



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

INDICADORES DO TIPO AMBIENTAL EM SITUAÇÕES DE SECA

Vanessa Martins Ramos

Dissertação

Mestre em Engenharia do Ambiente

Orientador: Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia

Co-orientador: Professor Doutor Nuno Eduardo Malheiro Magalhães
Esteves Formigo

2 de Agosto de 2010

INDICADORES DO TIPO AMBIENTAL EM SITUAÇÕES DE SECA

Vanessa Martins Ramos

Dissertação

Mestre em Engenharia do Ambiente

Aprovado em prova oral pelo júri:

Presidente:

Professor Doutor António Manuel Antunes Fiúza

Examinador externo:

Professor Doutor António Guerreiro de Brito

Examinadores internos:

Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia

Professor Doutor Nuno Eduardo Malheiro Magalhães Esteves Formigo

17 de Setembro de 2010

“What’s important is not what’s gone, but what remains”

Agradecimentos

Na realização desta dissertação tive a contribuição de um vasto conjunto de pessoas: Professores, colegas, amigos, familiares que sempre me incentivaram profissional e emocionalmente com sugestões, discussões técnicas e científicas. Contudo, uma vez que o número de pessoas a agradecer é muito elevado não é possível referir o nome de cada uma delas nestas páginas, mas deixo aqui os meus sinceros agradecimentos. No entanto, a todas aquelas que de alguma forma contribuíram de forma mais notória, tendo um grande significado para mim, dedico as linhas seguintes.

Ao Professor Rodrigo Maia que me sugeriu o inovador tema aqui abordado, agradeço a oportunidade de realização desta tese e a sua orientação. Os seus amplos conhecimentos, conselhos e críticas foram fundamentais para o enriquecimento desta tese, bem como, a liberdade concedida que me permitiu explorar diferentes caminhos na tentativa de encontrar soluções.

Ao Professor Nuno Formigo, que aceitou a co-orientação desta tese com grande motivação. A sua contribuição, teve grande significado para mim, uma vez que me encorajou a ultrapassar as várias dificuldades que foram surgindo ao longo da realização desta. Também agradeço os conhecimentos transmitidos, as sugestões e as várias críticas que tanto contribuíram para o enriquecimento desta dissertação.

Ainda gostaria de salientar que sem eles, o meu orientador e co-orientador, muito dificilmente esta dissertação teria sido concluída com êxito. Por último quero expressar que ambos são um exemplo de dedicação, trabalho e competência.

Ao Engenheiro Eduardo Vivas, à Engenheira Cristina Silva e ao Professor João Pêgo, agradeço a disponibilidade e o apoio fornecido quando solicitado.

Aos meus pais quero agradecer o apoio e coragem que sempre me deram, bem como, os sacrifícios que fizeram muitas vezes, de forma a me possibilitar tudo o necessário.

À minha irmã, ao Ricardo, aos meus primos Sandra e Joaquim, e à Sandra pelo seu apoio, confiança em mim depositada e compreensão, bem como, a partilha de conhecimentos e opiniões enriquecedoras.

Às minhas afilhadas Leonor e Lara e ao meu primo Tiago devido aos momentos de felicidade que me proporcionaram nas pequenas pausas existentes.

Ao Luís quero expressar o mais sincero agradecimento, devido à sua paciência, incentivo e apoio incondicional a todos os níveis.

Ao Vítor Sousa, quero manifestar a minha gratidão, devido à sua amizade, simpatia e ajuda fornecida. Também quero agradecer ao Diogo Moreira, ao José Sousa, ao Diogo Barbosa, ao Ivo Mota e à Rita Santos devido à disponibilidade para ajudar.

Aos meus colegas e amigos de curso agradeço a partilha de experiências ao longo da realização da dissertação e ao longo de todo o curso.

Resumo

O principal objectivo desta dissertação foi o de enquadrar e potenciar o desenvolvimento de indicadores ambientais que permitissem uma gestão dos recursos hídricos, de uma forma mais proactiva, face à ocorrência de fenómenos de seca. Perspectivou-se, assim, o desenvolvimento de um índice (agregador desses indicadores) de tipo operacional, que permitisse estabelecer patamares de alerta a partir dos quais seriam desencadeadas medidas de mitigação dos efeitos da seca na qualidade biológica da água, medida esta de acordo com as normas previstas na Directiva-Quadro da Água (DQA), de forma a afectar o menos possível o estado ecológico dos ecossistemas aquáticos.

Assim, para a obtenção deste objectivo principal, traçaram-se objectivos intermédios:

- O primeiro consistiu na caracterização meteorológica de uma bacia, para determinar os valores do índice SPI. Com estes valores do SPI relativos ao período de tempo escolhido como o mais adequado (SPI-12 meses), pôde fazer-se uma classificação meteorológica para o período de tempo seleccionado;
- O segundo objectivo foi verificar a existência de uma relação entre os valores de SPI (SPI-3 meses) e os dados de qualidade da água disponíveis para o mesmo período de tempo, no pressuposto que alguns parâmetros de qualidade sofram modificações devido à ocorrência dos fenómenos de seca. A escolha incidiu nos parâmetros considerados como indicadores dos principais tipos de factores antrópicos com efeito sobre a qualidade da água (poluição de origem urbana, poluição de origem agrícola e agro-pecuária, etc.), perspectivando que a sua afectação por alterações meteorológicas associadas à ocorrência de uma seca terá efeitos muito significativos sobre a qualidade da água;
- O último objectivo proposto correspondeu à avaliação, com base nos efeitos da seca sobre os parâmetros de qualidade da água, do grau e sequências de afectação das comunidades bióticas, bem como na definição das principais formas em que se traduz essa afectação, de forma a identificar os indicadores operacionais que permitissem avaliar o grau de alteração do estado ecológico da massa de água.

Para a realização deste trabalho foi escolhida, como caso de estudo, a parte portuguesa da bacia hidrográfica do Lima. Ainda que os fenómenos de seca sejam menos frequentes e menos severos nesta bacia, essa escolha foi efectuada, nomeadamente, pela

perspectiva de que os impactes da seca nas comunidades biológicas da bacia, pudessem ser mais significativos do que noutras bacias, uma vez que, a resiliência e resistência destas comunidades a estes fenómenos poderá não ser tão grande, pelo que os organismos estarão menos adaptados ao mesmo.

Entretanto, no decorrer do trabalho, veio a constatar-se não ser possível estabelecer a perspectivada correlação entre os índices meteorológicos (SPI-3 meses) e os parâmetros de qualidade da água escolhidos, em situações de seca, o que impossibilitou a correspondente interligação com os efeitos da seca nas comunidades biológicas aquáticas.

Ainda assim, procurou-se confirmar se uma comparação e abordagem mais directa e localizada confirmaria essa conclusão. Deste modo, apesar das várias lacunas verificadas nos dados ao nível da bacia hidrográfica, analisou-se, de forma directa e simples, a correlação entre todos os dados existentes (precipitações, caudais e parâmetros de qualidade), a um nível local (sub-área da bacia e troço de rio correspondente) no sentido de detectar a existência de potenciais relações causa-efeito. Estas, por sua vez, permitiriam estudar os efeitos das secas, nas comunidades biológicas aquáticas.

Contudo, os resultados obtidos não permitiram, perspectivar a elaboração de um índice, de tipo operacional, que permitisse estabelecer patamares de alerta a partir dos quais seriam desencadeadas medidas de mitigação dos efeitos da seca na qualidade biológica da água, como pretendido. No entanto, os resultados obtidos, complementados pelo levantamento da bibliografia existente sobre este tema, permitiram delinear e encontrar linhas de orientação para futuros trabalhos a desenvolver nesta área.

PALAVRAS-CHAVE: INDICADOR AMBIENTAL; SECA METEOROLÓGICA; ÍNDICE SPI; DQA; BIOINDICADORES; QUALIDADE DA ÁGUA; GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.

Abstract

The main objective of this thesis was to frame and enhance the development of environmental indicators that would allow the management of water resources in a more proactive way, given the occurrence of drought phenomena.

The development of an index (aggregator such indicators) was considered, of the operational type, that would allow establishing alert thresholds from which mitigation measures for drought effects on water biological quality would be triggered, being those measures in accordance with the requirements of the Water Framework Directive (WFD), in order to affect the least possible the ecological status of aquatic ecosystems.

Thus, to achieve this main objective, intermediate objectives were outlined:

- The first embraced the meteorological characterization of a basin, by choosing a suitable index (SPI). With these values of the SPI for the chosen time period considered the most appropriate (SPI-12 months), it was possible to make a meteorological classification for the selected time period;
- The second objective was to verify the existence of a relationship between the SPI values (SPI-3 months) and water quality data available for the same period, assuming that some quality parameters undergo changes due to the occurrence of drought phenomena. The choice focused therefore on parameters considered as indicators of the main types of anthropogenic factors with an effect on water quality (pollution from the urban sector, from agriculture and animal husbandry, etc.), having in perspective that their response to meteorological and hydrological changes associated with the occurrence of a drought will have very significant effect on water quality;
- The final objective corresponded to the evaluation, based on the effects of drought on the water quality parameters, of the intensity and disturbance sequences of biotic communities, as well as on the definition of the main ways in which results this disturbance, in order to identify operational indicators that would allow to assess the level of alteration of the ecological status of the water body.

For this work, the Portuguese side of the Lima watershed was chosen as a case study. Even though the drought phenomena are less frequent and less severe in this basin, this choice was made, namely, having in perspective that drought impacts on the biota of the basin may be more significant than in other basins, since the resilience and resistance of

these communities to these phenomena may be smaller, once the organisms will be less adapted to it.

In the meanwhile, during the development of the work, it turned out to be impossible to establish the expected correlation between the meteorological indexes (SPI-3 months) with the chosen water quality parameters, in drought situations, which prevented the corresponding interconnection with the drought effects on biological aquatic communities.

Nevertheless, a search was conducted to confirm if a more direct comparison would confirm that conclusion. In this case, in spite of the missing data detected on the database for the basin, the existing information has been analysed with correlation between all the existent data (precipitation, water flow and water quality) at a local level to detect the existence of the potential cause-effect relations. That, would allow the study of the droughts effects on biological aquatic communities.

However, the obtained results did not allow thus to foresee the development of an index, of the operational type, that would allow to establish alert thresholds from which mitigation measures for drought effects on water biological quality would be triggered, as expected. However, the obtained results, complemented with a literature survey on this subject, surely allowed to find and delineate guidelines for further work in this area.

KEYWORDS: ENVIRONMENTAL INDICATOR, METEOROLOGICAL DROUGHT, WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (WFD), STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI), BIOINDICATORS, WATER QUALITY, WATER RESOURCES MANAGEMENT

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Considerações gerais.....	1
1.2	Motivação e objectivos	4
1.3	Estruturação da Dissertação	6
2.	O fenómeno da seca.....	9
2.1	Conceito e definição de seca.....	9
2.2	Características essenciais da seca	12
2.3	Conceitos relacionados com a disponibilidade de água.....	13
2.4	Tipos de seca e evolução da sua severidade	13
2.5	Impactes da seca	16
2.5.1	Impactes ambientais	16
3.	Caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Lima.....	19
3.1	Introdução	19
3.2	Enquadramento territorial	20
3.3	Caracterização geomorfológica	24
3.3.1	Solo e ocupação do solo	26
3.4	Caracterização climática	26
3.4.1	Precipitação	26
3.4.2	Evapotranspiração	29
3.4.3	Outras variáveis climáticas.....	32
3.5	Recursos biológicos	33
4.	Caracterização da severidade de seca meteorológica	35
4.1	Introdução	35
4.2	Caracterização meteorológica na bacia do Lima	36
4.3	Índices de seca	44
4.3.1	SPI	46
4.4	Classificação meteorológica na bacia do Lima.....	52
4.4.1	Determinação do SPI-12 meses.....	55
4.4.2	Determinação do SPI-3 meses.....	58
4.4.3	Relação entre o SPI (3 meses e 1 mês) com a precipitação ponderada mensal	58

5.	Análise da qualidade físico-química na bacia do Lima	69
5.1	Introdução	69
5.2	Análise da adequabilidade da informação disponível no SNIRH para as estações de qualidade da bacia	69
5.3	Relação entre as variáveis de qualidade e os valores de SPI-3 meses	81
6.	Relação entre Precipitação, Caudal e Parâmetros de Qualidade	95
6.1	Introdução	95
6.2	Análise da adequabilidade da informação disponível no SNIRH para as estações hidrométricas da bacia.....	96
6.3	Análise das estações de qualidade e meteorológicas de acordo com a proximidade entre elas.....	104
6.4	Análise da relação entre o caudal e a precipitação	107
6.5	Análise da relação entre a precipitação, os caudais e os parâmetros de qualidade.....	112
7.	Reflexões para o desenvolvimento de indicadores do tipo ambiental em situações de seca.....	123
7.1	Introdução	123
7.2	A DQA e o estado ecológico	125
7.3	Efeitos da seca nos bioindicadores	128
8.	Conclusões, Considerações finais e Desenvolvimentos futuros.....	133
8.1	Conclusões	133
8.2	Considerações finais e desenvolvimentos futuros	135
9.	Referências bibliográficas	139

Índice de figuras

Figura 1 - O ciclo hidrológico (Wikipedia, 2010b).....	2
Figura 2 – Ciclo Hidro-ilógico (adaptado de NMDC, 2006b)	3
Figura 3 – Variação do caudal prevista, para uma seca sazonal, bem como, o tipo de distúrbio característico (distúrbio em <i>press</i>) e as respostas correspondentes das comunidades biológicas (adaptado de Lake, 2003).....	10
Figura 4 – Variação do caudal prevista, para uma seca supra-sazonal, bem como, o tipo de distúrbio característico (distúrbio em <i>ramp</i>) e as respostas correspondentes das comunidades biológicas (adaptado de Lake, 2003).....	11
Figura 5 – Evolução da severidade de seca (adaptado de Maia, 2009b).	15
Figura 6 – Bacias luso-espanholas (CADC, 2007).....	20
Figura 7 – Rede hidrográfica (Ramos, 1990).	21
Figura 8 – Bacias hidrográficas de Portugal Continental, detalhe da bacia do rio Lima e das bacias adjacentes (adaptado de SNIRH, 2010).	22
Figura 9 – Concelhos abrangidos pela bacia do rio Lima (ARH Norte, 2009b).	23
Figura 10 – Rede hidrográfica do rio Lima e a localização das barragens do Alto Lindoso e Touvedo (ARH Norte, 2009b).....	23
Figura 11 – Distribuição altimétrica na bacia do Lima (adaptado de ARH Norte, 2009a).	25
Figura 12 – Perfil longitudinal do rio Lima em solo português (adaptado de ARH Norte, 2009a).	25
Figura 13 – Precipitação anual média por bacia hidrográfica (adaptado de INAG, 2001).	27
Figura 14 – Distribuição espacial da precipitação média anual na bacia do rio Lima (adaptado de ARH Norte, 2009a).	28
Figura 15 – Precipitação mensal média na bacia do rio Lima, gráfico Box-Whiskers (ARH Norte, 2009a).	29
Figura 16 – Evapotranspiração potencial por bacia hidrográfica, gráfico Box-Whiskers (INAG, 2001).	30
Figura 17 – Distribuição espacial da evapotranspiração potencial média anual na bacia do Lima (adaptado de ARH Norte, 2009a).....	31

Figura 18 – Evapotranspiração potencial na bacia do rio Lima, gráfico Box-Whiskers (ARH Norte, 2009a).	32
Figura 19 – Localização das estações udométricas e polígonos de Thiessen correspondentes, a ter em consideração no nosso estudo.	37
Figura 20 – Processo de selecção das estações meteorológicas.	38
Figura 21 – Localização das estações udométricas e polígonos de Thiessen correspondentes, seleccionadas no nosso estudo.	39
Figura 22 – Precipitações ponderadas anuais durante o período de 1969/70 a 2008/09, para a bacia estudada.	43
Figura 23 – Determinação do valor de SPI recorrendo-se à função de probabilidade Gama (representada do lado esquerdo), que foi transformada numa distribuição normal (representada do lado direito) (Cunha, 2008).	49
Figura 24 – Gráfico das séries de valores de SPI-3 meses e SPI-12 meses obtidas para a bacia hidrográfica do rio Lima (Período 1970-2008).	54
Figura 25 – Classificação meteorológica (SPI-12 meses) para a série de anos analisada, tendo em consideração o ano civil.	55
Figura 26 - Classificação meteorológica (SPI-12 meses) para a série de anos analisada, tendo em consideração o ano hidrológico.	56
Figura 27 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2000 (ano húmido).	59
Figura 28 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2006 (ano próximo do normal).	59
Figura 29 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2008 (ano de seca moderada).	60
Figura 30 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2007 (ano de seca severa).	60
Figura 31 – Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2005 (ano de seca extrema).	61
Figura 32 – Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2000 (ano húmido).	64
Figura 33 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2006 (ano próximo do normal).	64
Figura 34 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2008 (ano de seca moderada).	65

Figura 35 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2007 (ano de seca severa).....	65
Figura 36 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2005 (ano de seca extrema).	66
Figura 37 – Estações de qualidade localizadas na bacia hidrográfica do Lima.	71
Figura 38 – Estações de qualidade com dados para os parâmetros de qualidade analisados.	75
Figura 39 – Estações seleccionadas e a sua localização na bacia hidrográfica do Lima.	77
Figura 40 - Esquema da rede hidrográfica com as estações de qualidade seleccionadas.	77
Figura 41 – Processo de selecção das estações de qualidade.	79
Figura 42 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1997 (ano húmido).	84
Figura 43 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1996 (ano próximo do normal).....	85
Figura 44 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2000 (ano húmido).....	87
Figura 45 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2006 (ano próximo do normal).....	88
Figura 46 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2008 (ano de seca moderada).....	88
Figura 47 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2007 (ano de seca severa).....	89
Figura 48 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2005 (ano de seca extrema).....	89
Figura 49 – Estações hidrométricas existentes na bacia hidrográfica do rio Lima.....	98
Figura 50 – Estações hidrométricas seleccionadas na bacia hidrográfica do rio Lima...	99
Figura 51 – Esquema da rede hidrográfica com as estações hidrométricas seleccionadas.....	99
Figura 52 – Processo de selecção das estações hidrométricas.....	102
Figura 53 – Localização das estações meteorológicas, hidrológicas e de qualidade seleccionadas.....	106
Figura 54 – Esquema da rede hidrográfica com as estações de qualidade e hidrométricas seleccionadas.....	106

Figura 55 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2000 (ano húmido).....	107
Figura 56 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2006 (ano próximo do normal).....	108
Figura 57 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2008 (ano de seca moderada).....	108
Figura 58 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2007 (ano de seca severa).....	109
Figura 59 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2005 (ano de seca extrema).....	109
Figura 60 – Comparação dos caudais afluentes, efluentes (medidos nas estações do Alto Lindoso e Touvedo) e os caudais utilizados neste estudo, em 2003, ano próximo do normal.....	111
Figura 61 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de São João) para o ano 2000 (ano húmido).....	114
Figura 62 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o ano 2006 (ano próximo normal)...	116
Figura 63 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o ano 2008 (ano de seca moderada).....	117
Figura 64 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o ano 2007 (ano de seca severa).....	118
Figura 65 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Bertandos) para o ano 2005 (ano de seca extrema)....	119
Figura 66 – Esquema do sistema de classificação de uma massa de água superficial no âmbito da DQA (ARH Norte, 2009b).....	126
Figura 67 – Princípios gerais sobre a interação entre o caudal e a biodiversidade aquática (adaptado de Bunn et al, 2002).....	130

Índice de tabelas

Tabela 1 – Estações udométricas e a correspondente área de influência e coeficiente de Thiessen, utilizados para a determinação da precipitação ponderada na bacia do Lima.	40
Tabela 2 – Coeficientes de determinação (r^2) para os postos seleccionados.....	42
Tabela 3 – Índices de seca utilizados para a classificação da intensidade de secas (adaptado de Maia, 2007).	45
Tabela 4 – Classificação meteorológica (SPI) e as probabilidades de ocorrência correspondentes (adaptado de Lloyd-Hughes <i>et al</i> , 2002).	50
Tabela 5 – Classificação da intensidade das secas (SPI) em Portugal desenvolvida pelo INAG (Cunha, 2008).	50
Tabela 6 – Classificação meteorológica (SPI) na bacia hidrográfica do Guadiana (adaptado de Cunha, 2008).	51
Tabela 7 – Classificação da intensidade das secas adoptadas pela Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, 2007.	51
Tabela 8 – Classificação meteorológica (SPI) na bacia hidrográfica do Lima (tendo como base a classificação adoptada pela Confederación Hidrográfica del Miño-Sil). ..	52
Tabela 9 – Anos seleccionados no nosso estudo (no sub-capítulo 4.4.3. e no capítulo 6).	57
Tabela 10 – Correlações existentes entre os valores de SPI-3 meses e as precipitações ponderadas mensais.	63
Tabela 11 – Correlações obtidas entre os valores de SPI-1 mês e as precipitações ponderadas mensais.	67
Tabela 12 - Estações de qualidade localizadas na bacia hidrográfica do Lima e algumas das suas características.	70
Tabela 13 - Parâmetros seleccionados neste estudo e as principais razões da sua escolha.	72
Tabela 14 – Anos com dados suficientes e seleccionados (a vermelho) para demonstração de resultados (1º grupo, G1).	82
Tabela 15 - Anos com dados suficientes e anos seleccionados (a vermelho) para demonstração de resultados (2º grupo, G2).	82
Tabela 16 – Correlações obtidas para as estações do grupo 1 (G1).	91
Tabela 17 – Correlações obtidas para as estações do grupo 2 (G2).	93

Tabela 18 – Estações hidrométricas e algumas das suas características, localizadas na bacia hidrográfica do Lima.....	97
Tabela 19 – Estações seleccionadas e períodos de tempo de medição dos caudais médios diários (m ³ /s) correspondentes.....	101
Tabela 20 – Correlações obtidas para os dados de precipitação, caudais e os parâmetros de qualidade.....	121

Abreviaturas

DQA – Directiva-Quadro da Água

INAG – Instituto Nacional da Água

NDMC – National Drought Mitigation Center

SPI – Standardized Precipitation Index

P – Precipitação

Q – Caudal

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em muitas regiões do Globo, de uma forma cíclica, fazem-se sentir secas de uma forma cada vez mais frequente. Estas evidenciam-se, devido ao seu desenvolvimento (progressivo, mas lento), à sua duração (varia de vários meses a alguns anos) e à área afectada (grande parte das vezes superior à verificada para outros fenómenos naturais de cariz meteorológico). A nível Mundial, e de acordo com dados da *International Strategy for Disasters Reduction* (ISDR) (período de 1995-2004) apresenta-se como o fenómeno natural mais importante. Na Europa, em relação ao número de ocorrências, as secas são equivalentes às cheias; todavia, as primeiras afectam uma maior percentagem relativa de pessoas, o que se deve em grande parte à afectação de uma maior área do território. Deste modo, entre os vários países da União Europeia tem-se identificado uma preocupação crescente com a problemática das secas, uma vez que estas apresentam uma grande complexidade e impactes muito significativos. Entre esses países, pode-se salientar Portugal Continental, em que os fenómenos de seca são particularmente relevantes devido à sua variabilidade climática. Nas últimas três décadas, no nosso país, registaram-se três grandes períodos de seca: 1975/76, 1981/83 e 2004/2005 (este último trouxe custos superiores a 800 milhões de euros e constituiu um grande alerta para a necessidade de uma Gestão dos Recursos Hídricos mais adequada) (Anderson *et al*, 2008; INAG, 2001; NMDC, 2006a; Quercus, 2006; Vivas *et al*, 2006a).

Convirá atender que para a Gestão dos Recursos Hídricos, em geral, e das Secas, em particular, se devem ter em consideração as cinco principais componentes do ciclo hidrológico: a precipitação¹, o escoamento² (superficial e subterrâneo), o armazenamento³ (superficial e subterrâneo), a evapotranspiração⁴ e a condensação⁵.

¹ A precipitação ocorre quando a humidade atmosférica se torna demasiado elevada para permanecer suspensa nas nuvens (Maia, 2009a).

² Escoamento: o volume de água que flui pela superfície terrestre (escoamento superficial) ou pelas reservas subterrâneas (escoamento subterrâneo) (Maia, 2009a).

³ Armazenamento superficial: como os lagos e albufeiras; armazenamento subterrâneo: como as águas subterrâneas (Maia, 2009a).

Este ciclo traduz e descreve a circulação da água nas três fases, sólida, líquida e gasosa, tendo como fundamento o princípio da conservação da água na Terra. Pode, assim, ser definido como um sistema global fechado, constituído por vários sub-sistemas abertos, com localizações geográficas diferentes, em que estão armazenadas diferentes quantidades de água e através de cujas fronteiras existem trocas de água que ocorrem a velocidades muito diferentes, dependendo dos sub-sistemas envolvidos (figura 1) (ARH Norte 2009a; EEA, 2009; Infopédia, 2003a; Lencastre *et al*, 1992; Maia, 2009a; Ward *et al*, 2003; Wikipedia, 2010a e 2010b).



Figura 1 - O ciclo hidrológico (Wikipedia, 2010b).

O desenvolvimento deste ciclo irá determinar a evolução da quantidade de água existente numa região, sendo determinante para o estabelecimento de uma situação de seca (geralmente nos períodos secos a evapotranspiração é mais elevada e a precipitação

⁴ Evapotranspiração: processo de transferência natural da água, no estado de vapor, da superfície da Terra para a atmosfera. A evapotranspiração inclui a água proveniente da evaporação da água, no estado líquido ou sólido, do solo, e da transpiração das plantas que constituem o revestimento vegetal do solo (Maia, 2009a).

⁵ Condensação: corresponde ao processo de passagem da água do estado gasoso ao estado líquido (Maia, 2009a).

é mais baixa). Pode-se salientar que a quantificação dos recursos hídricos pode ser efectuada em relação a diferentes escalas territoriais. De entre estas, para uma melhor gestão dos recursos hídricos, evidenciam-se as bacias hidrográficas. Isto porque, em condições naturais, têm como característica não estarem sujeitas a trocas de escoamentos superficiais e, se houver a existência de trocas subterrâneas, podem em geral ser consideradas pouco importantes. É esta particularidade, ou seja, esta independência hídrica entre as bacias hidrográficas⁶ que as torna mais adequadas para o planeamento e gestão dos recursos hídricos (ARH Norte 2009a; Lencastre *et al*, 1992; Ward *et al*, 2003; Wikipedia, 2010a e 2010b). Justifica-se, assim que a análise dos fenómenos de seca seja efectuada ao nível da bacia hidrográfica.

Deverá, entretanto, ter-se em conta que o fenómeno de seca, ao contrário de outros desastres naturais, não tem um início e fim definido. Como tal, os seus efeitos não são imediatos, o que provoca a tomada de medidas mais reactivas, iniciando-se estas, grande parte das vezes, quando uma situação de crise já se encontra estabelecida (figura 2) (INAG, 2001; NMDC, 2006b; Vivas *et al*, 2006a).

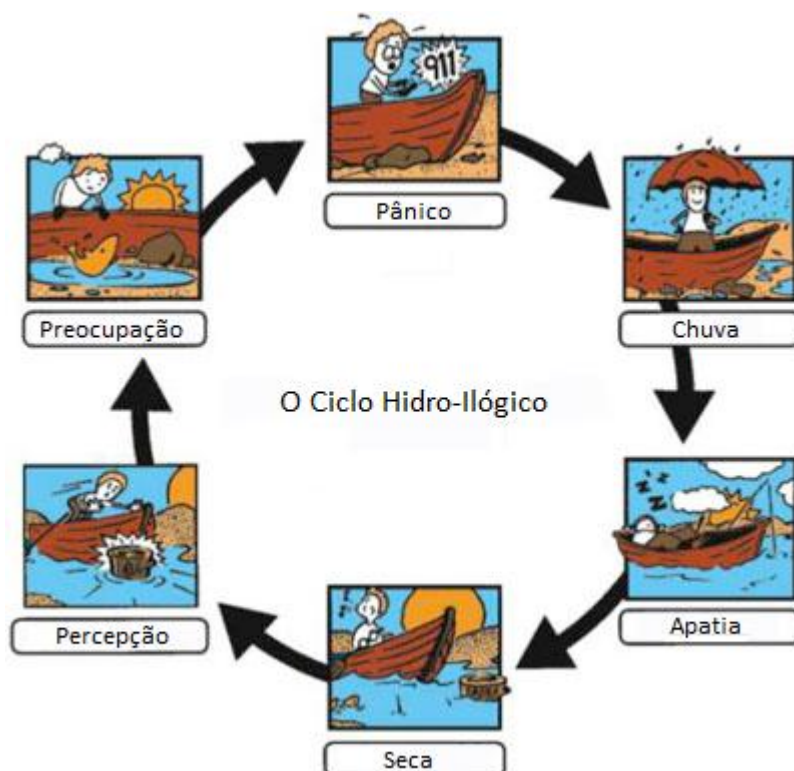


Figura 2 – Ciclo Hidro-ilógico (adaptado de NMDC, 2006b)

⁶ Bacia hidrográfica: Área terrestre a partir da qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para o mar, desembocando numa única foz, estuário ou delta (Directiva 2000/60/CE).

Na realidade, na actualidade, pretende-se que a gestão das situações de seca seja mais do tipo preventiva e não reactiva. Como tal, para o seu planeamento e gestão é fundamental que sejam tidos em consideração três aspectos: a monitorização, o impacto e avaliação de risco e mitigação. Para a monitorização da seca é fundamental a utilização de indicadores, uma vez que o início e o fim de uma seca são difíceis de determinar. Esses indicadores revelam-se importantes, já que permitem a caracterização deste tipo de fenómenos. Quanto aos impactos da seca, pode-se referir que dependem da sua natureza física, ou seja, da combinação da frequência, severidade e extensão espacial da seca, mas também da forma como a população, ou uma certa actividade, é influenciada pelos efeitos da seca. Estes efeitos dependem das características sociais e ambientais da região e são tanto menores quanto maior a capacidade de antecipação, resistência e recuperação da seca. Por sua vez, a mitigação da seca pode ser conseguida recorrendo a várias ferramentas, tais como: políticas, actividades, planos e programas. Estas ferramentas permitem, a previsão ou alerta precoce de situações de seca e a tomada de acções prévias que permitirão reduzir os correspondentes impactos (Mendes *et al*, 2008; NDMC, 2006c a 2006f; Vivas *et al*, 2006a).

1.2 MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS

Esta dissertação teve como objectivo principal o desenvolvimento de um índice, de tipo operacional, que permitisse estabelecer patamares de alerta a partir dos quais seriam desencadeadas medidas de mitigação dos efeitos da seca na qualidade biológica da água, medida esta de acordo com as normas previstas na Directiva-Quadro da Água (DQA), de forma a afectar o menos possível o estado ecológico dos ecossistemas aquáticos. Assim, pretendia-se que, com esta dissertação, fosse desenvolvido um índice que permitiria identificar os efeitos principais que cada patamar de seca tem nas comunidades bióticas aquáticas para, a partir daí, definir um conjunto de medidas minimizadoras desses mesmos efeitos.

Deste modo, o índice acima referido teria de ser desenvolvido por etapas, sendo necessário ter presente as relações causa-efeito existentes entre os fenómenos da Natureza. Como tal, de forma a conseguir atingir o objectivo pretendido traçaram-se objectivos intermédios.

O primeiro consistiu na caracterização meteorológica de uma bacia, de modo a determinar os valores do índice SPI relativos a um determinado período de tempo. O SPI é um índice de secas meteorológico, desenvolvido por McKee *et al* (1993), que permite quantificar o défice de precipitação para vários períodos de tempo: 1-, 3-, 6-, 12-, 24- e 48- meses, tendo como base a probabilidade de ocorrência de um determinado registo de precipitação. Como tal, com os valores de SPI relativos ao período de tempo mais adequado (SPI-12 meses) poder-se-ia fazer uma classificação meteorológica para o período de tempo seleccionado.

Após isto, o segundo objectivo consistiu no estudo da relação entre os valores de SPI (SPI-3 meses) e os dados de qualidade da água disponíveis para o mesmo período de tempo, uma vez que se pressupõe que alguns parâmetros de qualidade sofram modificações devido à ocorrência dos fenómenos de seca. Os parâmetros de qualidade que foram seleccionados foram os seguintes: amónia, CBO₅, coliformes fecais, estreptococos fecais, condutividade, oxigénio dissolvido e sólidos suspensos totais. Esta escolha prendeu-se com o facto de estes parâmetros serem indicadores dos principais tipos de factores antrópicos com efeito sobre a qualidade da água (poluição de origem urbana, poluição de origem agrícola e agro-pecuária, etc.), pelo que a sua afectação por alterações meteorológicas e hidrológicas associadas à ocorrência de uma seca terá, em primeira análise, efeitos muito significativos sobre a qualidade da água.

O último objectivo foi a avaliação, com base nos efeitos da seca sobre os parâmetros de qualidade da água, das comunidades bióticas afectadas em primeiro lugar, em segundo lugar e assim sucessivamente, bem como na definição das principais formas em que se traduzia essa afectação, de modo a identificar os indicadores operacionais que permitissem avaliar o grau de alteração do estado ecológico da massa de água.

Para a realização deste trabalho foi escolhida, como caso de estudo, a parte portuguesa da bacia hidrográfica do Lima, atento o facto de as barragens existentes nesta bacia não serem muito numerosas e o nível de poluição também não ser muito significativo (o que é benéfico para atingir o segundo e terceiro objectivos intermédios de forma mais eficaz). Por outro lado, os impactes da seca nas comunidades biológicas da bacia hidrográfica do Lima podem ser mais significativos do que em outras bacias, uma vez que, a resiliência e resistência destas comunidades a estes fenómenos poderá não ser tão grande, já que este tipo de fenómeno é menos frequente e menos severo nesta bacia, pelo que os organismos estarão menos adaptados ao mesmo.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em oito capítulos. No primeiro capítulo faz-se uma pequena introdução sobre o tema aqui abordado, as secas, bem como se apresentam os principais motivos inerentes à sua escolha, os objectivos estipulados e a estruturação da dissertação.

No segundo capítulo referem-se aspectos importantes para o entendimento do fenómeno de seca. Assim, define-se este fenómeno, fazendo-se a distinção entre a seca sazonal e supra-sazonal. Também se salientam as principais características a ter em atenção quando se analisam estes fenómenos, e clarifica-se a diferença entre as secas e os eventos normalmente associados a estas. Neste capítulo, mencionam-se ainda os tipos de seca, a sua evolução ao longo do tempo e os principais impactes que daí resultam. Dentro destes, os impactes ambientais são os mais focados, tendo em conta que o objectivo deste estudo é o desenvolvimento de indicadores ambientais, que traduzam a sequência dos impactes ambientais decorrentes do desenvolvimento das situações de seca, isto é: a diminuição da precipitação (ocorrência de seca) deverá originar uma diminuição da qualidade da água, conduzindo a um impacte nas comunidades biológicas aquáticas.

No terceiro capítulo, apresentam-se as principais características da bacia hidrográfica do Lima, fazendo-se em primeiro lugar um enquadramento territorial da bacia, depois uma caracterização geomorfológica e climática, referindo-se ainda quais os recursos biológicos mais significativos que existem nesta região.

No quarto capítulo procede-se à caracterização da severidade de seca meteorológica utilizando os registos de precipitação disponíveis no SNIRH. A classificação é feita através da utilização do índice SPI, o qual, como será referido posteriormente, pode ser calculado para diferentes períodos de tempo. Assim, optou-se por determinar o SPI-12 meses para fazer a classificação dos tipos de anos inseridos no período de tempo em estudo. Também se determinou o valor de SPI-3 meses, considerado mais adequado para o estabelecimento de uma relação entre este e a qualidade físico-química da água do rio Lima. Neste capítulo apresenta-se ainda a relação existente entre os valores de SPI-3 meses e também os de SPI-1 mês com a precipitação ponderada mensal, devido às constatações retiradas ao longo deste trabalho. Isto é, devido à procura de uma

relação entre os parâmetros meteorológicos e de qualidade avaliada a nível mais local, isto é, para uma dada área contida na bacia em estudo.

No capítulo cinco descreve-se a metodologia utilizada para analisar a informação disponível nas estações de qualidade que fazem parte da rede de monitorização da bacia estudada. Tal como mencionado anteriormente, faz-se então a comparação entre os dados de qualidade seleccionados e disponíveis e os valores de SPI-3 meses determinados, e as razões para a sua escolha.

No sexto capítulo analisa-se toda uma cadeia de relações causa-efeito, desde as variações da precipitação, à relação desta com as variações de caudal, e de ambas com as séries de dados relativos à qualidade física e química da água, mas de uma forma mais localizada (para diferentes áreas da bacia). De acordo com os três tipos de estações (meteorológicas, hidrométricas e de qualidade) e com os dados disponíveis para determinadas zonas da bacia em estudo. Isto foi feito, devido às constatações retiradas do capítulo cinco.

No sétimo capítulo apresentam-se algumas reflexões (que fizeram parte do estado da arte deste estudo) sobre a forma como os efeitos da seca influenciam as comunidades biológicas aquáticas, bem como as diferentes abordagens existentes para a constatação destes impactes nessas comunidades.

No oitavo capítulo mencionam-se as principais conclusões, considerações finais e eventuais desenvolvimentos futuros que possam ser efectuados com o intuito de melhorar o conhecimento existente sobre a ligação entre os efeitos das secas e os potenciais impactes nas comunidades biológicas aquáticas.

2. O FENÓMENO DA SECA

2.1 CONCEITO E DEFINIÇÃO DE SECA

As secas são fenómenos naturais complexos, não sendo situações raras e aleatórias do clima, como usualmente considerados, mas sim fenómenos recorrentes, ocorrendo praticamente em todas as zonas climáticas. As causas de uma seca estão relacionadas com a ocorrência de flutuações do clima numa escala local ou regional, o que origina condições meteorológicas desfavoráveis, como diminuição ou ausência de precipitação. Assim, o fenómeno da seca pode ser definido como sendo uma anomalia na precipitação que provoca valores de precipitação inferiores aos normais para uma determinada área e período de tempo. Esta anomalia é transitória e pode ser mais ou menos prolongada, afectando todas as restantes componentes do ciclo hidrológico. Como referido, o fenómeno da seca pode ocorrer em todas as zonas climáticas, no entanto as suas características variam significativamente de região para região. A seca tem como características essenciais: a magnitude (intensidade), a frequência, a duração e a extensão espacial, aspectos que serão abordados com mais pormenor no sub-capítulo 2.2. Como factores climáticos associados à seca, e que podem agravar de forma acentuada a sua severidade e duração, podem-se salientar: temperaturas elevadas, níveis de evapotranspiração elevados, fortes ventos e baixa humidade relativa. Também se pode referir que as condições de seca podem ser agravadas devido à existência de outros factores, como por exemplo: o incorrecto ordenamento do território, a sua desflorestação incontrolada, insuficientes infra-estruturas de armazenamento de água e a sua gestão incorrecta ao nível do consumo de água, assim como a sobre-exploração das reservas hídricas subterrâneas (Bond *et al*, 2008; CMS, 2007; Cunha, 2008; Kallis, 2008; Mendes *et al*, 2008; NDMC, 2006g; Santos, *et al*, 1998; Vivas *et al*, 2006a e 2006b; Water Scarcity Drafting Group, 2006).

Convém ainda salientar que tudo o que foi referido anteriormente está associado mais especificamente à denominada seca supra-sazonal. Contudo, existem também os fenómenos designados por secas sazonais. Estas distinguem-se das outras devido à sua previsibilidade, podendo ser associadas aos períodos secos existentes ao longo de um

ano. Assim, em consequência das secas referidas, os caudais deverão sofrer alterações mas de modo distinto. Estes dois tipos de secas também podem ser distinguidos devido ao tipo de distúrbios que provocam nas comunidades biológicas. As secas sazonais são distúrbios em *press* (distúrbios mais intensos, que ocorrem num curto período de tempo) enquanto que as supra-sazonais são distúrbios em *ramp* (distúrbios que podem começar por ser menos intensos mas que ocorrem durante um longo período de tempo, o que implica que a sua intensidade aumente ao longo do tempo). Será de notar que as comunidades biológicas reagem de forma diferente, consoante a seca seja sazonal ou supra-sazonal (Boulton, 2003; Lake, 2003; Rose *et al*, 2008; Stubbington *et al*, 2009). A diferente variação do caudal ao longo do tempo, os tipos de distúrbios e o modo de resposta das comunidades biológicas podem ser observados através das figuras 3 (para as secas sazonais) e 4 (para as secas supra-sazonais) (Boulton, 2003; Lake, 2003).

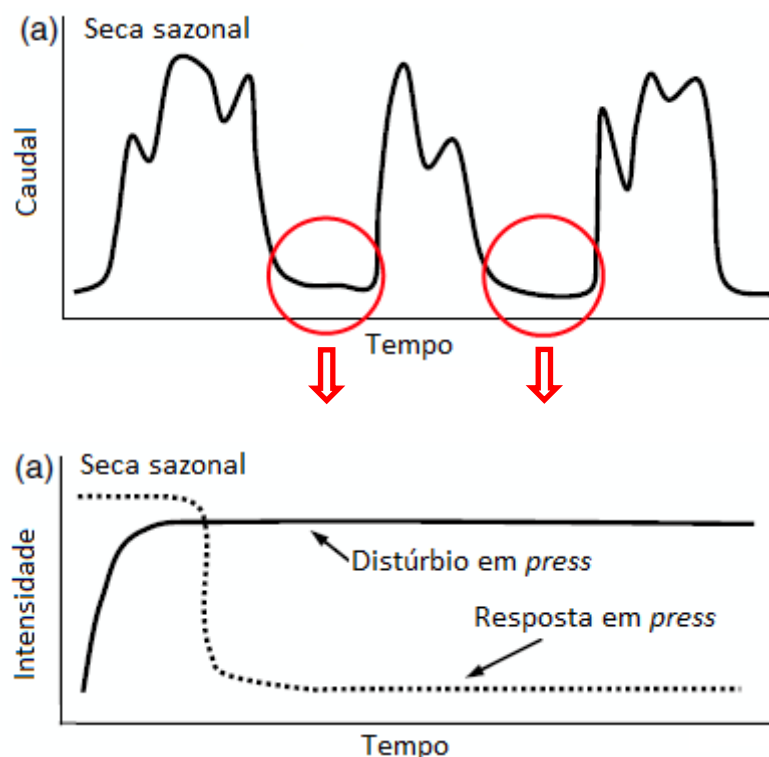


Figura 3 – Variação do caudal prevista, para uma seca sazonal, bem como, o tipo de distúrbio característico (distúrbio em *press*) e as respostas correspondentes das comunidades biológicas (adaptado de Lake, 2003).

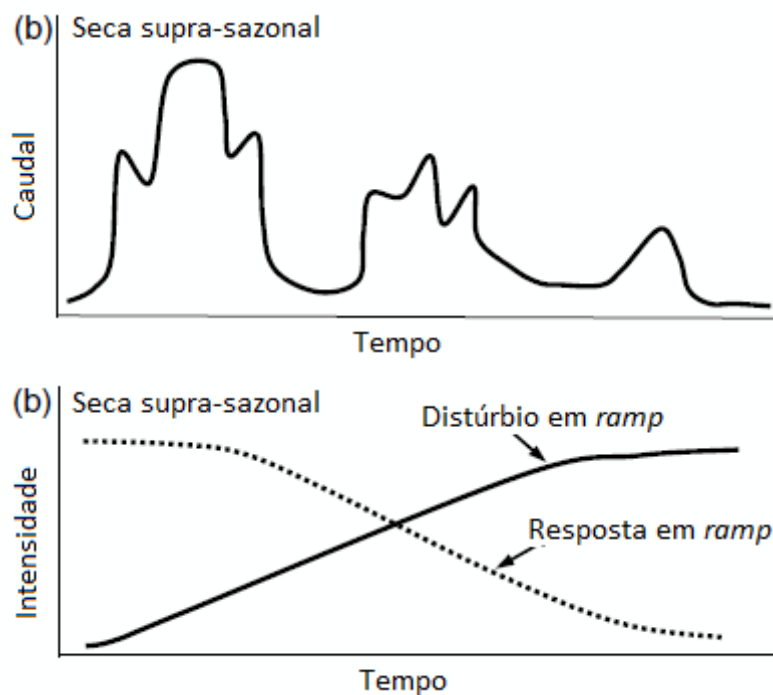


Figura 4 – Variação do caudal prevista, para uma seca supra-sazonal, bem como, o tipo de distúrbio característico (distúrbio em *ramp*) e as respostas correspondentes das comunidades biológicas (adaptado de Lake, 2003).

Deste modo, se ocorrer uma seca sazonal (que tem como característica a previsibilidade) as comunidades biológicas vão ser capazes de desenvolver adaptações para sobreviver a estes fenómenos. Para este tipo de secas, o biota apresenta uma alta resistência⁷ e uma forte resiliência⁸, sendo muitas vezes encarada como uma situação de “não seca” para muitas comunidades biológicas. Por outro lado, as secas supra-sazonais não permitem o desenvolvimento de adaptações devido à sua imprevisibilidade, quer em frequência, quer em duração. Desta forma, neste tipo de secas, a resposta das comunidades biológicas caracteriza-se por ter uma baixa resistência e uma resiliência variável.

⁷ A resistência está relacionada com a forma como as comunidades biológicas resistem à seca (Boulton, 2003; Lake, 2003).

⁸ A resiliência tem a ver com a capacidade dessas comunidades para recuperar da seca (Boulton, 2003; Lake, 2003).

2.2 CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DA SECA

As características essenciais de uma seca são: a magnitude (intensidade), a frequência, a duração e a extensão espacial (Cunha, 2008; NDMC, 2006g; Saravi *et al*, 2009).

A magnitude da seca pode estar relacionada com o grau de défice de precipitação (em relação ao valor médio) existente e/ou com a severidade dos impactes que esta diminuição da precipitação provoca (Cunha, 2008).

A frequência das secas é um factor importante na análise dessas situações, uma vez que quanto maior o seu valor, também superiores deverão ser os impactes associados. Pode-se salientar que, Portugal pertence ao grupo dos países europeus que, desde os anos 70, tem registado uma maior frequência deste tipo de fenómenos (Cunha, 2008; Ferreira, 2007).

A duração de uma seca é também uma importante característica destes fenómenos, e define-se como o tempo em que a variável seleccionada para a caracterizar (por exemplo: precipitação, humidade do solo, escoamento, a água armazenada nas albufeiras) está em défice em relação a um nível de referência (limiar de seca). Assim, corresponde ao intervalo de tempo em que os problemas de défice de água são críticos para determinados fins, ou seja, existem graves problemas de escassez de água. Para que exista uma recuperação desta situação, é necessário que uma fracção do défice total seja compensada por um excedente, estimado em relação ao nível de recuperação (limiar de seca). Deste modo, para definir a duração de uma seca é importante ter em consideração a capacidade de resiliência do sistema, ou seja, a capacidade que o sistema possui para recuperar desde o seu colapso durante a crise até atingir um estado aceitável de operacionalidade. Como exemplo pode-se referir a quantidade de água armazenada numa albufeira. Para se considerar que existiu a recuperação do sistema, deve ser atingido um nível médio anual não sendo suficiente ultrapassar o nível mínimo (o limiar da seca) (AHBVFA, 2008; CMS, 2007; Cunha, 2008).

Em relação à extensão espacial das secas, pode-se referir que as áreas afectadas pela severidade da seca desenvolvem-se progressivamente a nível espacial. Convém notar que a ocorrência de seca numa região pode ter efeitos em regiões adjacentes. Em Portugal tem-se verificado que, desde os anos 70, as secas têm uma extensão espacial cada vez maior e cada evento que ocorre tende a abranger mais território do que os ocorridos anteriormente (Cunha, 2008; Durão *et al*, 2009).

Todas estas características devem ser analisadas com atenção quando se avaliam os fenómenos de seca, uma vez que podem acarretar a ocorrência de impactes acumulados, que trazem vários problemas a diferentes níveis (AHBVFA, 2008; CMS, 2007). O tipo de impactes que resultam da ocorrência de secas serão abordados com maior detalhe posteriormente, neste estudo.

2.3 CONCEITOS RELACIONADOS COM A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Muitas vezes, a seca é confundida com outros fenómenos que afectam de forma similar a disponibilidade de água, podendo-se destacar a aridez e a escassez de água. Em relação ao primeiro pode-se referir que ocorre em regiões onde se verificam valores de precipitação baixos de forma permanente. Por sua vez, a escassez de água acontece quando apesar de valores de precipitação normais existe uma insuficiência dos recursos hídricos disponíveis, devido às necessidades existentes numa região. Isto é, a “procura” que ocorre para satisfazer as principais utilizações da população é demasiadamente elevada em relação às disponibilidades existentes. Deste modo, este fenómeno pode-se verificar mais frequentemente quando existam actividades agrícolas ou industriais intensas ou quando a densidade populacional é elevada. Assim, uma seca pode agravar uma situação de escassez na medida em que potencia um desequilíbrio crescente entre as disponibilidades naturais e as necessidades para as principais utilizações, numa determinada região (Vivas *et al*, 2006a, 2006b e 2007).

2.4 TIPOS DE SECA E EVOLUÇÃO DA SUA SEVERIDADE

Existem definições operacionais que permitem identificar o início, o fim e o grau de severidade de uma seca. Estas podem ser utilizadas para analisar a frequência, severidade e duração da seca para um determinado período de tempo. Assim, para analisar a ocorrência destas secas são necessários dados meteorológicos (horários, diários, mensais, ou outro período de tempo) e eventualmente dados de impactes (como a produtividade de culturas), dependendo da natureza da definição a ser aplicada (NDMC, 2006g).

Como definições operacionais de seca podem-se distinguir quatro tipos: a meteorológica, a agrícola, a hidrológica e a sócio-económica.

- ✓ A seca meteorológica - ocorre quando se verifica numa determinada região e num determinado período de tempo, uma diminuição dos valores de precipitação (em relação à precipitação média para o período em causa). Este tipo de seca está na base dos restantes tipos de seca e a sua definição varia de região para região, uma vez que as condições atmosféricas que determinam as deficiências na precipitação variam significativamente.
- ✓ A seca agrícola – devido a uma diminuição da precipitação durante um longo período de tempo, surge uma redução significativa da disponibilidade da água no solo (que depende da intensidade da seca meteorológica) o que provoca um stress hídrico nas plantas, logo a uma diminuição da biomassa e da produção agrícola (desde logo, e em primeira análise, de sequeiro).
- ✓ A seca hidrológica – está relacionada com a deficiência da disponibilidade de água quer ao nível superficial, quer subterrâneo, traduzindo-se numa diminuição dos níveis nas linhas de água e nos locais de armazenamento (superficial e subterrâneo). Esta seca, tal como a seca agrícola resulta da seca meteorológica. Convém ainda salientar que entre a seca meteorológica e a seca hidrológica existe um intervalo de tempo considerável, uma vez que é necessário um longo período de tempo para que os défices de precipitação tenham repercussões na disponibilidade de água. Contudo, a seca hidrológica pode ser exacerbada devido a vários factores como as actividades agrícolas inadequadas, a degradação do solo, a construção de barragens e a resultante formação de albufeiras (caso não se cumpram os caudais mínimos necessários para jusante).
- ✓ A seca socioeconómica – verifica-se quando as actividades humanas são afectadas, ocorrendo uma situação temporária de escassez de água (ou seja, os recursos hídricos disponíveis são insuficientes para as necessidades) (Ameazine *et al*, 2007; Bond *et al*, 2008; Heim, 2002; Kallis, 2008; Keyantash *et al*, 2002; McMahon *et al*, 2003; Mendes *et al*, 2008; NDMC, 2006g; Reyes-Gómez *et al*, 2006; Vivas *et al*, 2006a e 2006b).

Estes tipos de seca ocorrem de forma sucessiva à medida que a seca progride. Isto é, a diminuição nos valores de precipitação (seca meteorológica) leva a uma redução na humidade do solo que provoca a afectação das culturas agrícolas (desde logo, de

sequeiro) existentes (seca agrícola) e a diminuição das condições de escoamento e de armazenamento (seca hidrológica). Se a condição de diminuição/ausência de precipitação continuar, as principais actividades utilizadoras do recurso de água podem ser afectadas (seca sócio-económica). Na figura 5 encontra-se esquematizado o referido anteriormente. (NMDC, 2006g; Vivas, *et al*, 2006a e 2006b).

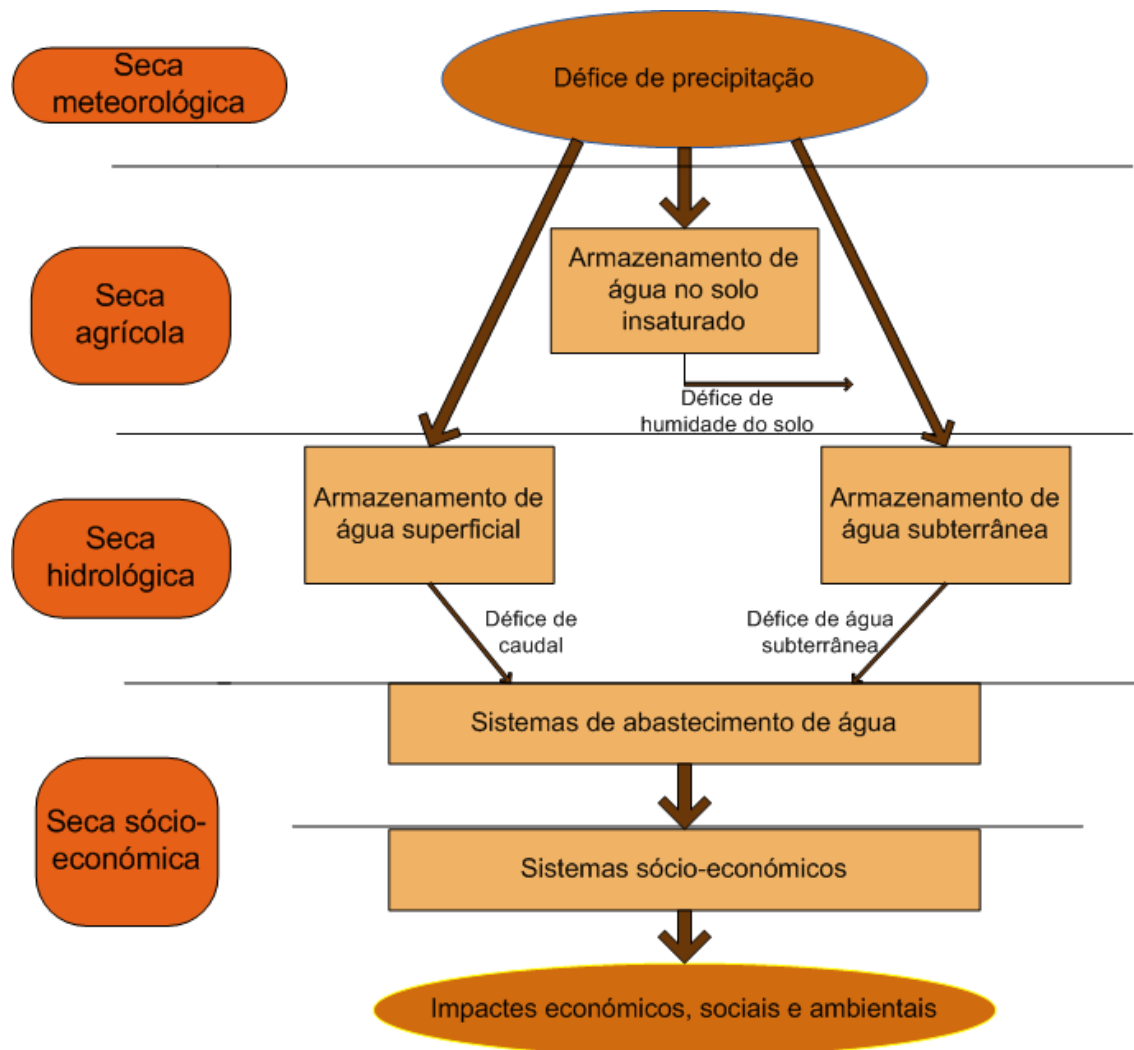


Figura 5 – Evolução da severidade de seca (adaptado de Maia, 2009b).

2.5 IMPACTES DA SECA

As secas têm uma ampla gama de impactes, podendo ser agravados com as alterações climáticas, com o aumento da população e consequente crescimento das necessidades de água (Olsson *et al*, 2009).

Assim, os impactes da seca podem ser directos ou indirectos. Como exemplo dos primeiros podem-se referir: prejuízos na agricultura, na produção de energia eléctrica, nas limitações da disponibilidade de água para o abastecimento urbano, no aumento do risco de incêndio, das taxas de mortalidade do gado e animais selvagens, na diminuição do habitat disponível para os organismos aquáticos e na redução da conectividade hidráulica. As consequências destes impactes são os impactes indirectos. Como exemplo, poderemos referir: a deterioração da qualidade da água, devido ao aumento da concentração de substâncias poluidoras que ocorre como consequência da diminuição dos volumes de água (Cunha, 2008; NDMC, 2006h; Olsson *et al*, 2009;).

Qualquer um dos impactes (directos e indirectos) podem ainda dividir-se em impactes económicos, sociais e ambientais. Como impactes económicos podem referir-se os custos e perdas na agricultura e pecuária, diminuição na produção de madeira, na pesca, no turismo, na produção de energia e ao nível dos transportes e navegação. Quanto aos impactes sociais podem-se mencionar problemas na saúde pública, na gestão de conflitos do uso de água, políticos, redução da qualidade de vida, aumento da pobreza, diminuição do emprego, migração da população para áreas não afectadas (Bhuiyan, 2004; Cunha, 2008; NDMC, 2006h; Olsson *et al*, 2009). Neste estudo, dar-se-á mais ênfase aos impactes ambientais.

2.5.1 Impactes ambientais

Em relação aos impactes ambientais devido às situações de seca, pode desde logo salientar-se a diminuição da recarga dos aquíferos, o que leva a uma redução da água subterrânea (quando estes se localizam em zonas costeiras pode ocorrer a intrusão de água salgada), bem como, a diminuição dos níveis de água nos rios, lagos e albufeiras. Isto traz várias consequências como a redução da profundidade do escoamento no rio, provocando a perda de conectividade entre as margens do rio e este e uma redução da quantidade de matéria orgânica que entra no rio. Assim, em consequência, ocorre uma

perda de habitat por parte das comunidades biológicas aquáticas e da vegetação ribeirinha. Desta forma, pode acontecer uma redução da sombra provocada pelas plantas no rio o que conduz a um aumento da temperatura da água. Por sua vez, tal pode induzir uma redução na diversidade da comunidade de macroinvertebrados (que contribuem para manter a qualidade da água devido ao processamento da matéria orgânica), bem como das comunidades piscícolas que se alimentam destes. O aumento da temperatura que pode ocorrer nos recursos hídricos pode levar a uma diminuição da concentração de saturação de oxigénio na água, havendo assim menos oxigénio dissolvido. Pode também existir a proliferação de algas (eutrofização), o que acarreta modificações na cadeia alimentar existente e diminui a qualidade da água. Os valores de caudal mais baixos também poderão conduzir a uma diminuição da qualidade da água, devido a um abaixamento na diluição de contaminantes (provocando o aumento da sua concentração nos recursos hídricos) e também podem ocorrer modificações devido à deposição e acumulação das partículas finas nos leitos (essencialmente devido à diminuição dos caudais existentes). Deste modo, o transporte de sedimentos também vai trazer implicações às comunidades biológicas (especialmente às piscícolas, devido entre outros factores à acumulação de sedimentos nas brânquias).

Com a progressão do fenómeno da seca pode, inclusivamente, ocorrer uma anulação da corrente de escoamento. Geralmente neste estado, os *riffles* (zonas pouco profundas com fluxo geralmente turbulento, que se caracterizam por possuir água com bastante oxigénio dissolvido quando existe corrente) secam. Assim, os peixes e os invertebrados tendem a agregar-se em *pools* ou “poças”, existentes em zonas mais profundas do canal do rio. Deste modo, como não existe caudal para fazer a ligação entre elas, o transporte normal de nutrientes, seres vivo e matéria orgânica, é interrompido, podendo o rio passar a ser um curso de água estagnado. Isto provoca stress nas plantas e nos animais existentes, adaptados a viver em cursos de água com corrente, podendo mesmo ocorrer o desaparecimento de organismos, tais como invertebrados (Bond *et al*, 2008; Cunha, 2008; eWater CRC, 2009; NDMC, 2006h; Olsson *et al*, 2009).

Também se pode salientar como impacte ambiental o aumento da quantidade de incêndios, bem como da sua intensidade (Bond *et al*, 2008; Cunha, 2008; eWater CRC, 2009; NDMC, 2006h; Olsson *et al*, 2009).

No caso de Portugal Continental, podem destacar-se como impactes ambientais ocorridos no período de 2004/2006 (período em que se verificou uma seca significativa): a grande diminuição dos níveis de água existentes nas albufeiras (p.e., na

zona Sul do Algarve toda a água existente nas albufeiras do Funcho e do Arade secou) e a diminuição dos caudais nos rios. Esse fenómeno pode levar ao aumento da migração de espécies, existentes nestes rios, para jusante (DG Env EC, 2007).

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LIMA

3.1 INTRODUÇÃO

No presente trabalho, tal como referido anteriormente, optou-se por estudar a parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Lima tornando-se assim necessário aprofundar o seu conhecimento. Para tal, em primeiro lugar faz-se um enquadramento territorial da referida bacia, ou seja, refere-se a sua localização, área e os concelhos que abrange. Também se salientam as características do rio Lima, como o local onde nasce, onde desagua, bem como, a sua extensão e os seus afluentes. Posteriormente, faz-se uma caracterização geomorfológica, climática e mencionam-se quais os principais recursos biológicos existentes no rio Lima. Na caracterização geomorfológica refere-se o relevo, o perfil longitudinal do rio, o tipo de solo e as suas principais ocupações. Por sua vez, na caracterização climática apresentam-se os valores médios de precipitação, evapotranspiração e outras variáveis climáticas importantes para a região em estudo, assim como os valores existentes nas outras bacias de Portugal Continental para efeitos de comparação. Convém salientar que, o conhecimento destas características é importante para o presente estudo, uma vez que a sua interacção vai influenciar o comportamento do ecossistema.

Deve ainda realçar-se o facto de esta bacia ser a que possui maiores valores de precipitação em Portugal Continental, sendo por isso interessante analisar os períodos de seca que aqui se verificam, uma vez que os efeitos resultantes deverão ser mais marcantes. Um exemplo que se pode salientar é o testemunho dado pelo presidente da Associação de Agricultores do Vale do Lima, em 2005 (período marcado pela ocorrência de uma seca de grande intensidade) referindo que “O drama da seca é muito maior na nossa região do que, por exemplo, no Alentejo, já que a agricultura deles é de sequeiro e a nossa de regadio, ou seja, ressentem-se muito mais a falta de água” (RTP - Notícias, 2005).

3.2 ENQUADRAMENTO TERRITORIAL

A bacia do rio Lima é uma bacia internacional, partilhada por Portugal e Espanha, tendo uma área de aproximadamente 2480 km². Esta pode ser observada na figura 6, onde estão representadas as bacias luso-espanholas (INAG, 2001).



Figura 6 – Bacias luso-espanholas (CADC, 2007).

O rio Lima (em galego Limia) é um rio internacional que nasce em Espanha, mais especificamente na Serra de S. Mamede (e cerca dos 950 metros de altitude). Após o seu percurso em Espanha (aproximadamente 41 km) entra em Portugal, próximo do Lindoso, no vale criado pela Serra do Gerês e da Peneda, desaguando no Oceano Atlântico junto a Viana do Castelo. O seu percurso desde a fronteira até a foz é de aproximadamente 67 km, o que faz com que a sua extensão ronde os 108 km. Em território português tem como principais afluentes na margem direita os rios Vez, Labruja e Estorãos e na margem esquerda os rios Vade e Trovela. Em território

Espanhol destacam-se na margem direita o rio Lagoa de Antela e na margem esquerda os rios Fara Montaos e Salas. A figura 7 apresenta um esquema da rede hidrográfica do rio Lima (ARH Norte, 2009a e 2009b; Ramos, 1990; Wikipedia, 2010c e 2010d).

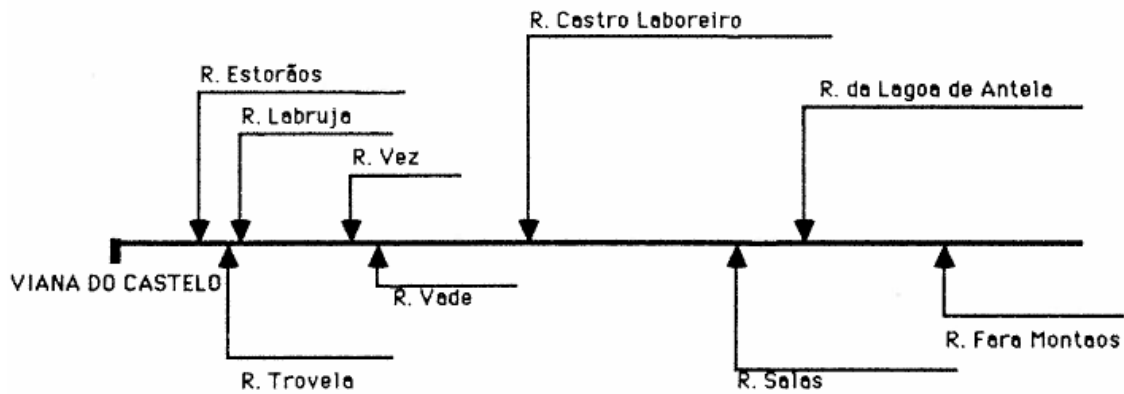


Figura 7 – Rede hidrográfica (Ramos, 1990).

Tal como referido anteriormente, apenas se irá analisar o troço do rio Lima inserido em território português e a sua respectiva bacia hidrográfica. Esta tem uma área de 1180 km², que corresponde a 48% da área total da bacia. Esta bacia é limitada a norte pelas bacias hidrográficas dos rios Minho e Âncora e a sul pelas bacias dos rios Cávado e Neiva (ARH Norte, 2009b; CADC, 2007; INAG, 2001), tal como pode ser observado com mais detalhe na figura 8.

3. Caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Lima

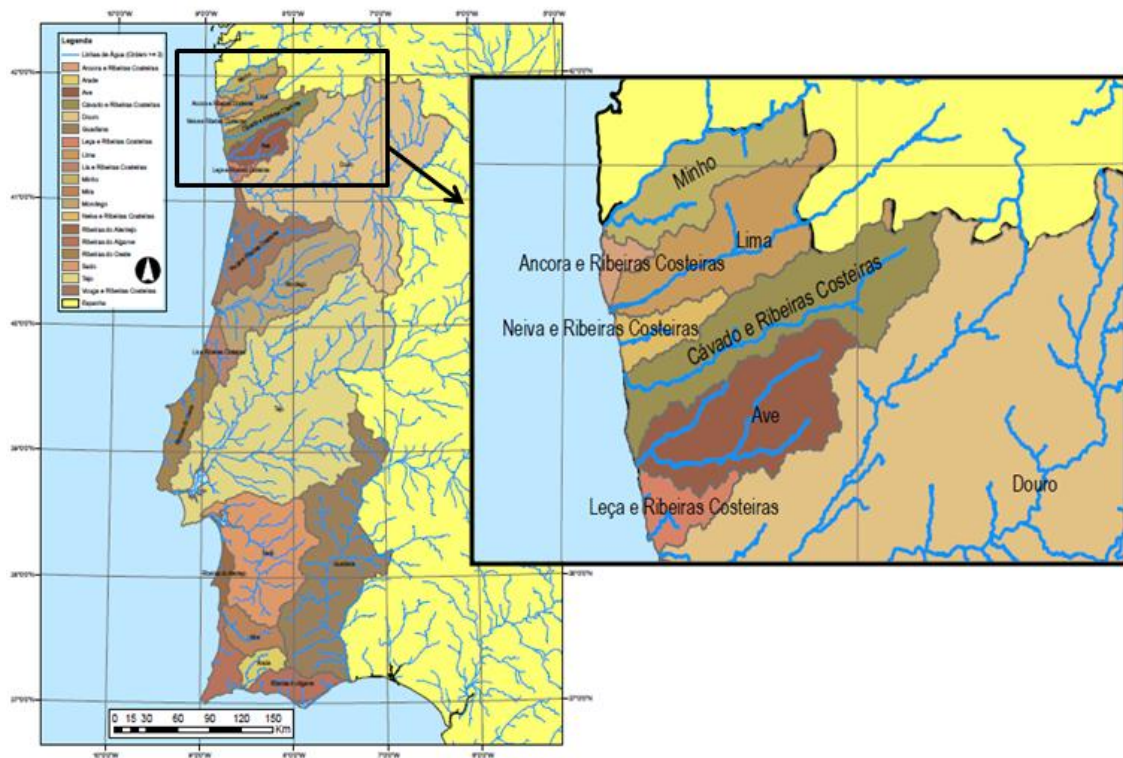


Figura 8 – Bacias hidrográficas de Portugal Continental, detalhe da bacia do rio Lima e das bacias adjacentes (adaptado de SNIRH, 2010).

A bacia hidrográfica em estudo, engloba as áreas de jurisdição dos concelhos de Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo, como pode ser observado na figura 9.

Durante a década de 90, realizaram-se grandes construções na parte portuguesa da bacia hidrográfica do Lima, as barragens do Alto Lindoso e do Touvedo. A sua localização, na rede hidrográfica do rio Lima, pode ser observada na figura 10 (ARH Norte, 2009a; Videira, 1995).

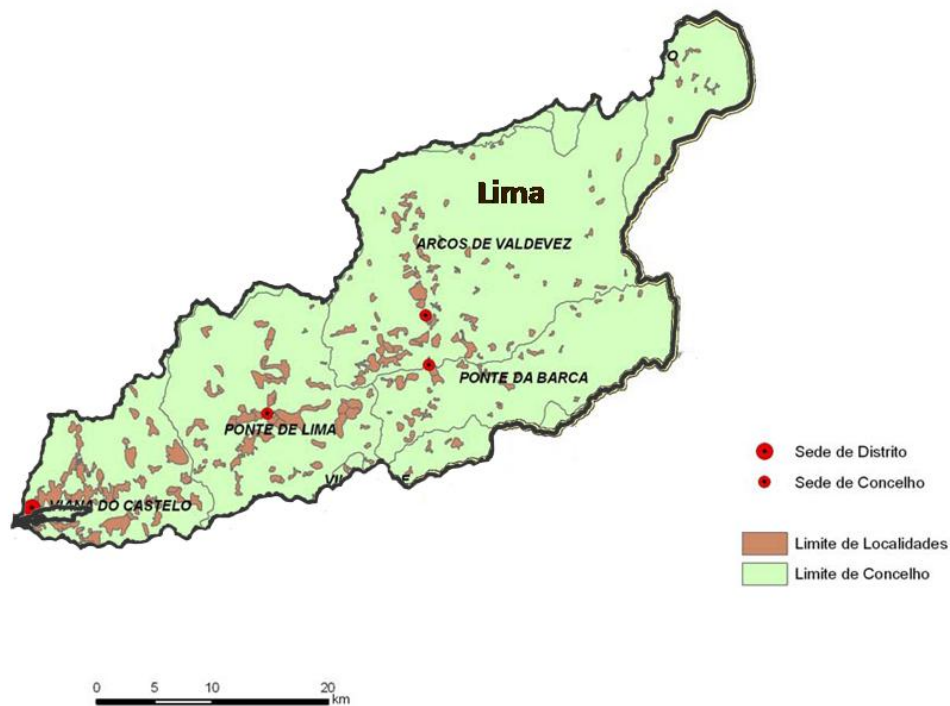


Figura 9 – Concelhos abrangidos pela bacia do rio Lima (ARH Norte, 2009b).

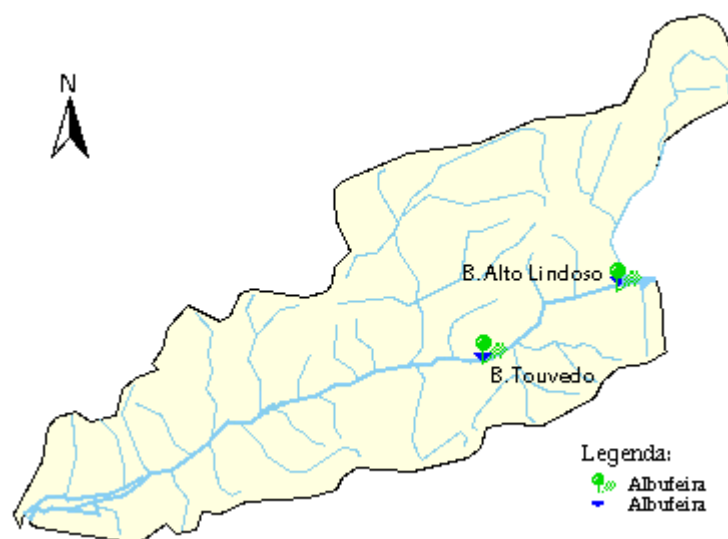


Figura 10 – Rede hidrográfica do rio Lima e a localização das barragens do Alto Lindoso e Touvedo (ARH Norte, 2009b).

3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A bacia hidrográfica do rio Lima tem uma forma alongada e direcção ENE-WSW, atravessando maciços graníticos. Os vales existentes no rio Lima apresentam um traçado aproximadamente rectilíneo, bem como alguns afluentes da margem direita (rios Castro Laboreiro, Labruja e Estorãos) e da margem esquerda (rio Queijais). Estes apresentam uma orientação dominante N-S a NE-SW (ARH Norte, 2009a).

A altitude desta bacia varia entre os 0 e os 1527 m, possuindo uma altitude média de 447 metros e uma largura média da ordem dos 19 km. Pode-se ainda destacar que existe um aumento progressivo das altitudes do litoral para o interior, onde as altitudes mais elevadas estão nas regiões de montante da bacia. Isto pode ser observado através da sua distribuição altimétrica, apresentada na figura 11 (ARH Norte, 2009a; Infopédia, 2003b).

Convém ainda salientar que o perfil longitudinal do rio Lima, correspondente ao troço compreendido entre a foz e a fronteira de Portugal, caracteriza-se por possuir um troço inicial (com um comprimento de 59 km) que se desenvolve em terrenos pouco acidentados. Pelo contrário, no restante percurso o rio percorre terrenos bastante acidentados. O perfil longitudinal do rio pode ser observado na figura 12 (ARH Norte, 2009a).

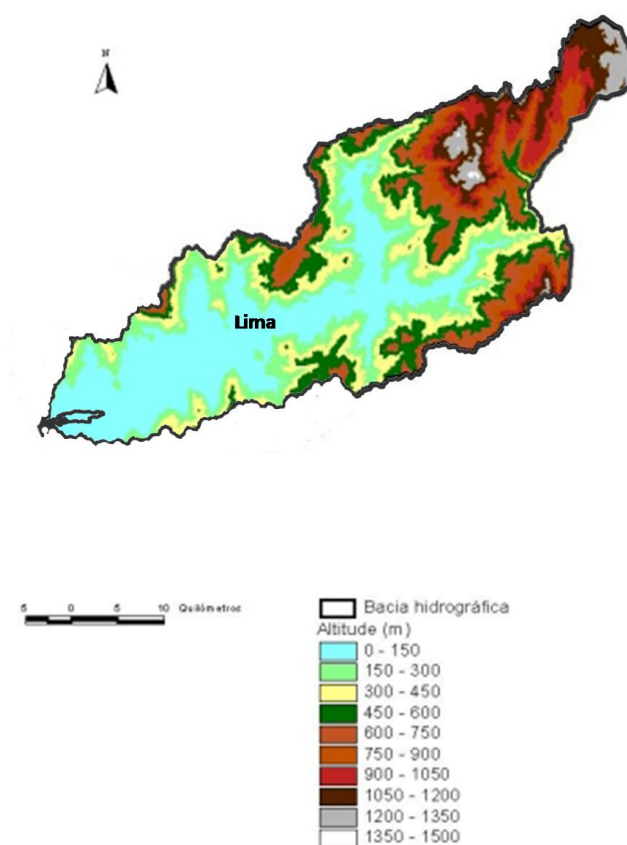


Figura 11 – Distribuição altimétrica na bacia do Lima (adaptado de ARH Norte, 2009a).

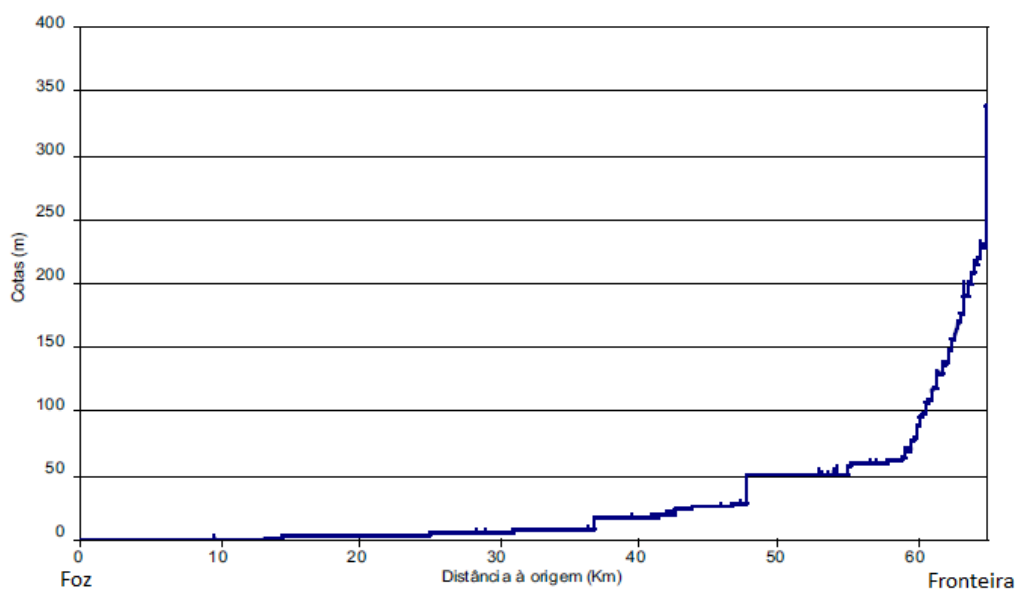


Figura 12 – Perfil longitudinal do rio Lima em solo português (adaptado de ARH Norte, 2009a).

3.3.1 Solo e ocupação do solo

O tipo de solo predominante nesta bacia, é o Cambissolo húmico de rochas eruptivas, que ocupa 68% da área total. Quanto à ocupação do solo pode-se referir que os principais usos são as culturas anuais associadas a culturas permanentes (18%), a floresta com várias espécies florestais (14%), as pastagens pobres e trilhos (11%) e os espaços florestais degradados (9%) (ARH Norte, 2009a).

3.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A posição geográfica, a proximidade do Atlântico e a localização dos principais conjuntos montanhosos do Noroeste de Portugal condicionam o clima que se faz sentir nesta região. Esta encontra-se inserida numa região com um clima de tipo *marítimo, fachada atlântica*. Tendo em consideração a classificação climática, segundo Thornthwaite o clima desta bacia é super húmido, mesotérmico, com pequena falta de água no ano e com pequena eficiência térmica no Verão (ARH Norte, 2009a e 2009b). Seguidamente, referir-se-ão com mais detalhe os vários parâmetros climáticos que permitem caracterizar esta região.

3.4.1 Precipitação

Uma das componentes mais importantes do ciclo hidrológico, sendo um dos factores fundamentais na definição das características hidrológicas, é a precipitação. A precipitação anual média em Portugal Continental é cerca de 960 mm. Nesta bacia, as precipitações anuais médias têm valores superiores a todas as bacias hidrográficas de Portugal Continental (INAG, 2001). Isto pode ser constatado da análise da figura 13.

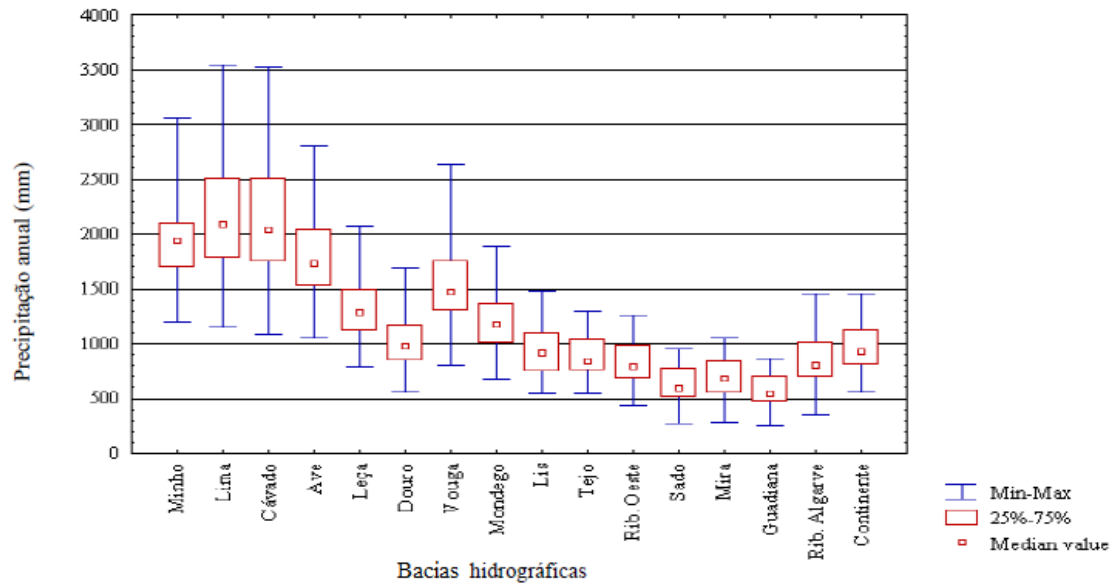


Figura 13 – Precipitação anual média por bacia hidrográfica (adaptado de INAG, 2001).

Nesta bacia a distribuição espacial e temporal da precipitação condicionam as disponibilidades hídricas superficiais existentes de forma significativa. Isto verifica-se, uma vez que, os aquíferos existentes têm uma reduzida capacidade de armazenamento. Assim, o escoamento superficial existente modifica-se de forma rápida relativamente à ocorrência da precipitação.

Nesta região pode-se salientar que as precipitações mais elevadas podem registar valores superiores a 3000 mm (junto à nascente do rio Vez), enquanto nas zonas junto ao litoral observam-se valores inferiores a 1900 mm. Assim, com o aumento da altitude ocorre um aumento da precipitação (ARH, 2009a; INAG, 2001). A distribuição da precipitação média anual na bacia encontra-se representada na figura 14.

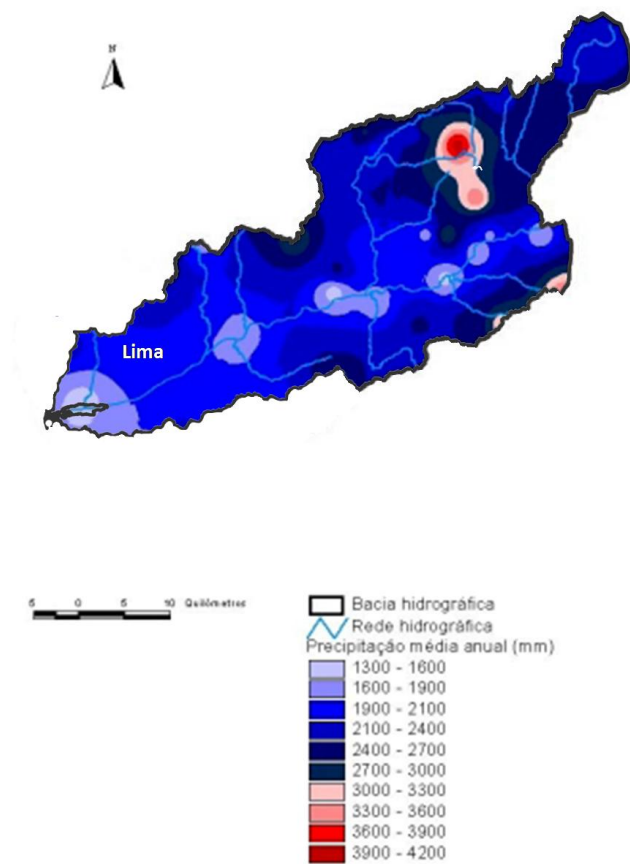


Figura 14 – Distribuição espacial da precipitação média anual na bacia do rio Lima (adaptado de ARH Norte, 2009a).

A irregularidade da precipitação verificada em termos espaciais, também se pode observar em termos sazonais. No caso específico da região aqui estudada, pode-se salientar que 73% da precipitação anual ocorre no semestre húmido (Outubro a Março). Destes, os meses de Janeiro e Dezembro são os mais chuvosos com precipitações médias de, respectivamente, 323 mm e 324 mm. No semestre seco verificam-se valores mensais inferiores a 120 mm, podendo chegar a valores de 34 mm no mês de Julho (ARH Norte, 2009a e 2009b). Na figura 15, pode-se observar a distribuição sazonal da precipitação na bacia estudada.

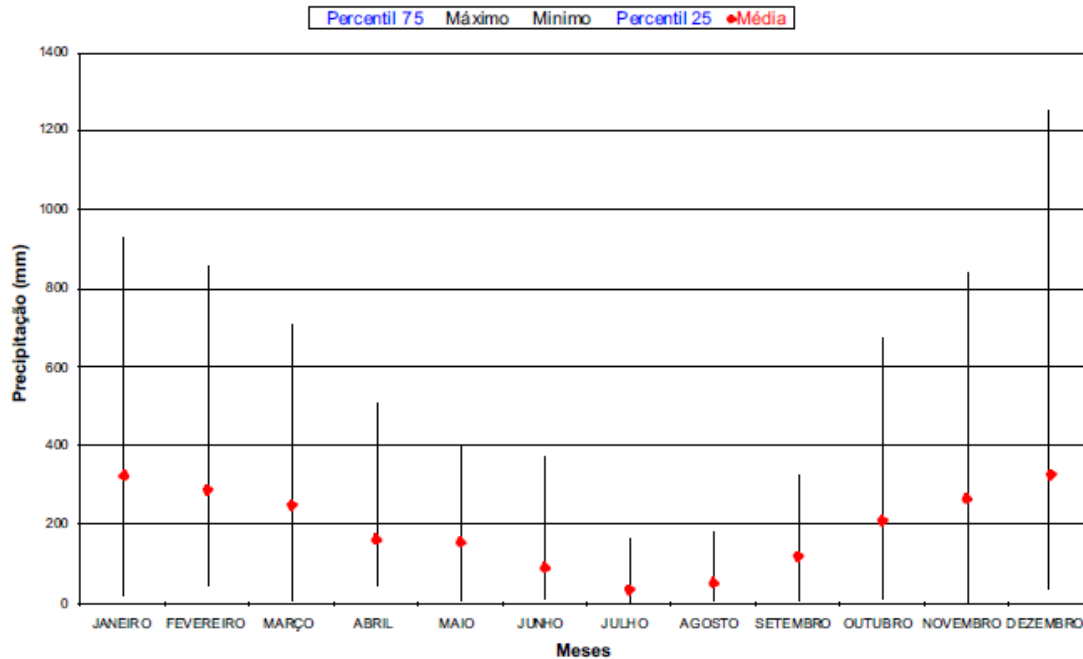


Figura 15 – Precipitação mensal média na bacia do rio Lima, gráfico Box-Whiskers (ARH Norte, 2009a).

Além da irregularidade espacial e sazonal, anteriormente abordadas, existe também uma irregularidade pluri-anual da precipitação. Neste estudo, numa fase posterior, será feita uma análise mais aprofundada sobre o comportamento da precipitação ocorrida nesta bacia no período de 1970 até 2008.

3.4.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial (EVP) pode ser estimada a partir de outras variáveis climáticas como a temperatura, insolação, humidade do ar e velocidade do vento (ARH Norte, 2009a). Na figura 16, podem-se observar os valores de EVP para as bacias hidrográficas de Portugal Continental.

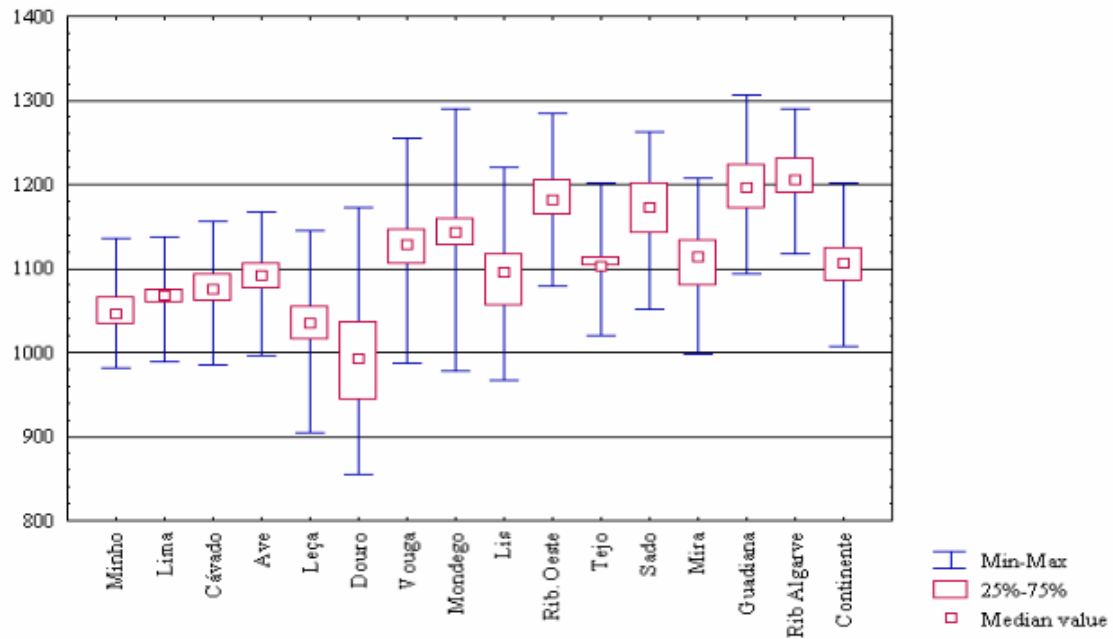


Figura 16 – Evapotranspiração potencial por bacia hidrográfica, gráfico Box-Whiskers (INAG, 2001).

Na bacia do Lima a EVP anual varia entre 880 e 1180 mm. Nesta região pode-se salientar a existência de um aumento da EVP de montante para a jusante, correspondentemente a um aumento da temperatura (ARH Norte, 2009a e 2009b). A distribuição espacial da EVP média anual está representada na figura 17.

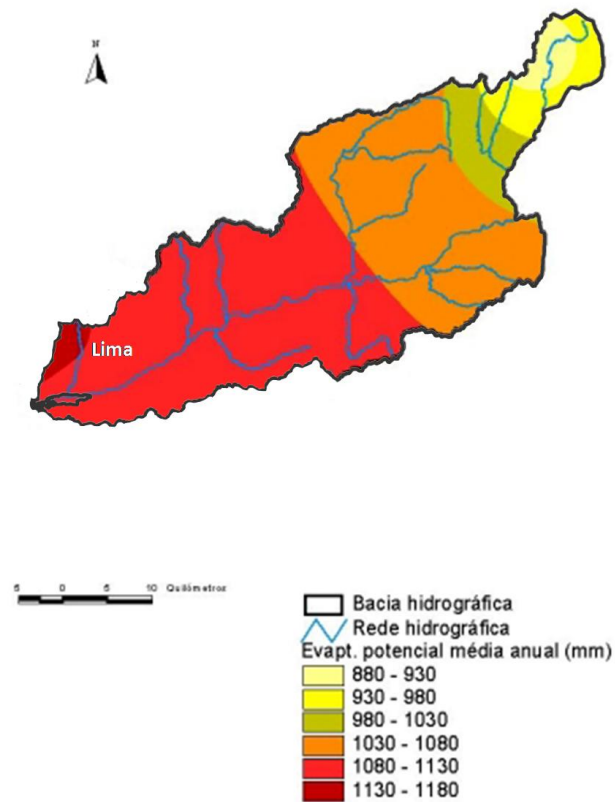


Figura 17 – Distribuição espacial da evapotranspiração potencial média anual na bacia do Lima (adaptado de ARH Norte, 2009a).

Tal como para a precipitação, existe uma variabilidade sazonal no valor da EVP. Isto pode-se notar na figura 18. Pode-se salientar que os maiores valores de EVP ocorrem no Verão (cerca de 5 vezes superiores aos meses de Inverno), uma vez que a temperatura do ar e a insolação apresentam valores superiores (ARH Norte, 2009a).

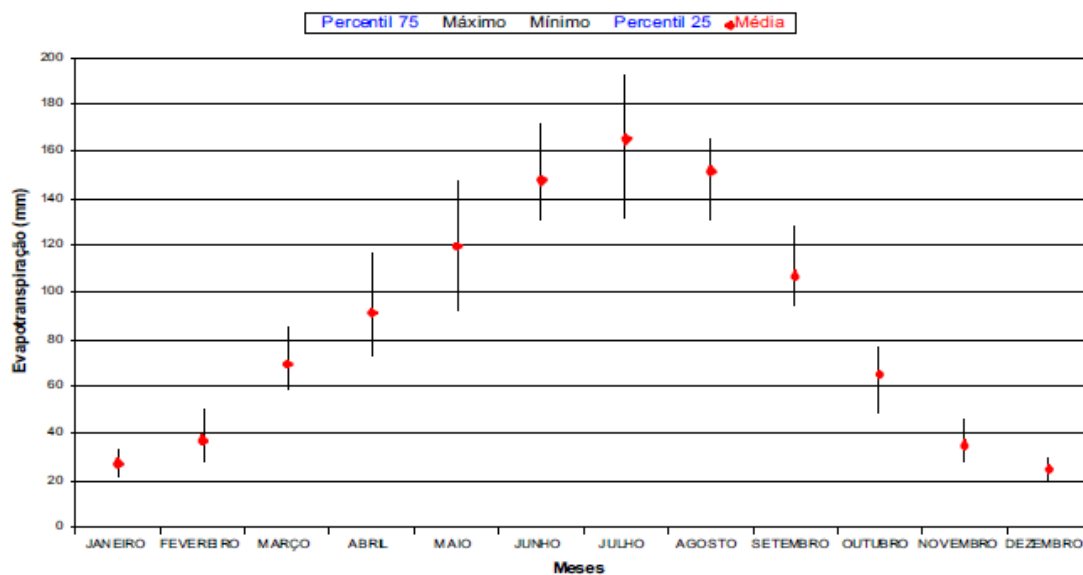


Figura 18 – Evapotranspiração potencial na bacia do rio Lima, gráfico Box-Whiskers (ARH Norte, 2009a).

3.4.3 Outras variáveis climáticas

Para a gestão dos recursos hídricos é importante ter em consideração outras variáveis climáticas como a temperatura, a insolação, a radiação solar, a humidade e o vento.

Na bacia hidrográfica do rio Lima, a temperatura média anual do ar tem um valor à volta dos 14 °C, junto ao litoral atlântico, enquanto que junto à fronteira entre Portugal e Espanha, a temperatura é menor com valores que rondam os 9 °C. Isto deve-se à altitude e ao afastamento em relação ao litoral atlântico (ARH Norte, 2009a).

Em relação à insolação pode-se referir que os menores valores anuais podem ser observados na cabeceira da bacia hidrográfica sendo da ordem das 1850 horas. Estes índices devem-se aos valores de altitude e de nebulosidade mais elevados. A nebulosidade, por sua vez, está estreitamente relacionada com a latitude e com a exposição das vertentes. Os seus valores normalmente diminuem da estação húmida para a seca (os meses de Julho e Agosto apresentam céu limpo normalmente em cerca de 50% dos dias). Quanto à humidade relativa do ar pode-se verificar que os valores mais baixos surgem em Julho e Agosto, com valores de aproximadamente 80%. Por

outro lado, os valores mais elevados apresentam-se nos meses de Dezembro e Janeiro e rondam os 90% (INAG, 2001).

3.5 RECURSOS BIOLÓGICOS

A produtividade biológica existente nos cursos de água da região estudada é baixa, uma vez que a quantidade de sais dissolvidos é baixa, aspecto que está relacionado com a existência de maciços graníticos. Pode-se salientar que existe uma importante biodiversidade na área de estuário do rio Lima (importante espaço natural húmido) e que se classifica como valioso e sensível do ponto de vista da conservação das espécies e dos seus habitats. Em relação à comunidade piscícola pode destacar-se a existência da enguia, savelha, sável, truta-marisca e do salmão. Convém notar que todas estas espécies são consideradas como vulneráveis e/ou em perigo ou ameaçadas, existindo cinco impactes chave, que contribuem para o seu declínio, que são os seguintes: introdução e translocação de espécies, represamento dos rios, diminuição da qualidade da água, degradação e fragmentação dos habitats aquáticos e sobreexploração dos recursos (IUCN, 2001; Oliveira *et al*, 2007).

Poderá salientar-se que, em rios ibéricos, no qual se insere o rio Lima, alguns dos factores de perturbação reconhecidos como mais evidentes são: a extracção de água dos rios (mais intensa especialmente durante os períodos mais secos do ano, quando os caudais não acompanham as necessidade para fins domésticos e agrícolas); a poluição de origem industrial e doméstica; as práticas agrícolas, que levam à destruição de habitats e eutrofização das águas; a construção de barragens para irrigação, consumo humano, e produção de hidroelectricidade. No caso concreto do rio Lima, é reconhecido que a existência dos empreendimentos hidroeléctricos do Alto Lindoso e Touvedo, no troço principal do rio Lima, pode trazer uma degradação mais significativa das condições da qualidade de água, que poderão implicar alterações nas comunidades biológicas existentes (ARH Norte, 2009a e 2009b; Oliveira *et al*, 2007).

4. CARACTERIZAÇÃO DA SEVERIDADE DE SECA METEOROLÓGICA

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo efectua-se uma caracterização meteorológica da precipitação ocorrida na bacia hidrográfica do Lima, com o intuito de fazer uma classificação meteorológica num determinado período de tempo. De acordo com os dados de precipitação existentes, verificou-se ser possível, fazer uma caracterização meteorológica para o período entre 1969/70 a 2008/2009. Assim, para este período de tempo foi possível determinar as precipitações ponderadas mensais, necessárias para o cálculo dos valores do SPI. Este é um índice meteorológico de seca bastante utilizado que permite fazer uma classificação meteorológica. As categorias existentes, normalmente, nesta classificação são: húmido, próximo do normal, seca moderada, seca severa e seca extrema.

Após a caracterização meteorológica, apresenta-se uma breve descrição sobre os índices de seca existentes, bem como, do índice utilizado (o SPI), referindo-se em que consiste, as suas principais vantagens e o seu modo de cálculo.

Posteriormente, começa-se por apresentar uma comparação entre os valores de SPI-12 meses e o SPI-3 meses de forma a demonstrar o porquê do primeiro ter sido escolhido para classificar o tipo de anos contidos no período de tempo analisado e o segundo ter sido escolhido no sentido de procurar uma relação com a qualidade da água. Convém salientar que, a classificação meteorológica adoptada baseou-se essencialmente na classificação de intensidade de seca referida no *Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Cuenca Hidrográfica del Norte*.

Neste capítulo também se realiza uma comparação entre os valores de SPI-3 meses e SPI-1 mês com os valores da precipitação ponderada mensal na bacia do rio Lima, para os anos seleccionados (2000, 2005, 2006, 2007 e 2008). Esta análise foi necessária em virtude das constatações efectuadas no capítulo 5.

4.2 CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA NA BACIA DO LIMA

Para a caracterização do regime de precipitação, neste caso a intensidade das secas na bacia do Lima, foi necessário em primeiro lugar determinar a precipitação média ponderada (mensal e anual) na região, utilizando o método dos polígonos de Thiessen. Este método estabelece que o cálculo da precipitação ponderada seja feito de acordo com a seguinte equação (Maia, 2008):

$$P = \sum_{i=1}^n (P_i \frac{S_i}{S}) \quad (1)$$

Onde,

P – Precipitação média na área estudada (mm)

P_i – Precipitação média na área do polígono *i* (mm)

S_i – Área da região inserida no polígono *i*, área de influência (km²)

S – Área total da região considerada (km²) calculada através de

$$S = \sum_{i=1}^n (S_i) \quad (2)$$

S_i / S – Coeficiente de Thiessen

Assim, foi necessário aceder à página do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), ou seja, ao site <http://www.snirh.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>, para a determinação das estações udométricas⁹ (postos) da rede de monitorização localizados na bacia do Lima tendo-se observado uma totalidade de 33 postos. Seguidamente, juntaram-se os postos udométricos existentes em bacias adjacentes à do Lima e mais próximos desta (accedendo-se novamente ao SNIRH), incluindo-se mais 13 postos na análise.

Em seguida, traçaram-se os polígonos de Thiessen para cada um dos 46 postos com o intuito da determinação da área de influência S_i para o posterior cálculo das

⁹ Estações onde se medem os valores da precipitação.

precipitações ponderadas aplicando a equação (1), constatando-se que não existia qualquer área da bacia que não fosse abrangida por um dos polígonos de Thiessen traçados. Deste modo, pôde concluir-se que, em primeira análise, existiriam 46 estações udométricas potencialmente relevantes para o estudo a desenvolver. A localização destes postos, bem como os polígonos de Thiessen correspondentes, pode ser observada na figura 19.

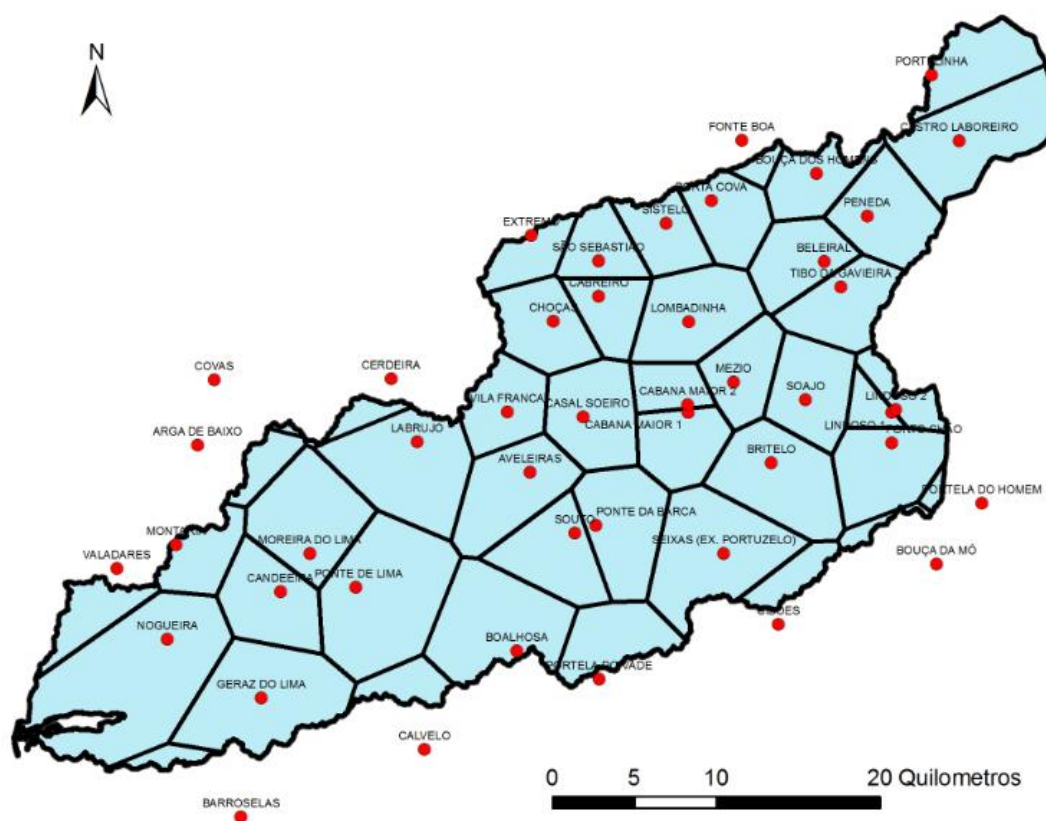


Figura 19 – Localização das estações udométricas e polígonos de Thiessen correspondentes, a ter em consideração no nosso estudo.

Posteriormente, para cada um dos postos (no total 46 postos) fez-se uma análise dos registos de precipitações mensais existentes, verificando-se que, em vários postos, a quantidade de registos era pouco significativa, ou seja, o período de tempo estudado era relativamente curto. Isto conduziu a uma eliminação desses postos, restando para a nossa análise apenas 30 postos. Este processo de selecção pode ser observado na figura 20.

4. Caracterização da severidade de seca meteorológica

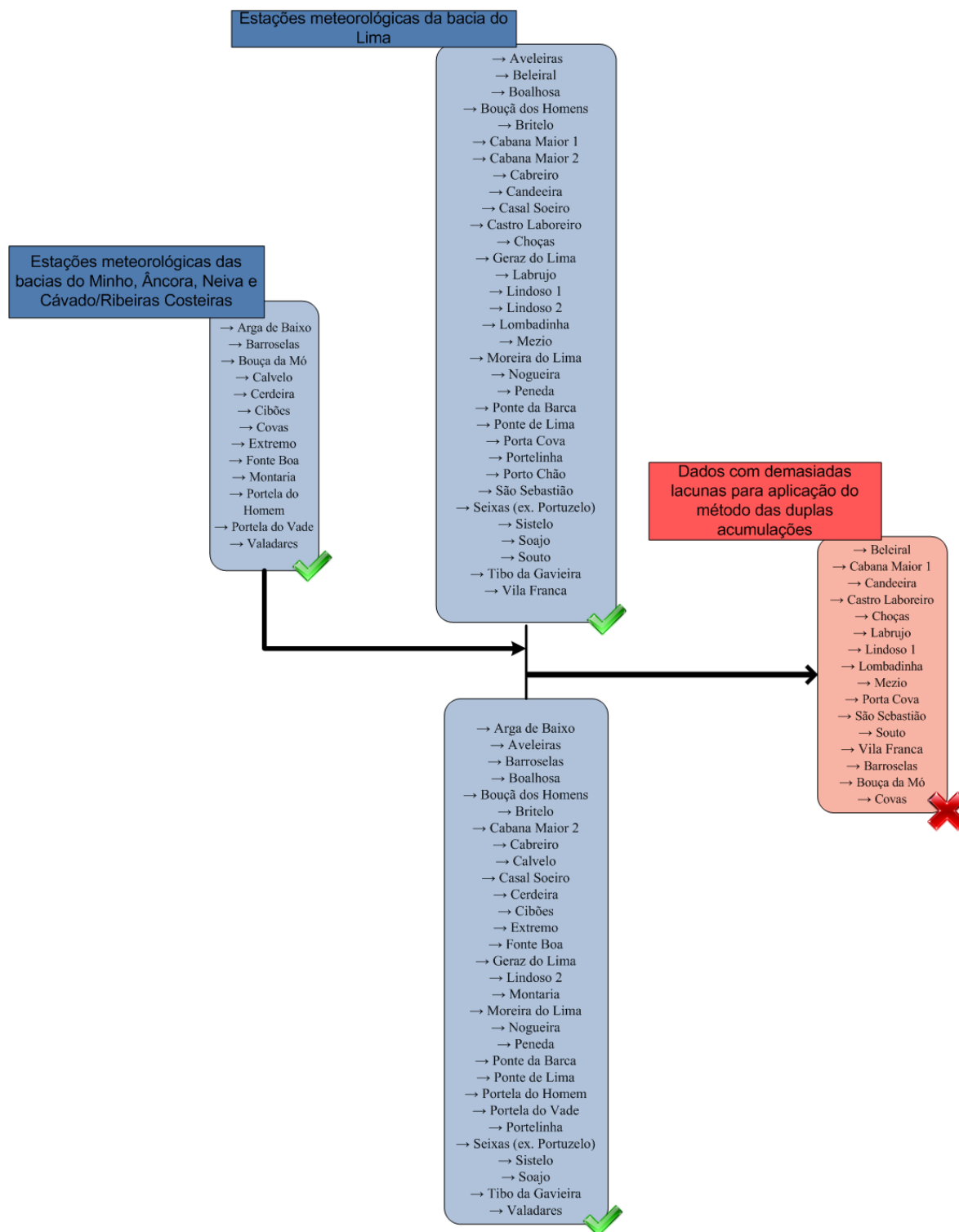


Figura 20 – Processo de selecção das estações meteorológicas.

Convém notar que após a eliminação das estações udométricas referidas, foi feito correspondentemente o traçado dos polígonos de Thiessen de forma a abranger toda a área da bacia. Os postos seleccionados, bem como os polígonos de Thiessen

correspondentes, estão representados na figura 21. Para cada posto apresentam-se, na tabela 1, os valores da área de influência (S_i) e do coeficiente de Thiessen.

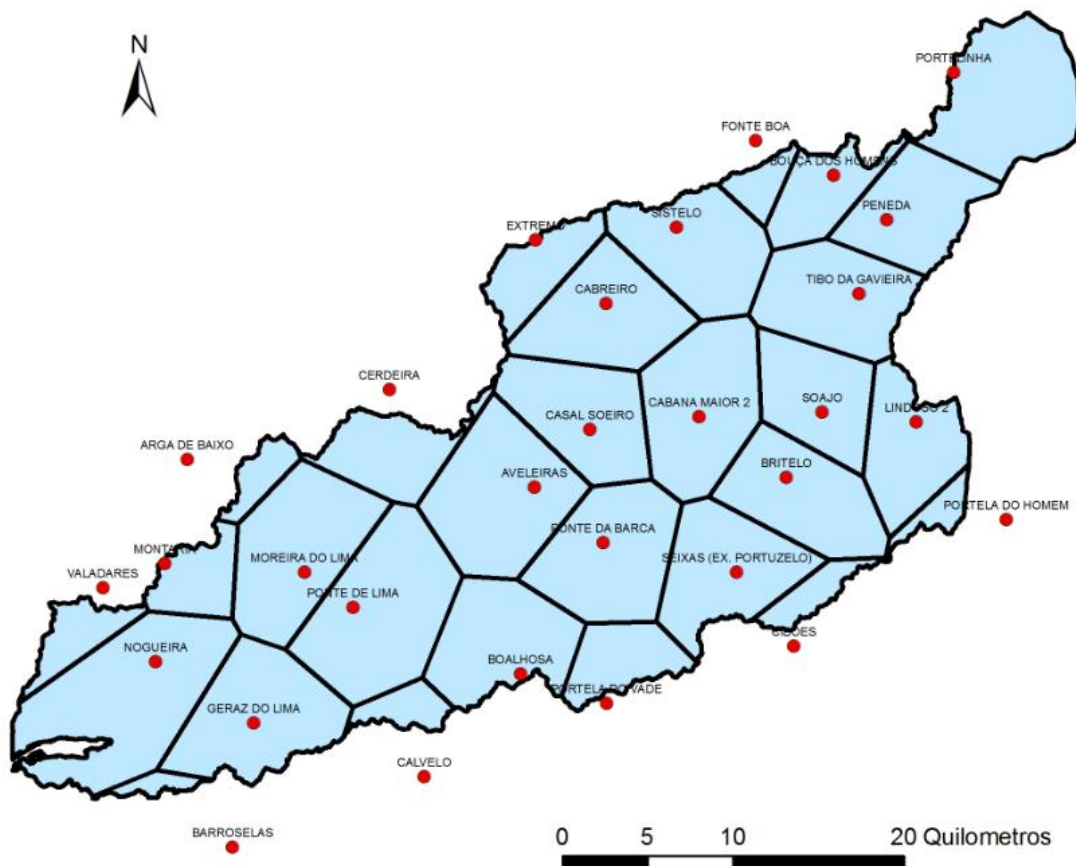


Figura 21 – Localização das estações udométricas e polígonos de Thiessen correspondentes, seleccionadas no nosso estudo.

Tabela 1 – Estações udométricas e a correspondente área de influência e coeficiente de Thiessen, utilizados para a determinação da precipitação ponderada na bacia do Lima.

Bacia	Estação	Código	Área de influência - S_i (km ²)	Coeficiente de Thiessen - S_i/S
Lima	Aveleiras	02G/11UG	63,5	0,05
	Boalhosa	03G/05UG	48,7	0,04
	Bouça dos Homens	02H/01UG	26,1	0,02
	Britelo	02H/07UG	48,5	0,04
	Cabana Maior 2	02G/12UG	58,3	0,05
	Cabreiro	02G/05UG	50,4	0,04
	Casal Soeiro	02G/09G	47,4	0,04
	Geraz do Lima	03F/03UG	57,0	0,05
	Lindoso 2	02H/09UG	39,6	0,03
	Moreira do Lima	03F/04UG	60,3	0,05
	Nogueira	03E/02UG	82,5	0,07
	Peneda	02H/03UG	41,9	0,04
	Ponte da Barca	03G/02C	55,1	0,05
	Ponte de Lima	03F/01G	70,2	0,06
	Portelinha	01H/02G	61,0	0,05
	Seixas (ex. Portuzelo)	03H/04G	49,4	0,04
	Sistelo	02G/04UG	49,0	0,04
	Soajo	02H/10UG	39,9	0,03
	Tibo da Gavieira	02H/05G	49,0	0,04
Minho	Arga de Baixo	02E/03UG	10,7	0,01
	Cerdeira	02F/02G	31,8	0,03
	Extremo	02G/03G	23,9	0,02
	Fonte Boa	01H/03UG	9,8	0,01
Cávado/Ribeiras Costeiras	Cibões	03H/05UG	11,5	0,01
	Portela do Homem	03I/01G	8,0	0,01
	Portela do Vade	03G/03UG	24,2	0,02
Âncora	Montaria	03E/05UG	20,3	0,02
	Valadares	03E/04UG	16,2	0,01
Neiva	Barroselas	04E/01UG	5,1	0,00
	Calvelo	03F/05UG	11,2	0,01
			S = 1170,8 km²	

Convém salientar que para cada um dos postos referidos na tabela 1, foi necessário, ainda assim, colmatar lacunas de dados, isto é, efectuar o preenchimento de alguns dados inexistentes nos registos de precipitações mensais.

Para tal, utilizou-se o método das duplas acumulações¹⁰. Este método define que a partir de um posto modelo, ou seja, um posto em que não existam lacunas nos dados, se obtenham os valores que faltam, tendo em consideração a correlação existente entre as séries dos valores acumulados dos postos. No entanto, como foi referido anteriormente, não existia nenhum posto com todos os valores pelo que, de todos eles, seleccionaram-se quatro postos (os que possuíam menos lacunas nos dados). Depois foram determinadas as precipitações anuais de cada um deles (somando as precipitações mensais para cada ano e disponíveis no SNIRH) e geraram-se cinco séries de valores acumulados, ou seja, quatro correspondentes ao acumulado das precipitações médias anuais e uma correspondente ao somatório desses acumulados (para cada ano). Os valores de precipitações anuais, bem como as precipitações acumuladas calculadas estão representados no anexo A, na tabela A1. Assim, para cada uma das séries dos valores acumulados de cada estação (x) e a série dos valores acumulados do somatório de todas as estações seleccionadas (y) ajustaram-se, através de uma regressão linear, os pontos a uma recta e verificou-se a qual das rectas obtidas correspondia o maior coeficiente de determinação, tendo-se constatado que o maior valor obtido foi o correspondente aos valores da estação Casal Soeiro. Os valores do coeficiente de determinação para cada uma das estações seleccionadas são apresentados na tabela 2.

¹⁰ A teoria subjacente a este método baseia-se no facto de, representando num sistema de eixos coordenados os pares de pontos definidos pelas acumulações sucessivas de duas séries de valores, no mesmo período, a curva resultante ser uma linha recta se os valores das referidas séries forem proporcionais. Esta série de valores deve ser hidrologicamente afim, ou seja, devem ser constituídas por valores da mesma variável (no caso aqui estudado as séries são constituídas por valores de precipitação) (Maia, 2010).

Tabela 2 – Coeficientes de determinação (r^2) para os postos seleccionados.

Estação	r^2
Casal Soeiro	0,9994
Peneda	0,9979
Ponte de Lima	0,9993
Tibo da Gavieira	0,9961

A estação de Casal Soeiro foi, assim escolhida como modelo, servindo de base para preenchimento das lacunas de todas as outras estações¹¹.

Assim, aplicando o método das duplas acumulações aos valores da precipitação mensal entre cada um dos postos e o posto modelo, foi possível completar as séries de dados dos postos seleccionados, obtendo-se um registo completo de valores de precipitação no período de 1969/70 a 2008/09, analisando-se assim uma série de 40 anos.

Após este processo, isto é, obtidos os valores das precipitações mensais para cada posto referido na tabela 1, foi possível aplicar a fórmula de Thiessen, ou seja, a equação (1) de forma a obter as precipitações ponderadas mensais para a bacia do Lima, no período de tempo referido anteriormente. Estas precipitações ponderadas mensais podem ser observadas no anexo A, na tabela A2.

O gráfico representado na figura 22, resume os valores das precipitações ponderadas anuais no período de tempo analisado (1969/70 a 2008/09). Salieta-se que a determinação destas precipitações foi feita tendo como base o ano hidrológico (período de Outubro a Setembro).

¹¹ Convém notar que apesar do posto Casal Soeiro ter sido escolhido como modelo, existiam nos seus registos de precipitação também algumas lacunas (apesar de inferiores aos restantes postos). Assim, em primeiro lugar, preencheram-se essas lacunas utilizando-se outros postos que os possuísem (começou-se por recorrer aos postos referidos na tabela 2 e posteriormente aos restantes, caso os primeiros tivessem essas mesmas lacunas). Isto foi efectuado utilizando o método das duplas acumulações.

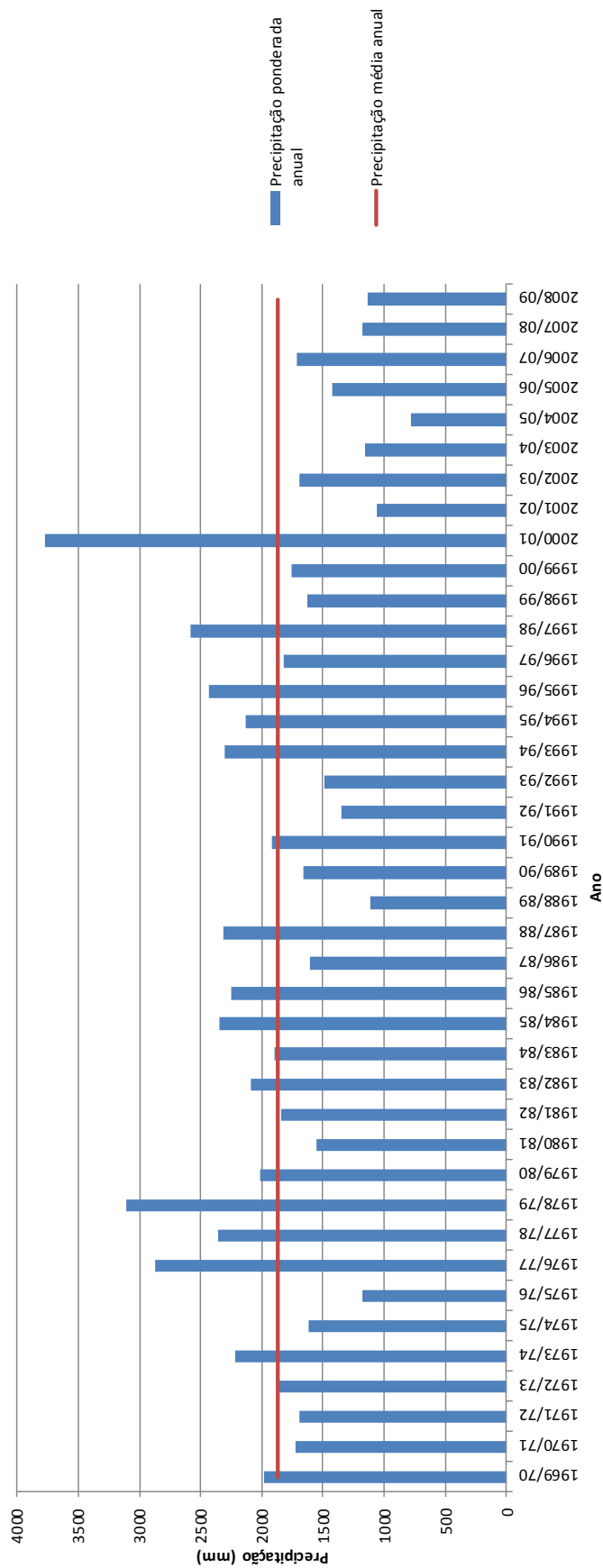


Figura 22 – Precipitações ponderadas anuais durante o período de 1969/70 a 2008/09, para a bacia estudada.

Como se pode observar através da análise da figura 22, a precipitação média anual para a série meteorológica analisada é de 1867 mm. O ano hidrológico a que correspondem maior precipitação anual foi o de 2000/01 com um valor de 3775 mm, por sua vez, o ano hidrológico com menor precipitação foi o de 2004/05, cujo valor foi de 784 mm. Ainda pode referir-se que a mediana dos valores da referida série tem um valor de 1789 mm e um desvio-padrão de 594 mm.

Da análise da figura 22 pode-se ainda aferir que a precipitação anual apresenta-se 45% das vezes acima da média (em 18 anos) e 55% das vezes inferior ao valor médio (em 22 anos).

4.3 ÍNDICES DE SECA

O desenvolvimento de indicadores/índices de avaliação é fundamental para a sistematização do processo de gestão e prevenção de secas. Estes instrumentos que auxiliam os processos de tomada de decisão permitem, de uma forma mais simples, a avaliação do nível de severidade de seca e a sua monitorização, a sua duração e extensão espacial, bem como, a determinação do tempo de actuação e dos níveis de resposta necessários possibilitando ainda a caracterização e comparação de diferentes situações de seca que ocorram em regiões distintas (Steinmann *et al*, 2005; Vivas *et al*, 2001, 2006a, 2006b e 2007).

Convém salientar que um indicador traduz o valor de uma variável como por exemplo: precipitação, caudal, evapotranspiração, teor de humidade do solo, estado da vegetação, água sob a forma de neve ou gelo (“snowpack”), nível de água nos reservatórios e o nível da água subterrânea (nível piezométrico). Enquanto um índice resulta da compilação de uma ou mais variáveis, ou seja, de vários indicadores (Steinmann *et al*, 2005; Vivas *et al*, 2001, 2006a, 2006b e 2007).

Os índices podem ser classificados em três tipos: índices de aproximação estatística; índices meteorológicos e hidrológicos; e índices de vegetação. As características gerais de cada um deste tipo de índices estão mencionadas na tabela 3 (Cunha, 2008).

Tabela 3 – Índices de seca utilizados para a classificação da intensidade de secas (adaptado de Maia, 2007).

Tipos de índices	Índices	Dados necessários	Categoria da utilização
Índices de aproximação estatística	<i>Percent of Normal (PN)</i>	Precipitação	Meteorológica
	<i>Deciles</i>	Precipitação	Meteorológica
Índices meteorológicos e hidrológicos	<i>Standardized Precipitation Index (SPI)</i>	Precipitação	Meteorológica (usada na monitorização e previsão)
	<i>Palmer Drought Severity Index (PDSI)</i>	Precipitação, Temperatura e Conteúdo de água no solo	Meteorológica (eficaz na agricultura)
	<i>Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI)</i>	Precipitação, Temperatura, Humidade do Solo e Condições de humidade	Hidrológica (eficaz para monitorização)
	<i>Surface Water Supply Index (SWSI)</i>	Neve, Precipitação, Escoamento e Volumes armazenados	Hidrológica (eficaz quando a parcela da precipitação sob a forma de neve é significativa)
	<i>Crop Moisture Index (CMI)</i>	Precipitação, Temperatura e Condições de humidade do solo	Agrícola
Índices de vegetação	<i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	Imagens de satélite	Recursos Naturais, Agrícola
	<i>Vegetation Condition Index (VCI)</i>	Imagens de satélite	Recursos Naturais, Agrícola
	<i>Temperature Condition Index (TCI)</i>	Reflectância em termos das radiações próximas do infra-vermelho	Agrícola

Como se pode verificar, a precipitação é um indicador de base bastante utilizado, uma vez que é uma medida directa da disponibilidade de água. Também, a utilização de índices baseados no registo de precipitações é benéfica, já que a obtenção de séries representativas de dados é mais fácil de conseguir do que para outros parâmetros climáticos. Remete-se para a bibliografia da especialidade para a correspondente definição e características dos índices referidos na tabela 3 (Alley, 1984; Hayes, 2003; Heim, 2002; Keyantash, *et al*, 2002; Mckee *et al*, 1993; Palmer, 1995; Saravi, *et al*, 2009; Steinmann *et al*, 2005; Tsakiris *et al*, 2007; Vivas *et al*, 2006a e 2006b). Desta forma, através da consulta da referida bibliografia, optou-se por utilizar neste estudo o SPI. No sub-capítulo 4.3.1 analisa-se de forma mais aprofundada as características deste índice, bem como, o seu modo de cálculo (Cunha, 2008; Steinmann *et al*, 2005; Tsakiris *et al*, 2007; Vivas *et al*, 2001, 2006a, 2006b e 2007).

4.3.1 SPI

O SPI apresenta vantagens significativas em relação aos outros índices, sendo utilizado em aproximadamente 60 países (Lajinha *et al*, 2006). Entre as vantagens da utilização deste índice pode-se destacar a simplicidade de cálculo (podendo-se recorrer a programas informáticos de acesso livre) devido ao facto de se basear nos valores de precipitação ocorridos, requerendo apenas o cálculo de dois parâmetros (devido ao ajuste dos valores de precipitação a uma distribuição de probabilidade Gama). Este índice pode ser calculado para vários períodos de tempo, permitindo descrever as secas meteorológicas de curta e longa duração. Isto revela-se importante para avaliar a dinâmica das secas, isto é, o começo e o fim das mesmas. Acresce, ainda, o facto de permitir a “estandardização” das análises, permitindo avaliar a frequência dos fenómenos extremos em qualquer localização e em qualquer escala de tempo. Assim, permite a comparação entre locais e climas diferentes (Agnew, 2000; Bhuiyan, 2004; Hayes, 2003; Lajinha *et al*, 2006; Lloyd-Hughes *et al*, 2002).

O SPI é um índice de secas meteorológico, desenvolvido por McKee *et al* (1993), que tem em consideração a natureza estocástica da seca e que permite quantificar o défice de precipitação para vários períodos de tempo: 1-, 3-, 6-, 12-, 24- e 48- meses, tendo como base a probabilidade de ocorrência de um determinado registo de precipitação. Isto é,

para uma determinada região o SPI pode ser compreendido como o número de “desvios-padrão” que um determinado valor de precipitação apresenta face à média histórica correspondente (esta normalmente deve ter registos de precipitação pelo menos para 30 anos). Assim, o SPI pode ser calculado de forma simplificada através da precipitação normalizada (diferença entre a precipitação para um determinado período de tempo e a média da precipitação para o mesmo período de tempo) dividida pelo desvio-padrão. Tal pode ser traduzido pela equação (3):

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma} \quad (3)$$

Onde,

X_i – Precipitação real para o período de análise;

$\bar{X}_i$ – Média da precipitação para a série de anos considerados;

σ – Desvio padrão da série de precipitação considerada.

Contudo, as precipitações, sob o ponto de vista estatístico, não se distribuem uniformemente em torno de um valor médio, apresentando um grande desvio em relação a este. Como tal, para a determinação deste índice deve-se ajustar aos valores de precipitação acumulados uma distribuição de probabilidade Gama. Assim, para isto ser efectuado de forma mais simples, foi desenvolvido pelo *National Drought Mitigation Center* um programa que permite calcular automaticamente os valores de SPI. Este programa encontra-se disponível on-line no site http://www.drought.unl.edu/monitor/spi/program/spi_program.htm. Para a utilização deste programa necessitam-se dos dados de precipitação mensal, para um dado período de análise e para uma dada região que se pretende estudar. Convém notar que o cálculo do SPI é efectuado de modo a que o valor do SPI em cada mês seja determinado a partir dos meses anteriores (por exemplo o SPI-12 meses é obtido considerando o valor acumulado das precipitações da série de 12 meses que termina no mês em questão).

Desta forma, o programa referido, começa por ajustar aos valores de precipitação acumulados uma distribuição de probabilidade Gama. A distribuição gama está bem definida na literatura, pela equação (4):

$$G(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (4)$$

Sendo,

$G(x)$ – probabilidade acumulada

β – parâmetro de escala

α – parâmetro de forma

x – variável aleatória (precipitação mensal)

$\Gamma(\alpha)$ – função gama

Os parâmetros representados na equação (x), isto é, o parâmetro de escala (β) e o de forma (α) podem ser determinados através das seguintes equações:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad e \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5)$$

Por sua vez, o A pode ser calculado da seguinte forma:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum(\ln(x))}{n} \quad (6)$$

Onde, n é o número de observações

Posteriormente esta é transformada numa distribuição normal, sendo possível então determinar o SPI. O esquema procedimental é resumido na figura 23.

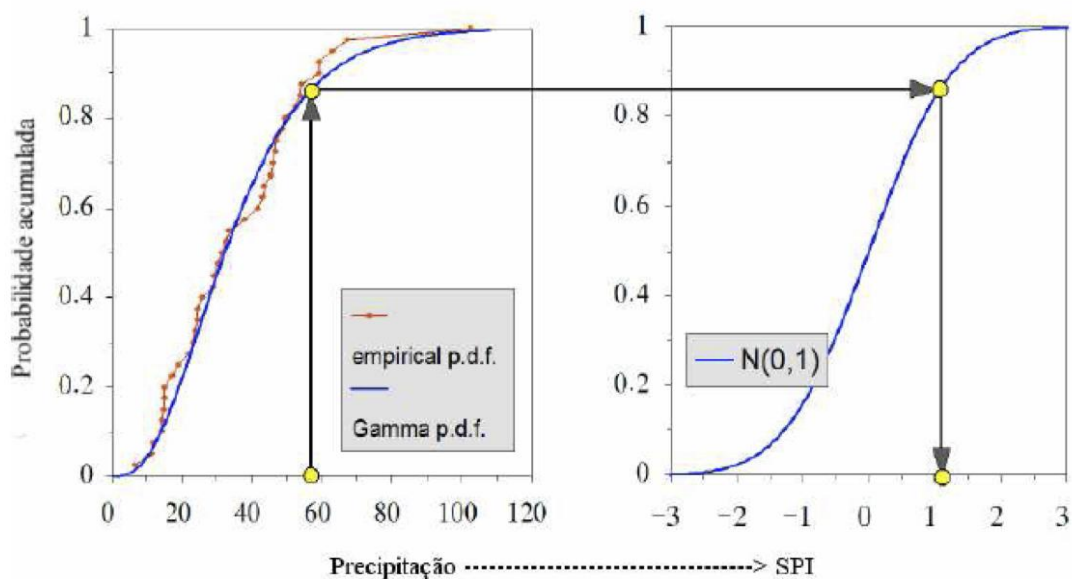


Figura 23 – Determinação do valor de SPI recorrendo-se à função de probabilidade Gama (representada do lado esquerdo), que foi transformada numa distribuição normal (representada do lado direito) (Cunha, 2008).

Deste modo, a média do SPI para a região e período considerado é igual a zero e o desvio padrão é 1. Deste modo, um valor de SPI igual a zero significa que não existiram desvios nos valores de precipitação analisados relativamente à precipitação média, para um determinado período de tempo. Convém ter em atenção que valores de SPI positivos estão associados a valores de precipitação maiores que a média, por sua vez SPI negativos indicam valores de precipitação inferiores à respectiva média (Cunha, 2008; Hayes, 2003; Lajinha *et al*, 2006; Lloyd-Hughes *et al*, 2002; Tsakiris *et al*, 2007).

Após a determinação do SPI, pode-se fazer então uma classificação meteorológica através da escolha de uma das várias classificações desenvolvidas. Nesse sistema de classificação define-se a ocorrência de uma seca quando o SPI é continuamente negativo, atingindo uma intensidade de -1 ou menos, terminando o período de seca quando o SPI se torna positivo. Na tabela 4, pode-se observar a classificação meteorológica definida por McKee *et al* (1993), bem como, as probabilidades de ocorrência correspondentes. (Cunha, 2008; Hayes, 2003; Lloyd-Hughes *et al*, 2002; Tsakiris *et al*, 2007).

Tabela 4 – Classificação meteorológica (SPI) e as probabilidades de ocorrência correspondentes (adaptado de Lloyd-Hughes *et al*, 2002).

SPI	Classificação	Probabilidade de ocorrência (%)
≥ 2	Extremamente húmido	2,3
1,50 a 1,99	Muito húmido	4,4
1,00 a 1,49	Moderadamente húmido	9,2
0 a 0,99	Ligeiramente húmido	34,1
0 a -0,99	Seca ligeira	
-1,0 a -1,49	Seca moderada	9,2
-1,50 a -1,99	Seca severa	4,4
≤ -2	Seca extrema	2,3

Existem, contudo, classificações variantes que são desenvolvidas especificamente pelos países, no âmbito dos correspondentes planos de seca, com o intuito de que as mesmas sejam mais adequadas às condições climáticas existentes em cada país. Assim, o INAG desenvolveu a classificação representada na tabela 5.

Tabela 5 – Classificação da intensidade das secas (SPI) em Portugal desenvolvida pelo INAG (Cunha, 2008).

SPI	Classificação
≥ 0	Inexistência de seca
0,0 a -1,0	Seca suave
-1,0 a -1,50	Seca moderada
$\leq -1,50$	Seca severa/Seca extrema

Em Portugal, a bacia hidrográfica onde se verifica a incidência dos fenómenos de seca com mais frequência é a bacia do Guadiana, que é partilhada com Espanha. Na tabela 6, apresenta-se a classificação desenvolvida pela Confederación Hidrográfica del Guadiana no plano de seca desenvolvido para esta bacia. Cunha (2008) estudou a aplicação desta mesma classificação à parte portuguesa da referida bacia e constatou a adequabilidade da sua utilização.

Tabela 6 – Classificação meteorológica (SPI) na bacia hidrográfica do Guadiana (adaptado de Cunha, 2008).

SPI	Classificação
$\geq 0,675$	Húmido
0,675 a -0,675	Próximo do normal
-0,675 a -1,28	Seca moderada
-1,28 a -1,65	Seca severa
$\leq -1,65$	Seca extrema

Neste estudo, devido à ausência de classificação específica desenvolvida anteriormente para a bacia hidrográfica do Lima optou-se por seguir o mesmo raciocínio, ou seja, verificar qual a classificação adoptada por Espanha para a bacia hidrográfica em estudo. Assim, consultou-se o *Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Cuenca Hidrográfica del Norte* de 2007 e constatou-se que a classificação adoptada pela Confederación Hidrográfica del Miño-Sil é a representada na tabela 7.

Tabela 7 – Classificação da intensidade das secas adoptadas pela Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, 2007.

Intensidade da seca	SPI	Probabilidade de ocorrência em 60 anos
Extrema	< -2	$< 5\%$ dos anos
Severa	$< -1,5$	$< 10\%$ dos anos
Moderada	< -1	$< 20\%$ dos anos
Leve a inexistente	$-1 < \text{SPI} < 0$	20% - 50% dos anos

A partir desta classificação de intensidade de secas, e por forma a obter uma classificação meteorológica para a bacia hidrográfica do rio Lima com a mesma nomenclatura da classificação apresentada na tabela 6, incluiu-se na situação de seca “leve a inexistente” a situação “próximo do normal” e introduziu-se a classificação de “húmido”. A classificação assim obtida pode ser observada na tabela 8.

Tabela 8 – Classificação meteorológica (SPI) na bacia hidrográfica do Lima (tendo como base a classificação adoptada pela Confederación Hidrográfica del Miño-Sil).

SPI	Classificação
≥ 1	Húmido
1 a -1	Próximo do normal
-1 a -1,5	Seca moderada
-1,5 a -2	Seca severa
≤ -2	Seca extrema

Como se pode observar, esta classificação meteorológica está em correspondência com as três classes de seca recorrentes (moderada, severa e extrema) consideradas na classificação desenvolvida pelo INAG, considerando a classificação de “seca suave” incluída na “próximo do normal”. Pensa-se, assim que esta escala é adequada para a classificação meteorológica que se irá efectuar neste estudo.

4.4 CLASSIFICAÇÃO METEOROLÓGICA NA BACIA DO LIMA

Como referido anteriormente, o cálculo do SPI pode ser efectuado para vários períodos de tempo: 1-, 3-, 6-, 12-, 24- e 48- meses. Estes reflectem de forma diferente a disponibilidade dos vários recursos hídricos, ou seja, a escala de tempo escolhida é muito importante uma vez que as anomalias de precipitação (e os impactes daí resultantes) se fazem sentir de forma diferente consoante o período de tempo de análise (Cunha, 2008; Hayes, 2003; Lajinha *et al*, 2006; Mendes, 2008b; NMDC, 2006i a 2006k; Saravi *et al*, 2009; Vivas *et al*, 2006a e 2006b).

Neste estudo, de acordo com os objectivos pretendidos, foi necessário determinar os valores de SPI-12 meses e do SPI-3 meses. Seguidamente, explicita-se o significado de cada um destes índices e as principais razões para a sua escolha (na figura 24 apresentam-se os valores de SPI-3 meses e de SPI-12 meses determinados neste estudo, explicando-se, nos sub-capítulos 4.4.1 e 4.4.2, como se procedeu para o seu cálculo).

O SPI-12 meses reflecte padrões de precipitação existentes a longo prazo, isto é, o seu valor é obtido pela acumulação dos valores correspondentes a um período de 12 meses. Deste modo, este índice é mais vantajoso para a identificação do início e fim de um período de seca. Isto pode ser verificado através da figura 24, onde se pode observar que

ao longo do período de tempo analisado existem vários períodos de seca, como por exemplo no período compreendido entre Janeiro de 1992 e Janeiro de 1993. Assim, o SPI-12 meses serve de base para classificar os diferentes tipos de anos contidos numa série histórica de precipitação existente.

Em relação ao SPI-3 meses pode-se referir que, o valor respectivo a cada mês, se obtém através da acumulação dos valores correspondentes ao período de 3 meses (nesse e os meses anteriores) que aí termina. Desta forma, uma vez que para cada valor obtido se abrangem três meses sucessivos, este índice permite observar de uma forma mais visível a sazonalidade da precipitação num período de tempo considerado, ou seja, permite uma maior percepção da variabilidade existente. Isto observa-se através da figura 24, podendo-se notar que para o período de seca referido anteriormente, Janeiro 1992 a Janeiro 1993, existem períodos húmidos e secos (de acordo com o SPI-3 meses). Como tal, considera-se que o SPI-3 meses é mais adequado e útil para avaliar a sua relação com a qualidade da água. Esta relação será analisada posteriormente no sub-capítulo 5.3.

Convém apenas salientar que os valores de SPI-12 meses e SPI-3 meses foram calculados a partir dos valores da precipitação ponderada mensal determinados para a bacia em estudo. Estes, para calcular os valores de SPI-12 meses e SPI-3 meses, foram ordenados de modo a respeitar a sequência do ano civil (Janeiro a Dezembro). Assim, alterou-se a sequência anteriormente utilizada no sub-capítulo 4.2, ou seja, a organização das precipitações de acordo com o ano hidrológico (Outubro a Setembro). Isto foi feito desta forma, uma vez que os dados de qualidade se apresentam organizados por ano civil. Assim, como a quantidade de dados de qualidade disponíveis é mais dispersa que os dados de precipitação, optou-se pelo descrito, na tentativa de simplificar as comparações efectuadas, não se perdendo nem o rigor nem a fiabilidade da análise realizada.

4. Caracterização da severidade de seca meteorológica

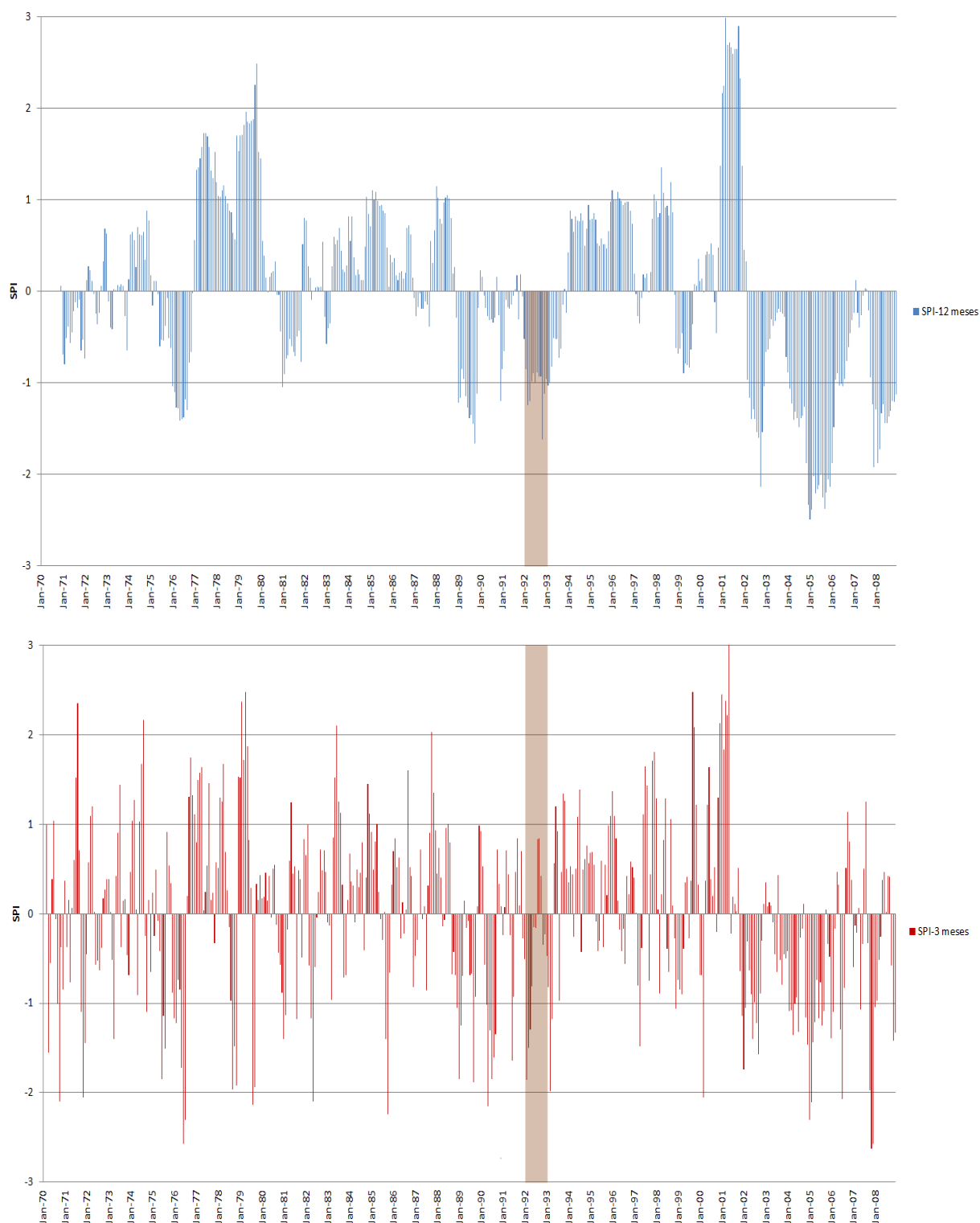


Figura 24 – Gráfico das séries de valores de SPI-3 meses e SPI-12 meses obtidas para a bacia hidrográfica do rio Lima (Período 1970-2008).

4.4.1 Determinação do SPI-12 meses

Após a utilização do programa de cálculo desenvolvido pela National Drought Mitigation Center, obtiveram-se os valores de SPI-12 meses apresentados no anexo B, na tabela B1. Esses valores são os correspondentes ao mês de Dezembro (uma vez que a análise foi feita para o ano civil, como já referido). Nessa tabela, os anos analisados foram classificados, de acordo com os limites definidos na tabela 8, como: húmido, próximo do normal, de seca moderada, de seca severa e de seca extrema.

Na figura 25 pode-se observar a representação gráfica da variação do SPI-12 meses para a série de anos analisada. Nesta figura também estão representados os limiares da classificação seleccionada.

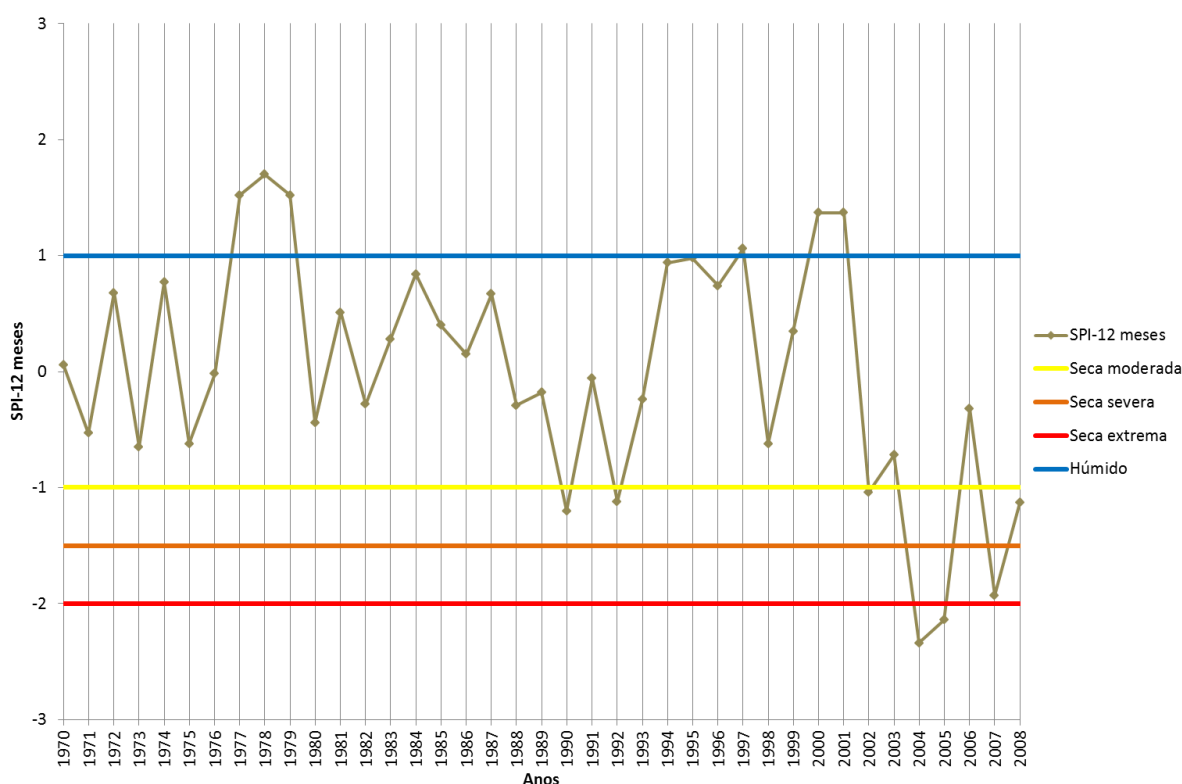


Figura 25 – Classificação meteorológica (SPI-12 meses) para a série de anos analisada, tendo em consideração o ano civil.

Seguidamente, para efeitos de comparação, optou-se por demonstrar os valores de SPI-12 meses obtidos, tendo no entanto em consideração o ano hidrológico (ou seja, analisou-se o período de 1969/70 a 2008/09). Deste modo, o valor de SPI-12 meses

apresentado será o correspondente ao mês de Setembro. Isto foi efectuado com o intuito de verificar se os valores obtidos desta forma, poderiam variar de forma significativa. Estes apresentam-se na tabela B2 do anexo B. Nessa tabela, os anos analisados foram classificados, de acordo com os limites definidos na tabela 8, como: húmido, próximo do normal, de seca moderada, de seca severa e de seca extrema. Na figura 26 pode-se observar a representação gráfica da variação do SPI-12 meses para a série de anos analisada. Nesta figura, tal como a anterior, também estão representados os limiares da classificação seleccionada.

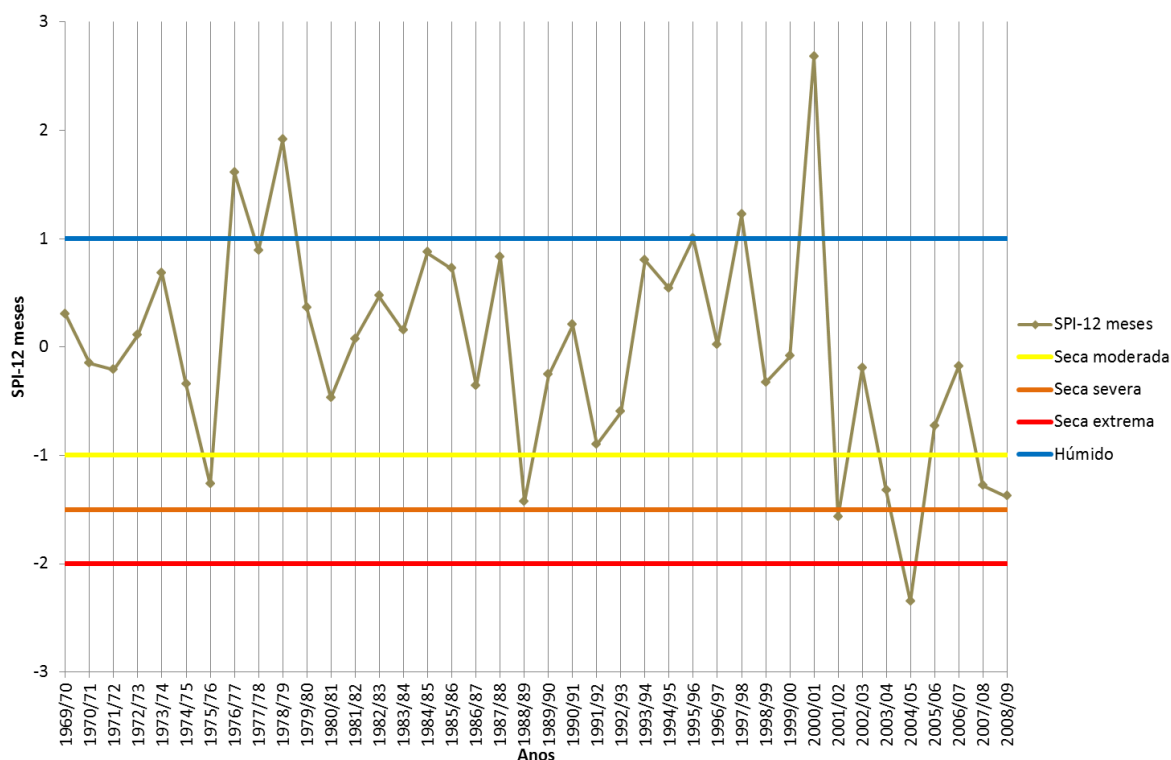


Figura 26 - Classificação meteorológica (SPI-12 meses) para a série de anos analisada, tendo em consideração o ano hidrológico.

Através da comparação das figuras 25 e 26, pode-se constatar que existe um comportamento similar entre os valores de SPI-12 meses obtidos. Como tal, a classificação meteorológica obtida para cada ano é a mesma (salvo raras excepções). De facto, como exemplo, pode-se referir a classificação para o ano de 2005 e o ano de 2004/2005, ambos na situação de seca extrema (como referido no primeiro capítulo, este foi um grande período de seca em Portugal que alertou para a necessidade de uma Gestão dos Recursos Hídricos mais adequada). Em relação às poucas excepções

existentes, pode-se destacar a diferença do valor obtido de SPI-12 meses (e consequente classificação meteorológica) para o ano civil de 2007 (ano de seca severa) e ano hidrológico de 2006/2007 (ano próximo do normal). Esta diferença pode ser melhor entendida observando os valores de precipitação ponderada mensal, nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro¹² no ano de 2006 e 2007 (cujos valores estão representados na tabela A2, do anexo A). Pode-se notar que a precipitação total ocorrida nestes meses para o ano de 2006 é de 778,6 mm, enquanto que, para estes mesmos meses no ano de 2007 o valor é de 139 mm. Assim, a diferença de precipitação é significativa, possuindo um valor de 639,6 mm. Isto conduz a uma diferença dos valores de SPI-12 meses obtidos, e consequentemente, na classificação meteorológica obtida para cada um dos anos.

Com isto, e devido ao explicado anteriormente, isto é, os dados de qualidade serem disponibilizados por ano civil, as relações efectuadas (entre os valores de SPI-3meses e os parâmetros de qualidade) são feitas de acordo com o ano civil, na tentativa de simplificar as comparações efectuadas.

De forma oportuna numa fase deste estudo, conforme será explicado no capítulo 6, seleccionou-se um ano de cada tipo, de acordo com a classificação dos valores de SPI-12 meses apresentada na figura 25 (e representados na tabela B1). Os anos foram escolhidos, tentando englobar diferentes tipos de anos cronologicamente sequenciais e tendo em consideração a informação disponível (nas estações de qualidade e hidrométricas). Isto foi feito, com o intuito de verificar se nos diferentes tipos de anos, os efeitos na qualidade da água são diferentes. Os anos escolhidos para análise referem-se na tabela 9.

Tabela 9 – Anos seleccionados no nosso estudo (no sub-capítulo 4.4.3. e no capítulo 6).

Ano	Classificação
2000	Húmido
2006	Próximo do normal
2008	Seca moderada
2007	Seca severa
2005	Seca extrema

¹² Nestes meses verificam-se, normalmente, 40 a 60 % da precipitação total anual, tendo por isso grande influência nos valores obtidos.

4.4.2 Determinação do SPI-3 meses

Um dos objectivos intermédios desta dissertação, como referido anteriormente, estava relacionado com a procura de uma relação entre os valores de SPI-3 meses e alguns parâmetros de qualidade da água. Deste modo, recorrendo-se ao mesmo programa utilizado para a determinação do SPI-12 meses, começou-se por calcular os valores do SPI-3 meses. Estes estão representados no anexo B, na tabela B3. Como explicado anteriormente, cada valor de SPI-3 meses corresponde a um cálculo que abrange os valores de precipitação de três meses. Assim, uma vez que os dados de qualidade são mensais, para o respectivo valor de Janeiro, por exemplo, associou-se o valor de SPI-3 meses correspondente ao cálculo da precipitação dos meses de Novembro – Dezembro – Janeiro, ao de Fevereiro o correspondente aos meses de Dezembro – Janeiro – Fevereiro, e assim sucessivamente. Posteriormente, no sub-capítulo 5.3, verifica-se a relação existente entre os valores de SPI-3 meses calculados e os parâmetros de qualidade da água do rio Lima seleccionados.

4.4.3 Relação entre o SPI (3 meses e 1 mês) com a precipitação ponderada mensal

Neste sub-capítulo, apresenta-se, em primeiro lugar, a relação existente entre os valores de SPI-3 meses com a precipitação ponderada mensal, e em segundo lugar, a relação entre os valores de SPI-1 mês com os mesmos valores de precipitação. Convém salientar, que isto foi efectuado, devido às constatações retiradas do sub-capítulo 5.3. Estas conduziram-nos à procura de uma relação entre os parâmetros meteorológicos e de qualidade avaliada a nível mais local, isto é, para uma dada área contida na bacia em estudo.

Assim, em primeiro lugar, considerou-se relevante verificar se o SPI-3 meses traduz o comportamento da precipitação mensal existente na bacia. Isto foi realizado para os anos anteriormente seleccionados e referidos na tabela 9. Os gráficos obtidos, apresentam-se nas figuras 27 a 31.

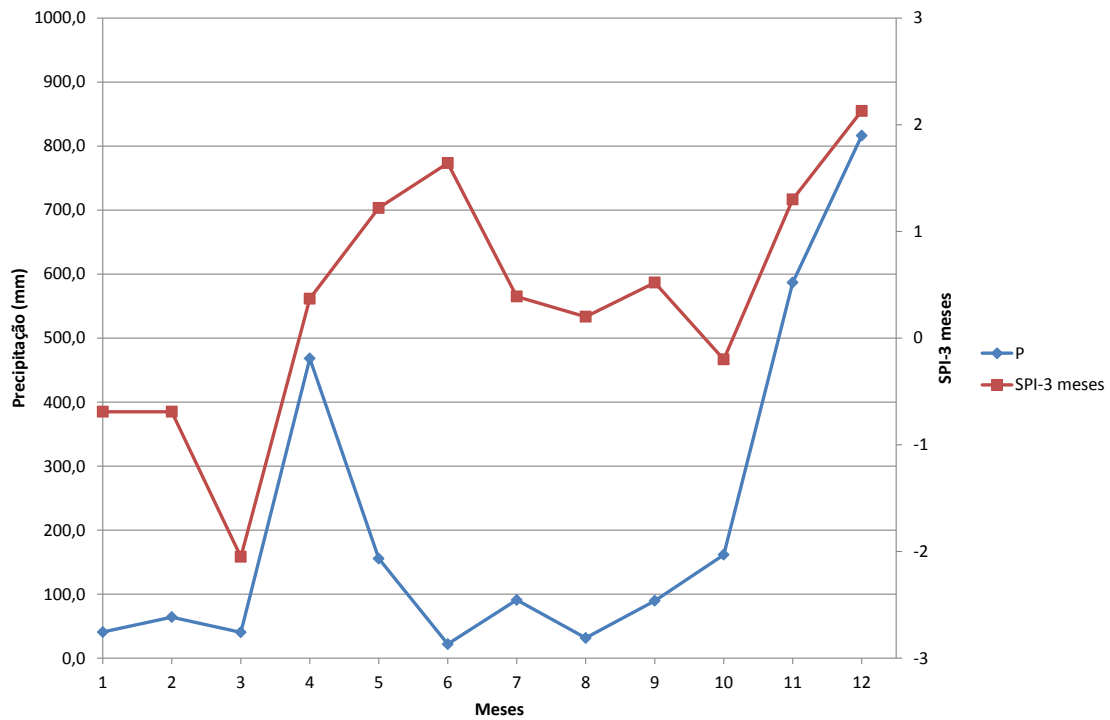


Figura 27 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2000 (ano húmido).

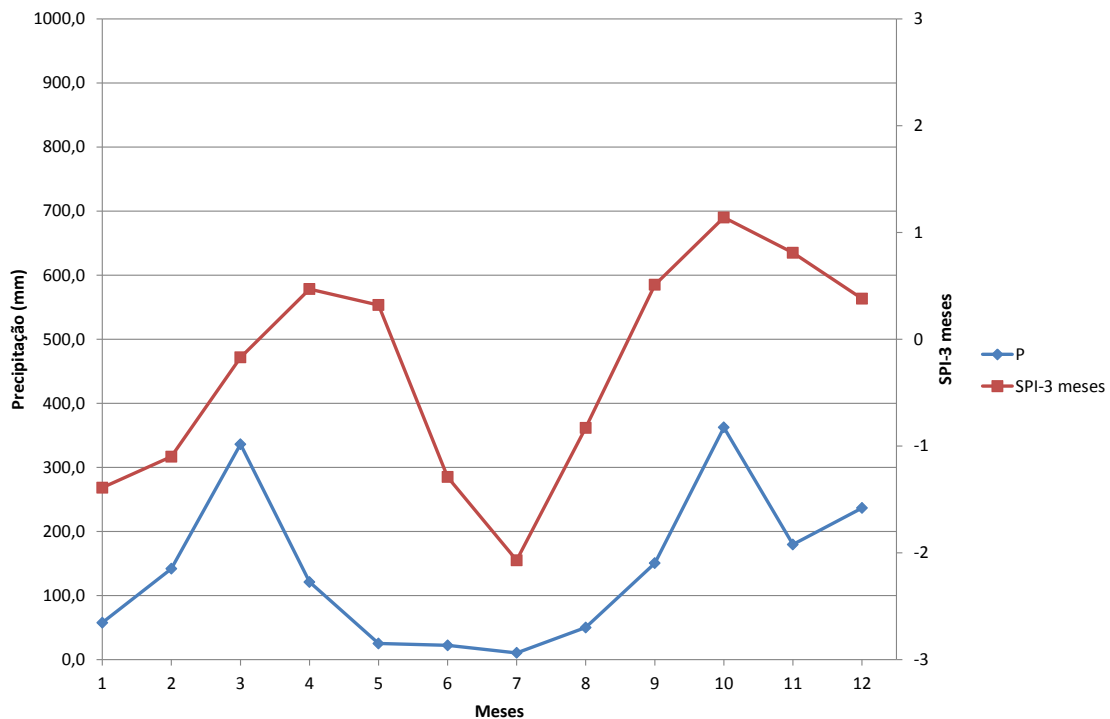


Figura 28 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2006 (ano próximo do normal).

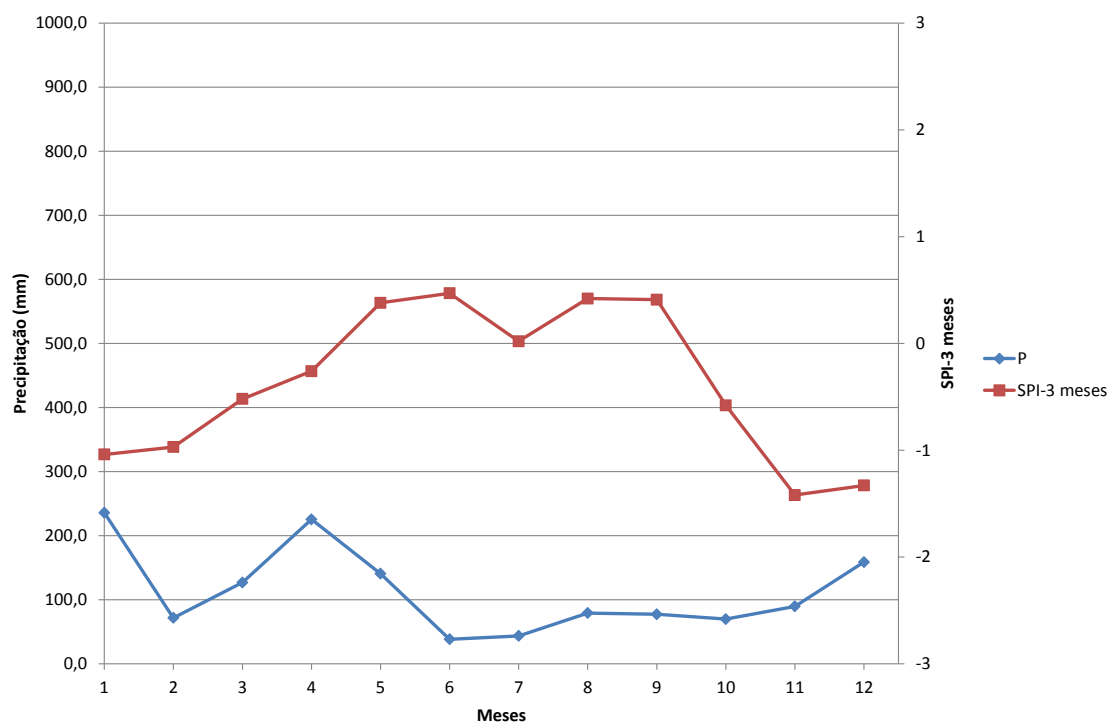


Figura 29 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2008 (ano de seca moderada).

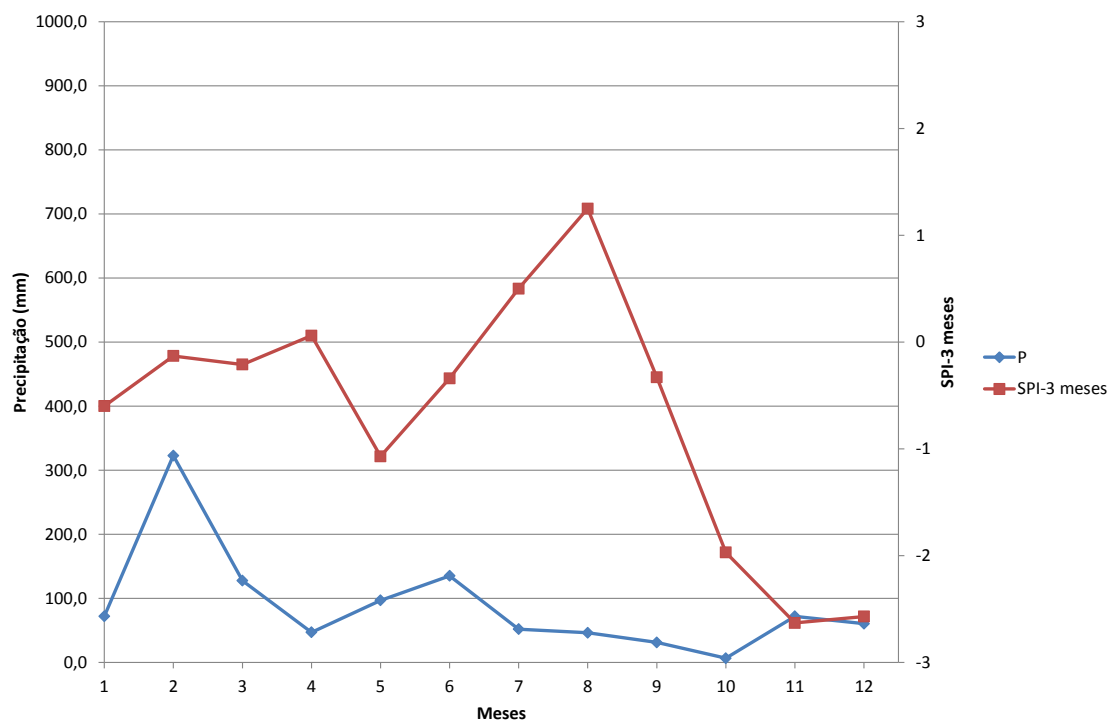


Figura 30 – Comparação mensal da Precipitação e do SPI-3 meses para o ano 2007 (ano de seca severa).

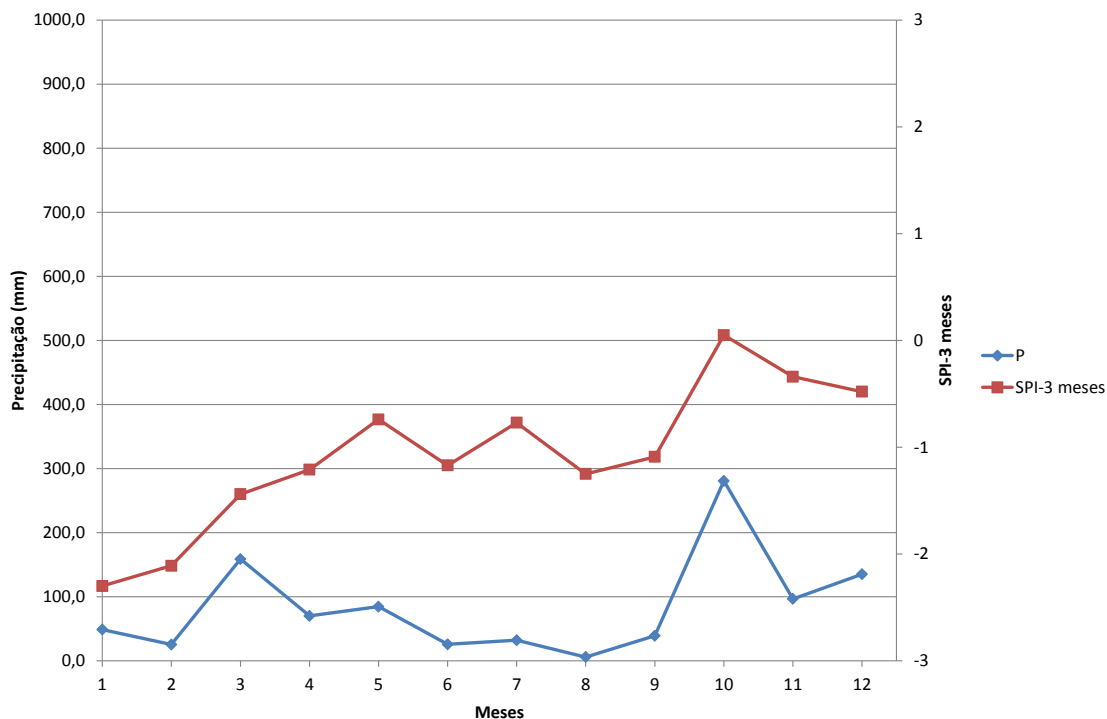


Figura 31 – Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o **ano 2005 (ano de seca extrema)**.

Através da observação dos gráficos, representados nas figuras 27 a 31, como seria de esperar verifica-se que, em cada ano classificado de acordo com as situações estabelecidas na tabela 8, existem períodos secos e húmidos (o que se observa pelos valores de SPI-3 meses apresentados). Pode-se ainda constatar que, o valor de SPI-3 meses para o mês de Dezembro (determinado com base nos valores de precipitação de Outubro, Novembro e Dezembro) nos anos de 2000, 2006 e 2008 está de acordo com a classificação do ano meteorológico em questão (tendo esta sido realizada através dos valores de SPI-12 meses obtidos, no mês de Dezembro). Contudo, para os anos de 2007 (ano em seca severa) e 2005 (ano de seca extrema) isto não se verifica. Isto é, para o ano de 2007 o valor de SPI-3 meses para o mês de Dezembro tem um valor que o insere na situação de seca extrema, e para o ano de 2005 o valor correspondente ao SPI-3 meses em Dezembro insere-se no próximo do normal. A discrepância existente pode ser explicada devido à grande variação dos valores de precipitação ao longo de cada um destes anos.

Em termos globais, através da análise das figuras 27 a 31, poderá considerar-se que a relação entre os valores de SPI-3 meses e os valores de precipitação ponderada mensal não é evidente, sendo tal constatação progressivamente mais real quanto mais seco é o tipo de ano. Como tal, para verificar a correlação existente entre as duas variáveis de uma forma mais precisa utilizou-se o programa STATISTICA¹³.

Ao longo do nosso estudo, a utilização deste programa para a determinação de correlações, será feita de forma recorrente. Assim, em todas as tabelas onde se apresentam as correlações existentes entre as variáveis analisadas apresentam-se os valores de r , N e p obtidos. A análise destes três parâmetros, em simultâneo, é fundamental para a verificação da significância estatística das relações existentes entre as variáveis analisadas. O N é o número de pares de valores para o cálculo da correlação. O r é o coeficiente de correlação linear de Pearson e mede o grau (e o sentido) da relação entre duas variáveis podendo ter valores entre -1 e 1. Quanto maior o valor absoluto deste coeficiente, maior é o grau de associação entre as duas variáveis; se o valor for positivo, as variáveis relacionam-se de forma directa, se por outro lado for negativo as variáveis relacionam-se de forma inversa. O p é o chamado valor de prova que está relacionado com o nível de significância de uma determinada variável analisada num modelo de regressão. No programa utilizado considera-se que o nível de significância é de 5%. Este valor é elementar e demonstra se a probabilidade do valor de r obtido é devido ao acaso, ou seja, se o valor de p é inferior a 0,05 diz-se que os pares de variáveis relacionados apresentam uma correlação estatisticamente significativa. Isto é, a relação existente entre as variáveis analisadas não se deve ao acaso. Quanto menor o valor de p , maior a probabilidade de o valor de r não ter sido obtido devido ao acaso. Em suma, o valor de r demonstra o grau de associação entre as duas variáveis analisadas e o valor de p demonstra se esse valor foi, ou não, devido ao acaso. Normalmente, um maior valor absoluto de r (logo maior o grau de associação) corresponde a um valor de p inferior.

Deste modo, para estudar a relação existente entre o SPI-3 meses e as precipitações ponderadas mensais determinaram-se os três parâmetros referidos, o r , o N e o p . Os valores obtidos são referidos na tabela 10. Convém salientar que o cálculo dos

¹³ É um software de métodos estatísticos produzido pela StatSoft, que possui um conjunto de software de análises estatísticas que fornece um conjunto de ferramentas para análise, gestão e visualização de bases de dados (Wikipedia, 2010e).

parâmetros foi efectuado de acordo com os valores (de precipitação e de SPI-3 meses) dos anos seleccionados neste estudo (anos de 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008).

Tabela 10 – Correlações existentes entre os valores de SPI-3 meses e as precipitações ponderadas mensais.

	r	N	p
P <-> SPI-3 meses	0,4850	60	0,000

Como se pode observar através da tabela 10, a relação entre o SPI-3 meses e a precipitação ponderada mensal tem um grau de associação baixo (r bastante inferior a 1). Podendo-se salientar que devido ao valor de p (inferior a 0,05) o valor de r é estatisticamente significativo, o que significa que o valor de r é fidedigno.

Deste modo, devido ao valor de r , pode-se constatar que a relação entre as duas variáveis analisadas (SPI-3 meses e precipitação) não é muito relevante, impossibilitando a aferição de uma estrita relação causa-efeito entre elas.

Assim, abandonou-se a ideia de utilizar o SPI-3 meses como índice agregador e adequado tradutor do comportamento pluviométrico das diferentes áreas da bacia em estudo. Para mais completo esclarecimento desta questão, decidiu-se ainda efectuar ainda a determinação dos valores de SPI-1 mês para verificar se a utilização deste índice poderia ser alternativamente encarada para o referido efeito.

Para tal, com o intuito de calcular os valores de SPI-1 mês utilizou-se novamente o programa desenvolvido pela National Drought Mitigation Center. Os valores obtidos de SPI-1 mês para os anos seleccionados neste estudo (2000, 2005, 2006, 2007 e 2008), referem-se no anexo B na tabela B4. Com estes, construíram-se gráficos, representados nas figuras 32 a 36, que apresentam os valores do SPI-1 mês e das precipitações ponderadas mensais, para os anos seleccionados neste estudo.

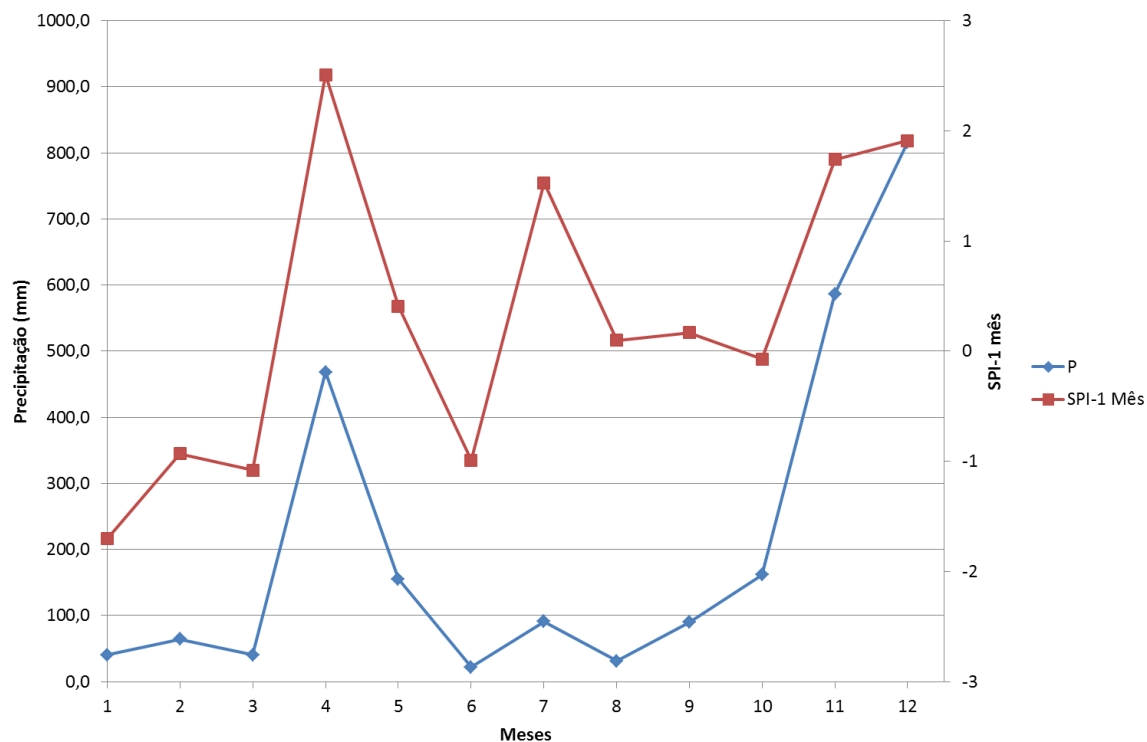


Figura 32 – Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2000 (ano húmido).

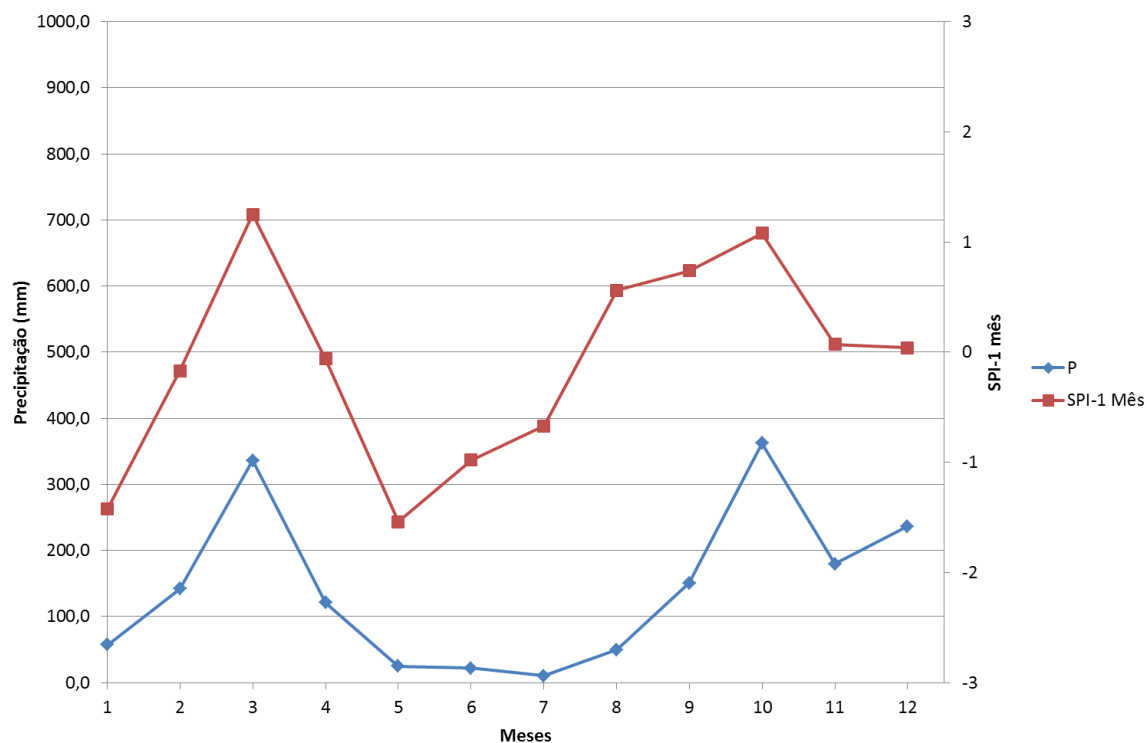


Figura 33 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2006 (ano próximo do normal).

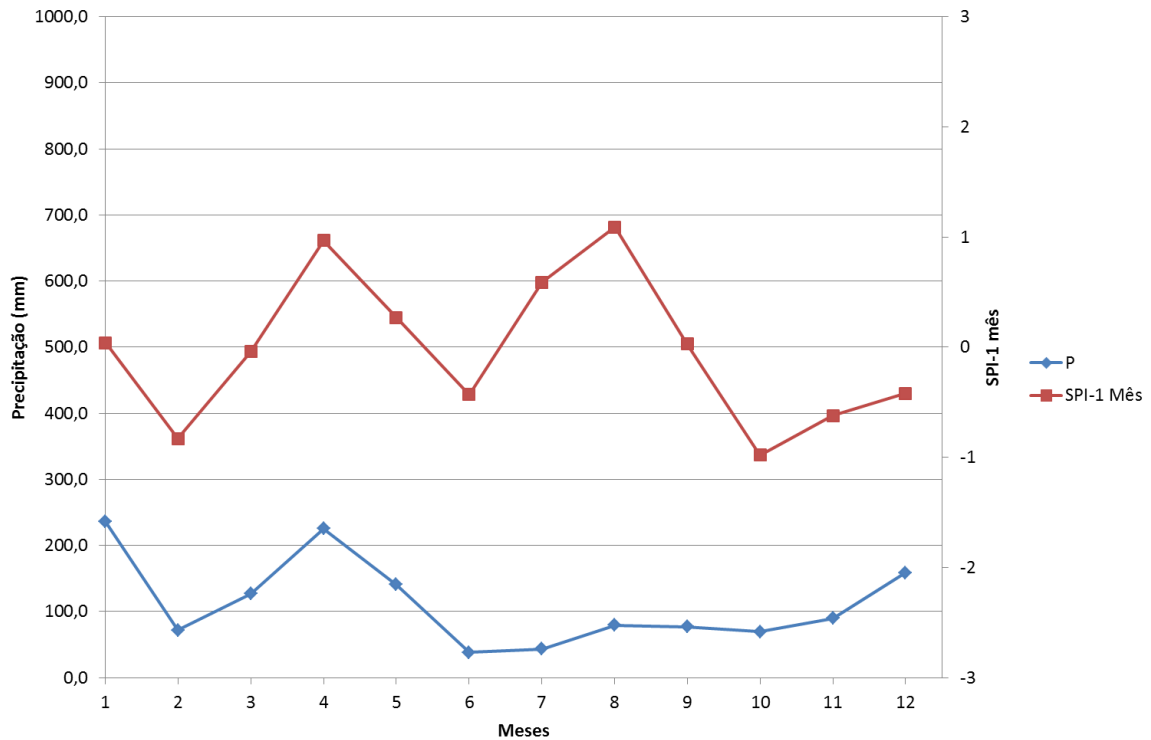


Figura 34 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2008 (ano de seca moderada).

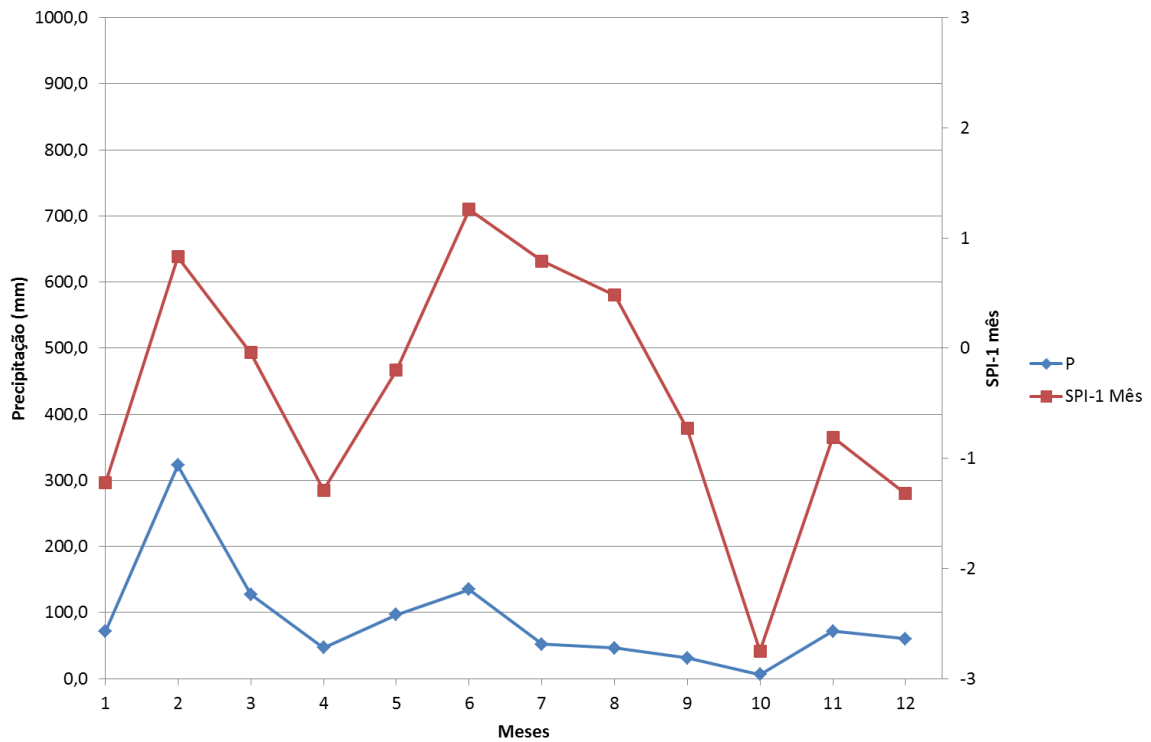


Figura 35 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o ano 2007 (ano de seca severa).

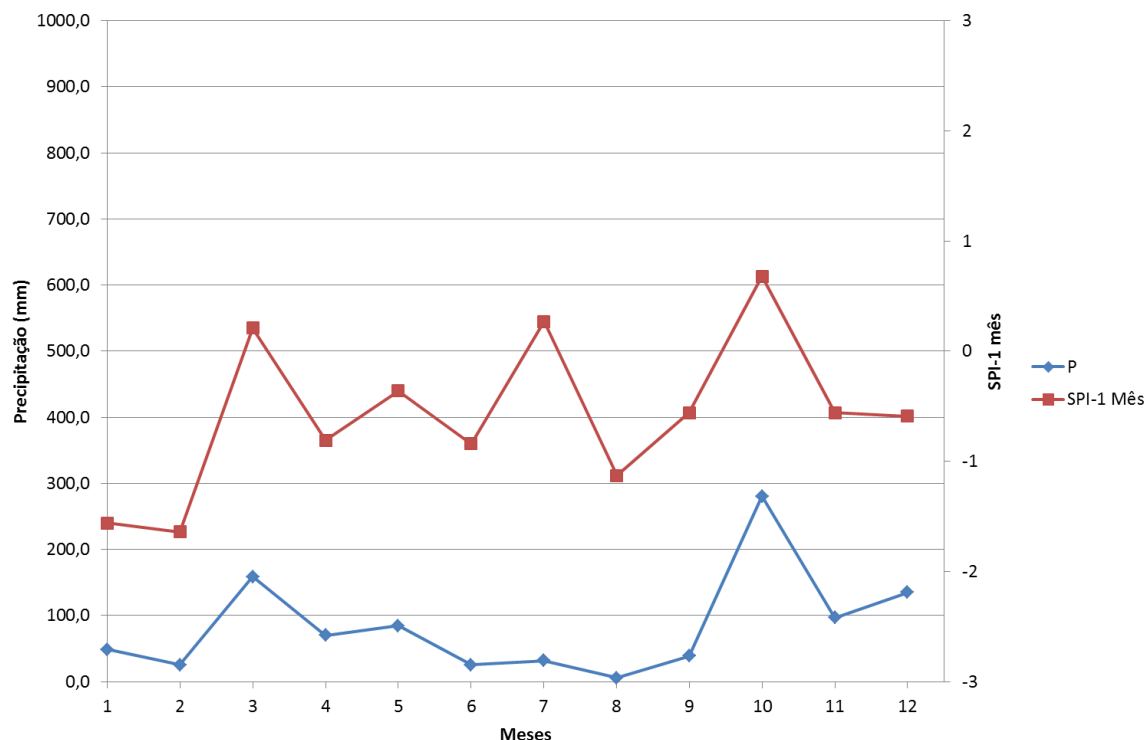


Figura 36 - Comparação mensal da Precipitação e SPI-1 mês para o **ano 2005 (ano de seca extrema)**.

De forma global, através da análise das figuras 32 a 36, poderá considerar-se que a relação entre os valores de SPI-1 mês e os valores de precipitação ponderada mensal não é evidente (considerando-se, no entanto, uma relação melhor do que utilizando o SPI-3 meses) sendo tal constatação progressivamente mais real quanto mais seco é o tipo de ano.

Tal como anteriormente (em que se estudou a relação da precipitação com o SPI-3 meses), para verificar a correlação existente entre as duas variáveis analisadas de uma forma mais precisa utilizou-se novamente o programa STATISTICA. Assim, determinaram-se os três parâmetros referidos, o r , o N e o p . Os valores obtidos são referidos na tabela 11. Convém destacar que o cálculo dos parâmetros foi efectuado de acordo com os valores (de precipitação e de SPI-1 mês) dos anos seleccionados neste estudo.

Tabela 11 – Correlações obtidas entre os valores de SPI-1 mês e as precipitações ponderadas mensais.

	r	N	p
P <-> SPI-1 mês	0,6831	60	0,000

Como se pode observar através da tabela 11, a relação entre o SPI-1 mês e a precipitação ponderada mensal tem um grau de associação superior ao obtido para o SPI-3 meses e a precipitação (com um r igual a 0,4850). Contudo, a correlação existente ainda não é suficiente elevada para se poder aferir uma relação causa-efeito como pretendido.

Deste modo, uma vez que as relações entre o SPI-3 meses e o SPI-1 mês com a precipitação ponderada mensal não são evidentes, considerou-se que, para traduzir de forma mais fidedigna a variação meteorológica existente numa dada área da bacia o mais adequado seria usar directamente os valores de precipitação. Tal será explicitado e posto em prática no capítulo 6.

5. ANÁLISE DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA NA BACIA DO LIMA

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, pretende-se verificar se os valores de SPI-3 meses determinados anteriormente apresentam alguma relação com a variação dos parâmetros de qualidade. Isto foi feito com o objectivo de verificar se as secas influenciam os parâmetros físico-químicos analisados. Convém notar que se optou por analisar o SPI-3 meses, uma vez que este fornece uma maior percepção da variabilidade existente. Como tal, deve ser mais adequado e útil para avaliar a sua relação com a qualidade da água.

Assim, em primeiro lugar, refere-se de que forma se escolheram as estações de qualidade existentes, bem como, os parâmetros de qualidade que deverão ser analisados. Isto porque, existem parâmetros que sofrem influência de factores inerentes à ocorrência de secas e não apenas da poluição existente. Desta forma, escolheram-se como parâmetros a analisar: azoto amoniacal, CBO_5 , coliformes fecais, estreptococos fecais, condutividade, oxigénio dissolvido e sólidos suspensos totais. No final do capítulo apresentam-se então os gráficos onde se relacionam os valores de SPI-3 meses com os parâmetros da qualidade de água. Com base nestas, determinaram-se os valores do r , N e p correspondentes.

5.2 ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DA INFORMAÇÃO DISPONÍVEL NO SNIRH PARA AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DA BACIA

Tal como no caso das estações meteorológicas, para a determinação das estações de qualidade (incluindo qualidade automática) da rede de monitorização localizada na bacia em estudo, acedeu-se novamente à página do SNIRH, <http://www.snirh.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>. Assim, constatou-se que na totalidade existiam 20 estações na bacia em estudo. O nome destas e algumas das suas

características estão representadas na tabela 12. A sua localização na bacia hidrográfica pode ser observada na figura 37. Convém salientar que os dados foram retirados através do site <http://www.snirh.pt> em 17/06/2010 14:39.

Tabela 12 - Estações de qualidade localizadas na bacia hidrográfica do Lima e algumas das suas características.

Estação	Código	Rio	Área drenada (km ²)	Concelho	Estado
Alb. Alto Lindoso	02H/03	Lima	1511	Arcos de Valdevez	Activa
Alb. Touvedo	03G/07	Lima	1694	Arcos de Valdevez	Extinta
Arcozelo	03F/05	Labruja	44	Ponte de Lima	Activa
Bertiandos*	03F/03	Lima	2270	Ponte de Lima	Activa
D. Ana	03F/06	Lima	-	Ponte de Lima	Activa
Fonte Velha*	03G/06	Lima	1729	Ponte da Barca	Activa
Foz Estorãos	03F/08	Estorãos	54	Ponte de Lima	Activa
Foz Trovela	03F/07	Trovela	41	Ponte de Lima	Activa
Foz Vade	03G/08	Vade	59	Ponte da Barca	Activa
Lanheses	03E/01	Lima	2373	Viana do Castelo	Extinta
Lima - Barco Porto	03E/27	Lima	2449	Viana do Castelo	Extinta
Lima - Jusante Açude Lanheses	03E/28	Lima	2387	Viana do Castelo	Extinta
Lima - Ponta Cabedelo	03E/25	Lima	2506	Viana do Castelo	Extinta
Lima - Ponte Velha Ponte Lima	03F/29	Lima	2218	Ponte de Lima	Extinta
Ponte Barca	03G/02	Lima	1729	Ponte da Barca	Extinta
Ponte Lima	03F/02	Lima	2218	Ponte de Lima	Extinta
Ponte Velha (Rio Ázere)	02G/03	Ázere	52	Arcos de Valdevez	Activa
Pontilhão Celeirós	02G/01	Vez	253	Arcos de Valdevez	Activa
Pontilhão Valeta	02G/02	Vez	253	Arcos de Valdevez	Extinta
São João*	03F/04	Lima	2218	Ponte de Lima	Activa

* No SNIRH para estas estações efectuava-se uma distinção entre estações de qualidade e estações de qualidade automática. Contudo, neste estudo esta distinção não será feita, analisando-se os parâmetros medidos em ambas as estações.

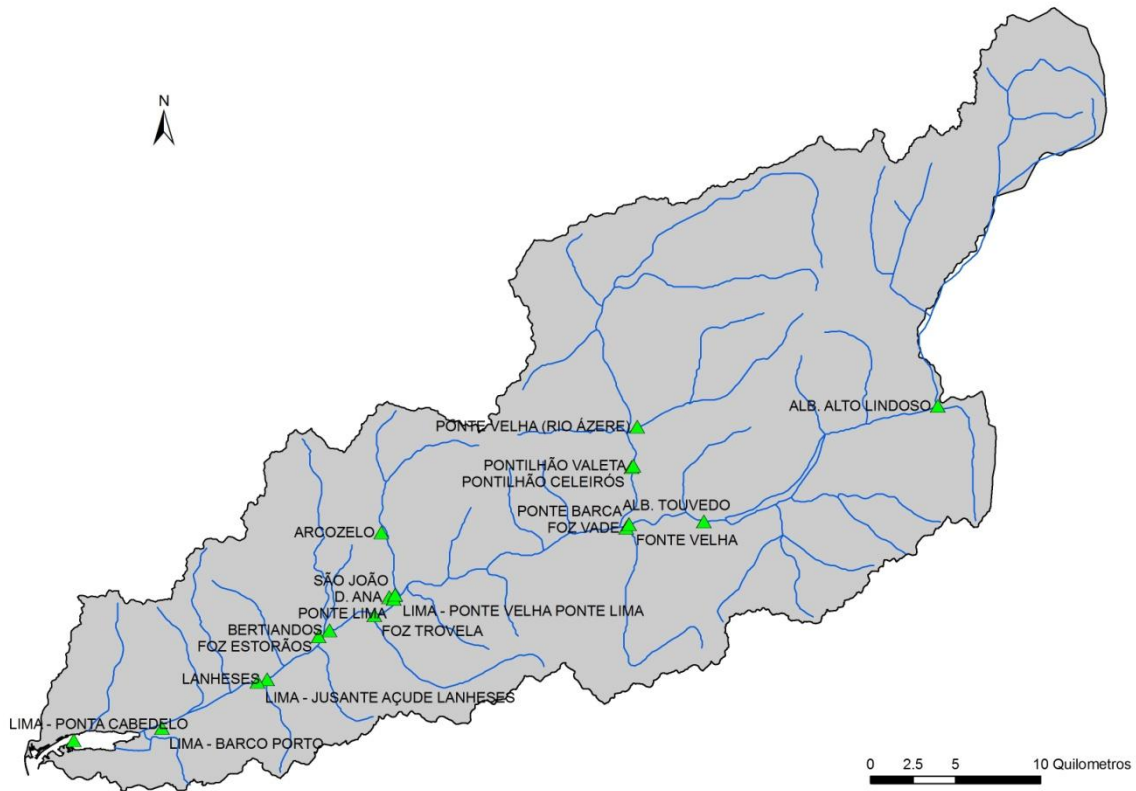


Figura 37 – Estações de qualidade localizadas na bacia hidrográfica do Lima.

Da lista apresentada na tabela 12, a estação de D. Ana foi eliminada devido à ausência de qualquer tipo de dados. Também foram desde logo excluídas as estações Alb. Alto Lindoso e Alb. Touvedo devido à sua proximidade aos correspondentes aproveitamentos hidroeléctricos, os quais potencialmente provocam modificações da qualidade da água. Na realidade, ao optar por analisar os dados destas estações não seria razoável analisar os efeitos da seca nos parâmetros de qualidade, uma vez que estes se encontram directamente influenciados pelas barragens.

Posteriormente, das muitas variáveis existentes nos dados relativos à qualidade da água na bacia do Rio Lima, escolheram-se as variáveis seguintes: azoto amoniacal, CBO_5 , coliformes fecais, estreptococos fecais, condutividade, oxigénio dissolvido e sólidos suspensos totais. Estes parâmetros foram seleccionados devido às razões explicitadas na tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros seleccionados neste estudo e as principais razões da sua escolha.

Parâmetros seleccionados	Principais razões para a sua escolha	Potencial impacte aquando ocorrência de seca
Azoto amoniacal	Indicador da presença de matéria orgânica em decomposição (maior concentração pode significar menor disponibilidade de oxigénio para a sua oxidação).	Aumento do seu valor uma vez que, nestes períodos, a menor quantidade de água faz aumentar a concentração do composto e faz diminuir a concentração de oxigénio, por diminuição da turbulência e aumento da temperatura.
CBO 5 dias	Indicador da presença de matéria orgânica em decomposição, normalmente proveniente de efluentes domésticos e, em zonas rurais, de eventual adubo orgânico usado nos campos, ou de instalações de criação de gado (maiores valores significam mais matéria orgânica para oxidar).	Aumento do seu valor, já que a menor quantidade de água faz aumentar a concentração da matéria orgânica e faz diminuir a concentração de oxigénio, por diminuição da turbulência e aumento da temperatura.
Coliformes fecais	Indicador da presença de material fecal, normalmente de origem humana (essencialmente proveniente de efluentes domésticos, tratados ou não).	Aumento do seu valor, pois a menor quantidade de água faz aumentar a concentração da matéria orgânica e faz diminuir a concentração de oxigénio que poderia acelerar a respectiva decomposição.

Tabela 13 (Continuação) - Parâmetros seleccionados neste estudo e as principais razões da sua escolha.

Parâmetros seleccionados	Principais razões para a sua escolha	Potencial impacte aquando ocorrência de seca
Estreptococos fecais	Indicador da presença de material fecal, normalmente de origem animal (essencialmente proveniente de efluentes agro-pecuários, tratados ou não, e de estrume usado na agricultura).	Aumento do seu valor uma vez que, nestes períodos, a menor quantidade de água faz aumentar a concentração da matéria orgânica e faz diminuir a concentração de oxigénio que poderia acelerar a respectiva decomposição.
Condutividade de campo a 20 °C	Indicador genérico de poluição. Embora a interpretação dos respectivos valores deva ser feita com cuidado devido ao facto de a respectiva gama de variação ser fortemente influenciada pelas características geológicas de cada bacia, tendendo a aumentar com o aumento da poluição.	Aumento do seu valor, devido a menor capacidade de diluição do meio hídrico nestes períodos.
Oxigénio dissolvido de campo	Elemento fundamental para toda a vida aquática; além disso, a recuperação das situações de poluição mais frequentes em meio hídrico (poluição orgânica), depende fortemente da sua quantidade.	Diminuição do seu valor já que nestes períodos, a menor quantidade de água faz diminuir a concentração deste gás, por diminuição da turbulência e aumento da temperatura. Em algumas circunstâncias, no entanto, este efeito pode ser amortecido por um aumento da quantidade deste gás que é produzido pelas plantas aquáticas (fotossíntese).

Tabela 13 (Continuação) - Parâmetros seleccionados neste estudo e as principais razões da sua escolha.

Parâmetros seleccionados	Principais razões para a sua escolha	Potencial impacte aquando ocorrência de seca
Sólidos suspensos totais	Indicador genérico de poluição	Diminuição do seu valor em virtude de não haver escorrência superficial a partir das encostas e da diminuição do caudal favorecer a sua sedimentação.

Pode-se salientar que a ausência de indicadores comuns em estudos de qualidade da água, como os nitratos e os fosfatos, se deve ao facto de os mesmos, para além de poderem ter origem na decomposição da matéria orgânica, poderem igualmente ser provenientes do uso de adubos (sintéticos ou naturais) na agricultura, estando a sua chegada ao meio hídrico superficial dependente de vários factores com dinâmicas complexas (ciclos de rega, porosidade do terreno, infiltração de água contaminada a partir do freático, etc.). No que concerne às restantes variáveis disponíveis no SNIRH, de referir que apresentavam, à priori, relações com a qualidade da água e com a seca que seriam mais difíceis de analisar, num estudo que se pretende exploratório. Além disso, para muitas delas, a distribuição espacial e temporal dos dados disponíveis era insuficiente para o tipo de análise que se pretende efectuar.

Desta forma, analisou-se quais das restantes estações possuíam dados para cada um dos parâmetros referidos na tabela 13. Com isto, para além do atrás referido, anularam-se também da análise as estações: Lima - Barco Porto, Lima - Jusante Açude Lanheses, Lima - Ponta Cabedelo e Lima - Ponte Velha Ponte Lima.

Assim, começou-se por examinar com mais detalhe, os parâmetros seleccionados para cada uma das estações escolhidas (Arcozelo, Bertandos, Fonte Velha, Foz Estorãos, Foz Trovela, Foz Vade, Lanheses, Ponte Barca, Ponte Lima, Ponte Velha (Rio Ázere), Pontilhão Celeirós, Pontilhão Valeta e São João), assinaladas na figura 38. O período de tempo com registo de medição dos parâmetros (o início e o fim da medição destes) para cada estação, está representado no anexo C, na tabela C1. Através da análise dos

períodos de tempo referidos nestas tabelas, pôde verificar-se que a quantidade de dados para a condutividade de campo a 20 °C e oxigénio dissolvido campo são insuficientes para a constatação de qualquer tipo de conclusões. Na realidade, para a condutividade existiam apenas valores para alguns meses de 2003 e para o oxigénio dissolvido de campo existiam apenas duas estações com dados (uma delas possuía unicamente um valor e a outra tinha alguns valores para 2003 e 2004), pelo que estes parâmetros foram eliminados da análise. Como tal, apesar de ser preferível a utilização de dados medidos em campo, uma vez que os dados conseguidos são mais exactos, optou-se por analisar o oxigénio dissolvido – lab, em lugar do oxigénio dissolvido de campo. Isto porque, para o oxigénio dissolvido – lab existia uma maior quantidade de dados. O período de análise para este parâmetro, nas estações pode ser observado no anexo C na tabela C2.

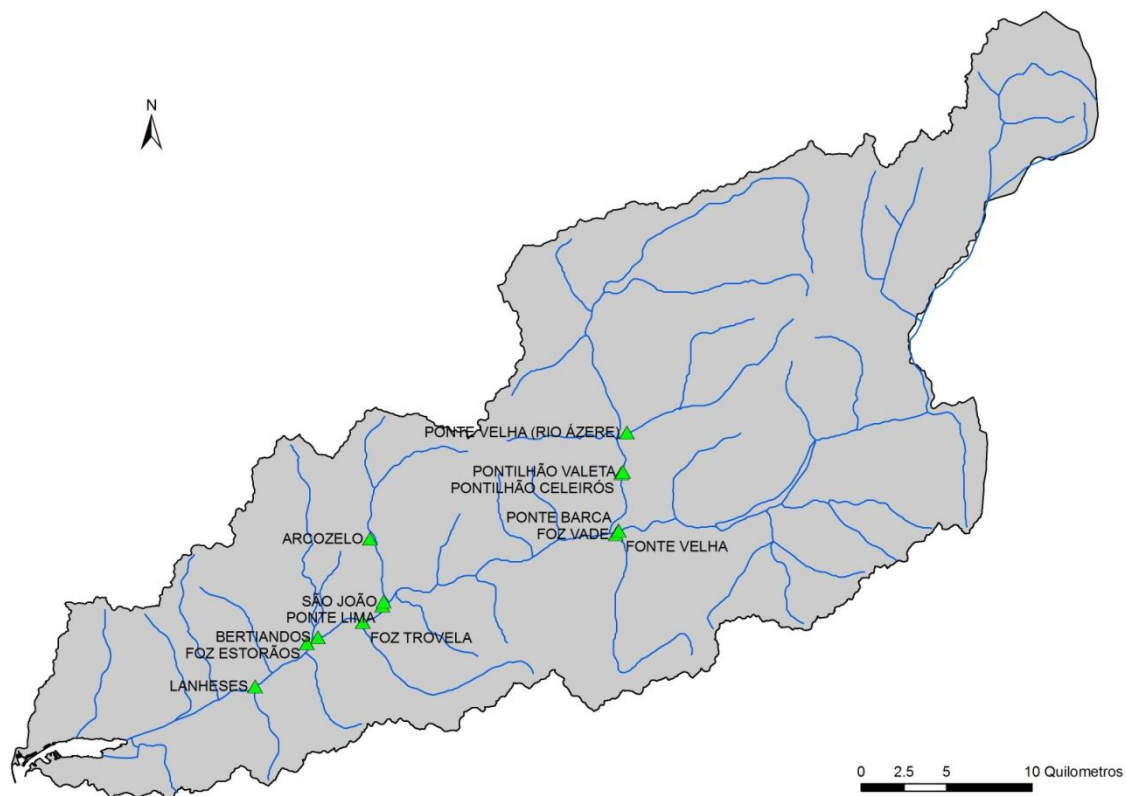


Figura 38 – Estações de qualidade com dados para os parâmetros de qualidade analisados.

Assim, para cada parâmetro seleccionado, foram escolhidas as estações com maior número de dados disponíveis, de acordo com o período de tempo de medição, dando-se preferência a séries de dados mensais em detrimento de séries trimestrais ou

descontínuas. Como tal, tendo em conta a existência de um desfasamento temporal nas séries de dados disponíveis nas várias estações, foi igualmente tida em conta a possibilidade de emparelhamento de dados, para efeitos de comparação e validação. Devido a isto, ou seja, à ausência de uma série de dados consistente em todas as estações, procurou-se seleccionar aquelas que permitissem obter uma adequada dispersão espacial dos dados, de forma a cobrir toda a bacia. Assim, quando existiam estações geograficamente muito próximas (como se pode verificar pela análise da figura 38), optou-se pela que possuía a melhor série de dados (extensão no tempo e continuidade dos valores). Do mesmo modo, procurou-se incluir estações situadas no curso principal e nos afluentes uma vez que tal deverá ter influência nos valores da qualidade da água. Assim, achou-se conveniente a formação de dois grupos de estações, um formado por estações no troço do rio e outro com estações localizadas nos afluentes. No primeiro grupo, com valores entre 1988 e 1999, incluíram-se as estações de Lanheses (105 valores); Ponte de Lima (106 valores) e Ponte da Barca (121 valores), localizadas no rio Lima. Convém ainda notar que o facto destas três estações estarem localizadas a jusante das albufeiras do Lindoso e de Touvedo, faz com que as observações nestas estações dependam também das descargas efectuadas por aqueles empreendimentos hidroeléctricos, pelo que a sua interpretação tem de ter em atenção esse facto.

No segundo grupo, com valores entre 2000 e 2008, devido a uma quantidade mais acentuada de dados para as estações localizadas nos principais afluentes do rio Lima, incluíram-se neste grupo a estação de Pontilhão Celeirós (194 valores), situada no rio Ázere (um afluente do rio Vez); Arcozelo (124 valores), situada no rio Labruja; Foz Trovela (98 valores); Foz Vade (97 valores) e Foz Estorãos (97 valores).

As estações seleccionadas podem ser observadas na figura 39. Na figura 40 pode-se observar um esquema representativo da rede hidrográfica do rio Lima (representando-se o rio Lima e os seus principais afluentes) e a localização, nesta rede, das estações de qualidade seleccionadas.

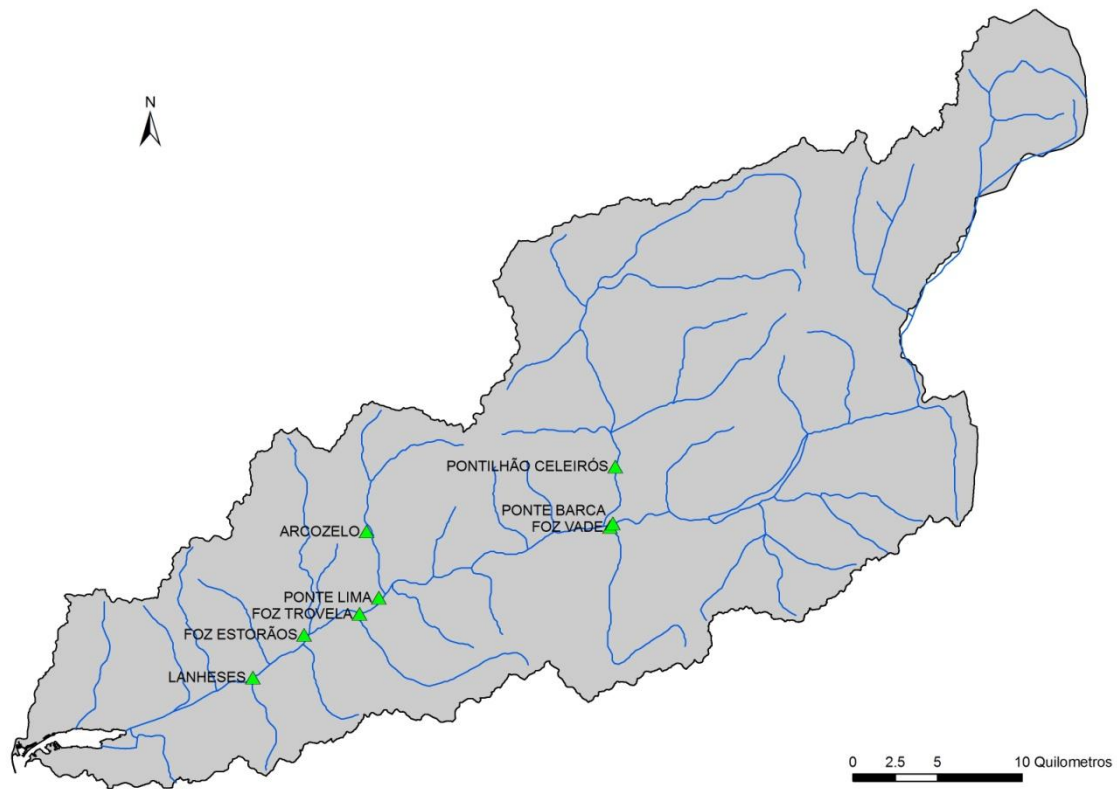


Figura 39 – Estações seleccionadas e a sua localização na bacia hidrográfica do Lima.

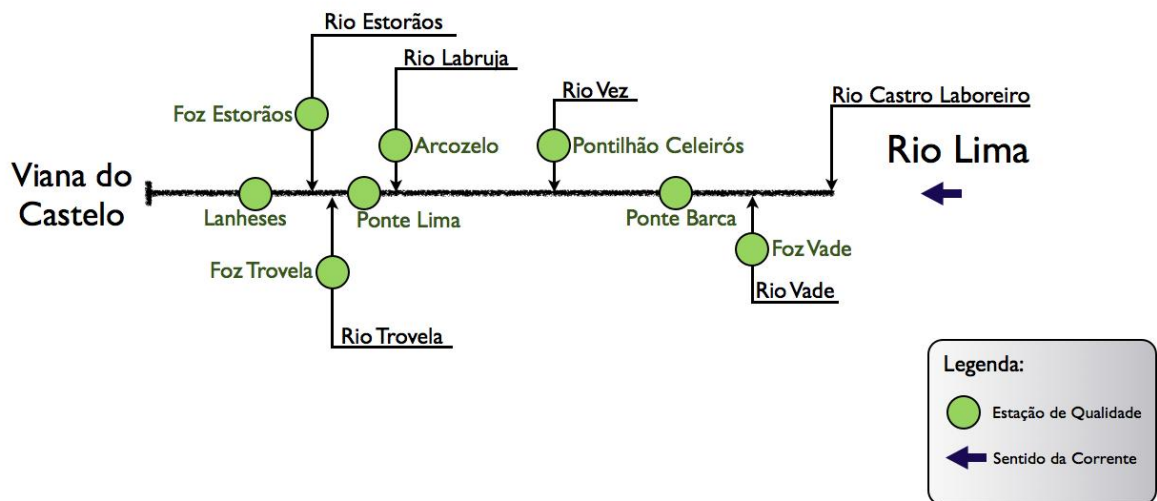


Figura 40 - Esquema da rede hidrográfica com as estações de qualidade seleccionadas.

Convém salientar que para as estações seleccionadas e apresentadas nas figuras 39 e 40, também existiam lacunas nos dados disponíveis havendo anos em que se verificam interrupções significativas na série de dados, optando-se por não os ter em consideração neste estudo. Em relação aos anos em que existiam valores observaram-se cuidadosamente as medições, para cada parâmetro seleccionado neste estudo. Assim, constatou-se que para o azoto amoniacal e para o oxigénio dissolvido – lab. existiam dados suficientes para a análise dos dois grupos de estações formados. Quanto à variável CBO 5 dias os dados disponíveis a partir do ano 2000 (inclusive), apenas indicam valores <2 mg/l, o que não permite a sua utilização para os fins do presente trabalho (já que ao se adoptar este valor, pode-se estar a admitir que a situação pode ser melhor do que a indicada pelos dados o que não seria correcto). Deste modo, só serão usados os dados anteriores a essa data, isto é, as estações que fazem parte do primeiro grupo. Também para os parâmetros estreptococos fecais, coliformes fecais, e sólidos suspensos totais eliminaram-se da análise as estações pertencentes ao segundo grupo formado, uma vez que não apresentavam, para aqueles parâmetros, dados que fossem utilizáveis no presente estudo. Por exemplo para os sólidos suspensos totais os dados disponíveis nas estações a partir do ano 2000, tinham uma grande quantidade de valores “ <2 ” ou “ <5 ” o que não fornece informação suficiente para a comparação que se pretende efectuar neste estudo.

Todo este processo de selecção tendo como base critérios eliminatórios sucessivos e estabelecidos pode ser observado no esquema construído e representado na figura 41.

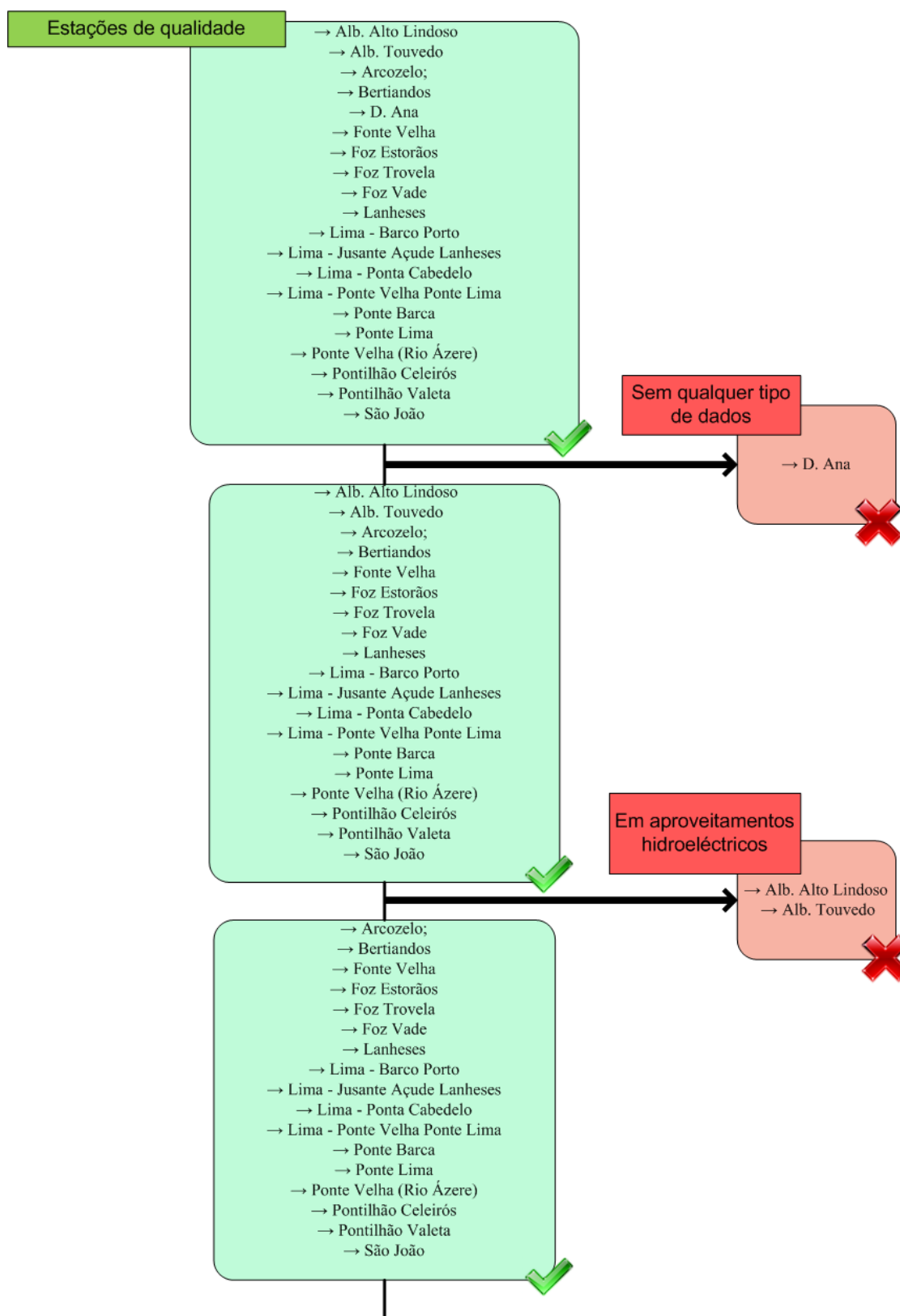


Figura 41 – Processo de selecção das estações de qualidade.

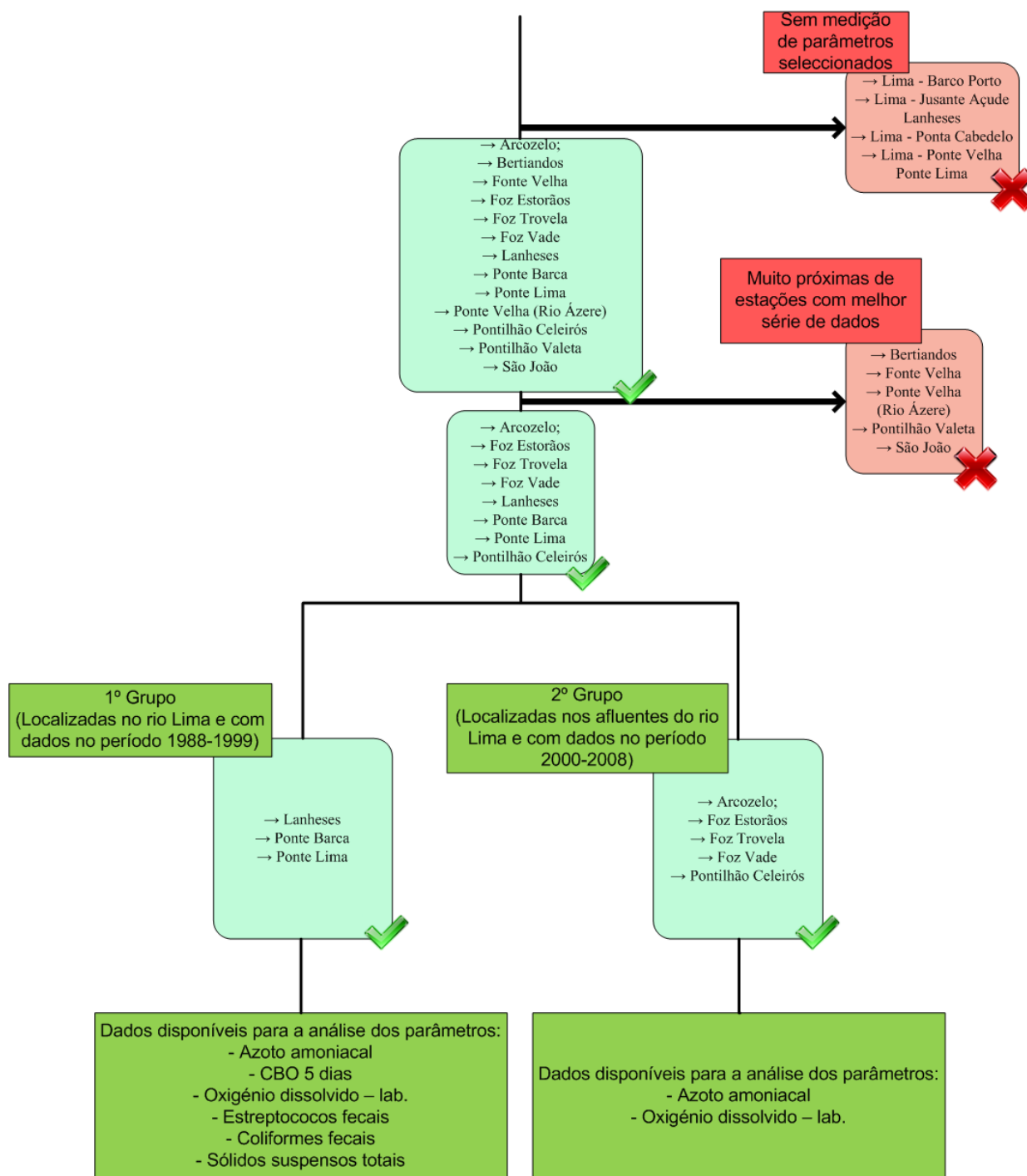


Figura 41 (Continuação) - Processo de selecção das estações de qualidade.

5.3 RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE QUALIDADE E OS VALORES DE SPI-3 MESES

Após a escolha dos parâmetros de qualidade a analisar e das estações de qualidade foram construídos vários gráficos com base nos dados de qualidade disponíveis. Nestes gráficos pretende-se observar uma relação entre os valores de SPI-3 meses e o comportamento dos parâmetros de qualidade seleccionados e disponíveis: azoto amoniacal, CBO 5 dias, coliformes fecais, estreptococos fecais, oxigénio dissolvido-lab. e sólidos suspensos totais. Os valores de SPI-3 meses foram calculados e apresentados na tabela B3 do anexo B, tal como referido anteriormente (sub-capítulo 4.4.2.). Convém lembrar que os valores de SPI-3 meses foram calculados com base na precipitação ponderada na bacia em estudo.

Devido à grande quantidade de gráficos que pôde ser obtida com base nos dados referidos, escolheram-se apenas alguns destes para a demonstração de resultados, os restantes foram colocados no anexo D. Isto foi feito para cada um dos grupos formados (ou seja, para o 1º grupo, G1, com estações com valores compreendidos entre 1988 e 1999, localizadas no rio Lima e para as correspondentes ao 2º grupo, G2, que possuem dados entre 2000 e 2008, e se situam nos principais afluentes). Também se teve em atenção o tipo de ano, isto é, em que patamar se encontra o valor de SPI-12 meses respectivo. Para isto foi necessário analisar a classificação efectuada no sub-capítulo 4.4.1, apresentada na tabela B1 do anexo B (esta classificação pode ser observada de forma simplificada na figura 25). Convém ainda notar que em caso da existência de anos do mesmo tipo, foram escolhidos aqueles em que existiam dados para uma maior quantidade dos parâmetros escolhidos.

Para o primeiro grupo de estações (G1) apenas existem dados de qualidade para anos normais e para um ano húmido. Os anos para os quais se construíram gráficos estão representados na tabela 14. Nesta encontram-se em destaque (marcados a vermelho) os anos seleccionados para a demonstração de resultados. Convém notar que o ano de 1996 foi o escolhido (em detrimento dos restantes anos do mesmo tipo) devido à existência de dados para todas as variáveis de qualidade seleccionadas.

Tabela 14 – Anos com dados suficientes e seleccionados (a vermelho) para demonstração de resultados (1º grupo, G1).

Ano	Intensidade de seca
1997	Húmido
1991, 1994, 1995, 1996 , 1998 e 1999	Próximo do normal

Em relação ao segundo grupo de estações, isto é, as que possuem dados compreendidos entre 2000 e 2008, já se abrangem todos os tipos de anos (isto é, ano húmido, próximo do normal, em seca moderada, seca severa e seca extrema). No entanto, existe uma maior lacuna dos dados não se podendo analisar todos os parâmetros escolhidos no nosso estudo, tal como referido anteriormente. Assim, existem apenas dados para o azoto amoniacal e o oxigénio dissolvido – lab. Os anos para os quais se construíram gráficos estão representados na tabela 15. Nesta encontram-se em destaque (marcados a vermelho) os anos seleccionados para a demonstração de resultados.

Tabela 15 - Anos com dados suficientes e anos seleccionados (a vermelho) para demonstração de resultados (2º grupo, G2).

Ano	Intensidade de seca
2000 , 2001	Húmido
2003, 2006	Próximo do normal
2002, 2008	Seca moderada
2007	Seca severa
2004, 2005	Seca extrema

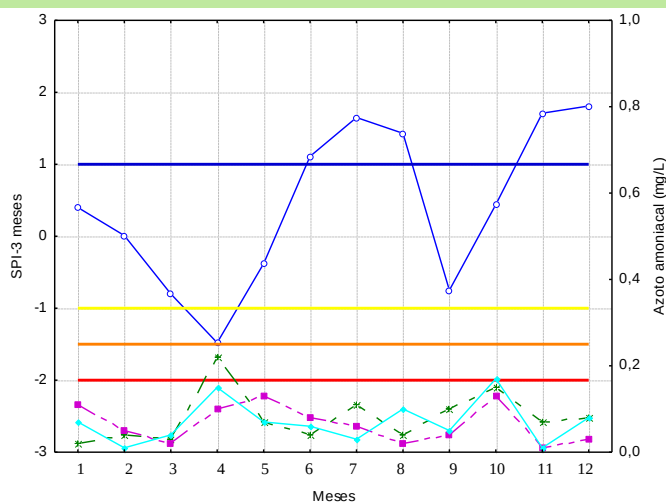
Seguidamente, apresentam-se os gráficos obtidos para os dados correspondentes aos anos seleccionados para demonstração de resultados, destacados a vermelho nas tabelas 14 e 15. Pode-se observar que a organização dos gráficos foi feita por ano, ou seja, cada figura inclui os gráficos obtidos para cada parâmetro analisado nesse ano (tendo em conta todas as estações seleccionadas). No início de cada conjunto de figuras, ou seja, antes da apresentação dos gráficos de cada um dos grupos de estações de qualidade (G1 e G2) inclui-se a correspondente legenda. Esses gráficos estão representados nas figuras

42 a 48. Em relação aos restantes anos referidos nas tabelas 14 e 15, e em que se seguiu o mesmo esquema de apresentação, são apresentados no anexo D (figuras D1 a D9).

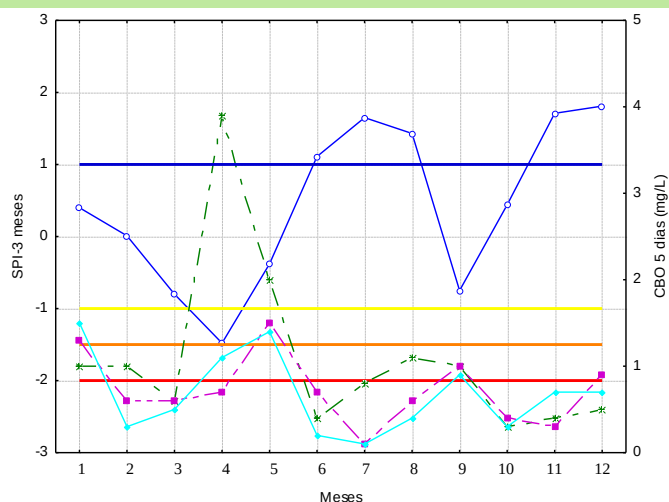
Legenda dos gráficos relativos ao 1º grupo de estações (G1), Figuras 42 e 43:

- SPI-3 meses
- * Lanheses
- Ponte Barca
- ◆ Ponte Lima
- Húmido
- Seca moderada
- Seca severa
- Seca extrema

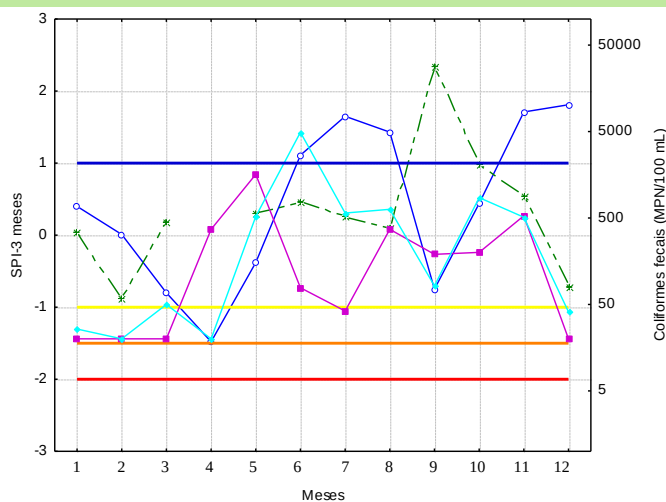
SPI-3 meses – Azoto amoniacal



SPI-3 meses – CBO 5 dias



SPI-3 meses – Coliformes fecais



SPI-3 meses – Estreptococos fecais

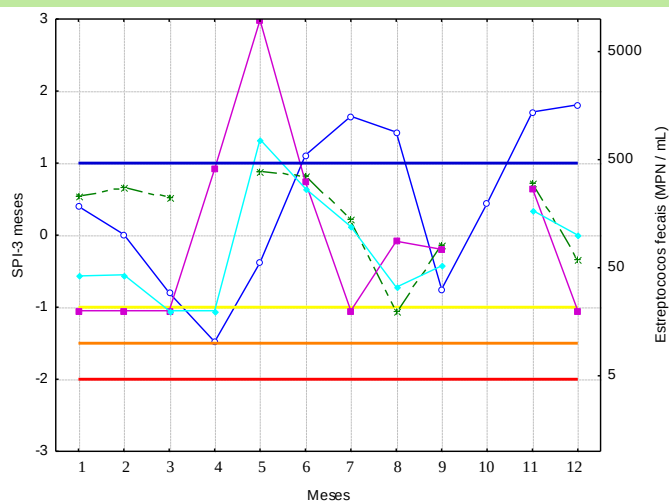
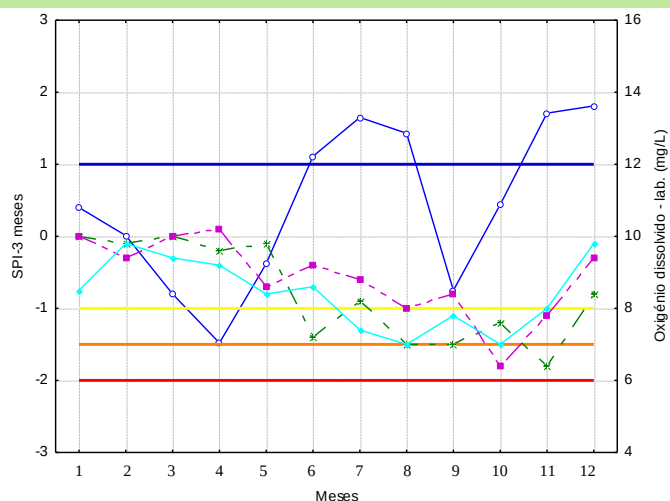


Figura 42 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1997 (ano húmido).

SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.



SPI-3 meses – Sólidos suspensos totais

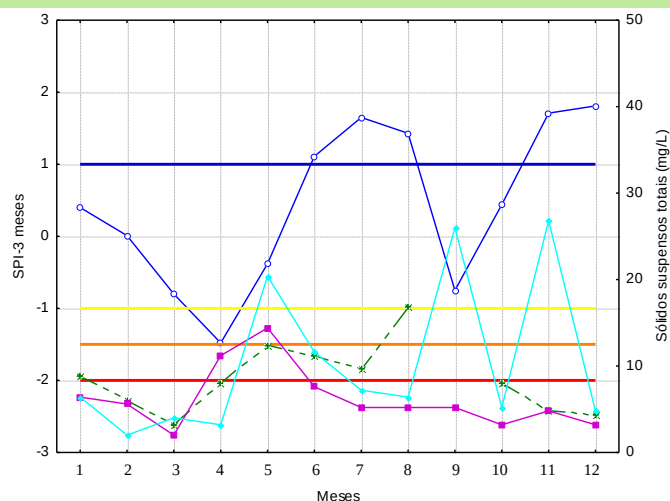
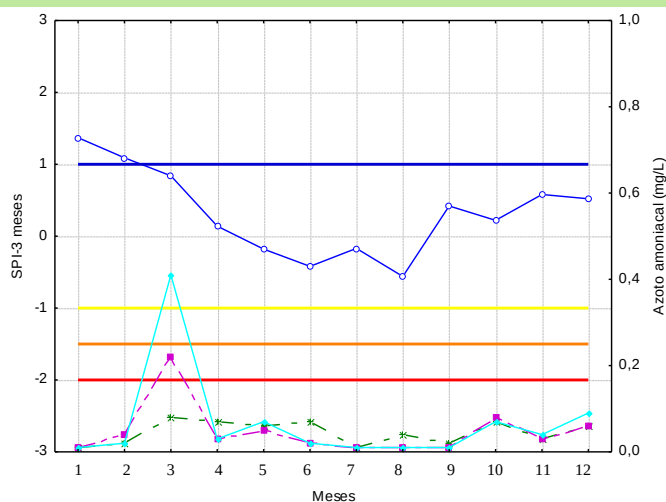


Figura 42 (Continuação) - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1997 (ano húmido).

SPI-3 meses – Azoto amoniacal



SPI-3 meses – CBO 5 dias

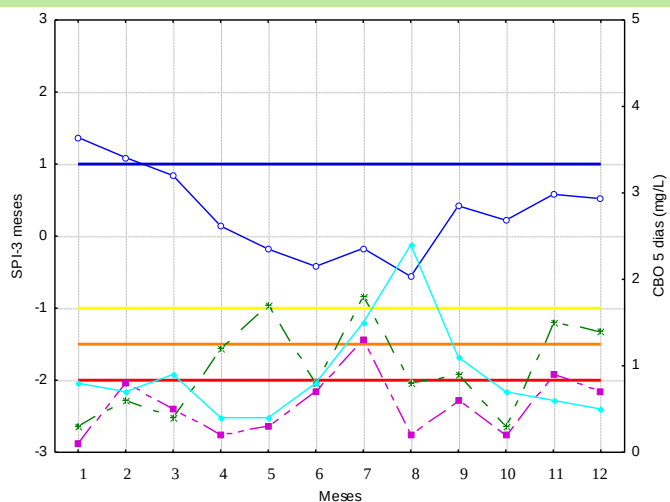
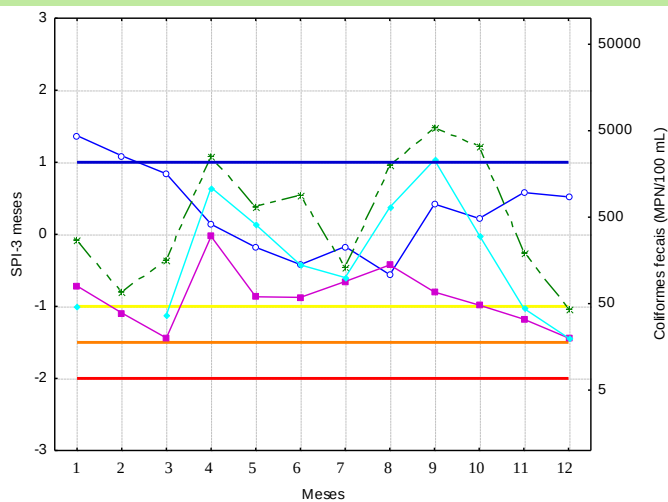
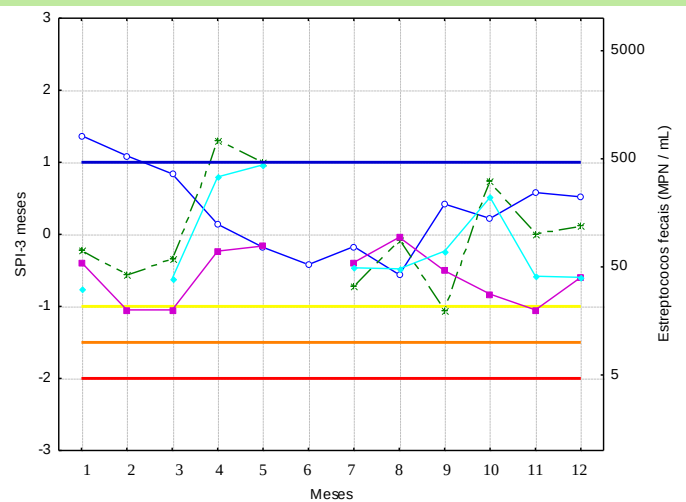


Figura 43 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1996 (ano próximo do normal).

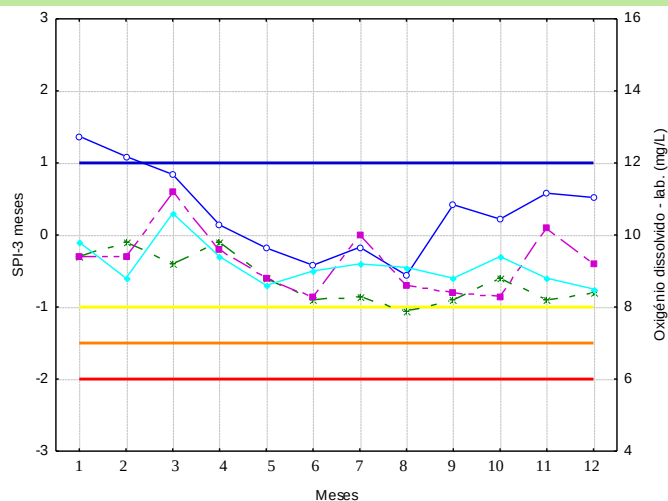
SPI-3 meses – Coliformes fecais



SPI-3 meses – Estreptococos fecais



SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.



SPI-3 meses – Sólidos suspensos totais

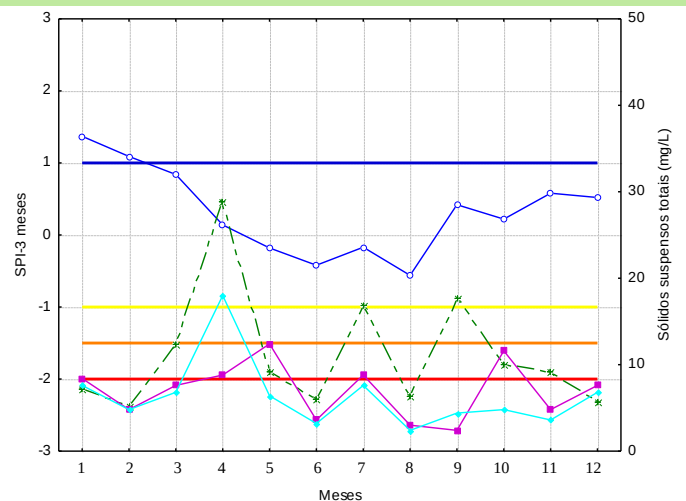


Figura 43 (Continuação) - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1996 (ano próximo do normal).

Legenda dos gráficos construídos para o 2º grupo de estações (G2), Figuras 44 a 48:

- SPI-3 meses
- Arcozelo
- Foz Trovela
- ◆ Foz Vade
- ▲ Foz Estorãos
- ✦ Pontilhão Celeirós
- Húmido
- Seca moderada
- Seca severa
- Seca extrema

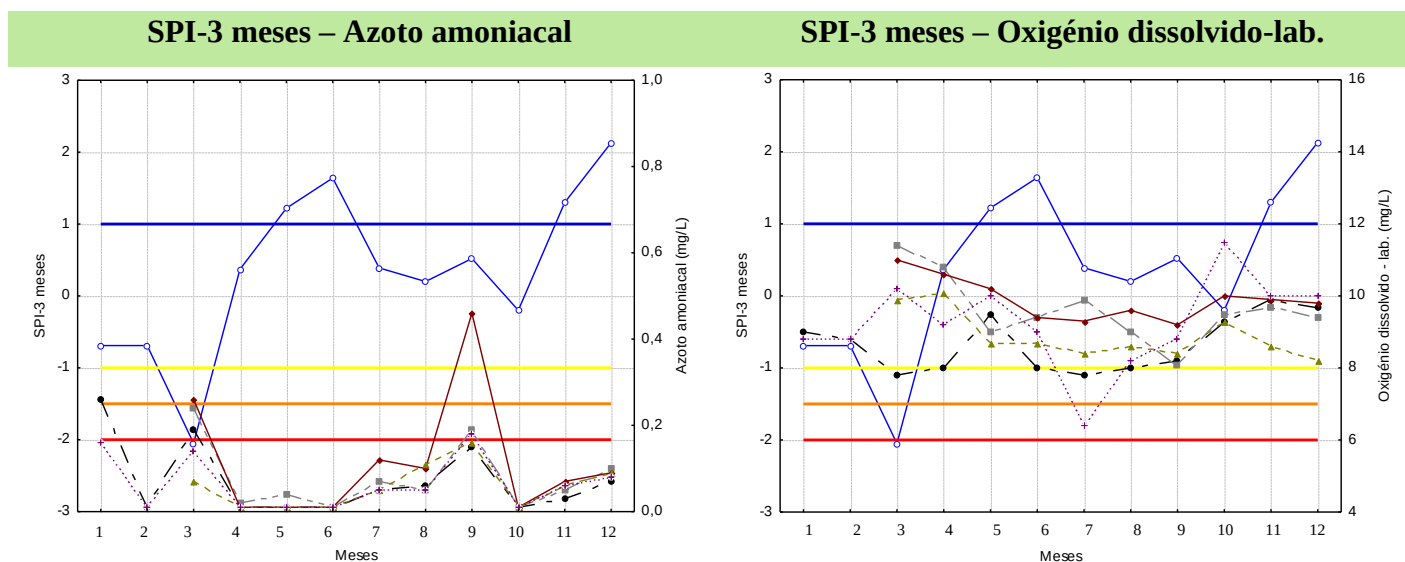


Figura 44 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o **ano 2000 (ano húmido)**.

SPI-3 meses – Azoto amoniacal

SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.

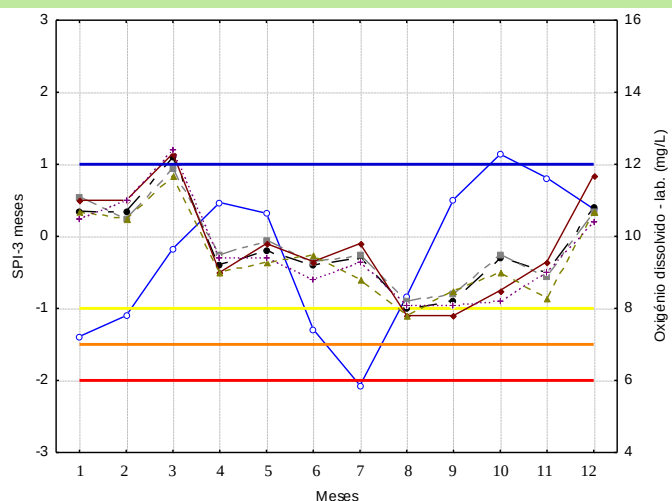
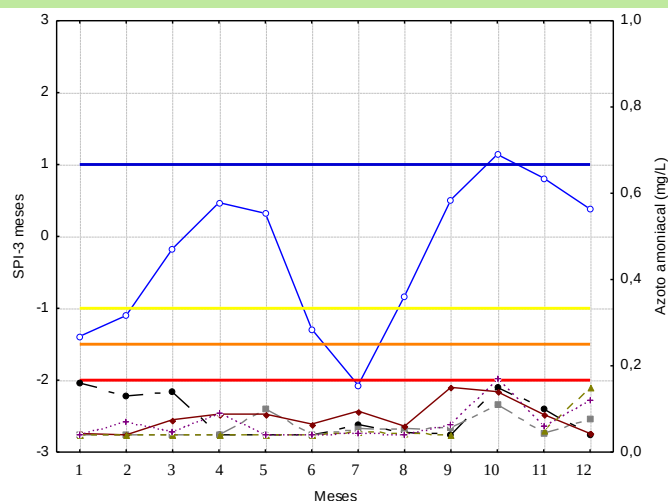


Figura 45 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2006 (ano próximo do normal).

SPI-3 meses – Azoto amoniacal

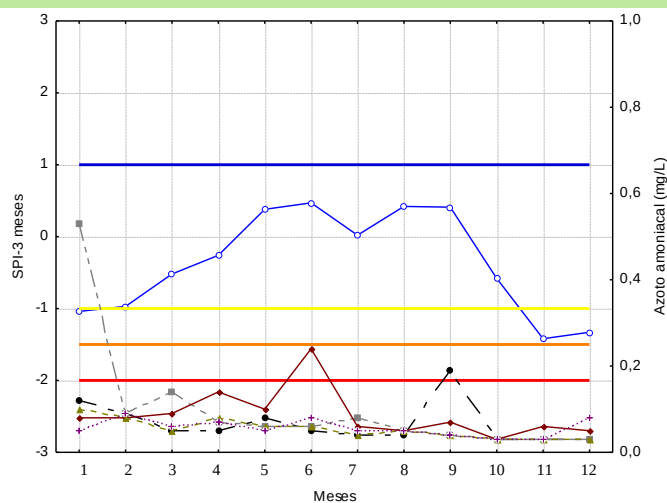


Figura 46 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2008 (ano de seca moderada).

SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.

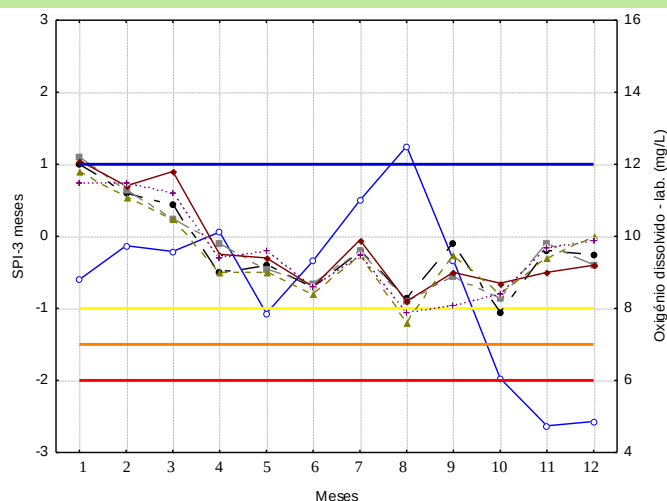
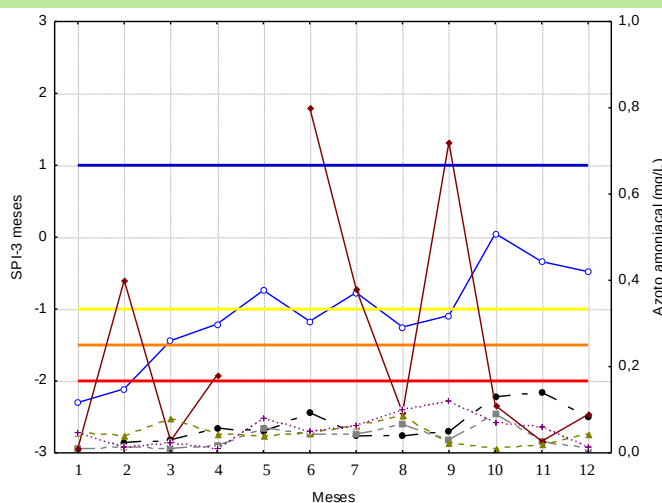


Figura 47 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2007 (ano de seca severa).

SPI-3 meses – Azoto amoniacal



SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.

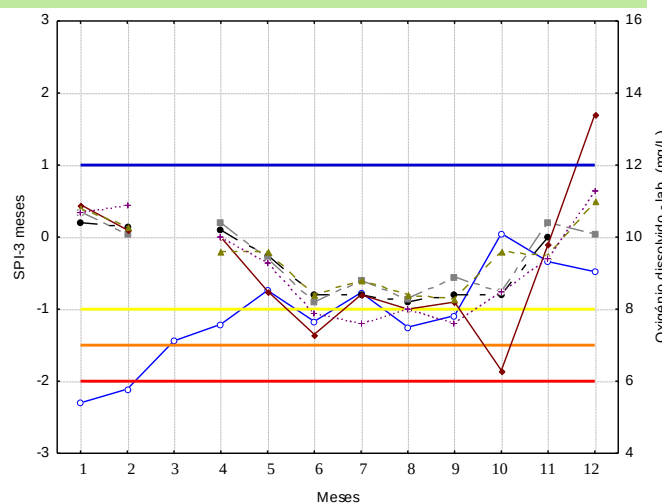


Figura 48 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2005 (ano de seca extrema).

Através da observação dos gráficos anteriores e dos representados no anexo D, pode-se constatar que para o azoto amoniacal não existe um padrão coerente de variação deste parâmetro com o índice SPI-3 meses, pelo que não é possível utilizá-lo para estabelecer relações entre a ocorrência de secas e a qualidade da água. Isto parece confirmar a hipótese dos compostos de fósforo e azoto terem dinâmicas complexas, que não são apenas influenciadas pela seca. Isto parece verificar-se, similarmente, para todos os restantes parâmetros estudados, ou seja, da análise dos gráficos apresentados (figuras 42 a 48) poder-se-á concluir que não existe um padrão coerente de variação dos parâmetros com os valores de SPI-3 meses. Assim sendo, este não poderá ser utilizado para o estabelecimento de relações entre a ocorrência de secas e a qualidade da água.

Convém destacar que curiosamente, verifica-se uma coerência espacial na variação dos vários parâmetros de qualidade da água, o que parece indicar que esta não é influenciada, de modo significativo, pelas variações do SPI-3 meses, mas deverá ser devida à existência de fenómenos de origem antrópica, que se propagam na bacia de montante para jusante.

No entanto, e para que a verificação de uma relação entre os parâmetros de qualidade e os valores de SPI-3 meses não se restringisse a uma análise visual, utilizou-se, tal como anteriormente, o programa STATISTICA, para determinar as correlações existentes entre eles. Assim determinaram-se os valores de r (coeficiente de correlação linear de Pearson), de N (o número de pares de valores para o cálculo da correlação) e p (valor de prova que está relacionado com o nível de significância de uma determinada variável analisada num modelo de regressão) de acordo com cada um dos parâmetros analisados e dentro de cada grupo formado. As correlações obtidas encontram-se representadas nas tabelas 16 e 17. A leitura destas tabelas deve ser feita tendo em conta que, estas começam por demonstrar (linhas de SPI-3 meses) a relação existente (dada pelos valores de correlação calculados) entre o SPI-3 meses e os valores medidos (para cada parâmetros seleccionado) em cada uma das estações de qualidade. Depois, nas mesmas tabelas (restantes linhas), apresentam-se as correlações existentes entre os dados de qualidade medidos numa estação (por exemplo, Lanheses) com as restantes (Ponte Barca e Ponte Lima), e assim sucessivamente.

Nestas tabelas, 16 e 17, foram assinaladas a laranja as relações consideradas significativas, estipulando-se que correspondem aquelas com um valor de r superior a 0,7. Convém lembrar que, para o grupo 1 (G1) foi possível avaliar todos os parâmetros

de qualidade, enquanto que para o grupo 2 (G2) apenas se conseguiram analisar os parâmetros de qualidade azoto amoniacal e oxigénio dissolvido – lab.

Tabela 16 – Correlações obtidas para as estações do grupo 1 (G1).

		Azoto amoniacal			CBO 5 dias		
		r	N	p	r	N	p
SPI-3 meses	Lanheses	-0,1450	105	0,140	-0,3627	100	0,000
	Ponte Barca	-0,1623	121	0,075	-0,3023	110	0,001
	Ponte Lima	-0,0388	106	0,693	-0,2889	97	0,004
Lanheses	Ponte Barca	0,6158	104	0,000	0,3884	96	0,000
	Ponte Lima	0,8237	103	0,000	0,3440	93	0,001
Ponte Barca	Ponte Lima	0,5087	105	0,000	0,5175	94	0,000

Tabela 16 (Continuação) – Correlações obtidas para as estações do grupo 1 (G1).

		Coliformes fecais			Estreptococos fecais		
		r	N	p	r	N	p
SPI-3 meses	Lanheses	-0,1221	101	0,224	-0,0459	77	0,692
	Ponte Barca	-0,2068	118	0,025	-0,0905	54	0,515
	Ponte Lima	0,0739	101	0,463	0,0831	53	0,554
Lanheses	Ponte Barca	0,0248	101	0,806	0,0401	53	0,776
	Ponte Lima	0,1479	99	0,144	0,8875	52	0,000
Ponte Barca	Ponte Lima	0,1394	101	0,165	0,2630	52	0,060

Tabela 16 (Continuação) – Correlações obtidas para as estações do grupo 1 (G1).

		Oxigênio dissolvido - lab.			Solidos Suspensos Totais		
		r	N	p	r	N	p
SPI-3 meses	Lanheses	-0,1757	69	0,149	0,1110	106	0,258
	Ponte Barca	-0,1474	69	0,227	-0,0515	120	0,576
	Ponte Lima	-0,2559	68	0,035	0,2389	105	0,014
Lanheses	Ponte Barca	0,6296	69	0,000	0,4209	106	0,000
	Ponte Lima	0,7169	68	0,000	0,4721	104	0,000
Ponte Barca	Ponte Lima	0,6953	68	0,000	0,2796	105	0,004

Tabela 17 – Correlações obtidas para as estações do grupo 2 (G2).

		Azoto amoniacal			Oxigénio dissolvido - lab.		
		r	N	p	r	N	p
SPI-3 meses	Arcozelo	-0,1004	124	0,267	0,0927	98	0,364
	Foz Trovela	-0,0186	98	0,855	0,0559	97	0,586
	Foz Vade	-0,1748	97	0,087	0,1218	98	0,232
	Foz Estorãos	-0,0431	97	0,675	-0,1127	98	0,269
	Pontilhão Celeirós	0,0164	99	0,872	0,1044	100	0,301
Arcozelo	Foz Trovela	0,3306	97	0,001	0,6839	95	0,000
	Foz Vade	0,2839	96	0,005	0,7837	96	0,000
	Foz Estorãos	0,3708	96	0,000	0,6990	96	0,000
	Pontilhão Celeirós	0,4319	98	0,000	0,8070	98	0,000
Foz Trovela	Foz Vade	0,3071	97	0,002	0,7853	97	0,000
	Foz Estorãos	0,6003	97	0,000	0,8389	97	0,000
	Pontilhão Celeirós	0,4371	97	0,000	0,7438	97	0,000
Foz Vade	Foz Estorãos	0,4290	96	0,000	0,7154	98	0,000
	Pontilhão Celeirós	0,4339	96	0,000	0,8643	98	0,000
Foz Estorãos	Pontilhão Celeirós	0,6353	96	0,000	0,7485	98	0,000

Os valores de r , N e p , apresentados acima (tabelas 16 e 17) comprovam a interpretação que foi feita dos gráficos (figuras 42 a 48 e figuras D1 a D9) em que se procuraram relacionar alguns dos indicadores mais comuns de qualidade da água com o SPI-3 meses, permitindo concluir que não há uma correlação significativa entre ambos.

Curiosamente, de acordo com os valores do oxigénio dissolvido-lab. (medidos pelas estações situadas nos afluentes do rio Lima) da tabela 17, parece haver uma relação bastante significativa no que respeita à forma como estes se correlacionam entre si (r maior que 0,7 e p igual a 0,000) nas várias estações. Isto poderá demonstrar que este parâmetro deverá responder a factores comuns, de forma similar. Convém notar, que os restantes parâmetros de qualidade não apresentam correlações significativas entre eles nas várias estações analisadas (o que poderá ser explicado pelo facto de dependerem de descargas de efluentes, ou de poluição difusa, que são diferentes – quer na quantidade, quer na composição, quer ainda na periodicidade - ao longo do rio).

Uma outra conclusão plausível das referidas tabelas é a de que a dinâmica dos vários factores que, no seu conjunto, acabam por determinar a qualidade de uma água, é bastante complexa.

6. RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, CAUDAL E PARÂMETROS DE QUALIDADE

6.1 INTRODUÇÃO

Como no capítulo anterior não se verificou a existência de uma relação evidente entre os valores de SPI-3 meses (calculados com base na precipitação média ponderada ao nível da bacia hidrográfica) e as variáveis físico-químicas seleccionadas e medidas nas estações de qualidade (com dados disponíveis), procurou-se neste capítulo confirmar se uma comparação e abordagem mais directa e localizada confirmaria essa conclusão. Perspectivou-se, assim, atentas também as várias lacunas constatadas nos dados ao nível da bacia hidrográfica, analisar, de forma directa e simples, a correlação entre todos os dados existentes (precipitações, caudais e parâmetros de qualidade), a um nível local (sub-área da bacia e troço de rio correspondente), onde as potenciais relações causa-efeito pudessem ser mais facilmente detectadas, permitindo despistar possíveis efeitos de distorção dessas inter-relações (p.e., pelo efeito regularizador de barragens). Isto é, procurar detectar inter-relações entre a variação da precipitação, o caudal e a qualidade da água e, conseqüentemente, com as comunidades biológicas aquáticas, em situações de seca.

Assim, o objectivo principal deste capítulo seria encontrar uma relação entre as variáveis analisadas considerando estações próximas umas das outras. Tal na óptica de que, a condição ideal seria encontrar um troço principal do rio Lima¹⁴ onde existissem estações hidrométricas, de qualidade e meteorológicas que efectuassem medições para os anos seleccionados anteriormente (ano de 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008). Na realidade, perspectiva-se que quanto mais próximos sejam os locais em que as diferentes medições são efectuadas mais directamente relacionáveis devem ser os valores obtidos. Para tal, neste capítulo e em primeiro lugar, refere-se de que forma se seleccionaram as estações hidrométricas localizadas na bacia em estudo. Depois, para os

¹⁴ Neste capítulo não se analisaram os dados medidos em estações situadas em afluentes. Isto porque, como se pretendia avaliar a relação existente entre precipitação, caudais e parâmetros de qualidade considerou-se que a sua inclusão no estudo poderia ser menos interessante e relevante já que as condições verificadas para cada um dos afluentes são bastante específicas.

anos seleccionados, referem-se quais as estações de qualidade com dados disponíveis. Em seguida, tendo em consideração a localização das estações hidrométricas e de qualidade, seleccionaram-se as estações meteorológicas mais próximas. Posteriormente, achou-se conveniente verificar o comportamento entre a precipitação e os caudais. Por último, analisou-se a relação existente entre os valores de precipitação, com os valores de caudais e os parâmetros de qualidade, das estações seleccionadas.

6.2 ANÁLISE DA ADEQUABILIDADE DA INFORMAÇÃO DISPONÍVEL NO SNIRH PARA AS ESTAÇÕES HIDROMÉTRICAS DA BACIA

Com o intuito de analisar o comportamento dos caudais no rio Lima bem como, dos seus afluentes, acedeu-se novamente ao SNIRH, para verificar quais as estações hidrométricas existentes na bacia hidrográfica do rio Lima. Com isto, constatou-se que existiam na totalidade 17 estações. O nome destas e algumas das suas características relevantes encontram-se na tabela 18. Na figura 49 apresenta-se a localização dessas estações, com excepção da correspondente à Barragem Salas, para a qual não foram encontradas características nem as coordenadas geográficas.

Convém ainda salientar que os dados foram obtidos através do site <http://www.snirh.pt> em 18/06/2010 10:52.

Tabela 18 – Estações hidrométricas e algumas das suas características, localizadas na bacia hidrográfica do Lima.

Estação	Código	Rio	Área drenada (km ²)	Concelho	Estado
Alto Lindoso (EDP)	02H/01A	Lima	450	Arcos de Valdevez	Activa (EDP)
Ameijoeira	02I/01H	Castro Laboreiro	57	Melgaço	Suspensa
Barco	03H/01H	Lima	1675	Arcos de Valdevez	Extinta
Barragem do Lindoso	02H/02H	Lima	1511	Arcos de Valdevez	Extinta
Barragem Salas	H010H	Lima	-	-	-
Forno da Cal	03F/01H	Lima	2143	Ponte de Lima	Extinta
Passagem	03E/01H	Lima	2373	Viana do Castelo	Extinta
Ponte da Barca	03G/02H	Lima	1729	Ponte da Barca	Activa
Ponte de Lima (1)	03F/02H	Lima	2221	Ponte de Lima	Extinta
Ponte de Lima (2)	03F/03H	Lima	2221	Ponte de Lima	Activa
Ponte de Santar	03G/01H	Vez	263	Arcos de Valdevez	Extinta
Ponte Tamente	03H/02H	Lima	1673	Ponte da Barca	Extinta
Pontilhão de Celeirós	02G/01H	Vez	171	Arcos de Valdevez	Suspensa
Rabaçal	03G/03H	Lima	1698	Arcos de Valdevez	Activa (EDP)
Tibo da Gavieira	02H/01H	Peneda	48	Arcos de Valdevez	Extinta
Touvedo (EDP)	03G/01A	Lima	176	Ponte da Barca	Activa (EDP)
Vila Chã	03G/04H	Lima	1686	Ponte da Barca	Extinta

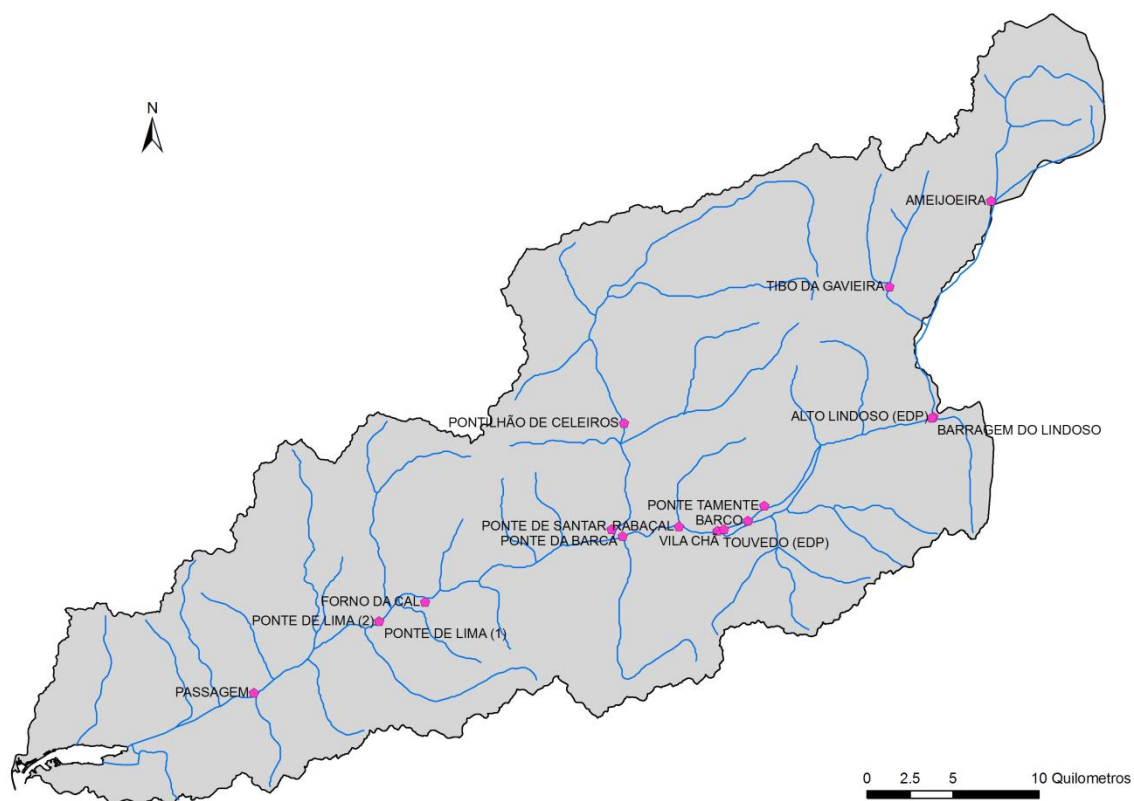


Figura 49 – Estações hidrométricas existentes na bacia hidrográfica do rio Lima.

Mau grado o número de potenciais estações a utilizar (dezassete), vieram a escolher-se apresentar duas para o estudo: estação de Ponte da Barca e Rabaçal (apresentadas na figura 50). As suas localizações na rede hidrográfica do rio Lima assinalam-se na figura 51).

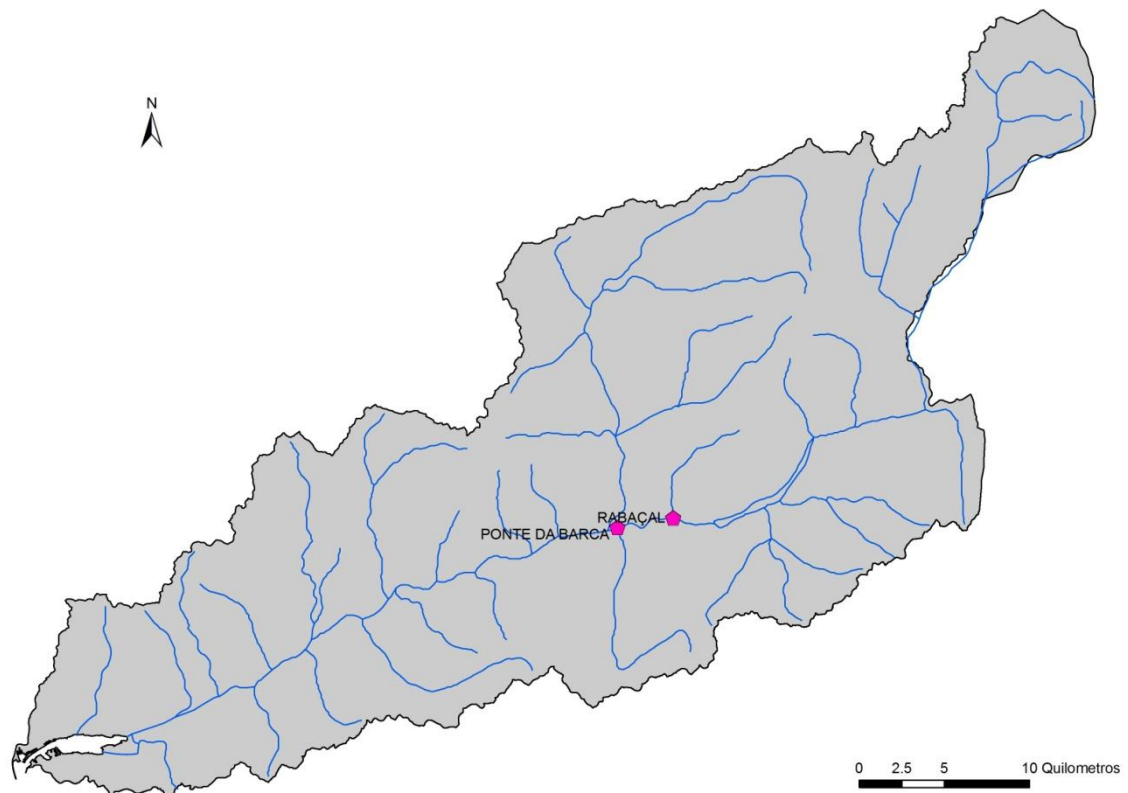


Figura 50 - Estações hidrométricas seleccionadas na bacia hidrográfica do rio Lima.

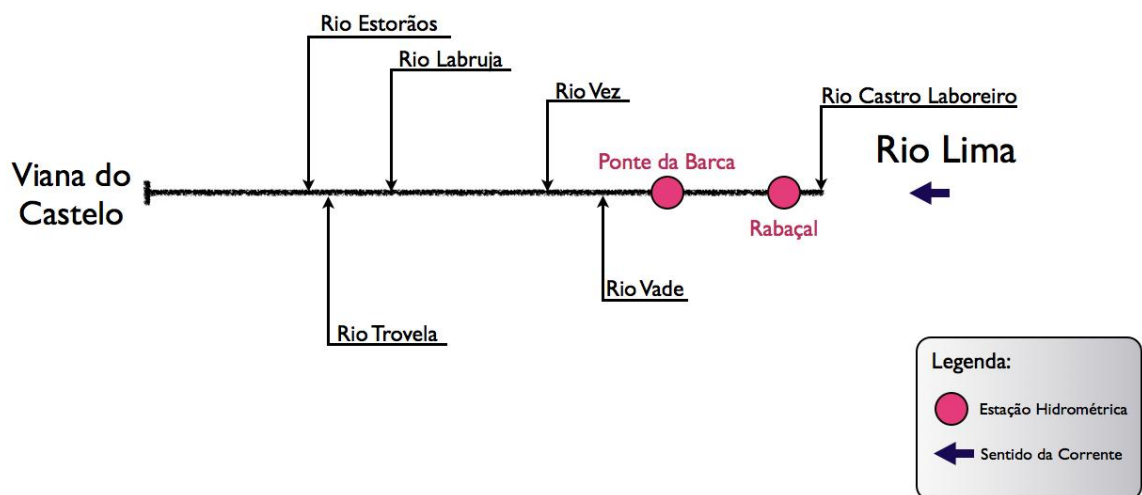


Figura 51 - Esquema da rede hidrográfica com as estações hidrométricas seleccionadas.

Atendendo ao mencionado, explica-se então, o porquê da eliminação sucessiva das estações hidrométricas, que levou à utilização apenas das duas estações hidrométricas referidas, Ponte da Barca e Rabaçal.

Assim, para além da já justificada eliminação da Barragem Salas foram também desde logo eliminadas as estações localizadas em afluentes, uma vez que, conforme referido em 6.1., apenas se pretendiam analisar dados medidos no troço principal do rio. Assim, anularam-se as estações: Ameijoeira, Ponte de Santar, Pontilhão de Celeirós e Tibo da Gavieira. Em seguida, analisaram-se os dados hidrométricos disponíveis para as restantes estações, constatando-se que existiam estações sem qualquer tipo de dados hidrométricos disponíveis, sendo retiradas do nosso estudo. Estas estações são as seguintes: Barco, Passagem, Ponte Tamente e Vila Chã.

Tal como referido anteriormente, a análise das estações hidrométricas e a análise das estações de qualidade (explicada detalhadamente no sub-capítulo 6.3.) foi feita simultaneamente. Assim, convém ter presente que a selecção das estações hidrométricas foi realizada com o intuito de comparar as medições dos valores de caudais com os parâmetros de qualidade determinados em estações de qualidade próximas. Assim, tendo isto em conta, eliminaram-se da análise as estações hidrométricas do Alto Lindoso, Barragem do Lindoso e Touvedo, uma vez que as estações de qualidade próximas destas também foram eliminadas, devido ao facto destas estações se situarem junto a aproveitamentos hidroeléctricos o que origina a modificação dos parâmetros de qualidade (o que não é benéfico para analisar as relações pretendidas). No entanto, deverá assinalar-se que, na realidade, alguns dos dados medidos nestas estações foram tidos em consideração, conforme se verá no âmbito das considerações do sub-capítulo 6.4., uma vez que se pensou ser potencialmente interessante efectuar uma comparação dos caudais medidos nestas estações com os das estações hidrométricas utilizadas. De forma a permitir uma percepção do efeito das barragens de Lindoso e de Touvedo nos valores dos caudais utilizados neste estudo.

Continuando com a descrição do método de selecção das estações, pode-se salientar que para as estações ainda não eliminadas nesta fase de exposição (Forno da Cal, Ponte da Barca, Ponte de Lima (1), Ponte de Lima (2) e Rabaçal) se fez uma análise dos parâmetros hidrométricos medidos nas estações referidas. Isto foi feito com o intuito de verificar se existiam dados para determinar os caudais mensais. Deste modo, considerou-se que dos vários dados hidrométricos existentes, seria útil utilizar os

valores dos caudais médios diários¹⁵. Contudo, a estação de Ponte da Barca (2) não tinha registos destes caudais, como tal foi excluída da análise.

Assim, para as restantes estações, analisaram-se os valores de caudais médios diários (que englobam os dados obtidos de forma convencional e automática), para as restantes estações, tendo-se em atenção o período de tempo de medição em cada uma delas. As estações analisadas e o período de tempo de medição respectivo, podem ser observados na tabela 19.

Tabela 19 – Estações seleccionadas e períodos de tempo de medição dos caudais médios diários (m³/s) correspondentes.

Estação	Código	Rio	Data início	Data final
Forno da Cal	03F/01H	Lima	04-10-1978	30-09-1988
Ponte da Barca	03G/02H	Lima	01-10-1978	16-06-2010
Ponte de Lima (1)	03F/02H	Lima	16-04-1945	12-11-2006
Rabaçal	03G/03H	Lima	01-10-1971	30-09-2004

Como referido anteriormente, devido ao facto das lacunas existentes nos dados serem tão elevadas, procurou-se escolher estações hidrométricas e de qualidade (o modo de escolha destas estações será descrito no sub-capítulo seguinte) que contivessem dados correspondentes aos anos anteriormente seleccionados e referidos na tabela 9 (ano 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008). Como tal, pôde concluir-se que os dados correspondentes à estação de Forno da Cal não são relevantes para este estudo, uma vez que o período de tempo de medição não inclui nenhum dos anos seleccionados.

Posteriormente, nas estações restantes, ou seja, nas estações de Ponte da Barca, Ponte de Lima (1) e Rabaçal, efectuou-se então uma observação mais detalhada dos valores de caudais médios diários. Assim, eliminou-se a análise da estação de Ponte de Lima, pois a partir do 30/09/1990 existia uma grande lacuna nos dados surgindo apenas a partir dessa data um valor para o dia 12/11/2006 (data em que finaliza o período de dados disponíveis nesta estação, como se pode observar na tabela 19).

Para uma melhor percepção de todo o processo de selecção das várias estações existentes (o qual foi explicado ao longo deste sub-capítulo) construiu-se o diagrama

¹⁵ Convém salientar que os dados correspondentes ao nível hidrométrico instantâneo e ao nível médio diário são parâmetros que também permitiriam obter os valores de caudais, contudo seriam necessárias as curvas de vazão (estas não são conhecidas).

representado na figura 52. Nestes podem-se verificar os vários critérios estabelecidos e necessários neste estudo, o que levou à exclusão das várias estações.

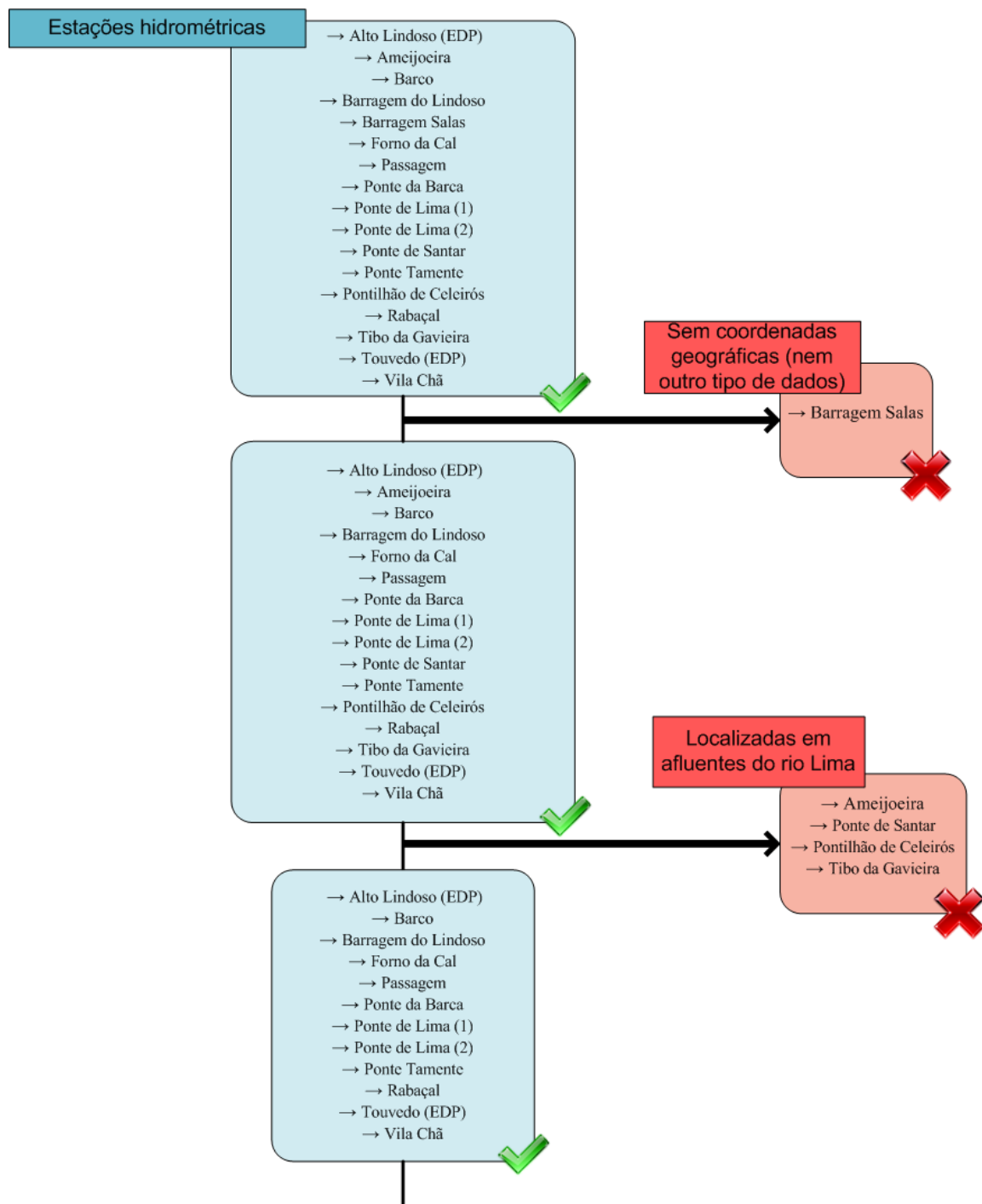


Figura 52 – Processo de selecção das estações hidrométricas.

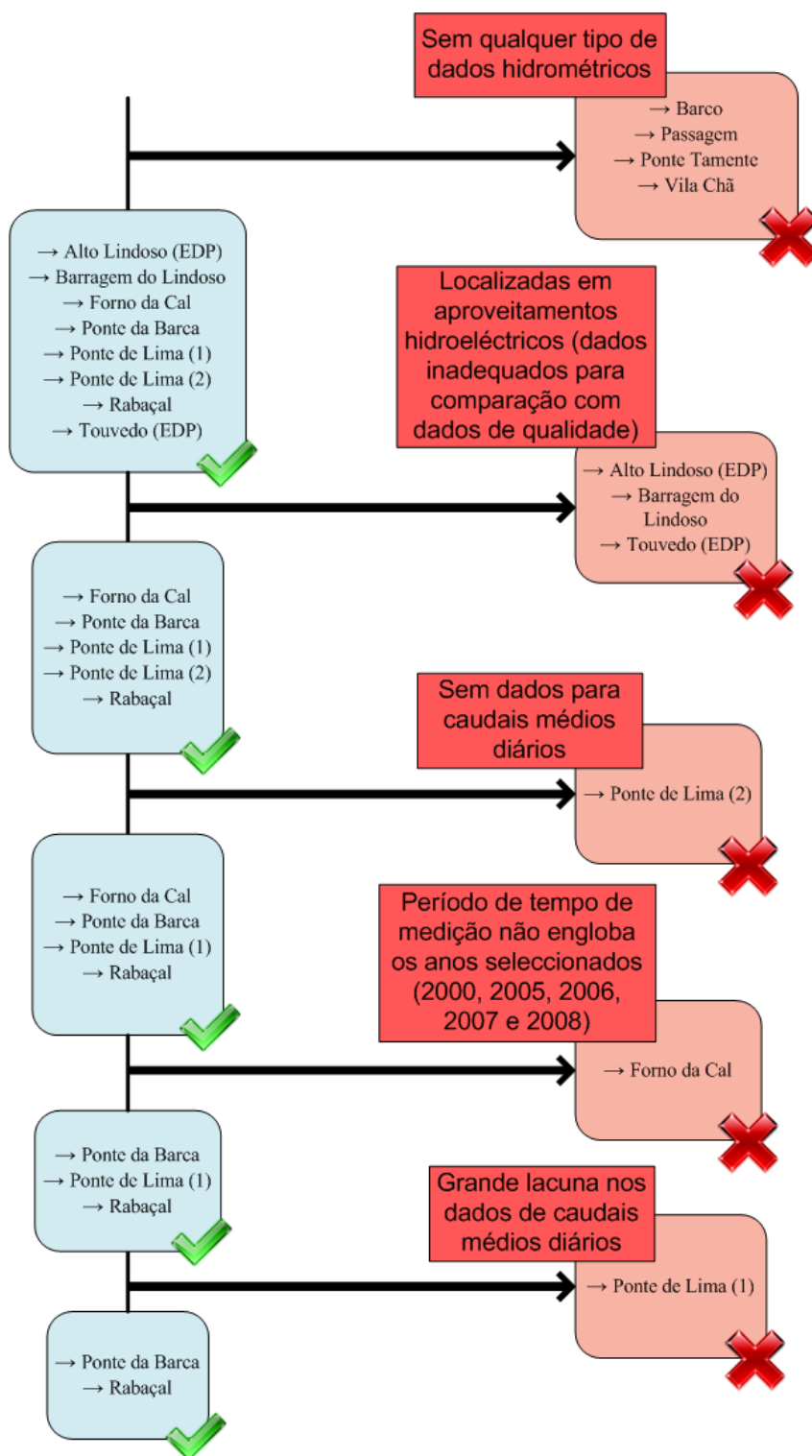


Figura 52 (Continuação) – Processo de selecção das estações hidrométricas.

Convém salientar que mesmo para as estações seleccionadas, ou seja, as estações de Ponte da Barca e Rabaçal verificou-se a existência de várias lacunas nos dados. Assim,

nenhuma delas possuía dados completos para os anos seleccionados (ou seja, os anos de 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008). Destes, a estação de Rabaçal possuía apenas valores para o ano de 2000, enquanto que a de Ponte da Barca apresentava valores para os restantes anos (para o ano de 2000 não tinha qualquer valor). Como tal, neste estudo, utilizam-se os dados de ambas as estações para a avaliação de relações entre os caudais, precipitação e posteriormente entre os anteriores e os parâmetros de qualidade.

6.3 ANÁLISE DAS ESTAÇÕES DE QUALIDADE E METEOROLÓGICAS DE ACORDO COM A PROXIMIDADE ENTRE ELAS

Como referido anteriormente, neste capítulo pretende-se verificar a relação existente entre a precipitação, os caudais e os parâmetros de qualidade. Para esta relação ser obtida de forma (que se julga) mais precisa, devem-se seleccionar estações meteorológicas, hidrométricas e de qualidade, próximas umas das outras. Assim, após o processo descrito no sub-capítulo anterior (6.2.) verificou-se que as estações hidrométricas a utilizar no estudo seriam as do Rabaçal e Ponte da Barca. Neste sub-capítulo pretende-se expor quais as estações de qualidade e meteorológicas seleccionadas.

Deste modo, para os anos seleccionados (para os anos de 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008) e para as estações localizadas no troço principal do rio Lima, analisaram-se os dados de qualidade seleccionados¹⁶ e disponíveis. Assim, constatou-se que existiam dados disponíveis, para apenas 3 estações, Fonte Velha, Bertandos e São João. A primeira, a estação de Fonte Velha, não possuía qualquer tipo de dados para 2000. Para este mesmo ano, a estação de Ponte da Barca, não possuía uma série de dados completa¹⁷. No ano de 2007, nenhuma das estações apresentava uma série completa de dados para o parâmetro azoto amoniacal. Dentro dos anos seleccionados e das três estações referidas, também se efectuou à eliminação da avaliação do parâmetro CBO 5 dias em alguns dos anos, uma vez que todos os dados respectivos apresentavam o valor “<2,0”. Isto observou-se, na estação de Fonte Velha e de São João para o ano 2008. Para a estação de Bertandos o referido verificou-se para todos os anos seleccionados,

¹⁶ Parâmetros: azoto amoniacal, CBO 5 dias, coliformes fecais, estreptococos fecais, oxigénio dissolvido – lab., sólidos suspensos totais.

¹⁷ Estipulou-se que uma série de dados incompleta seria a que possuísse a ausência de registos para um período superior a dois meses.

excepto para o ano 2005. Para as estações que possuíam dados de CBO 5 dias com dois ou mais valores diferentes de “<2,0” optou-se por analisar esses anos, retirando-se aos dados “<2,0” o “<”, ou seja, considerou-se que o valor medido era igual a 2,0. Procedeu-se desta forma, pois ao optar-se por eliminar estas séries de dados existiria uma impossibilidade de utilizar o parâmetro CBO 5 dias. Desta forma, face aos objectivos pareceu-nos preferível usar estes dados apesar das limitações. Os dados medidos em cada uma das estações de qualidade referidas (Fonte Velha, Bertandos e São João), representam-se no anexo E, na tabela E1.

Em suma, as estações hidrométricas seleccionadas foram as de Ponte da Barca e Rabaçal; e as de qualidade foram as de Fonte Velha, Bertandos e São João. Tendo em atenção cada um dos tipos de estações, reconheceu-se que as estações mais próximas das estações hidrométricas é a de Fonte Velha. Em relação às estações Bertandos e São João não se verificou a existência de uma estação hidrométrica próxima e com dados para os anos seleccionados (tal como explicado anteriormente, no sub-capítulo 6.2.) o que fez com que se optasse por usar os dados das estações de Rabaçal e de Ponte da Barca. Isto foi feito apesar destas estações se situarem a uma distância considerável das estações de Bertandos e São João. Assim, convém salientar que os dados de caudais existentes junto destas estações, deverão ser diferentes aos medidos nas estações hidrométricas representadas, devido à existência de vários afluentes, a jusante das estações de Rabaçal e Ponte da Barca.

No que concerne, à selecção das estações meteorológicas mais adequadas, considerou-se que seriam as de Ponte da Barca e Ponte de Lima. A primeira foi escolhida uma vez que, tal como se pode observar na figura 53, as estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e a estação Fonte Velha se situam dentro do seu polígono de Thiessen, isto é, dentro da sua área de influência. Este raciocínio foi seguido também para as outras duas estações de qualidade, Bertandos e São João que estão inseridas no polígono Thiessen, da estação de Ponte de Lima, como se pode observar na mesma figura. Na figura 54 pode-se observar um esquema representativo da rede hidrográfica do rio Lima (representando-se o rio Lima e os seus principais afluentes) e a localização, nesta rede, das estações hidrométricas e de qualidade seleccionadas. As estações meteorológicas não estão representadas neste esquema, uma vez que estas não se situam junto da linha de água.

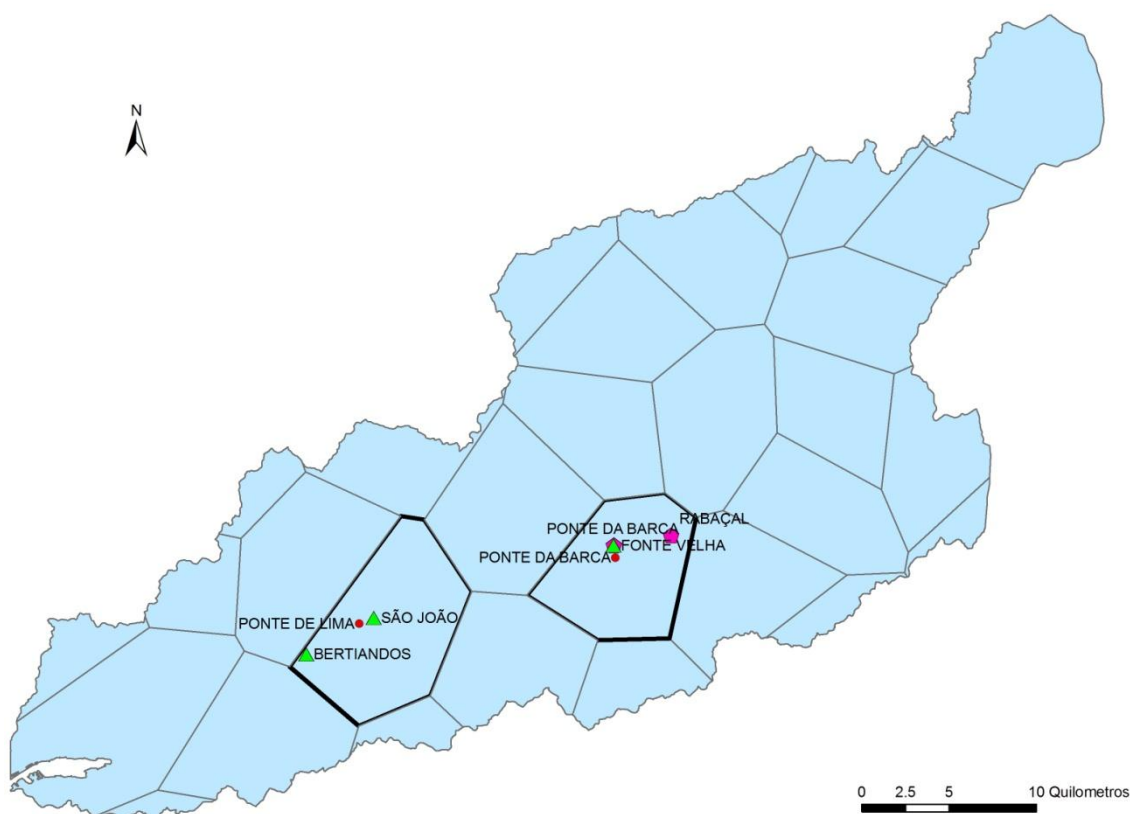


Figura 53 – Localização das estações meteorológicas, hidrológicas e de qualidade seleccionadas.

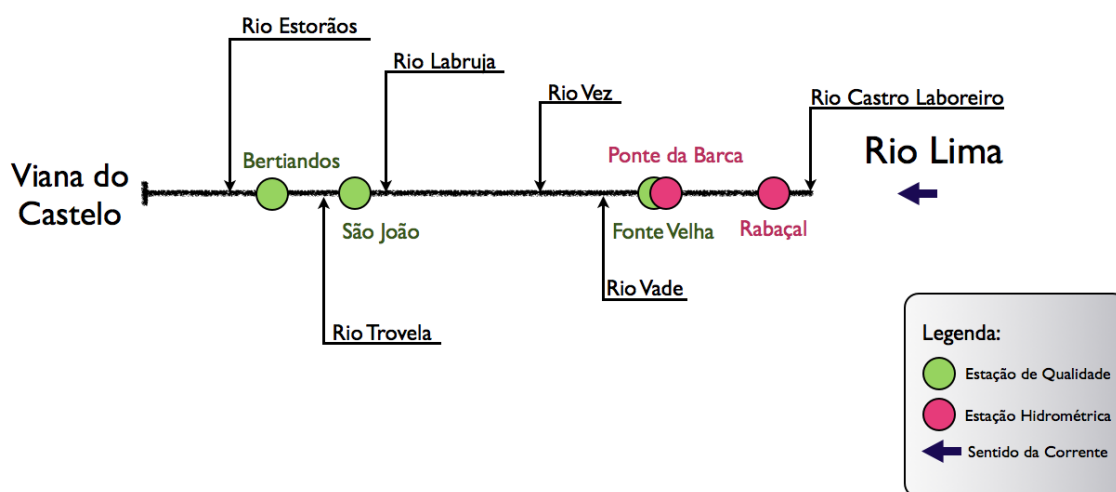


Figura 54 - Esquema da rede hidrográfica com as estações de qualidade e hidrométricas seleccionadas.

6.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE O CAUDAL E A PRECIPITAÇÃO

Após a escolha das estações hidrométricas, meteorológicas e de qualidade, com dados para os anos seleccionados neste estudo (ou seja, os anos de 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008) e situadas relativamente próximas entre elas, pretendia-se encontrar uma relação entre esses dados. Contudo, em primeiro lugar, achou-se relevante verificar a inter-relação de comportamento dos dados de precipitação e de caudais.

Deste modo, tal como referido anteriormente, de forma a obter séries de dados completas (para cada ano seleccionado) usaram-se para o ano 2000 valores da estação de Rabaçal, enquanto para os anos de 2005, 2006, 2007 e 2008 se utilizaram dados da estação de Ponte da Barca. Também como referido antes, e como se pode confirmar pela observação da figura 53, a correspondente estação meteorológica escolhida para análise foi a de Ponte da Barca.

Assim, com os dados destas estações construíram-se gráficos onde se relacionam os dois tipos de variáveis (meteorológicas e hidrológicas) para os anos seleccionados, os quais também se encontram representados no anexo F na tabela F1. Os gráficos obtidos estão nas figuras 55 a 59.

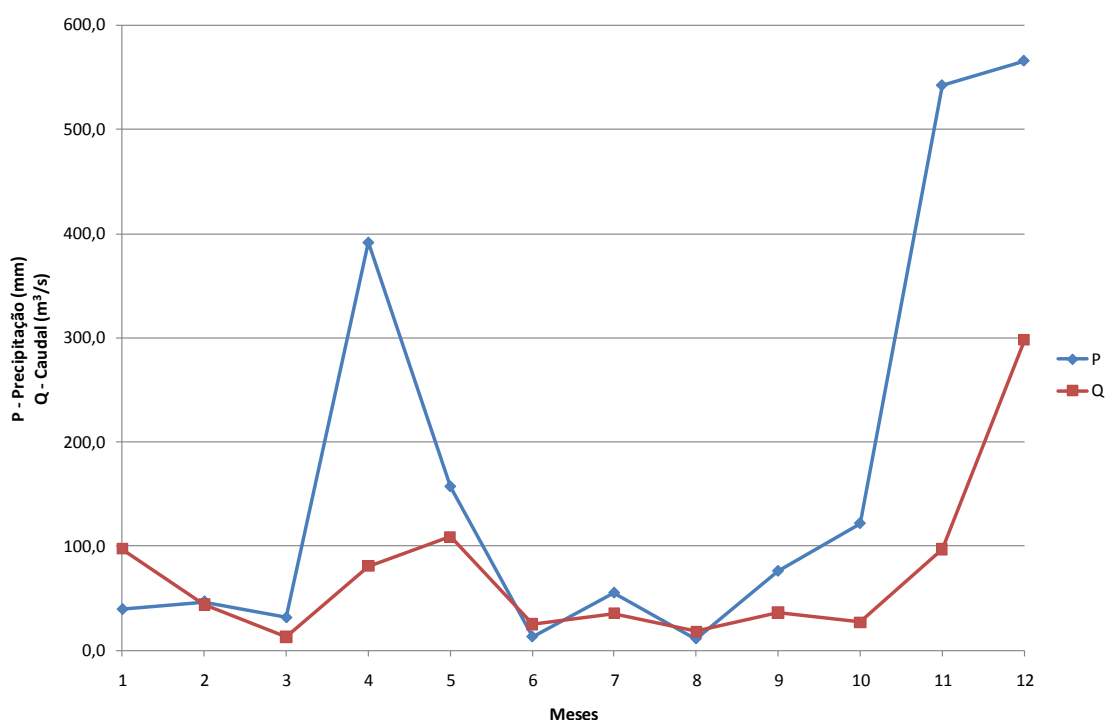


Figura 55 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2000 (ano húmido).

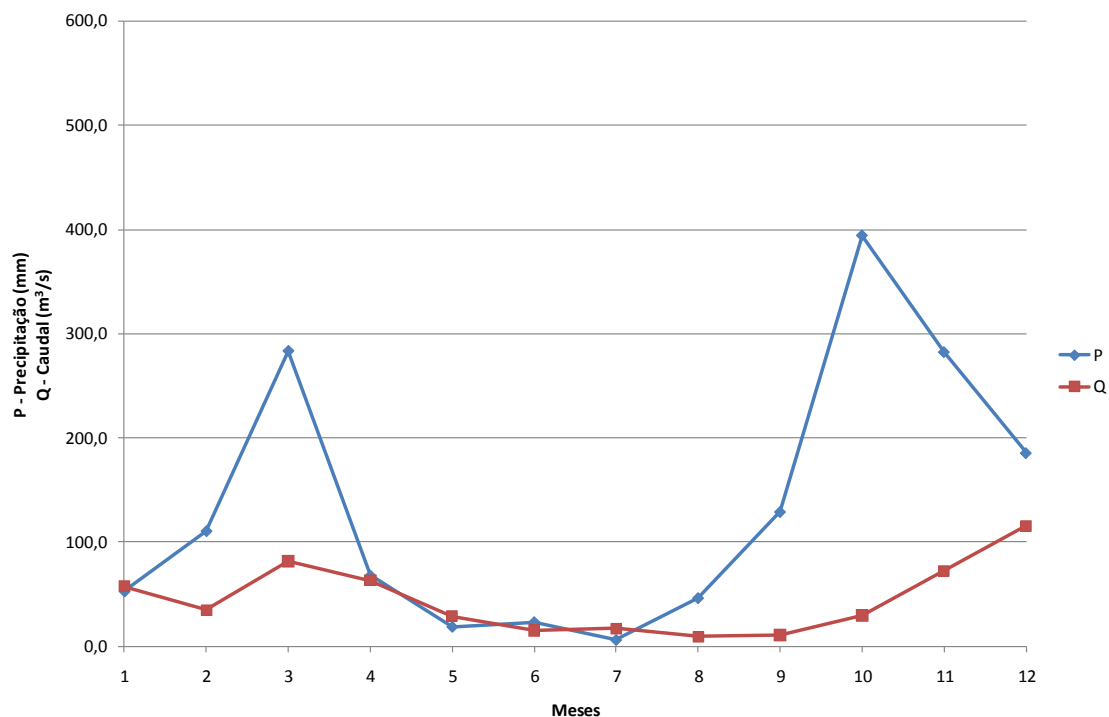


Figura 56 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2006 (ano próximo do normal).

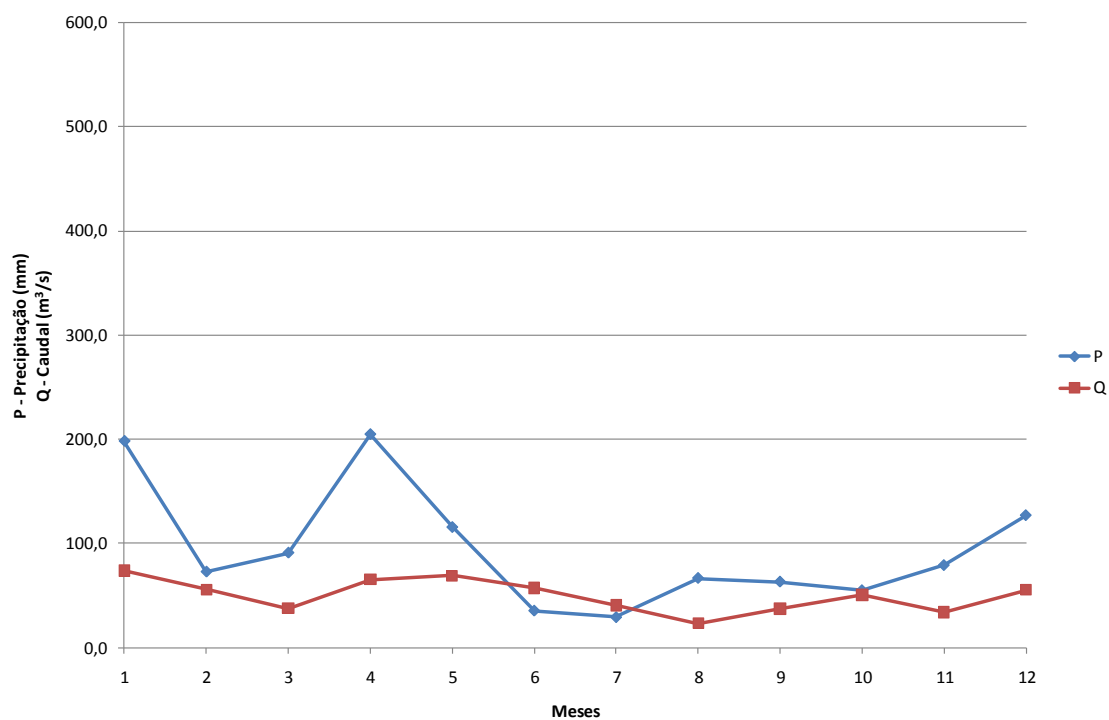


Figura 57 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2008 (ano de seca moderada).

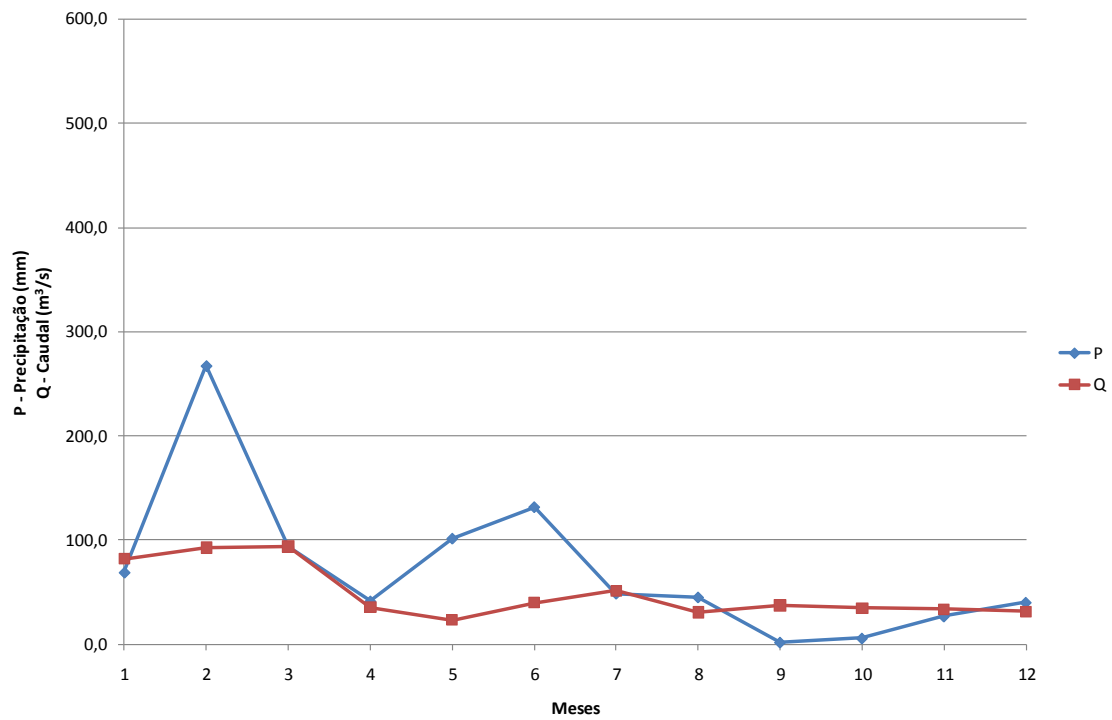


Figura 58 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2007 (ano de seca severa).

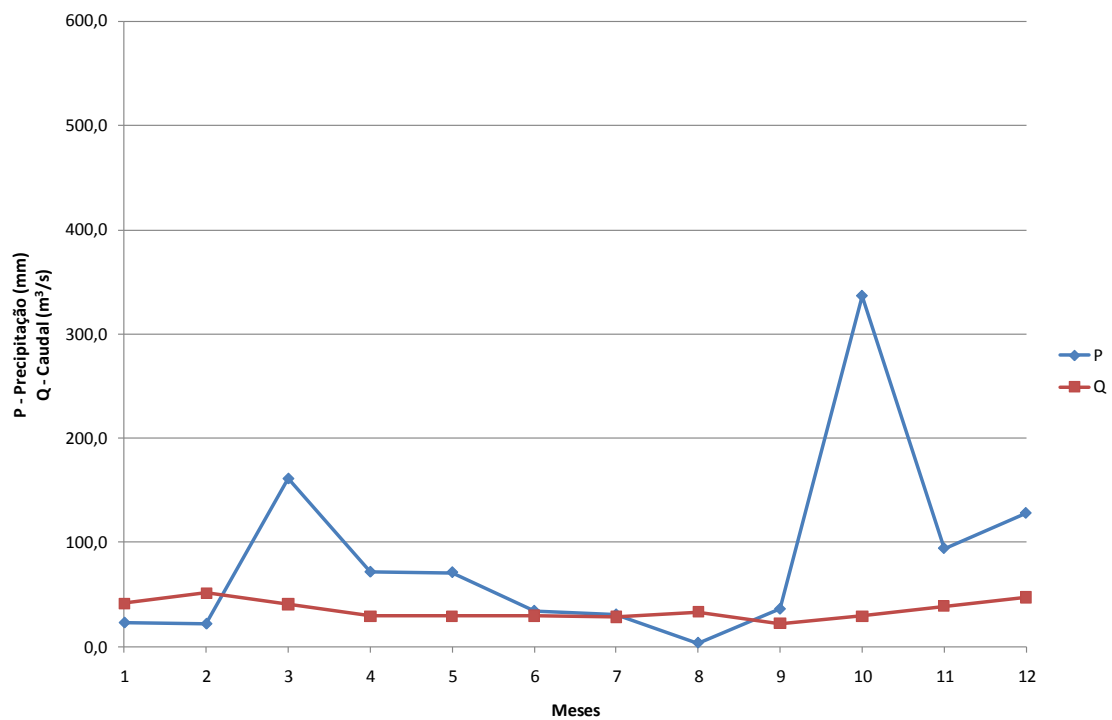


Figura 59 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação para o ano 2005 (ano de seca extrema).

Através da observação dos gráficos, representados nas figuras 55 a 59, verifica-se que o comportamento mais similar, entre a precipitação e os valores de caudais, ocorre para o ano húmido diminuindo a correspondente relação causa e efeito à medida que os anos se evidenciam mais secos. De facto nos anos mais secos pode-se observar que os valores de precipitação não demonstram um efeito imediato nos valores dos caudais, o que se pode dever essencialmente a um superior défice de humidade no solo nestes anos. Desta forma, grande parte da precipitação existente infiltra-se no solo não tendo uma influência evidente nos valores dos caudais. Também, uma vez que esta bacia é composta maioritariamente por afloramentos graníticos, o escoamento subterrâneo não terá grande influência, o que pode contribuir para o comportamento das variáveis analisadas nos gráficos anteriores.

Independentemente do referido, observa-se, no entanto, que a variação dos valores de caudais, para os vários anos, não é muito significativa. Isto deve ocorrer essencialmente devido à regularização dos caudais existente, o que se deve aos aproveitamentos hidroeléctricos localizados a montante destas estações (barragem do Lindoso e barragem do Touvedo). Como se pode verificar na figura 49, as estações hidrométricas do Alto Lindoso e Barragem do Lindoso (situadas junto à barragem do Lindoso) situam-se no troço inicial da parte portuguesa do rio Lima, modificando numa base geral os caudais afluentes para jusante das mesmas. Também nesta figura, se pode observar que a estação de Touvedo se encontra entre as estações referidas (do Alto Lindoso e Barragem do Lindoso) e as estações hidrométricas seleccionadas, sendo por isso também relevante, uma vez que o caudal também vai sofrer regularização nesta estação. Deste modo, analisaram-se os dados hidrométricos (caudais afluentes e efluentes) disponíveis no SNIRH para as estações de Alto Lindoso, Barragem do Lindoso e Touvedo. Desde logo se pôde aferir que a estação Barragem do Lindoso foi extinta, sendo o seu encerramento feito em 1973, previamente à construção da barragem do Lindoso. Assim, com os dados disponíveis, construíram-se gráficos onde se representaram os valores de caudais afluentes e efluentes medidos nas estações do Alto Lindoso e Touvedo. Para efeitos de comparação, também se representaram os caudais medidos pelas estações seleccionadas neste estudo (Ponte da Barca e Rabaçal). Para efeito desta exposição, optou-se por apenas apresentar a análise dos valores correspondentes ao de 2003, ano próximo do normal, que se julga permitir só por si, evidenciar os efeitos das barragens em questão. Estes valores apresentam-se no anexo F, na tabela F2. O correspondente gráfico está representado na figura 60. Convém salientar

que os dados de caudais afluentes e efluentes foram obtidos através do site <http://snirh.pt> em 10/08/2010 21:57.

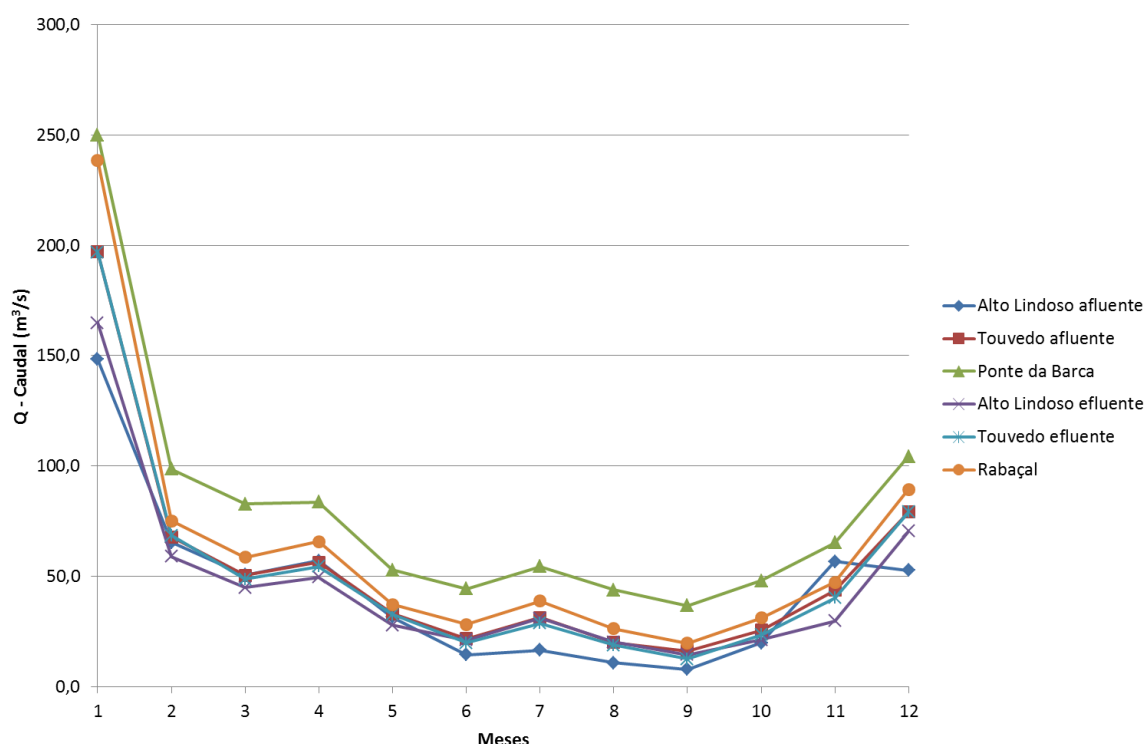


Figura 60 – Comparação dos caudais afluentes, efluentes (medidos nas estações do Alto Lindoso e Touvedo) e os caudais utilizados neste estudo, em 2003, ano próximo do normal.

Através da observação do gráfico representado na figura 60, pode-se notar que os valores dos caudais afluentes e efluentes medidos na estação do Alto Lindoso, variam de forma significativa. Isto seria de prever, tal como referido anteriormente, devido à existência da barragem do Lindoso. Assim, pode-se observar, que existem períodos em que o caudal afluente é superior ao efluente e vice-versa. Tal devido à regularização dos caudais, possível graças à capacidade de armazenamento de água na albufeira do Lindoso que permite, por exemplo, que em períodos em que o caudal afluente (em primeira análise, próximo do natural) seja inferior ao necessário para turbinamento, possa existir um caudal efluente superior ao afluente. No que concerne ao comportamento dos caudais afluentes e efluentes, medidos na estação do Touvedo, pode-se aferir que o seu valor é praticamente coincidente, expressando a pequena capacidade de armazenamento associada ao correspondente aproveitamento.

Também se pode observar que, pelo acima referido, o comportamento do caudal efluente, medido na estação do Alto Lindoso, condiciona o comportamento dos valores do caudal afluente ao Touvedo e o valor de todos os outros caudais medidos a jusante dessa barragem, e apresentados na figura 60, sendo que todos apresentam similar evolução mensal. Isto é, a variação dos caudais provocados pela barragem do Lindoso para jusante desta, conduz e é a causa da modificação dos caudais (naturais) medidos nas restantes estações. Pode-se ainda salientar que, como seria de esperar, o valor dos caudais medidos nas estações Ponte da Barca e Rabaçal são superiores ao de todas as outras estações representadas na figura 60. Isto deve-se à sua localização no rio Lima, ou seja, uma vez que se encontram a jusante das estações do Alto Lindoso e Touvedo sofrem contribuição da precipitação que ocorre na sua área de influência da bacia. Deste modo, uma vez que a estação de Ponte da Barca se encontra a jusante da estação do Rabaçal, os valores de caudais medidos nesta estação são ainda superiores aos medidos na estação de Rabaçal. Releve-se, entretanto, que os afluentes (e efluentes) do Touvedo são menores do que aqueles, tendo mesmo, nos meses mais secos, valores muito próximos aos efluentes do Alto Lindoso (de destacar o mês de Agosto em que a diferença entre eles é inferior a $2 \text{ m}^3/\text{s}$), traduzindo um menor acréscimo da área da bacia hidrográfica (e contribuição de caudais de afluentes) relativamente ao Alto Lindoso do que as referidas estações de Ponte da Barca e Rabaçal. Assim, através dos gráficos da figura 60 é possível aferir que, como seria de prever, a influência de aproveitamentos hidroeléctricos com capacidade de armazenamento condiciona o comportamento dos caudais utilizados e consequentemente dificulta o estabelecimento de relações entre os caudais utilizados neste estudo e outros parâmetros.

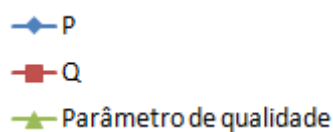
6.5 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO, OS CAUDAIS E OS PARÂMETROS DE QUALIDADE

Após a selecção das estações de qualidade, hidrométricas e meteorológicas, que nos pareceram mais convenientes, procedeu-se à construção de gráficos que permitem demonstrar o comportamento e inter-relação dos parâmetros de qualidade, dos caudais e da precipitação, nas estações referidas. Seguidamente apresentam-se alguns dos gráficos obtidos (figura 61 a 65), tentando-se apresentar aqueles que possuísem um menor número de lacunas de informação, relativa às medições realizadas pelas estações de

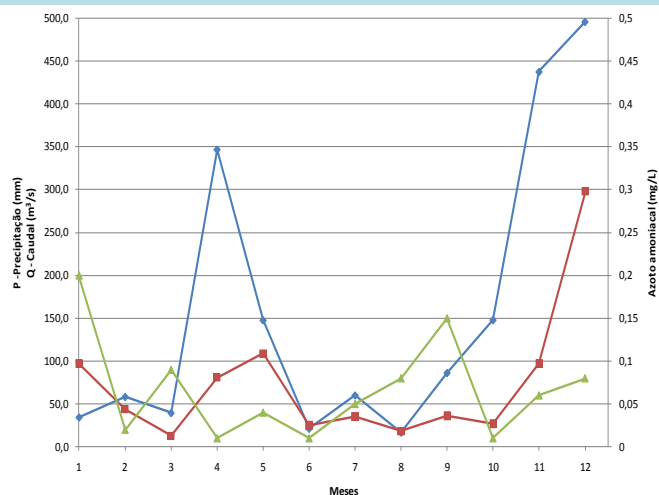
qualidade: Fonte velha, São João e Bertandos. Os restantes gráficos construídos apresentam-se no anexo G (figuras G1 a G9).

6. Relação entre Precipitação, Caudal e Parâmetros de Qualidade

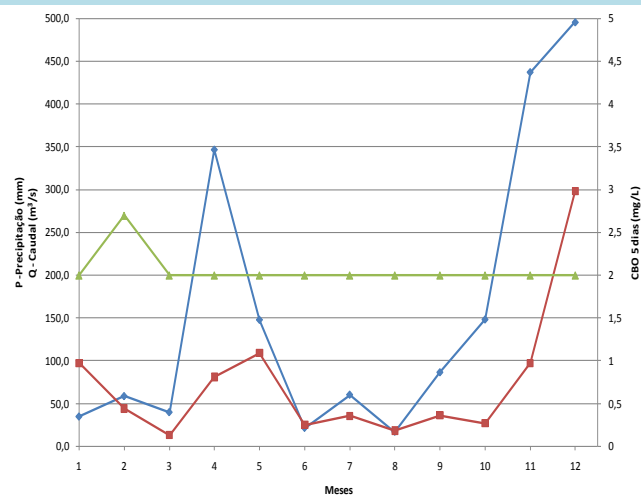
Legenda:



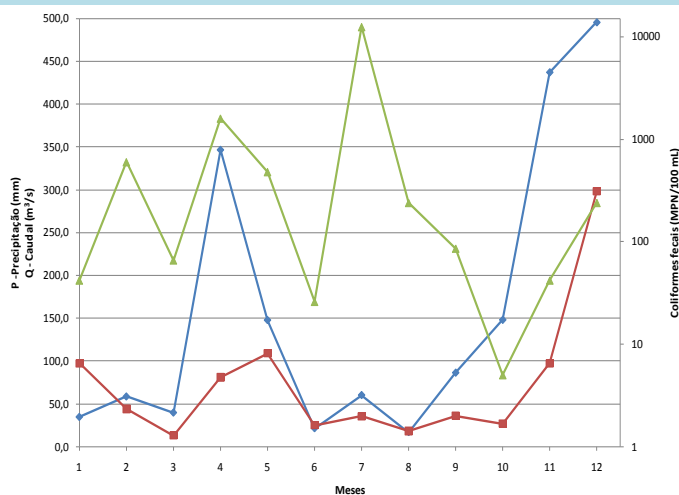
P – Q – Azoto amoniacal



P – Q – CBO 5 dias



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigênio dissolvido-lab.

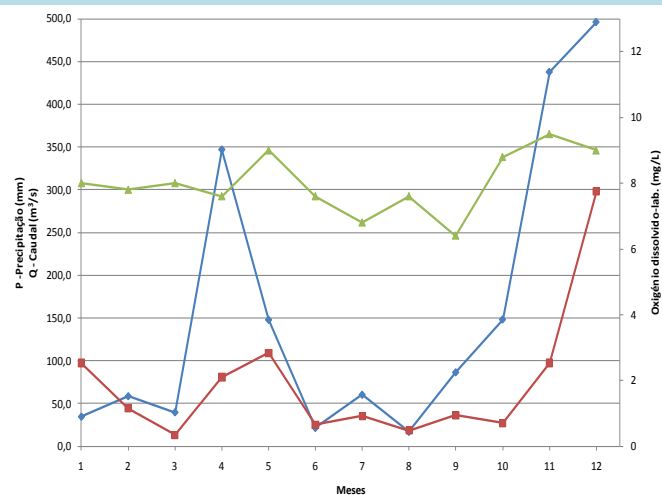


Figura 61 – Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de São João) para o **ano 2000 (ano húmido)**.

P – Q – Sólidos suspensos totais

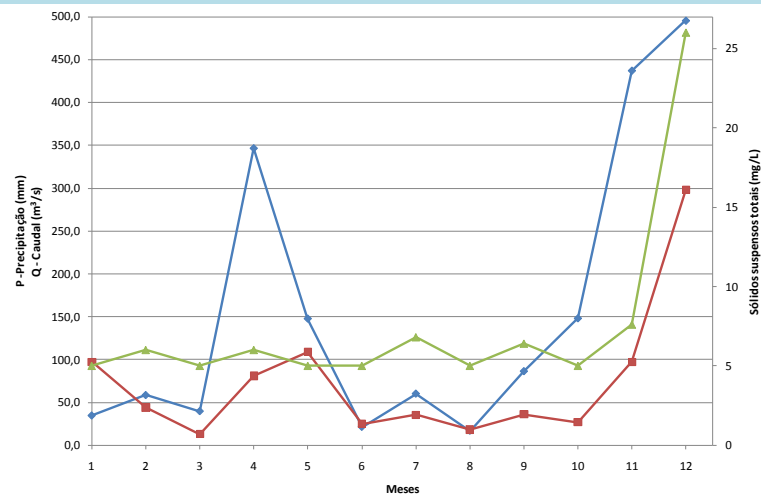
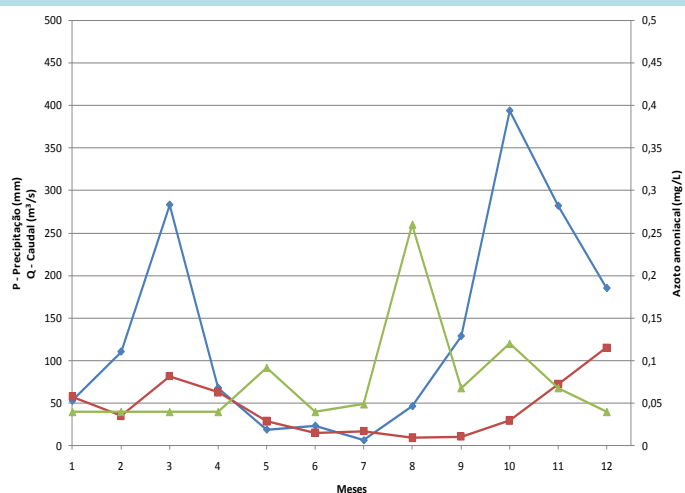
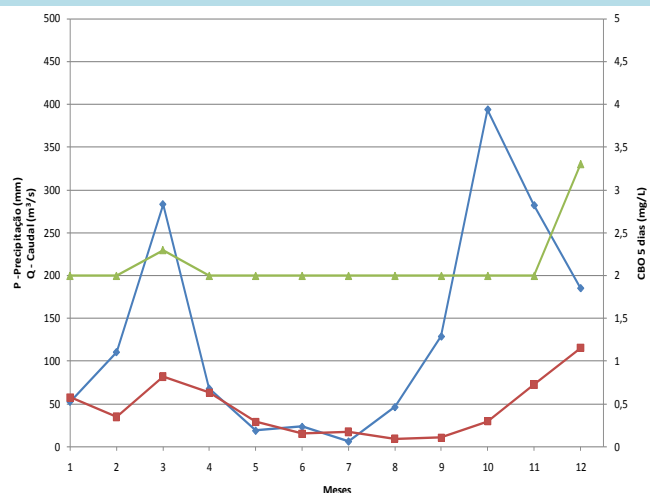


Figura 61 (Continuação) - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de São João) para o ano 2000 (ano húmido).

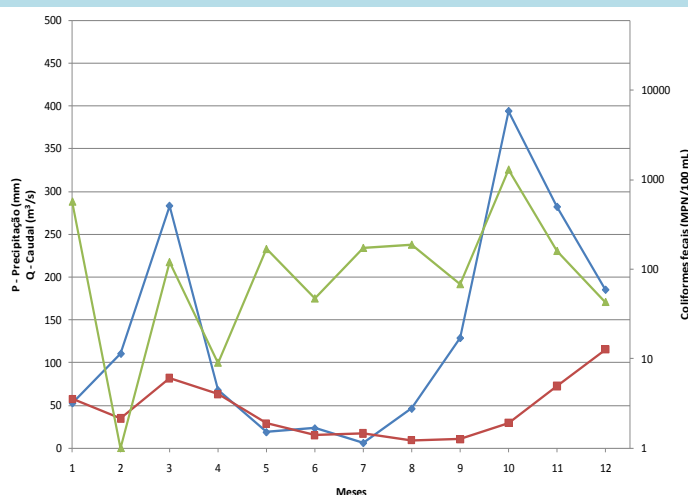
P – Q – Azoto amoniacal



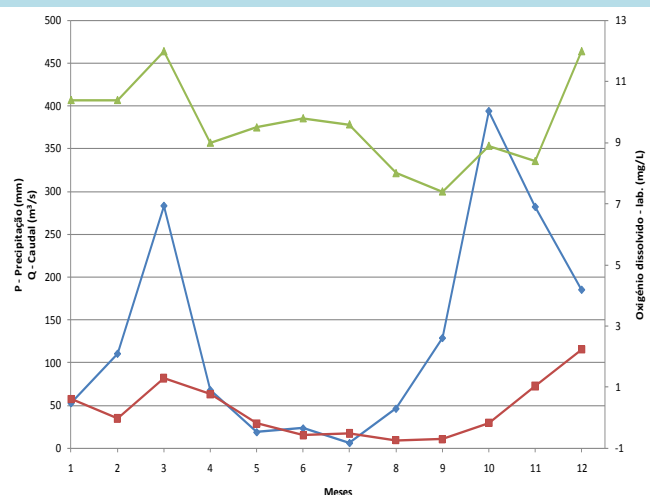
P – Q – CBO 5 dias



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

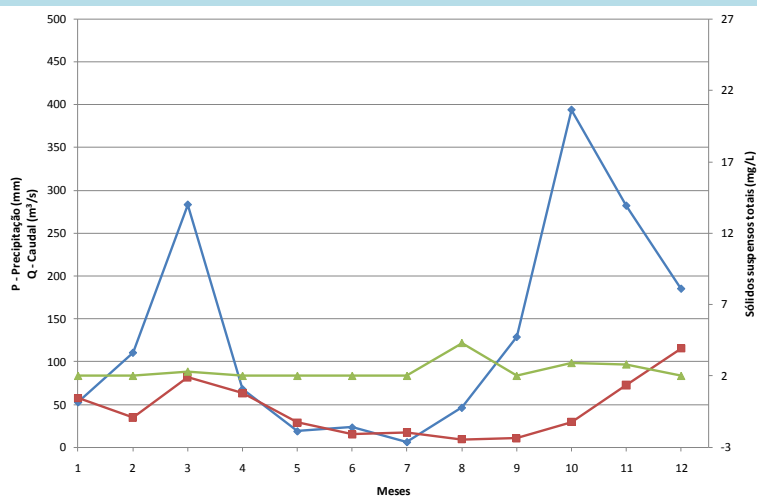


Figura 62- Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o **ano 2006 (ano próximo normal)**.

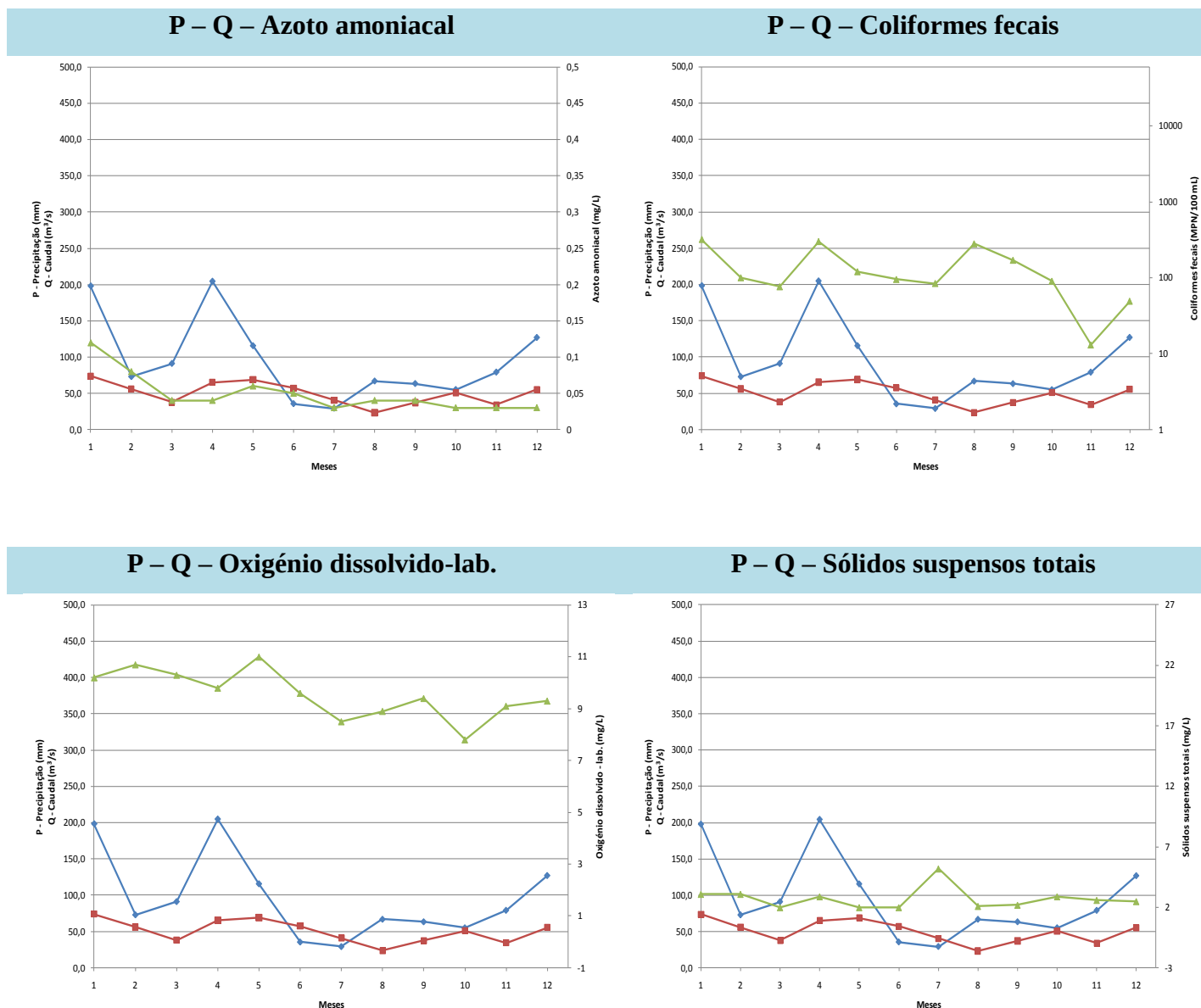


Figura 63 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o **ano 2008 (ano de seca moderada)**.

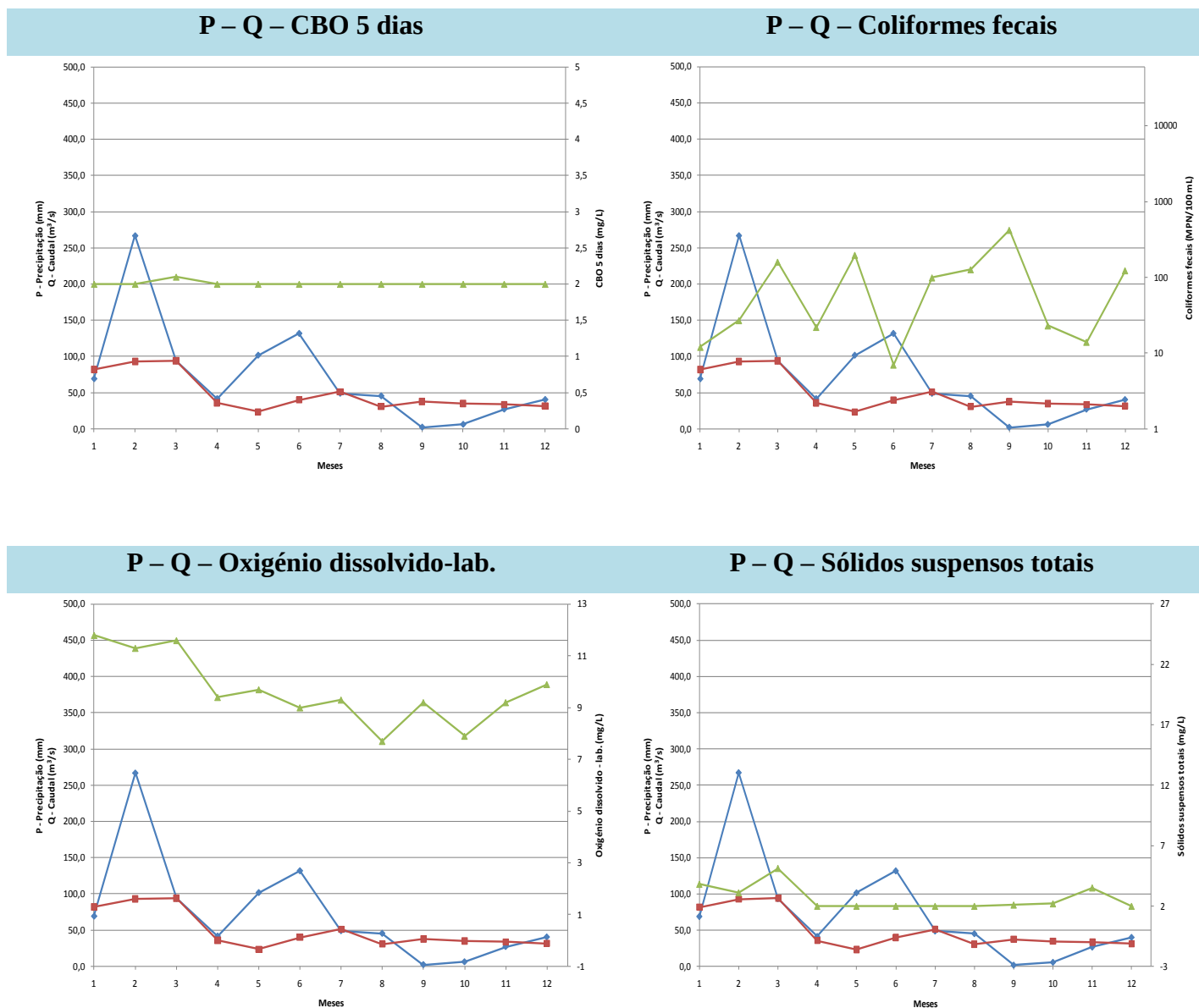


Figura 64 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o **ano 2007 (ano de seca severa)**.

6. Relação entre Precipitação, Caudal e Parâmetros de Qualidade

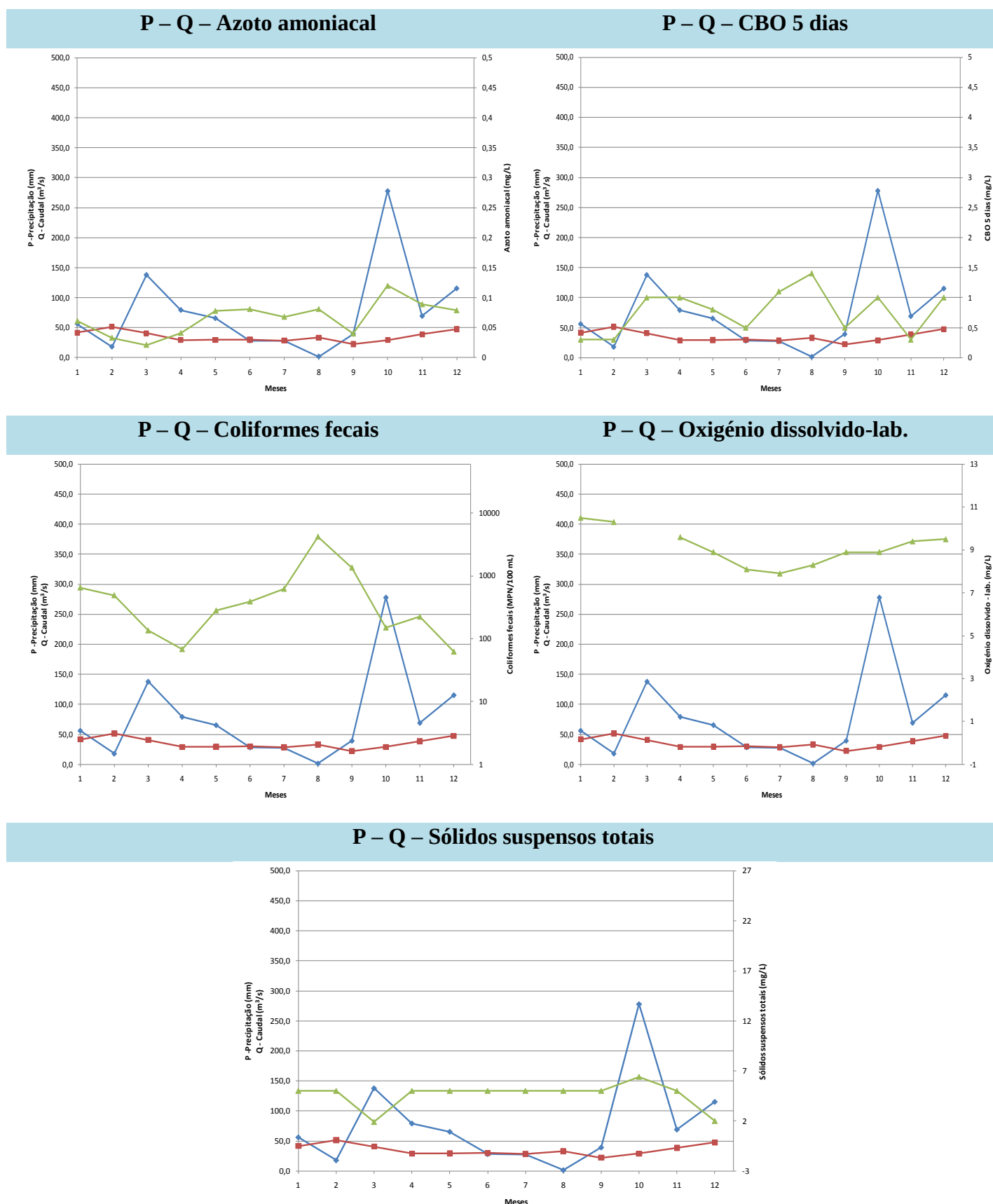


Figura 65 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Bertandos) para o ano 2005 (ano de seca extrema).

A observação dos gráficos, representados nas figuras 61 a 65 e nas figuras do anexo G, não permite identificar qualquer complementaridade entre a variação da precipitação, do caudal e dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo. Isto é, cada uma das variáveis analisadas não parece exercer uma influência significativa sobre qualquer das outras. Ainda assim, seguiu-se o mesmo raciocínio anteriormente utilizado, ou seja, determinou-se a matriz de correlação para as variáveis referidas. Assim, procurou-se verificar a relação existente entre a precipitação, o caudal e os parâmetros de qualidade para cada estação (Fonte Velha, Bertandos e São João), usando os dados apresentados no anexo E, na tabela E1. Seguidamente, na tabela 20, apresentam-se os valores de r , N e p obtidos.

A leitura destas tabelas deve ser feita tendo em conta que, estas começam por demonstrar (linhas de P) a relação existente entre a precipitação (como referido anteriormente, para a estação de Fonte Velha utilizaram-se os dados de Ponte da Barca, enquanto que para a de São João e Bertandos usaram-se os dados de Ponte de Lima), com o caudal (medido nas estações de Rabaçal e Ponte da Barca) e com os parâmetros de qualidade medidos em cada uma das estações de qualidade (Fonte Velha, São João e Bertandos). Depois, na mesma tabela (linhas de Q) apresentam-se as correlações existentes entre o caudal e os dados de qualidade medidos nessas estações. Por último (restantes linhas) apresentam-se as correlações obtidas entre os parâmetros de qualidade medidos.

Na tabela 20 foram assinaladas a laranja as relações consideradas operacionalmente significativas (para além de terem de ser estatisticamente significativas, o que é dado pelo valor de r), estipulando-se que correspondem aquelas com um valor de r superior a 0,7.

Tabela 20 – Correlações obtidas para os dados de precipitação, caudais e os parâmetros de qualidade.

			ESTAÇÕES								
			Fonte Velha			São João			Bertiandos		
			r	N	p	r	N	p	r	N	p
V A R I Á V E I S	P	Q	0,6350	60	0,000	0,6385	60	0,000	0,6385	60	0,000
		Azoto amoniacal	0,2132	36	0,212	0,3004	48	0,038	0,1334	48	0,366
		CBO 5 dias	0,0917	48	0,535	0,1082	60	0,411	0,1306	60	0,320
		Coliformes fecais	-0,0307	48	0,836	-0,0167	60	0,899	-0,0792	60	0,548
		Oxigénio dissolvido - lab.	0,1628	47	0,274	0,1868	58	0,160	0,3072	59	0,018
		Sólidos suspensos totais	-0,0651	48	0,660	0,4503	60	0,000	0,3585	60	0,005
	Q	Azoto amoniacal	-0,2518	36	0,139	0,0599	48	0,686	0,0509	48	0,731
		CBO 5 dias	0,2448	48	0,094	0,1762	60	0,178	0,1713	60	0,191
		Coliformes fecais	-0,0999	48	0,499	-0,0376	60	0,775	-0,0069	60	0,958
		Oxigénio dissolvido - lab.	0,6961	47	0,000	0,2712	58	0,040	0,3793	59	0,003
		Sólidos suspensos totais	-0,1115	48	0,450	0,6546	60	0,000	0,2015	60	0,123
	Azoto amoniacal	CBO 5 dias	0,3893	36	0,019	0,1534	48	0,298	-0,0152	48	0,918
		Coliformes fecais	0,5693	36	0,000	-0,0501	48	0,735	0,1504	48	0,308
		Oxigénio dissolvido - lab.	-0,3389	35	0,046	-0,0693	46	0,647	-0,1113	47	0,456
		Sólidos suspensos totais	0,5338	36	0,001	0,0937	48	0,526	0,1068	48	0,470
	CBO 5 dias	Coliformes fecais	0,5945	48	0,000	0,0692	60	0,599	-0,1102	60	0,402
		Oxigénio dissolvido - lab.	0,1174	47	0,432	0,0164	58	0,903	-0,0227	59	0,864
		Sólidos suspensos totais	0,2206	48	0,132	-0,0832	60	0,527	0,0046	60	0,972
	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	-0,1664	47	0,263	-0,3143	58	0,016	-0,2730	59	0,036
		Sólidos suspensos totais	0,8609	48	0,000	0,1228	60	0,350	0,0987	60	0,453
	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais	-0,1887	47	0,204	-0,1922	58	0,148	-0,0806	59	0,544

Através da análise da tabela pode-se observar que quando se relacionam os valores de precipitação com os caudais obtêm-se valores de r (que fornece o grau de associação), ao contrário do que se previa, inferiores aos considerados significativos (r menor que

0,7), estando no entanto, para todas as estações, bastante próximo deste valor. Isto acontece, já que a precipitação contribui para o aumento do volume de água existente no rio, influenciando os caudais existentes.

Do estudo da relação entre o caudal e os parâmetros de qualidade pode-se constatar que, de forma global, não existe uma relação causa-efeito entre estas variáveis. No entanto, pode-se salientar que para o oxigénio dissolvido – lab., existe uma correlação estatisticamente significativa (valores de p inferiores a 0,05) e directamente proporcional (quando o caudal aumenta o valor do oxigénio dissolvido também aumenta) em todas as estações de qualidade. Podendo-se notar, através do grau de associação que esta relação é mais evidente (valor de r muito próximo de 0,7) para a estação de Fonte Velha. Isto seria de esperar, uma vez que as estações hidrométricas seleccionadas se encontravam mais próximas desta estação, podendo existir assim uma maior repercussão nos parâmetros de qualidade da água devido a variações nos caudais. Da análise da tabela 20, também se pode salientar que para a estação Fonte Velha existe um grau de associação relevante (r maior que 0,7) entre os coliformes fecais e os sólidos suspensos totais.

7. REFLEXÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DO TIPO AMBIENTAL EM SITUAÇÕES DE SECA

7.1 INTRODUÇÃO

Como o caminho anterior não se verificou razoável, para o desenvolvimento de um índice ambiental (devido à ausência de correlações significativas entre as variáveis analisadas) tornou-se necessário ponderar outros caminhos para o desenvolvimento deste tipo de índices. Assim, neste capítulo pretendeu-se demonstrar que existem estudos, onde se procura perceber a relação entre os efeitos da seca nas comunidades biológicas aquáticas. Contudo, a quantidade de estudos que procuram perceber esta relação não é ainda muito significativa, apesar de existir um aumento gradual destes. Ainda, a análise destes estudos, permitiu constatar que a forma de abordagem varia bastante em cada um deles. Salienta-se que a análise destes estudos foi feita, desde logo, como estado da arte desenvolvida nesta dissertação. Optou-se, sobretudo por apresentar as constatações efectuadas apenas nos capítulos finais desta dissertação. Isto foi feito, uma vez que da sua análise, não se encontrou um caminho potencialmente relevante para o desenvolvimento de um índice que permitisse estabelecer patamares de alerta a partir dos quais seriam desencadeadas medidas de mitigação dos efeitos da seca na qualidade biológica da água, de forma a afectar o menos possível o estado ecológico dos ecossistemas aquáticos. Todavia, conseguiram-se retirar algumas constatações que poderão ser tidas em conta em trabalhos futuros. Como tal, achou-se conveniente apresentá-las nesta dissertação.

Assim, no sub-capítulo 7.2, enfatizou-se o particular interesse e demonstrou-se a importância do desenvolvimento de indicadores ambientais devido à necessidade de cumprir a DQA (Directiva-Quadro da Água), que pressupõe a avaliação das massas de água (e dentro desta a avaliação do estado ecológico). Posteriormente (no sub-capítulo 7.3), referem-se os vários estudos analisados, bem como, as principais constatações retiradas destes.

Como o caminho anterior não se verificou razoável, para o desenvolvimento de um indicador ambiental (devido à ausência de correlações significativas entre as variáveis analisadas) tornou-se necessário ponderar outros caminhos para o desenvolvimento deste tipo de indicadores. Assim, neste capítulo pretendeu-se demonstrar que existem estudos, onde se procura perceber a relação entre os efeitos da seca nas comunidades biológicas aquáticas. Contudo, a quantidade de estudos que procuram perceber esta relação não é ainda muito significativa, apesar existir um aumento gradual do número de estudos deste tipo. Ainda, a análise destes estudos, permitiu constatar que a forma de abordagem varia bastante em cada um deles. Salienta-se que a análise destes estudos foi feita, desde logo, como estado da arte desenvolvida nesta dissertação. Optou-se, sobretudo por apresentar as constatações efectuadas apenas nos capítulos finais desta dissertação. Isto foi feito, uma vez que da análise dos referidos estudos, não se encontrou um caminho potencialmente relevante para o desenvolvimento de um indicador que permitisse estabelecer patamares de alerta a partir dos quais seriam desencadeadas medidas de mitigação dos efeitos da seca na qualidade biológica da água, de forma a afectar o menos possível o estado ecológico dos ecossistemas aquáticos. Todavia, conseguiram-se retirar algumas constatações que poderão ser tidas em conta em trabalhos futuros. Como tal, achou-se conveniente apresentá-las nesta dissertação.

Assim, no sub-capítulo 7.2, enfatizou-se de particular interesse e demonstrou-se a importância do desenvolvimento de indicadores ambientais devido à necessidade de cumprir a DQA (Directiva-Quadro da Água), que pressupõem a avaliação das massas de água (e dentro desta a avaliação do estado ecológico). Posteriormente (no sub-capítulo 7.3), referem-se os vários estudos analisados, bem como, as principais constatações retiradas destes.

7.2 A DQA E O ESTADO ECOLÓGICO

Cada vez mais verifica-se ser fundamental que a gestão dos ecossistemas aquáticos se baseie numa perspectiva ecocêntrica e não antropocêntrica. Isto é, deve abandonar-se a abordagem clássica da água como recurso e pensar nela como suporte dos ecossistemas. Para que isto seja tido em consideração foi criada a Directiva nº 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000 (Directiva-Quadro da Água – DQA), que foi transposta para a legislação nacional pela Lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água) e pelo Decreto-Lei nº 77/2006, de 30 de Março. O objectivo fundamental desta Directiva é a protecção, a melhoria e a recuperação de todas as massas de água superficiais, com o intuito de alcançar um bom estado ecológico até 2015.

O bom estado das massas de água de superfície é definido em função do pior dos dois estados, ecológico e químico (princípio one out – all out). Na figura 66 pode-se observar de que forma se podem combinar os diferentes elementos de modo a determinar o estado ecológico, o estado químico e o resultante estado da massa de água de superfície (Directiva 2000/60/CE; Lei nº 58/2005; INAG, 2008a e 2009; WISE, 2002).

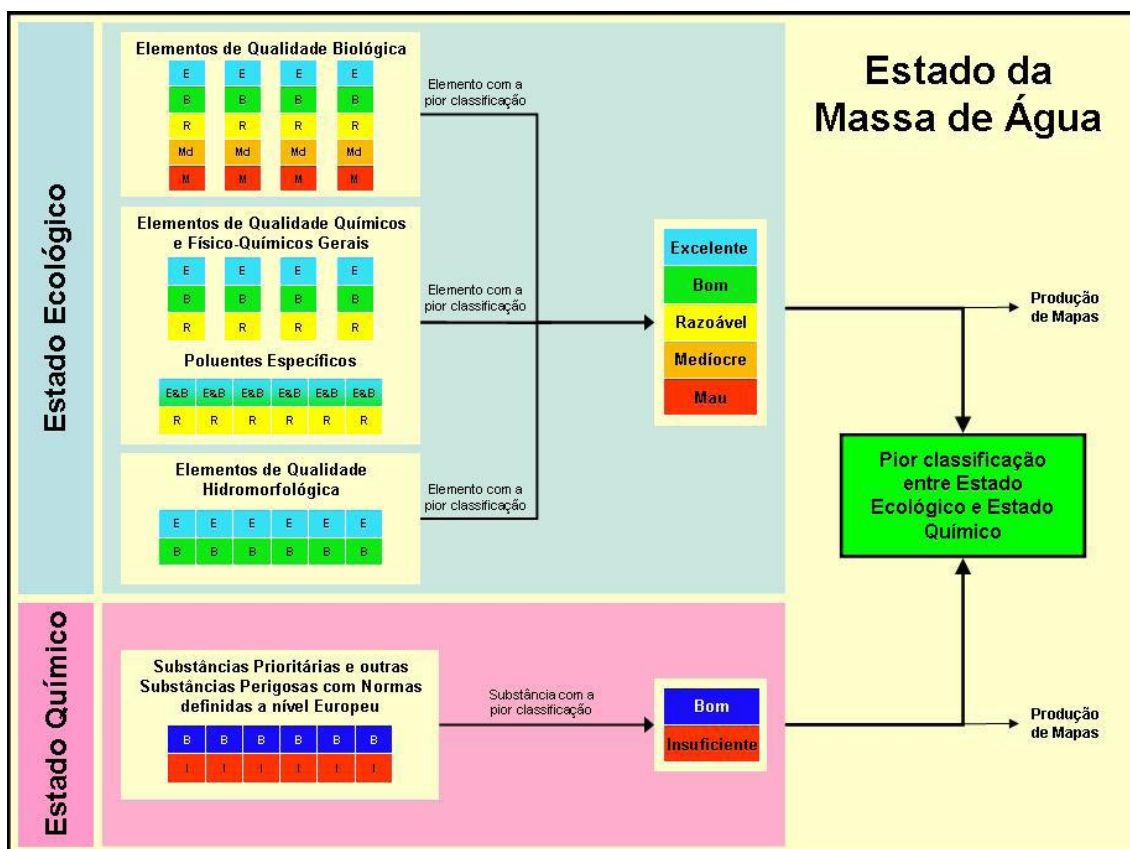


Figura 66 – Esquema do sistema de classificação de uma massa de água superficial no âmbito da DQA (ARH Norte, 2009b).

O estado ecológico é determinado com base em elementos biológicos (como as comunidades de fitoplâncton, macrófitos e fitobentos, invertebrados bentónicos e fauna piscícola) e por elementos abióticos que suportam as comunidades aquáticas: elementos físico-químicos (como oxigénio dissolvido, nutrientes e temperatura) e hidromorfológicos (como caudal, profundidade, vegetação ribeirinha). Assim, tendo como base este conceito, as águas superficiais são encaradas como ecossistemas aquáticos e a avaliação da sua qualidade ecológica é feita sem ter em consideração os usos actuais ou potenciais dessas.

Deste modo, para uma determinada massa de água superficial, define-se o estado ecológico como a expressão do desvio existente (rácio de qualidade ecológica, RQE) entre as características desses elementos nessa massa de água, e as características dos mesmos elementos numa massa de água do mesmo tipo, que se encontre em condições de referência. O estado ecológico de referência corresponde a uma situação em que não

existem pressões antropogénicas significativas (poluição industrial, orgânica, efeitos da intensificação da agricultura, etc.).

O estabelecimento das condições de referência é feito para cada tipo de rio uma vez que se considera que estas categorias são particularmente relevantes para a determinação das condições ecológicas. Para a definição de tipos de rios incluiu-se, no mesmo grupo, massas de água com características geográficas e hidrológicas relativamente homogéneas. No caso português foi aplicado o Sistema B prevista na DQA. Em Portugal Continental, definiram-se 15 tipos de rios. Assim, cada um destes tipos de rios distingue-se dos outros devido às suas características ecológicas regionalizadas, nomeadamente no que se refere à presença e representatividade de diversos tipos habitats (Alves, 2002; Carballo et al, 2009; Directiva 2000/60/CE; INAG, 2008b e 2009; Oliveira et al, 2007; Varandas et al, 2009).

Para o estabelecimento das condições de referência, bem como para a avaliação do estado ecológico de um curso de água e da sua evolução ao longo do tempo, recorre-se ao uso de bioindicadores. Na DQA, para a avaliação do estado ecológico, foram seleccionados vários organismos: diatomáceas, macrófitas, macroinvertebrados bentónicos e ictiofauna.

Para exemplificar a lógica subjacente à utilização de bioindicadores, pode tomar-se como exemplo a comunidade de macroinvertebrados bentónicos. A utilização destes organismos é muito benéfica na medida em que são uma comunidade com uma grande diversidade taxonómica (o que leva à existência de organismos específicos para quase todos os tipos de habitats disponíveis) e com diferentes sensibilidades a vários tipos de pressões humanas (contaminação orgânica, acidificação, degradação morfológica, etc.). Também são susceptíveis a alterações geomorfológicas e hidrológicas, originadas por causas não humanas, o que explica os bons resultados obtidos com esta metodologia e a generalização da sua aplicação para monitorização da qualidade da água (Álvarez-Cabria, et al, 2010; Carballo et al, 2009; INAG, 2008a e 2009).

O que atrás se referiu para os macroinvertebrados bentónicos aplica-se, nas suas linhas gerais, aos restantes bioindicadores previstos na DQA.

Em Portugal Continental, para a classificação do estado biológico das massas de água utilizam-se dois índices de macroinvertebrados bentónicos que são: o Índice Português de Invertebrados Norte (IPTI_N) e o Índice Português de Invertebrados Sul (IPTI_S). O primeiro seria aplicável neste estudo (caso se conseguisse provar a relação causa e

efeito entre a ocorrência de secas e a qualidade da água), uma vez que se aplica à maioria dos tipos de rios do norte de Portugal, como é o caso do rio Lima. As métricas utilizadas para a determinação do índice, os correspondentes factores de ponderação e o modo como se determinam são os seguintes:

$$IPTI_N = N^{\circ} \text{ Taxa} \times 0,25 + EPT \times 0,15 + \text{Evenness} \times 0,1 + (IASPT - 2) \times 0,3 + \text{Log}(\text{Sel. ETD} + 1) \times 0,2$$

Onde,

EPT – N° de famílias pertencentes às ordens *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*;

Evenness – Índice de Pielou ou equitabilidade

IASPT – ASPT Ibérico

Log (Sel. ETD+1) – Log10 de 1 + soma das abundâncias de indivíduos pertencentes às famílias *Heptageniidae*, *Ephemeridae*, *Brachycentridae*, *Goeridae*, *Odontoceridae*, *Limnephilidae*, *Polycentropodidae*, *Athericidae*, *Dixidae*, *Dolichopodidae*, *Empididae*, *Stratiomyidae*

7.3 EFEITOS DA SECA NOS BIOINDICADORES

Tal como referido anteriormente, começou-se por fazer uma pesquisa bibliográfica para fazer um ponto de situação relativamente aos estudos mais recentes sobre a relação entre secas e qualidade da água em rios e o efeito desta nas comunidades biológicas. Todos os estudos analisados de forma mais cuidada (Biggs *et al*, 2005; Boix *et al*, 2010; Boulton *et al*, 1998; Boulton, 2003; Bowman *et al*, 2006; Bunn *et al*, 2002; Caruso, 2002; Cortes *et al*, 2002; Extence, 1981; Humphries *et al*, 2003; Iversen *et al*, 1978; James, *et al*, 2009; Lake, 2003; Larned *et al*, 2010; Lind *et al*, 2006; Matthews *et al*, 2003; McCord *et al*, 2007; Monk *et al*, 2006; Monk *et al*, 2008; Pinna *et al*, 2004; Rader *et al*, 1999; Řezníčková *et al*, 2007; Richter *et al*, 1996; Rose, *et al*, 2008; Sangiorgio *et al*, 2007; Sheldon *et al*, 2006; Stubbington *et al*, 2009; Suren *et al*, 2003; Suren *et al*, 2006; Westwood *et al*, 2006; Wood *et al*, 1999; Wood *et al*, 2000; Wright *et al*, 1999; Wright *et al*, 2004) apesar de não perspectivarem o desenvolvimento de um índice com as potencialidades pretendidas, permitiram, todavia, retirar algumas constatações

importantes e que talvez possam ser tidas em conta em trabalhos futuros. Assim, da consulta dos estudos, ressaltam as linhas de orientação que se apresentam nos parágrafos seguintes.

Em primeiro lugar, é evidente que a relação entre os dois fenómenos é mediada pelas alterações que a seca provoca no regime de caudais dos cursos de água (Bunn *et al*, 2002; Boulton, 2003; Caruso, 2002; Extence *et al*, 1999; Humphries *et al*, 2003; Lake, 2003; Monk *et al*, 2006; Monk *et al*, 2008; Sheldon *et al*, 2006; Stubbington *et al*, 2009; Suren *et al*, 2003; Suren *et al*, 2006). É sabido que esta relação não é linear, apresentando padrões distintos para cada local, por exemplo, e entre outras, em função de características como a litologia da região, a relação entre o curso de água e o freático que lhe subjaz, o uso do solo nas encostas da respectiva bacia hidrográfica, a existência de dispositivos que alterem o regime natural de caudais, como barragens, açudes, captações de água ou rejeições de efluentes, etc.

Assim, qualquer relação entre os indicadores biológicos de qualidade da água e a seca depende de uma prévia caracterização do regime de caudais na área de estudo. Isto pode ser feito de muitas formas, podendo referir-se, a título de exemplo, o índice IHA. Contudo, os regimes hidrológicos são muito diferentes de rio para rio, sendo também os dados existentes e disponíveis bastante limitados, o que impossibilitaria a utilização deste índice (Monk *et al*, 2006; Richter *et al*, 1996).

Da análise dos estudos, verificou-se que dentro das comunidades biológicas analisadas, existia uma maior referência aos macroinvertebrados. Para estes, o índice LIFE (Extence *et al*, 1999) parece ser uma boa escolha, uma vez que estabelece um procedimento para atribuir uma determinada pontuação a cada grupo de macroinvertebrados, em funções do respectivo comportamento relativamente ao caudal. Carece, no entanto, de ser calibrado para cada caso específico (entenda-se por caso específico cada uma das tipologias de rios definidas no âmbito da DQA). Para o caso português, Cortes *et al*, (2002), já tentaram fazer algo nesta direcção. Contudo, para este índice ser determinado com sucesso para os rios portugueses, necessitam-se de dados mais fiáveis e com o menor número de lacunas possível.

Uma boa fundamentação do que se refere nos parágrafos anteriores pode ser encontrada em Bunn *et al*, (2002), que estabelece princípios gerais sobre a interacção entre o caudal e a biodiversidade aquática. A figura 67 sintetiza os princípios apresentados por este autor.

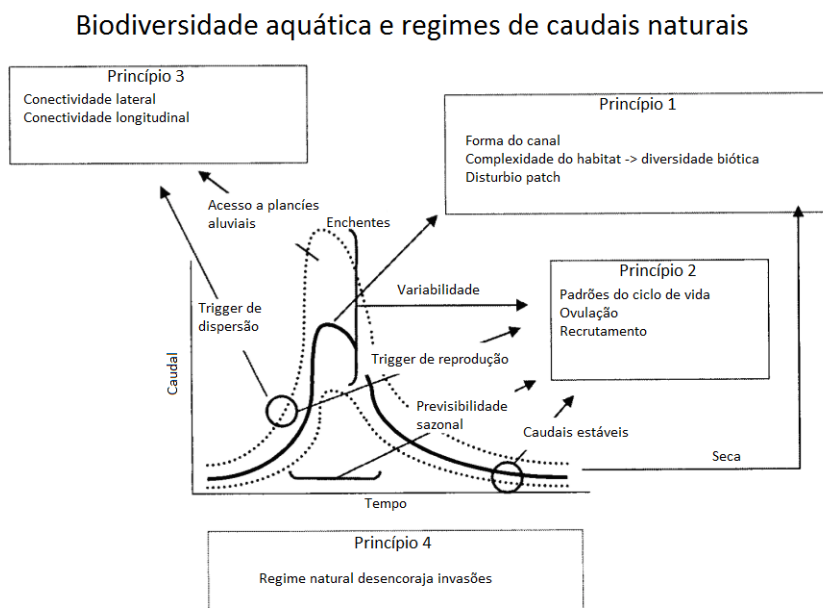


Figura 67 – Princípios gerais sobre a interação entre o caudal e a biodiversidade aquática (adaptado de Bunn *et al*, 2002).

Entre outras circunstâncias, este autor (bem como muitos dos já anteriormente referidos) refere a importância da ligação entre as variações de caudal associadas à seca, como o desaparecimento de riffles e runs, e alterações nas características físicas e químicas do habitat (temperatura, oxigénio, produtividade primária, etc.). Refere igualmente a importância das questões ligadas à conectividade do curso de água com os sistemas adjacentes. No caso da conectividade lateral, isto tem a ver com a existência de habitats de refúgio (dependendo de o rio secar junto às margens ou no centro). No caso da conectividade longitudinal, isto tem a ver com a capacidade de migração ao longo do curso de água, até locais com características mais favoráveis para suportar a seca, e a partir de onde se dará início à recolonização do sistema após aquela ter desaparecido. São igualmente referidas as questões relacionadas com o ciclo de vida dos seres vivos presentes, cujo grau de afectação dependerá da data em que ocorre a seca, uma vez que nem todos se encontram na mesma fase do ciclo ao mesmo tempo. Por fim, refere-se a importância da duração do fenómeno para determinar o grau de severidade do impacto que terá nas comunidades bióticas. (Bunn *et al*, 2002).

Em suma, apesar da análise da bibliografia referida, não possibilitar o desenvolvimento de um indicador com as potencialidades pretendidas, forneceu algumas linhas de orientação para caminhar nesse sentido. Isto é, deu a indicação de que, para a aferição do efeito das secas sobre a qualidade da água e consequentemente sobre as comunidades biológicas, seria importante, caracterizar o regime hidrológico. Este deveria depender primordialmente da precipitação ocorrida numa determinada região. Do mesmo modo, só a partir do conhecimento do regime de caudais seria possível tentar estabelecer uma relação entre o regime de caudais e a qualidade da água, quer considerando a sua expressão em termos de parâmetros físico-químicos, quer considerando a sua expressão em termos de bioindicadores. Assim, estas ideias foram importantes para o desenvolvimento desta dissertação.

8. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

8.1 CONCLUSÕES

Com a realização desta dissertação pôde confirmar-se que com a utilização de um índice como o SPI, é possível classificar a intensidade das secas. Convém, no entanto, salientar que existem várias classificações desenvolvidas para cada bacia hidrográfica, não havendo por isso uma classificação comum, o que por vezes pode implicar que um determinado valor de SPI se encontre no intervalo correspondente “a seca moderada” numas escalas, podendo estar em “seca severa” noutras. Um exemplo são as escalas apresentadas neste trabalho para as bacias do Guadiana e do Minho-Sil que são diferentes entre si. Assim, a comparação entre a intensidade da seca deve ter em atenção a classificação adoptada.

No que se refere à determinação de uma relação entre os valores de SPI-3 meses e os valores obtidos para os parâmetros de qualidade seleccionados, concluiu-se que graficamente, entre eles, não parece existir um comportamento semelhante. Como tal, o SPI-3 meses não se puderam estabelecer relações entre a ocorrência de secas e a variação da qualidade da água. Através da determinação dos valores de r , N e p confirmou-se o referido, ou seja, não se determinaram correlações com um grau de associação pretendido (considerando-se como sendo as relações que tivessem um valor de r superior a 0,7). Assim, concluiu-se que não se poderiam aferir uma relação causa-efeito entre o SPI-3 meses e a qualidade da água.

Como tal, não se pode prever, de que modo os parâmetros de qualidade da água vão variar, quando ocorrem secas, o que dificulta o desenvolvimento de modelos de previsão a partir desta relação.

Por fim, verificou-se a ausência de relação estatisticamente significativa entre a variação dos parâmetros meteorológicos e hidrológicos, por um lado, e a variação dos parâmetros de qualidade físico-química da água, por outro.

Quanto à tentativa de encontrar relações entre as precipitações, caudais e parâmetros de qualidade, a um nível local (sub-área da bacia e troço de rio correspondente), constatou-se também não ser possível o estabelecimento de relações causa-efeito. Isto porque, os gráficos não apresentam uma similaridade evidente, o que se pode confirmar com os valores de r , N e p determinados (apenas a relação entre os coliformes fecais e os sólidos suspensos totais tinha valores de r superiores a 0,7).

Convém também salientar que da comparação dos valores de precipitação e os caudais constatou-se que o comportamento mais similar, entre a precipitação e os valores de caudais, ocorre para o ano húmido diminuindo a relação de correspondente relação causa e efeito à medida que os anos se evidenciam mais secos. De facto nos anos mais secos aferiu-se que os valores de precipitação não demonstram um efeito imediato nos valores dos caudais, devido essencialmente a um superior défice de humidade no solo nestes anos. Desta forma, grande parte da precipitação existente infiltra-se no solo não tendo uma influência evidente nos valores dos caudais. Também, se verificou que a variação dos valores de caudais utilizados neste estudo, para os vários anos, não era muito significativa. Isto ocorreu essencialmente devido à regularização dos caudais existente, o que se comprovou através da comparação dos caudais utilizados neste estudo e os caudais afluente e efluentes, das estações do Alto Lindoso e Touvedo.

Em suma, com base nos resultados obtidos pode-se retirar como principal conclusão que não existe uma relação evidente e coerente entre os valores de SPI-3 meses e os parâmetros de qualidade, bem como, entre a precipitação, os caudais e a qualidade da água (em determinadas áreas da bacia).

Face aos resultados obtidos, não foi possível elaborar qualquer análise da relação entre variáveis analisadas, por um lado, e os bioindicadores por outro. Em face deste resultado, não foi possível o desenvolvimento de um indicador ambiental de seca, nem a definição dos patamares que determinariam a adopção de medidas de minimização. Do mesmo modo, não existe informação que permita fundamentar a proposta de qualquer medida, ou conjunto de medidas mitigadoras, pois não se pôde estabelecer os efeitos causados pelas secas nas comunidades biológicas aquáticas.

8.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Esta dissertação teve como grande limitação aspectos inerentes aos dados disponíveis no SNIRH. Assim, a informação disponível provocou o surgimento de dificuldades como desfasamento nos períodos em que existiam dados nas várias estações, bem como, dados inexistentes para um ou mais parâmetros relevantes, no conjunto dessas estações. Como tal, uma vez que se verificou a existência de várias lacunas nos dados, foi necessário, tentar encontrar soluções para este problema. Deste modo, tiveram que se criar critérios de selecção ao longo do trabalho de forma a garantir uma coerência em todo a metodologia desenvolvida e, simultaneamente, conseguir englobar no estudo a maior quantidade de dados possível.

Como referido anteriormente, não foi possível nesta dissertação desenvolver um índice ambiental que permitisse avaliar e actuar de forma proactiva na ocorrência de secas. Com este índice pretendia-se contribuir para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos, de forma a minimizar os efeitos que uma seca traz para as comunidades biológicas aquáticas, contribuindo-se assim para a protecção destas. Assim, para a sua obtenção considera-se necessário, em primeiro lugar, estabelecer uma rede de monitorização mais consistente, isto é, uma rede em que para uma determinada área da bacia exista uma estação meteorológica, uma estação hidrométrica e uma estação de qualidade. Também era importante que as variáveis fossem medidas de forma regular e os dados registados com o seu valor real, ou seja, deve-se evitar o registo de dados como “< x” (o que ocorria com frequência nos dados disponíveis na página de internet do SNIRH). Se isto fosse respeitado, seria possível, ou confirmar as conclusões referidas neste trabalho, isto é, a ausência de uma relação causa e efeito entre as variáveis analisadas de modo mais preciso; ou detectar a existência de uma relação entre a variação da precipitação, dos caudais, da qualidade da água e das comunidades biológicas aquáticas. Assim seria possível estabelecer cenários, ou seja, antecipar possíveis efeitos das secas, na qualidade da água e consequentemente, nas comunidades biológicas aquáticas.

Para além disto, seria necessária a recolha e análise de bioindicadores (informação ainda mais escassa do que qualquer outro dos parâmetros analisados neste estudo), de forma regular, na área da bacia onde se situassem as estações meteorológicas, hidrométricas e

de qualidade. Com isto poder-se-ia, de forma directa, avaliar os efeitos das secas nas comunidades biológicas aquáticas.

Convém ainda salientar que tudo o que foi referido anteriormente deveria ainda ser testado em diferentes bacias para verificar se as conclusões obtidas seriam diferentes. Para a sua selecção seria importante abranger bacias com diferentes caracterizações climáticas e geomorfológicas.

Em suma, o que este trabalho revelou essencialmente, foi a existência de uma série de problemas na forma como foram implementadas e geridas as redes de monitorização da qualidade da água, bem como a inexistência de informação adequada à sua reformulação de acordo com os princípios básicos da DQA.

Desta forma, é urgente que, na elaboração dos novos planos de gestão de bacia hidrográfica, se tenha em atenção a necessidade de implementar uma rede de monitorização da qualidade da água que, entre outras, tenha em conta as seguintes situações:

- ✓ Seja totalmente compatível, em termos da escala espacial a que os dados dizem respeito, com as redes hidrométrica, meteorológica e de qualidade, sob pena de a informação recolhida não permitir a sua utilização de uma forma integrada, que é a única que permitirá obter dados que assegurem uma gestão eficaz dos recursos hídricos;
- ✓ Seja totalmente compatível, em termos da periodicidade com que os dados são recolhidos, com as redes hidrométrica, meteorológica e de qualidade, sob pena de a informação recolhida não permitir a sua utilização de uma forma integrada, que é a única que permitirá obter dados que assegurem uma gestão eficaz dos recursos hídricos;
- ✓ Disponibilize a informação de forma rigorosa e exacta, não utilizando expressões do tipo “<x”, pois só dessa forma se pode tirar todo o proveito do investimento feito na aquisição da informação, e se pode caracterizar, de forma adequada, a variabilidade temporal e espacial dos indicadores ambientais utilizados;
- ✓ Aposte fortemente na recolha de informação bioecológica de base, durante os primeiros anos do seu funcionamento, uma vez que enquanto não existir um acervo considerável deste tipo de informação, recolhida numa base sistemática e totalmente integrada com a recolha de informação para os restantes indicadores ambientais, não será possível caracterizar, com segurança, o funcionamento dos

ecossistemas aquáticos envolvidos e, como tal, não será possível desenvolver instrumentos de gestão que permitam a adopção de atitudes proactivas e não apenas de atitudes reactivas, face aos problemas que se forem colocando.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agnew, C. T. (2000) *Using the SPI to Identify Drought*, Drought – National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln, 8 pp.

AHBVFA – Associação Humanitária dos Bombeiros de Fornos de Algodres (2008) *Secas – Duração de uma seca* (http://www.bombeiros-fornosdealgodres.com/dap_03_3.htm) consultado em Maio de 2010.

Alley, W. (1984) *The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions*, U.S. Geological Survey, Reston.

Álvarez-Cabria, M., Barquín, J., Juanes, J. A. (2010) *Spatial and seasonal variability of macroinvertebrate metrics: Do macroinvertebrate communities track river health?*, Ecological Indicators, 370-379 pp.

Alves, M. H., Bernardo, J. M., Figueiredo, H.D., Martins, J.P., Pádua, J., Pinto, P., Rafael, M. T. (2002) *Directiva-Quadro da Água: Tipologias de Rios segundo o sistema A e o sistema B em Portugal*, Actas del III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planification del Agua. La Directiva-Marco da Água: realidades y futuros, 347-354 pp.

Ameziane, T., Belghiti M., Benbeniste S., Bergaoui M., Bonaccorso B., Cancelliere A., Christofides T., Confederación Hidrográfica del Tajo, Cubillo F., Euchí L., Gabiña D., Garrido A., Garrote L., Hajispyrou S., Ibáñez J.C., Iglesias A., Keravnou-Papailiou E., Lapeña A., Lebdi F., López-Francos A., Louati M.H., Mathlouthi M., Mellouli H.J., Moneo M., Ouassou A., Pangalou D., Pashardes P., Quiroga S., Rossi G., Rostandi N., Saraçoglu D., Sibou T., Tigkas D., Tsakiris G., Tsiourtis N., Vangelis C., Ziyad A. (2007) *Drought Management Guidelines*, MEDROPLAN – Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning, 78 pp.

Anderson, J., Arblaster, K., Bartley, J., Cooper, T., Kettunen, M., Kaphengst, T., Leipprand, A., Laaser, C., Katharina, U., Kuusisto, E., Lepistö, Holmberg, M. (2008)

Carballo, R., Cancela, J. J., Iglesias, G., Marín A., Neira, X. X., Cuesta, T. S. (2009). *WFD Indicators and Definition of the Ecological Status of Rivers*, Water Resour Manage, 17 pp.

ARH Norte – Administração da Região Hidrográfica do Norte I.P. (2009a), *Plano de Bacia Hidrográfica do Lima*.

ARH Norte – Administração da Região Hidrográfica do Norte I.P. (2009b) *Questões Significativas da Gestão da Água - Região Hidrográfica do Minho e Lima*, Instituto da Água, I.P.

Anderson, J., Arblaster, K., Bartley, J., Cooper, T., Kettunen, M., Kaphengst, T., Leipprand, A., Laaser, C., Katharina, U., Kuusisto, E., Lepistö, Holmberg, M. (2008) *Climate change-induced water stress and its impact on natural and managed ecosystems*, Policy Department Economic and Scientific Policy, 108 pp.

Bhuiyan, C. (2004) *Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India*, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.

Biggs, B. J. F., Nikora, V. I., Snelder T. H. (2005) *Linking scales of flow variability to lotic ecosystem structure and function*, River Research and Applications, 283-298 pp.

Boix, D., García-Berthou, E., Gascón, S., Benejam, L., Tornés, E., Sala, J., Benito, J., Munné, A., Solà, C., Sabater, S. (2010) *Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers*, Journal of Hydrology, 135-146 pp.

Bond, N. R., Lake P.S., Arthington A. H. (2008) *The Impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective*, Hydrobiologia 600, 3-16 pp.

Boulton, A. J., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E. H., Valett, H. M. (1998) *The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers*, Annu. Rev. Ecol. Syst., 59-81 pp.

Boulton, A. J. (2003) *Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages*, Freshwater Biology, 1173-1185 pp.

Bowman, M. F., Somers, K. M., Reid, R. A., Scott, L. D. (2006) *Temporal response of stream benthic macroinvertebrate communities to the synergistic effects of anthropogenic acidification and natural drought events*, Freshwater Biology, 768-782 pp.

Bunn, S. E., Arthington, A. H. (2002) *Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity*, Environmental Management, 492-507 pp.

CADC – Comissão para a Aplicação e o Desenvolvimento da Convenção de Albufeira (2007) *Bacia Hidrográfica do Lima*, (<http://www.cadc-albufeira.org/pt/cuencas/lima.html>) consultado em Maio de 2010.

Carballo, R., Cancela, J. J., Iglesias, G., Marín, A., Neira, X. X., Cuesta, T. S. (2009) *WFD Indicators and Definition of the Ecological Status of Rivers*, Water Resour Manage, 2231-2247 pp.

Caruso, B.S. (2002) *Temporal and spatial patterns of extreme low flows and effects on stream ecosystems in Otago, New Zealand*, Journal of Hydrology, 115-133 pp.

CMS – Câmara Municipal de Sardoal (2007) *Prevenção em casos de seca*, (<http://www.cm-sardoal.pt/pt/conteudos/Bombeiros%20e%20Protec%C3%A7%C3%A3o%20Civil/prevencao/seca/a3548e0-b3e6-43e2-b19c-95c556f40dca.htm>) consultado em Junho de 2010.

Confederación Hidrográfica del Miño-Sil (2007) *Plan especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Cuenca Hidrográfica del Norte – Caracterización de las Sequías de la Cuenca*, Ministerio de Media Ambiente.

Cortes, R. M. V., Ferreira, M. T., Oliveira, S. V., Oliveira, D. (2002) *Macroinvertebrate community structure in a regulated river segment with a different flow conditions*, River Research and Applications, 367-382 pp.

Cunha, R. L. A. (2008) *Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos das secas*, Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, FEUP.

DG Env EC, (2007) *Water Scarcity and Droughts – In-Depth Assessment – Second Interim Report*, Directorate-General Environment, European Commission, Bruxelas.

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

Durão, R., Pereira, M. J., Costa, A. C., Côrte-Real, J. M., Soares, A. (2009) *Indices of precipitation extremes in Southern Portugal – a geostatistical approach*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 10pp.

EEA – European Environment Agency (2009) *Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought*, EEA, Copenhagen, ISBN 978-92-9167-989-8, 60 pp.

eWater CRC – eWater Cooperative Research Centre (2009) *Drought Science* (<http://www.ewatercrc.com.au/drought/>) consultado em Setembro de 2009.

Extence, C. A. (1981) *The effect of drought on benthic invertebrate communities in a lowland river*, Hydrobiologia 217-224 pp.

Extence, C. A., Balbi, D. M., Chadd, R. P. (1999) *River flow indexing using british benthic macroinvertebrates: a framework for setting hydroecological objectives*, Regulated Rivers: Research & Management, 543-574 pp.

Ferreira, A. C. (2007) *Observatório pode ajudar a combater as secas*, Ambiente online, 2006,

(<http://www.novaenergia.net/forum/viewtopic.php?f=29&t=3742&start=0&sid=5664a7695c40e0a05b84f19502356c76&view=print>) consultado em Junho de 2010.

Hayes, M. (2003) *Drought Indices*, National Drought Mitigation Center (NDMC), University of Nebraska-Lincoln, 18 pp.

Heim Jr, R. (2002). *A review of Twentieth-Century Drought Indices used in the United States*, Bulletin of the American Meteorological Society, EUA, 1149-1165 pp.

Humphries, P., Baldwin, D. S. (2003) *Drought and aquatic ecosystems: an introduction*, Freshwater Biology, 1141-1146 pp.

INAG, I. P. (2001). *Plano Nacional da Água – PNA*, Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Lisboa.

INAG, I.P. (2008a) – *Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva-Quadro da Água Protocolo de amostragem e análise para os macroinvertebrados bentónicos*, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Instituto da Água, I.P.

INAG, I.P. (2008b) *Tipologia de Rios em Portugal Continental no âmbito da implementação da Directiva-Quadro da Água. I – Caracterização abiótica*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Instituto da Água, I.P.

INAG, I.P. (2009) *Critérios para a classificação do estado das massas de água superficiais – Rios e albufeiras*, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Instituto da Água, I.P.

Infopédia (2003a) *Evapotranspiração*, Porto editora ([http://www.infopedia.pt/\\$evapotranspiracao](http://www.infopedia.pt/$evapotranspiracao)), consultado em Junho de 2010.

Infopédia (2003b) *Rio Lima*, Porto Editora ([http://www.infopedia.pt/\\$rio-lima](http://www.infopedia.pt/$rio-lima)), consultado em Maio de 2010.

IUCN (2001) *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal*, IUCN Red List Categories: version 3.1. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Iversen, M. T., Wiberg-Larsen, P., Hansen, S. B., Hansen, F. S. (1978) *The effect of partial and total drought on the macroinvertebrate communities of three small danish streams*, Hydrobiologia, 235-242 pp.

James, A. B. W., Dewson, Z. S., Death, R. G. (2008) *The effect of experimental flow reductions on macroinvertebrate drift in natural and streamside channels*, River Research and Applications, 22-35 pp.

James, A. B. W., Suren, A. M. (2009) *The response of invertebrates to a gradient of flow reduction – an instream channel study in a New Zealand lowland river*, Freshwater Biology, 2225-2242 pp.

Kallis, G. (2008) *Droughts*, Annual Review of Environment and Resources, 33, 85-118 pp.

Keyantash, J., Dracup, J.A. (2002). *The quantification of Drought: an evaluation of drought indices*, Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), pp 1167-1180.

Lajinha, T., Guerreiro, M. J. (2006) *Análise de correlação entre o escoamento e o índice de precipitação padronizado SPI (Standardized Precipitation Index) na bacia hidrográfica do rio Lima*, <https://bdigital.ufp.pt/dspace/bitstream/10284/538/1/28-39FCT2006-3.pdf>

Lake, P. S. (2003) *Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters*, Freshwater Biology, 1161-1172.

Larned, S. T., Datry, T., Arscott, D. B., Tockner, K. (2010) *Emerging concepts in temporary-river ecology*, Freshwater Biology, 717-738 pp.

Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro, Assembleia da República.

Lencastre, A., Franco, F. M. (1992) *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Lind, P. R., Robson, B. J., Mitchell, B. D. (2006) *The influence of reduced flow during a drought on patterns of variation in macroinvertebrate assemblages across a spatial hierarchy in two lowland rivers*, Freshwater Biology, 2282-2295 pp.

Lloyd-Hughes, B., Saunders, M. A. (2002) *A Drought Climatology for Europe*, International Journal of Climatology 22, pp. 1517-1592 pp.

Maia, R. (2007) *Indicadores de Seca*, Conferência Internacional Sistemas Gestão de Secas, 44 pp.

Maia, R. (2008) *Precipitação*, Gestão de recursos hídricos e de áreas protegidas, 26 pp.

Maia, R. (2009a) *Ciclo hidrológico e ciclo de utilização da água*, Gestão de recursos hídricos e de áreas protegidas, 12 pp.

Maia, R. (2009b) *Sessão Técnica – Escassez de Água e seca*, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 44 pp.

Maia, R. (2010) *Precipitação, Análise das séries de dados, Método das duplas acumulações*, Hidrologia e Recursos Hídricos, 12pp.

Matthews, W. J., Marsh-Matthews, E. (2003) *Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity*, Freshwater Biology, 1232-1253 pp.

McCord, S. B., Guha, G. S., Grippo, R. S. (2007) *Effects of subsample size on seasonal and spatial comparisons of stream macroinvertebrate communities*, Environmental Monitoring Assessment, 409-422 pp.

Mckee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist (1993) *The relationship of drought frequency and duration of time scales*, Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim CA, 179-186 pp.

Mcmahon, T. A., Finlayson, B. L. (2003) *Droughts and anti-droughts: the low flow hydrology of Australian rivers*, Freshwater Biology, 1147-1160 pp.

Mendes, J., Vivas, E., Maia, R. (2008) *Metodologia para a elaboração de um plano de minimização dos riscos de seca. Aplicação ao caso da margem esquerda do Guadiana*, 3^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, ISBN 978-989-95557-2-3.

Monk, W. A., Wood, P. J., Hannah, D. M., Wilson, D. A., Extence, C. A., Chadd, R. P. (2006) *Flow variability and macroinvertebrate community response within riverine systems*, River Research and Applications, 595-615 pp.

Monk, W. A., Wood, P. J., Hannah, D. M., Wilson, D. A. (2008) *Macroinvertebrate community response to inter-annual and regional river flow regime dynamics*, River Research and Applications, 988-1001 pp.

NMDC (2006a) *Understanding Your Risk and Impacts – A Comparison of Droughts, Floods, and Hurricanes in the United States*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/risk/us/compare.htm>) consultado em Maio, 2010.

NMDC (2006b) *Planning for Drought – The Hydro-Illogical Cycle*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/plan/cycle.htm>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006c) *Planning for Drought*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://www.drought.unl.edu/plan/plan.htm>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006d) *Monitoring Drought*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/monitor/monitor.htm>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006e) *Understanding Your Risk and Impacts – Droughts Impacts and Vulnerability*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://www.drought.unl.edu/risk/impactvulnerability.htm>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006f) *Mitigation Drought*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://www.drought.unl.edu/mitigate/mitigate.htm>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006g) *What is Drought – Understanding and defining Drought*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/whatis/concept.htm>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006h) *Impacts of Drought*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/risk/impacts.htm#types>) consultado em Maio, 2010.

NDMC (2006i) *Monitoring Drought – The Standardized Precipitation Index (Interpretation of a 12-month SPI)*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://www.drought.unl.edu/monitor/interp12.htm>) consultado em Maio de 2010.

NDMC (2006j) *Monitoring Drought – The Standardized Precipitation Index (Interpretation of a 3-month SPI)*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://www.drought.unl.edu/monitor/interp3.htm>) consultado em Maio de 2010.

NDMC (2006k) *Monitoring Drought – The Standardized Precipitation Index (Interpretation of a 1-month SPI)*, National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln (<http://www.drought.unl.edu/monitor/interp1.htm>) consultado em Maio de 2010.

Oliveira, J.M., Santos, J.M., Teixeira, A., Ferreira, M.T., Pinheiro, P.J, Geraldès, A., Bochechas, J. (2007). *Projecto AQUARIPORT: Programa Nacional de Monitorização de Recursos Piscícolas e de Avaliação da Qualidade Ecológica de Rios*, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Lisboa, 96 pp.

Olsson, O., Bauer, M., Froebrich, J., Schrevel, A., Sauquet, E., Ramos, M. H., Barchiesi, S., Dalton, J. (2009) *XEROCHORE – Background Document Environmental Impacts of Droughts (State of the art review)*, Water Management Center.

Palmer, W.C. (1965), *Meteorologic Drought*, U.S. Weather Bureau, Research Paper 45, 65 pp.

Pinna, M., Fonnesu, A., Sangiorgio, F., Basset, A. (2004) *Influence of Summer Drought on Spatial Patterns of Resource Availability and Detritus Processing in Mediterranean Stream Sub-Basins (Sardinia, Italy)*, River Research and Applications, 484-499 pp.

Quercus (2006) *A seca e a escassez de água* (<http://www.quercus.pt/scid/webquercus/defaultArticleViewOne.asp?categoryID=632&articleID=2525#>) consultado em Maio de 2010.

Rader, R. B., Belish, T. A. (1999) *Influence of mild to severe flow alterations on invertebrates in three mountain streams*, Regulated Rivers: Research & Management, 353-363 pp.

Ramos, M., H. (1990) *Monografias sobre as Bacias Hidrográficas do Norte de Portugal – A bacia hidrográfica do rio Lima*, PGIRH/N – Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos do Norte, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais.

Reyes-Gómez, V. M., López, D. N. (2006) *Implementation of the Drought Monitoring System in Northwest Mexico*, Investigation Center on the Drought of the Institute of Ecology A.C, 4 pp.

Řezníčková, P.; Pařil, P.; Zahrádková, S. (2007) *The Ecological Effect of Drought on the Macroinvertebrate Fauna of a Small Intermittent Stream – An Example from the Czech Republic*, Wiley InterScience, 514-526 pp.

Richter, B.D., J.V. Baumgartner, J. Powell, and D.P. Braun. (1996) *A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems*, Conservation Biology, 1163-1174 pp.

Rose, P., Metzeling, L., Catzakis, S. (2008) *Can macroinvertebrate rapid bioassessment methods be used to assess river health during drought in south eastern Australian streams?*, Freshwater Biology, 2626-2638.

RTP - Notícias (2005) *Seca põe à mostra aldeias submersas pelas barragens* (<http://tv1.rtp.pt/noticias/index.php?t=Seca-poe-a-mostra-aldeias-submersas-pelas-barragens.rtp&article=7423&visual=3&layout=10&tm=8>) consultado em Maio de 2010.

Sangiorgio, F., Fonnesu, A., Mancinelli, G. (2007) *Effect of Drought Frequency and Other Reach Characteristics on Invertebrate Communities and Litter Breakdown in the Intermittent Mediterranean River Pula (Sardinia, Italy)*, Wiley InterScience, 156-172 pp.

Santos, M. J. J., Henriques, A. G. (1998) *Procedimentos para a monitorização de secas*, Instituto da Água (INAG).

Saravi, M. M, Safdari A. A., Malekian A. (2009) *Intensity- Duration-Frequency and spatial analysis of droughts using the Standardized Precipitation Index*, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 19 pp.

Sheldon, F., Thoms, M. C. (2006) *Relationships between flow variability and macroinvertebrate assemblage composition: data from four Australian dryland rivers*, River Research and Applications, 219-238 pp.

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2010) (<http://www.snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=3>) consultado em Maio de 2010.

Steinmann, A., Hayes, M, Cavalcanti, L. (2005) *Drought Indicators and Triggers*, in Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues, Wilhite, D. (ed), CRC press - Taylor & Francis group, ISBN: 0-847-2771-1, 2005, 71-92 pp.

Stubbington, R., Wood, P. J., Boulton, A.J. (2009) *Low flow controls on benthic and hyporheic macroinvertebrate assemblages during supra-seasonal drought*, Hydrological Process, 2252-2263 pp.

Suren, A. M., Biggs, B. J. F., Duncan, M. J., Bergey, L., Lambert, P. (2003) *Benthic community dynamics during low-flows in two rivers of contrasting enrichment – 2. Invertebrates*, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 71-83 pp.

Suren, A. M., Jowett, I. G. (2006) *Effects of floods versus low flows on invertebrates in a New Zealand gravel-bed river*, Freshwater Biology, 2207-2227 pp.

Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., Cancelliere, A. (2007); Chapter 7 Drought Characterization, em Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiña, D., López-Francos, A., Moneo, M., Rossi, G., (eds) *Drought Management Guidelines*, European Commission – EuropeAid Co-operation Office, Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDA Water) e Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning (MEDROPLAN).

Varandas, S. G., Cortes, R. M. V. (2009) *Evaluating macroinvertebrate biological metrics for ecological assesment of streams in northern Portugal*, Environmental Monitoring Assessment, 21 pp.

Videira, J. A. B. (1995) *Imagens de um rio...o Lima da nascente à foz*, Vila Ponte de Lima, (<http://www.pontedelima.com/rios-ribeiros-e-lagoas/o-lima-da-nascente-a-foz>), consultado em Junho de 2010.

Vivas, E., Maia, R., (2001) *A gestão de escassez e secas enquadrando as alterações climáticas*, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Volume 31.

Vivas, E., Maia, R. (2006a) *A problemática da gestão de situações de seca e escassez e o caso da bacia do Guadiana*, 1^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, ISBN 978-989-95557-0-9, 14 pp.

Vivas, E., Maia, R. (2006b) *Caracterização das principais situações de seca históricas em Portugal Continental – A importância da utilização de indicadores*, Revista de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente, volume I, 10 pp.

Vivas, E., Maia, R. (2007) *Avaliação de situações de seca e escassez de água em Portugal Continental – Utilização de indicadores*, 15 pp.

Ward, A. D., Trimble, S. W. (2003), *Environmental Hydrology*. Second edition. Environmental Science & Technology, Taylor & Francis Group, 475 pp.

Water Scarcity Drafting Group (2006) *Water Scarcity Management in the context of WFD*, MED Joint Processs WFD/EUWI.

Westwood, C. G., Teeuw, R. M., Wade, P. M., Holmes, N. T. H., Guyard, P. (2006) *Influences of environmental conditions on macrophyte communities in drought affected headwater streams*, River Research and Applications, 703-726 pp.

Wikipedia (2010a) *Evapotranspiração* (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o>) consultado em Março 2010.

Wikipedia (2010b) *Ciclo Hidrológico* (http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico) consultado em Maio de 2010.

Wikipedia (2010c) *Rio Lima* (http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Lima) consultado em Maio de 2010.

Wikipedia (2010d) *Río Limia* (http://es.wikipedia.org/wiki/Rio_Lima) consultado em Maio de 2010.

Wikipedia (2010e) *Statística* (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Statística>) consultado em Junho de 2010.

WISE - Water Information System for Europe (2002) *Ecological status and intercalibration*, European Commission Environment, (http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/objectives/status_en.htm), consultado em Novembro de 2009.

Wood, P. J., Petts, G. E. (1999) *The influence of drought on chalk stream macroinvertebrates*, Hydrological Processes, 387-399 pp.

Wood, P. J., Agnew, M. D., Petts, G. E. (2000) *Flow variations and macroinvertebrate community responses in a small groundwater-dominated stream in south-east England*, Hydrological Processes, 3133-3147 pp.

Wright, J. F., Symes, K. L. (1999) *A nine-year study of the macroinvertebrate fauna of a chalk stream*, Hydrological Processes, 371-385 pp.

Wright, J. F., Clarke, R. T., Gunn, R. J. M., Kneebone, N. T., Davy-Bowker, J. (2004) *Impact of major changes in flow regime on the macroinvertebrate assemblages of four chalk stream sites, 1997-2001*, River Research and Applications, 775-794 pp.

Anexos

Anexo A

Caracterização meteorológica na bacia do Lima

Tabela A1 – Precipitações anuais e acumuladas para as estações meteorológicas seleccionadas (Casal Soeiro, Peneda, Ponte de Lima e Tibo da Gavieira) com o intuito da determinação de um posto modelo.

Ano	Precipitações anuais (mm)				Precipitações acumuladas (mm)			
	Casal Soeiro	Peneda	Ponte de Lima	Tibo da Gavieira	Casal Soeiro	Peneda	Ponte de Lima	Tibo da Gavieira
1969/70	1758,1	1857,5	1615,1	2205,8	21373,7	27070,8	19138,7	23508,1
1970/71	1544,5	1425,6	1335,5	1912,5	22918,2	28496,4	20474,2	25420,6
1971/72	1509,1	1648,0	1380,3	1809,9	24427,3	30144,4	21854,5	27230,5
1972/73	1657,0	2173,4	1441,6	1734,3	26084,3	32317,8	23296,1	28964,8
1973/74	2063,0	2720,5	1587,3	2988,9	28147,3	35038,3	24883,4	31953,7
1974/75	1457,2	2239,0	1175,2	1816,8	29604,5	37277,3	26058,6	33770,5
1975/76	1142,4	1605,8	887,8	1445,7	30746,9	38883,1	26946,4	35216,2
1976/77	2708,7	2986,5	2389,6	3566,5	33455,6	41869,6	29336,0	38782,7
1977/78	2148,2	2847,9	1738,0	3095,5	35603,8	44717,5	31074,0	41878,2
1978/79	3085,4	4438,5	2017,2	3646,4	38689,2	49156,0	33091,2	45524,6
1979/80	1972,9	2785,8	1595,2	2021,8	40662,1	51941,8	34686,4	47546,4
1980/81	1379,1	2185,6	1164,6	1976,5	42041,2	54127,4	35851,0	49522,9
1981/82	1732,1	3158,3	1399,2	2432,4	43773,3	57285,7	37250,2	51955,3
1982/83	2050,0	2625,5	1581,2	3300,7	45823,3	59911,2	38831,4	55256,0
1983/84	1795,9	2633,6	1497,2	2647,1	47619,2	62544,8	40328,6	57903,1
1984/85	2293,8	3767,6	1816,2	3724,4	49913,0	66312,4	42144,8	61627,5

Tabela A1 (Continuação) – Precipitações anuais e acumuladas para as estações meteorológicas seleccionadas (Casal Soeiro, Peneda, Ponte de Lima e Tibo da Gavieira), com o intuito da determinação de um posto modelo.

Ano	Precipitações anuais (mm)				Precipitações acumuladas (mm)				Σ (Precipitações acumuladas)
	Casal Soeiro	Peneda	Ponte de Lima	Tibo da Gavieira	Casal Soeiro	Peneda	Ponte de Lima	Tibo da Gavieira	
1985/86	2285,1	2964,9	1911,2	3368,1	52198,1	69277,3	44056,0	64995,6	230527,0
1986/87	1416,3	2052,2	1496,4	2034,5	53614,4	71329,5	45552,4	67030,1	237526,4
1987/88	2336,9	2906,0	2113,7	3209,0	55951,3	74235,5	47666,1	70239,1	248092,0
1988/89	1136,1	1093,8	1006,0	1436,6	57087,4	75329,3	48672,1	71675,7	252764,5
1989/90	1822,5	1641,6	1416,3	2249,8	58909,9	76970,9	50088,4	73925,5	259894,7
1990/91	1955,1	2302,3	1753,8	2679,8	60865,0	79273,2	51842,2	76598,3	268578,7
1991/92	1319,7	1652,3	1152,2	1626,1	62184,7	80925,5	52994,4	78224,4	274329,0
1992/93	1527,4	1889,4	1120,5	2183,1	63712,1	82814,9	54114,9	80407,5	281049,4
1993/94	2286,7	2643,4	1757,0	3494,9	65998,8	85458,3	55871,9	83902,4	291231,4
1994/95	2091,0	2827,7	1597,6	3627,9	68089,8	88286,0	57469,5	87530,3	301375,6
1995/96	2194,0	3168,8	1991,1	3602,5	70283,8	91454,8	59460,6	91132,8	312332,0
1996/97	1659,9	2268,4	1460,1	2341,3	71943,7	93723,2	60920,7	93474,1	320061,7
1997/98	2325,3	3220,9	2016,0	3408,6	74269,0	96944,1	62936,7	96882,7	331032,5
1998/99	1562,8	2018,2	1216,1	2524,7	75831,8	98962,3	64152,8	99407,4	338354,3
1999/00	1648,0	2306,8	1364,8	3004,9	77479,8	101269,1	65517,6	102412,3	346678,8
2000/01	3221,2	5082,3	2607,6	6693,5	80701,0	106351,4	68125,2	109105,8	364283,4

Tabela A2 – Precipitações ponderadas mensais e anuais na bacia do Lima.

Ano	Precipitações ponderadas (mm)											
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1969/70	111,7	270,3	149,5	813,9	132,0	31,2	44,7	264,6	81,5	19,2	26,1	36,7
1970/71	12,7	359,6	47,9	435,0	62,3	142,9	120,8	172,6	134,5	140,8	82,9	11,6
1971/72	66,9	82,9	145,5	305,9	481,8	235,6	97,0	97,0	54,9	11,9	25,8	87,8
1972/73	235,0	227,6	318,4	306,1	64,9	63,8	99,2	337,6	47,2	48,1	11,9	111,7
1973/74	223,1	57,0	178,2	655,3	350,5	106,1	37,2	148,1	326,6	1,9	5,9	128,8
1974/75	26,5	366,3	74,1	345,1	169,4	252,5	42,8	63,5	14,5	34,4	4,9	220,9
1975/76	197,1	150,5	65,0	123,0	118,1	137,5	56,7	4,3	13,5	30,3	100,6	183,8
1976/77	444,0	217,6	402,8	426,1	627,8	215,8	123,9	93,7	148,6	46,8	59,9	66,4
1977/78	233,7	117,0	495,3	293,3	551,8	257,5	166,9	127,7	75,3	0,3	0,3	37,7
1978/79	84,9	52,3	1117,6	275,2	712,9	360,3	229,9	229,7	10,3	15,2	9,2	14,4
1979/80	355,6	151,4	288,8	319,9	151,5	281,9	82,4	136,6	103,3	44,5	23,4	79,5
1980/81	143,7	148,5	121,7	17,8	188,2	326,3	116,7	225,3	60,0	2,3	4,4	201,0
1981/82	185,9	0,0	762,6	208,4	181,4	29,1	50,3	84,3	109,7	21,6	16,3	198,7
1982/83	193,8	270,0	345,0	39,8	249,4	38,5	417,5	277,4	64,3	57,6	100,0	32,8
1983/84	74,9	241,6	382,2	357,8	95,6	242,5	121,5	148,8	105,8	23,1	63,3	36,9
1984/85	292,3	556,5	221,2	321,3	356,2	221,1	174,2	71,6	73,0	43,3	15,7	1,7
1985/86	49,7	303,9	404,9	288,7	378,2	112,4	152,6	115,6	79,7	0,5	53,7	305,1
1986/87	59,9	222,8	143,8	161,3	270,4	153,0	246,1	17,6	77,0	39,7	36,1	183,4

Tabela A2 (Continuação) – Precipitações ponderadas mensais e anuais na bacia do Lima.

Ano	Precipitações ponderadas (mm)												
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Anual
1987/88	600,9	68,9	319,4	489,1	204,8	35,4	210,1	168,5	118,4	71,2	2,3	29,2	2318,0
1988/89	216,3	105,1	53,5	47,7	199,5	139,8	175,2	84,5	55,3	8,9	26,6	5,4	1117,9
1989/90	149,0	351,0	510,8	245,0	158,4	17,3	108,4	33,5	25,6	9,6	15,1	38,7	1662,4
1990/91	406,5	120,7	150,9	335,0	225,5	293,3	73,1	20,1	44,4	64,2	56,5	130,8	1921,1
1991/92	145,2	386,1	36,0	93,4	55,9	73,8	112,9	117,4	74,5	10,4	110,0	130,3	1345,8
1992/93	157,4	126,7	298,0	103,8	5,4	44,5	208,3	275,1	63,4	6,7	5,8	194,3	1489,3
1993/94	415,3	216,3	189,8	430,3	295,4	22,1	106,5	387,3	28,3	8,8	66,8	133,1	2299,8
1994/95	236,8	306,3	298,4	379,2	315,3	94,6	53,1	211,5	19,2	65,1	23,1	127,4	2129,9
1995/96	205,7	408,1	442,5	502,6	266,7	142,0	107,0	146,7	14,2	40,2	42,4	118,8	2437,0
1996/97	196,3	313,7	320,0	222,5	142,4	0,0	74,2	291,3	161,8	20,6	69,6	7,8	1820,4
1997/98	323,4	644,6	428,2	232,6	42,4	68,1	423,9	87,3	55,1	34,7	2,0	243,9	2586,1
1998/99	87,8	97,0	188,6	163,3	48,2	129,6	219,9	138,1	35,9	15,0	106,4	397,5	1627,3
1999/00	332,9	82,0	340,4	40,9	64,1	40,4	468,2	155,6	22,0	90,9	31,5	89,7	1758,5
2000/01	161,5	586,7	816,3	682,8	190,8	879,3	123,2	163,2	9,4	70,5	58,3	33,0	3774,9
2001/02	323,8	1,3	31,5	191,0	124,7	178,1	48,9	64,9	44,0	15,3	5,8	32,1	1061,4
2002/03	147,5	244,5	293,8	298,7	122,4	212,2	168,4	28,9	66,0	57,8	38,0	18,9	1697,1
2003/04	141,1	234,0	132,1	180,3	24,0	97,4	112,1	69,5	23,3	6,8	83,5	53,1	1157,0

Tabela A2 (Continuação) – Precipitações ponderadas mensais e anuais na bacia do Lima.

Ano	Precipitações ponderadas (mm)												
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Anual
2005/06	280,8	96,5	135,1	57,6	141,8	336,2	121,1	25,2	22,2	10,5	50,1	150,5	1427,6
2006/07	362,4	179,6	236,6	72,0	322,8	127,6	47,0	96,9	135,1	51,9	46,3	31,3	1709,5
2007/08	6,5	72,0	60,5	235,8	71,7	126,9	225,4	140,7	38,3	43,5	79,2	77,3	1177,9
2008/09	69,7	89,6	158,8	295,9	82,9	44,3	111,3	68,9	178,7	25,7	3,1	7,6	1136,6

Anexo B

Classificação meteorológica na bacia do Lima

Tabela B1 – Valores de SPI-12 meses obtidos (tendo em consideração o ano civil) e correspondente classificação de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-12
1970	0,06
1971	-0,53
1972	0,68
1973	-0,65
1974	0,77
1975	-0,62
1976	-0,02
1977	1,52
1978	1,70
1979	1,52
1980	-0,44
1981	0,51
1982	-0,28
1983	0,28
1984	0,84
1985	0,40
1986	0,15
1987	0,67
1988	-0,29
1989	-0,18
1990	-1,20
1991	-0,06
1992	-1,12
1993	-0,24
1994	0,94
1995	0,98
1996	0,74
1997	1,06
1998	-0,62
1999	0,35
2000	1,37

Tabela B1 (Continuação) – Valores de SPI-12 meses obtidos (tendo em consideração o ano civil) e correspondente classificação de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-12
2001	1,37
2002	-1,04
2003	-0,72
2004	-2,34
2005	-2,14
2006	-0,32
2007	-1,93
2008	-1,13

Tabela B2 – Valores de SPI-12 meses obtidos (tendo em consideração o ano hidrológico) e correspondente classificação de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-12
1969/70	0,30
1970/71	-0,15
1971/72	-0,21
1972/73	0,11
1973/74	0,68
1974/75	-0,35
1975/76	-1,27
1976/77	1,61
1977/78	0,89
1978/79	1,91
1979/80	0,36
1980/81	-0,47
1981/82	0,07
1982/83	0,47
1983/84	0,15

Tabela B2 (Continuação) – Valores de SPI-12 meses obtidos (tendo em consideração o ano hidrológico) e correspondente classificação de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-12
1984/85	0,87
1985/86	0,72
1986/87	-0,36
1987/88	0,83
1988/89	-1,43
1989/90	-0,26
1990/91	0,20
1991/92	-0,90
1992/93	-0,60
1993/94	0,80
1994/95	0,54
1995/96	1,00
1996/97	0,02
1997/98	1,22
1998/99	-0,33
1999/00	-0,09
2000/01	2,68
2001/02	-1,57
2002/03	-0,20
2003/04	-1,33
2004/05	-2,35
2005/06	-0,73
2006/07	-0,18
2007/08	-1,28
2008/09	-1,38

Tabela B3 – Valores de SPI-3 meses obtidos para o período de tempo analisado e correspondente classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-3 meses											
	Nov-Dez-Jan >= > Jan	Dez-Jan-Fev >= > Fev	Jan-Fev-Mar >= > Mar	Fev-Mar-Abr >= > Abr	Mar-Abr-Mai >= > Mai	Abr-Mai-Jun >= > Jun	Mai-Jun-Jul >= > Jul	Jun-Jul-Ago >= > Ago	Jul-Ago-Set >= > Set	Ago-Set-Out >= > Out	Set-Out-Nov >= > Nov	Out-Nov-Dez >= > Dez
1970	-	-	0,99	-1,55	-0,55	0,39	1,04	-0,06	-1,01	-2,1	-0,37	-0,85
1971	0,37	-0,37	0,15	-0,77	0,06	0,6	1,52	2,35	0,71	-1,1	-2,05	-1,45
1972	-0,45	0,57	1,09	1,2	0,02	-0,57	-0,53	-0,63	-0,38	0,17	0,27	0,39
1973	0,39	0,02	-0,52	-1,4	0,42	0,9	1,44	-0,37	0,14	0,16	-0,46	-0,69
1974	0,47	1,04	1,27	0,05	-0,91	1,03	1,67	2,16	-0,25	-1,1	0,15	-0,65
1975	0,23	-0,25	0,49	-0,08	-0,42	-1,85	-1,14	-1,51	0,91	0,54	0,34	-0,88
1976	-1,17	-1,22	-0,74	-0,85	-1,72	-2,57	-2,3	0,2	1,31	1,74	1,32	1,11
1977	0,8	1,49	1,57	1,64	0,04	0,24	0,54	1,46	0,15	0,23	-0,33	0,57
1978	0,51	1,3	1,25	1,67	0,69	0,26	-0,15	-0,97	-1,96	-1,48	-1,92	1,53
1979	1,52	2,37	1,72	2,48	1,87	0,82	0,29	-2,13	-1,94	0,33	0,15	0,43
1980	0,17	0,19	0,46	0,14	0,42	-0,04	0,5	0,55	-0,12	-0,44	-0,57	-0,88
1981	-1,4	-1,13	-0,18	0,59	1,24	0,45	0,53	-1,18	0,48	0,39	-0,49	0,83

Tabela B3 (Continuação) – Valores de SPI-3 meses obtidos para o período de tempo analisado e correspondente classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-3 meses											
	Nov-Dez-Jan <=> Jan	Dez-Jan-Fev <=> Fev	Jan-Fev-Mar <=> Mar	Fev-Mar-Abr <=> Abr	Mar-Abr-Mai <=> Mai	Abr-Mai-Jun <=> Jun	Mai-Jun-Jul <=> Jul	Jun-Jul-Ago <=> Ago	Jul-Ago-Set <=> Set	Ago-Set-Out <=> Out	Set-Out-Nov <=> Nov	Out-Nov-Dez <=> Dez
1982	0,65	0,99	-0,58	-1,17	-2,1	-0,6	-0,04	0,24	0,72	0,48	0,71	0,47
1983	-0,1	-0,13	-0,96	0,85	1,52	2,1	1,25	1,13	0,32	-0,71	-0,69	0,15
1984	0,67	0,36	0,31	-0,1	0,49	0,3	0,46	0,8	-0,41	0,4	1,45	1,12
1985	0,91	0,49	0,81	1	0,24	-0,06	-0,29	0,02	-1,4	-2,24	-0,66	0,32
1986	0,7	0,84	0,52	0,63	-0,28	0,13	-0,22	0,05	1,6	0,52	0,42	-0,82
1987	-0,47	-0,29	-0,01	0,72	-0,06	0,08	-0,86	0,31	0,9	2,03	1,35	0,93
1988	0,45	0,73	0,4	-0,14	-0,07	0,96	1	0,8	-0,68	-0,43	-0,69	-1,05
1989	-1,85	-1,25	-0,7	0,14	-0,16	-0,08	-0,69	-0,67	-1,88	-0,93	0,08	0,98
1990	0,92	0,53	-0,57	-1,02	-2,15	-1,3	-1,85	-1,61	-1,35	0,72	0,33	0,08
1991	-0,24	0,07	0,71	0,44	-0,24	-1,64	-0,93	0,47	0,84	0,09	0,7	-0,28
1992	-0,51	-1,86	-1,5	-1,29	-0,81	-0,15	-0,16	0,83	0,84	0,42	-0,35	-0,23
1993	-0,47	-0,82	-1,98	-1,18	0,56	1,2	0,92	-0,97	0,47	1,34	1,26	0,5

Tabela B3 (Continuação) – Valores de SPI-3 meses obtidos para o período de tempo analisado e correspondente

classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-3 meses											
	Nov-Dez-Jan <=> Jan	Dez-Jan-Fev <=> Fev	Jan-Fev-Mar <=> Mar	Fev-Mar-Abr <=> Abr	Mar-Abr-Mai <=> Mai	Abr-Mai-Jun <=> Jun	Mai-Jun-Jul <=> Jul	Jun-Jul-Ago <=> Ago	Jul-Ago-Set <=> Set	Ago-Set-Out <=> Out	Set-Out-Nov <=> Nov	Out-Nov-Dez <=> Dez
1994	0,35	0,53	0,44	-0,26	0,5	1,08	1,39	-0,43	0,49	0,61	0,76	0,56
1995	0,68	0,69	0,55	-0,09	-0,42	-0,3	0,59	-0,37	0,55	0,21	0,98	1,09
1996	1,37	1,09	0,84	0,14	-0,18	-0,42	-0,17	-0,56	0,42	0,22	0,58	0,52
1997	0,4	0,01	-0,8	-1,48	-0,38	1,11	1,65	1,43	-0,75	0,44	1,71	1,81
1998	1,29	0,05	-0,89	0,22	0,82	1,29	-0,39	-0,65	1,06	0,09	-0,28	-1,06
1999	-0,74	-0,85	-0,9	-0,39	0,35	0,41	-0,28	0,37	2,48	2,08	1,22	0,32
2000	-0,69	-0,69	-2,05	0,37	1,22	1,64	0,39	0,2	0,52	-0,2	1,3	2,13
2001	2,45	1,83	2,38	2,22	3,07	-0,22	0,19	0,11	0,03	0,51	-0,64	-1,14
2002	-1,74	-1,05	-0,31	-0,63	-0,9	-1,4	-0,99	-1,22	-1,57	-0,89	-0,3	0,11
2003	0,35	0,08	0,13	0,09	-0,1	-0,45	-0,65	0,43	-0,52	-0,79	-0,45	-0,5
2004	-0,42	-1,09	-1,08	-1,36	-1,01	-0,94	-1,32	-0,27	-0,17	0,11	-1,16	-1,46
2005	-2,3	-2,11	-1,44	-1,21	-0,74	-1,17	-0,77	-1,25	-1,09	0,05	-0,34	-0,48

Tabela B3 (Continuação) – Valores de SPI-3 meses obtidos para o período de tempo analisado e correspondente classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Ano	SPI-3 meses											
	Nov-Dez-Jan <=> Jan	Dez-Jan-Fev <=> Fev	Jan-Fev-Mar <=> Mar	Fev-Mar-Abr <=> Abr	Mar-Abr-Mai <=> Mai	Abr-Mai-Jun <=> Jun	Mai-Jun-Jul <=> Jul	Jun-Jul-Ago <=> Ago	Jul-Ago-Set <=> Set	Ago-Set-Out <=> Out	Set-Out-Nov <=> Nov	Out-Nov-Dez <=> Dez
2006	-1,39	-1,1	-0,17	0,47	0,32	-1,29	-2,07	-0,83	0,51	1,14	0,81	0,38
2007	-0,6	-0,13	-0,21	0,06	-1,07	-0,34	0,5	1,25	-0,33	-1,97	-2,63	-2,57
2008	-1,04	-0,97	-0,52	-0,26	0,38	0,47	0,02	0,42	0,41	-0,58	-1,42	-1,33

Tabela B4 – Valores de SPI-1 mês obtidos, para cada um dos anos seleccionados e correspondente classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Intensidade de seca	Ano	Mês	SPI-1
Húmido	2000	1	-1,70
		2	-0,93
		3	-1,08
		4	2,51
		5	0,41
		6	-0,99
		7	1,53
		8	0,10
		9	0,17
		10	-0,07
		11	1,74
		12	1,91
Próximo do normal	2006	1	-1,42
		2	-0,17
		3	1,25
		4	-0,06
		5	-1,54
		6	-0,98
		7	-0,67
		8	0,56
		9	0,74
		10	1,08
		11	0,07
		12	0,04

Tabela B4 (Continuação) – Valores de SPI-1 mês obtidos, para cada um dos anos seleccionados e correspondente classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Intensidade de seca	Ano	Mês	SPI-1
Seca moderada	2008	1	0,04
		2	-0,83
		3	-0,04
		4	0,97
		5	0,27
		6	-0,43
		7	0,59
		8	1,09
		9	0,03
		10	-0,98
		11	-0,62
		12	-0,42
Seca severa	2007	1	-1,22
		2	0,83
		3	-0,04
		4	-1,29
		5	-0,20
		6	1,26
		7	0,79
		8	0,48
		9	-0,73
		10	-2,75
		11	-0,81
		12	-1,32

Tabela B4 (Continuação) – Valores de SPI-1 mês obtidos, para cada um dos anos seleccionados e correspondente classificação dos valores de SPI de acordo com a utilizada neste estudo e representada na tabela 8.

Intensidade de seca	Ano	Mês	SPI-1
Seca extrema	2005	1	-1,56
		2	-1,64
		3	0,21
		4	-0,81
		5	-0,36
		6	-0,84
		7	0,27
		8	-1,13
		9	-0,56
		10	0,68
		11	-0,56
		12	-0,59

Anexo C

Análise da adequabilidade da informação disponível no SNIRH
para as estações de qualidade da bacia

Tabela C1 – Período de medição dos parâmetros analisados (azoto amoniacal, CBO 5 dias, coliformes fecais e estreptococos fecais) em cada uma das estações de qualidade.

	Azoto amoniacal		CBO 5 dias		Coliformes fecais		Estreptococos fecais	
	Data início	Data final	Data início	Data final	Data início	Data final	Data início	Data final
Estações	Arcozelo	03-01-1994	02-12-2008	03-01-1994	02-12-2008	03-01-1994	04-07-1994	07-11-2005
	Bertiandos	02-11-1993	02-12-2008	02-11-1993	02-12-2008	02-11-1993	02-11-1994	03-11-2008
	Fonte Velha	06-10-1993	02-12-2008	06-10-1993	02-12-2008	06-10-1993	04-07-1994	03-11-2008
	Foz Estorãos	14-03-2000	02-12-2008	14-03-2000	02-12-2008			
	Foz Trovela	14-03-2000	03-12-2008	14-03-2000	03-12-2008			
	Foz Vade	14-03-2000	02-12-2008	14-03-2000	02-12-2008			
	Lanheses	24-10-1988	03-01-2000	24-10-1988	03-01-2000	24-10-1988	01-10-1990	03-01-2000
	Ponte Barca	24-10-1988	03-01-2000	24-10-1988	03-01-2000	24-10-1988	10-10-1994	03-01-2000
	Ponte Lima	24-10-1988	03-01-2000	24-10-1988	03-01-2000	24-10-1988	05-11-1990	03-01-2000
	Ponte Velha (Rio Ázere)	12-01-1993	02-12-2008	12-01-1993	02-12-2008	12-01-1993	04-07-1994	03-11-2008
	Pontilhão Celeirós	11-10-1989	02-12-2008	01-10-1990	02-12-2008	01-10-1990	05-11-1990	05-02-2007
	Pontilhão Valeta	06-10-1993	01-10-1996	06-10-1993	01-10-1996	06-10-1993	04-07-1994	01-10-1996
	São João	06-10-1993	02-12-2008	06-10-1993	02-12-2008	06-10-1993	02-01-1995	03-11-2008

Tabela C1 (Continuação) – Período de medição dos parâmetros analisados (condutividade de campo a 20 °C, oxigénio dissolvido campo e sólidos suspensos totais) em cada uma das estações de qualidade seleccionadas.

	Condutividade de campo a 20 °C		Oxigénio dissolvido campo		Sólidos suspensos totais	
	Data início	Data final	Data início	Data final	Data início	Data final
Estações						
Arcozelo					03-01-1994	02-12-2008
Bertiandos	07-01-2003	07-01-2003	31-03-2003	11-12-2004	02-11-1993	02-12-2008
Fonte Velha	07-01-2003	01-09-2003			06-10-1993	02-12-2008
Foz Estorãos	07-01-2003	01-09-2003			14-03-2000	02-12-2008
Foz Tovelha	07-01-2003	01-09-2003			14-03-2000	03-12-2008
Foz Vade	07-01-2003	01-09-2003			14-03-2000	02-12-2008
Lanheses					24-10-1988	03-01-2000
Ponte Barca					24-10-1988	03-01-2000
Ponte Lima					24-10-1988	03-01-2000
Ponte Velha (Rio Ázere)	07-01-2003	01-09-2003			12-01-1993	02-12-2008
Pontilhão Celeirós	07-01-2003	01-09-2003			01-10-1990	02-12-2008
Pontilhão Valeta					06-10-1993	01-10-1996
São João	07-01-2003	01-09-2003	02-11-2004	02-11-2004	06-10-1993	02-12-2008

Tabela C2 - Período de medição do parâmetro oxigénio dissolvido – lab. analisado em cada uma das estações de qualidade seleccionadas.

		Oxigénio dissolvido - lab.	
		Data início	Data final
Estações	Arcozelo	03-01-1994	02-12-2008
	Bertiandos	02-11-1993	02-12-2008
	Fonte Velha	06-10-1993	02-12-2008
	Foz Estorãos	14-03-2000	02-12-2008
	Foz Trovela	14-03-2000	03-12-2008
	Foz Vade	14-03-2000	02-12-2008
	Lanheses	24-10-1988	03-01-2000
	Ponte Barca	24-10-1988	03-01-2000
	Ponte Lima	24-10-1988	03-01-2000
	Ponte Velha (Rio Ázere)	12-01-1993	02-12-2008
	Pontilhão Celeirós	01-10-1990	02-12-2008
	Pontilhão Valeta	06-10-1993	01-10-1996
	São João	06-10-1993	02-12-2008

Anexo D

Relação entre as variáveis de qualidade e os valores de SPI-3
meses

Legenda dos gráficos relativos ao 1º grupo de estações (G1), Figuras D1 a D5:

- SPI-3 meses
- * Lanheses
- Ponte Barca
- ◆ Ponte Lima
- Húmido
- Seca moderada
- Seca severa
- Seca extrema

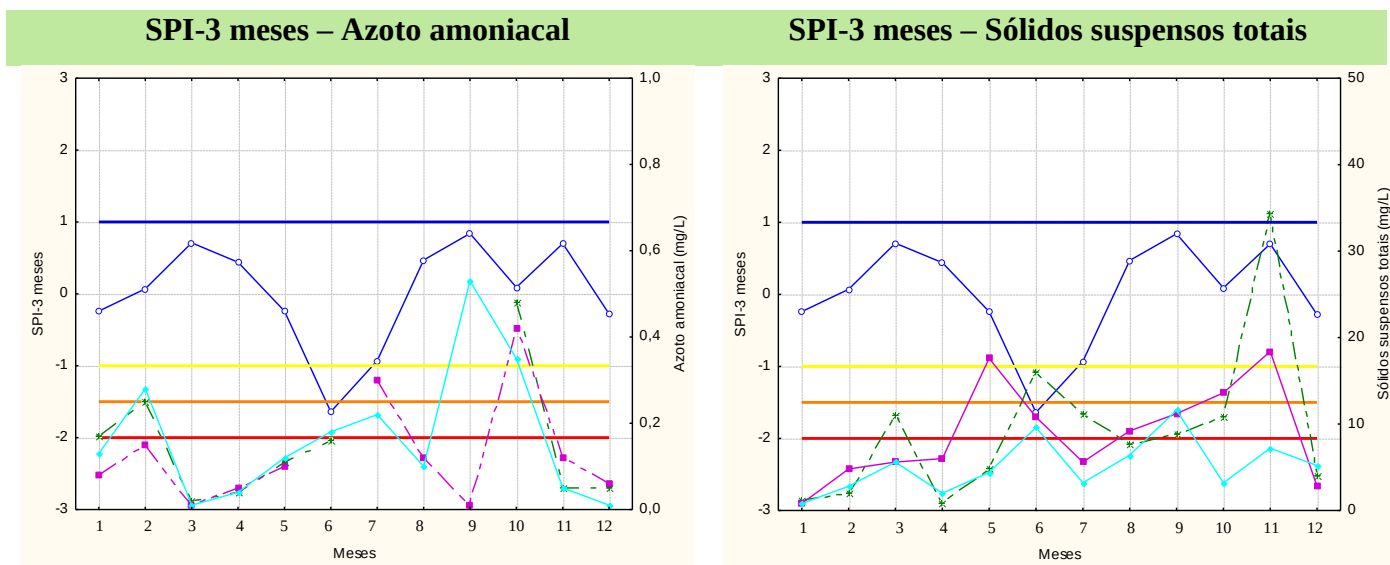


Figura D1 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1991 (ano próximo do normal).

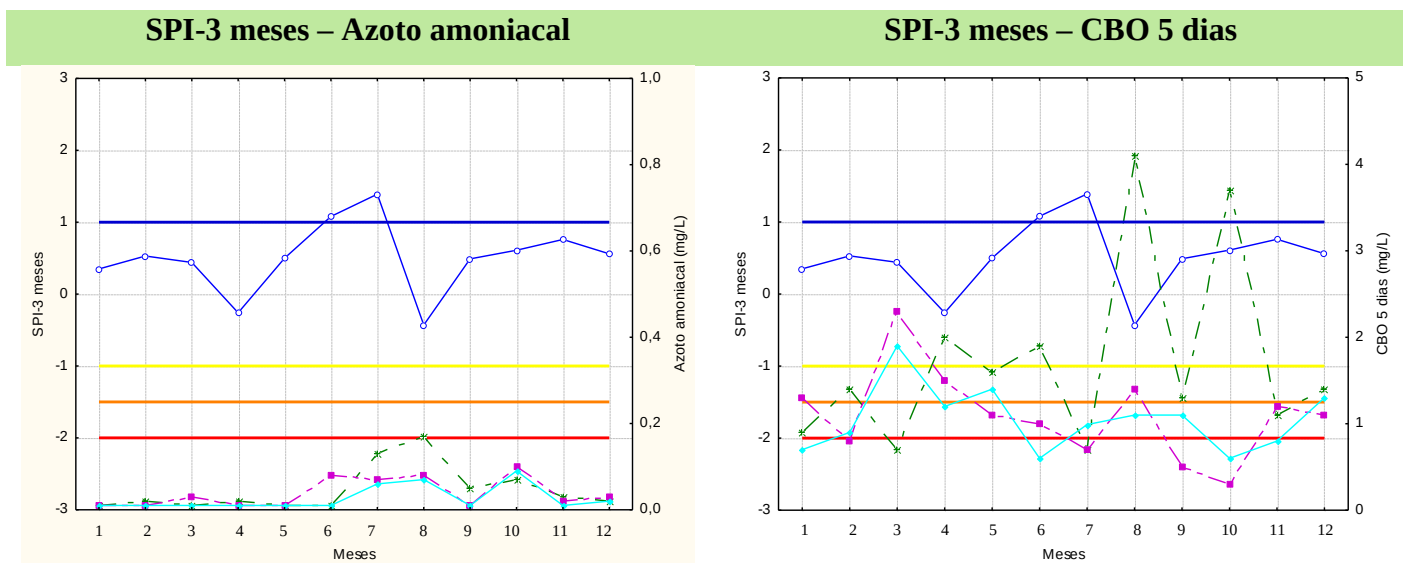
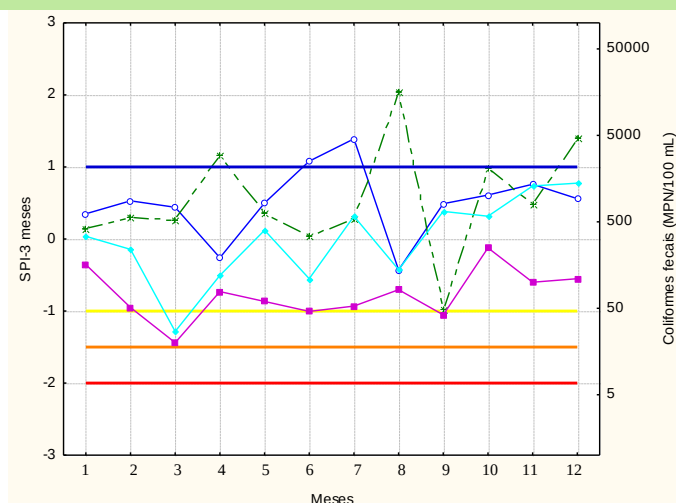
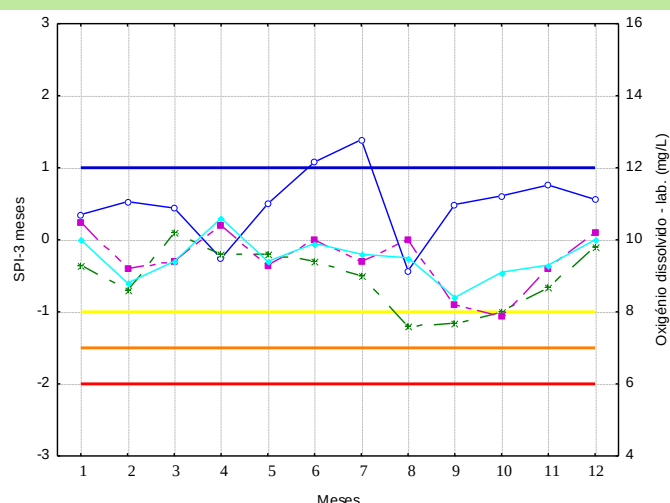


Figura D2 - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1994 (ano próximo do normal).

SPI-3 meses – Coliformes fecais



SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.



SPI-3 meses – Sólidos suspensos totais

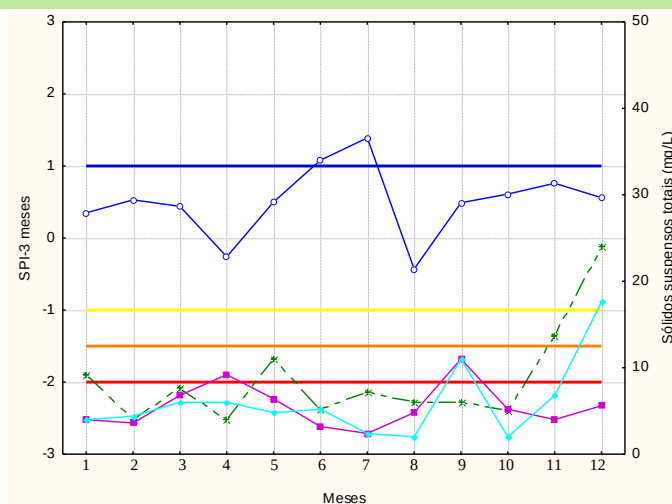
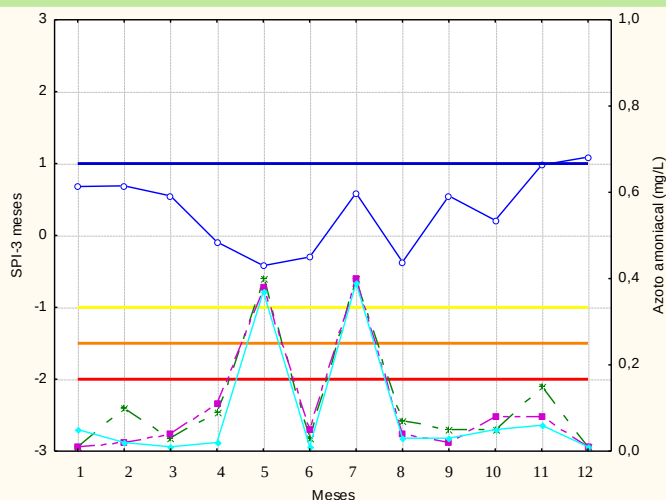
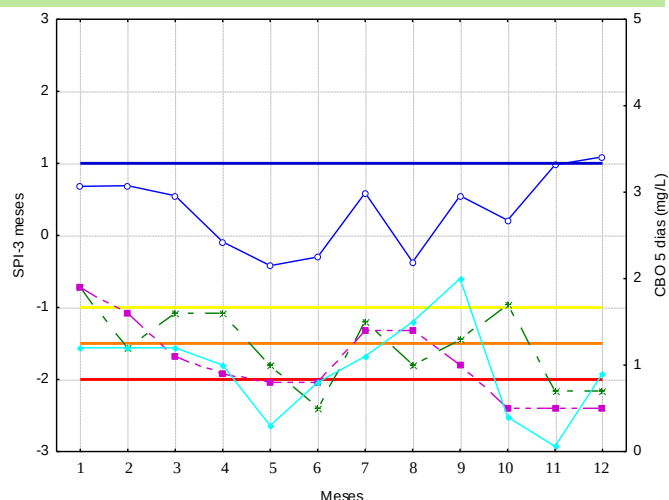


Figura D2 (Continuação) - Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1994 (ano próximo do normal).

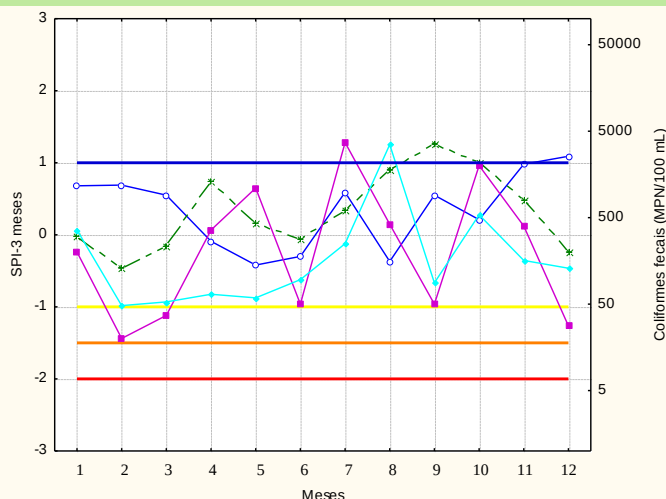
SPI-3 meses – Azoto amoniacal



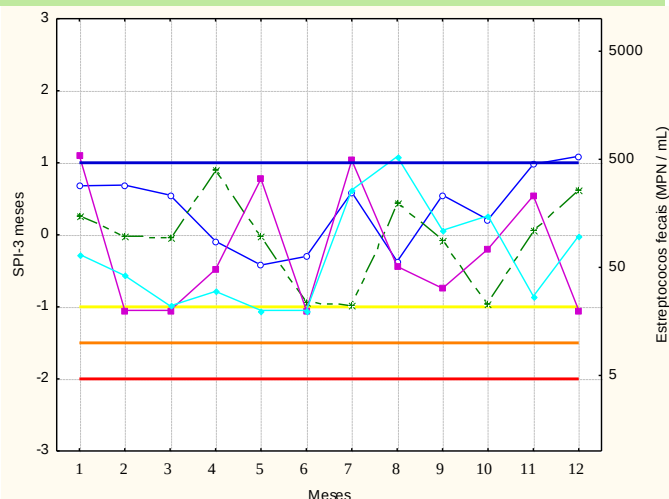
SPI-3 meses – CBO 5 dias



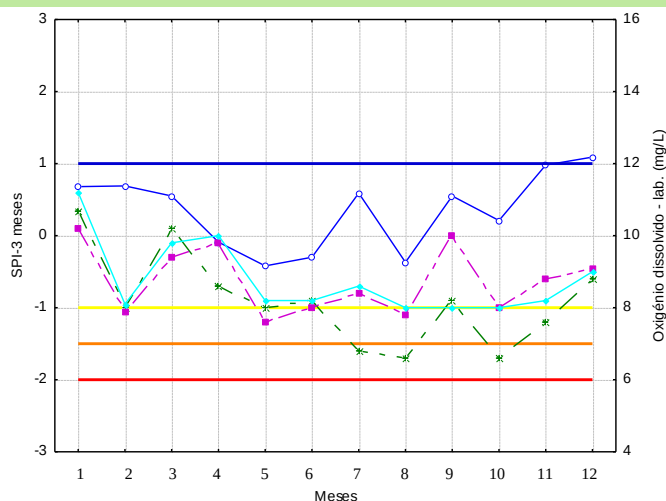
SPI-3 meses – Coliformes fecais



SPI-3 meses – Estreptococos fecais



SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.



SPI-3 meses – Sólidos suspensos totais

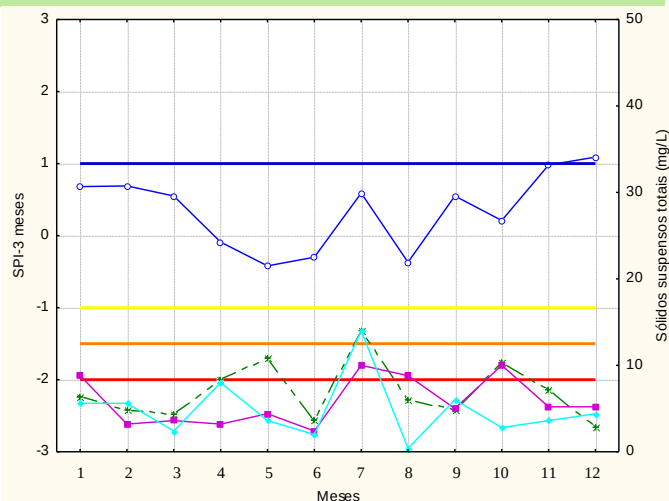
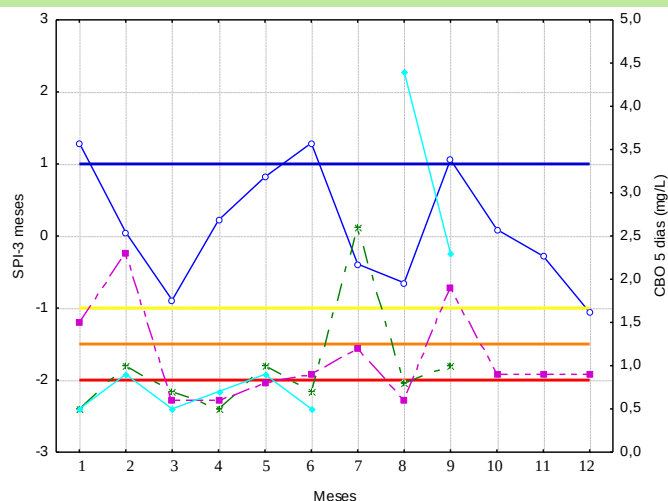
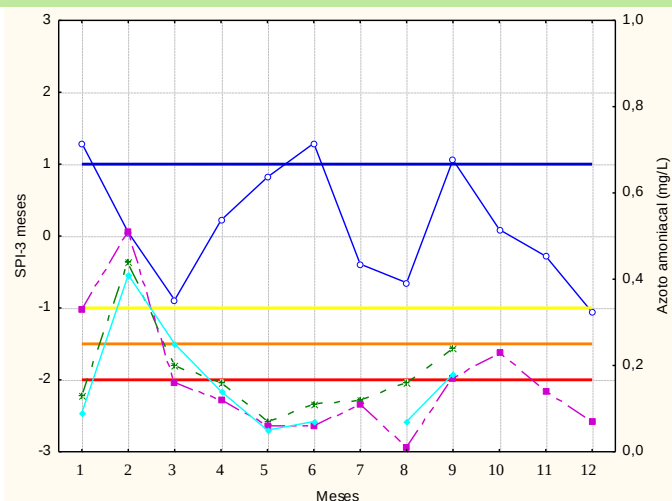


Figura D3 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1995 (ano próximo do normal).

SPI-3 meses – Azoto amoniacal

SPI-3 meses – CBO 5 dias



SPI-3 meses – Coliformes fecais

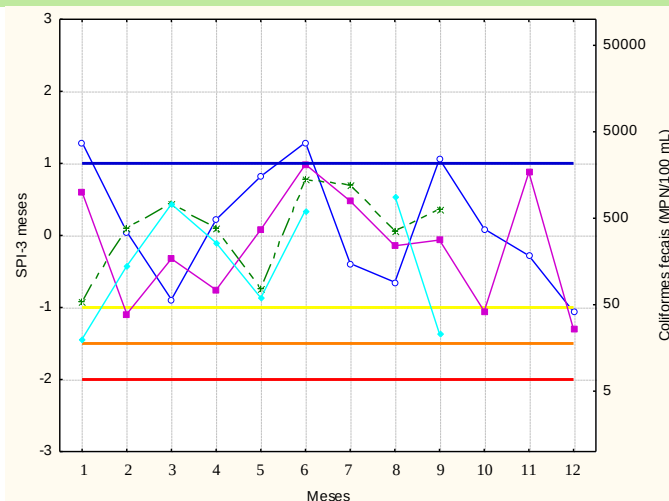


Figura D4 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1998 (ano próximo do normal).

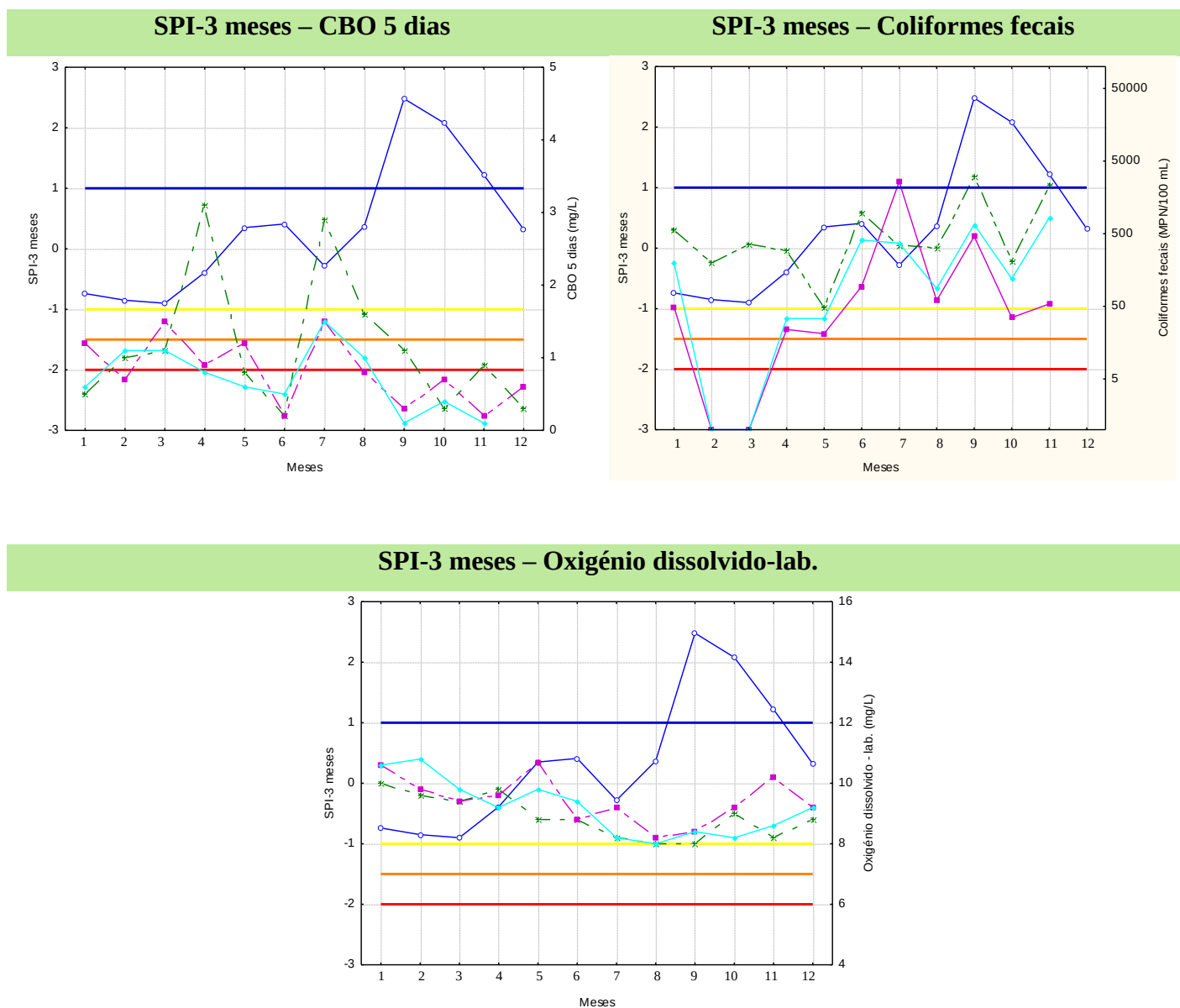


Figura D5 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 1999 (ano próximo do normal).

Legenda dos gráficos construídos para o 2º grupo de estações (G2), Figuras D6 a D9:

- SPI-3 meses
- Arcozelo
- Foz Trovela
- ◆ Foz Vade
- ▲ Foz Estorãos
- ✦ Pontilhão Celeirós
- Húmido
- Seca moderada
- Seca severa
- Seca extrema

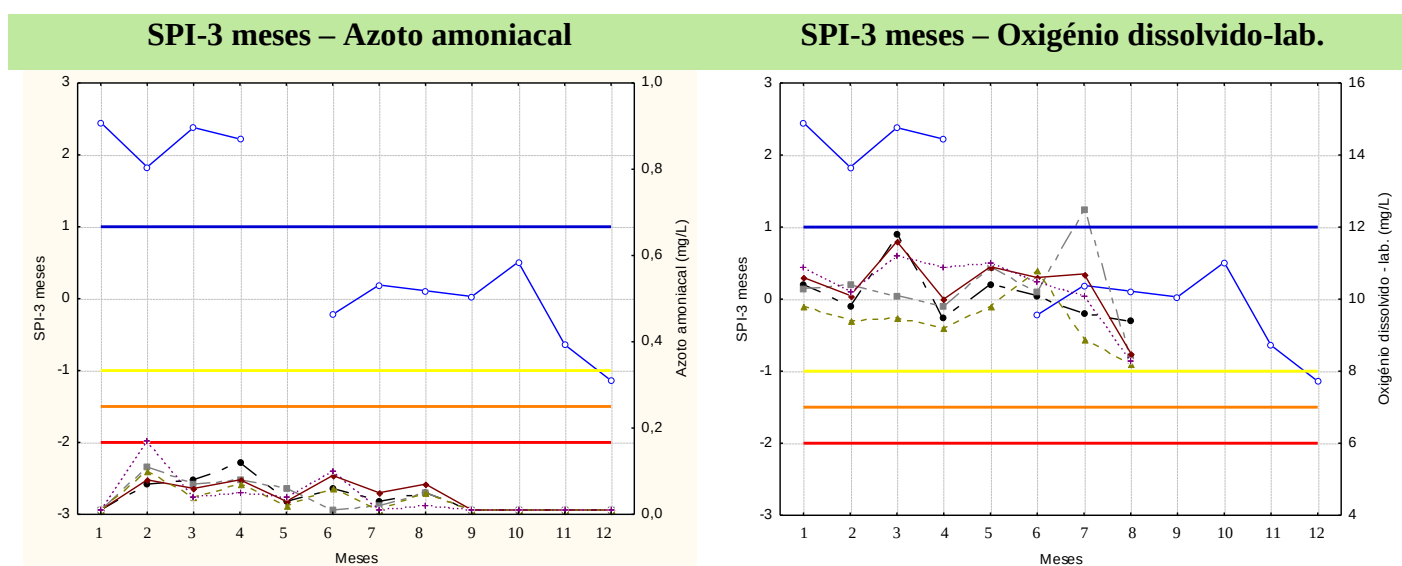
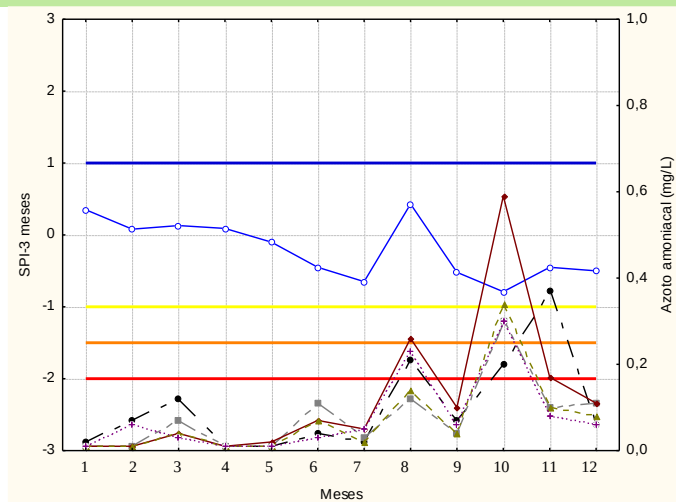


Figura D6 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o **ano 2001 (ano húmido)**.

SPI-3 meses – Azoto amoniacal



SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.

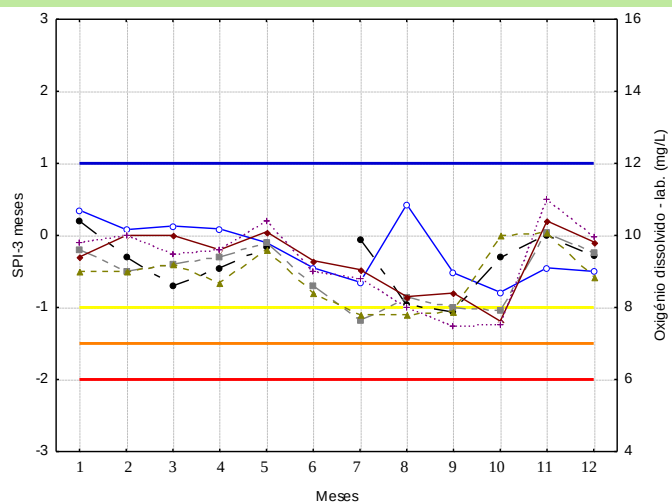
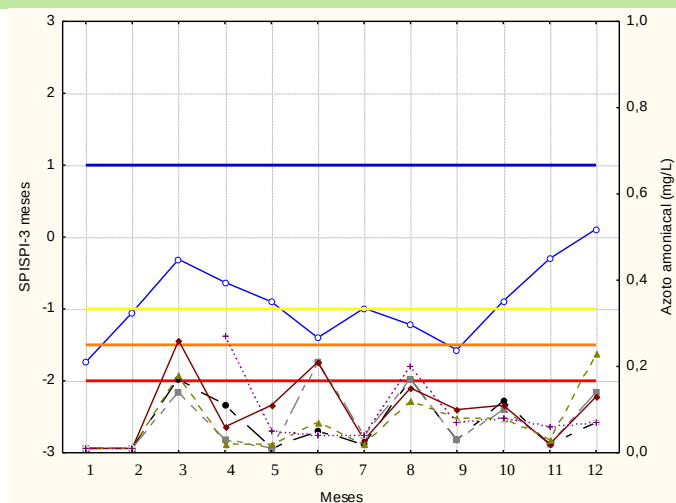


Figura D7 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2003 (ano próximo do normal).

SPI-3 meses – Azoto amoniacal



SPI-3 meses – Oxigénio dissolvido-lab.

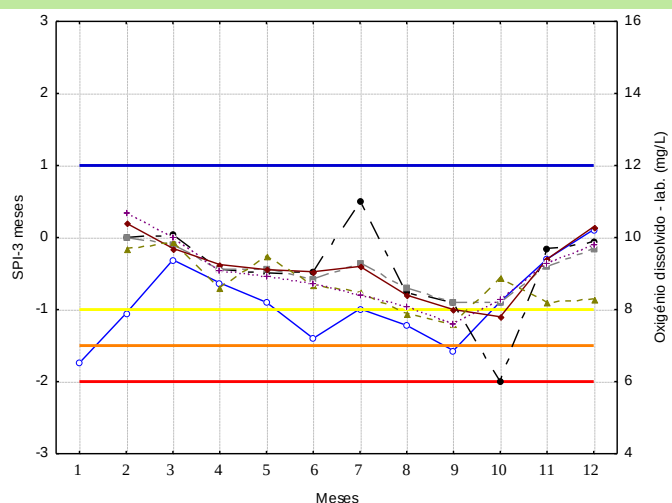


Figura D8 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2002 (ano de seca moderada).

SPI-3 meses – Azoto amoniacal

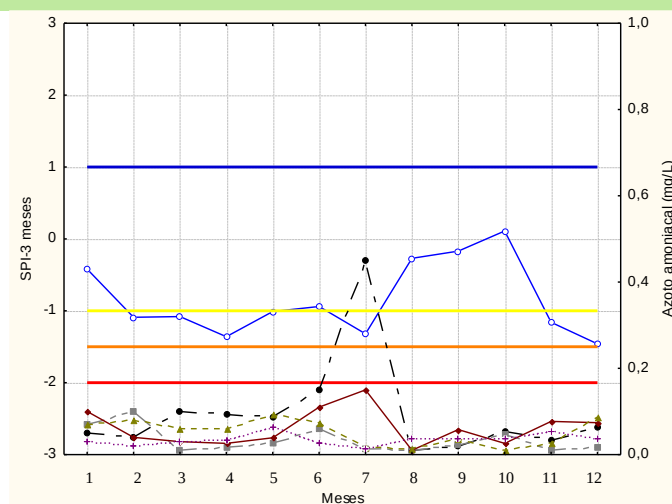


Figura D9 – Comparação mensal do SPI-3 meses com os diferentes parâmetros de qualidade seleccionados para o ano 2004 (ano de seca extrema).

Anexo E

Análise das estações de qualidade e meteorológicas de acordo
com a proximidade entre elas

Tabela E1 – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte da Barca), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estação de qualidade (Fonte Velha).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m³/s)	Estação Fonte Velha				
					Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigênio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Húmido	2000	1	39,3	97,36	Ausência de série de dados completos				
		2	46,8	44,11					
		3	31,3	13,04					
		4	391,4	80,86					
		5	157,2	109,08					
		6	13,0	25,13					
		7	55,1	35,38					
		8	11,2	18,33					
		9	76,0	36,14					
		10	121,9	26,93					
		11	542,5	97,29					
		12	566,0	298,00					

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte da Barca), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estação de qualidade (Fonte Velha).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m³/s)	Estação Fonte Velha				
					Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - labj	Sólidos suspensos totais
Próximo do normal	2006	1	52,8	57,69	0,04	2,0	570	10,4	2,0
		2	110,6	34,96	0,04	2,0	1	10,4	2,0
		3	283,3	81,84	0,04	2,3	120	12,0	2,3
		4	68,0	63,03	0,04	2,0	9	9,0	2,0
		5	18,9	28,95	0,09	2,0	168	9,5	2,0
		6	23,4	15,27	0,04	2,0	47	9,8	2,0
		7	6,3	17,16	0,05	2,0	173	9,6	2,0
		8	46,4	9,39	0,26	2,0	188	8,0	4,3
		9	128,9	10,68	0,07	2,0	68	7,4	2,0
		10	393,9	29,69	0,12	2,0	1300	8,9	2,9
		11	282,1	72,60	0,07	2,0	160	8,4	2,8
		12	185,3	115,51	0,04	3,3	43	12,0	2,0

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte da Barca), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estação de qualidade (Fonte Velha).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m³/s)	Estação Fonte Velha				
					Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigênio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Seca moderada	2008	1	198,1	73,80	0,12	Todos os dados com o valor < 2,0 como tal excluídos da análise	320	10,2	3,1
		2	72,8	56,01	0,08		100	10,7	3,1
		3	91,0	37,91	0,04		76	10,3	2,0
		4	204,6	65,28	0,04		300	9,8	2,9
		5	115,5	68,94	0,06		120	11,0	2,0
		6	35,4	57,30	0,05		95	9,6	2,0
		7	29,1	40,64	0,03		84	8,5	5,2
		8	66,7	23,42	0,04		280	8,9	2,1
		9	63,2	37,23	0,04		170	9,4	2,2
		10	55,0	50,83	0,03		90	7,8	2,9
		11	79,0	34,19	0,03		13	9,1	2,6
		12	126,9	55,42	0,03		49	9,3	2,5

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte da Barca), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estação de qualidade (Fonte Velha).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m³/s)	Estação Fonte Velha				
					Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Seca severa	2007	1	69,1	81,92	Ausência de série de dados completos	2,0	12	11,8	3,8
		2	267,2	92,86		2,0	27	11,3	3,1
		3	93,6	93,99		2,1	160	11,6	5,1
		4	41,5	35,64		2,0	22	9,4	2,0
		5	101,7	23,30		2,0	197	9,7	2,0
		6	131,9	39,90		2,0	7	9,0	2,0
		7	48,9	51,26		2,0	99	9,3	2,0
		8	45,3	30,65		2,0	127	7,7	2,0
		9	2,0	37,51		2,0	420	9,2	2,1
		10	5,9	34,74		2,0	23	7,9	2,2
		11	26,9	33,62		2,0	14	9,2	3,5
		12	40,2	31,46		2,0	123	9,9	2,0

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte da Barca), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estação de qualidade (Fonte Velha).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m³/s)	Estação Fonte Velha				
					Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigênio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Seca extrema	2005	1	22,7	41,60	0,03	0,7	19	10,6	5,0
		2	21,6	51,36	0,01	0,4	15	10,2	5,0
		3	161,0	40,62	0,04	1,7	5	-	2,6
		4	71,5	29,10	0,04	0,8	9	10,0	5,0
		5	71,1	29,38	0,24	4,6	60000	8,2	17,4
		6	34,1	29,78	0,05	0,6	62	8,5	5,0
		7	30,6	28,38	0,02	1,1	9	8,5	5,0
		8	3,4	33,14	0,04	1,6	43	8,8	5,0
		9	35,9	22,31	0,05	0,4	29	8,3	5,0
		10	336,6	29,12	0,14	0,7	128	7,9	5,0
		11	94,2	38,67	0,05	1,0	23	9,3	5,0
		12	128,0	47,39	0,07	1,0	26	9,5	3,5

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte de Lima), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estações de qualidade (Bertiandos e São João).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Estação Bertiandos					Estação São João				
				Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais	Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Húmido	2000	1	34,5	0,11	Todos os dados com o valor < 2,0 como tal excluídos da análise	300	8,8	5,2	0,20	2,0	42	8,0	5,0
		2	58,4	0,02		530	7,6	5,0	0,02	2,7	600	7,8	6,0
		3	39,6	0,20		1069	7,4	5,0	0,09	2,0	66	8,0	5,0
		4	346,9	0,01		457	7,6	5,0	0,01	2,0	1600	7,6	6,0
		5	147,8	0,01		320	9,1	5,0	0,04	2,0	480	9,0	5,0
		6	21,3	0,01		240	7,4	5,0	0,01	2,0	26	7,6	5,0
		7	60,1	0,05		830	7,2	5,0	0,05	2,0	12500	6,8	6,8
		8	16,8	0,06		610	6,8	5,0	0,08	2,0	240	7,6	5,0
		9	86,3	0,18		280	6,8	6,4	0,15	2,0	86	6,4	6,4
		10	148,1	0,01		310	9,0	5,0	0,01	2,0	5	8,8	5,0
		11	437,6	0,04		100	9,7	25,6	0,06	2,0	42	9,5	7,6
		12	496	0,11		1470	10,0	8,8	0,08	2,0	240	9,0	26,0

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte de Lima), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estações de qualidade (Bertiandos e São João).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Estação Bertiandos				Estação São João					
				Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigênio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais	Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigênio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Proximo do normal	2006	1	56,1	0,04	Todos os dados com o valor < 2,0 como tal excluídos da análise	120	10,7	7,0	0,04	2,0	61	10,8	2,0
		2	17,8	0,04		168	10,6	2,0	0,06	2,0	26	10,8	2,0
		3	137,9	0,04		400	12,2	2,9	0,05	2,2	50	11,9	2,0
		4	79,2	0,04		51	9,1	2,0	0,04	2,0	26	9,6	2,0
		5	65,4	0,04		150	9,5	2,0	0,09	2,0	43	9,3	2,0
		6	28,2	0,09		950	9,4	2,0	0,06	2,0	183	9,4	2,0
		7	27,8	0,06		94	9,5	2,3	0,08	2,0	98	9,1	2,8
		8	1,4	0,06		360	8,6	2,0	0,04	2,0	1100	8,7	2,9
		9	39,2	0,04		2000	8,4	3,2	0,04	2,0	250	8,0	2,2
		10	278,1	0,17		510	9,6	6,0	0,38	2,0	115	8,8	4,8
		11	69,1	0,10		170	8,9	4,1	0,04	2,0	690	8,6	2,8

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte de Lima), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estações de qualidade (Bertiandos e São João).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Estação Bertiandos					Estação São João				
				Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais	Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Seca moderada	2008	1	56	0,14	Todos os dados com o valor < 2,0 como tal excluídos da análise	600	10,6	8,7	0,11	Todos os dados com o valor < 2,0 como tal excluídos da análise	97	10,3	2,9
		2	117,6	0,07		100	10,0	2,4	0,07		15	10,5	2,0
		3	273,3	0,05		28	10,1	6,1	0,05		39	10,3	2,1
		4	118,8	0,08		195	9,4	2,0	0,05		120	9,5	5,0
		5	21,6	0,06		115	10,2	2,0	0,09		68	9,7	2,0
		6	40,4	0,07		39	9,5	2,6	0,05		19	9,5	2,0
		7	3,8	0,04		73	8,6	2,0	0,03		75	8,7	2,0
		8	33,9	0,05		645	8,5	2,0	0,04		42	8,8	2,0
		9	31,3	0,04		430	8,2	2,3	0,03		68	8,8	3,9
		10	370,6068	0,03		315	8,4	6,2	0,03		61	8,1	2,0
		11	62,93898	0,03		78	9,4	3,5	0,06		39	9,1	3,1
		12	237,2	0,03		500	9,5	2,5	0,04		116	9,8	2,0

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte de Lima), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estações de qualidade (Bertiandos e São João).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Estação Bertiandos					Estação São João				
				Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais	Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Seca severa	2007	1	66,01552	Ausência de série de dados completos	Todos os dados com o valor < 2,0 como tal excluídos da análise	43	11,6	4,2	Ausência de série de dados completos	2,2	58	11,8	3,2
		2	257,9			112	11,3	2,8		2,0	83	11,3	2,0
		3	106,7			32	11,3	2,0		2,0	200	11,4	2,2
		4	29,3			132	9,3	2,0		2,0	62	9,6	2,0
		5	105,9			320	9,4	2,3		2,0	220	9,2	2,0
		6	115,8			90	8,7	2,0		2,0	28	8,6	2,0
		7	51,1			123	9,2	2,7		2,0	97	9,1	6,0
		8	36,3			827	8,2	25,1		2,0	309	8,5	2,0
		9	29,3			650	8,2	4,7		2,0	610	9,2	11,4
		10	5,7			655	8,4	4,0		2,0	300	8,1	4,8
		11	69,7			620	9,5	3,8		2,0	34	9,4	2,5
		12	57,6			15	9,7	2,0		2,0	31	9,7	2,0

Tabela E1 (Continuação) – Valores de Precipitação, Caudais e Parâmetros de Qualidade para a estação meteorológica (Ponte de Lima), estações hidrométricas (Rabaçal e Ponte da Barca) e estações de qualidade (Bertiandos e São João).

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Estação Bertiandos					Estação São João				
				Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais	Azoto amoniacal	CBO 5 dias	Coliformes fecais	Oxigénio dissolvido - lab.	Sólidos suspensos totais
Seca extrema	2005	1	189,4	0,06	0,3	650	10,5	5,0	0,02	0,7	23	10,5	9,6
		2	69,4	0,03	0,3	490	10,3	5,0	0,02	0,4	190	10,3	5,0
		3	111,1	0,02	1,0	135	-	1,9	0,01	1,0	20	-	1,2
		4	102,6	0,04	1,0	68	9,6	5,0	0,11	1,1	82	9,5	5,0
		5	2,7	0,08	0,8	280	8,9	5,0	0,04	1,4	94	9,0	5,0
		6	33,87823	0,08	0,5	390	8,1	5,0	0,05	0,7	4	7,6	5,0
		7	37,22384	0,07	1,1	620	7,9	5,0	0,03	1,3	14	8,1	5,2
		8	72,01688	0,08	1,4	4200	8,3	5,0	0,05	1,6	94	8,7	5,0
		9	62,80481	0,04	0,5	1350	8,9	5,0	0,04	0,6	320	8,5	5,0
		10	52,37242	0,12	1,0	150	8,9	6,4	0,11	0,9	600	8,4	5,0
		11	74,14655	0,09	0,3	223	9,4	5,0	0,05	0,5	20	9,8	5,0
		12	119,0943	0,08	1,0	62	9,5	2,0	0,01	1,0	16	-	2,0

Anexo F

Análise da relação entre o caudal e a precipitação

Tabela F1 – Valores de precipitação (medidos pela estação meteorológica de Ponte da Barca) e valores de caudais medidos pelas estações hidrométricas de Rabaçal e Ponte da Barca, para os anos seleccionados.

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m ³ /s)
Húmido	2000	1	39,3	97,36
		2	46,8	44,11
		3	31,3	13,04
		4	391,4	80,86
		5	157,2	109,08
		6	13,0	25,13
		7	55,1	35,38
		8	11,2	18,33
		9	76,0	36,14
		10	121,9	26,93
		11	542,5	97,29
		12	566,0	298,00
Próximo do normal	2006	1	52,8	57,69
		2	110,6	34,96
		3	283,3	81,84
		4	68,0	63,03
		5	18,9	28,95
		6	23,4	15,27
		7	6,3	17,16
		8	46,4	9,39
		9	128,9	10,68
		10	393,9	29,69
		11	282,1	72,60
		12	185,3	115,51

Tabela F1 (Continuação) – Valores de precipitação (medidos pela estação meteorológica de Ponte da Barca) e valores de caudais medidos pelas estações hidrométricas de Rabaçal e Ponte da Barca, para os anos seleccionados.

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m ³ /s)
Seca moderada	2008	1	198,1	73,80
		2	72,8	56,01
		3	91,0	37,91
		4	204,6	65,28
		5	115,5	68,94
		6	35,4	57,30
		7	29,1	40,64
		8	66,7	23,42
		9	63,2	37,23
		10	55,0	50,83
		11	79,0	34,19
		12	126,9	55,42
Seca severa	2007	1	69,1	81,92
		2	267,2	92,86
		3	93,6	93,99
		4	41,5	35,64
		5	101,7	23,30
		6	131,9	39,90
		7	48,9	51,26
		8	45,3	30,65
		9	2,0	37,51
		10	5,9	34,74
		11	26,9	33,62
		12	40,2	31,46

Tabela F1 (Continuação) – Valores de precipitação (medidos pela estação meteorológica de Ponte da Barca) e valores de caudais medidos pelas estações hidrométricas de Rabaçal e Ponte da Barca, para os anos seleccionados.

Intensidade de seca	Ano	Mês	P (mm)	Q (m ³ /s)
Seca extrema	2005	1	22,7	41,60
		2	21,6	51,36
		3	161,0	40,62
		4	71,5	29,10
		5	71,1	29,38
		6	34,1	29,78
		7	30,6	28,38
		8	3,4	33,14
		9	35,9	22,31
		10	336,6	29,12
		11	94,2	38,67
		12	128,0	47,39

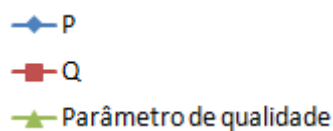
Tabela F2 – Valores de caudais para o ano de 2003 (ano próximo do normal) medidos nas estações do Alto Lindoso (afluente e efluente), Touvedo (afluente e efluente), Ponte da Barca e Rabaçal.

Mês	Q (m ³ /s)					
	Alto Lindoso afluente	Alto Lindoso efluente	Touvedo afluente	Touvedo efluente	Ponte da Barca	Rabaçal
1	148,30	164,90	196,95	196,80	250,1	238,6
2	65,42	59,04	67,86	68,48	98,7	75,1
3	50,61	44,84	50,44	48,61	82,7	58,5
4	57,01	49,57	56,27	54,40	83,7	65,7
5	31,53	27,86	33,06	32,64	52,8	37,1
6	14,45	21,00	21,78	19,78	44,3	28,3
7	16,59	30,99	31,27	28,62	54,4	38,8
8	10,79	20,18	19,98	18,83	43,9	26,3
9	7,90	14,52	16,17	12,44	36,6	19,6
10	19,81	21,26	25,63	23,53	47,9	31,1
11	56,63	29,77	43,58	40,11	65,2	47,3
12	52,70	70,45	79,08	79,05	104,4	89,4

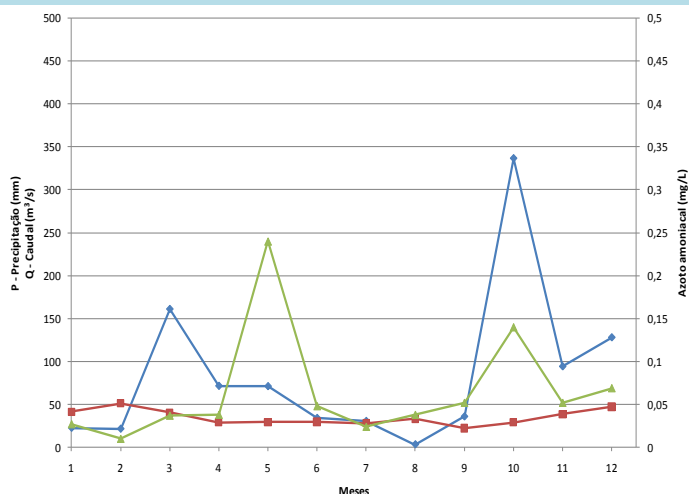
Anexo G

Análise da relação entre a precipitação, os caudais e os
parâmetros de qualidade

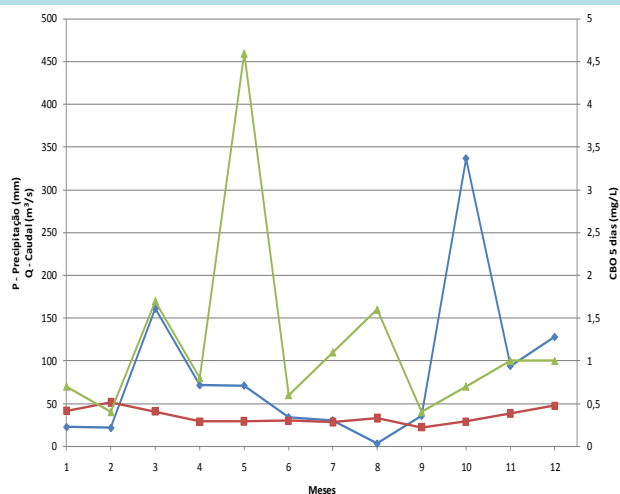
Legenda:



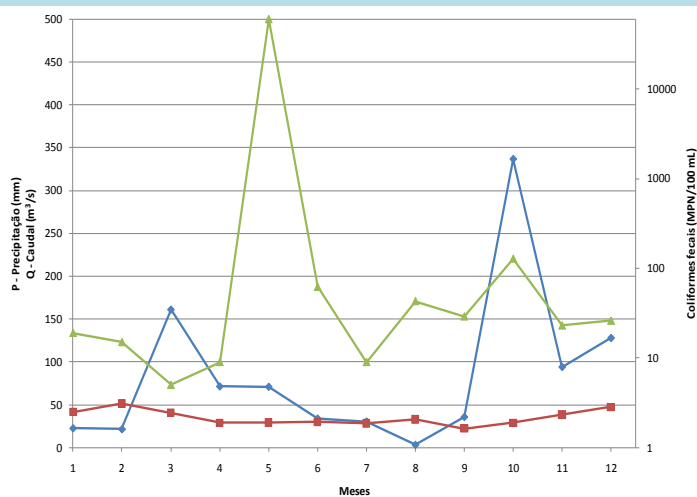
P – Q – Azoto amoniacal



P – Q – CBO 5 dias



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.

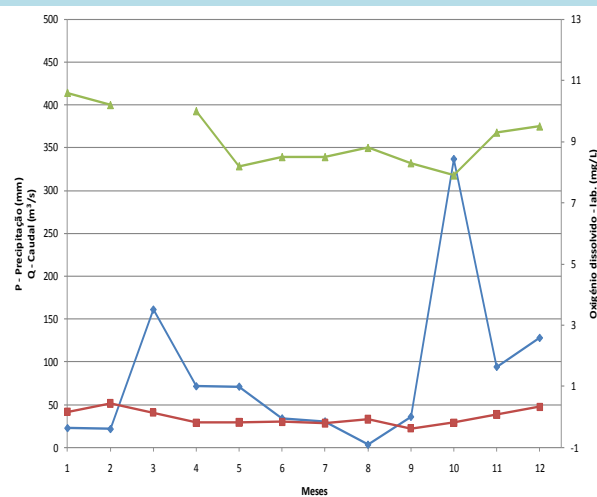


Figura G1 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o ano 2005 (ano de seca extrema).

P – Q – Sólidos suspensos totais

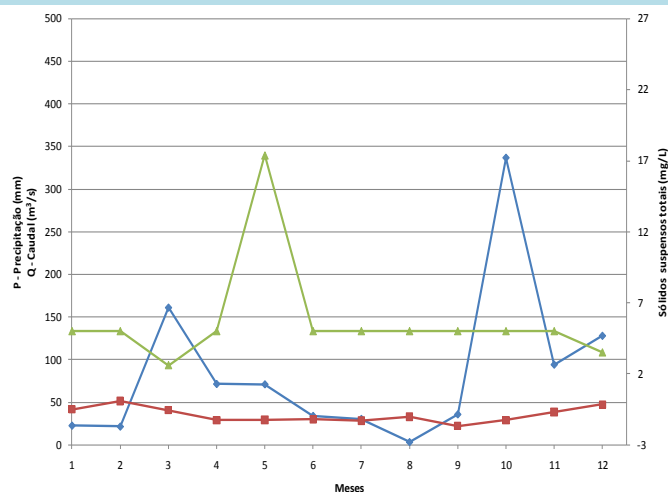
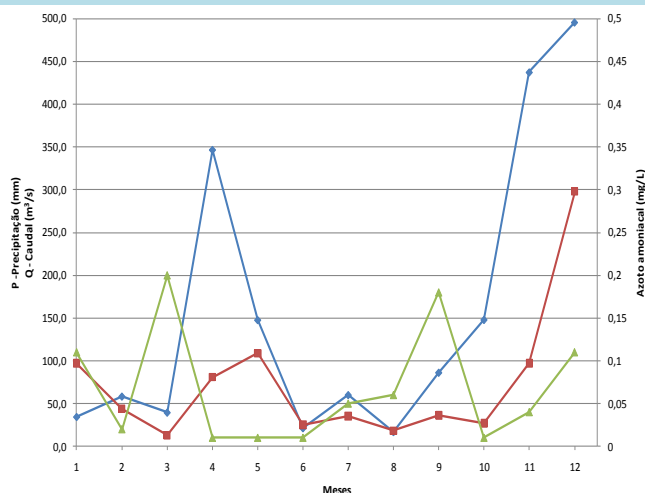


Figura G1 (Continuação) - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Fonte Velha) para o **ano 2005 (ano de seca extrema)**.

P – Q – Azoto amoniacal



P – Q – Coliformes fecais

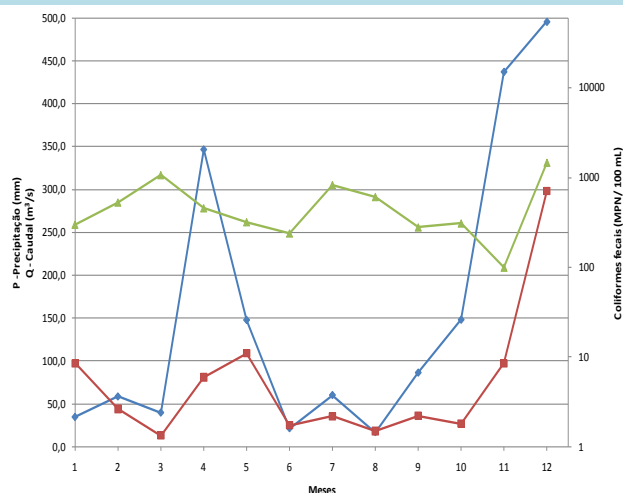
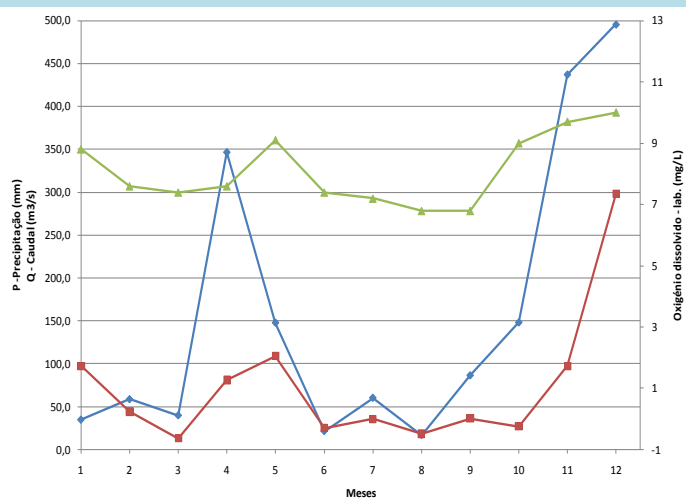


Figura G2 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Bertandos) para o **ano 2000 (ano húmido)**.

P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

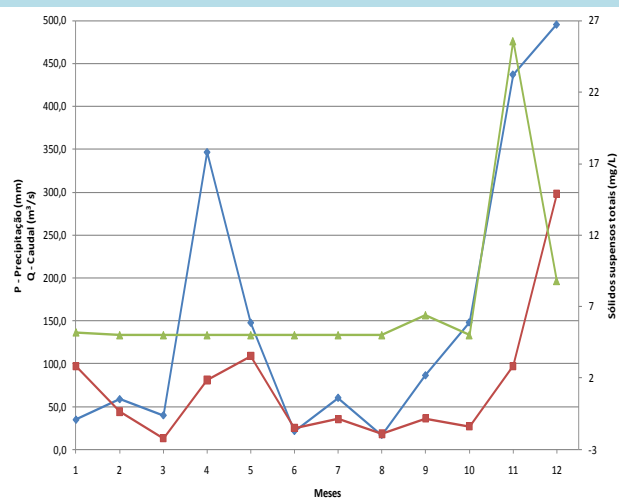
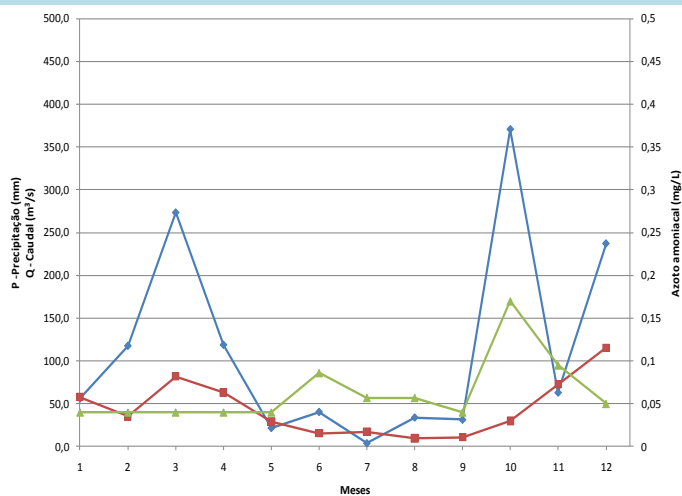
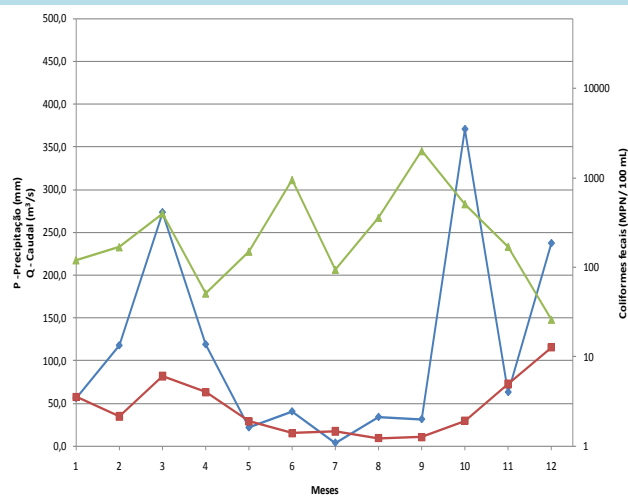


Figura G2 (Continuação) - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Bertiandos) para o **ano 2000 (ano húmido)**.

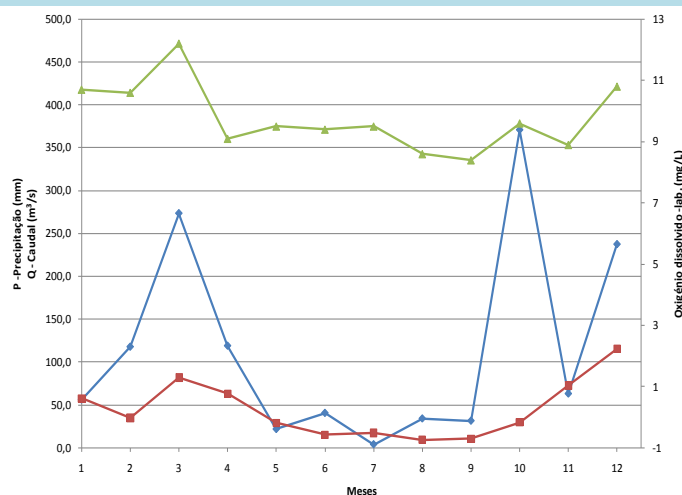
P – Q – Azoto amoniacal



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

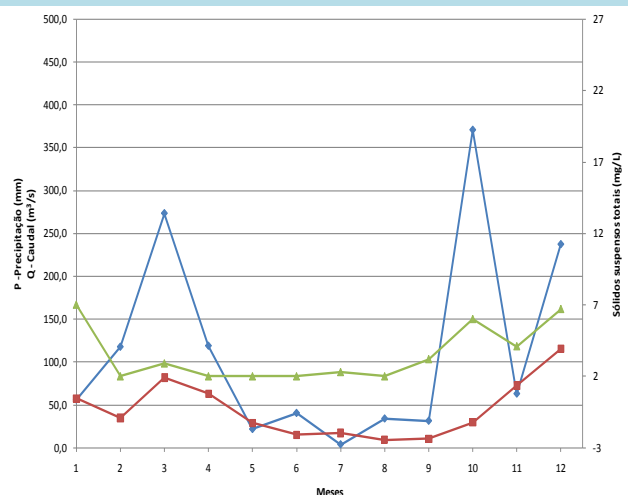
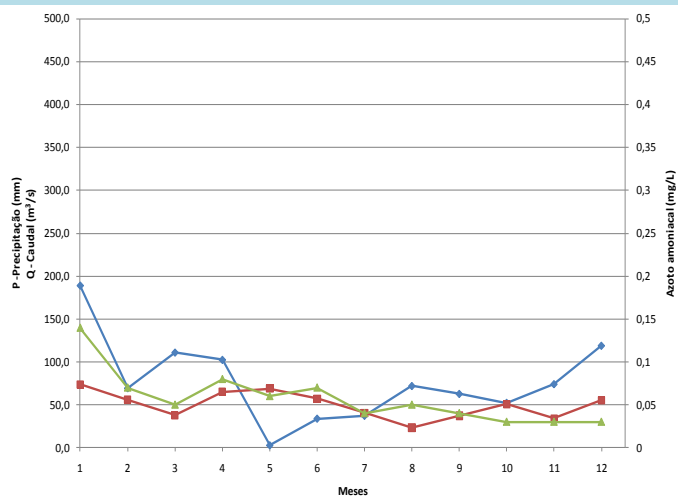
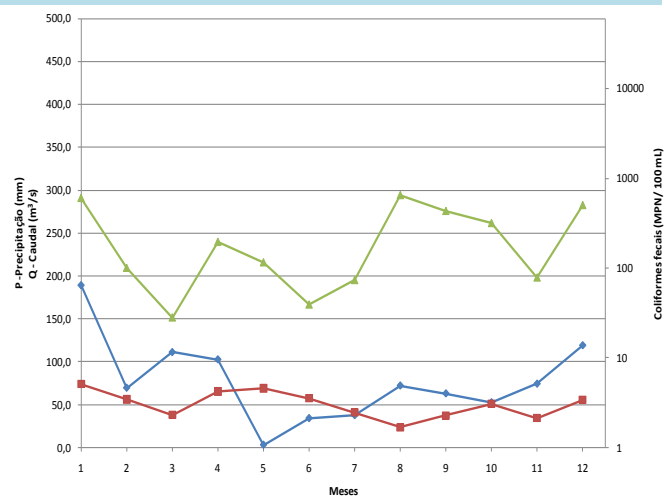


Figura G3 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de Bertandos) para o ano 2006 (ano próximo do normal).

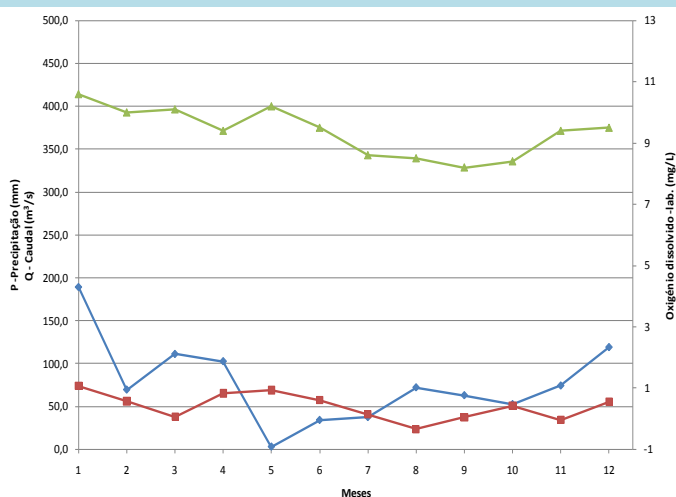
P – Q – Azoto amoniacal



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

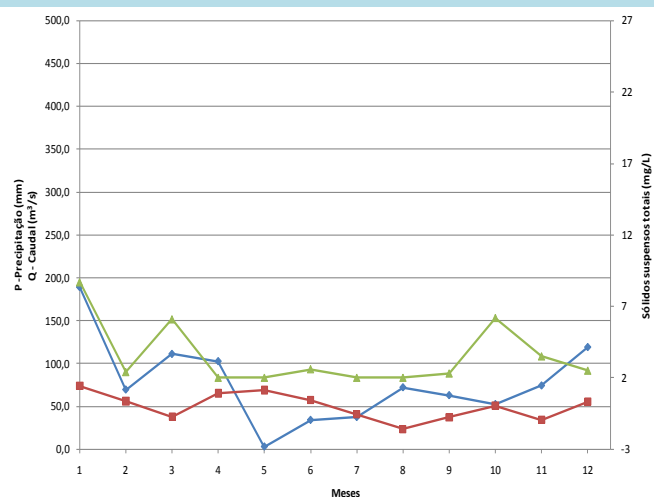


Figura G4 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade
(correspondentes à estação de Bertandos) para o **ano 2008 (ano de seca moderada)**.

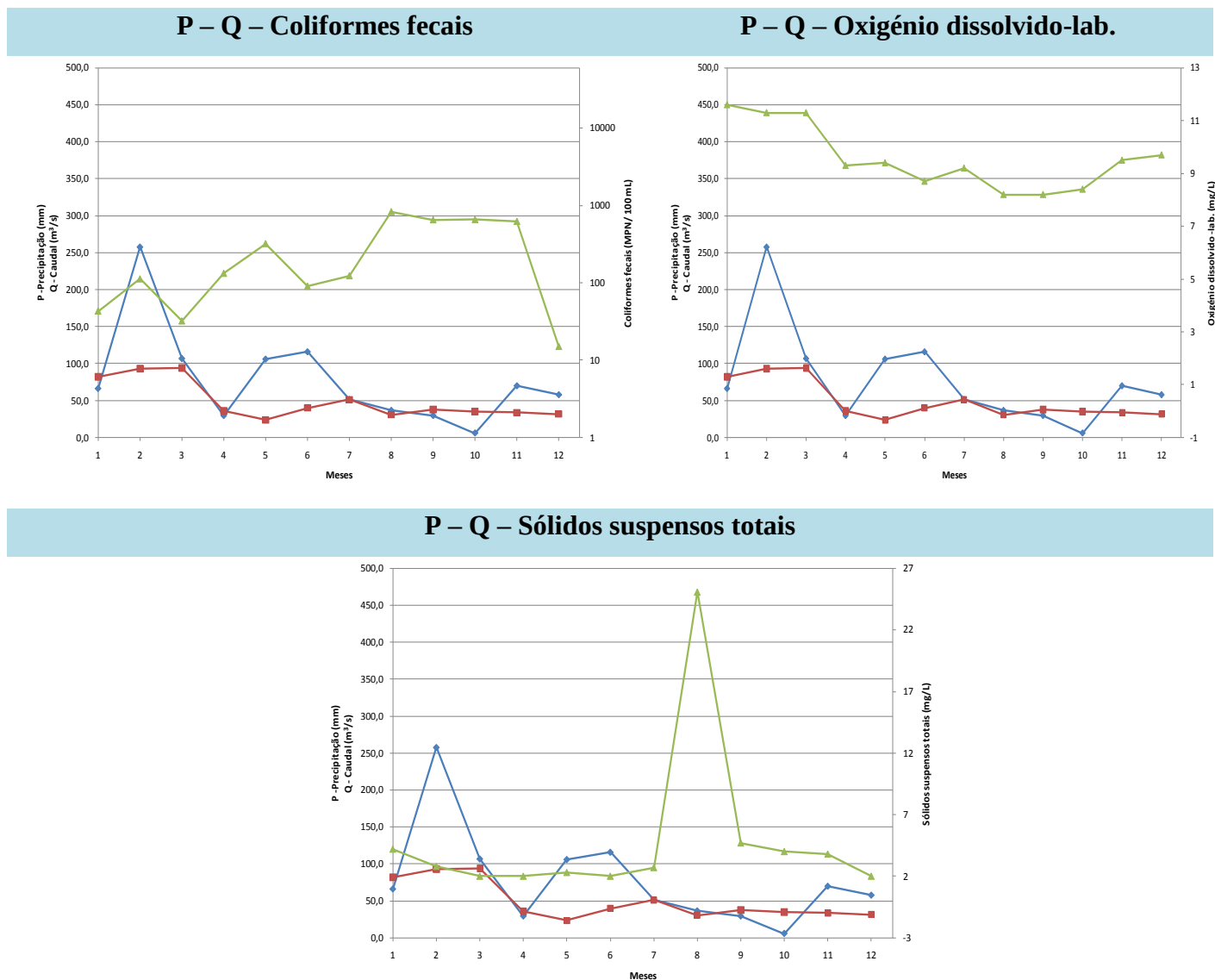
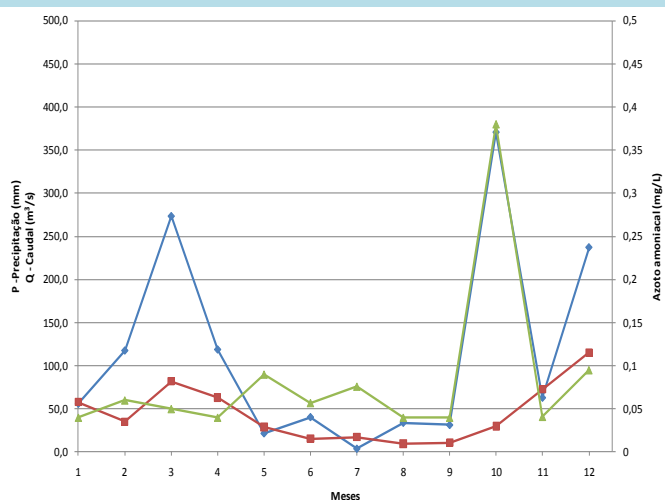


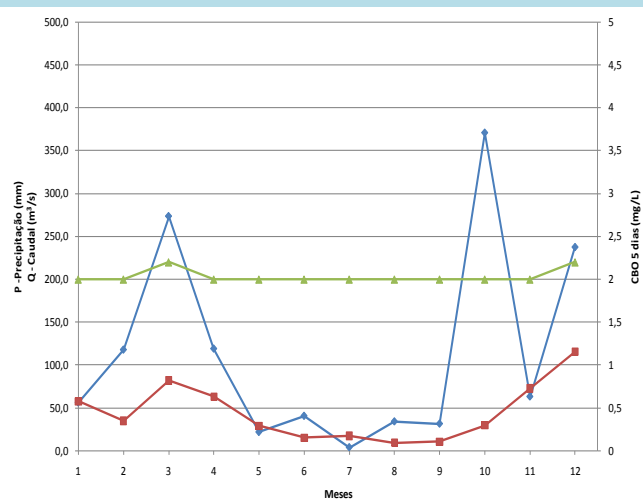
Figura G5 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade
(correspondentes à estação de Bertandos) para o **ano 2007 (ano de seca severa).**

Anexo G – Análise da relação entre precipitação, os caudais e os parâmetros de qualidade

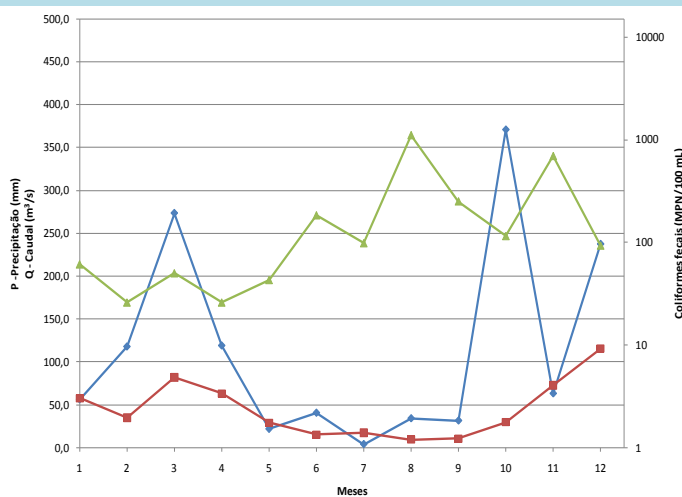
P – Q – Azoto amoniacal



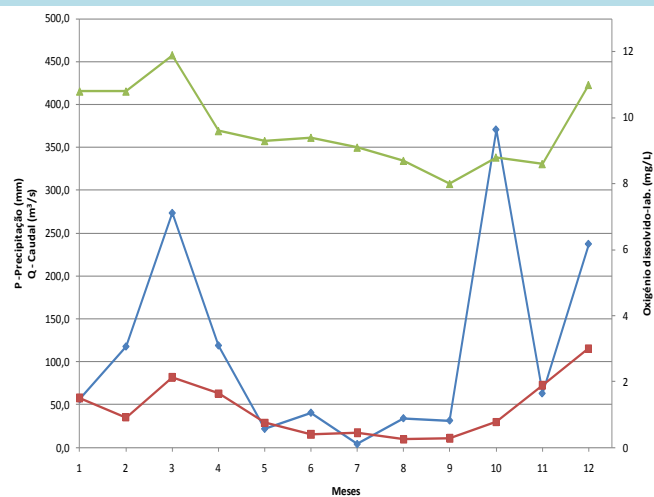
P – Q – CBO 5 dias



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

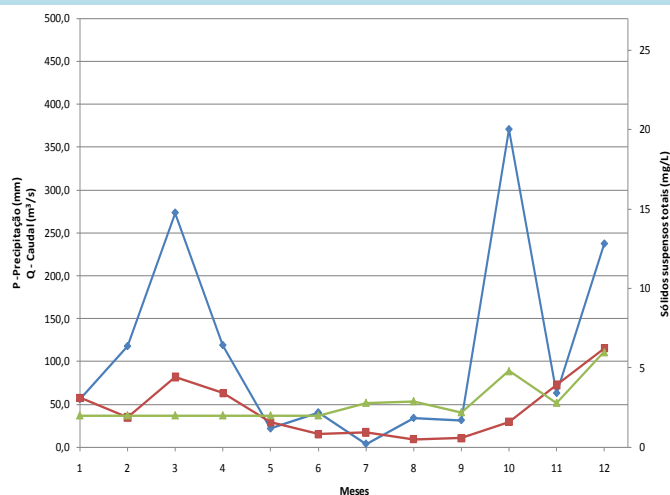
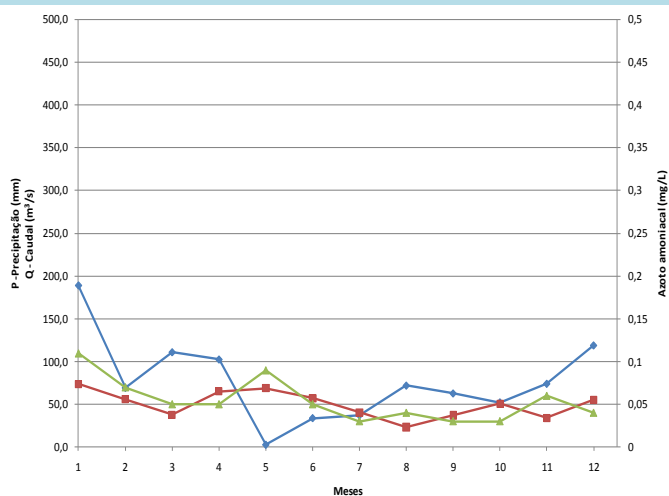
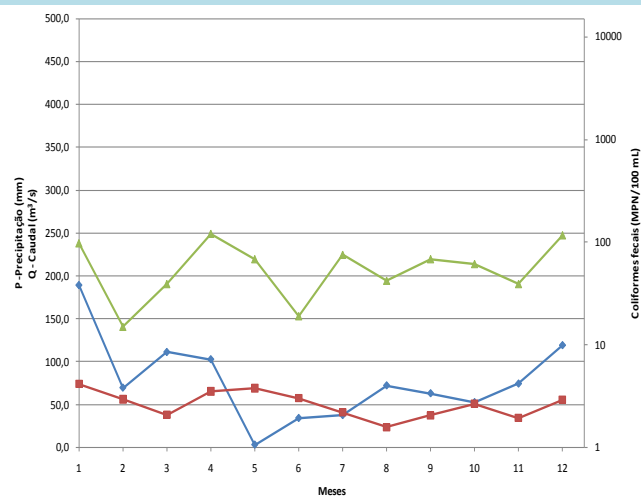


Figura G6 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de São João) para o **ano 2006 (ano próximo do normal)**.

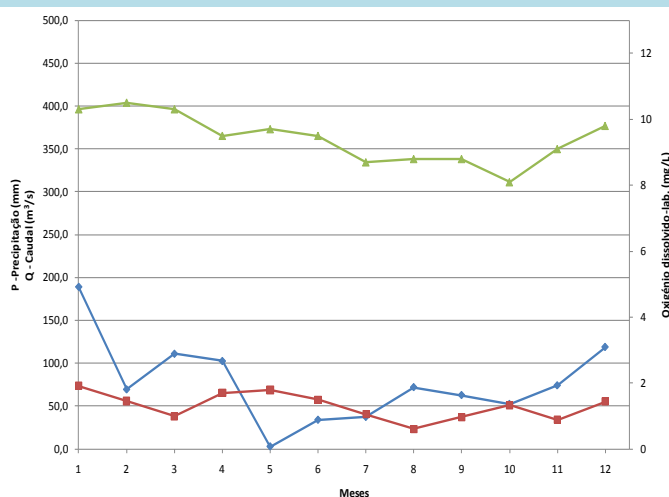
P – Q – Azoto amoniacal



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

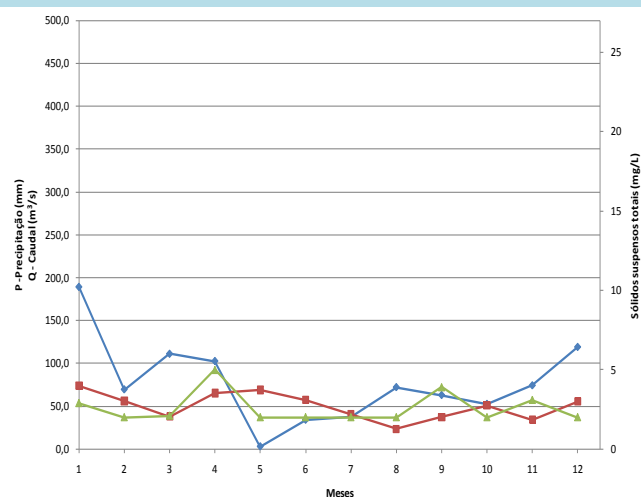


Figura G7 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade
(correspondentes à estação de São João) para o ano 2008 (ano de seca moderada).

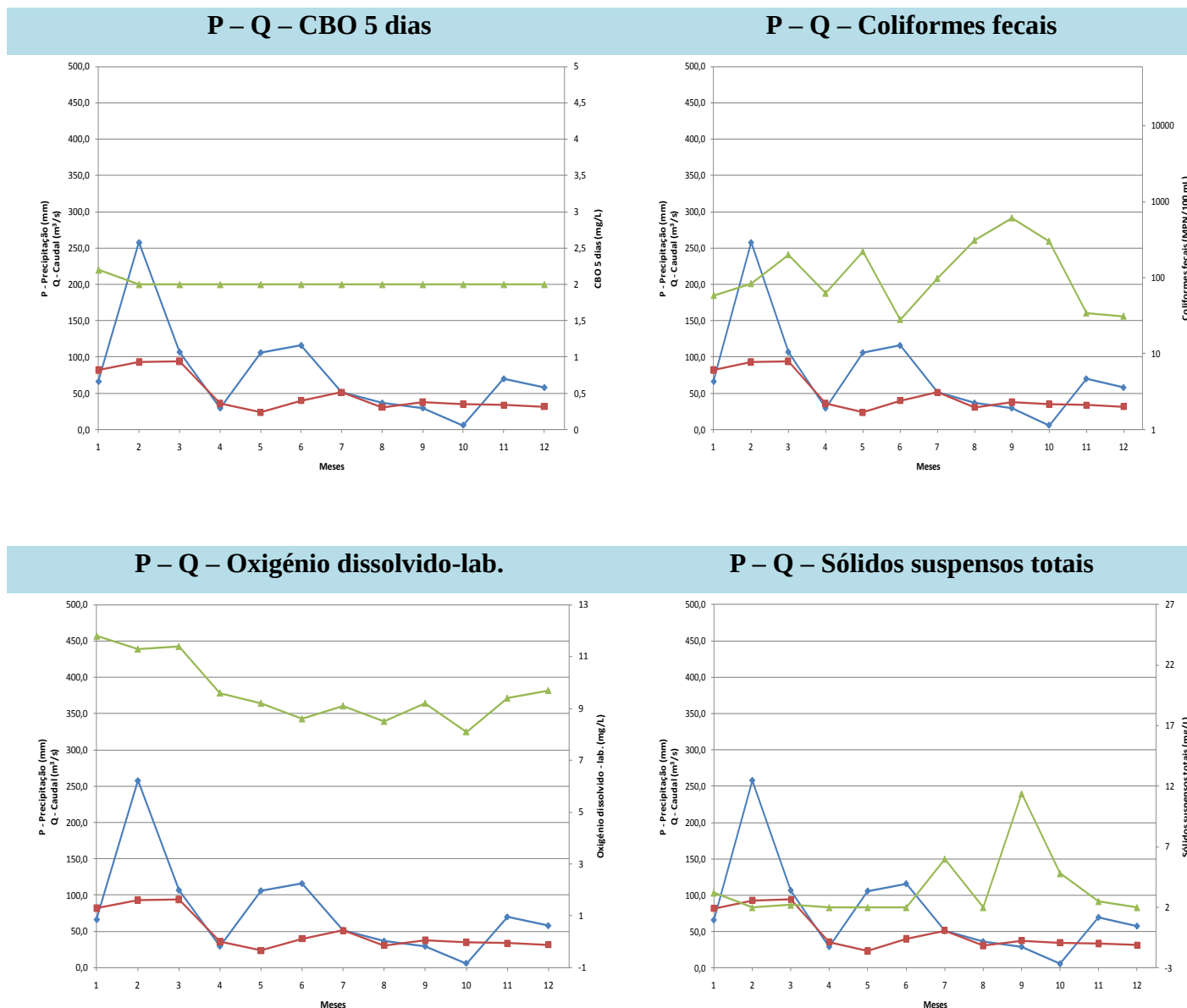
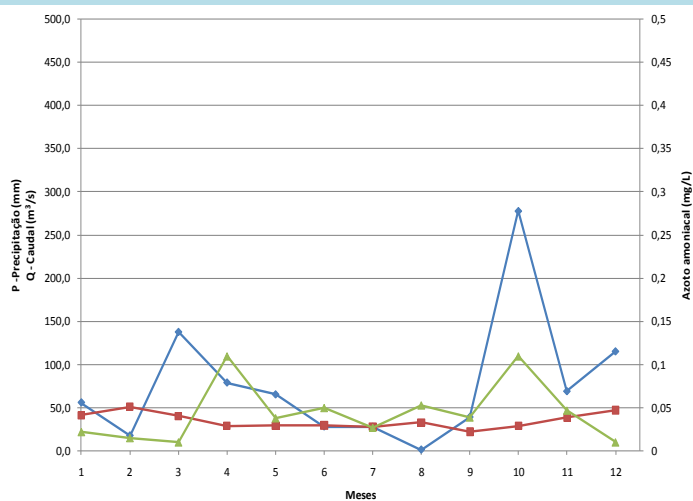


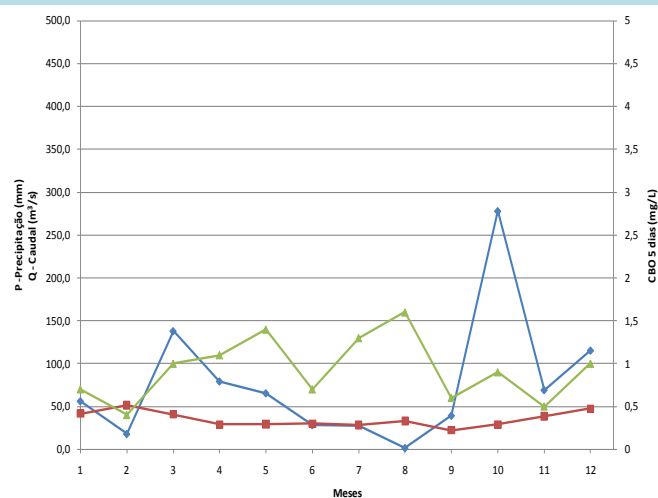
Figura G8 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade
(correspondentes à estação de São João) para o ano 2007 (ano de seca severa).

Anexo G – Análise da relação entre precipitação, os caudais e os parâmetros de qualidade

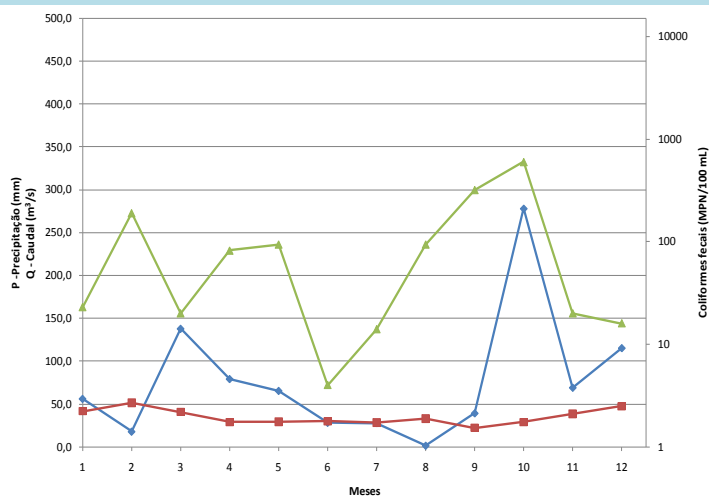
P – Q – Azoto amoniacal



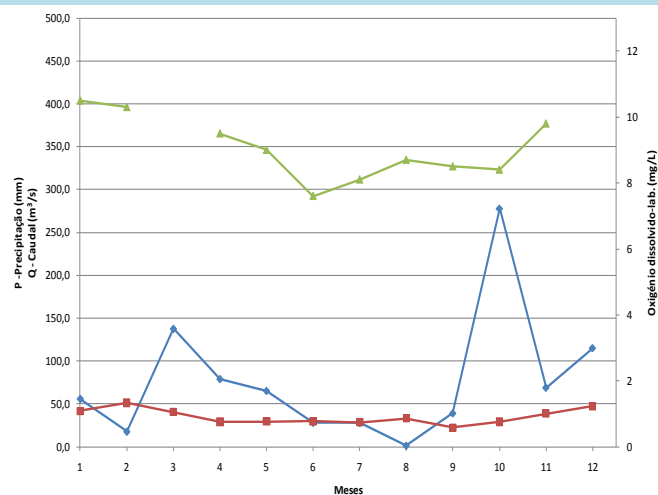
P – Q – CBO 5 dias



P – Q – Coliformes fecais



P – Q – Oxigénio dissolvido-lab.



P – Q – Sólidos suspensos totais

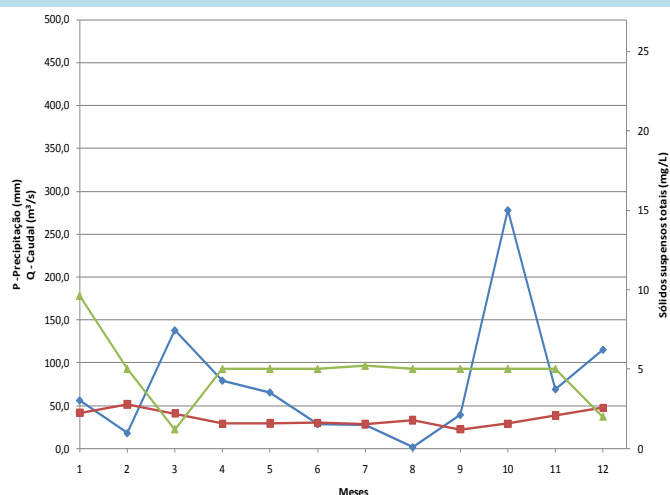


Figura G9 - Comparação mensal do Caudal e Precipitação e Parâmetros de Qualidade (correspondentes à estação de São João) para o **ano 2005 (ano de seca extrema)**.