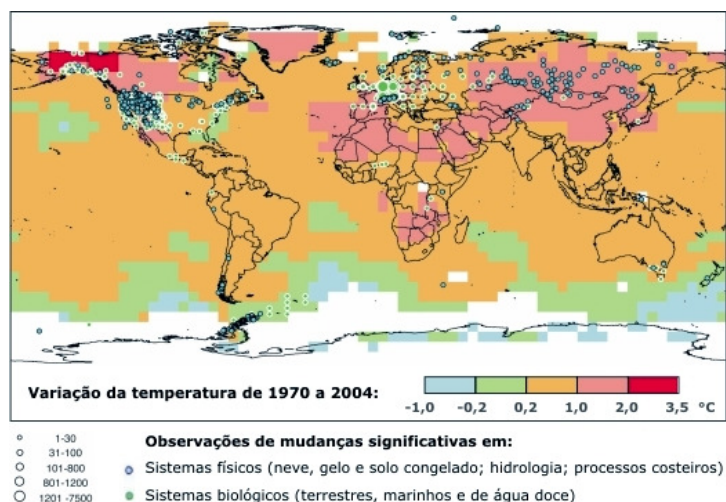


Figura 9: Mudanças significativas em sistemas físicos e biológicos e variações de temperatura de 1970 a 2004. (Fonte: adaptado do IPCC)

É provável que as influências antropogénicas afectem todas estas variações do clima. A pesquisa científica moderna sobre as bases físicas do aquecimento global fundamenta-se na construção de modelos matemáticos de simulação do sistema climático. Nestes modelos estão representadas as influências naturais e humanas.

Os forçamentos radiativos dos principais GEE foram calculados a partir das respectivas concentrações atmosféricas. Na Figura 10 encontram-se as representações gráficas das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis inseridos). As medições são obtidas a partir de testemunhos de gelo (símbolos com diferentes cores para os diferentes estudos) e amostras atmosféricas (linhas vermelhas). Os forçamentos radiativos correspondentes são mostrados nos eixos do lado direito dos painéis grandes.

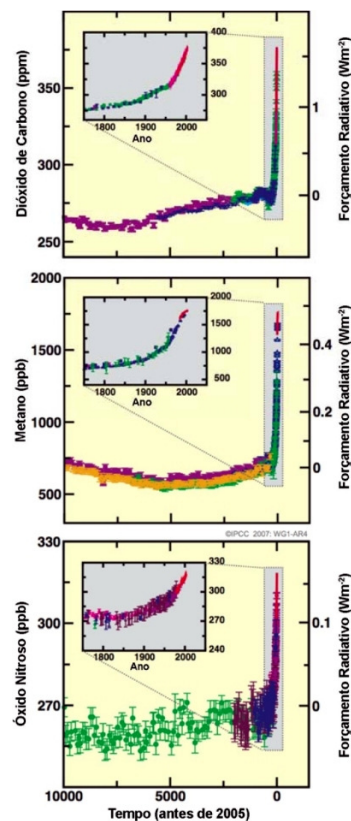


Figura 10: Mudanças nos GEE de testemunhos de gelo e de dados actuais. (Fonte: Adaptado do IPCC)

Uma outra conclusão deste 4º relatório refere que os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. E, conclui também, que os aumentos da concentração de metano e óxido nítrico são devidos principalmente à agricultura.

Reconhecendo que os modelos de simulação fazem simplificações e estão sujeitos a erros e incertezas, o IPCC conclui que é muito provável, com mais de 90% de certeza, que a maior parte do aumento observado nas temperaturas globais médias desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas concentrações antropogénicas de GEE.

É provável, com mais de 66% de certeza, que a sensibilidade climática de equilíbrio esteja na entre 2°C e 4,5°C, com uma melhor estimativa de cerca de 3°C.

As previsões científicas para o clima da Terra no futuro são elaboradas utilizando modelos matemáticos. Os resultados, contudo, dependem da quantidade de GEE que será emitida nos próximos anos. Para padronizar o trabalho dos pesquisadores, e fornecer uma base comum de comparação de resultados, o IPCC publicou no ano 2000 um Relatório Especial com vários cenários de emissões para o século XXI. Estes cenários foram utilizados nas projecções para o clima apresentadas no 4º Relatório de Avaliação do IPCC.

A representação gráfica da figura 11 apresenta a média das projecções para o aquecimento superficial do planeta de vários modelos de simulação, para alguns cenários de emissões do *Special Report on Emission Scenarios* (SERS) (ver secção 3.5). O sombreado representa o intervalo de ± 1 desvio padrão para as médias anuais individuais dos modelos. A linha alaranjada representa o aquecimento quando as concentrações foram mantidas constantes nos valores do ano 2000. As colunas cinzas à direita indicam a melhor estimativa (linha contínua dentro de cada coluna) e o intervalo provável avaliado para os seis cenários marcadores do SERS.

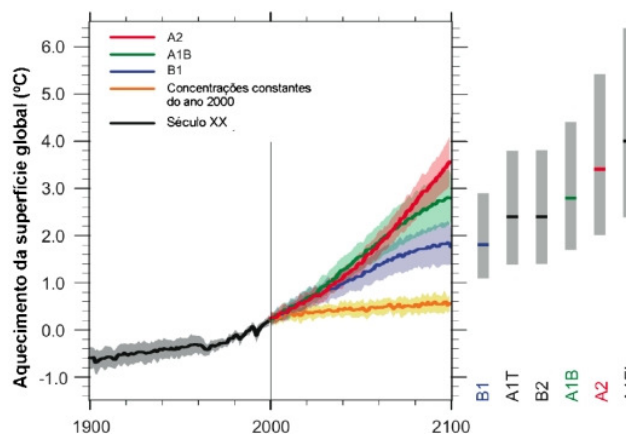


Figura 11: Médias globais do aquecimento da superfície produzidas por vários modelos. (Fonte: Adaptado do IPCC)

Para as próximas duas décadas, projecta-se um aquecimento de cerca de 0,2°C por década segundo os cenários de emissões do SERS. Mesmo que as concentrações de todos os

gases de efeito estufa e aerossóis se mantivessem constantes nos níveis do ano 2000, seria esperado um aquecimento adicional de cerca de 0,1°C por década.

As projecções indicam um aquecimento maior do hemisfério Norte, onde há mais poluição. A exactidão e a fiabilidade destas projecções podem ser avaliadas pelo grau de concordância entre os diversos modelos independentes avaliados no 4º relatório. Em consequência deste aumento esperado da temperatura média do planeta:

- Projecta-se que o gelo marinho diminua tanto no Ártico como na Antárctica em todos os cenários do SERS. Em algumas projecções, o gelo marinho ártico do final do verão desaparece quase completamente até a última parte do século XXI.
- É muito provável que extremos de calor, ondas de calor e eventos de forte precipitação continuem a ser mais frequentes.
- Com base em vários modelos é provável que os futuros ciclones tropicais (tufões e furacões) fiquem mais intensos, com maiores máximos de velocidade de ventos e precipitação extrema associados aos aumentos actuais das temperaturas de superfície do mar nos trópicos.
- Processos dinâmicos relacionados com o fluxo de gelo que não constam dos modelos actuais mas foram mencionados em observações recentes poderão aumentar a vulnerabilidade dos mantos de gelo ao aquecimento, aumentando a futura elevação do nível do mar. A compreensão desses processos é limitada e não há consenso sobre a sua magnitude.
- O aquecimento antropogénico e a elevação do nível do mar continuariam durante séculos devido às escalas de tempo associadas aos processos climáticos, mesmo que as concentrações de gases de efeito estufa se estabilizassem.
- Tanto as emissões antropogénicas de dióxido de carbono passadas quanto as futuras continuarão a contribuir para o aquecimento e a elevação do nível do mar por mais de um milénio, devido às escalas de tempo necessárias para a remoção desse gás da atmosfera. (IPCC)

Quanto aos impactos resultantes das mudanças climáticas, o 2º grupo de trabalho do IPCC afirma que todos os continentes e a maioria dos oceanos evidenciam que muitos sistemas naturais estão a ser afectados pelas alterações climáticas regionais, particularmente pelo aumento da temperatura. Com alto nível de confiança, este grupo de trabalho afirma que as alterações climáticas originaram mais e maiores lagos glaciares, alterações de alguns ecossistemas árticos e antárcticos, aumento de avalanches nas regiões montanhosas, alterações em algas, plâncton, peixes e zooplâncton com a subida da temperatura e alterações nas zonas cobertas de gelo, na salinidade, nos níveis de oxigénio dissolvido e na

circulação da água. Com muito alto nível de confiança, este grupo afirma que as alterações climáticas estão a afectar os sistemas biológicos terrestres com os acontecimentos característicos da Primavera como a postura de ovos, migração, e desdobramento de folhas e vegetação estarem a acontecer mais cedo.

Face às evidências crescentes do fenómeno global das alterações climáticas, em 1992 na Cimeira de Terra no Rio de Janeiro, foi assinada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC), ratificada por vários países. Tem como principal objectivo conseguir a estabilização das concentrações na atmosfera de GEE a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático. Esta Convenção obriga todos os países signatários a estabelecer programas nacionais de redução das emissões de GEE, com apresentação de relatórios regulares.

A CQNUAC considera que todos os países são responsáveis pelas emissões de GEE e por isso têm o dever de participar no esforço de redução dessas emissões, embora o problema tenha tido origem num determinado grupo de países desenvolvidos.

Mais tarde foi adoptado o Protocolo de Quioto, em 10 de Dezembro de 1997, com novos acordos e mais exigentes. Este estabelece limites juridicamente vinculativos para as emissões de GEE em países industrializados e prevê mecanismos de implementação inovadores baseados no mercado com vista a manter os custos da contenção das emissões a um nível tão baixo quanto possível. Ao abrigo do Protocolo de Quioto, os países industrializados devem reduzir as emissões de seis GEE, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonetos, perfluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre, em média 5% relativamente aos níveis de 1990 durante o primeiro período de cumprimento de 2008 a 2012. Não são fixados objectivos em matéria de emissões para os países em desenvolvimento.

Portugal, enquanto membro da União Europeia (UE), está vinculado à aprovação daquele instrumento jurídico internacional, de forma a contribuir para o alcance dos objectivos, europeu e internacional, de uma efectiva redução global das emissões de GEE. Neste contexto Portugal deve limitar o aumento das suas emissões em 27% relativamente a 1990, até ao período de 2008-2012, beneficiando de uma maior margem de aumento.

Com o lançamento do Programa Europeu para as Alterações Climáticas em 2000, a Comissão Europeia redefiniu a sua estratégia com o objectivo de cumprir a redução das emissões a que se comprometeu no âmbito do Protocolo de Quioto: para além de prever o reforço das políticas e medidas de redução das emissões, propõe também um sistema de comércio de direitos de emissão na UE, o mercado de carbono, para o sector da energia e para as grandes instalações industriais.

3.3.2 Situação Nacional

No nosso país e seguindo a política preconizada pela UE, em 1998 foi criada a Comissão para as Alterações Climáticas, presidida pelo Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTDR) e ligada a outros ministérios, com o objectivo principal de definir a estratégia nacional em matéria de alterações climáticas. Esta Comissão deve também elaborar relatórios nacionais sobre esta matéria, acompanhar a realização das medidas, programas e acções adoptadas pelo Governo, dar assessoria técnica e científica e propor ao Governo medidas que considere adequadas para o cumprimento dos compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto e da UE. Em 2001 foi aprovada uma resolução que definia as grandes linhas da Estratégia Nacional para as Alterações Climáticas:

- Criar condições que permitam cumprir o objectivo de limitação das emissões de GEE;
- Observar e estudar o clima e caracterizar a vulnerabilidade do nosso país;
- Alargar o alcance das políticas e medidas de âmbito sectorial;
- Potenciar o recurso aos mecanismos do mercado referido no Protocolo de Quioto;
- Estudar os sistemas de gestão florestal e de uso agrícola do solo;
- Alargar a informação ao público e aos sectores mais jovens da sociedade;
- Ampliar o papel da Comissão para Alterações Climáticas;
- Estabelecer uma estrutura operacional; e
- Desenvolver e aperfeiçoar um sistema de informação e comunicação.

De 17 de Julho a 4 de Setembro de 2009 está em discussão e disponível, para consulta pública, uma proposta de Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas. Este documento encontra-se estruturado sob quatro objectivos:

- Informação e conhecimento, que constitui a base de todo o exercício de adaptação às alterações climáticas e foca-se sobre a necessidade de consolidar e desenvolver uma base científica e técnica sólida;
- Reduzir a vulnerabilidade e aumentar a capacidade de resposta, que constitui o fulcro desta estratégia, e corresponde ao trabalho de identificação, definição de prioridades e implementação das principais medidas de adaptação;
- Participar, sensibilizar e divulgar, que identifica o imperativo de levar a todos os agentes sociais o conhecimento sobre alterações climáticas e a transmitir a necessidade de acção e, sobretudo, suscitar a maior participação possível por parte desses agentes na definição e implementação desta estratégia;

- Cooperar a nível internacional, que aborda as responsabilidades de Portugal em matéria de cooperação internacional na área da adaptação às alterações climáticas, bem como no acompanhamento das negociações levadas a cabo nos diversos *fora* internacionais. (Comissão Para as Alterações Climáticas, 2009)

O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), versão 2001, é o primeiro programa nacional desenvolvido com o objectivo específico de controlar e reduzir as emissões de GEE, de modo a que Portugal respeite os compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto e do Acordo de Partilha de Responsabilidades no seio da UE. Deve também antecipar os potenciais impactos das alterações climáticas e propor medidas de adaptação que visam reduzir os aspectos negativos desses impactos.

Com a elaboração das duas primeiras versões do PNAC entre 2001 e 2004, foi possível resumir e produzir a informação técnica necessária para se ter uma visão abrangente do problema e definir um conjunto de medidas e instrumentos visando um maior controlo das emissões de GEE.

As estimativas de evolução de emissões de GEE até 2010 realizadas no âmbito do PNAC mostram que sem a adopção de novas medidas e/ou intensificação de algumas não será possível cumprir os compromissos nacionais assumidos. Em 2006 foi aprovada uma nova versão do PNAC para reforçar a monitorização dos diversos sectores, alargar o esforço de cumprimento do Protocolo de Quioto e reforçar a verba do Fundo Português do Carbono. Em Janeiro de 2007 foram revistas e aprovadas novas metas, que se referem a políticas e medidas no sector de oferta de energia, em particular o aumento da participação das fontes renováveis do gás natural, e a uma aceleração da taxa de penetração dos biocombustíveis nos transportes.

O Projecto SIAM (Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures) teve início em 1999 com o objectivo de realizar uma avaliação integrada da vulnerabilidade e de adaptabilidade dos sistemas naturais e sociais, assim como os impactos e medidas de adaptação e mitigação às alterações climáticas em Portugal Continental no século XXI. Neste sentido foram realizados estudos baseados em cenários de clima futuro, obtidos a partir de Modelos de Circulação Geral (MCG) (ver capítulo 3.6) da atmosfera e incidiram sobre um conjunto de sectores socioeconómicos e sistemas biofísicos tais como recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde humana, energia, florestas e biodiversidade e pescas.

Relativamente ao clima de Portugal Continental os estudos do SIAM I registam que a temperatura média do ar no período 1931-2000 apresenta uma tendência crescente desde a década de 1970, tendo os 6 anos mais quentes ocorrido nos últimos 12 anos (Figura 12).

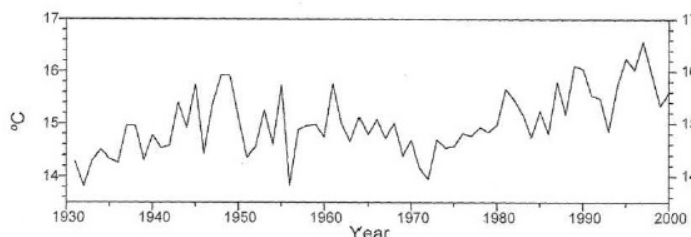


Figura 12: Temperatura média do ar em Portugal Continental: média regional no período de 1931-2000. (Fonte: SIAM I)

O aumento da temperatura média resultou de uma subida maior de temperatura mínima diária do que da temperatura máxima diária, embora ambas tenham aumentado no período de 1976-2000, o que corresponde a um decréscimo da amplitude térmica diária em muitas estações climáticas portuguesas.

A precipitação média anual em Portugal é de cerca de 960 mm com uma variação espacial muito significativa. Os dados da precipitação no período 1931-2000, revelam uma tendência decrescente generalizada, que se torna mais pronunciada a partir de 1976. A partir deste ano existem também diferentes tendências de precipitação entre estações do ano, com uma redução significativa de precipitação acumulada na Primavera. As tendências observadas parecem implicar uma redução da duração da estação das chuvas. Na última metade do século XX, os dados climáticos de Portugal Continental sugerem uma tendência para um aumento de episódios meteorológicos extremos. Esta tendência traduz-se num crescimento de dias de seca consecutivos, e também num crescimento do máximo anual de precipitação acumulada em cinco dias consecutivos, o que constitui um indicador de ocorrência de cheias. Os dados climáticos revelam também um aumento da frequência de secas severas e extremas, principalmente no sul do País, nos últimos dez anos.

Relativamente ao clima futuro, o SIAM I aplica o modelo que utiliza o cenário IS92a do IPPC que consiste numa duplicação do forçamento radiactivo dos GEE até ao fim deste século.

O estudo da previsão da evolução da temperatura média feita por diferentes MCG mostra uma tendência crescente e um aquecimento significativo durante o século XXI. Para 2100 a maioria dos MCG projectam um aumento da temperatura entre 4°C e 7°C.

No que se refere à precipitação, quase todas as simulações projectam uma diminuição anual cujo valor mais provável é da ordem dos 100mm. O padrão de distribuição mensal de precipitação, obtido com os MCG, mostra um aumento no Inverno, um decréscimo substancial na Primavera, particularmente em Abril e Maio, e diminuições menores no Verão e no Outono.

No período de 2080-2100, o modelo regional HadRM projecta uma média das temperaturas mínimas no Inverno variando entre 6°C e 16°C, enquanto actualmente o intervalo é de 2°C a 12°C. Para os meses de Verão, a temperatura máxima sofre um aumento que pode ultrapassar os 9°C em algumas regiões do interior centro. O número de dias em que a temperatura máxima ultrapassa os 35°C aumenta significativamente em todo o País.

A precipitação anual projectada pelo modelo regional e para o período 2080-2100 decresce em quase todo o País, principalmente no Alentejo. No Inverno a precipitação aumenta de 20% a 50% e decresce em todas as outras estações do ano. A precipitação acumulada em dias de precipitação intensa (>10mm/dia) tende a aumentar e a ocorrer no Inverno. Este padrão de alteração pode aumentar significativamente o risco de episódios de cheias. (SIAM I)

Iniciada em 2002, a segunda fase do Projecto SIAM aprofunda as investigações realizadas durante a primeira fase do Projecto, lançado em 1999, que teve como objectivo a realização da primeira avaliação integrada dos impactos e medidas de adaptação às alterações climáticas em Portugal Continental no século XXI.

De acordo com as conclusões da segunda fase do projecto SIAM apresentadas sob a forma de livro com o título “Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II”, os efeitos do aquecimento global no futuro tendem a manter as médias de temperatura mais elevadas e períodos mais longos de seca, com algumas vagas de frio. As secas poderão continuar a ser alternadas com a ocorrência de precipitação muito intensa, aumentando o risco de cheias e desabamento de terras. Neste sentido, o Projecto SIAM II prevê para Portugal um aquecimento global em aceleração, com taxas de aquecimento acima da média global, com impactos significativos em diversos sectores económicos, como por exemplo na produtividade da agricultura, com impactos nos recursos hídricos e na geografia do litoral pela pressão que exerce a subida do nível do mar. A erosão já afecta 67% do litoral e tem tendência a aumentar. O Projecto inclui também a primeira avaliação integrada da vulnerabilidade e adaptabilidade das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira aos impactos das alterações climáticas nos vários sectores socioeconómicos e sistemas biofísicos, bem como o estudo de uma região especialmente vulnerável do Continente, a bacia hidrográfica do rio Sado. Esta região é especialmente vulnerável nos sectores dos recursos hídricos, da agricultura, das florestas e da biodiversidade e inclui uma vasta área estuarina potencialmente vulnerável à subida do nível médio do mar.

Os cenários disponíveis sugerem importantes alterações climáticas no Continente e nas ilhas. A alteração do regime de precipitação é preocupante no Continente. Espera-se menos precipitação e redução da duração da estação das chuvas e na Madeira prevê-se bastante menos chuva de Inverno e anual. Foram também construídos cenários climáticos futuros para

várias ilhas dos arquipélagos dos Açores e Madeira. Posteriormente foi realizado um estudo multisectorial e integrado dos impactos das alterações climáticas nas ilhas da Madeira e Porto Santo. De um modo geral os sectores dos recursos hídricos, agricultura, florestas e biodiversidade, zonas costeiras e saúde humana são os mais vulneráveis. Os cenários indicam também alguns impactes extremamente severos para a Região do Sado, em particular no caso da agricultura e da floresta em que a viabilidade de algumas espécies está definitivamente posta em causa. Relativamente aos recursos hídricos prevê-se a diminuição da disponibilidade de água, o aumento dos problemas de qualidade de água, a degradação dos ecossistemas fluviais muito dependentes da água subterrânea e o aumento do risco de cheia.

É desejável no futuro poder dispor de avaliações dos impactos e medidas de adaptação para as grandes regiões do país que permitam identificar os sectores mais vulneráveis e as estratégias de adaptação mais adequadas para cada região. A maior ênfase nos impactos e medidas de adaptação a nível local e regional facilita o processo de divulgação e sensibilização junto dos agentes mais directamente envolvidos na problemática da mudança do clima e do público em geral. A mitigação e a adaptação são duas respostas complementares e sinérgicas para combater os riscos das alterações climáticas, que deverão desenvolver-se simultaneamente de forma integrada. (SIAM II)

3.4 Impactos das Alterações Climáticas

Face às alterações evidentes no sistema climático com tendência para se agravarem ao longo do século XXI torna-se imperativo avaliar os potenciais impactos sobre os vários sistemas naturais e sociais, e a sua vulnerabilidade face às alterações climáticas.

Segundo o que o projecto SIAM conclui em resultado das acções antropogénicas, em Portugal verificar-se-á um aumento da temperatura média global da atmosfera, alterações na distribuição espacial e temporal de precipitação ao longo do ano, alterações na frequência e intensidade de fenómenos climáticos extremos e aumento do nível médio do mar. Estes efeitos afectarão com maior ou menor intensidade os vários sistemas naturais e sociais como recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde humana, florestas, biodiversidade, pescas, energia, zonas urbanas, turismo e seguros. Os impactos negativos serão particularmente graves nas regiões e países em desenvolvimento com menor capacidade de adaptação de forma a minimizá-los.

3.4.1 Agricultura

A agricultura constitui uma das actividades mais directamente afectadas pelas condições climáticas. A distribuição actual das culturas agrícolas é condicionada pelo clima, pelo tipo de solo e pela disponibilidade de água para irrigação. O SIAM I selecciona para o estudo da estimativa dos impactos da mudança climática na agricultura duas das culturas mais importantes: o trigo e o milho. O SIAM II estuda também a cultura do arroz, das pastagens e das forragens.

A produtividade das plantas irá aumentar com concentrações elevadas de CO₂ aumentando a eficiência do uso da água. Mas temperaturas mais elevadas irão apressar o desenvolvimento das culturas e aumentar a necessidade de água. Esperam-se problemas de *stress* hídrico no Verão para as culturas de sequeiro e estima-se uma deslocação das áreas de cultivo para norte devido aquecimento.

As mudanças no clima anteciparão as datas tradicionais de sementeira para estes tipos de cultura e provocarão um aumento de cerca de 30% das necessidades de água. Como é provável que a disponibilidade de água para rega sofra uma diminuição, particularmente no Sul de Portugal, a agricultura possivelmente debater-se-á entre um aumento da necessidade de água e uma menor disponibilidade de água.

Existe potencial para a expansão da área de cultura da vinha, característica de um clima mais quente.

O aquecimento global levará provavelmente a uma maior incidência de pragas e infestantes, porém espera-se que a grande incidência actual de doenças provocadas por fungos seja reduzida num cenário de menor precipitação na Primavera.

3.4.2 Zonas Costeiras

Os ambientes costeiros e marinhos estão intimamente ligados ao clima de diversas formas. Os impactos das alterações climáticas nos oceanos são o aumento da temperatura superficial dos oceanos, o aumento do nível médio das águas do mar, alterações no regime das ondas, na circulação oceânica, na salinidade e na cobertura do gelo oceânico.

O aquecimento global e o aumento do nível médio das águas do mar têm impactos significativos nas zonas costeiras, tais como: aumento do risco de inundações e a deslocação de zonas húmidas, a aceleração da erosão costeira, o aumento das inundações associadas às tempestades, a intrusão salina nos aquíferos de água doce e a penetração da água salgada nos estuários.

Mediante a análise dos resultados realizada no projecto SIAM I, o risco de perda de terreno nas zonas costeiras, devido à subida do nível médio do mar, é cerca de 67%.

3.4.3 Saúde Humana

A redução e a identificação dos perigos ambientais para a saúde humana têm tido uma evolução lenta. A qualidade do ar e da água continuam a apresentar riscos significativos para a saúde humana.

Os principais impactos das alterações climáticas neste domínio manifestar-se-ão: no aumento potencial de mortes relacionadas com o calor devido a temperaturas extremas; no aumento potencial de doenças transmitidas pela água e pelos alimentos quando contaminados com biotoxinas e elementos patogénicos cujo crescimento é promovido pelo aumento de temperatura; no aumento potencial de problemas na saúde relacionados com a poluição atmosférica devido à possibilidade dos níveis de ozono troposférico e de alérgenos de transmissão aérea poderem aumentar com o aquecimento; e em alterações potenciais do risco de doenças transmitidas por vectores (mosquitos, carraças, etc.) e roedores cujo risco de transmissão aumenta com o aumento de temperatura e a variabilidade da precipitação.

3.4.4 Turismo

O estudo realizado em Portugal em três distritos costeiros, Lisboa Porto e Faro, sobre avaliações regionais das alterações climáticas e as suas potenciais implicações na actividade turística sugere um aumento dos meses com dias confortáveis e de ligeiro *stress* pelo calor em Lisboa e Porto. Já para Faro está prevista uma diminuição. Espera-se também um aumento significativo do número de meses com dias de stress extremo pelo calor em todos os distritos afectando principalmente o distrito de Faro. Esta situação poderá traduzir-se em aumentos nos impactos associados com o calor, como é o caso da exaustão e do aumento da mortalidade. Estes impactos adversos sobre a saúde podem diminuir a atracção turística aos locais nos meses mais quentes.

3.4.5 Pescas

Até ao final do século XXI, a temperatura superficial do mar poderá sofrer um aumento na ordem dos 4°C. Estão previstas também alterações no regime dos ventos com consequências para o afloramento costeiro. A intensificação do vento poderá também contribuir para um acréscimo da turbulência das camadas superficiais com potenciais impactos sobre a distribuição e abundância dos organismos marinhos e do seu alimento.

A subida do nível médio do mar ocasionará inevitáveis perdas de sobrevivência das espécies das zonas costeiras. O aumento de temperatura originará uma migração para Norte de muitas espécies marinhas e estuarinas que poderá favorecer o crescimento anormal de algas tóxicas e a mortalidade de espécies de bivalves.

As espécies que actualmente caracterizam o ecossistema costeiro português poderão ser substituídas por outras com maior resistência à temperatura.

3.4.6 Energia

As actividades relacionadas com o carvão, petróleo, gás e abastecimento de água e electricidade constituem o sistema energético português.

A resposta deste sector às alterações climáticas foi estudada nas perspectivas da oferta e da procura de energia.

Na oferta, os impactos nas centrais termoeléctricas não serão significativos, mas prevê-se um aumento de produção nas centrais hidroeléctricas a Norte e redução de produção nas restantes centrais hidroeléctricas. Prevê-se também um aumento nas perdas no transporte e distribuição de electricidade, melhor desempenho dos sistemas solares de aquecimento e efeitos pouco significativos nos sistemas oceânicos e eólicos.

Os impactos na procura traduzir-se-ão no decréscimo das necessidades de aquecimento em edifícios, no aumento acentuado das necessidades de arrefecimento ambiente e na pequena mas significativa redução nos consumos de energia para água quente. Assim, os picos de consumo de energia serão transferidos do Inverno para o Verão.

3.4.7 Florestas e Biodiversidade

As florestas para além do valor económico desempenham várias funções importantes no domínio ambiental, actuando como filtros para determinadas substâncias poluidoras. Por outro lado as florestas constituem uma importante reserva de biodiversidade que deve ser preservada.

As alterações climáticas provocarão vários impactos neste sector:

Produtividade da Floresta e balanço de Carbono

O cenário climático futuro com aumento de deficiência hídrica sugere um decréscimo de produtividade primária líquida², afectando o funcionamento do ecossistema, a produção de matérias-primas pela floresta e a capacidade de sequestro de carbono. Nas zonas mais húmidas e frias do País, onde se prevêem precipitações relativamente elevadas no futuro, pelo contrário, poderão ocorrer aumentos da produtividade primária líquida. Também se prevê a substituição dos tipos de floresta nalgumas áreas desde que a migração natural das espécies disponha de tempo suficiente, o que é pouco provável. Assim, a vegetação existente ficará sujeita a maiores *stresses* ambientais. É também provável o aumento no futuro da frequência de fenómenos climáticos extremos e do risco meteorológico de incêndio. Estes fenómenos potenciam o risco de perdas de produtividade e subsequente degradação do solo. Apesar de actualmente a capacidade de armazenamento de carbono das florestas portuguesas ser elevada, no futuro esta capacidade deverá diminuir devido ao decréscimo ou aumento ligeiros da produtividade primária líquida, à diminuição da biomassa, às alterações de distribuição de vegetação, ao aumento da frequência de incêndios, ao aumento de respiração do solo com Invernos mais quentes e à diminuição do carbono armazenado no solo.

Migração e extinção de espécies florestais chave

É pouco provável que a migração natural da maioria das espécies florestais ocorra sem intervenção do Homem, dada a rapidez prevista para as alterações climáticas. Serão portanto necessárias acções de reflorestação com espécies melhor adaptadas às futuras condições climáticas. Algumas espécies florestais poderão sofrer mortalidade severa nas zonas mais secas da sua distribuição actual, sendo as regiões interiores e meridionais as mais susceptíveis devido ao aumento relativo da aridez.

Mudança Climática nos Fogos florestais

Prevê-se um aumento substancial do risco meteorológico de incêndio em todo o País, e o prolongamento da época de incêndios.

Mudança Climática nas pragas e doenças

O aumento de temperatura poderá estimular as taxas de crescimento das populações de insectos existentes. A maior aridez das regiões interiores e meridionais poderá aumentar os danos causados por pragas.

Os Invernos mais quentes e húmidos poderão favorecer os surtos de fungos patogénicos causando a morte das árvores ou aumentando a vulnerabilidade aos Verões secos e aos ataques

² Taxa de armazenamento de matéria orgânica nos organismos autotróficos.

por outras pragas. A globalização do comércio e o clima mais quente em Portugal aumentarão o risco de invasão por pragas e doenças de origem tropical ou subtropical.

Mudança Climática na Biodiversidade e áreas protegidas

Algumas populações animais correrão o risco de extinção, principalmente as que possuem distribuição limitada, habitats específicos ou população reduzida, pois poderão não conseguir adaptar-se à alteração do clima tão rápidas. O mesmo poderá acontecer às populações com baixas capacidades de reprodução e dispersão.

Com clima em Portugal a tornar-se mais quente, a biodiversidade será ameaçada pelo risco de invasão por espécies exóticas tropicais.

As áreas protegidas, com papel importante na conservação da biodiversidade, foram classificadas com base na vulnerabilidade das comunidades vegetais e animais e factores antropogénicos face às alterações esperadas na vegetação e à expansão das zonas semi-áridas. As áreas protegidas com vulnerabilidade muito elevada são o Vale Guadiana e a Costa Vicentina e com vulnerabilidade elevada o Douro Internacional, o Estuário do Rio Tejo e Montesinho.

3.5 Alterações Climáticas e os Recursos hídricos

As mudanças climáticas de origem natural ou antropogénica, têm um impacto generalizado na sociedade e o seu efeito nos recursos hídricos é normalmente sentido através das alterações na disponibilidade, na necessidade e na qualidade da água. Desde que se começou a discutir o problema das alterações climáticas resultantes do aquecimento global, foi reconhecido que poderiam ocorrer alterações no ciclo hidrológico e na gestão dos recursos hídricos, com consequências significativas em vários sectores da economia, da sociedade e do ambiente.

No ciclo hidrológico esperam-se as seguintes mudanças climáticas: aumento global da precipitação média, da evaporação e da evapotranspiração, aumento da temperatura média global e regional, aumento da humidade atmosférica, alteração dos padrões de precipitação, nomeadamente frequência, intensidade e extremos, redução de glaciares, intensificação do degelo em épocas diferentes e elevação do nível médio do mar.

Os últimos resultados do IPCC, à escala global, apontam para uma subida da temperatura média global entre 0,8°C e 2,6°C em 2050 e entre 1,4°C e 5,8°C em 2100, consoante o cenário de emissões considerado.

A incerteza associada às previsões da precipitação é maior e não se distribui igualmente por todas as regiões do planeta. Embora se preveja um aumento global da precipitação, em algumas regiões poderão ocorrer diminuições. Os diferentes modelos climáticos apontam para um aumento da precipitação para as regiões a latitudes mais elevadas e para as regiões equatoriais. Para regiões a mais baixa latitude, a maioria dos cenários sugere uma redução da precipitação.

Na Europa espera-se que a temperatura média anual aumente cerca de 0,4°C por década. Com o aquecimento, prevêem-se cheias na Europa Central, problemas energéticos, de saúde e problemas nos ecossistemas no norte europeu e problemas de escassez de água no Sul da Europa. O Sul da Europa será uma região particularmente afectada pelo aumento da temperatura, principalmente no Verão, onde se espera um aquecimento com uma taxa de crescimento muito maior que no Norte deste continente. A precipitação média anual no Sul da Europa tenderá a decrescer a uma taxa de 1% por década; prevêem-se invernos mais húmidos devido a um aumento da precipitação de 1% a 4% por década e os verões com uma redução da precipitação de cerca de 5% por década. O escoamento anual desta região da Europa, face a estes cenários, diminuirá, com os riscos de as secas estivais a aumentarem e os episódios de chuva intensa a serem mais frequentes no Inverno potenciando a ocorrência de inundações. Também se espera que aumente a frequência e a intensidade das ondas de calor.

As mudanças na precipitação, o aumento da temperatura, a diminuição das camadas de gelo e os episódios climáticos extremos observados nas últimas décadas, terão impactos na quantidade e na qualidade da água. É necessário portanto que o planeamento e o investimento dos sistemas de gestão de recursos hídricos tenham em conta as alterações climáticas.

Portugal ocupa uma posição confortável no que respeita a valores médios de disponibilidade de água quando comparado com outros países europeus. No entanto, a disponibilidade de água varia significativamente no espaço e no tempo.

De acordo com o Plano Nacional da Água (PNA), a precipitação média anual em Portugal é cerca de 960mm mas apresenta uma variação espacial muito acentuada, entre cerca de 2200mm na bacia do Lima e Cávado e 550mm na bacia do Guadiana e no interior da bacia do Douro. A precipitação tem também uma forte distribuição sazonal, com cerca de 70% a 80% de precipitação a ocorrer no período de Novembro a Abril. A variabilidade interanual também é significativa, por exemplo, no período de 1940-1991 a precipitação média anual variou entre 550mm e 1450mm. Em termos relativos a variabilidade aumenta de Norte para Sul.

Portugal Continental possui quinze bacias hidrográficas (figura 13), sendo a bacia do Tejo a maior do País. Esta bacia separa o Norte mais húmido do Sul mais seco.

Portugal partilha com Espanha cinco bacias hidrográficas: Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana. O escoamento médio anual é de 380mm, com um regime muito irregular. Os maiores valores de escoamento são observados nas bacias do Noroeste, e os valores mínimos nas bacias do Sado e Guadiana. Os escoamentos mais elevados ocorrem durante o Inverno, seguindo-se uma diminuição acentuada nos meses de Verão. A ocorrência de cheias é um problema frequente que afecta as pequenas e grandes bacias de todo o território.

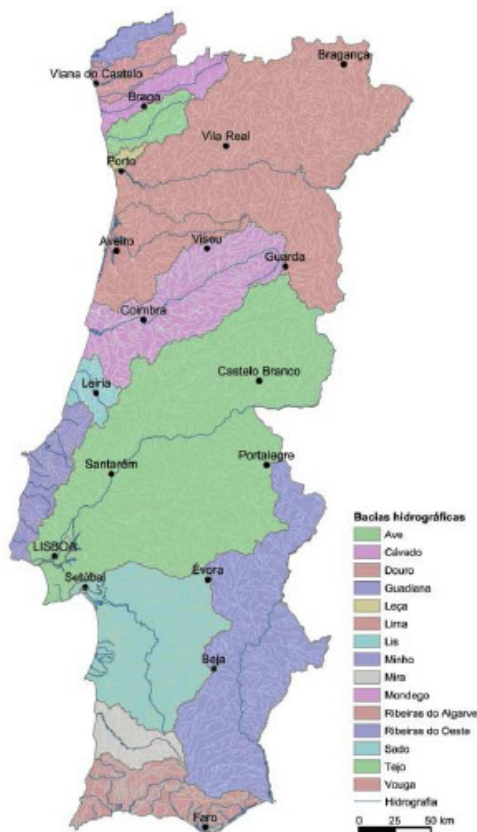


Figura 13: Bacias Hidrográficas de Portugal Continental. (Fonte: SIAM II)

Como existe uma grande variabilidade temporal das variáveis hidrológicas, o conceito de disponibilidades hídricas superficiais deve ser sempre associado ao valor da probabilidade de existirem condições para satisfazer as necessidades de água. No entanto, a satisfação de um determinado volume anual de água não significa que ao longo do ano sejam satisfeitas as necessidades de água, pois aos valores de escoamento gerado em Portugal é necessário adicionar a contribuição proveniente de Espanha, nas bacias internacionais. Em regime natural, escoam cerca de 53 km³ de água, vindos de Espanha que se adicionam a cerca de 30 Km³ gerados em Portugal.

A recarga de aquíferos pode definir-se como a água infiltrada de escoamento vertical, que atinge a superfície freática. Num sistema hidrológico, as principais fontes de recarga são

a precipitação directa, os cursos de água e lagos, os fluxos interaquíferos, o retorno de regas e as infiltrações de águas residuais urbanas e industriais. Os valores de recarga em Portugal Continental variam entre os 5% para os xistos até valores superiores a 50% para as formações cársicas. A maior dispersão ocorre nas orlas Ocidental e Meridional.

A variação sazonal do escoamento em geral não coincide com a distribuição das necessidades. Na Primavera e no Verão a necessidade de água é mais elevada e o escoamento é mais reduzido.

Para aumentar o valor da disponibilidade hídrica e garantir a satisfação das necessidades de água durante todo o ano recorre-se à construção de barragens, cujas albufeiras permitem armazenar os excedentes de água nos períodos de maior precipitação e libertá-los nos períodos mais secos.

As bacias com maiores disponibilidades hídricas são as bacias do Douro, Tejo e Minho e a que apresenta um maior aumento relativo das disponibilidades hídricas resultantes da capacidade de armazenamento instalada é bacia do Sado. (Ver anexo A - tabela III)

O volume de água subterrânea que o aquífero ou a formação hidrogeológica pode fornecer em condições naturais define as disponibilidades hídricas subterrâneas. Os maiores valores estão associados a aquíferos cársicos e os menores às formações cristalinas. A sua distribuição é claramente assimétrica em Portugal Continental.

Relativamente às necessidades e consumos de água, as utilizações mais importantes são o abastecimento público e industrial, a agricultura, o turismo, a produção de energia, a aquacultura, a navegação e as actividades de recreio. A maioria das utilizações referidas é consumptiva³, com excepção da energia eléctrica, a aquacultura, a navegação e as actividades recreativas. As necessidades anuais de água no Continente, estimadas pelo PNA, ascendem a 10000hm³. O sector agrícola é o maior consumidor das disponibilidades hídricas utilizando quase 75% dos recursos naturais.

3.5.1 Impactos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos

O impacto das alterações climáticas na gestão dos recursos hídricos faz-se sentir quer do lado da oferta quer do lado da procura. No que diz respeito à oferta, o aumento da temperatura, associado à alteração do regime da precipitação, conduzirá a variações do volume da distribuição temporal das disponibilidades de água. A alteração da qualidade dos

³ Utilizam o meio hídrico para captar água, devolvendo apenas uma pequena parcela do volume de água captada. (SIAM II)

recursos hídricos superficiais e subterrâneos tem também impactos na quantidade de água disponível e com qualidade adequada para os diversos usos. A água utiliza-se em actividades domésticas, industriais, agrícolas, energéticas, de navegação, de recreio e outras, e assegura a manutenção dos ecossistemas e a qualidade ambiental. Do lado da procura são de esperar alterações, principalmente nos volumes de água necessários para a agricultura e para a produção de energia. É pouco provável que as alterações climáticas condicionem de forma importante as necessidades de água para fins domésticos e industriais.

Durante o século passado, o uso global da água aumentou nove vezes, sendo a agricultura o seu maior consumidor. A alta taxa de crescimento demográfico e o rápido desenvolvimento económico, deverão provocar a duplicação da taxa de exploração de água doce nas próximas décadas. Em muitas zonas do planeta as disponibilidades de água serão excedidas e as populações deverão debater-se com o problema da escassez de água. Segundo dados da Organização das Nações Unidas, actualmente o *stress* hídrico atinge já cerca de meio bilião de pessoas em todo o mundo e prevê que esse número aumente para três biliões em 2025. Deste problema poderão resultar vários milhares de refugiados ambientais que transportarão consigo problemas socioeconómicos extremamente graves. É pois muito importante que se implementem acções para se aumentarem as reservas globais de água: dessalinização de água salgada; implementação de estratégias para aumento da eficiência do uso da água, nomeadamente na irrigação; reutilização de águas residuais tratadas; construção de barragens para armazenamento de água; promoção do transporte de água superficial de uma região para outra; captação e armazenamento de água subterrânea; preservação da qualidade da água; desenvolvimento da gestão integrada das bacias hidrográficas.

Os impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos do Continente foram estimados a partir de cenários de MCG e por modelos climáticos regionais (RMC). De acordo com os resultados obtidos, podemos referir os principais impactos e vulnerabilidades dos recursos hídricos:

- Uma progressiva redução do escoamento anual durante o século XXI, que poderá ser pequena nas bacias do norte do país, tornando-se significativa para as bacias a sul.
- Observa-se uma tendência clara de concentração do escoamento nos meses de Inverno de acordo com a tendência semelhante na distribuição mensal da precipitação. Esta tendência aumentará a assimetria sazonal da disponibilidade de água em Portugal Continental. A maioria dos cenários prevê uma tendência de redução do escoamento na Primavera, Verão e Outono.
- A magnitude dos impactos das alterações climáticas sobre o escoamento aumentará de norte para sul.

- Para alguns cenários mais pessimistas, prevê-se a redução do escoamento médio anual entre 10% a 50%; outros cenários prevêem em 2100, um aumento do escoamento anual médio de 20% a 40%.
- A magnitude e frequência de cheias deverão aumentar, devido à concentração da chuva no Inverno e aos episódios de chuvas intensas que previsivelmente aumentarão.
- Prevê-se uma degradação da qualidade de água principalmente no sul do país devido ao aumento da temperatura e à diminuição do escoamento nos meses de Verão.
- Prevê-se o rebaixamento dos níveis freáticos, principalmente nos aquíferos mais superficiais, devido à esperada redução da recarga e ao aumento das taxas de evaporação.
- Prevê-se que os ecossistemas fluviais se degradem, especialmente os que são muito dependentes das águas subterrâneas.
- Com a subida do nível médio do mar prevê-se uma redução da quantidade de água doce e um aumento da contaminação salina dos aquíferos costeiros.
- Prevêem-se alterações na vulnerabilidade dos aquíferos à poluição agrícola relacionada com as alterações do uso do solo e das práticas agrícolas. (SIAMI e II)

3.5.1.1 Disponibilidade da água

A esperada diminuição da precipitação acompanhada pelo aumento da evapotranspiração potencial⁴ relacionada com a temperatura, tenderá a provocar uma diminuição da disponibilidade da água. Tendo em conta os resultados obtidos pelos MCG do Hardley Centre admitem-se alterações significativas na distribuição sazonal do escoamento anual. Na região Norte e Centro do País, estima-se que o escoamento anual não sofre grandes alterações. Entre Novembro e Abril, o aumento da precipitação de Inverno deverá provocar um aumento inferior a 10% dos escoamentos mensais, enquanto nos outros meses do ano se poderão observar diminuições até 30%. No sul, em todos os meses do ano, deverá ocorrer uma diminuição do escoamento que poderá ser superior a 40% nos meses de Verão.

No que diz respeito a águas subterrâneas, com a diminuição da precipitação e o aumento da temperatura é de esperar uma diminuição da recarga de aquíferos. A subida do nível médio das águas do mar devida às alterações climáticas poderá originar problemas de intrusão salina

⁴ Quantidade de água naturalmente transmitida para a atmosfera a partir de um solo saturado em água e com um revestimento vegetal abundante uniforme e de baixa altura.

nos aquíferos costeiros, diminuindo a qualidade desses recursos hídricos. Esperam-se também maiores perdas de água por evaporação nas albufeiras e canais de irrigação.

3.5.1.2 Necessidade/Procura de água

Os consumos urbanos e industriais não deverão ser muito afectados pelas alterações climáticas, com excepção dos consumos para arrefecimento de equipamento industrial e produção de energia. Como parte significativa da água para arrefecimento é devolvida ao meio hídrico a uma temperatura mais elevada, poderá haver impactos nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos.

O principal utilizador de água é a agricultura e é neste sector onde as alterações de necessidade de água serão mais significativas. A intensificação da evapotranspiração e a diminuição da humidade do solo com o aumento de temperatura conduz a um aumento da procura de água. Em sentido contrário, a ocorrência de secas pode conduzir a uma redução da procura da água, devido à adopção de tecnologias de poupança de água.

As alterações climáticas poderão contribuir para inviabilizar algumas culturas e propiciar a sua substituição por outras que se adaptam melhor às novas condições. Porém não é só o clima que afecta as escolhas relativamente às culturas pelo que não se têm resultados definitivos.

3.5.1.3 Cheias e Secas

As alterações climáticas não determinam apenas variação nos valores médios do escoamento, mas também nos seus valores extremos, provocando alterações de regimes de cheias e secas. A provável concentração da precipitação nos meses de Inverno poderá aumentar a intensidade e a frequência de cheias. Esta tendência é mais provável nas bacias hidrográficas do Norte onde se prevêem subidas importantes nos caudais mensais do Inverno. Por outro lado, a subida do nível médio do mar provocará uma diminuição da capacidade de escoamento dos troços a jusante dos cursos de água de maiores dimensões podendo ocasionar inundações. A diminuição do escoamento irá contribuir para o aumento dos problemas de escassez de água.

3.5.1.4 Qualidade da água

A modificação do regime de precipitação, do escoamento e o aumento de temperatura poderão afectar a qualidade da água, provocando alterações dos processos bioquímicos nos meios hídricos. O aumento da temperatura de água provoca uma diminuição do teor de

oxigénio dissolvido na água, ou condiciona os processos químicos e biológicos que ocorrem nos meios hídricos originando variações nos habitats e distribuição dos organismos aquáticos, menor formação de gelo, mudanças na concentração de nutrientes dos sistemas aquáticos e no crescimento de algas.

A afluência de cargas poluentes ao meio hídrico poderá vir a ser afectada quer de forma directa através da alteração do regime de precipitação e da sua capacidade erosiva, quer indirectamente através de modificações do uso do solo e da água.

O aumento espectável de erosão dos solos devido aos Verões mais secos e também ao aumento de frequência de secas e de episódios de precipitação intensa, conduz a uma maior afluência de poluentes aos meios hídricos e contribui para o agravamento dos problemas de contaminação e de eutrofização.

A redução do escoamento pode ter consequências indirectas na qualidade da água. A redução do caudal dos cursos de água aumentará a concentração de poluentes e diminuirá a capacidade de assimilação das cargas poluentes pelo meio hídrico.

No que diz respeito às águas subterrâneas o aumento da temperatura da água poderá originar uma retenção ou libertação de GEE, que por sua vez favorecem a dissolução dos minerais. É de esperar, no entanto, que o aumento de temperatura no subsolo seja propício a um aumento de concentração de sais devido ao aumento da evapotranspiração. A qualidade da água dos aquíferos costeiros pode ser posta em causa com a subida do nível médio da água do mar e com a evolução dos níveis piezométricos.

Os impactos sobre os ecossistemas aquáticos e ribeirinhos advirão das alterações da qualidade da água, incluindo o aumento da temperatura da água. Os ecossistemas associados a estuários e lagunas costeiras poderão ainda ser afectados pela intrusão de água salgada devido à provável subida do nível médio do mar. (SIAM II)

Em resumo, embora ainda não se conheçam todos os efeitos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos, existe contudo um elevado grau de confiança sobre algumas tendências que deverão implicar alterações nas estratégias de gestão de água. A previsível diminuição das disponibilidades hídricas e o aumento da sua assimetria espacial e temporal, o aumento dos períodos de seca, a ocorrência provável de cheias e a degradação da qualidade da água, poderão ter consequências graves, pelo que não se poderá ignorar o problema dos impactos das alterações climáticas no planeamento e gestão dos recursos hídricos em Portugal. (INAG)

3.6 Modelos Climáticos e Cenários Climáticos Futuros

Os modelos climáticos são instrumentos de grande importância no estudo das alterações climáticas pois permitem, por meio de simulações do sistema climático, interpretar o comportamento recente do clima e obter cenários do clima futuro. Os modelos climáticos actuais mais realistas e mais fiáveis incluem os subsistemas atmosfera e oceano, as suas interacções e a descrição dos vários processos físicos, químicos e biológicos que determinam o clima. Estes modelos são incompletos e envolvem vários tipos de aproximações.

Um cenário é uma descrição plausível e simplificada do modo como o futuro se irá desenvolver para se poder determinar os impactos das alterações climáticas. Esta descrição é baseada num conjunto coerente e compatível de pressupostos sobre as principais forças e interacções presentes. Os cenários mais importantes em estudos de mudanças climáticas são os cenários climáticos que dão uma representação do clima futuro e os cenários de emissões que dão uma representação das emissões futuras de GEE e aerossóis de acordo com diferentes modelos de desenvolvimentos.

Relativamente aos cenários climáticos existem dois tipos principais de incertezas: incertezas associadas às dificuldades em simular o sistema climático, sobretudo na escala local (<300 km) e incertezas associadas ao comportamento das emissões antropogénicas de GEE durante o século XXI.

Os actuais modelos climáticos, chamados de circulação geral (MCG), simulam o sistema climático terrestre por meio de uma malha tridimensional com uma resolução horizontal de cerca de 300 km e com 10 a 40 níveis verticais. Uma das provas de validação destes modelos climáticos é a capacidade de reproduzirem satisfatoriamente o comportamento do clima dos últimos 150 anos em que há registos de medições directas de várias variáveis meteorológicas. Os MCG também reproduzem muito bem as variações sazonais da temperatura e a assimetria entre os dois hemisférios. A maioria dos MCG tem uma sensibilidade climática entre 2 e 4 °C. (SIAM II)

O Hadley Centre para a investigação das alterações climáticas desenvolveu os modelos climáticos HadCM3 (modelos de circulação geral) e HadRM2 (modelos climáticos regionais) utilizados nos estudos do SIAM. O Max Planck Institute em Hamburgo desenvolveu o ECHAM4 e o ECHAM5.

Para obter uma simulação do clima futuro com um MCG é necessário escolher um cenário de evolução das concentrações dos GEE, como se exemplifica na figura 14, relativamente às emissões de CO₂. A construção destes cenários foi iniciada pelo IPCC, no *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). O SRES contém um conjunto de projecções para

emissões futuras de GEE. As projecções baseiam-se em diferentes características de evolução da população, da economia, das estruturas políticas e dos estilos de vida.

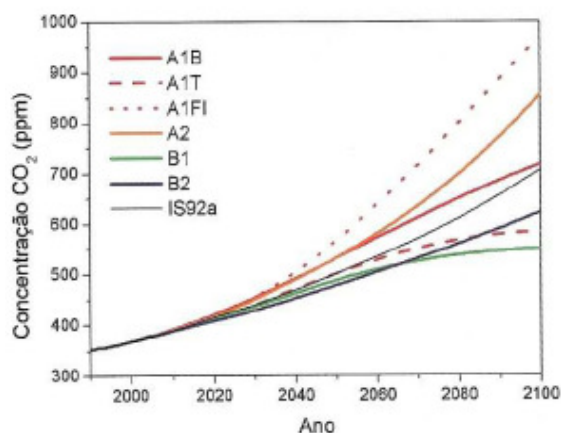


Figura 14: Cenários SRES da concentração de CO₂. (Fonte: Adaptada IPCC)

Os cenários sócio-económicos agrupam-se em quatro grandes famílias como mostra a figura 15.

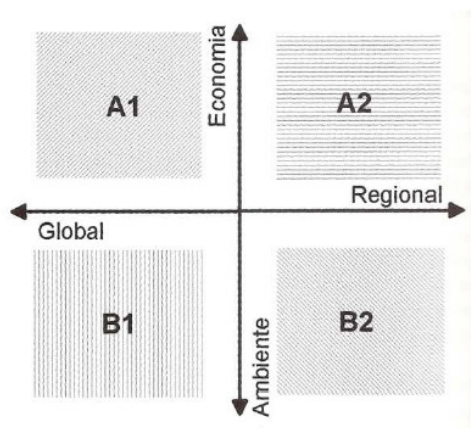


Figura 15: Representação esquemática das famílias dos cenários de emissões. (Fonte: SIAM II)

Estes cenários têm características próprias que incluem de forma coerente factores demográficos, sociais, económicos e tecnológicos: (IPCC)

A1: O contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento económico muito rápido, com a população global a atingir um máximo em meados do século e a declinar em seguida e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacidade de construção e o aumento das interações culturais e sociais, com a redução substancial nas

diferenças regionais no rendimento *per capita*. Nesta família existem três variantes relativas a diferentes tipos de energia utilizados: uso intensivo de combustíveis fósseis (A1FI), uso de fontes energéticas não fósseis (A1T) e uso equilibrado entre todas as fontes (A1B).

A2: Esta família de cenários descreve um mundo muito heterogéneo, apoiando-se na auto-suficiência e na preservação das identidades locais e com um aumento crescente da população durante todo o século. O desenvolvimento económico é orientado para a região; o crescimento económico *per capita* e o desenvolvimento tecnológico são fragmentados e lentos.

B1: Esta família descreve um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, mas com uma mudança rápida nas estruturas económicas, com redução dos materiais e introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. Dá-se privilégio às soluções globais para a sustentabilidade económica, social e ambiental.

B2: O contexto e família de cenários B2 descrevem um mundo em que se privilegia as soluções locais para a sustentabilidade económica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento económico e mudanças tecnológicas menos rápida e mais diversificada do que nos contextos B1 e A1. (IPCC)

Os cenários A1 designam-se de “Economia Global”, B1 de “Sustentabilidade Global”, A2 de “Auto-Suficiência Regional” e B2 de “Sustentabilidade Rural”.

São as famílias de cenários A1 e A2, com mais motivações económicas, que projectam maiores emissões de GEE e por isso conduzem a um maior aumento da temperatura média global do que as famílias de cenários B1 e B2, mais direccionadas para o ambiente. As famílias A1 e B1 são orientadas para a coordenação global e as famílias A2 e B2 privilegiam o esforço local.

Os cenários do SRES não envolvem iniciativas adicionais em relação ao clima, o que significa que nenhum cenário adopta explicitamente a implementação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas ou as metas de redução de emissões do Protocolo de Quioto.

A metodologia para a produção dos cenários de alteração climática para a avaliação dos seus impactes segue o seguinte esquema: os cenários de emissões (SRES) são escolhidos, em seguida os modelos químicos calculam concentrações de diferentes componentes, depois os modelos radiactivos calculam, com base nas concentrações, o forçamento radiactivo e é este forçamento que entra nos modelos globais acoplados oceano-atmosfera.

4 Dados Hidrométricos e Climáticos do Rio Cávado - Temperatura do ar, Precipitação e Caudal

A metodologia seguida na concretização deste trabalho teve como base a aplicação de pressupostos teóricos a alguns dados reais obtidos e tratados dentro das limitações existentes: falta de dados que permitam obter séries cronológicas com características óptimas para se poderem aplicar modelos estatísticos de previsão e limitações de recursos e tempo para desenvolver, adaptar e aplicar modelos climáticos (*modelação*).

Assim, recorrendo a fontes bibliográficas reconhecidas na temática, procurou-se a compreensão do problema das alterações climáticas a nível global e, particularmente, em Portugal, de modo a concluir, empiricamente, com base nos meios disponíveis e utilizando metodologias de correlação (como a ACP - Análise de Componentes Principais), sobre as tendências e correlações de alguns parâmetros hidrológicos, climáticos e de qualidade da água.

4.1 Recolha da informação disponível

Nesta fase do trabalho, foi pretendido recolher informação de dados com um historial significativo de precipitação, temperatura e caudal do rio Cávado na região de Penide junto à ETA de Areias de Vilar.

A informação relativa à precipitação na bacia hidrográfica do rio Cávado foi obtida a partir do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) do Instituto da Água (INAG). O objectivo inicial era a recolha de dados referentes à precipitação em Penide, que é a estação mais próxima da ETA de Areias de Vilar. Contudo, como não existe uma estação meteorológica em Penide e o SNIRH não tem disponível essa informação, optou-se pelos dados da estação meteorológica de Barcelos, a mais próxima, situada a jusante de Penide - considerou-se que a precipitação em Penide e em Barcelos são semelhantes. Em relação à recolha de dados para temperatura procedeu-se de igual modo.

Para a precipitação, foi recolhida uma série de dados de precipitação mensal entre 1932 e 2008 (ver anexo B - tabela IV). E para a temperatura foi recolhida uma série de dados mensais desde 1982 até 2008, sendo que para os anos de 2001 e de 2002 não há qualquer registo (ver anexo B - tabela V).

No SNIRH, a estação hidrométrica de Penide não tem dados disponíveis de caudal e portanto, mais uma vez, foram recolhidos dados disponíveis de caudal mensais da estação hidrométrica de Barcelos desde 1979 até 2002 (ver anexo B - tabela VII).

Contudo, as séries de dados disponibilizados no SNIRH têm falhas de registos/medições e portanto podem introduzir alguns erros.

Foram também solicitados ao grupo Electricidade de Portugal (EDP) dados de caudais registados no aproveitamento hidroeléctrico de Penide. O grupo EDP forneceu caudais diários lançados, desde 2000 até 2006. A partir desta informação foram realizadas as médias mensais e anuais desse período (ver anexo B - tabela VI), havendo nestes registos também algumas falhas de valores.

4.2 Temperatura do ar

Na figura 16 está representada a evolução das médias anuais da temperatura do ar em Barcelos durante o período de 1982 a 2008. Para os anos 1991, 2001, 2002 e 2003 não há registos.

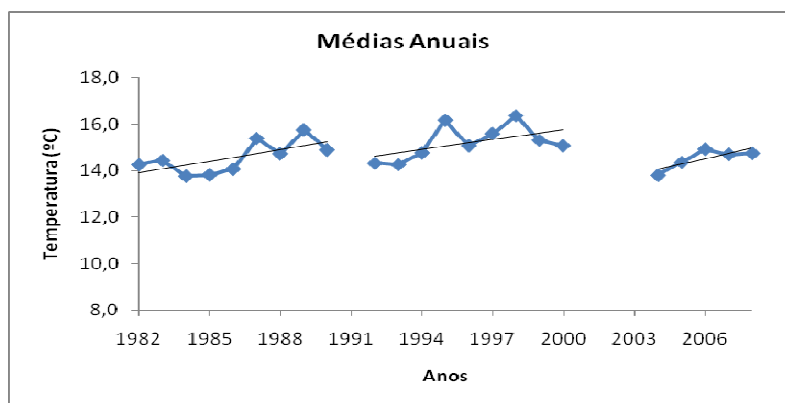


Figura 16: Evolução das médias anuais de temperatura do ar em Barcelos.

Pela análise do gráfico da figura 16 podemos observar que existem oscilações, entre o valor mínimo de 13,8 °C e o valor máximo de 16,2 °C para o período de tempo considerado. Nesta região da bacia hidrográfica do rio Cávado, a tendência temporal da temperatura média anual do ar é de aumento.

As médias mensais da temperatura do ar para o mesmo período encontram-se na figura 17.

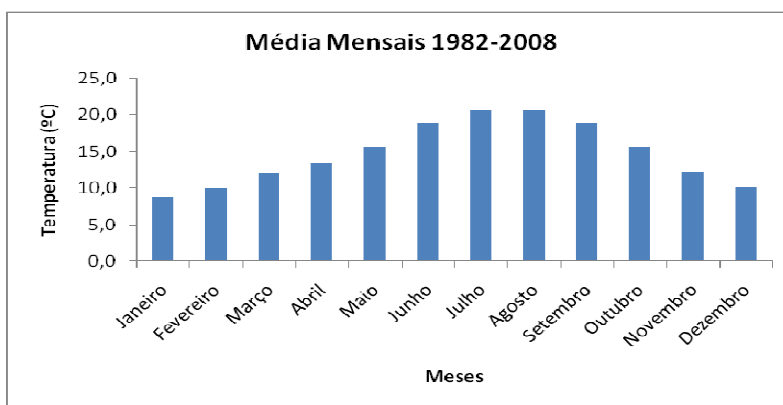


Figura 17: Médias mensais de temperatura do ar em Barcelos entre 1982 e 2008.

Em relação às médias mensais da temperatura do ar a figura 17 mostra, como seria de esperar, valores mais elevados nos meses de Verão.

4.3 Precipitação

Na figura 18 apresenta-se a evolução de precipitações anuais, entre 1932 e 2008.

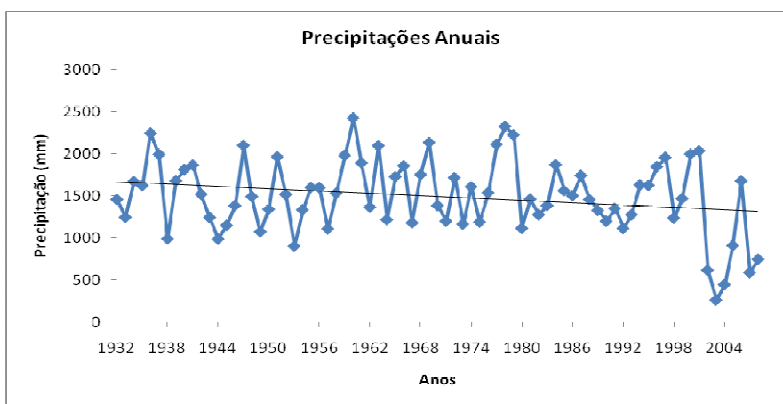


Figura 18: Evolução de precipitações anuais em Barcelos.

Da análise da figura 18, podemos verificar que a distribuição da precipitação é irregular ao longo do ano, existindo portanto uma grande variabilidade no volume anual de pluviosidade. Observa-se uma tendência decrescente pouco significativa nas precipitações anuais.

As médias mensais da precipitação entre 1932 e 2008 encontram-se na figura 19.

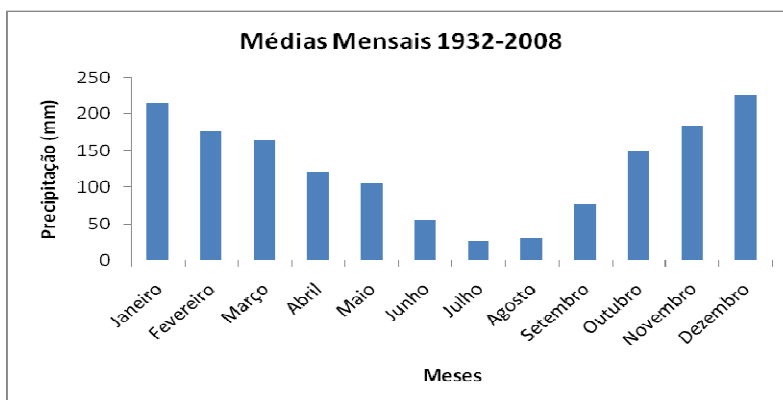


Figura 19: Médias mensais de precipitação em Barcelos entre 1932 e 2008.

Através da observação da figura 19 podemos constatar que, como seria esperado, os registos de valores médios mínimos são nos meses de Julho e Agosto e de valores máximos são nos meses de Janeiro e Dezembro. Assim, temos dois períodos contrastantes: por um lado um período mais pluvioso entre Outubro e Maio, por outro lado um período menos pluvioso entre Junho e Setembro dos quais 2 meses secos Julho e Agosto.

Para analisar melhor a evolução temporal da precipitação, subdividiu-se o período de tempo de registos em três intervalos (1932-1956, 1957-1982 e 1983-2008) e fez-se o gráfico comparativo das médias mensais de precipitação (Figura 20).

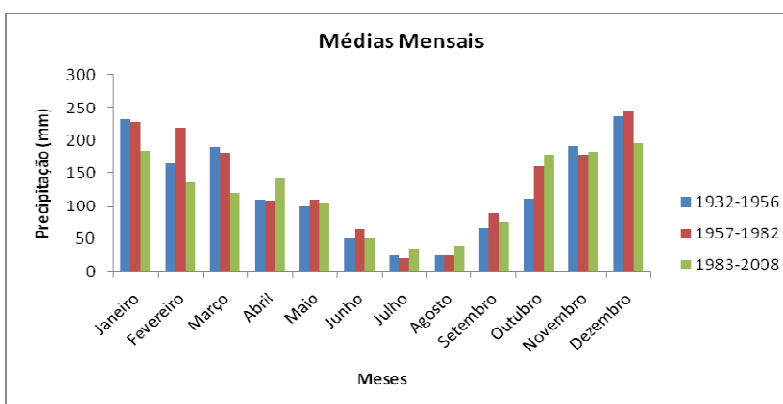


Figura 20: Médias mensais de precipitação em Barcelos para três intervalos de tempo diferentes: 1932-1956, 1957-1982 e 1983-2008.

No período de 1983 a 2008, nos meses de Verão, os valores da precipitação média mensal aumentaram comparativamente com os valores dos outros dois sub-intervalos. Por outro lado, nos meses de Inverno esses valores diminuíram, face aos valores dos períodos de 1932-1956 e 1957-1982. Então, podemos verificar que no intervalo 1983-2008 a tendência de diminuição de precipitação no Verão e aumento no Inverno é contrariada. Por isso, os resultados relativos à precipitação são muito variáveis e pouco concordantes.

4.4 Caudal

Devido à ausência de registos de caudais na estação hidrométrica de Penide, a partir dos dados disponíveis e recolhidos da estação hidrométrica de Barcelos e dos dados obtidos do aproveitamento hidroeléctrico de Penide foi efectuada uma regressão linear entre esses dados para verificar se os dados das duas estações tinham uma boa relação. Os poucos anos em comum para a realização desta regressão limitaram a amostra de dados. Na figura 21 encontra-se o gráfico obtido da regressão linear.

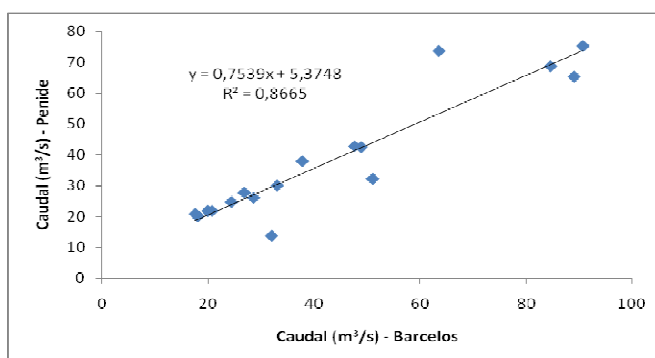


Figura 21: Regressão linear entre caudais de Barcelos e caudais de Penide.

Em função dos resultados da figura 21 foi possível obter um histórico de caudais em Penide a partir do histórico de caudais de Barcelos, aumentando o período de registos de caudais da zona de interesse. No entanto, há falhas de registos na série temporal obtida (1982-2006) (ver anexo B - tabela VIII).

Na figura 22 apresenta-se a evolução dos caudais médios anuais, entre 1982 e 2006.

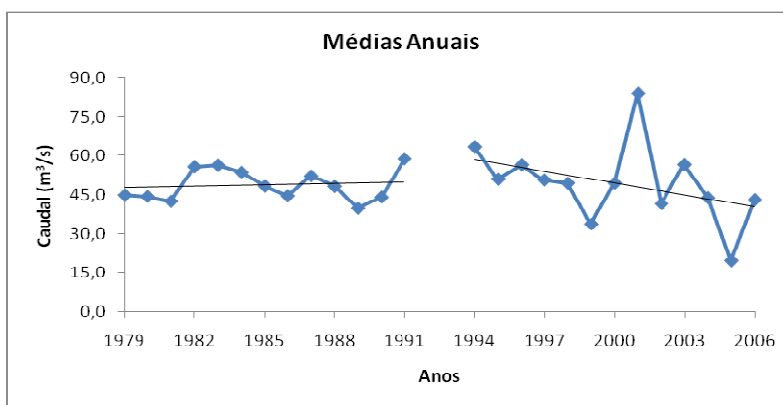


Figura 22: Evolução das médias anuais de caudais em Penide.

No gráfico da figura 22, devido à ausência de registos, o intervalo de tempo está dividido em dois períodos. No primeiro, de 1979 a 1991, as oscilações das médias anuais de caudal são pequenas, evidenciando uma tendência para manter os padrões de caudal. No período entre 1993 e 2005 as oscilações são maiores e com um valor médio de caudal máximo no ano de 2001. Neste período a tendência dos valores médios é de diminuição.

Na figura 23 apresenta-se a evolução das médias mensais de caudais entre 1982 e 2006.

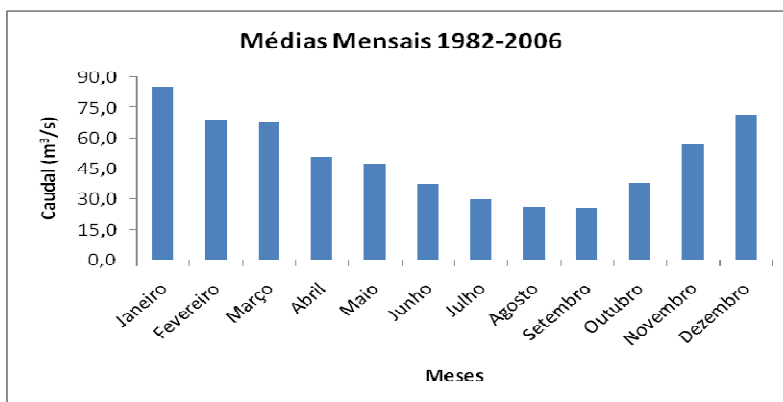


Figura 23: Médias mensais de caudais em Penide entre 1982 e 2006.

Pela análise do gráfico da figura 23 verifica-se que os valores mais elevados das médias mensais de caudais ocorrem no mês de Janeiro. A diminuição das médias mensais de caudal dos meses de Inverno para os meses de Verão é contrariada no mês de Março que aumenta em relação ao mês de Fevereiro. Os baixos caudais estivais devem-se aos baixos quantitativos da precipitação nestes meses.

A figura 24 é uma representação gráfica das frequências relativas de caudais mensais para o período de tempo de 1982-2006.

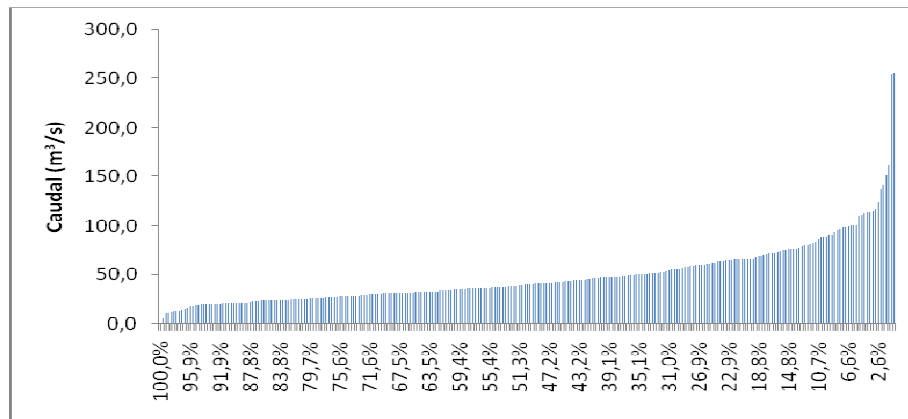


Figura 24: Frequências relativas de caudais entre 1982-2006.

Da leitura do gráfico da figura 24 podemos conhecer a probabilidade de ocorrência de determinados valores de caudal. Conclui-se que a probabilidade de ocorrência de caudais muito elevados é baixa para o intervalo de tempo considerado.

5 Dados de Qualidade da Água da ETA de Areias de Vilar

Para se definir os processos de tratamento a que a água bruta deve ser sujeita temos que conhecer a finalidade da água tratada e conhecer a sua qualidade. A qualidade da água bruta está relacionada com um conjunto dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e microbiológicos que permitem avaliar a adequação de uma água para um determinado fim. Uma água pode ser de boa qualidade para um determinado fim e de má qualidade para outro, dependendo das suas características e das exigências requeridas pelo uso específico.

5.1 Recolha da informação disponível

A informação recolhida foi fornecida pelo serviço do laboratório da ETA de Areias de Vilar, que disponibilizou os resultados/registos obtidos nas análises realizadas aos parâmetros indicadores da qualidade da água bruta captada no rio Cávado.

Os registos de dados conseguidos abrangem um intervalo temporal reduzido entre o ano 2000 e o ano 2008, o que dificulta a análise da evolução temporal destes parâmetros na água do rio Cávado captada na ETA de Areias de Vilar. Para avaliar a evolução da qualidade da água do rio Cávado naquela região foram seleccionados alguns parâmetros: carência bioquímica de oxigénio, pH, condutividade, temperatura, alcalinidade, dureza total, oxigénio dissolvido, azoto amoniacal e azoto NTK, nitratos, fósforo, cloretos, ferro, coliformes fecais e coliformes totais, enterococos e turvação.

Estas séries de dados estão incompletas, com falhas nos registos diários, mensais e anuais.

5.2 Parâmetros de qualidade da água

5.2.1 Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO₅)

A carência bioquímica de oxigénio representa o oxigénio consumido pelos microrganismos na oxidação da matéria orgânica numa determinada água em condições aeróbias. Como este processo de oxidação é demorado, convencionou-se tomar, como parâmetro representativo do teor em matéria orgânica numa água, o valor da CBO ao fim de cinco dias de incubação, a 20 °C (CBO_{5 20}).

Na figura 25 está representada a evolução das concentrações médias anuais da carência bioquímica de oxigénio e a respectiva tendência temporal desde 2000 até 2008 (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

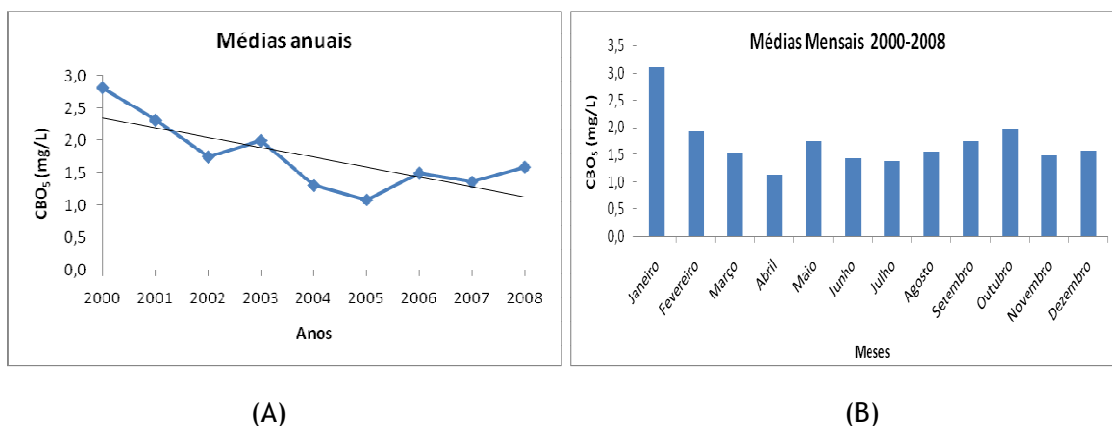


Figura 25: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de CBO₅ desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de CBO₅.

Analisando o gráfico (A) verifica-se uma pequena variabilidade nas concentrações médias anuais de CBO₅, havendo no entanto uma tendência de diminuição dessas concentrações ao longo dos anos. A partir do gráfico (B) podemos concluir que o mês com maior concentração de CBO₅ é Janeiro, mês de Inverno, onde a precipitação é maior.

5.2.2 pH

O pH é uma medida indirecta do potencial que uma água tem de provocar danos, como corrosão ou incrustações, em tubulações e outras utilidades. Águas com pH muito baixo são ácidas e tendem a ser corrosivas, isto é, desgastam a superfície de tubulações de ferro ou cimento, enquanto águas com pH muito alto são alcalinas e tendem a ser incrustantes, isto é, favorecem a formação de depósitos em tubulações, podendo obstruí-las. Além dessas propriedades, o pH é utilizado também como indicador de estabilidade química da água. Oscilações fortes do pH podem significar alteração na composição química da água, o que obriga a uma análise mais completa da mesma.

A figura 26 apresenta uma evolução dos valores médios anuais de pH registados para o período de 2000 a 2008 e a respectiva tendência temporal (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

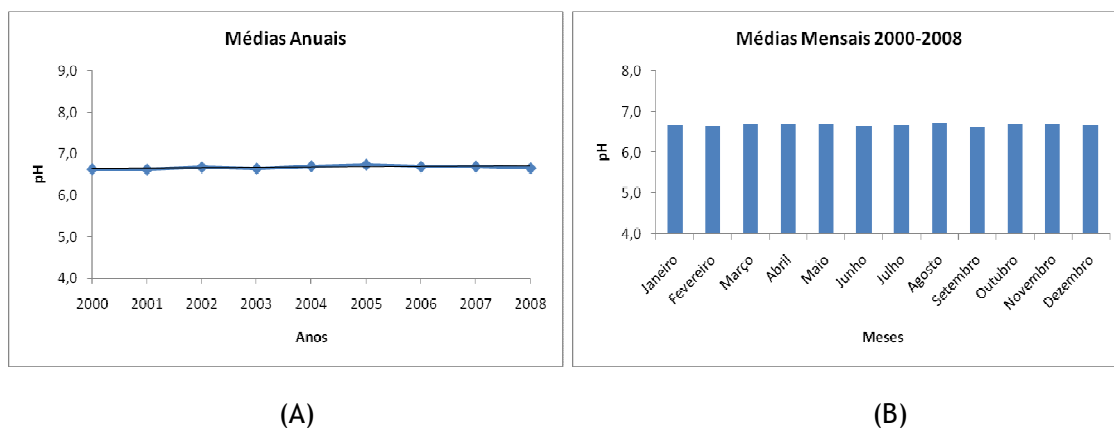


Figura 26: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de pH desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de pH.

A partir dos gráficos (A) e (B) constata-se que os valores médios de pH se mantêm aproximadamente constantes e neutros.

5.2.3 Condutividade

A condutividade eléctrica é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente eléctrica. Permite uma avaliação do grau de mineralização da água e contribui para controlo do tratamento. Os valores de condutividade aumentam com a elevação da temperatura e com o teor de iões dissolvidos na água.

A evolução desde 2000 até 2008 dos valores médios anuais da condutividade e a sua tendência temporal podem ser observados no gráfico (A) da figura 27. No gráfico (B) da mesma figura observam-se os valores médios mensais.

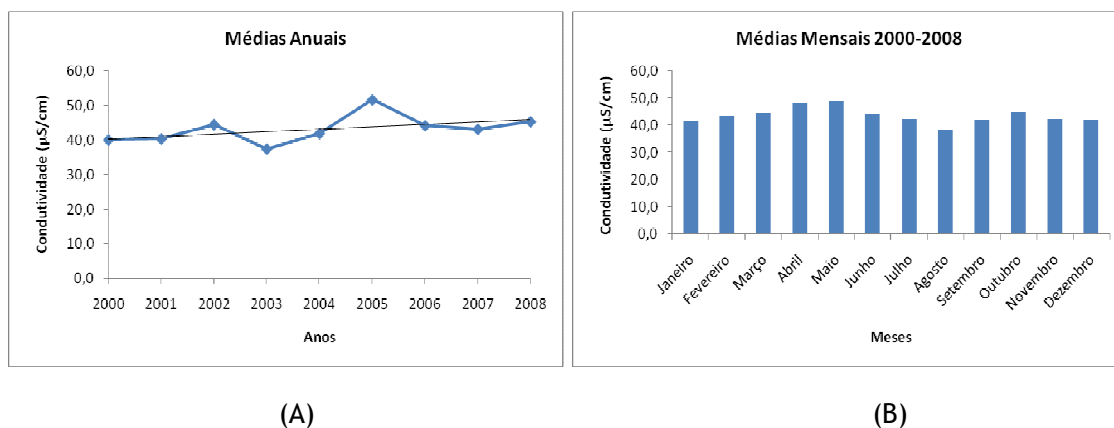


Figura 27: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de condutividade desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de condutividade.

Pela a análise do gráfico (A) a condutividade apresenta pequenas oscilações com uma tendência ligeiramente crescente para o período de tempo em questão. Em 2005, observa-se um pico que coincide com um ano de caudal médio reduzido. As médias mensais (gráfico (B)) mantêm-se sensivelmente dentro da mesma ordem de grandeza.

5.2.4 Temperatura

A temperatura é uma medida da energia cinética associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas que compõem um dado sistema físico. A temperatura das águas é um dos mais importantes índices para definir a qualidade da água dos rios.

Nos gráficos (A) e (B) da figura 28, para o intervalo de tempo de 2000 a 2008, encontram-se representados os valores médios anuais da temperatura e sua tendência temporal e os valores médios mensais, respectivamente.

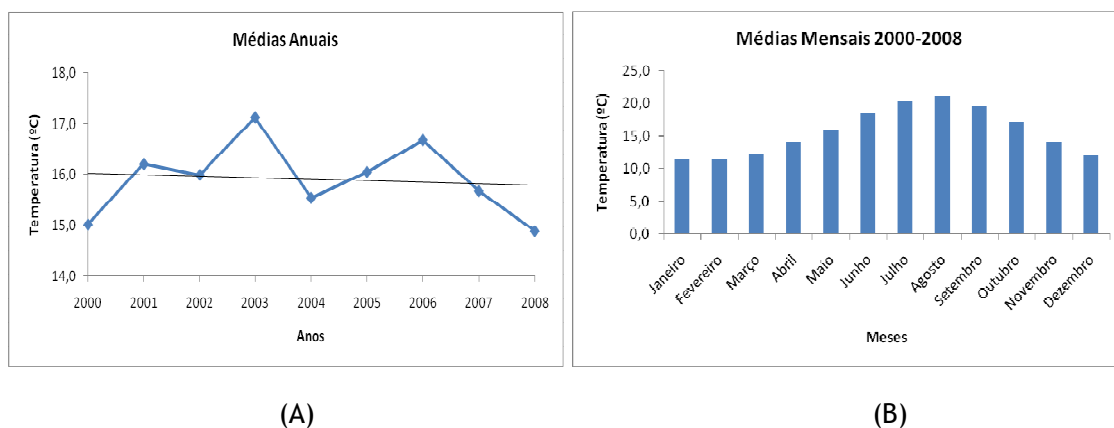


Figura 28: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de temperatura desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de temperatura.

Observando a figura 28 e a partir do gráfico (A) verifica-se alguma variabilidade da temperatura com um valor mínimo de 14,88 °C para o ano de 2008, e um valor máximo de 17,12 °C para o ano de 2003. No gráfico (B), como seria de esperar, nos meses de Verão, a temperatura água apresenta valores médios mais elevados.

5.2.5 Alcalinidade

Define-se alcalinidade de uma água como a sua capacidade de neutralizar ácidos. A alcalinidade das águas naturais é devida, principalmente, a sais de ácidos fracos, embora possam contribuir também bases fracas e fortes. Esta característica das águas naturais é devida principalmente aos hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-). A alcalinidade é pouco importante, sob o ponto de vista da saúde pública. No entanto, as águas alcalinas, principalmente as que possuem hidróxidos, são desagradáveis ao paladar e, por isso, pouco apreciadas pelo homem.

Na figura 29 está representada a evolução das concentrações médias anuais da alcalinidade e a respectiva tendência temporal desde 2000 até 2008 (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

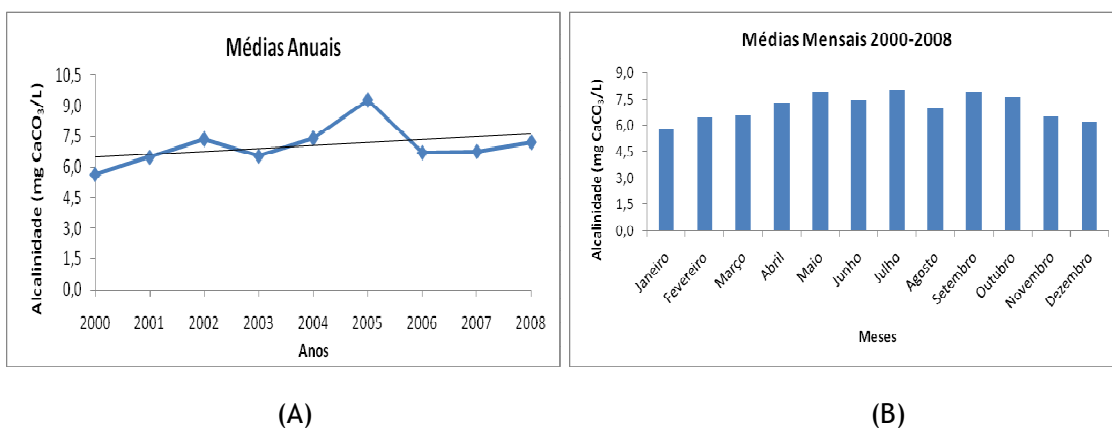


Figura 29: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de alcalinidade desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de alcalinidade.

A partir da análise da figura 29 pode-se concluir que as médias das concentrações de alcalinidade se mantêm estáveis com um pico anómalo em 2005. Como já foi referido o caudal médio anual sofreu um decréscimo.

5.2.6 Dureza total

A dureza de uma água reflecte a natureza das formações geológicas com as quais ela esteve em contacto. A dureza, em geral expressa em mg/l de carbonato de cálcio CaCO₃, de uma água é devida à presença de catiões metálicos bivalentes principalmente cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺). Uma água dura é, portanto, aquela que contém grande quantidade de cálcio e magnésio.

A evolução desde 2000 até 2008 dos valores médios anuais da dureza total e a sua tendência temporal podem ser observados no gráfico (A) da figura 30. No gráfico (B) da mesma figura observam-se os valores médios mensais.

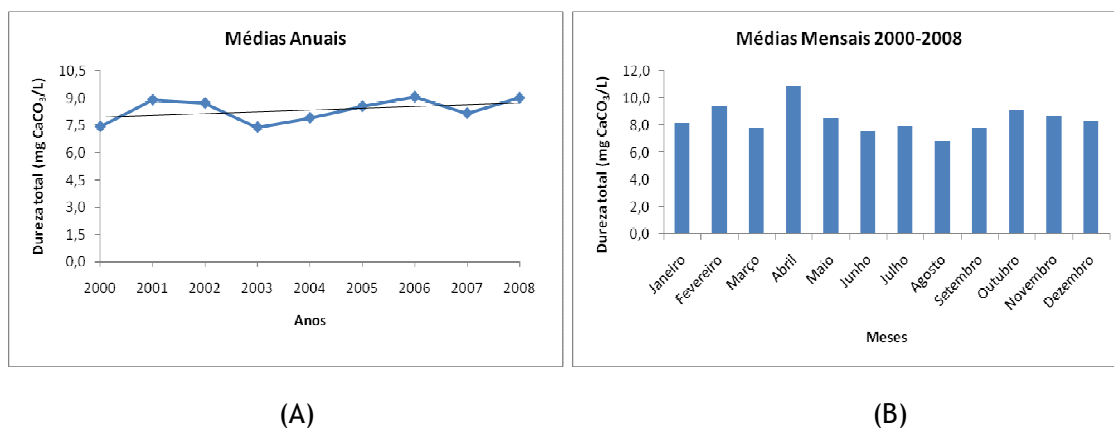


Figura 30: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de dureza total desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de dureza total.

Observando a figura 30 é possível afirmar que este parâmetro não tem grande variabilidade tanto a nível de evolução temporal anual, como a nível mensal.

5.2.7 Oxigénio dissolvido (OD)

O oxigénio dissolvido na água provém, em geral, da dissolução do oxigénio atmosférico, naturalmente ou artificialmente, e também, do oxigénio produzido por alguns microrganismos vivos na água (algas e bactérias). É um dos parâmetros mais importantes para se avaliar a capacidade de um corpo hídrico suportar actividades biológicas de organismos aquáticos. O nível de disponibilidade de OD na água vai depender do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica e a quantidade produzida na própria água através de organismos fotossintéticos em processos aeróbios naturais e/ou artificiais. O oxigénio dissolvido é importante na caracterização dos efeitos da poluição das águas decorrentes de descargas orgânicas. A solubilidade do oxigénio dissolvido é função da altitude e da temperatura da água.

A figura 31 apresenta uma evolução das percentagens de saturação médias anuais de oxigénio dissolvido registadas para o período de 2000 a 2008 e a respectiva tendência temporal (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

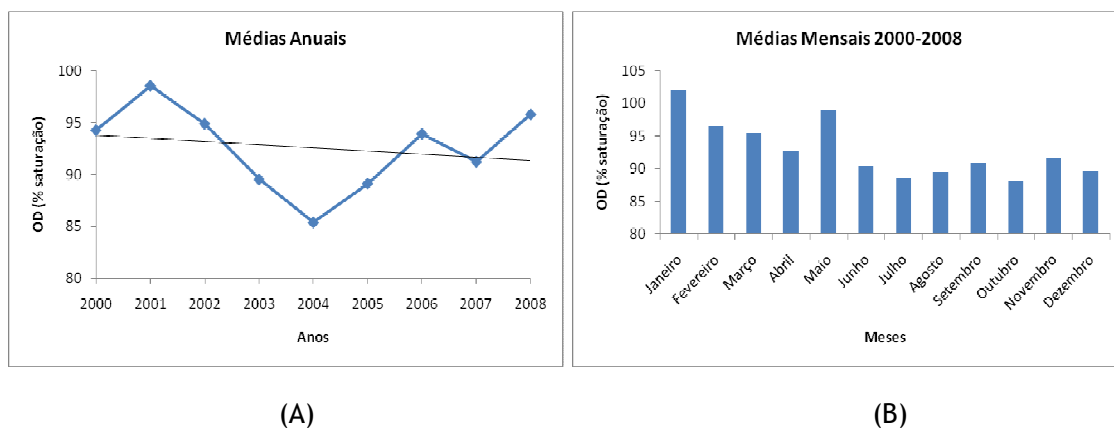


Figura 31: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de OD desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de OD.

Pela análise do gráfico (A) detectaram-se duas tendências: uma tendência decrescente até 2004 e uma tendência crescente até 2008. Portanto, existe uma grande oscilação entre estes dois períodos. É de notar que valores baixos de OD podem indicar a presença de matéria orgânica e, valores elevados, a existência de crescimento anormal de algas, uma vez que, elas libertam oxigénio durante o processo de fotossíntese. A partir do gráfico (B) é possível concluir que os valores médios mensais de percentagem de OD mais elevados se situam nos meses de Inverno onde a temperatura é mais baixa.

5.2.8 Azoto amoniacal e Azoto Kjeldahl (NTK)

O azoto amoniacal é o azoto que ocorre tanto sob a forma de amónia (NH_3) como sob a forma de ião amónio (NH_4^+). O azoto é um parâmetro que está associado a substâncias indesejáveis e relaciona-se com a contaminação da água. O amoníaco pode surgir nas águas como consequência da degradação incompleta da matéria orgânica, mas também devido ao arrastamento de fertilizantes de solos agrícolas devido à rega ou à chuva, ou devido a excrementos humanos e animais. É muito tóxico para os peixes e homem quando dissolvido na água. O azoto é um dos constituintes essenciais da matéria viva, sendo assimilado pelas plantas por absorção e contribui para o desenvolvimento de certos microrganismos. A existência de azoto nos recursos hídricos pode ocasionar desenvolvimento excessivo de plantas e algas.

Portanto, a medição de azoto amoniacal é importante não só para se constatar a presença de esgotos domésticos lançados recentemente na água, mas também como um indicador de futuro consumo de oxigénio no processo de nitrificação e possível crescimento

de algas.

O azoto Kjeldahl (NTK) é que a soma do azoto orgânico com o azoto em forma de amónia. O azoto NTK é a forma predominante do azoto nos esgotos domésticos brutos e daí sua importância como parâmetro químico de qualidade das águas. Dependendo do valor do pH dos esgotos, a amónia, parte integrante do NTK, pode-se apresentar na forma livre NH_3 (tóxica) ou na forma ionizada NH_4^+ . Para valores de pH menores que 8, a amónia apresenta-se na forma ionizada, não tóxica.

Na figura 32 está representada a evolução das concentrações médias anuais de azoto amoniacal e respectiva tendência temporal (A). No gráfico (B) da mesma figura, apresentam-se as médias mensais para este parâmetro. A informação colectada é reduzida o que não permite concluir sobre a evolução temporal.

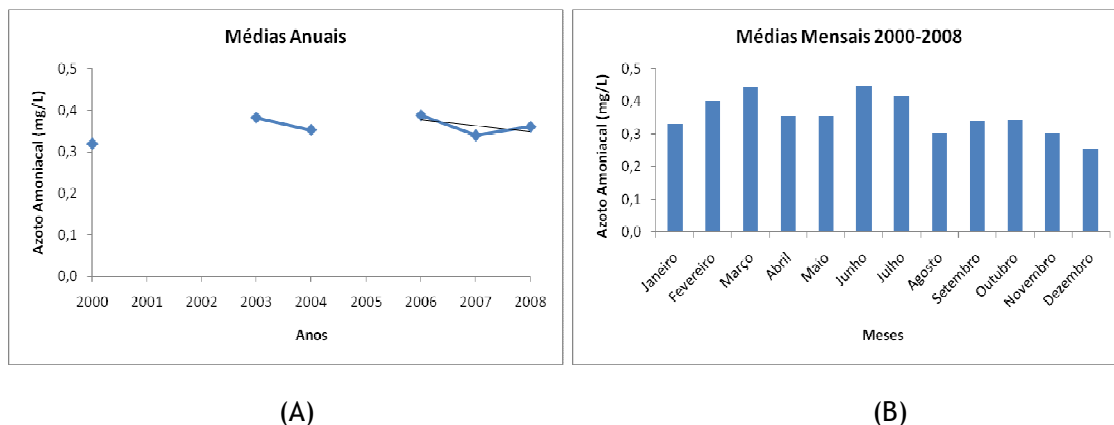


Figura 32: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de azoto amoniacal desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de azoto amoniacal.

Na figura 33 está representada a evolução das concentrações médias anuais de azoto NTK e respectiva tendência temporal desde 2000 até 2008 (A) e também as médias mensais para o mesmo período (B). Para o ano de 2001 e 2002 não existe qualquer registo.

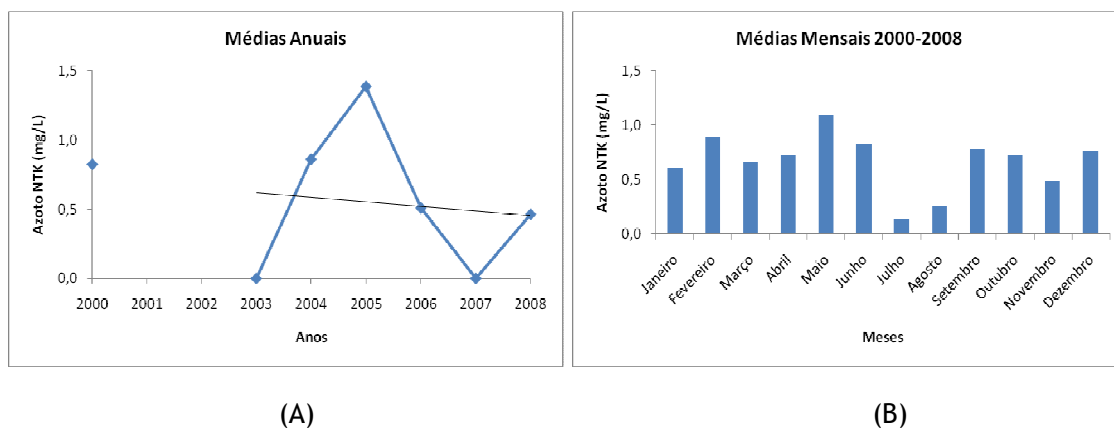


Figura 33: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de azoto NTK desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de azoto NTK.

Neste curto espaço de tempo, registam-se oscilações na evolução das concentrações médias de azoto NTK, tanto a nível anual como a nível mensal. Nos anos de 2003 e 2004 a média anual obtida não é significativa, apresentando por isso o valor nulo. Os valores médios mais baixos deste parâmetro encontram-se nos meses de Julho e Agosto.

5.2.9 Nitratos

Os nitratos são sais formados pela acção do ácido nítrico sobre os óxidos metálicos, hidróxidos e carbonatos. A presença de nitratos na água é um indicador de poluição relacionada ao final do período do processo de nitrificação. O nitrato em altas concentrações nas fontes domésticas de água (poços) pode trazer graves problemas de intoxicação tanto no ser humano como nos animais.

A evolução desde 2000 até 2008 dos valores médios anuais de nitratos e a sua tendência temporal podem ser observados no gráfico (A) da figura 34. No gráfico (B) da mesma figura observam-se os valores médios mensais.

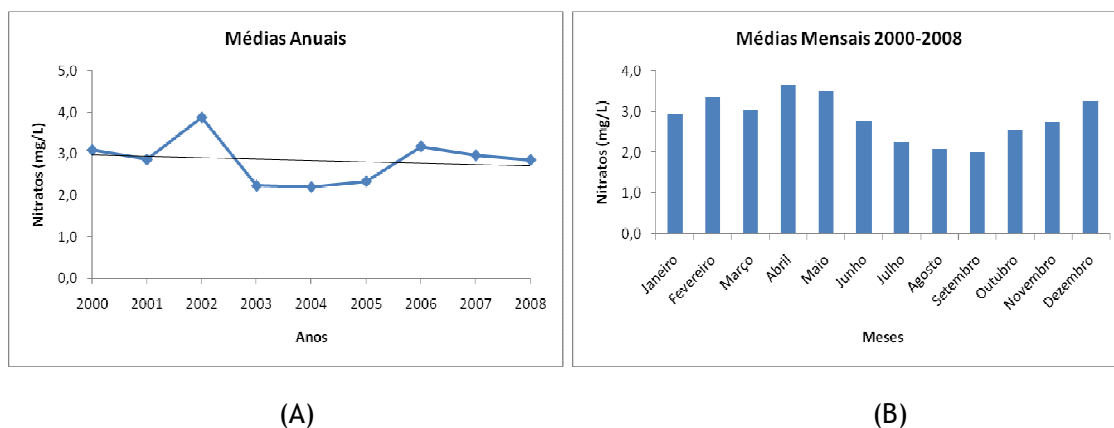


Figura 34: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de nitratos desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de nitratos.

Os resultados obtidos da figura 33 apresentam uma tendência de valores estável com alguma redução nos meses de Verão.

5.2.10 Fosfatos

A presença de fósforo nas águas pode ter origem na dissolução de compostos do solo (escala muito pequena), despejos domésticos e/ou industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. Concentrações elevadas de fósforo podem contribuir para a proliferação de algas e acelerar, indesejavelmente, em determinadas condições, o processo de eutrofização.

Nos gráficos (A) e (B) da figura 35, para o intervalo de tempo de 2000 a 2008, encontram-se representados os valores médios anuais de fosfatos e sua tendência temporal e os valores médios mensais, respectivamente.

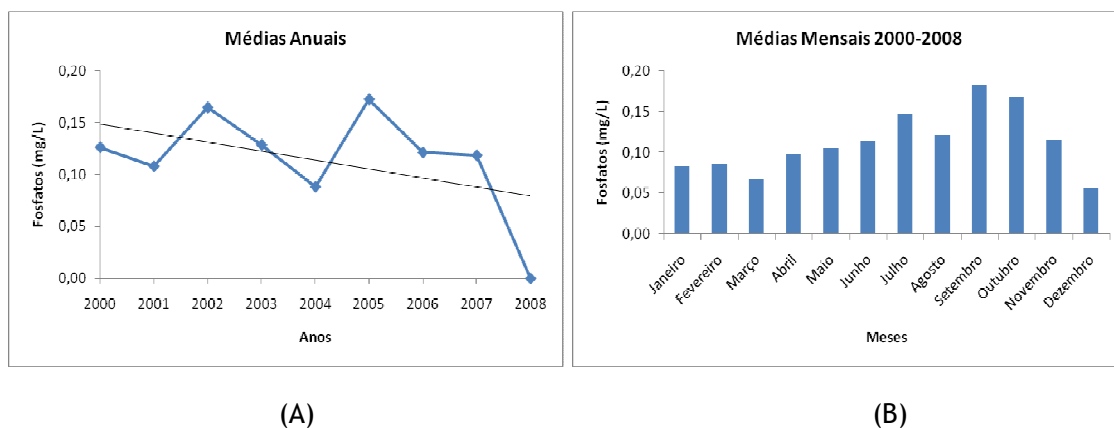


Figura 35: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de fosfatos desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de fosfatos.

Analisando a figura 35 observa-se alguma variabilidade na evolução temporal dos valores médios deste parâmetro. Para o ano de 2008 a média anual obtida não é significativa, apresentando por isso o valor nulo, o que influencia na tendência decrescente apresentada. Nos meses de Inverno registam-se as médias mensais mais baixas.

5.2.11 Cloretos

Os cloretos são sais derivados do ácido clorídrico e podem dividir-se em dois grupos, cloretos minerais ou metálicos. Os cloretos metálicos são extremamente importantes e na Natureza podem ser encontrados: o cloreto de sódio (NaCl), na água do mar ou jazigos; o cloreto de potássio (KCl), em minas; e o cloreto de magnésio (MgCl₂), na água do mar.

A figura 36 apresenta a evolução das concentrações médias anuais de cloretos e a respectiva tendência temporal (A) e as médias mensais dos mesmos (B). O período de análise situa-se entre 2000 e 2008, embora não haja registos no ano de 2003.

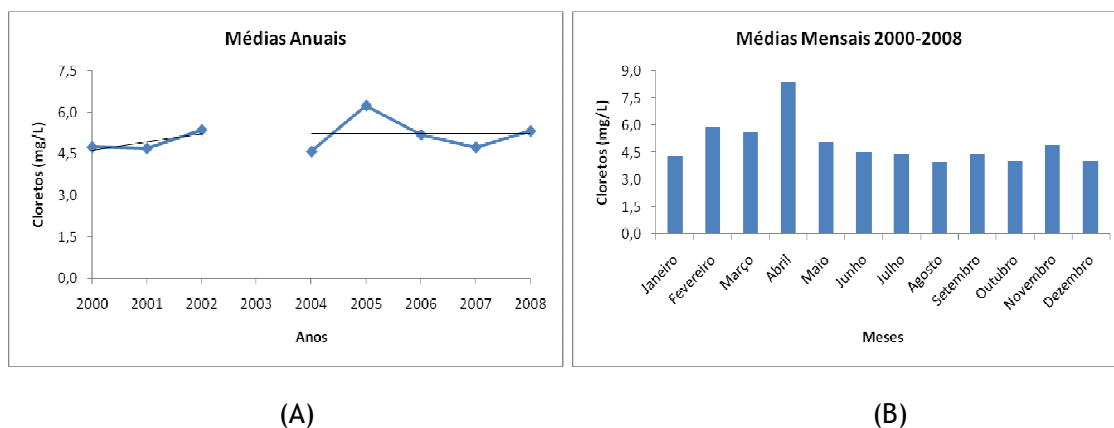


Figura 36: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de cloretos desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de cloretos.

Pela análise da figura 36 podemos verificar que as concentrações de cloretos tendem a ser estáveis ao longo dos anos (A). No gráfico (B) também se verifica uma estabilidade a nível mensal, excepto no mês de Abril em que a média mensal da concentração de cloretos é mais elevada.

5.2.12 Ferro

O ferro é um metal presente em quase todas as águas subterrâneas. No abastecimento público, o seu excesso causa problemas, já que confere cor e sabor à água, indesejáveis sensorialmente, além de provocar manchas em roupas e utensílios domésticos.

A figura 37 apresenta uma evolução dos valores médios anuais de ferro registados para o período de 2000 a 2008 e a respectiva tendência temporal (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

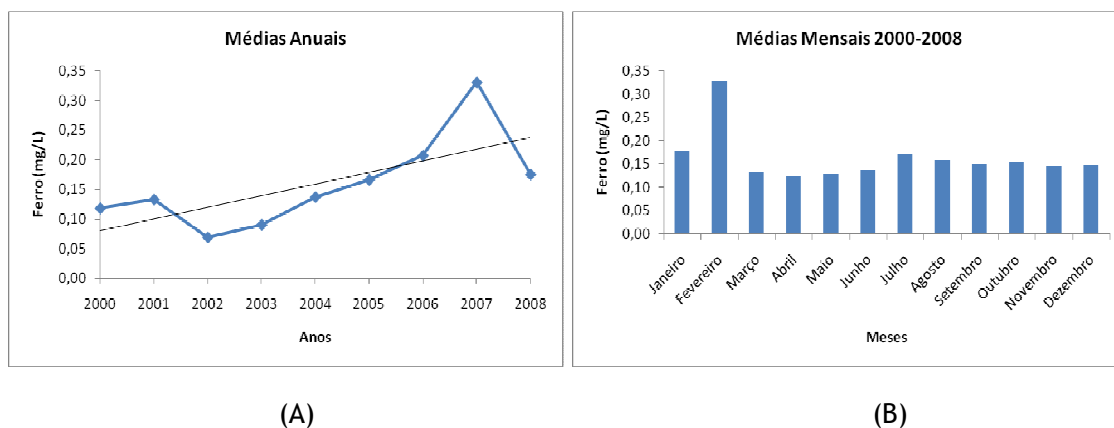


Figura 37: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de ferro desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de ferro.

A partir da observação do gráfico (A) é possível concluir que as concentrações médias anuais do ferro aumentam apresentando por isso uma tendência crescente. No gráfico (B) verifica-se uma estabilidade a nível mensal, excepto no mês de Fevereiro em que a média mensal da concentração de ferro é mais elevada.

5.2.13 Coliformes fecais

As bactérias do grupo coliforme são utilizadas como indicador biológico da qualidade das águas. A contaminação das águas por fezes humana e/ou animal pode ser detectada pela presença de bactérias do grupo coliforme. Na prática, a medição do número de coliformes fecais numa água é um indicador não só da contaminação por fezes, como também da possibilidade de coexistência de organismos patogénicos. Os coliformes fecais são também chamados coliformes termotolerantes.

Na figura 38 está representada a evolução das concentrações médias anuais de coliformes fecais e a respectiva tendência temporal desde 2000 até 2008 (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

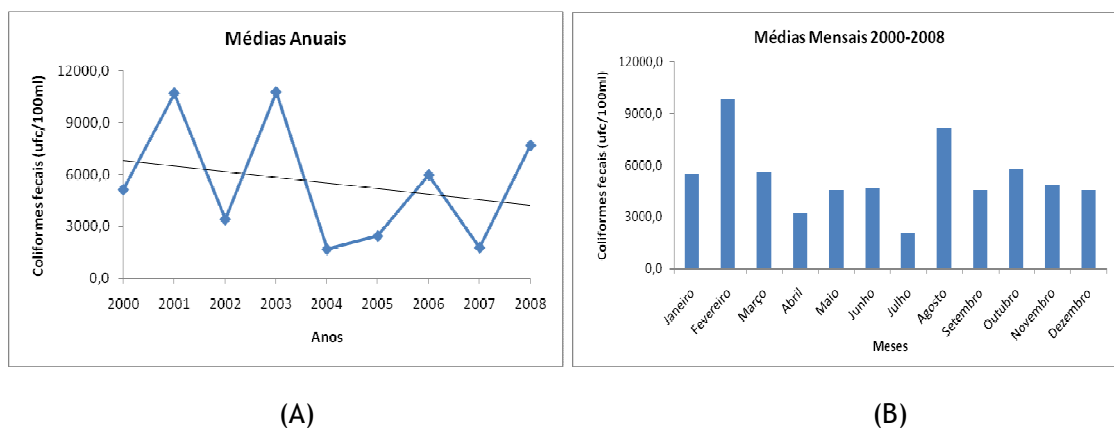


Figura 38: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de coliformes fecais desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de coliformes fecais.

Os gráficos da figura 38 revelam oscilações significativas na evolução deste parâmetro, não sendo conclusiva a tendência observada. Os meses de Fevereiro e Agosto apresentam os valores médios mensais mais elevados. Este parâmetro é também variável a nível mensal.

5.2.14 Coliformes totais

Os coliformes totais são um grupo de bactérias constituído por bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, capazes de crescer na presença de compostos activos de superfície com propriedades similares de inibição de crescimento.

Na figura 39 está representada a evolução das concentrações médias anuais de coliformes totais e a respectiva tendência temporal desde 2000 até 2008 (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

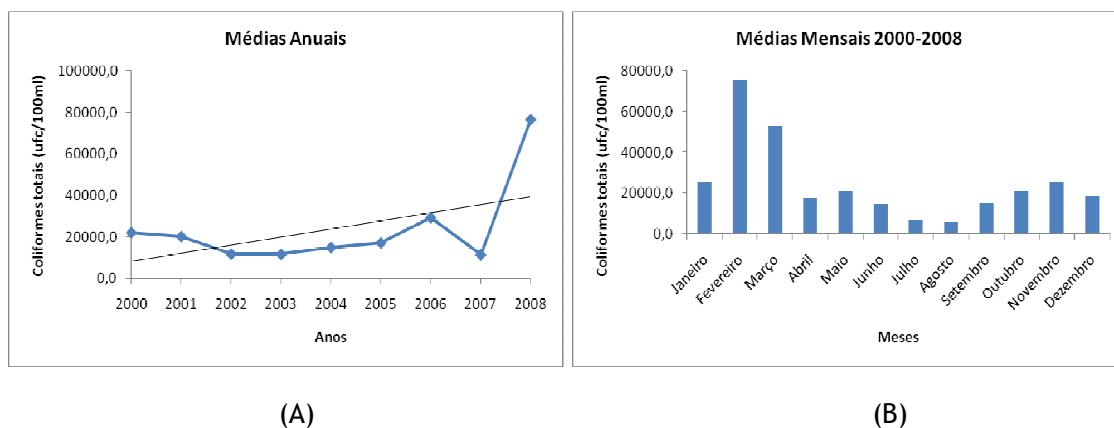


Figura 39: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de coliformes totais desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de coliformes totais.

No gráfico (A) da figura 39 observa-se uma tendência estável dos valores médios anuais de coliformes totais perturbada positivamente pelo valor médio registado em 2008. Para o gráfico (B) conclui-se que nos meses de Fevereiro e Março os valores mensais apresentados são bastante superiores aos restantes. Em oposição, Julho e Agosto apresentam os valores mais baixos observados.

5.2.15 Enterococos

Enterococcus são um género de bactérias de origem fecal do grupo D de Lancefield. São bactérias gram-positivas, comensal do aparelho digestivo (intestino) e urinário.

Devido à ausência de valores, para este parâmetro o período de análise é entre 2004 e 2008. A figura 40 apresenta uma evolução dos valores médios anuais de enterococos e a respectiva tendência temporal (A) e as médias mensais dos mesmos (B).

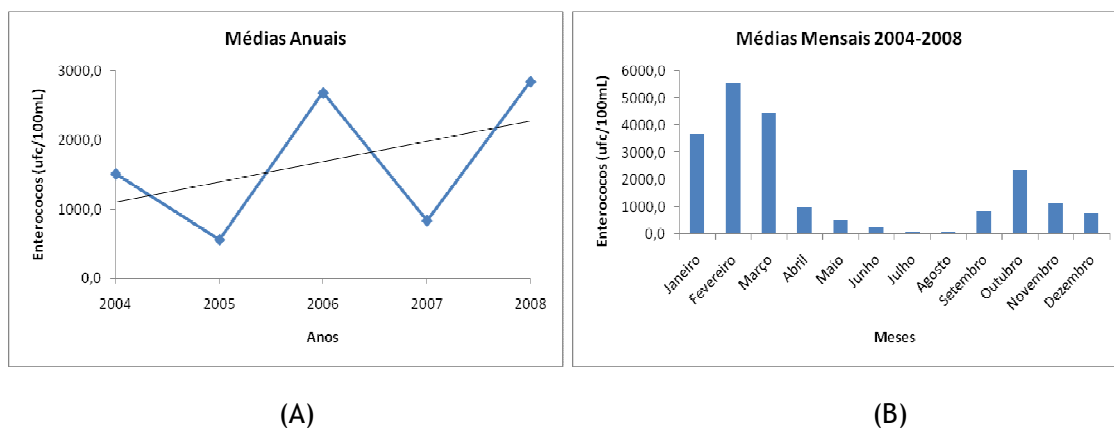


Figura 40: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de enterococos desde 2004 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de enterococos.

Observando a figura 40 e a partir do gráfico (A) verifica-se alguma variabilidade dos valores obtidos para os enterococos e uma tendência crescente. No gráfico (B) observa-se um contraste significativo entre os meses de Verão e os meses de Inverno. Nestes últimos os médios mensais de enterococos são bastante mais elevados.

5.2.16 Turvação

A turvação é um fenómeno óptico originado por absorção e dispersão da luz nas partículas. A designação de uma água turva é aplicada às águas que contenham matérias em suspensão, as quais interferem com a passagem da luz através da água. A turvação pode ser causada por uma enorme variedade de matérias em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, as quais variam desde partículas coloidais até sólidos de certas dimensões. No caso de lagos e albufeiras ou noutras massas de água paradas, a maior parte da turvação é devida a partículas coloidais. Pelo contrário, em rios em condições de cheia, a maior parte da turvação é devida a partículas de dimensão significativa resultantes da erosão.

Na figura 41 está representada a evolução da turvação e a respectiva tendência temporal desde 2000 até 2008 (A) e para o mesmo período as médias mensais (B).

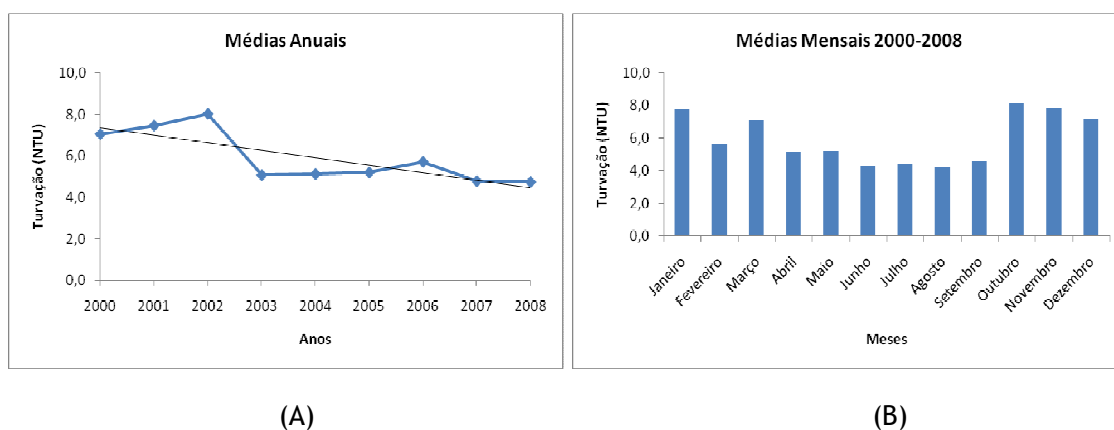


Figura 41: (A) Evolução dos valores médios anuais e tendência temporal de turvação desde 2000 até 2008 e (B) médias mensais, para o mesmo período, dos valores de turvação.

Pela análise da figura 41 podemos verificar que a turvação não é muito variável e apresenta uma tendência decrescente (A). No gráfico (B) conclui-se que, de uma forma geral, os valores das médias mensais da turvação são mais elevados nos meses de Inverno, onde os valores de caudais e precipitações também são mais elevados.

6 Análise de Correlação de Dados

6.1 Análise de Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise exploratória multivariada que transforma um conjunto de variáveis correlacionadas num conjunto menor de variáveis independentes, isto é, combinações lineares das variáveis originais, designadas por “componentes principais”. Esta técnica é essencialmente descritiva e adaptada por excelência ao tratamento de dados contidos em quadros multidimensionais de grandes dimensões. Descrita desta forma a ACP é geralmente encarada como um método de redução dos dados, mas, para além deste objectivo, uma das principais vantagens da ACP é resumir a informação de várias variáveis correlacionadas (e portanto de alguma forma redundantes) em uma ou mais combinações lineares independentes (as componentes principais) que representam a maior parte da informação presente nas variáveis originais. Estas componentes podem ser depois utilizadas como “índices” ou indicadores que resumem a informação disponível nas variáveis originais.

Sobre a matriz de *input* para análise dos dados é possível encontrar os “factores” (características estruturais básicas) que melhor explicam as relações de proximidade e oposição no interior do conjunto p variáveis, no interior das n amostras e nos dois conjuntos em simultâneo. Em ACP, os factores, hierarquizados por ordem decrescente da sua importância para a explicação da tabela de partida, constituem um sistema de eixos ortonormais, onde é possível visualizar, sob a forma gráfica, as projecções da matriz de dados. A interpretação das projecções baseia-se num conjunto de regras que pretendem evidenciar as relações mais importantes existentes nos dados de partida. (Góis, 2002)

A ACP foi o método escolhido para correlacionar valores mensais de caudais e de alguns parâmetros de qualidade da água. As falhas nos registos mensais só permitiram seleccionar, para a correlação, 12 parâmetros de qualidade de água e limitaram o período em análise (ver anexo C - tabela IX). As p variáveis (13) seleccionadas estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Variáveis seleccionadas para a correlação e respectivo código de identificação.

Variáveis	Código das variáveis
Caudal	Ca
CBO ₅	CBO5
Alcalinidade	Al
pH	pH
Condutividade	Co
Oxigénio dissolvido	Ox
Fosfatos	P
Ferro	Fe
Coliformes fecais	cof
Coliformes totais	Cot
Turvação	Tu
Dureza total	D
Temperatura	T

Nas n amostras identificam-se 58 períodos de tempo estabelecidos para fazer as correlações (tabela 3).

Tabela 3: Amostras seleccionadas para a correlação e respectivo código de identificação.

Amostra	Código da amostra	Amostra	Código da amostra	Amostra	Código da amostra	Amostra	Código da amostra
Fevereiro de 2000	Fev0	Junho de 2001	Jun1	Mai de 2004	Mai4	Agosto de 2005	Ago5
Março de 2000	Mar0	Julho de 2001	Jul1	Junho de 2004	Jun4	Outubro de 2005	Out5
Abril de 2000	Abr0	Agosto de 2001	Ago1	Julho de 2004	Jul4	Novembro de 2005	Nov5
Mai de 2000	Mai0	Setembro de 2001	Set1	Agosto de 2004	Ago4	Janeiro de 2006	Jan6
Junho de 2000	Jun0	Outubro de 2001	Out1	Setembro de 2004	Set4	Fevereiro de 2006	Fev6
Julho de 2000	Jul0	Fevereiro de 2002	Fev2	Outubro de 2004	Out4	Março de 2006	Mar6
Agosto de 2000	Ago0	Mai de 2002	Mai2	Novembro de 2004	Nov4	Mai de 2006	Mai6
Setembro de 2000	Set0	Setembro de 2002	Set2	Dezembro de 2004	Dez4	Junho de 2006	Jun6
Outubro de 2000	Out0	Novembro de 2001	Nov2	Janeiro de 2005	Jan5	Julho de 2006	Jul6
Novembro de 2000	Nov0	Agosto de 2003	Ago3	Fevereiro de 2005	Fev5	Setembro de 2006	Set6
Dezembro de 2000	Dez0	Novembro de 2003	Nov3	Março de 2005	Mar5	Outubro de 2006	Out6
Janeiro de 2001	Jan1	Janeiro de 2004	Jan4	Abril de 2005	Abr5	Novembro de 2006	Nov6
Fevereiro de 2001	Fev1	Fevereiro de 2004	Fev4	Mai de 2005	Mai5	Dezembro de 2006	Dez6
Abril de 2001	Abr1	Março de 2004	Mar4	Junho de 2005	Jun5		
Mai de 2001	Mai1	Abril de 2004	Abr4	Julho de 2005	Jul5		

Após introduzida a matriz com dados de partida e com os respectivos códigos de identificação no *software* obtém-se um relatório de resultados e procede-se à interpretação da informação pretendida.

A matriz das correlações é uma matriz simétrica sem grande significado porque as correlações resultantes são muito fracas (ver anexo C - tabela X). Para que se considere que as variáveis estão bem correlacionadas, a matriz tem que apresentar correlações com valores superiores a $\pm 0,6$.

Considera-se uma variável relacionada com o seu eixo sempre que o seu coeficiente de correlação (coordenadas das variáveis) com esse eixo for superior a $\pm 0,5$.

Da análise das coordenadas obtidas (ver anexo C - tabela XI) e com o respectivo gráfico (figura 42) resultante para o eixo 1, é possível concluir que o caudal, a turvação e a CBO_5 estão associados e apresentam uma correlação positiva, ou seja, quanto maior o caudal, maior a turvação e maior a CBO_5 . Também se constata que elevados valores destas variáveis estão associados aos meses de Inverno. Ainda para o mesmo eixo, conclui-se que a alcalinidade, a condutividade e o pH estão correlacionados positivamente e têm tendências para valores elevados nos meses mais quentes. Estas variáveis opõem-se com correlações negativas ao caudal, à turvação e à CBO_5 , diminuindo quando estas últimas aumentam (ver anexo C - figura I).

Ao longo do eixo 1 há uma transição dos meses quentes, que se projectam no semi-eixo negativo, para os meses frios que, em oposição, se projectam no semi-eixo positivo (ver anexo C - figura I). A interpretação sobre as variáveis feita anteriormente indica a forma como os meses do ano se distribuem ao longo do eixo 1.

Analisando o eixo 2 verifica-se que o os fosfatos e o ferro evidenciam uma correlação positiva (figura 42). Estes parâmetros têm tendência a estarem relacionados com os meses de transição e a diminuírem com alguns meses frios de baixos caudais (ver anexo C - figura I).

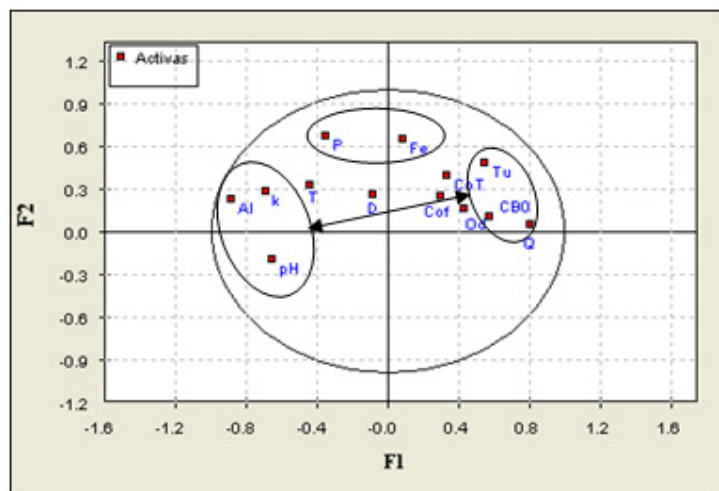


Figura 42: Resultados da análise ACP para o eixo 1 (horizontal) e para o eixo 2 (vertical).

A partir da interpretação das coordenadas do eixo factorial 3 conclui-se que para elevados valores de temperatura correspondem baixos valores de dureza total, uma vez que se correlacionam negativamente (figura 43). A temperatura, como seria de esperar, apresentam elevados valores nos meses de Verão (ver anexo C) - figura II).

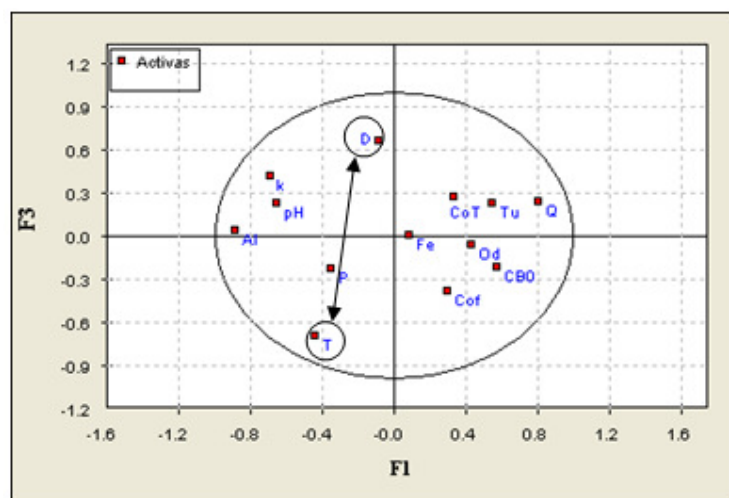


Figura 43: Resultados da análise ACP para o eixo 3 (vertical).

No quarto eixo factorial verifica-se que a variável CBO_5 se correlaciona negativamente com os coliformes totais e com os coliformes fecais, que por sua vez estão associados positivamente entre si (Figura 44).

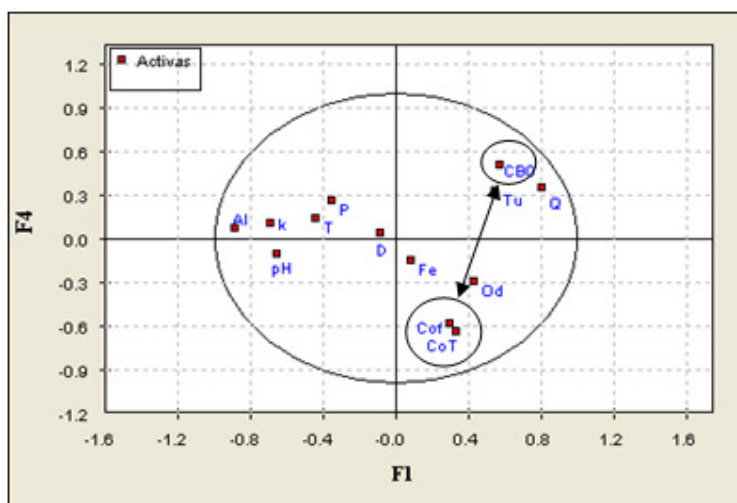


Figura 44: Resultados da análise ACP para o eixo 4 (vertical).

Os resultados obtidos encontram-se resumidamente sintetizados na tabela 4. A importância relativa de cada um dos eixos é analisada pela coluna % EXP (taxa de inércia transportada).

Tabela 4: Resultados obtidos na análise factorial - ACP.

n	P	Eixo 1		Eixo 2		Eixo 3		Eixo 4	
		% EXP	Variáveis Relacionadas	% EXP	Variáveis Relacionadas	% EXP	Variáveis Relacionadas	% EXP	Variáveis Relacionadas
58	13	28,35	Turvação, Caudal, CBO ₅ ⇕ Alcalinidade, Condutividade, pH	13,34	Ferro, Fósforo	12,15	Dureza total ⇕ Temperatura	11,17	CBO ₅ ⇕ Coliformes totais, Coliformes fecais

Legenda: ⇕ : oposição no eixo, n: n° de linhas, p: n° de colunas, % EXP: taxa de inércia transportada pelo eixo.

6.2 Técnica de auto-correlação aplicada ao Caudal e Precipitação

Uma das análises clássicas no estudo de séries temporais consiste na aplicação da função de auto - correlação, enquanto ferramenta exploratória da dependência temporal dos registos, indicando em que medida cada registo, num dado instante t se relaciona com os registos em $t+1$, $t+2$, ..., $t+i$.

Para cada intervalo fixo i poder-se-á calcular a correlação amostral r_i entre os valores de X_i e X_{t+i} segundo a equação (1). (Góis, 2002)

$$r_i = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} (X_t - \bar{X})(X_{t+i} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2} \quad (1)$$

com $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$.

O correlograma (figura 45) fornece, quando aplicado aos registos de caudal mensal e precipitação mensal do rio Cávado, Penide e Barcelos respectivamente, um coeficiente de correlação temporal entre os sucessivos valores. Para aplicação desta técnica de auto-correlação seleccionaram-se as maiores séries temporais possíveis de dados contínuos. Os registos para o caudal mensal estão entre Janeiro de 2000 até Agosto de 2005 e para a precipitação mensal estão entre Janeiro de 1932 até Julho de 2002.

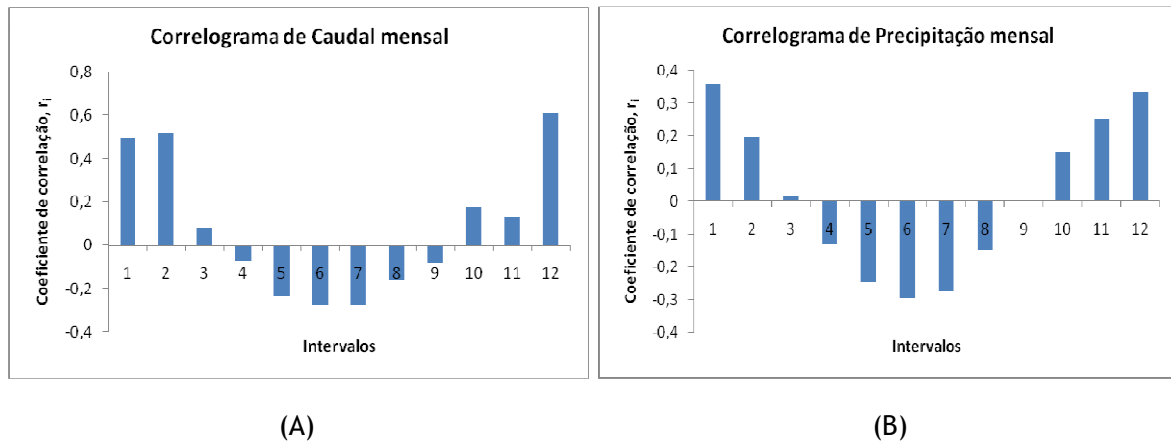


Figura 45: Correlograma de dados de (A) caudal mensal, registos de Penide entre Janeiro de 2000 e Agosto de 2005 e de (B) precipitação mensal, registos de Barcelos entre Janeiro de 1932 e Julho de 2002.

A partir dos correlogramas (A) e (B) da figura 45 detecta-se que embora não haja muita estabilidade temporal, tanto para o caudal como para precipitação de um dado mês há uma forte tendência para se relacionar com o correspondente mês do ano anterior. Quer para o caudal, quer para a precipitação, o período de ciclicidade é de 12 meses, isto é, de 12 em 12 meses os valores esperados serão da mesma ordem de grandeza. Com uma correlação menos acentuada um dado mês também se relaciona com os dois meses anteriores.

7 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Em Portugal Continental as séries temporais de temperatura máxima e mínima apresentam tendências com o mesmo sinal das observadas a nível global; em particular no último quarto de século registou-se um aumento significativo das temperaturas máximas e mínimas médias, com os valores das tendências de ambas as temperaturas a serem da mesma ordem de grandeza. Mais recentemente, o valor da tendência da temperatura mínima é superior ao da temperatura máxima, o que implica uma redução da amplitude térmica. Regista-se também a tendência significativa do aumento do número de “dias de Verão” e de “noites tropicais”, bem como no índice anual de ondas de calor e tendência significativa de diminuição de dias e noites frias e no número de ondas de frio.

No que se refere à precipitação, a evolução observada apresenta grande irregularidade e não se verificam tendências significativas no valor médio anual. Contudo, nas últimas décadas observou-se uma importante redução na precipitação do mês de Março, em todo o território, acompanhada nas últimas décadas por uma redução mais pequena, mas significativa, da precipitação em Fevereiro.

A informação apresentada neste trabalho não permite a obtenção de conclusões categóricas sobre a variabilidade na disponibilidade e na qualidade da água; não obstante, a sua análise permite delinear algumas tendências que se revelam interessantes. Com uma série de dados completa e mais longa, talvez fosse possível prever com maior detalhe o comportamento médio da precipitação e dos parâmetros de qualidade da água, relacionando-os com as variações de caudal e temperatura.

Neste estudo, embora os registos da precipitação e do caudal não pertençam ao mesmo período de tempo, ambos apresentam variabilidade interanual e tendência decrescente. Por outro lado a temperatura média anual apresenta uma evolução temporal com tendência crescente. Uma diminuição da precipitação acompanhada por um aumento da evapotranspiração potencial devido ao aumento da temperatura tenderá a provocar a diminuição da disponibilidade de água. Da análise da auto-correlação da precipitação não se conclui sobre a tendência da sazonalidade, mas apenas da ciclicidade no período de 12 meses.

A análise de componentes principais indica que o caudal se correlaciona com vários parâmetros da qualidade da água. As modificações da quantidade de água terão obviamente consequências indirectas sobre a qualidade da água devido a modificações de absorção das cargas poluentes dos meios hídricos. O aumento da temperatura associado às alterações climáticas terá também impactos directos sobre a qualidade da água, por exemplo,

diminuindo o nível de saturação de oxigénio dissolvido na água ou condicionando os processos químicos e biológicos que ocorrem nos meios hídricos, interferindo nos fenómenos de eutrofização e no comportamento dos ecossistemas.

Através da bibliografia disponível sobre bacia hidrográfica do rio Cávado e do estudo efectuado, conclui-se que as disponibilidades hídricas para essa região vão estar dependentes do ciclo hidrográfico anual da precipitação que se reflecte directamente no do escoamento. A variabilidade dos valores do escoamento anual está fortemente condicionada pela variabilidade dos valores da precipitação, sendo no entanto um pouco superior devido à água que se evapora para a atmosfera. A distribuição dos valores anuais médios da precipitação e do escoamento total médio aumenta para sectores mais a montante da bacia.

Para a região Norte do País onde se encontra a bacia hidrográfica do rio Cávado, os estudos desenvolvidos no âmbito do projecto SIAM, utilizando modelos climáticos, prevêem, ao longo do século XXI, uma ligeira variação da precipitação anual e um aumento da sazonalidade da precipitação, com decréscimos mais significativos no Verão do que no Inverno. Estes modelos indicam ainda um aumento da temperatura média anual e uma redução do escoamento com tendência para uma concentração no Inverno.

Pode pois esperar-se para esta região um aumento dos consumos de água, principalmente para a agricultura. Esta actividade é ainda de grande importância económica, pelo que a diminuição na disponibilidade de água poderá condicionar o tipo de culturas. Prevê-se também uma diminuição da qualidade da água e portanto um decréscimo na disponibilidade de água.

Para um cenário em que se anunciam alterações importantes na distribuição, na quantidade da precipitação, e da qualidade de água, o estudo das respectivas tendências de evolução deverá constituir, no nosso país, mais um dos elementos a ponderar sobre as estratégias de resposta e de adaptação com vista à eficaz gestão dos recursos hídricos no futuro. As medidas de adopção deverão ser planeadas à escala das bacias hidrográficas, levando em conta todos os agentes locais, que directa ou indirectamente, interagem com o meio hídrico. No entanto é necessário ter consciência de que as alterações climáticas irão determinar custos crescentes e impactos negativos para a economia tanto mais importantes quanto mais tarde se começar a actuar no sentido da mitigação das emissões e da adaptação das actividades e territórios. Com efeito, as medidas de prevenção, através da protecção climática e de adaptação a fenómenos climáticos, poderão evitar desastres humanos e materiais graves, e mesmo vir a ter impactos positivos na economia e na qualidade de vida das populações. Melhorar a eficiência energética, utilizar recursos energéticos renováveis a nível global, reduzir a desflorestação, promover o uso sustentável da água e desenvolver uma agricultura sustentável constituem algumas medidas de prevenção às alterações climáticas. O

grande desafio para a mitigação, como resposta às alterações climáticas, é diminuir o consumo de combustíveis fósseis a nível mundial poupando energia, desenvolvendo o uso de energias renováveis e de tecnologias de produção de energia. Deverá ser necessário também recorrer ao sequestro de CO₂ resultante das combustões e ao seu armazenamento em reservatórios naturais subterrâneos. No que concerne à adaptação aos impactos das alterações climáticas, há que garantir que os planos de desenvolvimento integram as alterações climáticas, de modo a evitar que as pessoas sejam postas em perigo e a reduzir o risco climático associado ao investimento.

Assim, na definição das estratégias e políticas de gestão dos recursos hídricos, os impactos das alterações climáticas deverão constituir uma fonte adicional de incerteza que poderá influenciar a disponibilidade, a procura e a qualidade da água, no futuro. É pois importante e necessário desenvolver os estudos de avaliação dos recursos hídricos em Portugal, tendo em conta as alterações climáticas e os seus efeitos, para que a gestão dos recursos hídricos disponha antecipadamente de respostas adequadas e rápidas perante situações específicas.

Tendo em conta o cenário apresentado e as medidas de prevenção (protecção climática e de adaptação a fenómenos climáticos) referidas anteriormente, há algumas acções que a Águas do Cávado, SA pode ir delineando para estar mais preparada para garantir o abastecimento à população abrangida pela concessão, mantendo a quantidade e a qualidade requeridas.

- Continuar a sua política de desenvolvimento de parcerias com instituições universitárias no sentido de desenvolver modelos validados para simulação de cenários previsíveis num contexto de alterações climáticas, relativamente à disponibilidade e qualidade de água da fonte que utiliza (o rio Cávado);
- Com base na informação obtida, implementar uma metodologia que permita avaliar o impacto esperado directo no processo de tratamento, como por ex. quantidade de reagentes, necessidade de alteração dos próprios reagentes, tempos de percurso, etc. - logo, identificação da necessidade de alterações no próprio processo de tratamento de modo a permitir o seu planeamento atempado e optimização de eficiência e custos associados;
- Avaliar o impacto indirecto nas infra-estruturas da empresa como, por ex., se as infra-estruturas e equipamentos estarão adaptados às possíveis alterações no processo de tratamento referidas no ponto anterior, e ainda avaliar alterações no padrão de consumo energético em consequência dessas mudanças.

Finalmente, a Águas do Cávado, SA, deverá também relacionar estes impactes decorrentes das alterações climáticas na sua actividade, com os impactes que a sua actividade tem nesse mesmo padrão de alterações climáticas.

A Águas do Cávado, SA faz já uma quantificação das suas emissões, onde se inclui as de CO₂ e divulga-as no seu Relatório de Sustentabilidade de publicação anual. A Águas do Cávado, SA tem também um programa para aumento da sua eficiência energética e consequentemente de diminuição da sua pegada ecológica no que se refere às alterações climáticas - a empresa foi ainda parceira do Programa Greenlight em 2008. Contudo, há muito caminho a percorrer e será desejável obter uma relação custo-benefício no que se refere a estes investimentos de aumento de eficiência e de promoção de melhores práticas, não só numa perspectiva financeira e em termos absolutos de redução de CO₂, mas também a uma escala global, relacionando com o impacte das alterações climáticas na sua actividade.

Referências Bibliográficas

Brito, A.; Costa, S.; Pinho, J. (2008). *Estudo de Valorização e Desenvolvimento Estratégico dos Rios Cávado e Homem*. Braga: Universidade do Minho e Simbiente.

Comissão para as Alterações Climáticas (2001). *Programa Nacional para as Alterações Climáticas* (v.2001).

Comissão Europeia (2002), *Alterações Climáticas: uma Prioridade da União Europeia*, Luxemburgo.

Comissão Para as Alterações Climáticas (2009). *Adaptação às Alterações Climáticas em Portugal Proposta de Estratégia Nacional*. Acedido em 24/07/2009, disponível em http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/Estrat%C3%A9gia%20Adapta%C3%A7%C3%A3o%20as%20AC_vs%20para%20Publica.pdf.

Cunha, L.; Oliveira, R.; Nunes, V. (data). *Impacto das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos de Portugal* in Alojamentos. Acedido em 10/03/2009, disponível em http://alojamientos.us.es/ciberico/archivos_acrobat/sevilla3veiga.pdf.

Cunha, L. V.; Ribeiro, L.; Oliveira, R. (2006). *Recursos Hídricos in Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II*. Lisboa: Gradiva.

Cunha, L. V.; Oliveira, R. P.; Nascimento, J.; Ribeiro, L. (2006). *Impacts of Climate Change on Water Resources: A Case Study on Portugal*.

Fritzsons, E.; Hindil, E.; Mantovani, L.; Rizzi, N. (2003) Consequências da Alteração da Vazão sobre alguns Parâmetros de Qualidade de Água Fluvial. *Revista floresta*, 33 (2), pp.201-214.

Góis, J. (2002). *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*. Porto: FEUP.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (2007). *Summary for Policymakers in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.

Moroco, J. (2003). *Análise Estatística: com utilização do SPSS*. Lisboa: Silabo.

Santos, F. (2005). *Impactos das Alterações Climáticas em Portugal*. Acedido em (10/03/2009), disponível em http://arquivo.es.e.ips.pt/es.e/destaques/informacoes/altera_clima.pdf.

Santos, F. D.; Forbes, K.; Moita, R. (editores) (2001). *Mudança Climática em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - SIAM. Sumário Executivo e Conclusões*. Lisboa: Gradiva.

Santos, F. D.; Forbes, K.; Moita, R. (editores) (2002). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. Project SIAM*. Lisboa: Gradiva.

Santos, F. D.; Miranda, P. (editores) (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II*. Lisboa: Gradiva.

Vieira, J. (2003). *Gestão da Água em Portugal: Os Desafios do Plano Nacional da Água*. Engenharia Civil, 16, pp.5-12.

Vieira, J. (2007). *Diagnostico Actual e Previsão Futura da Qualidade da Água da Bacia do rio Cávado Através de Modelação Matemática*. ODeCav.

Sites:

<http://www.ipcc.ch/>

<http://www.siam.fc.ul.pt/siam.html>

http://www.siam.fc.ul.pt/siamII_pdf/RecursosHidricos.pdf

<http://ec.europa.eu/environment/climat/eccp.htm>

<http://snirh.inag.pt/>

<http://www.inag.pt/>

<http://www.aprh.pt/>

<http://www.eea.europa.eu/themes/climate>

<http://www.ccdr-n.pt/>

<http://www.confagri.pt/Ambiente/AreasTematicas/AltClimaticas/TxtSintese/Antecedentes/>

<http://www.apambiente.pt/POLITICASAMBIENTE/ALTERACOESCLIMATICAS/Paginas/default.aspx>

<http://www.bristolwater.co.uk/environment/wrp.asp>

<http://www.aprh.pt/congressoagua2008/PDF/LuisVeigadaCunha.pdf>

<http://www.aguas-cavado.pt/empresa.php>

<http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO.pdf>

<http://www.sergio.cortizo.nom.br/>

<http://www.ineti.pt/>

http://www.ceeeta.pt/energia/files/09/08-Alteracoes_Climaticas.pdf

<http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/mourato%20et%20al.doc>

http://www.icea.pt/Actas/21_16h00m_Filipe%20D%20Santos.pdf

https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4862/5/Comunica%C3%A7%C3%A3o_Final.pdf

<http://www.geocities.com/wwwweibull/Param.htm>

Legislação:

Resolução do Conselho de Ministros nº 59/2001, Diário da República, 30 de Maio de 2001 - I Série - Parte B

Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008, Diário da República, 4 de Janeiro de 2008 - 1ª série, Nº3

Resolução do Conselho de Ministros nº 104/2006, Diário da República, 23 de Agosto de 2006 - 1ª série, Nº 162

Anexos

Anexo A

Tabela I: Mudanças verificadas pelo IPCC no decorrer do século 20.

Indicador	Diferenças Observadas
Indicadores de Concentração	
Concentração atmosférica de CO ₂	280 ppm no período de 1000-1750 para 368 ppm no ano 2000 (31±4% de aumento).
Concentração atmosférica de CH ₄	700 ppb no período de 1000-1750 para 1,750 ppb no ano 2000 (151±25% de aumento).
Concentração atmosférica de N ₂ O	270 ppb no período de 1000-1750 para 316 ppb no ano 2000 (17±5% de aumento).
Troca de CO ₂ na biosfera terrestre	Fonte cumulativa de cerca de 30 Gt C entre os anos 1800 e 2000; mas durante a década de 90 ocorreu uma incorporação de cerca de 14±7 Gt C.
Concentração troposférica de O ₃	Aumentou 35±15% entre 1720 e 2000, variando de região para região.
Concentração estratosférica de O ₃	Diminuiu entre 1970 e 2000, variando com a altitude e a latitude.
Concentração atmosférica de HFCs, PFCs e SF ₆	Aumentou globalmente nos últimos 50 anos.
Indicadores Climáticos	
Temperatura média da superfície terrestre	Aumentou 0,6±0,2% no século 20; superfície terrestre mais quente do que os mares. (muito provável).
Temperatura da superfície no Hemisfério Norte	Aumento no século 20 maior do que em qualquer outro século durante os últimos 1000 anos; a década de 1990 foi a mais quente do milênio (provável).
Amplitude térmica diurna	Diminuiu entre 1950 e 2000 acima da superfície: as temperaturas mínimas nocturnas aumentaram a um ritmo duas vezes superior às temperaturas máximas diurnas (provável).
Dias quentes	Aumentaram (provável).
Dias frios	Diminuíram em grande parte das regiões no século 20 (muito provável).
Precipitação continental	Aumentou em 5-10% no século 20 no Hemisfério Norte (muito provável), apesar de ter diminuído em algumas regiões (Norte e Oeste de África e zonas do Mediterrâneo).
Eventos de precipitação intensa	Aumentou nas regiões norte de latitudes médias e altas (provável).
Frequência e severidade das secas	Verão mais quente com consequentes fenómenos de seca em algumas regiões (provável). Em algumas regiões, como partes de África e da Ásia, a frequência e intensidade das secas aumentou nas décadas recentes.
Indicadores Biológicos e Físicos	
Nível médio do mar global	Aumentou a uma taxa média anual de 1 a 2 mm durante o século 20.
Duração da cobertura de gelo de rios e lagos	Diminuiu cerca de 2 semanas durante o século 20 nas zonas de latitudes médias e altas do Hemisfério Norte (muito provável).
Extensão e grossura do gelo do mar Ártico	Diminuiu a espessura em 40% nas décadas recentes desde o fim do Verão ao princípio do Outono (provável) e diminuiu em extensão cerca de 10-15% desde os anos 1950 na Primavera e no Verão.
Glaciares não polares	Regressão geral durante o século 20.
Cobertura de neve	Decresceu em área cerca de 10% desde que se tornaram disponíveis observações a partir dos satélites em 1960 (muito provável).
Permafrost	Derreteu e degradou-se nas regiões polares, sub-polares e montanhosas.
Eventos associados ao El Niño	Tornaram-se mais frequentes, persistentes e intensos durante os últimos 20 a 30 anos quando comparando com os últimos 100 anos.
Primavera	Aumentou a sua duração em 1 a 4 dias por década durante os últimos 40 anos no Hemisfério Norte, especialmente a latitudes elevadas.
Vida dos animais e plantas	Mudanças nos ciclos das plantas, insectos, aves e peixe.
Procriação, crescimento e migração	Florescer das plantas mais cedo, chegada dos pássaros mais cedo, procriação mais cedo e aparecimento de insectos mais cedo no Hemisfério Norte.
Branqueamento dos recifes de coral	Aumentou de frequência, especialmente durante eventos relacionados com o El Niño.
Indicadores Económicos	
Perdas económicas relacionadas com o clima	Perdas globais ajustadas à inflação global cresceram nos últimos 40 anos; parte desta tendência de subida deve-se a factores socio-económicos, outra parte a factores climáticos.

Provável: 66-90% de hipóteses; Muito provável: 90-99% de hipóteses.

Tabela II: Objectivos e tarefas do PNAC.

Objectivos que o PNAC deve cumprir: ▪ quantificar o esforço de redução para cumprimento dos compromissos assumidos; ▪ identificar as responsabilidades sectoriais em termos de emissões de GEE; ▪ apresentar o conjunto de PeM (inter)sectoriais para controlo e redução de GEE, e respectivos instrumentos, no curto, médio e longo prazo, explicitando a sua eficácia ambiental, o esforço orçamental necessário para a sua implementação e, sempre que possível, os seus impactos micro e macroeconómicos; ▪ evidenciar os princípios e condições de política que promovam a sua implementação; ▪ identificar a participação do país nos mecanismos de flexibilidade preconizados no Protocolo de Quioto; ▪ definir o seu sistema de monitorização e revisão.
Tarefas a realizar, o PNAC integra: ▪ identificação do cenário de referencia de evolução socioeconómica para o horizonte temporal definido (2008-2012), avaliação das respectivas emissões de GEE e quantificação do esforço de redução necessário para cumprir os compromissos internacionais e comunitários; ▪ concepção e desenvolvimento do Bloco Imediato de PeM e instrumentos, a ser implementado no curto prazo: a) identificação e avaliação (da eficácia ambiental, dos factores de sucesso e constrangimentos na aplicação e, sempre que possível, da relação custo-eficácia) das PeM e instrumentos (sectoriais e/ou horizontais) em fase de implementação ou planeamento, com efeitos directos e/ou indirectos na redução das emissões de GEE, não incluídos no cenário de referencia; b) identificação e análise, com o apoio dos agentes económicos e das entidades competentes, da oportunidade e possibilidades de otimizar a eficácia ambiental das PeM e dos instrumentos supracitados e de PeM e instrumentos já em curso, bem como dos meios, acções e recursos necessários para o efeito, a fim de os constituir como PeM e instrumentos de curto prazo do PNAC. ▪ concepção e desenvolvimento do Bloco Adicional de PeM e instrumentos, a ser implementado, nos curto e médio prazos (2002-2008): a) identificação e análise das medidas decorrentes da política da UE, nomeadamente do Programa Europeu para as Alterações Climáticas, e que resultarão em directivas comunitárias a transpor para o ordenamento jurídico português; b) identificação, análise e avaliação do impacto de PeM novas e/ou adicionais, que assegurem o cumprimento dos objectivos de redução de GEE, bem como dos respectivos instrumentos para a sua implementação, incluindo o comercio de emissões na UE, a luz dos critérios de eficácia ambiental, eficiência económica, equidade, integração com outras políticas sectoriais, exequibilidade no tempo e aceitabilidade social; c) análise integrada do potencial e da oportunidade de utilização dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto, nomeadamente do mecanismo de desenvolvimento limpo, e identificação das condições (político-institucionais e económicas) necessárias a sua concretização. ▪ fixação das responsabilidades sectoriais de redução de emissões de GEE, de acordo com um conjunto de critérios, tais como, equidade na repartição do esforço de cumprimento, eficiência económica, salvaguarda da competitividade nacional, entre outros; ▪ discussões publicas e sectoriais; ▪ identificação e estabelecimento dos procedimentos e métodos para a monitorização do PNAC, nomeadamente no que se refere a implementação das PeM adoptadas, e de avaliação dos seus impactos na redução de GEE.

Tabela III: Disponibilidades hídricas superficiais. (INAG, 2001)

Bacia	Escoamento anual na foz com garantia de 90% (hm ³)		Escoamento anual na foz com garantia de 80% (hm ³)	
	Regime natural	Regime regularizado	Regime natural	Regime regularizado
Minho	5938	n.d.	7276	n.d.
Lima	1605	2110	1947	2462
Cávado	1089	1769	1432	1960
Ave	546	612	722	794
Leça	37	38	56	60
Douro	12471	n.d.	16278	n.d.
Vouga	675	721	1092	1108
Mondego	911	1452	2166	2342
Lis	49	63	93	121
Ribeiras do Oeste	113	131	154	163
Tejo	10004	n.d.	11845	n.d.
Sado	19	612	182	716
Mira	0	268	60	289
Guadiana	1051	n.d.	1744	n.d.
Ribeiras do Algarve	25	105	104	160

Anexo B

Tabela IV: Precipitação Mensal na Estação de Barcelos.

Ano/Mês	Precipitação Mensal (mm) - Estação de Barcelos												Precipitações Anuais (mm)	Média Anual	Máximo	Mínimo
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro				
1932	107,1	19,8	144,6	73,0	14,2	58,2	26,7	27,1	243,4	200,8	104,4	436,2	1455,5	121,3	436,2	14,2
1933	212,6	41,8	271,2	40,2	93,6	26,2	11,0	6,4	41,1	114,6	176,0	208,4	1243,1	103,6	271,2	6,4
1934	159,0	13,3	285,4	185,0	38,2	10,6	14,4	56,2	33,4	29,6	178,0	665,4	1668,5	139,0	665,4	10,6
1935	1,2	205,6	74,4	119,8	86,4	125,6	2,8	8,2	17,8	26,2	458,6	493,0	1619,6	135,0	493,0	1,2
1936	531,6	452,6	463,8	177,2	71,4	104,8	66,4	14,4	57,2	47,2	141,8	114,2	2242,6	186,9	531,6	14,4
1937	354,8	254,8	358,2	171,4	57,0	48,4	15,4	0,0	77,4	108,2	289,8	255,0	1990,4	165,9	358,2	0,0
1938	172,4	45,2	32,8	29,2	134,6	0,0	10,4	3,0	50,2	56,2	157,4	297,2	988,6	82,4	297,2	0,0
1939	386,4	135,3	76,9	157,1	59,2	107,6	53,2	6,6	142,0	195,7	146,4	211,6	1678,0	139,8	386,4	6,6
1940	459,4	313,2	153,8	172,1	146,4	16,0	29,3	0,0	9,5	171,5	242,5	97,3	1811,0	150,9	459,4	0,0
1941	349,4	398,0	256,0	210,2	152,5	132,5	67,9	10,9	16,1	0,0	232,8	38,2	1864,5	155,4	398,0	0,0
1942	196,2	36,0	190,8	147,8	193,0	108,8	2,3	34,5	93,4	195,1	49,6	268,7	1516,2	126,4	268,7	2,3
1943	384,1	71,0	116,4	33,0	37,7	12,0	41,3	0,0	24,0	287,4	64,1	169,8	1240,8	103,4	384,1	0,0
1944	71,6	49,8	125,6	158,4	20,0	27,8	75,5	47,6	56,0	52,4	86,1	214,6	985,4	82,1	214,6	20,0
1945	182,0	49,6	29,4	78,2	71,7	16,0	7,2	60,4	6,8	141,8	169,3	334,8	1147,2	95,6	334,8	6,8
1946	121,3	61,8	203,6	112,7	190,9	46,9	0,4	30,4	102,6	136,4	185,8	189,6	1382,4	115,2	203,6	0,4
1947	212,6	561,0	591,9	104,0	129,0	35,6	0,8	4,4	62,9	66,4	95,6	233,0	2097,2	174,8	591,9	0,8
1948	441,4	56,1	100,4	84,2	122,0	1,2	0,8	34,6	10,2	107,0	118,2	413,8	1489,9	124,2	441,4	0,8
1949	79,6	41,0	18,4	26,6	46,0	20,0	8,4	1,2	263,2	206,8	253,8	106,4	1071,4	89,3	263,2	1,2
1950	65,6	328,0	98,6	31,8	150,6	54,6	45,0	38,2	39,5	29,0	275,6	182,8	1339,3	111,6	328,0	29,0
1951	304,2	470,8	205,4	44,8	113,6	57,4	26,6	45,6	10,5	134,8	392,0	157,0	1962,7	163,6	470,8	10,5
1952	105,6	61,4	226,6	168,0	170,7	61,8	44,6	51,0	40,2	156,8	231,2	197,0	1514,9	126,2	231,2	40,2
1953	49,1	49,7	20,5	110,8	94,5	29,8	15,0	24,8	103,7	105,8	189,4	106,6	899,7	75,0	189,4	15,0
1954	114,0	160,5	294,7	84,6	80,4	50,4	4,0	77,2	22,2	54,4	271,1	118,7	1332,2	111,0	294,7	4,0
1955	487,8	213,0	118,8	43,8	60,8	121,0	0,0	0,3	8,4	52,8	256,5	234,6	1597,8	133,2	487,8	0,0
1956	270,7	45,3	277,4	182,6	183,0	9,5	60,8	86,1	144,8	102,4	54,4	178,0	1595,0	132,9	277,4	9,5
1957	83,0	271,8	203,9	17,8	90,1	50,4	23,6	36,7	56,0	28,3	115,2	130,0	1106,8	92,2	271,8	17,8
1958	186,2	150,8	237,1	70,7	67,3	187,6	40,0	102,9	65,1	105,7	12,8	303,0	1529,2	127,4	303,0	12,8
1959	236,4	42,3	332,1	189,1	78,9	27,1	6,6	17,5	100,2	162,7	314,0	473,6	1980,5	165,0	473,6	6,6
1960	199,4	297,3	234,7	73,5	88,1	5,0	18,8	141,7	167,0	435,7	415,5	346,4	2423,1	201,9	435,7	5,0
1961	246,9	149,7	16,1	287,3	164,6	45,4	78,8	17,2	85,2	239,7	162,3	396,4	1889,6	157,5	396,4	16,1
1962	192,8	37,3	378,3	175,4	48,3	14,4	31,2	10,2	43,4	120,1	179,2	134,2	1364,8	113,7	378,3	10,2
1963	323,9	310,2	254,5	151,1	31,7	98,4	3,0	12,5	24,3	124,7	477,8	281,8	2093,9	174,5	477,8	3,0
1964	28,9	329,9	268,6	74,4	60,6	103,0	0,0	19,2	86,1	123,4	27,3	93,1	1214,5	101,2	329,9	0,0
1965	193,0	46,4	251,8	47,5	58,7	26,9	11,5	4,5	232,7	234,7	327,9	289,6	1725,2	143,8	327,9	4,5

Análise Prospectiva sobre os Impactos das Alterações Climáticas na Qualidade e na Disponibilidade de Água para Consumo Humano

1966	385,0	528,6	3,7	232,4	35,7	72,7	1,1	51,4	30,8	298,3	116,9	99,1	1855,7	154,6	528,6	1,1
1967	154,6	137,7	198,2	34,9	142,4	23,7	3,0	45,5	141,0	119,9	133,6	43,9	1178,4	98,2	198,2	3,0
1968	34,6	366,0	77,6	247,3	164,9	14,5	13,9	25,5	126,1	114,7	266,5	298,3	1749,9	145,8	366,0	13,9
1969	369,5	255,4	284,7	174,7	353,8	72,3	1,6	21,0	145,3	71,3	222,1	159,9	2131,6	177,6	369,5	1,6
1970	617,5	107,9	27,6	15,2	188,2	121,7	10,7	32,5	18,3	0,0	217,9	26,4	1383,9	115,3	617,5	0,0
1971	308,9	51,1	87,9	86,1	171,5	131,3	72,2	55,2	19,0	53,8	44,0	116,6	1197,6	99,8	308,9	19,0
1972	256,9	398,5	183,0	83,0	79,0	37,3	1,4	12,2	53,7	193,2	189,9	225,5	1713,6	142,8	398,5	1,4
1973	226,7	65,3	72,5	64,3	259,4	22,8	37,2	0,0	114,5	128,0	57,4	115,0	1163,1	96,9	259,4	0,0
1974	420,4	244,9	93,2	35,4	104,5	304,2	2,3	3,0	88,8	13,5	245,1	51,0	1606,3	133,9	420,4	2,3
1975	242,8	163,1	181,6	52,7	36,8	14,1	32,5	1,9	155,4	91,9	149,4	65,6	1187,8	99,0	242,8	1,9
1976	108,9	80,3	108,4	59,7	2,1	1,0	16,9	24,0	114,9	475,3	200,9	342,1	1534,5	127,9	475,3	1,0
1977	311,8	385,3	198,2	138,6	65,1	89,0	26,0	31,0	49,0	258,0	136,0	422,3	2110,3	175,9	422,3	26,0
1978	235,5	469,9	234,0	174,9	100,7	79,2	1,0	0,5	36,5	67,3	44,5	880,3	2324,3	193,7	880,3	0,5
1979	244,1	447,5	370,8	155,0	175,3	5,0	32,9	10,5	3,0	374,7	173,5	230,5	2222,8	185,2	447,5	3,0
1980	146,1	128,0	182,5	41,7	103,0	52,0	39,5	2,0	60,0	112,0	168,0	78,0	1112,8	92,7	182,5	2,0
1981	7,8	129,5	250,6	113,1	143,5	45,7	0,0	2,2	145,9	106,2	0,0	515,1	1459,6	121,6	515,1	0,0
1982	167,0	142,7	15,5	34,7	56,2	50,6	21,2	15,4	182,4	114,8	231,5	241,1	1273,1	106,1	241,1	15,4
1983	28,4	149,1	23,9	287,0	195,1	41,5	25,6	96,1	37,9	53,7	186,1	258,5	1382,9	115,2	287,0	23,9
1984	314,0	69,1	180,0	107,4	158,7	73,8	19,5	41,4	35,8	201,8	491,2	176,9	1869,6	155,8	491,2	19,5
1985	241,4	252,2	175,2	155,7	53,2	67,5	27,1	8,7	0,0	30,3	230,2	317,4	1558,9	129,9	317,4	0,0
1986	200,1	278,2	83,9	111,5	86,7	68,0	0,0	29,9	245,5	65,1	199,8	130,7	1499,4	125,0	278,2	0,0
1987	138,6	251,8	98,3	164,6	9,0	43,9	26,2	75,1	144,9	484,6	34,5	268,8	1740,3	145,0	484,6	9,0
1988	384,6	180,5	27,4	197,6	122,5	141,1	60,8	2,9	21,4	205,0	75,6	35,1	1454,5	121,2	384,6	2,9
1989	40,9	188,0	92,3	128,4	53,7	36,4	2,1	17,3	3,8	129,3	307,3	324,9	1324,4	110,4	324,9	2,1
1990	213,0	92,4	25,0	88,6	26,6	22,4	5,1	36,2	40,7	370,1	130,9	146,3	1197,3	99,8	370,1	5,1
1991	221,0	181,4	241,3	44,5	6,0	28,9	36,3	57,9	107,6	123,7	268,3	31,7	1348,6	112,4	268,3	6,0
1992	64,0	49,9	50,6	103,7	109,5	71,4	3,0	88,5	92,1	141,3	102,3	235,5	1111,8	92,7	235,5	3,0
1993	76,7	13,6	36,1	181,5	203,1	44,9	3,8	5,0	132,6	295,4	156,6	124,1	1273,4	106,1	295,4	3,8
1994	339,6	209,5	15,9	86,7	304,9	13,2	7,0	50,2	109,0	121,5	197,9	173,3	1628,7	135,7	339,6	7,0
1995	236,7	211,2	114,7	57,6	97,4	3,4	34,9	3,5	91,0	137,8	344,4	289,9	1622,5	135,2	344,4	3,4
1996	438,2	248,8	109,5	97,1	135,3	16,7	47,2	39,3	81,9	142,6	240,8	247,0	1844,4	153,7	438,2	16,7
1997	239,2	102,7	0,0	77,0	246,8	114,1	35,0	55,7	0,5	250,2	494,0	339,2	1954,4	162,9	494,0	0,0
1998	185,2	52,6	41,8	302,0	60,2	62,1	21,9	0,0	174,7	84,0	105,5	144,3	1234,3	102,9	302,0	0,0
1999	122,2	37,9	98,1	140,9	67,5	19,1	14,2	69,2	286,3	333,8	59,2	217,9	1466,3	122,2	333,8	14,2
2000	19,0	68,8	32,3	408,8	110,0	22,2	105,4	15,8	76,6	136,7	407,2	592,0	1994,8	166,2	592,0	15,8
2001	472,0	183,2	722,6	142,0	137,2	16,7	35,6	24,9	37,3	240,3	2,8	18,1	2032,7	169,4	722,6	2,8
2002	180,4	80,6	134,5	41,3	92,8	49,7	36,4	-	-	-	-	-	615,7	88,0	180,4	36,4
2003	-	-	-	149,4	20,9	-	40,7	35,6	14,9	-	-	-	261,5	52,3	149,4	14,9
2004	-	-	88,0	-	-	-	8,4	-	11,9	244,0	21,0	71,6	444,9	74,2	244,0	8,4
2005	29,7	46,5	187,3	69,5	59,1	23,7	34,3	2,6	48,3	212,0	73,2	120,9	907,1	75,6	212,0	2,6

Análise Prospectiva sobre os Impactos das Alterações Climáticas na Qualidade e na Disponibilidade de Água para Consumo Humano

2006	47,6	86,2	213,3	108,3	14,3	113,2	202,3	150,4	64,7	262,6	223,0	189,3	1675,2	139,6	262,6	14,3
2007	41,0	250,1	-	-	-	106,7	50,7	9,7	13,2	8,4	54,2	53,1	587,1	65,2	250,1	8,4
2008	175,9	37,9	87,7	194,7	142,7	25,4	49,1	14,9	11,1	3,6	3,2	-	746,2	67,8	194,7	3,2
Médias Mensais	216,0	175,9	164,8	120,3	105,3	56,1	27,1	30,6	77,7	149,7	184,8	226,9				
Máximo	617,5	561,0	722,6	408,8	353,8	304,2	202,3	150,4	286,3	484,6	494,0	880,3				
Mínimo	1,2	13,3	0,0	15,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,1				

Tabela V: Temperatura do ar média na Estação de Barcelos.

Ano/Mês	Temperatura do ar média mensal (°C) - Estação de Barcelos												Médias Anuais	Máximo	Mínimo
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro			
1982,0	10,0	9,4	11,1	14,5	15,2	17,2	18,9	20,4	19,4	14,1	11,4	9,5	14,3	20,4	9,4
1983,0	8,1	6,9	12,9	11,9	13,5	19,9	19,7	20,6	19,4	15,8	14,7	9,9	14,4	20,6	6,9
1984,0	8,7	8,8	9,5	16,0	12,7	19,1	19,5	20,1	-	15,1	11,7	10,3	13,8	20,1	8,7
1985,0	7,5	11,7	10,4	13,6	14,9	18,1	20,1	18,5	-	16,4	11,0	9,9	13,8	20,1	7,5
1986,0	7,9	9,2	10,5	10,3	15,5	18,7	20,7	18,5	19,7	17,1	11,3	9,4	14,1	20,7	7,9
1987,0	8,9	9,6	12,5	14,5	16,7	18,3	21,7	21,8	21,1	14,9	12,6	12,0	15,4	21,8	8,9
1988,0	10,4	10,3	11,5	13,0	15,1	19,0	19,5	19,7	19,4	15,9	14,1	8,9	14,7	19,7	8,9
1989,0	8,2	10,2	12,6	11,9	17,0	19,7	22,9	21,6	19,1	18,9	13,6	13,3	15,8	22,9	8,2
1990,0	8,9	12,2	13,4	13,0	17,0	17,7	21,8	20,9	19,7	14,6	10,7	8,8	14,9	21,8	8,8
1991,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	11,5	10,0	11,9	14,3	10,0
1992,0	7,2	9,8	12,0	13,0	16,9	17,0	21,1	19,8	17,3	13,8	13,1	10,8	14,3	21,1	7,2
1993,0	8,9	10,1	12,2	12,3	15,1	18,9	21,2	20,6	16,9	13,2	11,2	10,5	14,3	21,2	8,9
1994,0	9,1	8,7	12,8	12,9	14,7	20,1	19,6	20,2	17,7	16,4	13,5	11,5	14,8	20,2	8,7
1995,0	10,3	11,1	12,9	15,3	17,7	19,3	21,5	22,6	18,6	18,5	14,2	11,9	16,2	22,6	10,3
1996,0	10,7	9,1	12,0	14,4	15,6	20,8	21,6	19,9	18,2	16,0	12,4	10,1	15,1	21,6	9,1
1997,0	7,7	10,9	16,2	14,5	14,7	16,8	21,9	20,7	20,3	18,6	13,6	11,2	15,6	21,9	7,7
1998,0	10,8	12,9	13,7	12,1	16,1	18,6	21,7	22,5	18,8	-	-	-	16,4	22,5	10,8
1999,0	-	-	-	-	-	-	-	20,3	18,9	16,1	11,4	9,8	15,3	20,3	9,8
2000,0	7,4	11,6	12,9	12,0	17,0	20,3	20,9	20,7	18,6	15,0	12,0	12,4	15,1	20,9	7,4
2001,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003,0	-	-	-	-	16,8	-	19,1	21,8	19,6	-	-	-	19,3	21,8	16,8
2004,0	-	-	10,5	13,0	-	-	20,4	-	18,9	14,9	10,6	8,4	13,8	20,4	8,4
2005,0	7,6	7,1	11,0	13,5	-	20,8	21,1	22,0	18,3	16,7	11,4	8,6	14,4	22,0	7,1
2006,0	7,0	7,7	11,9	14,9	16,9	20,0	21,7	22,6	18,6	-	14,4	8,6	14,9	22,6	7,0
2007,0	9,5	10,8	-	-	-	17,8	19,7	20,6	19,8	15,7	10,4	8,2	14,7	20,6	8,2
2008,0	10,3	11,7	11,1	14,0	14,7	19,2	19,7	19,2	17,7	14,7	10,1	-	14,8	19,7	10,1
Médias Mensais	8,8	10,0	12,1	13,4	15,7	18,9	20,7	20,7	18,9	15,8	12,2	10,2			
Máximo	10,8	12,9	16,2	16,0	17,7	20,8	22,9	22,6	21,1	18,9	14,7	13,3			
Mínimo	7,0	6,9	9,5	10,3	12,7	16,8	18,9	18,5	16,9	13,2	10,1	8,2			

Tabela VI: Valores médios mensais do Caudal -Penide.

Ano/Mês	Caudal (m ³ /s) - Médias Mensais - Aproveitamento hidroelétrico de Penide											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2000	75,14	73,50	72,60	47,92	65,23	13,82	27,79	20,17	20,95	37,91	88,88	50,23
2001	254,27	137,75	255,09	98,63	68,60	42,48	24,76	21,91	20,13	32,24	-	-
2002	123,85	30,10	42,78	26,11	21,92	25,21	24,14	12,07	14,00	33,07	72,12	73,11
2003	162,00	69,42	72,64	47,70	42,23	33,53	21,94	20,64	26,25	38,00	63,84	81,10
2004	80,88	55,51	38,23	27,91	21,93	24,39	24,86	57,54	50,34	58,74	48,15	38,35
2005	30,50	24,45	21,87	20,39	20,31	14,49	12,51	5,61	-	15,67	31,09	0,00
2006	33,30	38,68	13,50	-	32,65	21,99	25,82	-	0,26	50,08	98,40	116,94

Tabela VII: Caudal Mensal na Estação de Barcelos.

Ano/Mês	Caudal Mensal (m³/s) - Estação de Barcelos											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1979	-	-	-	-	61,68	79,39	52,45	26,56	18,30	72,79	50,48	57,44
1980	86,99	94,79	78,22	64,82	56,00	42,70	25,74	24,18	15,02	33,36	51,45	47,03
1981	39,70	27,11	52,00	55,86	47,90	36,41	29,75	20,45	34,21	58,77	44,75	144,20
1982	146,31	96,42	81,58	52,57	36,91	43,45	41,31	30,01	32,01	56,15	67,32	117,67
1983	69,90	56,55	51,88	85,49	179,92	81,76	47,00	-	8,88	26,52	67,69	-
1984	127,07	110,64	80,56	94,61	54,51	47,70	33,62	23,95	17,89	48,65	-	-
1985	-	-	126,04	-	78,79	42,29	39,49	38,91	34,00	32,20	63,31	-
1986	-	-	113,96	80,02	53,56	34,82	29,95	33,86	41,39	35,10	47,85	49,84
1987	82,23	103,29	62,87	81,02	40,48	29,56	30,25	25,56	20,92	-	95,04	111,75
1988	-	-	80,62	51,12	71,28	48,71	61,84	48,03	39,92	60,46	60,59	45,26
1989	30,13	29,99	49,16	40,47	27,38	26,08	24,68	20,84	-	20,11	40,32	193,20
1990	108,43	142,85	73,18	31,94	36,23	27,46	28,15	18,69	17,71	27,47	55,19	48,75
1991	-	97,80	144,95	71,90	42,56	36,70	30,50	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,50	72,73	126,89
1993	80,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	140,32	75,84	-	-	-	40,13	32,85	-	42,48	113,98	94,34
1995	-	-	104,77	61,23	59,87	52,17	36,93	33,62	41,96	-	93,76	-
1996	-	139,27	102,83	74,54	58,89	56,33	25,48	24,81	24,86	45,79	72,59	121,03
1997	125,39	93,14	54,89	23,11	40,85	77,82	47,33	41,91	29,77	67,38	-	-
1998	-	-	-	119,80	75,65	74,17	28,66	26,92	56,30	42,55	58,10	44,41
1999	53,49	36,00	24,15	29,60	61,36	39,99	34,77	21,69	-	-	-	-
2000	90,76	63,59	-	-	89,11	32,01	26,82	18,07	17,61	37,82	-	-
2001	-	-	-	-	84,66	48,91	24,42	19,95	-	51,09	21,37	33,73
2002	-	33,05	47,67	28,59	20,75	-	-	-	-	-	-	-

Tabela VIII: Resultados obtidos da regressão linear para o caudal mensal.

Mês/Ano	Resultados Regressão Linear - Caudal Mensal Penide (m³/s)												Médias Anuais	Máximo	Mínimo
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro			
1979	-	-	-	-	51,87	65,23	44,91	25,40	19,17	60,25	43,43	48,68	44,87	65,23	19,17
1980	70,96	76,83	64,35	54,24	47,59	37,56	24,78	23,61	16,70	30,53	44,17	40,83	44,35	76,83	16,70
1981	35,30	25,81	44,58	47,49	41,49	32,82	27,80	20,79	31,16	49,68	39,11	114,09	42,51	114,09	20,79
1982	115,68	78,07	66,88	45,00	33,20	38,13	36,52	28,00	29,51	47,71	56,13	94,09	55,74	115,68	28,00
1983	58,07	48,01	44,49	69,83	141,01	67,01	40,81	-	12,07	25,37	56,41	-	56,31	141,01	12,07
1984	101,17	88,79	66,11	76,70	46,47	41,34	30,72	23,43	18,86	42,06	-	-	53,56	101,17	18,86
1985	-	-	100,39	-	64,78	37,25	35,14	34,71	31,01	29,65	53,10	-	48,25	100,39	29,65
1986	-	-	91,29	65,70	45,75	31,62	27,95	30,90	36,58	31,84	41,45	42,95	44,60	91,29	27,95
1987	67,37	83,24	52,77	66,46	35,89	27,66	28,18	24,64	21,15	-	77,02	89,62	52,18	89,62	21,15
1988	-	-	66,16	43,91	59,11	42,10	51,99	41,59	35,47	50,96	51,05	39,50	48,18	66,16	35,47
1989	28,09	27,99	42,44	35,88	26,02	25,04	23,98	21,09	-	20,53	35,77	151,03	39,80	151,03	20,53
1990	87,12	113,07	60,55	29,46	32,69	26,08	26,60	19,47	18,73	26,08	46,98	42,13	44,08	113,07	18,73
1991	-	79,10	114,65	59,58	37,46	33,04	28,37	-	-	-	-	-	58,70	114,65	28,37
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,88	60,21	101,04	63,71	101,04	29,88
1993	66,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66,10	66,10	66,10
1994	-	111,16	62,55	-	-	-	35,63	30,14	-	37,40	91,30	76,50	63,53	111,16	30,14
1995	-	-	84,36	51,54	50,51	44,70	33,22	30,72	37,01	-	76,06	-	51,02	84,36	30,72
1996	-	110,37	82,90	61,57	49,77	47,84	24,58	24,08	24,12	39,90	60,10	96,62	56,53	110,37	24,08
1997	99,90	75,59	46,75	22,80	36,17	64,04	41,06	36,97	27,82	56,17	-	-	50,73	99,90	22,80
1998	-	-	-	95,69	62,41	61,29	26,98	25,67	47,82	37,45	49,18	38,86	49,48	95,69	25,67
1999	45,70	32,52	23,58	27,69	51,63	35,53	31,59	21,72	-	-	-	-	33,75	51,63	21,72
2000	75,14	73,50	72,60	47,92	65,23	13,82	27,79	20,17	20,95	37,91	88,88	50,23	49,51	88,88	13,82
2001	254,27	137,75	255,09	98,63	68,60	42,48	24,76	21,91	20,13	32,24	21,49	30,80	84,01	255,09	20,13
2002	123,85	30,10	42,78	26,11	21,92	25,21	24,14	12,07	14,00	33,07	72,12	73,11	41,54	123,85	12,07
2003	162,00	69,42	72,64	47,70	42,23	33,53	21,94	20,64	26,25	38,00	63,84	81,10	56,61	162,00	20,64
2004	80,88	55,51	38,23	27,91	21,93	24,39	24,86	57,54	50,34	58,74	48,15	38,35	43,90	80,88	21,93
2005	30,50	24,45	21,87	20,39	20,31	14,49	12,51	5,61	-	15,67	31,09	-	19,69	31,09	5,61
2006	33,30	38,68	13,50	-	32,65	21,99	25,82	-	0,26	50,08	98,40	116,94	43,16	116,94	0,26
Médias Mensais	85,30	69,00	67,98	51,01	47,47	37,37	30,10	26,12	25,67	38,31	56,76	71,92			
Máximo	254,27	137,75	255,09	98,63	141,01	67,01	51,99	57,54	50,34	60,25	98,40	151,03			
Mínimo	28,09	24,45	13,50	20,39	20,31	13,82	12,51	5,61	0,26	15,67	21,49	30,80			

Anexo C

Tabela IX: Parâmetros seleccionados para a ACP.

	Caudais	CBO5	Alcalinidade	pH	Condutividade	Oxigénio dissolvido	Fosfatos	Ferro	Coliformes fecais	Coliformes totais	Turvação	Dureza	Temperatura
	Ca	CBO5	Al	pH	Co	Ox	P	Fe	Cof	Cot	Tu	D	T
Fev0	73,50	6,00	4,47	6,60	37,05	104,50	0,13	0,05	1073,71	6167,65	3,57	6,40	11,21
Mar0	72,60	2,00	6,90	6,71	48,91	94,60	0,10	0,03	2277,24	7964,71	7,21	6,80	12,52
Abr0	47,92	3,00	7,52	6,73	51,83	81,30	0,18	0,00	2172,67	16023,33	8,75	11,00	12,46
Mai0	65,23	3,00	5,12	6,63	42,05	96,30	0,13	0,08	2614,41	17388,24	7,70	8,20	14,63
Jun0	13,82	1,00	6,41	6,67	44,43	92,30	0,10	0,09	716,07	2255,36	5,34	8,70	18,10
Jul0	27,79	3,00	6,32	6,63	37,29	89,80	0,08	0,21	1521,76	5455,88	5,21	7,20	18,74
Ago0	20,17	2,00	6,18	6,61	36,32	95,40	0,17	0,13	1747,11	2511,11	4,00	6,20	19,80
Set0	20,95	6,00	5,88	6,66	36,43	94,30	0,16	0,15	1970,31	9165,63	3,40	5,60	18,44
Out0	37,91	2,00	5,51	6,55	34,57	93,70	0,12	0,17	6395,59	39000,00	4,46	6,70	16,04
Nov0	88,88	1,00	5,20	6,54	40,10	93,60	0,15	0,19	24229,41	107205,88	14,59	8,00	13,76
Dez0	50,23	2,00	3,92	6,49	34,06	98,60	0,13	0,23	16496,07	47664,29	17,19	7,50	13,68
Jan1	254,27	10,00	4,32	6,43	36,59	107,15	0,13	0,16	5516,67	14255,56	21,07	6,65	13,03
Fev1	137,75	1,50	5,57	6,32	44,53	95,90	0,07	0,22	4835,71	14583,93	8,50	9,40	11,81
Abr1	98,63	2,00	5,10	6,53	41,22	92,40	0,07	0,16	9233,33	21226,67	4,87	15,95	14,68
Mai1	68,60	1,00	5,81	6,62	37,67	121,70	0,08	0,23	19608,82	35985,29	6,19	6,60	16,29
Jun1	42,48	2,00	6,28	6,57	37,15	116,80	0,07	0,15	26746,67	40419,23	3,69	6,70	18,59
Jul1	24,76	2,00	8,51	6,78	42,91	93,10	0,12	0,17	9844,74	16843,00	3,09	9,63	20,69
Ago1	21,91	1,00	8,30	7,01	39,00	84,30	0,10	0,13	1786,47	4834,38	3,65	5,56	21,15
Set1	20,13	1,00	8,12	6,63	39,95	103,20	0,19	0,06	12689,38	21551,88	3,64	14,70	20,05
Out1	32,24	2,00	8,95	6,91	49,04	84,90	0,11	0,08	18411,84	28873,68	11,29	8,28	18,35
Fev2	30,10	1,00	7,28	6,58	43,79	109,50	0,09	0,06	3768,33	15601,92	5,49	9,37	14,10
Mai2	21,92	1,00	9,19	6,81	51,25	87,70	0,13	0,05	3488,31	10175,00	5,48	8,79	15,32
Set2	14,00	2,00	9,35	6,68	49,48	85,80	0,28	0,08	1852,82	3977,00	9,87	8,67	19,67
Nov2	72,12	3,00	5,58	6,69	41,56	100,40	0,16	0,17	3191,33	19283,42	19,43	11,35	14,09
Ago3	20,64	3,00	6,24	6,56	33,76	90,10	0,12	0,10	63349,69	2950,75	2,79	5,50	20,31
Nov3	63,84	1,00	5,52	6,75	34,17	91,90	0,00	0,14	1865,00	18263,80	6,56	7,80	13,86
Jan4	80,88	1,00	5,55	6,66	37,19	89,00	0,00	0,15	629,00	15333,00	5,47	8,90	11,31
Fev4	55,51	1,00	5,72	6,68	39,76	98,40	0,00	0,06	480,00	6000,00	3,56	8,80	11,18
Mar4	38,23	1,00	7,41	6,76	45,82	92,40	0,00	0,14	840,00	16100,00	7,10	8,20	11,89
Abr4	27,91	1,00	8,81	6,78	52,67	93,00	0,09	0,13	831,00	15500,00	4,97	10,10	14,36

Análise Prospectiva sobre os Impactos das Alterações Climáticas na Qualidade e na Disponibilidade de Água para Consumo Humano

Mai4	21,93	1,00	9,91	6,74	57,10	98,00	0,09	0,12	1138,00	18200,00	4,02	7,40	16,90
Jun4	24,39	3,00	8,30	6,71	43,82	91,40	0,11	0,11	1252,00	8156,50	3,54	6,60	19,26
Jul4	24,86	1,70	7,47	6,73	37,81	90,30	0,27	0,15	116,00	1131,20	3,69	6,70	19,97
Ago4	57,54	0,00	6,49	6,68	34,50	95,00	0,08	0,16	1073,83	6161,50	5,99	7,00	20,04
Set4	50,34	1,00	6,45	6,63	34,20	91,50	0,17	0,12	5017,00	18933,50	5,28	4,70	18,78
Out4	58,74	3,00	6,99	6,67	40,20	87,60	0,25	0,33	5528,25	33317,50	9,52	12,00	17,02
Nov4	48,15	1,00	6,07	6,69	37,89	88,80	0,00	0,09	2392,40	22725,00	4,06	6,40	13,92
Dez4	38,35	1,00	9,81	6,71	42,55	9,60	0,00	0,11	1161,00	15880,75	4,27	8,30	11,80
Jan5	30,50	1,00	7,12	6,76	45,10	102,00	0,08	0,08	1523,25	15569,25	4,06	7,80	10,48
Fev5	24,45	1,00	8,02	6,78	47,89	102,00	0,21	0,10	1229,00	16730,75	3,29	8,70	10,09
Mar5	21,87	1,00	8,78	6,84	50,41	96,30	0,15	0,10	1127,60	32400,20	4,67	7,60	11,27
Abr5	20,39	0,00	10,14	6,81	59,95	78,00	0,16	0,17	726,50	20774,50	4,62	12,40	14,34
Mai5	20,31	2,00	10,74	6,81	60,47	84,40	0,22	0,18	1581,80	17992,80	6,26	12,00	16,84
Jun5	14,49	1,00	11,01	6,74	56,67	80,00	0,23	0,18	1819,75	15221,75	4,36	7,80	20,32
Jul5	12,51	1,00	10,25	6,73	52,33	81,00	0,24	0,24	385,75	2603,25	6,29	7,10	21,67
Ago5	5,61	1,00	9,56	6,65	45,32	77,00	0,13	0,18	1666,80	8287,00	4,98	7,10	22,84
Out5	15,67	1,00	10,72	6,64	57,40	101,00	0,17	0,18	9190,75	24683,50	6,93	9,00	17,82
Nov5	31,09	1,00	7,27	6,71	44,67	91,20	0,15	0,24	2187,80	10163,20	6,13	8,00	15,16
Jan6	33,30	2,00	7,12	6,75	47,91	109,00	0,11	0,24	17370,60	67586,60	4,08	7,90	10,42
Fev6	38,68	2,00	5,87	6,75	40,00	95,60	0,10	0,09	14925,00	58291,50	3,69	10,10	9,92
Mar6	13,50	2,00	5,88	6,67	42,17	105,00	0,06	0,20	10043,60	55413,20	7,03	7,70	11,80
Mai6	32,65	2,00	6,70	6,64	47,43	94,50	0,09	0,07	3812,80	28168,20	2,85	6,30	16,41
Jun6	21,99	0,00	7,45	6,62	48,09	86,70	0,20	0,14	1324,25	5028,75	3,32	9,00	19,97
Jul6	25,82	1,00	9,10	6,63	46,10	71,00	0,12	0,15	735,75	4786,50	5,22	9,20	23,35
Set6	0,26	1,00	12,10	6,73	54,86	98,20	0,28	0,39	8441,00	35583,25	6,04	8,10	22,51
Out6	50,08	3,00	4,60	6,62	39,30	80,00	0,10	0,22	5998,40	27526,00	10,29	8,10	17,91
Nov6	98,40	1,00	4,00	6,70	34,76	92,60	0,20	0,14	4020,50	30852,25	8,55	9,90	15,87
Dez6	116,94	1,00	4,43	6,74	39,33	111,00	0,00	0,35	2073,75	12152,25	6,51	12,00	12,78

Tabela X: Matriz das correlações.

	Q	CB0	Al	pH	k	Od	P	Fe	Cof	CoT	Tu	D	T
Q	1.0000	0.5298	-0.6101	-0.4976	-0.3832	0.2217	-0.2654	0.1067	0.0043	0.0991	0.5834	0.1027	-0.4022
CB0	0.5298	1.0000	-0.3758	-0.3465	-0.2858	0.1705	0.0761	-0.0609	0.0954	-0.0579	0.4127	-0.1847	-0.1112
Al	-0.6101	-0.3758	1.0000	0.5167	0.8039	-0.3837	0.4076	0.0375	-0.1752	-0.2025	-0.3139	0.0822	0.4148
pH	-0.4976	-0.3465	0.5167	1.0000	0.4156	-0.2013	0.0660	-0.1282	-0.2580	-0.1242	-0.3060	0.0381	0.0451
k	-0.3832	-0.2858	0.8039	0.4156	1.0000	-0.1754	0.3411	-0.0004	-0.2582	-0.0588	-0.1169	0.2867	0.0492
Od	0.2217	0.1705	-0.3837	-0.2013	-0.1754	1.0000	0.0021	0.1058	0.2107	0.2235	0.0986	-0.0370	-0.1572
P	-0.2654	0.0761	0.4076	0.0660	0.3411	0.0021	1.0000	0.1630	-0.0262	-0.0270	0.1165	0.0805	0.4558
Fe	0.1067	-0.0609	0.0375	-0.1282	-0.0004	0.1058	0.1630	1.0000	0.0606	0.2641	0.2103	0.1099	0.1982
Cof	0.0043	0.0954	-0.1752	-0.2580	-0.2582	0.2107	-0.0262	0.0606	1.0000	0.3882	0.0600	-0.1151	0.0925
CoT	0.0991	-0.0579	-0.2025	-0.1242	-0.0588	0.2235	-0.0270	0.2641	0.3882	1.0000	0.2863	0.0699	-0.3304
Tu	0.5834	0.4127	-0.3139	-0.3060	-0.1169	0.0986	0.1165	0.2103	0.0600	0.2863	1.0000	0.1046	-0.1688
D	0.1027	-0.1847	0.0822	0.0381	0.2867	-0.0370	0.0805	0.1099	-0.1151	0.0699	0.1046	1.0000	-0.1719
T	-0.4022	-0.1112	0.4148	0.0451	0.0492	-0.1572	0.4558	0.1982	0.0925	-0.3304	-0.1688	-0.1719	1.0000
	Q	CB0	Al	pH	k	Od	P	Fe	Cof	CoT	Tu	D	T

Tabela XI: Coordenadas das variáveis.

NOME	EIXO 1	EIXO 2	EIXO 3	EIXO 4
Q	0.8028	0.0545	0.2391	0.3504
CB0	0.5681	0.1066	-0.2109	0.5160
Al	-0.8893	0.2387	0.0452	0.0730
pH	-0.6593	-0.1834	0.2307	-0.0947
k	-0.6934	0.2854	0.4214	0.1063
Od	0.4248	0.1705	-0.0528	-0.2888
P	-0.3580	0.6732	-0.2270	0.2698
Fe	0.0786	0.6510	0.0081	-0.1427
Cof	0.2964	0.2529	-0.3754	-0.5739
CoT	0.3300	0.4020	0.2819	-0.6328
Tu	0.5435	0.4870	0.2287	0.3295
D	-0.0869	0.2625	0.6674	0.0484
T	-0.4438	0.3315	-0.6869	0.1437

Figura 1: Resultados da análise ACP.

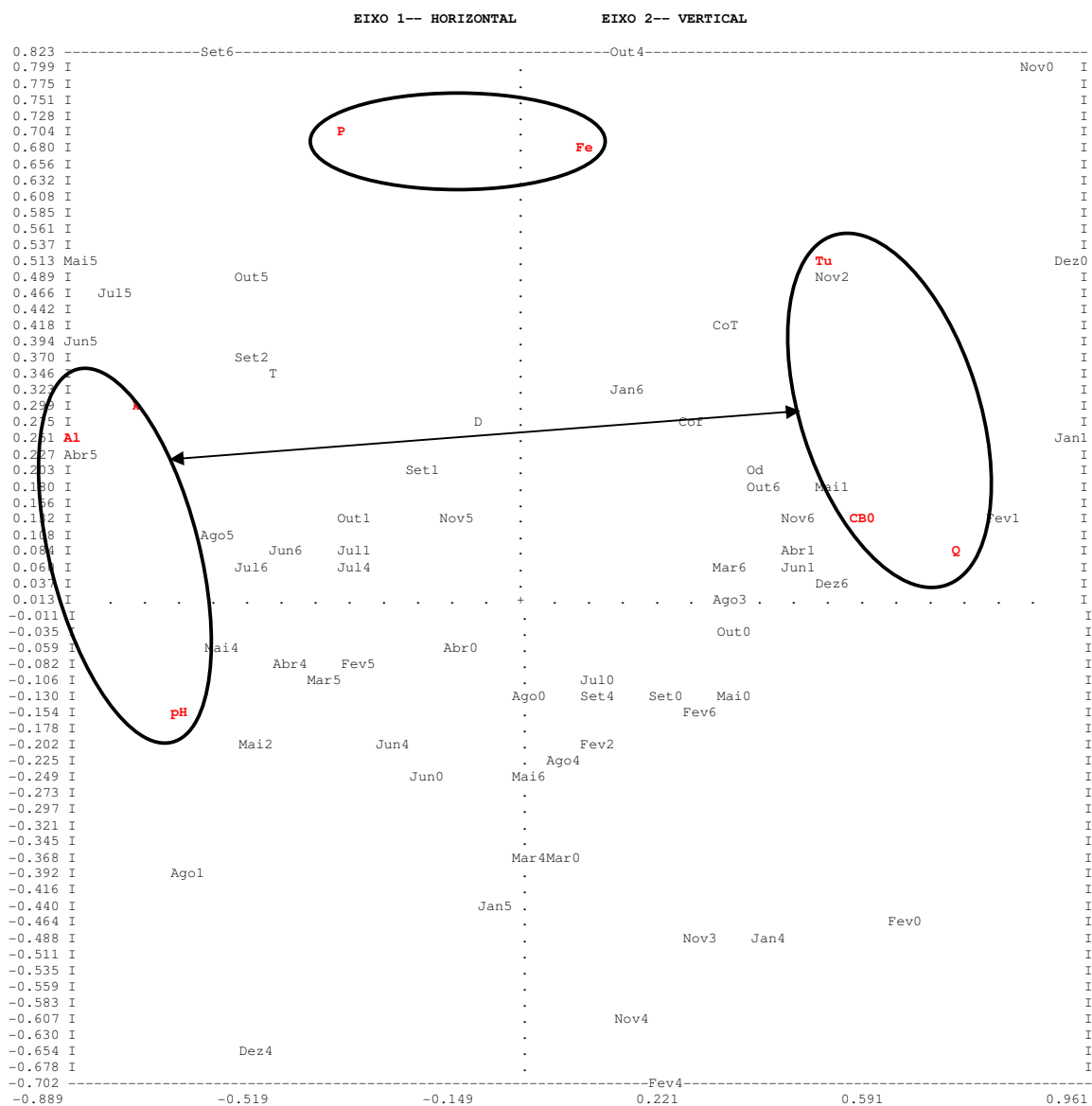


Figura II: Resultados da análise ACP.

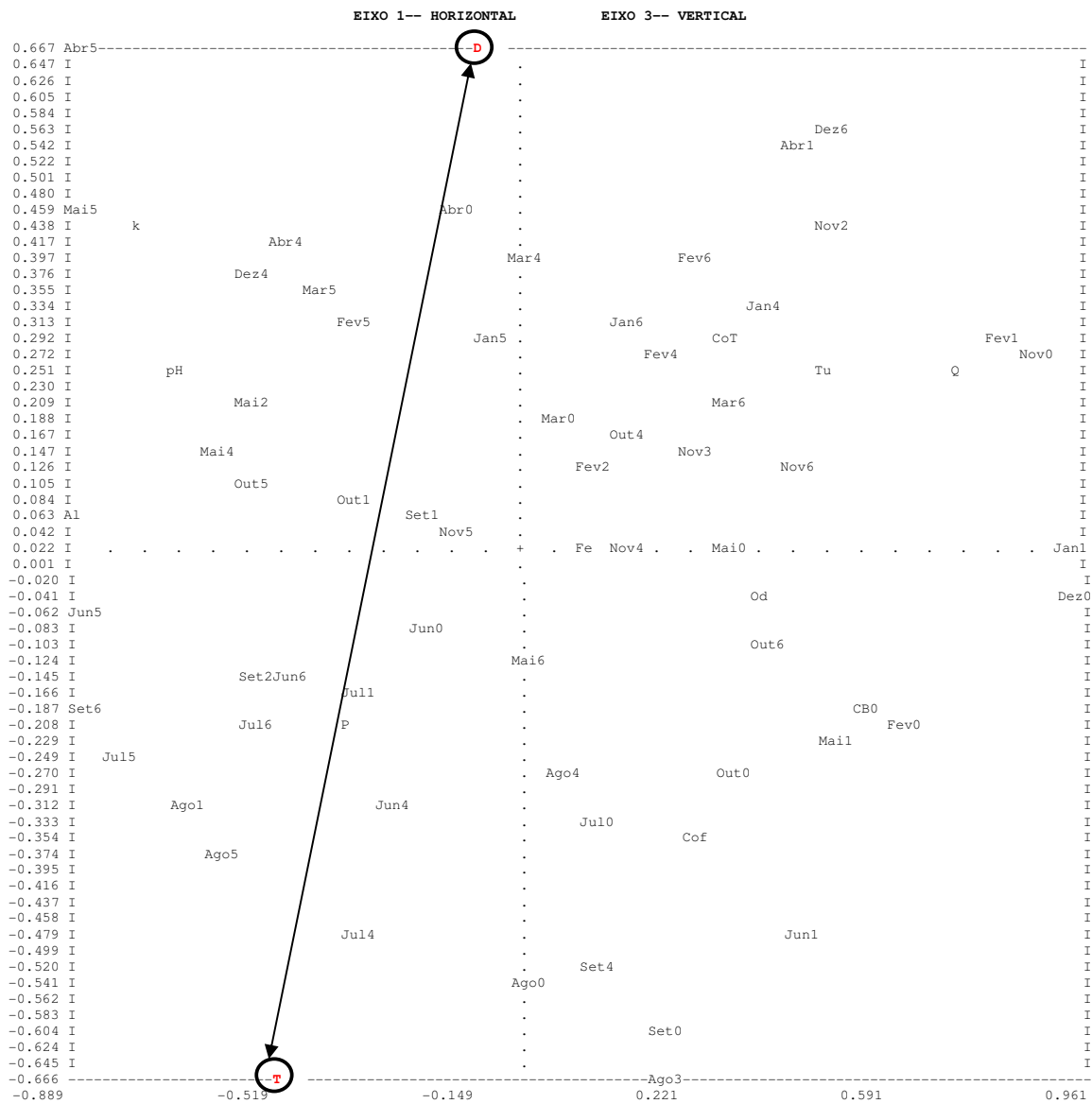


Figura III: Resultados da análise ACP.

