



Monitorização de massas de água em contexto urbano

DIANA PATRICIA DA SILVA RIBEIRO

Novembro de 2017

Monitorização de massas de água em contexto urbano

Mestrado em Engenharia Química, Ramo de Tecnologias de Protecção
Ambiental

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Diana Patrícia da Silva Ribeiro

1100814

Orientadora: Doutora Sónia Figueiredo (ISEP)

Co-orientadora: Doutora Cristina Calheiros (CIIMAR)

Agradecimentos

À orientadora Sónia Figueiredo, pelo conhecimento e experiência transmitidos, pela orientação e grande apoio na realização deste trabalho. Pela disponibilidade e generosidade demonstradas, pelos incentivos e força dada ao longo destes meses.

À co-orientadora Doutora Cristina Calheiros, pelo conhecimento e experiência transmitidos, orientação, apoio e simpatia na realização deste trabalho.

À Engenheira Paula Paíga, pelos ensinamentos e ajuda na preparação das amostras e determinação da cafeína. Por todo o apoio, incentivos e simpatia demonstrados.

Às Engenheiras Aurora e Paula pelo apoio prestado na determinação da cafeína.

A todos os Engenheiros do Laboratório de Tecnologia, Tomás, Magda e Marília, pelo apoio que prestaram ao longo da determinação dos parâmetros físico-químicos.

À Professora Eva Barreira do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP) pela disponibilidade, participação ativa e apoio para a utilização da técnica de termografia por infravermelhos.

À Doutora Ana Ferreira, pela participação nas campanhas e todo o apoio prestado no âmbito do Projeto Charcos com Vida.

Ao Engenheiro João Sousa da FEUP, por prontamente aceitar participar neste trabalho, trazendo a tecnologia inovadora por ele desenvolvida, Waterfish, e amostrar no centro dos lagos do Parque da Cidade do Porto.

A todos do Grupo de Reações de Análises Químicas (GRAQ) que de alguma forma contribuíram, participaram e me auxiliaram neste trabalho.

Ao Doutor António Crispim Ribeiro, por toda a compreensão, disponibilidade e auxílio prestados que levaram a que o término deste trabalho fosse possível neste momento.

Aos meus pais e avós por toda a compreensão, todo o apoio que me deram ao longo dos anos, por serem os meus pilares e exemplos de luta por ideais. À minha irmã pela paciência, amizade e força. Ao meu noivo por ser o meu braço direito, o meu confidente e amigo de todas as horas, por todos os conselhos e paciência. Aos meus amigos que me apoiaram e incentivaram de modo a atingir este objetivo.

Sumário

A existência de massas de água em contexto urbano tem um papel essencial ao nível das vantagens ecossistémicas. De acordo com a Directiva Quadro da Água 2000/60/CE devem ser desenvolvidos esforços de modo a preservar e permitir atingir a qualidade ecológica das massas de água e a proibição da deterioração da mesma. Deste modo, torna-se fulcral a monitorização da qualidade da água desses locais, de forma a identificar potenciais problemas e minimizá-los ou solucioná-los.

O presente estudo teve como objetivo monitorizar a qualidade da água de 11 massas de água presentes na cidade do Porto. Foram abrangidos 4 lagos e 2 charcos do Parque da Cidade, o lago principal dos Jardins do Palácio de Cristal e 4 tanques do Jardim das Virtudes. Foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, oxigénio dissolvido, carbono orgânico total, condutividade, turvação, cor aparente, azoto total e na forma de nitratos, fósforo total e na forma de fosfatos, englobando a determinação da cafeína como indicador de contaminação antropogénica. Para além da avaliação através da determinação parâmetros físico-químicos, foi também realizado um estudo da influência destas massas de água ao nível da temperatura envolvente, através de termografia por infravermelhos (IRT). Foram realizadas 4 campanhas de recolha nos diferentes locais entre Maio e Julho. Trataram-se de amostras pontuais, recolhidas na margem das massas de água. Relativamente à análise por IRT, foram efetuadas 2 campanhas, em diferentes períodos, nos 4 lagos do Parque da Cidade e no Charco do Núcleo Rural.

Segundo os critérios de qualidade para águas superficiais do Instituto Nacional da Água (INAG), e de acordo com a caracterização físico-química efetuada, em geral a qualidade das massas de água estudadas foi classificada como “muito má”.

Relativamente à utilização da cafeína como um indicador de contaminação antropogénica neste estudo, os resultados não foram conclusivos, pois apesar de não ter sido detetado este composto em nenhuma das amostras alguns investigadores sugerem que algumas interações de natureza físico-química podem justificar o seu decréscimo de concentração e conseqüente ausência.

Os resultados obtidos na análise por IRT permitiram observar que a temperatura das massas de água e vegetação envolvente é geralmente inferior à temperatura das rochas presentes no espaço circundante às massas de água evidenciando a importância da sua presença no meio urbano. No entanto, não relaciona o modo como a temperatura das estruturas analisadas influencia o que a rodeia.

Palavras-chave: monitorização de massas de água; massas de água urbanas; qualidade ambiental; qualidade da água; contaminação antropogénica; cafeína; termografia por infravermelhos.

Abstract

The existence of water bodies in an urban context plays an essential role in terms of ecosystemic advantages. In accordance with the Water Framework Directive 2000/60/EC, efforts should be made to preserve and enable the ecological quality of water bodies to be achieved and to prevent water deterioration. In this way, the monitoring of the water quality of these sites becomes crucial, in order to identify potential problems and minimize or solve them.

The present study aimed to monitor the water quality of 11 water bodies present in the city of Porto. It covered 4 lakes and 2 ponds of the Parque da Cidade, the main lake of the Jardins do Palácio de Cristal and 4 tanks of the Jardim das Virtudes. The following physico-chemical parameters were evaluated: pH, temperature, dissolved oxygen, total organic carbon, conductivity, turbidity, apparent color, total nitrogen and in the form of nitrates, total phosphorus and in the form of phosphates, including determination of caffeine as indicator of anthropogenic contamination. In addition to the physical-chemical parameters evaluation, a study of the influence of these bodies of water on the surrounding temperature was also carried out through infrared thermography (IRT).

Four collection campaigns were carried out at different sites between May and July. These were occasional samples collected at the edge of the water bodies. Regarding the IRT analysis, 2 campaigns were carried out, at different times, in the 4 lakes of the Parque da Cidade and in the Charco do Núcleo Rural.

According to INAG's surface water quality criteria, and according to the physical-chemical characterization carried out, the studied water bodies are generally classified as "extremely polluted".

Regarding the use of caffeine as an indicator of anthropogenic contamination in this study, the results were not conclusive, because although this compound was not detected in any of the samples some researchers suggest that some interactions of physicochemical nature may justify their decrease of concentration and consequent absence.

The results obtained in the IRT analysis allowed to observe that the temperature of the water masses and surrounding vegetation is generally lower than the temperature of rocks present in the space surrounding the water bodies evidencing the importance of their presence in the urban environment. However, it does not relate how the temperature of the analyzed structures influences what surrounds it.

Keywords: monitoring of water bodies; urban water bodies; environmental quality; water quality; anthropogenic contamination; caffeine; infrared thermography.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do trabalho	1
1.2 Importância da monitorização de massas de água	2
1.3 Indicadores de contaminação	2
1.4 Riqueza biológica	3
1.5 Termografia	3
1.6 Enquadramento legal.....	4
1.7 Organização e objetivos do trabalho.....	5
2 Estado da arte	7
3 Materiais e métodos	11
3.1 Amostragem	11
3.1.1 Parque da Cidade.....	12
3.1.2 Jardins do Palácio de Cristal	15
3.1.3 Jardim das Virtudes.....	16
3.2 Análise de parâmetros físico-químicos	18
3.2.1 Parâmetros determinados no local	18
3.2.2 Parâmetros determinados em laboratório.....	19
3.2.3 Determinação da cafeína.....	20
3.3 Análise Termográfica.....	25
4 Resultados e Discussão	29
4.1 Características dos locais de amostragem ao longo do tempo	29
4.1.1 Parque da Cidade.....	29
4.1.2 Jardins do Palácio de Cristal	34
4.1.3 Jardim das Virtudes.....	35
4.2 Avaliação da qualidade da água nos locais amostrados.....	36

4.2.1	Parque da Cidade.....	36
4.2.2	Jardins do Palácio de Cristal	49
4.2.3	Jardim das Virtudes	52
4.2.4	Classificação da qualidade da água	62
4.3	Cafeína – Indicador de contaminação antropogénica	65
4.4	Análise Termográfica.....	66
4.4.1	Avaliação qualitativa dos resultados	67
4.4.2	Avaliação quantitativa dos resultados.....	71
5	Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros.....	75
	Referências	77
	Anexos	83
Anexo A.	Classificação dos cursos de água superficiais	84

Índice de Figuras

Figura 3.1 Dispositivo Waterfish.....	11
Figura 3.2 Vista de cima dos locais de amostragem de água no Parque da Cidade do Porto.	12
Figura 3.3 Vista geral do Charco do Núcleo Rural.	13
Figura 3.4 Vista geral do Charco Maravilha.	13
Figura 3.5 Vista geral do Lago 1.	14
Figura 3.6 Vista geral do Lago 2.	14
Figura 3.7 Vista geral do Lago 3.	14
Figura 3.8 Vista geral do Lago 4.	15
Figura 3.9 Algumas das aves observadas nos Jardins do Palácio de Cristal.	15
Figura 3.10 Vista de cima do local de amostragem nos Jardins do Palácio de Cristal.	16
Figura 3.11 Vista de cima dos locais de amostragem no Jardim das Virtudes.	17
Figura 3.12 Vista geral do Tanque 1.	17
Figura 3.13 Vista geral do a) Tanque 2; b) Tanque 3; c) Tanque 4.	18
Figura 3.14 Sistema de vácuo.	21
Figura 3.15 Secagem do cartucho e eluição.	21
Figura 3.16 Evaporação com azoto e reconstituição da amostra.	22
Figura 3.17 Amostras concentradas.	22
Figura 3.18 Curva calibração da cafeína.....	23
Figura 3.19 Espectro de absorção obtido para o padrão com concentração de cafeína de 2,5 ppm.	24
Figura 3.20 Integração da área do sinal do padrão com concentração de cafeína de 2,5 ppm.	24
Figura 3.21 – Pontos avaliados no Lago 1.	25
Figura 3.22 – Pontos avaliados no Lago 2.	26
Figura 3.23 – Ponto avaliado no Lago 3.....	26
Figura 3.24 – Pontos avaliados no Lago 4.	26
Figura 3.25 – Ponto avaliado no Charco do Núcleo Rural.....	27
Figura 4.1 Condições no Charco do Núcleo Rural a 9/05/2017.....	29
Figura 4.2 Condições no Charco do Núcleo Rural na data 8/06, 10/07 e 24/07.	29
Figura 4.3 Condições no Charco Maravilha.	30
Figura 4.4 Alguns dos animais observados no Charco Maravilha.	30
Figura 4.5 Potencial mancha de óleo/gordura observada no Charco Maravilha.....	31
Figura 4.6 Condições observadas no Charco Maravilha na terceira (10/07/2017) e quarta (24/07/2017) campanha.....	31

Figura 4.7 Alguns dos animais observados no Lago 1.....	31
Figura 4.8 Evolução do nível da água do Lago 1 ao longo das campanhas.....	32
Figura 4.9 Condições do Lago 2.....	32
Figura 4.10 Condições observadas no lago 3.....	33
Figura 4.11 Mancha potencialmente de óleo/gordura observada no lago 3 na segunda campanha (8/06/2017).....	33
Figura 4.12 Condições observadas no lago 4.....	34
Figura 4.13 Poluição observada no Lago 4.....	34
Figura 4.14 Condições do lago do Palácio de Cristal.....	35
Figura 4.15 Sistema de recirculação do lago do Palácio de Cristal.....	35
Figura 4.16 Condições do Tanque 1.....	35
Figura 4.17 Condições do Tanque 2, 3 e 4 (da esquerda para a direita).....	36
Figura 4.18 Resultados obtidos para o Lago 1 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.....	37
Figura 4.19 Resultados obtidos para o Lago 1 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.....	38
Figura 4.20 Resultados obtidos para o Lago 1 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	39
Figura 4.21 Resultados obtidos para o Lago 2 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.....	39
Figura 4.22 Resultados obtidos para o Lago 2 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.....	40
Figura 4.23 Resultados obtidos para o Lago 2 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	41
Figura 4.24 Resultados obtidos para o Lago 3 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.....	42
Figura 4.25 Resultados obtidos para o Lago 3 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.....	43
Figura 4.26 Resultados obtidos para o Lago 3 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	44
Figura 4.27 Resultados obtidos para o Lago 4 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.....	45
Figura 4.28 Resultados obtidos para o Lago 4 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.....	46
Figura 4.29 Resultados obtidos para o Lago 4 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	47

Figura 4.30 Resultados obtidos para o Charco Maravilha relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.....	48
Figura 4.31 Resultados obtidos para o Charco Maravilha relativos à cor aparente, turvação e condutividade.....	48
Figura 4.32 Resultados obtidos para o Charco Maravilha relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	49
Figura 4.33 Resultados obtidos para o Lago do Palácio de Cristal relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total. ...	50
Figura 4.34 Resultados obtidos para o Lago do Palácio de Cristal relativos à cor aparente, turvação e condutividade.....	51
Figura 4.35 Resultados obtidos para o Lago do Palácio de Cristal relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	51
Figura 4.36 Resultados obtidos para o Tanque 1 relativamente aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.....	53
Figura 4.37 Resultados obtidos para o Tanque 1 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.	53
Figura 4.38 Resultados obtidos para o Tanque 1 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	54
Figura 4.39 Resultados obtidos para o Tanque 2 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.....	55
Figura 4.40 Resultados obtidos para o Tanque 2 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.	56
Figura 4.41 Resultados obtidos para o Tanque 2 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	57
Figura 4.42 Resultados obtidos para o Tanque 3 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.....	58
Figura 4.43 Resultados obtidos para o Tanque 3 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.	59
Figura 4.44 Resultados obtidos para o Tanque 3 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	59
Figura 4.45 Resultados obtidos para o Tanque 4 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.....	60
Figura 4.46 Resultados obtidos para o Tanque 4 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.	61
Figura 4.47 Resultados obtidos para o Tanque 4 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.	62
Figura 4.48 Espectro obtido na análise de uma amostra do Tanque 1 (13/06/2017)...	66

Figura 4.49 – Imagens térmicas e fotografias do Lago 1 no dia 10/07/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2.....	67
Figura 4.50 – Imagens térmicas e fotografias do Lago 2 no dia 10/07/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2; c) Ponto 3;d) Ponto 4.	68
Figura 4.51 – Imagem térmica e fotografia do Lago 3 no dia 10/07/2017.....	69
Figura 4.52 – Imagens térmicas e fotografias do Lago 4 no dia 10/07/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2.....	69
Figura 4.53 – Imagem térmica e fotografia do Charco do Núcleo Rural no dia 10/07/2017.	69
Figura 4.54 – Imagem térmica do Lago 1 no dia 01/09/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2..	70
Figura 4.55 – Imagens térmicas do Lago 2 no dia 01/09/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2; c) Ponto 3; d) Ponto 4.....	70
Figura 4.56 – Imagem térmica e fotografia do Lago 3 no dia 01/09/2017.....	70
Figura 4.57 – Imagens térmicas do Lago 4 no dia 01/09/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2.	71
Figura 4.58 – Imagem térmica do Charco do Núcleo Rural no dia 01/09/2017.....	71

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 Locais, respectiva área e coordenadas GPS do ponto de amostragem. ...	13
Tabela 3.2 Locais e coordenadas GPS do ponto de amostragem.....	17
Tabela 3.3 Parâmetros determinados no local.	18
Tabela 3.4 Parâmetros determinados em laboratório.....	20
Tabela 3.5 Padrões de cafeína (mg/L) e área do sinal do respetivo padrão.....	23
Tabela 3.6 – Condições climáticas na altura dos ensaios (entre as 10h00 e as 13h00).	27
Tabela 3.7 – Temperaturas de referência (°C) usadas na “background calibration”.	27
Tabela 4.1 Classificação da qualidade da água por parâmetro físico-químico analisado para os lagos do Parque da Cidade, segundo critérios do INAG.	63
Tabela 4.2 Classificação da qualidade da água por parâmetro físico-químico analisado para o lago do Palácio de Cristal e Tanques do Jardim das Virtudes, segundo critérios do INAG.	64
Tabela 4.3 Classificação global da qualidade da água em cada campanha segundo os critérios do INAG tendo em conta os parâmetros físico-químicos analisados.....	65
Tabela 4.4 Médias das temperaturas superficiais nos diferentes pontos de cada local, para cada momento de medição (°C).	72
Tabela 4.5 Médias das temperaturas superficiais nos diferentes locais, para cada momento de medição (°C).....	73
Tabela A.1 Classificação por parâmetro dos cursos de águas superficiais de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos.....	84

Nomenclatura

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigênio

CM – Charco Maravilha

CNR – Charco Núcleo Rural

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CQO – Carência Química de Oxigênio

D.L. – Decreto Lei

DQA – Directiva do Quadro da Água

HPLC – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (do inglês high performance liquid chromatography)

INAG – Instituto Nacional da Água

IRT – Técnicas de termografia por infravermelho

L1 – Lago 1

L2 – Lago 2

L3 – Lago 3

L4 – Lago 4

MS – Espectrometria de massa (do inglês mass spectrometry)

NTU – Unidades Neflométricas de Turvação

OD - Oxigênio Dissolvido

PC – Lago dos Jardins do Palácio de Cristal

SPE – Extração em fase sólida (do inglês solid-phase extraction)

SST - Sólidos Suspensos Totais

V1 – Tanque 1 do Jardim das Virtudes

V2 – Tanque 2 do Jardim das Virtudes

V3 – Tanque 3 do Jardim das Virtudes

V4 – Tanque 4 do Jardim das Virtudes

VMA – Valor Máximo Admissível

1. Introdução

1.1 Enquadramento do trabalho

Atualmente, estamos inseridos num contexto onde temos um crescimento vertiginoso da população mundial, bem como o crescimento de ambientes urbanos e a sua intensificação. Estima-se que mais de metade da população mundial habita em áreas urbanas. Estas áreas são consideradas ecossistemas urbanos, que diferem entre si na sua dimensão, localização geográfica e no tipo de paisagem que modificam, mesmo assim, têm muito em comum no que diz respeito à sua estrutura, restrições e funções [1].

O aumento da urbanização leva a alterações radicais na ecologia dos locais onde se inserem as cidades, levando ao aumento da pressão nos meios naturais e na correlação entre eles. Apesar da difícil recuperação dos habitats naturais ou semi-naturais no contexto urbano, estes mostram-se proveitosos no que diz respeito às interações entre a natureza e o Homem [2]. Frequentemente, nos centros urbanos, encontram-se áreas ecologicamente sensíveis, subsistemas de menor dimensão como jardins, parques, entre outros [3]. A existência e compreensão desses subsistemas são essenciais para o bom funcionamento das cidades, uma vez que eles têm a capacidade de amenizar os danos causados pela ocupação urbanística. No seio dos subsistemas referidos ocorrem processos que articulam a água, o solo, o ar e a presença de biodiversidade.

Devido à intensificação da urbanização, é cada vez maior a impermeabilização do solo através de construções e pavimentações, com repercussões nas cidades ao nível do aumento da temperatura ambiente, risco de cheias, decréscimo da biodiversidade e aumento da poluição atmosférica. Torna-se por isso cada vez mais escassa a presença de zonas verdes, apesar do seu elevado interesse no que diz respeito à sustentabilidade, qualidade ambiental e saúde humana. As zonas de vegetação encontram-se identificadas nos mapas das cidades como praças, parques, zonas de protecção e preservação, jardins públicos, e, por vezes, encontram-se organizadas como sistemas integrados. Os sistemas integrados possibilitam a geração de corredores ecológicos, atuando no ecossistema urbano em diversos aspetos, uma vez que exercem a função de habitat, de condutor durante migrações de animais, de filtros de nutrientes vindos de escoamentos superficiais, entre outros [4],[5]. A existência de lagos ou pequenas massas de água, como charcos, nesses locais tem muitas vezes um papel essencial ao nível das vantagens ecossistémicas, tais como o controle de inundações, aumento da biodiversidade, amenização da temperatura

envolvente e das atividades socioeconômicas (atividades lúdicas, atração turística, entre outras). Por esses motivos, as massas de água presentes nas cidades têm-se tornado pontos estratégicos e a valorização dos seus serviços tem vindo a ser crescente [6]. Deste modo, torna-se essencial a sua monitorização, de forma a identificar potenciais problemas e minimizá-los ou solucioná-los e ter conhecimento da qualidade da água desses locais.

1.2 Importância da monitorização de massas de água

Nos ecossistemas, a água está combinada com outras substâncias de origem orgânica ou inorgânica, dissolvidas e em suspensão, o que lhe confere diferentes características físico-químicas. O conhecimento dessas características é relevante por vários motivos, tais como para escolha de um tratamento adequado para abastecimento público ou, no presente caso de estudo, para avaliar os níveis de poluição nas massas de águas [7].

O conceito de massa de água consiste numa massa identificada e considerável de águas de superfície, como por exemplo um rio, albufeira, um lago, entre outros [8]. Sendo que o lago se trata de uma massa de água lântica superficial interior e o charco, por sua vez, é uma porção de água pouco profunda [9]. Encontrando-se inseridas em parques ou jardins dos centros urbanos, a qualidade das massas de água pode ser perturbada tanto por causas naturais como por causas antropogénicas. Entre as causas antropogénicas realçam-se os efluentes provenientes de águas residuais domésticas, agrícolas ou industriais. Os poluentes podem ter origem pontual ou difusa [10]. Sendo que no caso das fontes pontuais conhece-se o local, volume e frequência de ocorrência do poluente, enquanto nas fontes difusas se encontram dispersas no meio ambiente e daí ser de difícil identificação a fonte poluidora.

Deste modo, dada a sua relevância e o desconhecimento do seu estado ambiental, a avaliação da qualidade das massas de água torna-se fundamental. Essa avaliação pode ser feita através de parâmetros físico-químicos, biológicos e microbiológicos.

1.3 Indicadores de contaminação

Das ações antropogénicas resultam substâncias que poderão ser facilmente conduzidas através da cadeia alimentar, do ar, da água ou do solo. Há anos que são utilizadas várias substâncias como indicadores para a determinação da qualidade da água, como compostos orgânicos e inorgânicos, metais pesados, entre outros.

Contudo, novas substâncias têm despertado o interesse científico para a identificação da contaminação das águas por meio de ações humanas, tais como bifenóis, codeína, coprostanol, cafeína, colesterol, antioxidantes, detergentes não biodegradáveis, fragrâncias e desinfetantes. Estes compostos têm características únicas e encontram-se normalmente associados a atividades humanas; a sua presença em determinada amostra indica que a mesma tenha sofrido poluição de origem antropogénica [11].

1.4 Riqueza biológica

Riqueza biológica pode ser definida como o número de espécies de fauna e flora presentes num dado espaço, tal como um ecossistema, biótopo ou superfície, durante um determinado período de tempo. Uma noção essencial a ter em conta é que a diversidade biológica contribui para a sobrevivência de um ecossistema num período de condições desfavoráveis. As ações antropogénicas sobre os ecossistemas ameaçam cada vez mais espécies da fauna e flora do planeta, principalmente através de poluição de águas superficiais, do solo e do ar, da caça, queimadas e desmatamentos [12].

A biodiversidade urbana possui vários benefícios, pois potencia diversos serviços dos ecossistemas que ditam a situação ecológica da cidade. Estes serviços são de produção, regulação, culturais e de suporte [13].

Deste modo, os espaços verdes urbanos são decisivos para a biodiversidade, uma vez que se estabelecem como importantes habitats de refúgio para a fauna e flora, sendo constituintes estruturantes na conservação da diversidade de espécies nos meios urbanos [14].

1.5 Termografia

A presença de subsistemas como lagos e zonas húmidas nos centros urbanos estão altamente conectadas com a diminuição do efeito de ilhas de calor [15]. Este fenómeno climático é verificado principalmente em zonas com elevada urbanização, traduzindo-se pelo facto de a temperatura média desses locais ser mais elevada do que em regiões rurais próximas referencia. O microclima local é influenciado pelas estruturas urbanas, que, devido às suas propriedades térmicas e radiativas, absorvem o calor. Pelo contrário os ecossistemas, juntamente com todos os seus constituintes, são isolantes e refletores de calor, amenizando o efeito de ilha de calor [15]. Técnicas de termografia por infravermelho (IRT) permitem estudar a influência das plantas e das massas de água na temperatura envolvente [16].

Normalmente utilizada como ferramenta de inspeção e manutenção de edifícios, a termografia por infravermelhos trata-se de uma tecnologia que permite a determinação da temperatura de um objeto, tendo como principais vantagens não ser necessário contacto direto com o objeto nem ser uma técnica destrutiva [17].

Todos os corpos emitem à sua superfície radiação infravermelha, que se relaciona com a emissividade, parâmetro essencial que é introduzido na câmara de infravermelhos, a qual produz uma imagem térmica que permite avaliar qualitativa e quantitativamente a distribuição da temperatura pelas superfícies em estudo [17],[16].

1.6 Enquadramento legal

A água tem especial importância para a humanidade, pelas vantagens que oferece diretamente ao Homem, e pelo papel que desempenha na manutenção dos ecossistemas e na conservação da vida no geral. A sua necessidade tem aumentado consideravelmente, quer em quantidade como em qualidade, devido ao crescimento excessivo da população e, por isso, é de extrema importância tomar medidas que vão de encontro à sua proteção, prevenção e gestão. Deve-se fazer uma gestão eficiente deste recurso, uma vez que se trata de um bem essencial para o Homem e para os outros seres vivos [18].

Surgiu, assim, a Directiva do Quadro da Água (DQA) 2000/60/CE. Documento no qual é esclarecida a importância da recuperação da qualidade da água, da manutenção de condições de referência e modelos de condições anteriores, em determinados espaços hídricos, bem como a conservação dos seus serviços ecológicos.

Constam na DQA duas diretrizes que implicam dois objetivos claros, o desenvolvimento de esforços de modo a preservar e permitir atingir a qualidade ecológica das massas de água e a proibição da deterioração da mesma [8].

Também o Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com o intuito de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos, definindo os requisitos a ter em conta na utilização das águas para diversos fins (águas para suporte da vida aquícola, águas balneares e águas de rega), bem como normas de descarga das águas residuais na água e no solo. Confere competências a diferentes entidades relativa e especificamente a cada domínio, no que respeita ao licenciamento, inspeção, fiscalização, vigilância, classificação e inventário das águas [19].

1.7 Organização e objetivos do trabalho

O presente trabalho teve como objetivo a monitorização de diferentes massas de água da cidade do Porto, de forma a identificar os principais problemas que as afectam, ao nível da qualidade da água, de forma a constituir uma plataforma de conhecimento para estabelecimento futuro de orientações para mitigação desses problemas por forma a contribuir para uma melhor gestão das águas. Para além disso, como complemento, realizou-se ainda um estudo da influência destas massas de água ao nível da temperatura envolvente, através de termografia por infravermelhos.

É composto por 5 capítulos, os quais correspondem às várias etapas do estudo. No primeiro capítulo procedeu-se ao enquadramento dos principais temas abordados ao longo do documento. O segundo capítulo corresponde ao estado da arte ao nível das monitorizações de massas de água efetuadas a nível internacional e nacional. O terceiro capítulo apresenta a descrição experimental das diferentes determinações efetuadas, encontrando-se os resultados e respetiva discussão no capítulo quatro. No quinto capítulo encontram-se reunidas as principais conclusões retiradas a partir da análise de resultados e orientações para trabalho futuro.

2 Estado da arte

A caracterização de massas de água para fins ambientais é de extrema importância pois permite ter conhecimento da qualidade da água, identificar possíveis problemas e atuar no sentido de os mitigar. Por outro lado o conhecimento das características das águas permite otimizar o processo de captação e tratamento no caso em que estas são usadas para abastecimento à população. De seguida apresentam-se alguns dos estudos realizados neste âmbito.

Entre 1985 e 1990, nos Estados Unidos, foram realizadas análises ao nível espacial e temporal de modo a gerar um modelo da qualidade da água de um grande reservatório na planície costeira da Carolina do Sul, o lago Marion. Foram determinados vários parâmetros e relacionados com as variações climáticas para calibração do modelo [20].

No Egito estudaram a gestão da qualidade da água no lago Mariout. Determinaram os parâmetros que consideram como principais indicadores de qualidade: carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), carência química de oxigénio (CQO), oxigénio dissolvido (OD), amónia, azoto total, fósforo total, temperatura, salinidade e matéria inorgânica. Neste trabalho testaram várias opções de modo a diminuir a poluição no lago e tornar a gestão do mesmo sustentável [21]. Também no Egito avaliaram a poluição induzida por atividades humanas nas águas do lago Burullus relacionando dados de radiação do lago com parâmetros como o azoto total, fósforo total e CBO_5 [22].

No Ruanda, por sua vez, foi feita a determinação de vários pesticidas e avaliação do risco ecológico destes em lagos desse país, tendo o estudo concluído que existe uma grande falta de informação sobre os impactos do uso desmedido de pesticidas [23]. Também no Brasil foi efetuada uma avaliação de risco e distribuição espacial num reservatório tropical urbano de nutrientes, poluentes emergentes e pesticidas, tendo sido identificadas as fontes e comportamento dos poluentes, bem como pesticidas prejudiciais aos seres vivos presentes no reservatório durante o período de estudo [24].

Delpla *et al.* fizeram uma revisão bibliográfica onde mostram os impactos das alterações climáticas na qualidade da água superficial, considerando que esta é classificada de acordo com os parâmetros básicos físico-químicos, nutrientes, micro poluentes e parâmetros biológicos; e concluem que há falta de informação no que diz respeito aos micro poluentes e, principalmente, que há uma grande necessidade de monitorizar e criar ferramentas que permitam prever a qualidade da água com o

objectivo de diminuir o risco de doenças e permitir ações de remediação e adaptação [25].

Verificou-se que, em Portugal, foram feitos trabalhos de monitorização maioritariamente em águas de rios e albufeiras.

No que diz respeito às albufeiras, foi feita a avaliação da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever. Neste estudo foram feitas duas amostras mensais em dois pontos da albufeira e depois submetidas a análises físico-químicas e biológicas. Os parâmetros físico-químicos determinados foram: temperatura, pH, CBO₅, CQO, OD, fosfatos, nitratos, nitritos, sólidos suspensos totais (SST), ferro total, ferro dissolvido, turvação e transparência. No que diz respeito à análise biológica, foi estudada a evolução da comunidade zooplantónica e foi feita a quantificação de clorofila *a* e de feopigmentos. O estudo foi realizado ao longo de um ano e teve por objetivo avaliar as potenciais alterações sazonais e importância de indicadores biológicos zooplantónicos na avaliação da qualidade da água da albufeira [26].

No rio Leça foi efectuada a avaliação ecotoxicológica da qualidade da água, a determinação de parâmetros físico-químicos, turvação, cor verdadeira, carbono orgânico dissolvido (COD), carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), azoto total, fósforo total, dureza total e metais dissolvidos, e caracterização bacteriológica da mesma (em 7 pontos localizados entre a nascente e a foz do rio) com o objetivo de, através de ferramentas estatísticas, correlacionar as informações obtidas e seleccionar os pontos de amostragem mais relevantes para monitorização da qualidade da água naquele curso de água [27]. Em águas de rios do Norte de Portugal foi feita a monitorização de desreguladores endócrinos, baseando-se na identificação e quantificação de 23 pesticidas legislados [28]. Em Esposende, foi também realizada a monitorização de pesticidas em águas de poços, tendo-se dedicado ao desenvolvimento de uma metodologia analítica de deteção e quantificação por cromatografia gasosa com detetor de captura de electrões de vários pesticidas e respetivos metabolitos [29].

Os fármacos são um poluente emergente que tem também sido alvo de monitorização em vários dos principais rios de Portugal e respetivos afluentes, Minho, Lima, Cávado, Ave, Douro, Vouga e Lis, tendo sido detetada a presença de 20 dos 33 fármacos avaliados, em concentrações da ordem dos ng/L [30]–[33]. Estes estudos alertam para esta problemática e sugerem a necessidade de melhorar a eficiência de remoção dos fármacos nas estações de tratamento de águas residuais urbanas.

Nas ilhas de S. Miguel e Santa Maria, de acordo com as directivas da DQA, realizaram um projecto ao longo de um ano no qual pretendiam avaliar a qualidade ecológica da água, bem como detetar os principais focos de contaminação. Foram

abrangidos 56 pontos de amostragem distribuídos por 11 ribeiras e 9 lagoas. Foi feita a análise conjunta dos aspetos químicos e ecológicos de modo a implementar um programa adequado de monitorização de acordo com as suas necessidades e melhoramento do planeamento e gestão dos recursos hídricos [34].

Ao nível da monitorização da biodiversidade em massas de água na área metropolitana do Porto, foi realizado em 2010 um estudo herpetológico apontando para a elevada densidade nesta área de anfíbios e reptéis, apesar da elevada densidade populacional [35]. Outro estudo apresentado em 2016 incidiu sobre a inventariação das comunidades de anfíbios e caracterização física de massas de água na cidade do Porto, assim como o seu estado de conservação e possíveis fatores de ameaça [36]. Recentemente Oliveira realizou um estudo da análise da água e das comunidades biológicas a charcos do Parque da cidade do Porto, inserindo pela primeira vez os macroinvertebrados e tentado compreender a ligação entre a biodiversidade e a qualidade da água em charcos urbanos [37].

Os lagos que estão inseridos nos espaços verdes das cidades fazem parte dos ecossistemas que se geram nestes locais. Estes estão expostos a várias agressões, principalmente de cariz antropogénico, no entanto os impactos destas agressões e a gravidade das mesmas não estão identificadas. Pelo que há igualmente a necessidade da sua monitorização de forma a avaliar a sua qualidade ambiental e permitir a sua gestão sustentável.

3 Materiais e métodos

3.1 Amostragem

O estudo foi realizado em diferentes massas de água da cidade do Porto, situadas no Parque da Cidade do Porto (6 locais), nos Jardins do Palácio de Cristal (1 local) e nos Jardins das Virtudes (4 locais). Foram recolhidas amostras de água pontuais nos diferentes pontos em estudo no período entre Maio e Julho de 2017. Foram feitas 4 campanhas de amostragem que abrangeram duas estações do ano, a primeira campanha decorreu no início de Maio após o Inverno e a última campanha decorreu no final de Julho, em pleno Verão. Tendo-se acompanhado a evolução gradual destas condições através das 2 campanhas intermédias. Deste modo, foi possível avaliar a sua potencial influência nas características dos locais de amostragem.

O local de amostragem, na margem da massa de água, foi seleccionado partindo do suposto que a amostra seria representativa do local, reproduzível e de forma a permitir efetuar a recolha de forma segura.

Na última campanha realizada, foram retiradas amostras pontuais das margens e dos centros dos lagos do Parque da Cidade do Porto através de um dispositivo inovador -Waterfish (desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto-FEUP) (Figura 3.1). Esse dispositivo tem um sistema que permite a recolha de amostras de água a longas distâncias graças ao seu funcionamento similar ao de uma cana de pesca, acoplado a um recipiente que recolhe a amostra no seu interior. A dupla amostragem permitiu comparar a caracterização da amostra na margem e no centro e, assim, verificar se os pressupostos acima indicados seriam fiáveis.



Figura 3.1 Dispositivo Waterfish.

3.1.1 Parque da Cidade

O Parque da Cidade do Porto, projetado por Sidónio Pardal, arquiteto paisagista, teve a 1ª fase inaugurada em 1993, sendo posteriormente concluído em 2002. A construção de muros de suporte, estadias e pavimentos em pedra geram um conceito rural e campestre, tornando a presença da pedra uma característica preeminente. Este parque foi considerado pela Ordem dos Engenheiros, no ano de 2000, uma das ‘100 obras mais notáveis construídas no século XX em Portugal’ [38]. Considerado o pulmão verde da cidade do Porto, este é o maior parque urbano do país, possuindo uma superfície de 83 hectares que se prolongam até ao mar, pormenor raro a nível mundial.

O Parque acolhe o Centro de Educação Ambiental, o Pavilhão da Água e, à beira-mar, o aquário Sea Life. Possui diversos lagos, fontes, flora e fauna variada, campos de jogos e espaços de restauração. Acolhe vários eventos (Circuito da Boavista), espetáculos, concertos e o Festival Primavera Sound [39].

No Parque da Cidade foram recolhidas amostras de água em 6 pontos distintos (Figura 3.2) e na Tabela 3.1 encontram-se listados os locais em estudo e as respetivas coordenadas GPS do local de amostragem (Figuras 3.3 a 3.8).



Figura 3.2 Vista de cima dos locais de amostragem de água no Parque da Cidade do Porto.

Tabela 3.1 Locais, respectiva área e coordenadas GPS do ponto de amostragem.

Local	Área (m²)	Coordenadas GPS do ponto de amostragem
Charco Núcleo Rural (CNR)	0-15	41.169679,-8.672155
Charco Maravilha (CM)	< 90	41.169268,-8.675413
Lago 1 (L1)	15.000	41.167932,-8.673844
Lago 2 (L2)	7.500	41.167734,-8.678616
Lago 3 (L3)	9.000	41.169073,-8.684758
Lago 4 (L4)	3.000	41.169542,-8.687377



Figura 3.3 Vista geral do Charco do Núcleo Rural.

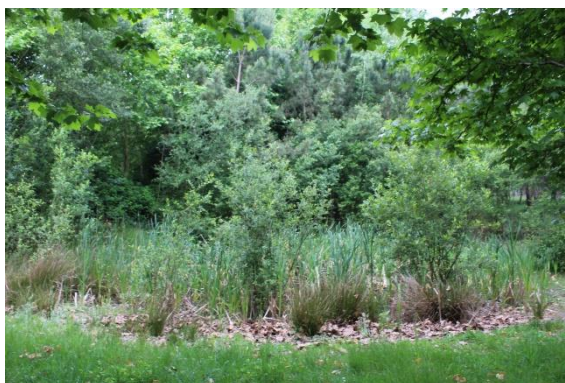


Figura 3.4 Vista geral do Charco Maravilha.



Figura 3.5 Vista geral do Lago 1.



Figura 3.6 Vista geral do Lago 2.



Figura 3.7 Vista geral do Lago 3.



Figura 3.8 Vista geral do Lago 4.

3.1.2 Jardins do Palácio de Cristal

Os Jardins do Palácio de Cristal encontram-se no centro do Porto, Massarelos, tendo sido projetados por Emil David, no âmbito da construção do próprio edifício do Palácio de Cristal [40]. O edifício de ferro e vidro foi construído e inaugurado em 1865, no entanto, em meados do século XX foi desmantelado, tendo sido construído no seu lugar um pavilhão de desportos, o atual Pavilhão Rosa Mota [39]. Do antigo projeto são ainda mantidos vários locais como o Jardim Emil David na entrada principal, as Avenidas das Tílias e dos Plátanos, o bosque e a conceção das varandas sobre o Douro. Pode ainda se encontrar a Biblioteca Municipal Almeida Garrett, a Concha Acústica e a Capela de Carlos Alberto da Sardenha na Avenida das Tílias [40].

Nestes jardins são realizados concertos, festivais e eventos sociais, além disso possui espaços de restauração, um jardim infantil, zonas de merenda e bancos e mesas de pedra. Neles podem, observar-se em liberdade várias espécies de aves tais como pavões, patos, gaivotas e pombos (Figura3.9) [39].



Figura 3.9 Algumas das aves observadas nos Jardins do Palácio de Cristal.

Nos Jardins do Palácio de Cristal apenas foram recolhidas amostras de água num dos lagos que este contém (Figura 3.10), sendo a respetiva área 2.000m² e as coordenadas GPS do local de amostragem 41.146543,-8.

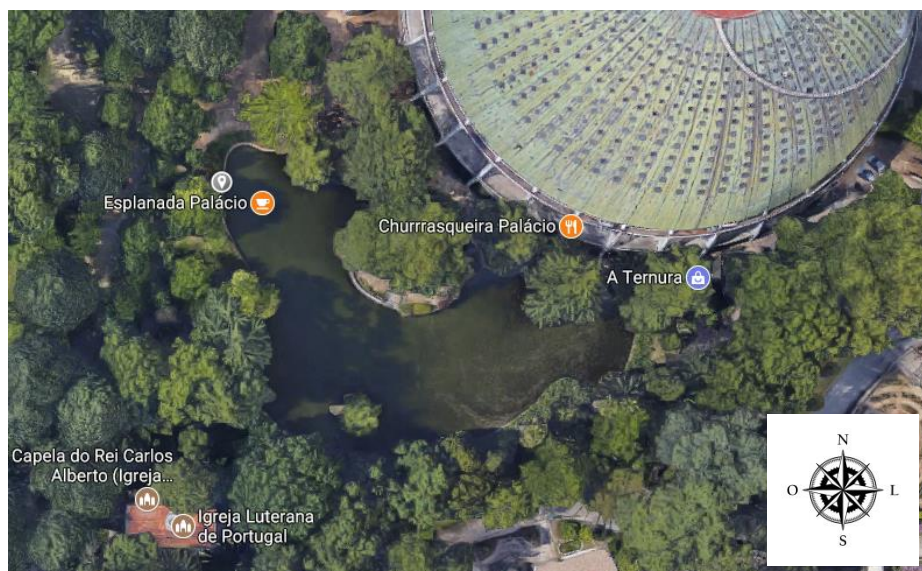


Figura 3.10 Vista de cima do local de amostragem nos Jardins do Palácio de Cristal.

3.1.3 Jardim das Virtudes

O Jardim das Virtudes localiza-se no centro da cidade do Porto, na rua de Azevedo de Albuquerque. Anteriormente naquele local encontrava-se a Companhia Hortícola Portuense, criada pelo jardineiro paisagista José Marques Loureiro, tendo sido adquirido pela Câmara Municipal do Porto em 1965 e recuperado em 1998.

Este local, que se desenvolve nos socacos da encosta do Porto, permite uma vista privilegiada sobre a Alfândega, o rio Douro e a cidade de Vila Nova de Gaia, sendo esta a sua principal atração [40]. Possui várias fontes, tanques e bancos distribuídos pela sua área. Sendo, ainda, possível encontrar a maior Ginkgo Biloba de Portugal, que com cerca de 35 metros, está inserida no ranking das maiores árvores da Europa e, em janeiro de 2005, foi identificada como árvore de interesse público pela Direção Geral das Florestas [41].

No Jardim das Virtudes, foram feitas recolhas de água em 4 pontos distintos (Figura 3.11). Tratam-se de 4 tanques de pouca profundidade (Figura 3.12 e 3.13) e as coordenadas GPS dos locais de amostragem encontram-se listados na Tabela 3.2.



Figura 3.11 Vista de cima dos locais de amostragem no Jardim das Virtudes.

Tabela 3.2 Locais e coordenadas GPS do ponto de amostragem.

Local	Área (m ²)	Coordenadas GPS do ponto de amostragem
Tanque 1 (V1)	3,6	41.145090,-8.619123
Tanque 2 (V2)	8,4	41.145318,-8.618983
Tanque 3 (V3)	9,9	41.145432,-8.618979
Tanque 4 (V4)	18	41.145681,-8.618879



Figura 3.12 Vista geral do Tanque 1.



Figura 3.13 Vista geral do a) Tanque 2; b) Tanque 3; c) Tanque 4.

3.2 Análise de parâmetros físico-químicos

3.2.1 Parâmetros determinados no local

Nos locais de amostragem de água foram determinados os parâmetros: pH, oxigênio dissolvido e temperatura (do ar e água). Na Tabela 3.3 encontram-se listados os parâmetros analíticos, respetivo método, referência, equipamento e sua marca/modelo.

Tabela 3.3 Parâmetros determinados no local.

Parâmetro	Método	Referência	Equipamento	Marca/Modelo
Temperatura	Eletrométrico	2550 B [42]	Sonda de temperatura	Testo 922
Oxigênio Dissolvido	Eletrométrico	4500 G [42]	Analizador multi-parâmetro	Consort C5020
pH	Eletrométrico	4500 – H ⁺ B. [42]	Medidor portátil com elétrodo de pH	WTW pH 340

3.2.2 Parâmetros determinados em laboratório

Na Tabela 3.4 encontram-se listados os parâmetros analíticos determinados em laboratório, respetivo método, referência, equipamento e sua marca/modelo. No local foi realizada um pré-filtração usando um coador de rede plástica (malha com aberturas de cerca de 1 mm) para evitar a retenção de espécies vegetais ou animais indevidamente e permitindo a sua devolução imediata ao seu habitat. As amostras recolhidas foram transportadas para o laboratório refrigeradas, para esse efeito foram usadas malas térmicas com acumuladores. As determinações foram feitas no próprio dia, excepto a medição do carbono orgânico total. As amostras para determinação de azoto total, carbono orgânico total, nitratos e fosfatos foram previamente filtradas, assim nestes casos só foi avaliada a matéria dissolvida. Este procedimento teve como objetivo a eliminação da interferência dos sólidos em suspensão nas medições espectrométricas associadas à determinação dos fosfatos e nitratos e no caso das determinações realizadas no analisador de carbono orgânico total e azoto total a filtração prévia das amostras é um requisito do equipamento.

Tabela 3.4 Parâmetros determinados em laboratório.

Parâmetro	Método analítico	Referência	Equipamento	Marca/Modelo
Cor aparente	Absortométrico	8025 [43]	Fotômetro	HACH DR/2000
Turvação	Absortométrico	2130 B [43]	Fotômetro	HACH DR/2000
Condutividade	Eletrométrico	2510 A [42]	Medidor de condutividade	XS instruments Cond 51
Nitratos	Colorimétrico (Redução de cádmio)	8039 [43]	Fotômetro	HACH DR/2000
Azoto Total				
Carbono Orgânico Total	Oxidação catalítica seguida de método absortométrico	Manual TOC-VCSH/CSN Total Organic Analyzer	Analizador de carbono orgânico total e azoto total	Shimadzu TOC-Vcsn
Fosfatos	Colorimétrico (Método aminoácido)	8178 [43]	Fotômetro	HACH DR/2000
Fósforo Total	Digestão ácida seguida do método colorimétrico	8178 [43]	Fotômetro	HACH DR/2000

3.2.3 Determinação da cafeína

A determinação da concentração da cafeína foi efetuada em todas as amostras de água seguindo um procedimento de extração por SPE seguido de análise por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) com detetor de arranjo de fotodíodos. As amostras foram conservadas e congeladas até ao momento da sua preparação.

A extração em fase sólida (*solid phase extraction* – SPE) permite concentrar e purificar a amostra que vai ser analisada. O procedimento adotado foi o descrito no

trabalho realizado por Paíga *et al.* [44]. As amostras de água (anteriormente filtradas a pH ajustado a pH 2 com ácido clorídrico), foram pré-concentradas nos cartuchos Strata-X SPE (200 mg, 3 mL), previamente pré-condicionados com 5 mL de metanol, seguidos de 5 mL de água ultrapura e 5 mL de água ultrapura a pH 2, usando um colector do sistema de vácuo (Figura 3.14). Após a adição de 250 mL de amostra, os cartuchos foram enxaguados com 5 mL de água ultrapura e seguiu-se um período de secagem de 60 minutos para remover o excesso de água (Figura 3.15). Após eluição com 10 mL de metanol, os extratos foram evaporados sob uma corrente de azoto e reconstituídos até um volume final de 1 mL da fase móvel inicial (Figura 3.16). O fator de concentração conseguido foi de 250, encontrando-se na figura as amostras concentradas (Figura 3.17).

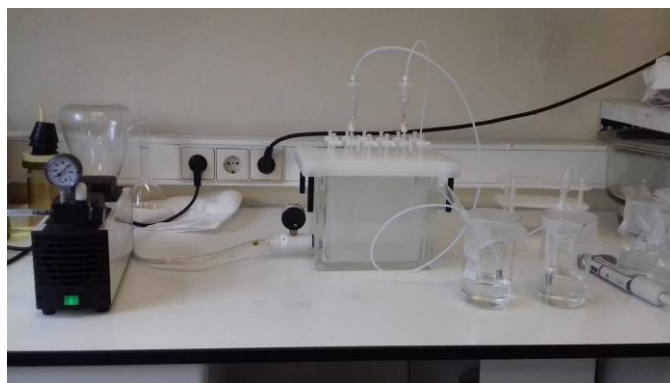


Figura 3.14 Sistema de vácuo.



Figura 3.15 Secagem do cartucho e eluição.



Figura 3.16 Evaporação com azoto e reconstituição da amostra.



Figura 3.17 Amostras concentradas.

As amostras concentradas foram analisadas por HPLC da marca Shimadzu ; com uma coluna Machery Nagel CC 15074 Nucleosil 100-5 C18 PAH, com degasificador DGU-20 A₅, usando uma bomba LC-20DAD e um detetor de arranjo de fotodíodos SPD-M20A, sendo a detecção efetuada a 272 nm.. Nas seguintes condições: fase móvel de acetonitrilo/água a 40% (v/v), caudal de 1 mL/min e volume de injeção de 20 μ L.

Efetuuou-se a curva de calibração utilizando soluções padrão de cafeína diluídas em água ultrapura. Essas soluções foram obtidas a partir de diluições sucessivas de uma solução mãe de cafeína com concentração igual a 500 ppm. A curva foi obtida através da regressão linear entre as áreas dos sinais dos padrões e as suas respectivas concentrações. Foram realizadas 3 réplicas para cada solução padrão. Na Tabela 3.5 encontram-se os padrões efetuados e as respectivas áreas obtidas, tendo-se obtido a curva de calibração representada na Figura 3.18.

Tabela 3.5 Padrões de cafeína (mg/L) e área do sinal do respectivo padrão.

Cafeína [mg/L]	Área			Área Média	Desvio Padrão
	Réplica1	Réplica2	Réplica3		
9,900	550912	509421	536756	532363	3,96
5,000	277836	271687	265751	271758	2,17
2,500	151997	143955	141374	145775	3,65
1,320	86163	83749	78063	82658	5,03
0,990	63072	60500	59064	60879	3,34
0,790	46944	46857	48493	47431	1,94
0,500	29461	29052	29640	29384	1,03
0,430	25608	25686	25096	25463	1,26
0,330	18603	19168	20569	19447	5,20
0,230	14608	13803	15082	14498	4,46
0,170	10280	9775	10798	10284	4,97
0,099	7851	7189	7729	7590	4,64
0,050	4527	4934	4467	4643	5,47
0,049	4460	3501	4243	4068	12,36
0,038	3894	3502	3698	3698	5,30

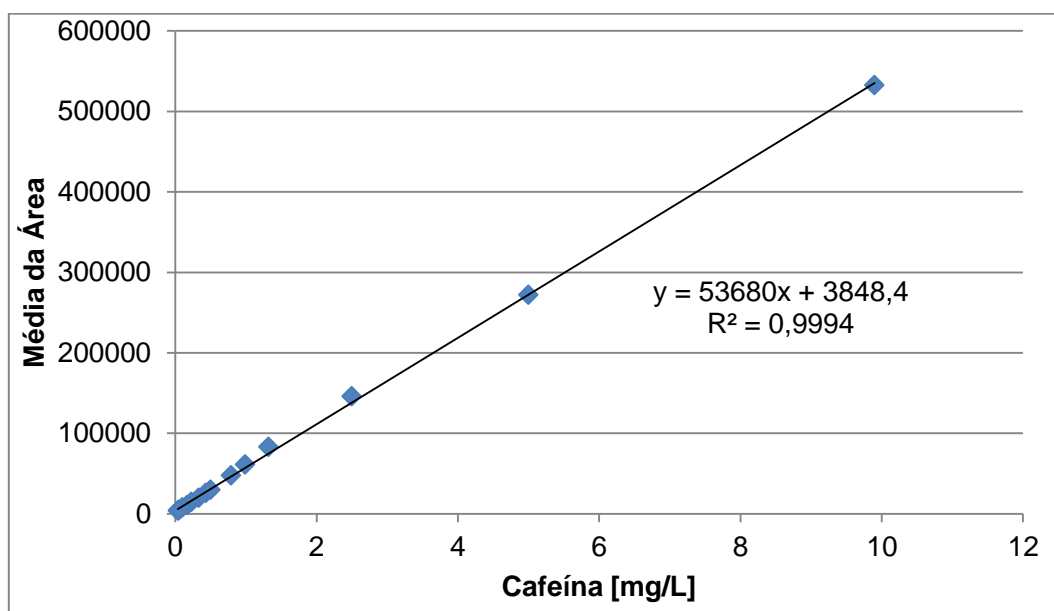


Figura 3.18 Curva calibração da cafeína.

Através da curva de calibração foi determinado o limite de detecção do método, tendo sido obtido um valor de 2,96 µg/L. Na Figura 3.19 pode observar-se o espectro de absorção obtido para o padrão de 2,5 ppm, tendo sido usado um comprimento de

onda de 272 nm para a detecção da cafeína. A integração feita a partir da área do sinal do padrão encontra-se representada na Figura 3.20.

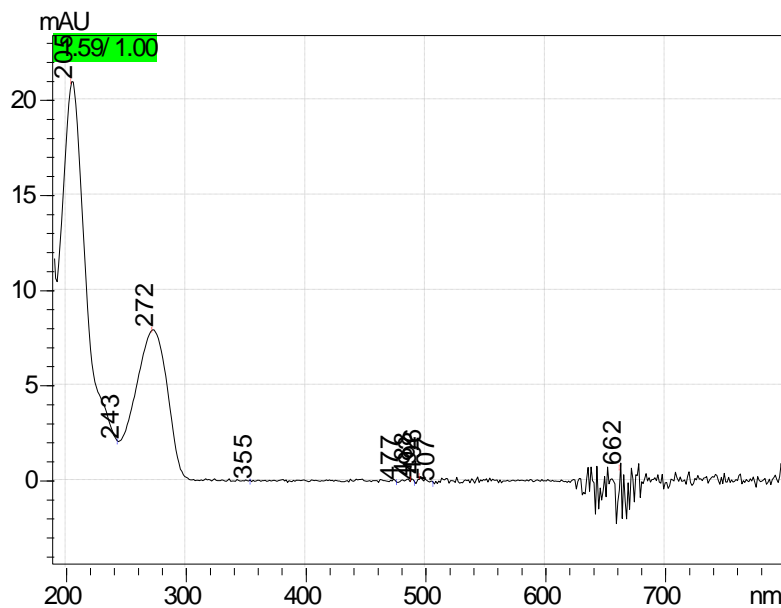


Figura 3.19 Espectro de absorção obtido para o padrão com concentração de cafeína de 2,5 ppm.

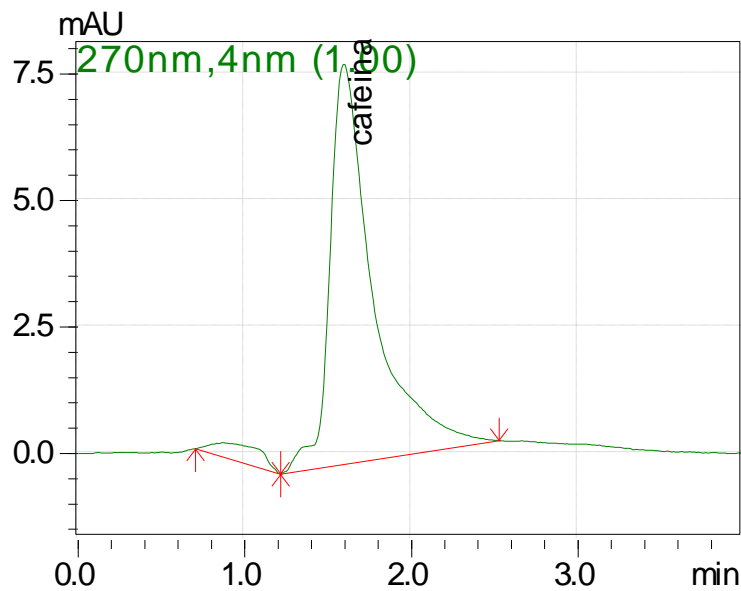


Figura 3.20 Integração da área do sinal do padrão com concentração de cafeína de 2,5 ppm.

3.3 Análise Termográfica

Para a realização da análise termográfica de massas de água foi utilizada uma câmara de termografia por infravermelho (Thermo Tracer TH9100 from NEC AVIO), com as seguintes características: 320x240 pixels, com amplitude de -20 °C a 100 °C, resolução de 0.06 a 30 °C, sensibilidade de ± 2 °C ou $\pm 2\%$ da leitura, intervalo espectral 8 a 14 μm .

As análises termográficas foram efetuadas em dois dias (10/07/2017 e 17/07/2017), dentro do mesmo horário (10h00 - 13h00). Avaliaram-se 5 locais do Parque da Cidade do Porto:

- Lago 1 – 2 pontos na margem (Figura 3.21);
- Lago 2 – 4 pontos na margem (Figura 3.22);
- Lago 3 – 1 ponto na margem (Figura 3.23);
- Lago 4 – 2 pontos na margem (Figura 3.24);
- Charco do Núcleo Rural – 1 ponto na margem (Figura 3.25);

O horário no qual se captaram os termogramas nos distintos pontos das margens dos diferentes locais foi semelhante em ambos os dias, bem como a posição da câmara em relação ao alvo. As emissividades adotadas foram 0.98 para as plantas [45], 0.95 para a água [46], 0.78 para o solo [45] e 0.93 para o granito [46].

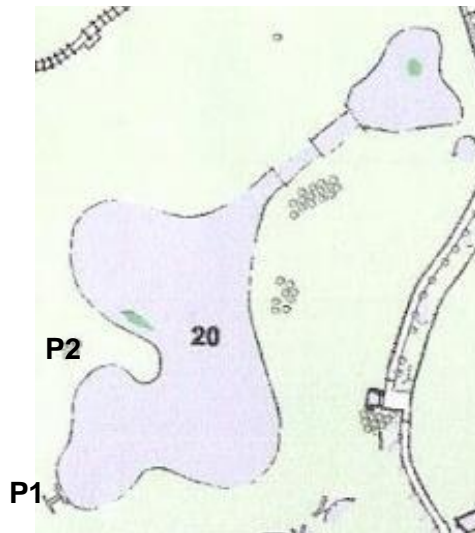


Figura 3.21 – Pontos avaliados no Lago 1.

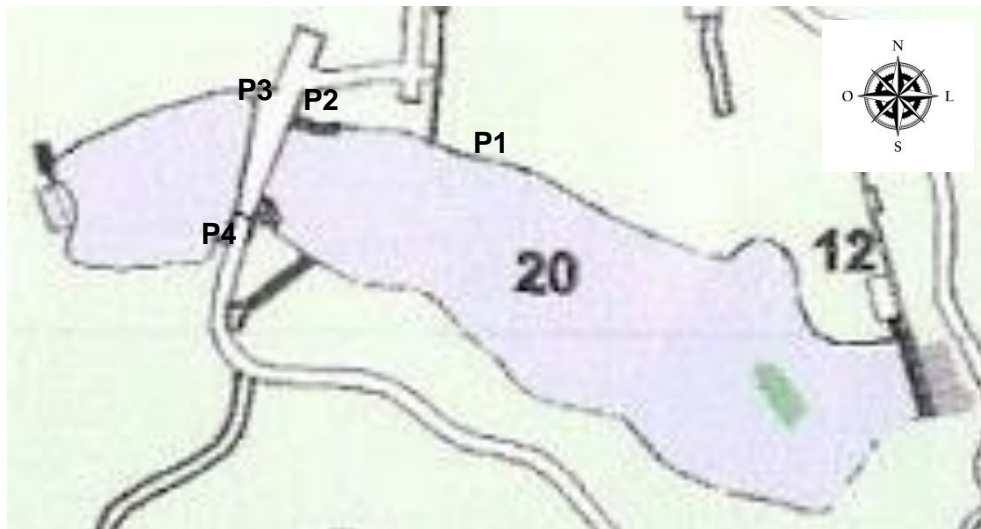


Figura 3.22 – Pontos avaliados no Lago 2.

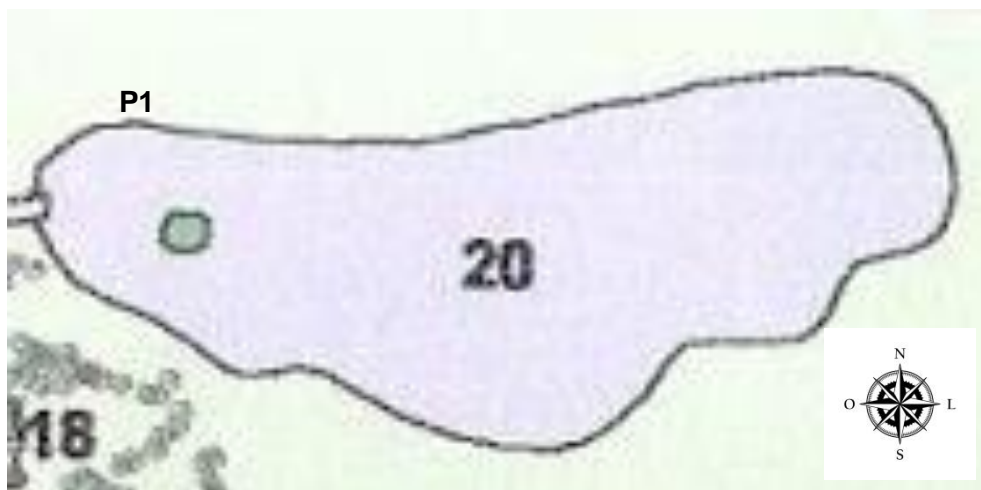


Figura 3.23 – Ponto avaliado no Lago 3.



Figura 3.24 – Pontos avaliados no Lago 4.



Figura 3.25 – Ponto avaliado no Charco do Núcleo Rural.

Efetuarão-se todas as calibrações indicadas pelo fabricante, designadamente:

- REF CAL – sempre que a câmara era ligada;
- Calibração ambiente (“Ambient calibration”) – em cada local (na Tabela 3.6 apresentam-se os valores médios e do desvio padrão da temperatura e humidade relativa durante as medições em cada local);
- Calibração de fundo (“Background calibration”) – em cada ponto de cada local (Tabela 3.7).

Tabela 3.6 – Condições climáticas na altura dos ensaios (entre as 10h00 e as 13h00).

	10/07/2017	01/09/2017
Temperatura (° C)	23,1±1,19	23,2±1,98
Humidade Relativa (%)	66,9±3,77	47,5±5,63
Descrição	Céu limpo	Céu limpo

Tabela 3.7 – Temperaturas de referência (°C) usadas na “background calibration”.

Local	10/07/2017	01/09/2017
Lago 1	23,0	22,9
Lago 2	22,1	19,7
Lago 3	17,4	19,9
Lago 4	15,7	20,2
CNR	21,4	22,3

4 Resultados e Discussão

4.1 Características dos locais de amostragem ao longo do tempo

Ao longo das campanhas, para além da recolha de amostras de cada um dos locais, foram também registadas as condições do local. Foi feito um registo, maioritariamente fotográfico, da presença/ausência de vegetação, animais, poluição e condições atmosféricas.

4.1.1 Parque da Cidade

No Parque da Cidade as recolhas foram sempre iniciadas nos locais mais interiores e seguindo a orientação de este para oeste em direção ao mar para os restantes locais. Ou seja, iniciavam-se pelo CNR, seguindo-se o CM, L1, L2, L3 e, por fim, L4.

No CNR apenas foi possível realizar uma amostragem, a primeira (9/5/2017) (Figura 4.1), pois nas restantes datas o charco estava seco, tal como se pode observar pela Figura 4.2.



Figura 4.1 Condições no Charco do Núcleo Rural a 9/05/2017.



Figura 4.2 Condições no Charco do Núcleo Rural na data 8/06, 10/07 e 24/07.

A vegetação foi uma constante presença neste charco, não foram observados sinais de poluição urbana, nem presença de animais.

O CM, por sua vez, é rico em biodiversidade. Observou-se uma elevada vegetação envolvente e no próprio lago (Figura 4.3), bem como presença de animais como rãs, girinos, tritões e algumas aves como, por exemplo, gaios (Figura 4.4).



Figura 4.3 Condições no Charco Maravilha.



Figura 4.4 Alguns dos animais observados no Charco Maravilha.

Na segunda recolha (8/06/2017) foram observadas potenciais manchas de óleo/gordura na água (Figura 4.5), indicando assim a presença de poluição neste local.



Figura 4.5 Potencial mancha de óleo/gordura observada no Charco Maravilha.

Na terceira e quarta campanha efectuadas, o CM encontrava-se seco (Figura 4.6), pelo que não foram recolhidas amostras de água.



Figura 4.6 Condições observadas no Charco Maravilha na terceira (10/07/2017) e quarta (24/07/2017) campanha.

Com uma dimensão muito superior aos charcos, o L1, possui vegetação ao seu redor e foi possível observar animais como patos e as suas ninhadas, gaivotas, peixes pequenos e aglomerados de algas (Figura 4.7).



Figura 4.7 Alguns dos animais observados no Lago 1.

Pode ser verificada uma gradual diminuição do nível da água com o avançar da estação quente na Figura 4.8.



Figura 4.8 Evolução do nível da água do Lago 1 ao longo das campanhas.

O L2, também de grandes dimensões, é rodeado por várias árvores e podem-se observar vários animais no seu habitat. Observaram-se várias aves (patos, gansos e gaivotas), peixes, insectos na superfície da água e algas, tal como demonstra a Figura 4.9.



Figura 4.9 Condições do Lago 2.

Este lago é atravessado por uma ponte pedonal, sendo frequente transeuntes a atirar comida para o lago, com intuito de alimentar os animais. Observaram-se várias carpas de coloração laranja no interior do lago, não sendo este o seu habitat natural, infere-se que devem ter sido depositadas lá e atingiram um tamanho superior a 0,5m.

O L3, por sua vez, é rodeado de vegetação e podem ser lá observadas aves, peixes de pequenas dimensões e algas (Figura 4.10).



Figura 4.10 Condições observadas no lago 3.

Também no L3, na segunda campanha (8/06/2017), se observou a presença de potenciais manchas de óleo/gordura, indicando contaminação (Figura 4.11).



Figura 4.11 Mancha potencialmente de óleo/gordura observada no lago 3 na segunda campanha (8/06/2017).

A terceira campanha realizada (10/07/2017) coincidiu com o Festival NOS Primavera Sound, realizado na lateral deste lago, no entanto não foram observados sinais de poluição devido ao mesmo.

Por último, o L4 encontra-se situado junto ao mar, parcialmente por baixo de um viaduto, tendo assim menor exposição à luz solar, tal como se pode verificar na Figura 4.12. Nele foram observados peixes, aves (patos e gaivotas) e insetos, estando parcialmente rodeado de vegetação e areia.



Figura 4.12 Condições observadas no lago 4.

Em todas as campanhas foi observado lixo no redor do lago, como é demonstrado na Figura 4.13.



Figura 4.13 Poluição observada no Lago 4.

4.1.2 Jardins do Palácio de Cristal

O lago principal dos Jardins do Palácio de Cristal (Figura 4.14) possui um sistema de recirculação (Figura 4.15) de água que é constituído por uma bombagem para elevação da água para uma cota superior à do lago precedida de uma gradagem para remoção dos sólidos de maiores dimensões, a água é depois devolvida ao lago por gravidade através de uma queda de água que promove o seu arejamento. Este sistema contribui não só para o tratamento desta água de forma natural como para embelezamento do próprio lago, no entanto nem sempre está em funcionamento. Este lago situa-se junto de um estabelecimento ligado à restauração e é habitado por várias aves, pavões, patos, pombas, etc.



Figura 4.14 Condições do lago do Palácio de Cristal.



Figura 4.15 Sistema de recirculação do lago do Palácio de Cristal.

4.1.3 Jardim das Virtudes

No Jardim das Virtudes foram estudados quatro tanques (Figura 4.16 e 4.17), todos de pequenas dimensões e pouco profundos. Todos eles possuíam a sua superfície coberta de lentilhas de água, e continham uma camada espessa de lodo no fundo. Neles foram observados vários tipos de insectos e caracóis de água.



Figura 4.16 Condições do Tanque 1.



Figura 4.17 Condições do Tanque 2, 3 e 4 (da esquerda para a direita).

4.2 Avaliação da qualidade da água nos locais amostrados

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos para os diferentes parâmetros avaliados em cada um dos locais de amostragem sob a forma de figura de forma evidenciar a sua evolução ao longo do tempo. Nas figuras foi agrupada a informação referente a: i) pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total; ii) cor aparente, turvação e condutividade; iii) azoto total, nitratos, fósforo total e fosfatos.

4.2.1 Parque da Cidade

Foram realizadas 4 campanhas de recolha: 9/05/2017, 8/06/2017, 10/07/2017 e 24/07/2017. É importante referir que antes da primeira recolha, efetuada a 9/05/2017 e a terceira, efetuada a 10/07/2017, choveu, intercalando-se períodos enevoados com períodos de sol. Todos os resultados obtidos relativos aos lagos e charcos do Parque da Cidade apresentam-se nas Figuras 4.18 à 4.32. Na última campanha (24/7/2017) foram recolhidas duas amostras, uma no mesmo local das outras campanhas e outra no centro de cada lago usando o dispositivo Waterfish (Figura 3.1), a qual aparece também representada em cada um das figuras com a indicação “c” à direita da data.

Na Figura 4.18 estão representados os resultados obtidos para o L1 referentes aos parâmetros temperatura, pH, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.

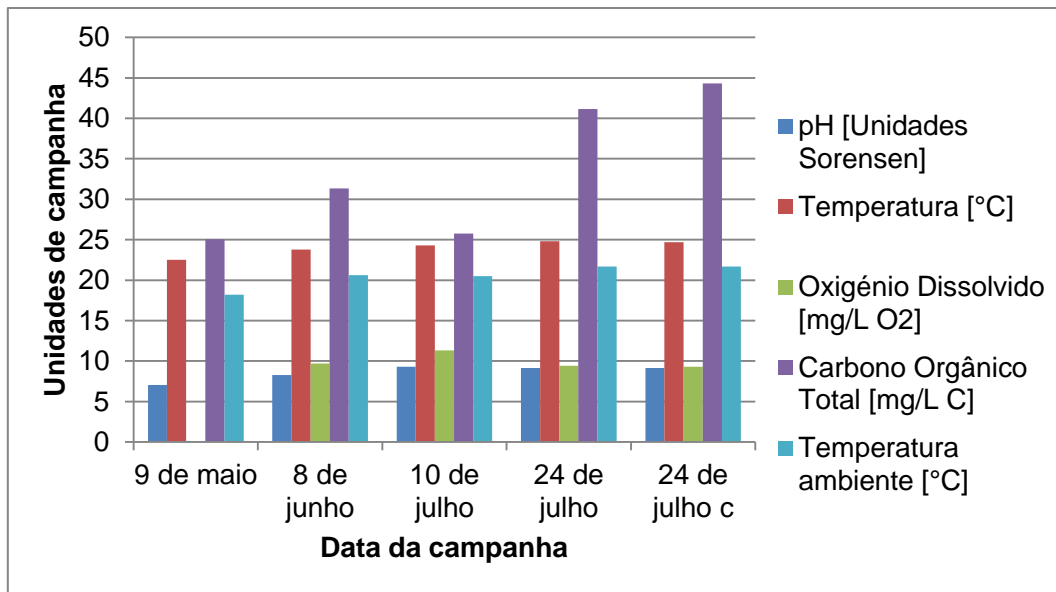


Figura 4.18 Resultados obtidos para o Lago 1 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.

Relativamente à temperatura, nas diferentes campanhas, registou-se um mínimo de 22,5°C e um máximo de 24,8°C. Houve um aumento de temperatura da água do lago acompanhando o aumento gradual da temperatura ambiente.

Os valores de pH registados encontram-se entre 7 e 9, pelo que de acordo com o Anexo XXI do D.L. 236/98 estão de acordo com os objectivos de qualidade mínima para águas superficiais, isto é, entre 5 e 9.

Na primeira campanha não foi feito o registo do oxigênio dissolvido. Nas restantes campanhas obteve-se um mínimo de 9,3 mg/L e um máximo de 11,3 mg/L. Não se verificaram oscilações elevadas neste parâmetro, no entanto estes valores são superiores à saturação, o que indica a introdução de oxigênio em excesso devido à fotossíntese realizada pelas algas presentes, que constituem o fitoplâncton.

A tendência dos valores do carbono orgânico total seria para aumentar porque foi diminuindo a quantidade de água contida no lago (Figura 4.18), o que levaria a um aumento da concentração de matéria orgânica na água, no entanto na terceira campanha registou-se uma diminuição deste parâmetro, podendo ser explicado pela diluição provocada por chuvadas nos dias anteriores.

Na Figura 4.19 estão representados os valores obtidos para o L1 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

A turvação apresenta o valor mais elevado (20 NTU) na terceira campanha, coincidindo com época de chuvas. Sendo que a cor aparente tem o mesmo comportamento, registando-se o valor máximo para a terceira campanha (114 mg/L Pt-

Co). Estas observações devem-se possivelmente às escorrências contendo sedimentos provenientes das margens.

A condutividade, que nas primeiras campanhas variou ligeiramente, tendeu a aumentar de seguida, havendo um aumento da concentração de sais dissolvidos devido à gradual evaporação da água (Figura 4.19). Verifica-se uma ligeira discrepância entre o valor registado da última campanha na margem (447 $\mu\text{S}/\text{cm}$) para o centro do lago (459 $\mu\text{S}/\text{cm}$), de qualquer forma a água é considerada não salina [47].

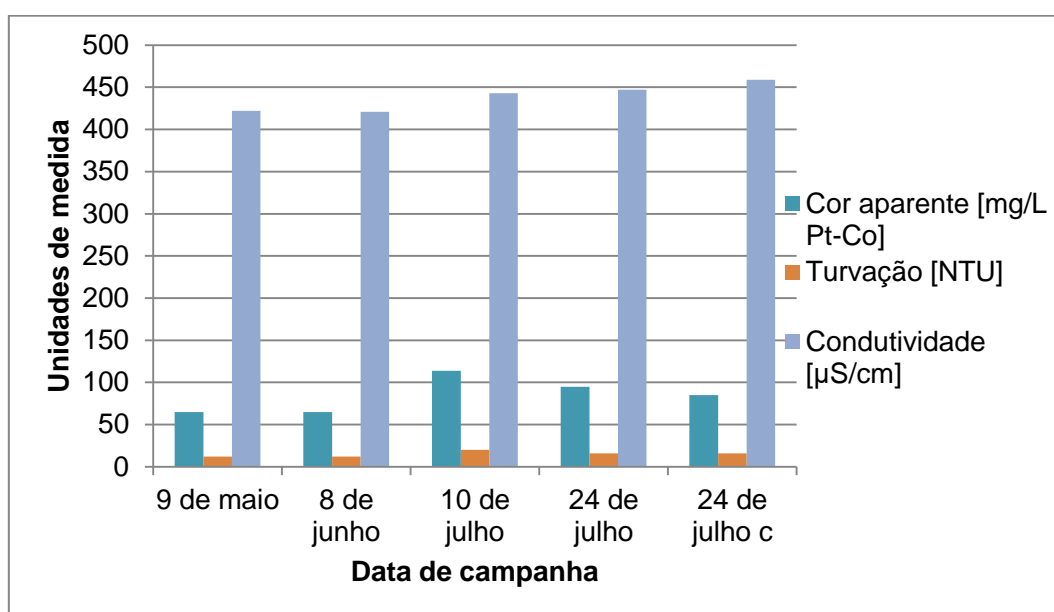


Figura 4.19 Resultados obtidos para o Lago 1 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Na Figura 4.20 encontram-se representados os valores obtidos para os parâmetros relacionados com os nutrientes azoto e fósforo.

Quanto aos níveis de azoto total registados verifica-se uma disparidade nos valores da última campanha, entre a amostra da margem e do centro, tendo este parâmetro valor máximo para a margem (1,69 mg/L N) e mínimo para o centro (0,87 mg/L), talvez devido a alguma tendência para acumulação na margem. Os valores de nitratos são baixos, no entanto, não se pode afirmar não haver indícios de contaminação de origem antropogénica.

No que diz respeito ao fósforo total, os valores registados encontram-se abaixo do valor máximo admissível (VMA) para águas superficiais de 1 mg/L P, contido no D.L. 236/98, Anexo XXI. Praticamente em todas as campanhas os níveis registados de fósforo total são principalmente devidos à presença de fosfatos.

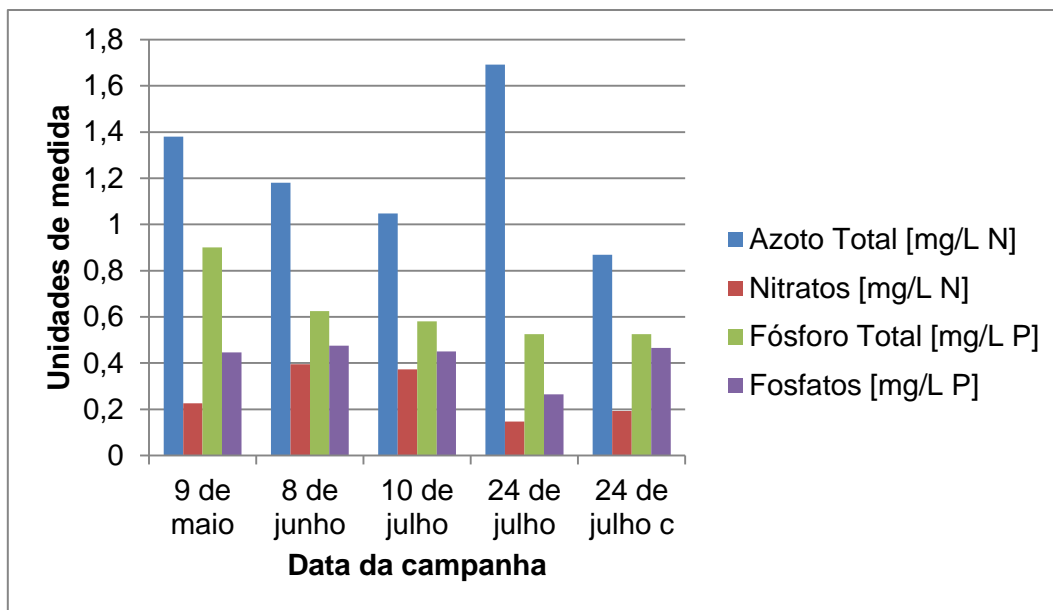


Figura 4.20 Resultados obtidos para o Lago 1 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Na Figura 4.21 estão representados os resultados obtidos para o L2 dos parâmetros temperatura, pH, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.

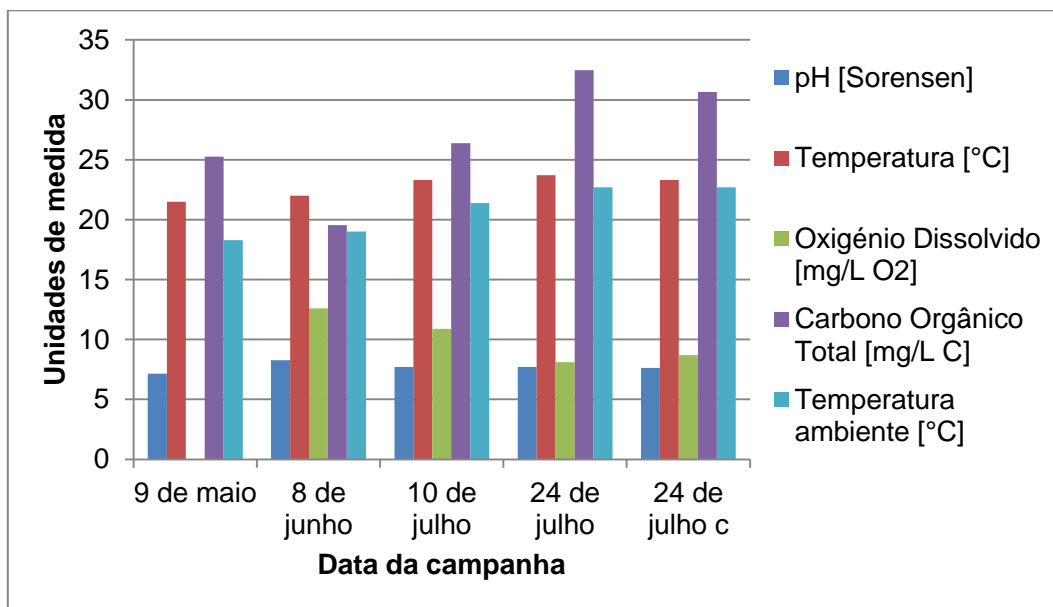


Figura 4.21 Resultados obtidos para o Lago 2 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.

Na primeira campanha não foi feito o registo do oxigénio dissolvido. Nas restantes campanhas este parâmetro tendeu a diminuir, no entanto não foram observadas grandes variações. Esta tendência pode ser relacionada com o gradual

aumento da temperatura do lago, que aumentou ligeiramente de 21,5°C para 23,7°C, uma vez que a solubilidade do oxigênio diminui com o aumento da temperatura.

O pH manteve-se relativamente constante, rondando o valor de 8.

Neste caso, não se verifica uma tendência muito definida para os valores de carbono orgânico total, sendo o valor mínimo registado de 19,55 mg/L para a segunda campanha e máximo de 32,48 mg/L para a última campanha, no caso da amostra da margem do lago. O aumento deste parâmetro indica aumento da concentração de matéria orgânica na água.

Na Figura 4.22 estão representados os valores obtidos para o L2 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

A turvação apresenta o valor mais elevado (9 NTU) na terceira campanha, coincidindo com época de chuvas. Sendo que a cor aparente tem o mesmo comportamento, registando-se o valor máximo para a terceira campanha (52 mg/L Pt-Co), o que pode ser atribuído às escorrências das margens, tal como acontecia com o Lago 1.

A variação do parâmetro condutividade foi muito pequena ao longo do tempo, tendo apenas se registado um valor mínimo de 373 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a segunda campanha, sendo considerada água não salina [47].

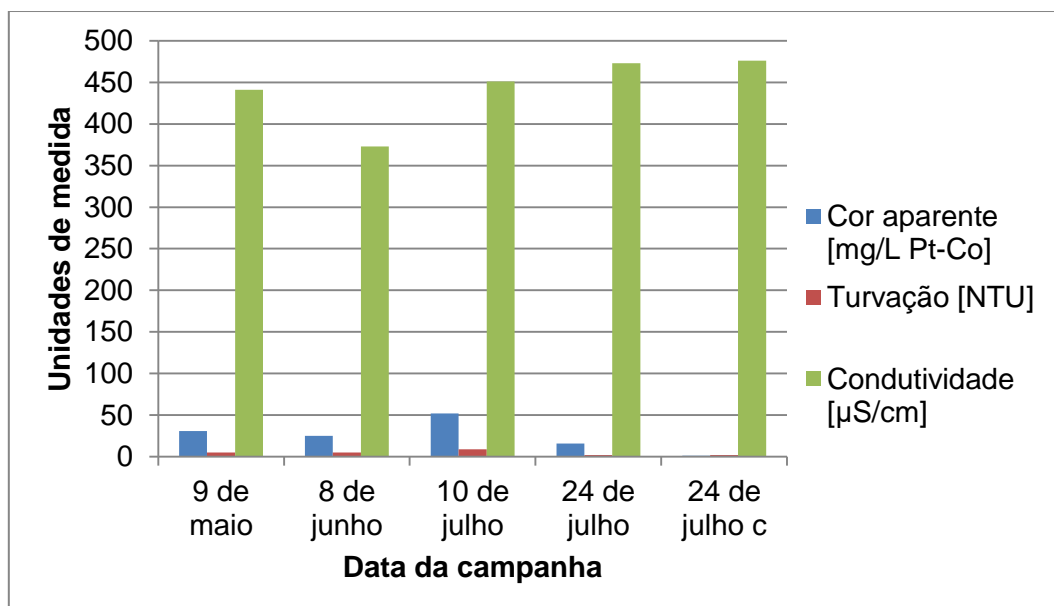


Figura 4.22 Resultados obtidos para o Lago 2 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Na Figura 4.23, podem se verificar os resultados obtidos para os parâmetros fósforo total e na forma de fosfatos, azoto total e na forma de nitratos.

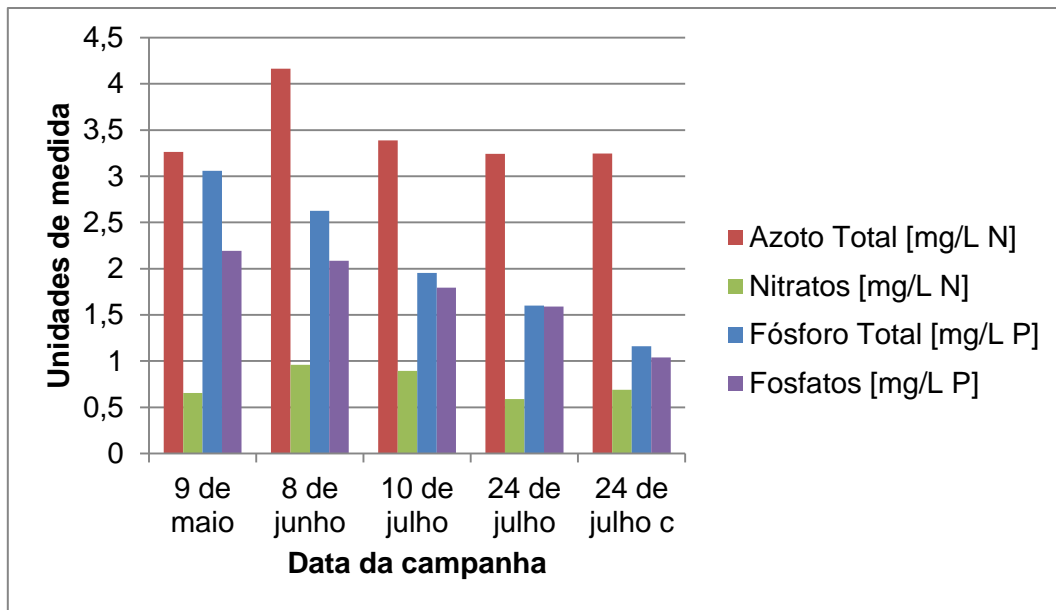


Figura 4.23 Resultados obtidos para o Lago 2 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Os valores registados do parâmetro do azoto total são superiores aos verificados em L1, indicando que o nível de poluição neste lago é superior, tal como é sugerido pela informação reportada na secção anterior. O azoto presente nas amostras sob a forma de nitratos é baixa comparativamente com os valores de azoto total, o que sugere que os nitratos presentes na água não advêm de fontes antropogénicas.

Por sua vez, o parâmetro fósforo total tende a diminuir ao longo do tempo. No entanto, para este lago ultrapassa o VMA de 1 mg/L, estabelecido pelo D.L. 236/98, Anexo XXI. O valor obtido para este parâmetro deve-se essencialmente à presença de fosfatos. Verifica-se uma discrepância entre os valores obtidos na última campanha para a margem e o centro do lago. Os valores da margem são mais elevados talvez devido à presença de restos da alimentação das aves que são depositados pelas pessoas nas margens do lago.

Os valores relativos ao pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total relativos ao L3 encontram-se na Figura 4.24.

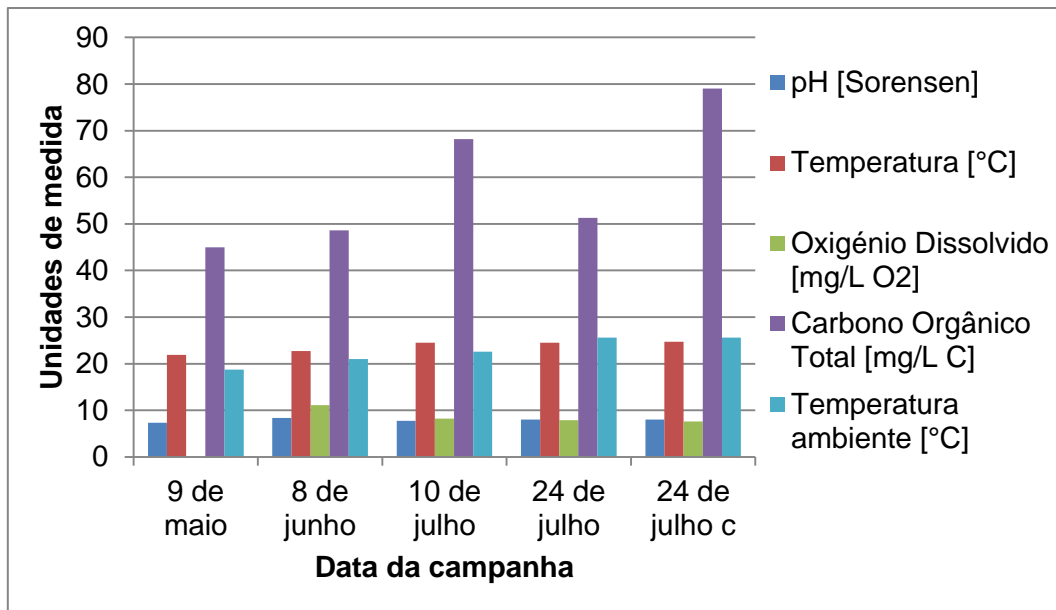


Figura 4.24 Resultados obtidos para o Lago 3 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.

Para este lago, verificou-se um valor de pH muito semelhante ao longo do tempo, rondando também o valor de 8. A temperatura aumentou de 21,9°C até 24,7°C, de acordo com o aumento da temperatura ambiente.

Relativamente ao parâmetro de oxigénio dissolvido, verifica-se um máximo na segunda campanha, tendo-se registado um valor de 11,1 mg/L O₂. Nas campanhas seguintes o valor manteve-se próximo de 8 mg/L O₂ correspondente ao valor normal registado no ar. Estas observações sugerem condições de eutrofização no lago, identificadas visualmente pelo desenvolvimento excessivo de algas.

Os valores para o carbono orgânico total tenderam a aumentar, indicando um aumento da matéria orgânica presente na água do lago. O valor menor registado foi de 44,97 mg/L na primeira campanha e o máximo de 79,04 mg/L na última campanha. O maior valor registado diz respeito à amostra do centro do lago, tratando-se de um valor superior ao registado na margem do lago, possivelmente devido a uma maior concentração de algas nessa zona, algumas delas em processo de decomposição.

Os parâmetros cor aparente, condutividade e turvação encontram-se representados na Figura 4.25. Tendo-se registados valores crescentes de condutividade ao longo do tempo, tal como ocorreu no lago 1, no entanto a água é considerada não salina [47]. Ainda assim, o maior valor registado foi de 676 µS/cm para a última campanha. Os parâmetros cor aparente e turvação apresentam um comportamento semelhante ao longo do tempo. É de referir a diferença de valores obtidos na última campanha para a amostra do centro e da margem do lago, sendo os

valores obtidos para a amostra da margem muito superiores. A diferença de valores pode ser explicada pelo facto de nas margens do lago se observarem mais partículas em suspensão, possivelmente provenientes de sedimentos das margens.

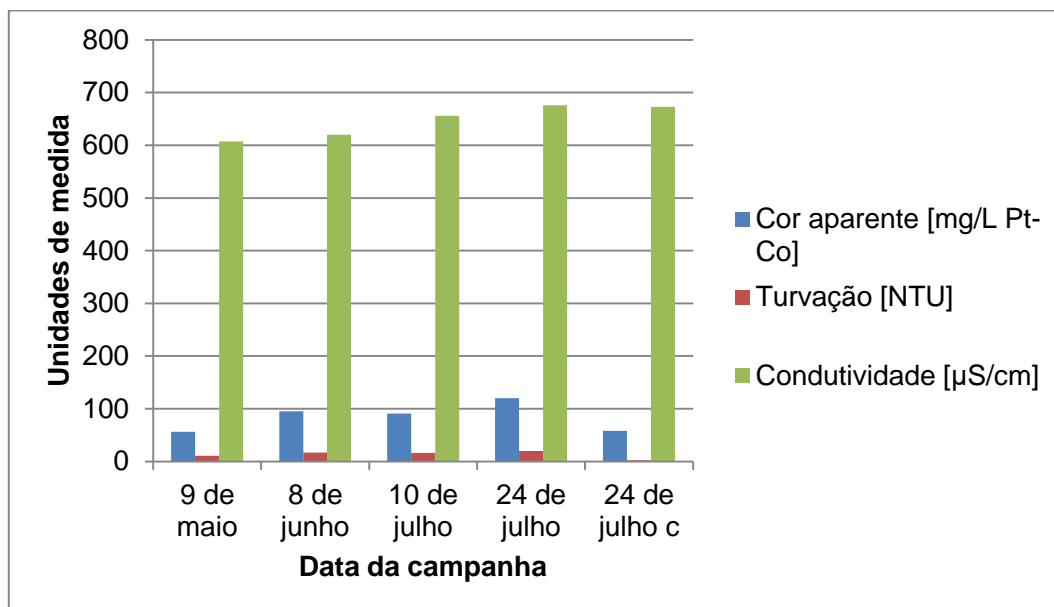


Figura 4.25 Resultados obtidos para o Lago 3 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Os resultados relativos aos nutrientes monitorizados encontram-se na Figura 4.26. No que diz respeito ao azoto total presente nas amostras, registou-se um máximo de 1,74 mg/L na primeira campanha. O azoto presente na forma de nitratos verificado é relativamente baixo comparativamente ao valor do azoto total.

Verifica-se, também, um máximo de fósforo total presente na amostra para a primeira campanha, equivalente a 1,49 mg/L, superior ao VMA estabelecido pelo D.L. 236/98, Anexo XXI para águas superficiais. O resultado obtido de fósforo total deve-se essencialmente à presença de fosfatos na água amostrada. No entanto, para a última campanha, obteve-se um valor baixo de fosfatos na amostra do centro do lago, podendo dever-se a um erro experimental já que nos outros parâmetros não foi identificada uma discrepância tão grande de valores.

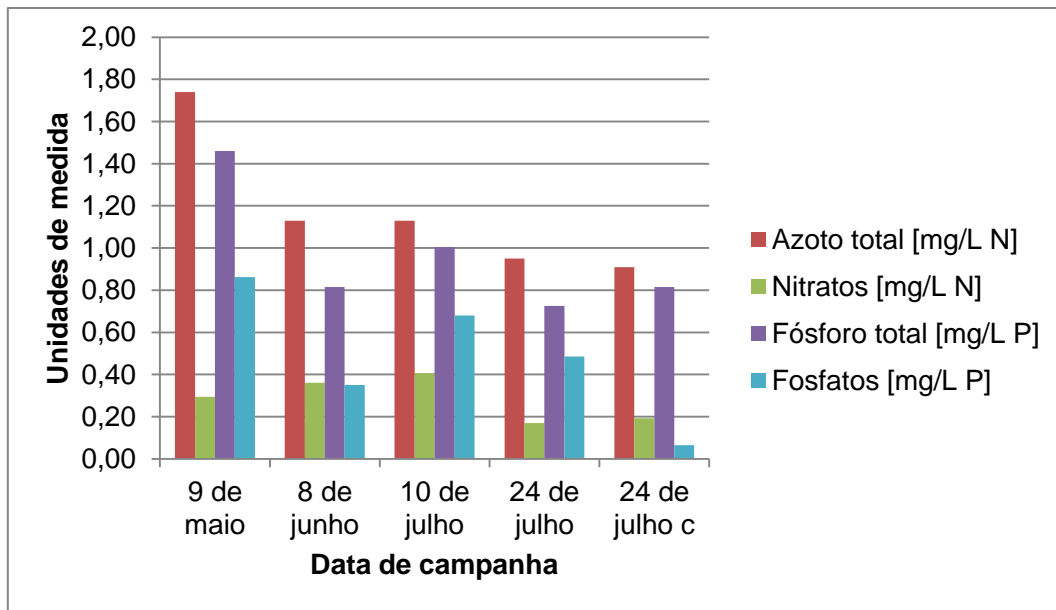


Figura 4.26 Resultados obtidos para o Lago 3 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Os resultados obtidos para os parâmetros pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total das amostras coletadas do L4 encontram-se na Figura (4.27).

O valor de pH não sofreu variações significativas, aproximando-se sempre de 8. A temperatura registada variou entre 20,3°C e 24,4°C.

Não foi determinado o valor de oxigénio dissolvido para a primeira campanha. Os valores determinados para as restantes campanhas variaram entre 7,3 mg/L e 9,6 mg/L, sugerindo possível ocorrência de eutrofização no caso dos valores superiores a 8 mg/L.

Relativamente ao parâmetro carbono orgânico total, obtiveram-se valores mais elevados do que nos restantes lagos. Indicando maior quantidade de matéria orgânica no L4. Registou-se um pico de 78,48 mg/L na terceira campanha, podendo ter sido causado pela introdução de matéria orgânica através de escorrências das margens causados pela chuva.

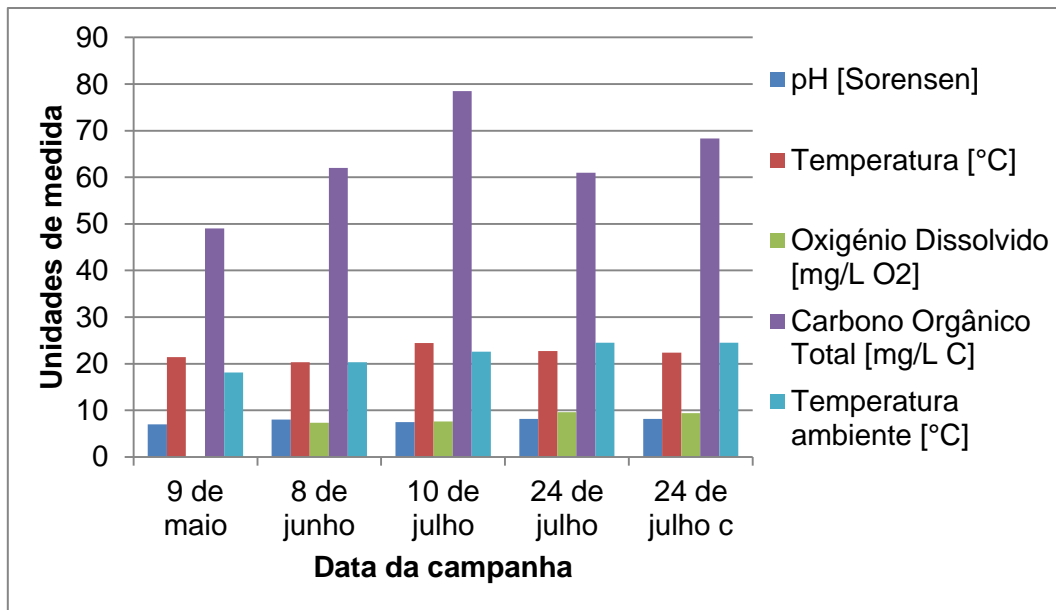


Figura 4.27 Resultados obtidos para o Lago 4 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.

Como pode ser observado pela Figura 4.28, os valores registados para a condutividade são ligeiramente superiores quando comparados com os outros lagos, sendo considerada uma água não salina a ligeiramente salina [47]. Devendo-se isso ao facto de este lago ser o mais próximo do mar e, por isso, a sua salinidade ser maior.

Os valores obtidos para os parâmetros cor aparente e turvação são também superiores quando comparados com os obtidos para os restantes lagos do Parque da Cidade. Estes possuem o mesmo comportamento ao longo do tempo, sendo o valor máximo para a cor aparente de 184 mg/L Pt-Co e para a turvação 31 NTU, relativos à recolha feita na margem do lago na última campanha.

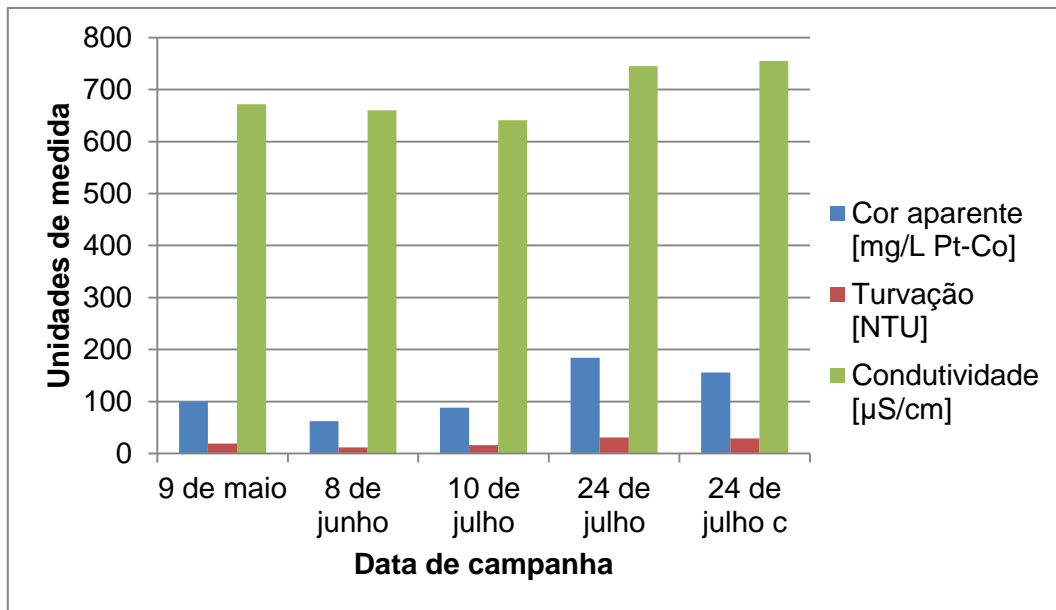


Figura 4.28 Resultados obtidos para o Lago 4 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Estão representados na Figura 4.29 os resultados relativos aos nutrientes analisados nas amostras. O valor de azoto total tem o seu mínimo registado na segunda campanha, sendo igual a 1,71 mg/L. O máximo, por sua vez, é obtido na última campanha, na amostra do centro do lago, e tem um valor de 5,05 mg/L. A contribuição do valor dos nitratos para o total de azoto presente na amostra é pouco significativo. Os valores registados para o fósforo total sofrem uma variação menor ao longo do tempo, sendo o valor mais baixo registado para a última campanha e o maior, de 1,76 mg/L, na terceira campanha, valor que ultrapassa o VMA estabelecido pelo D.L. 236/98, Anexo XXI para águas superficiais. O fósforo presente na amostra encontra-se essencialmente sob a forma de fosfatos, indicando contaminação antropogénica.

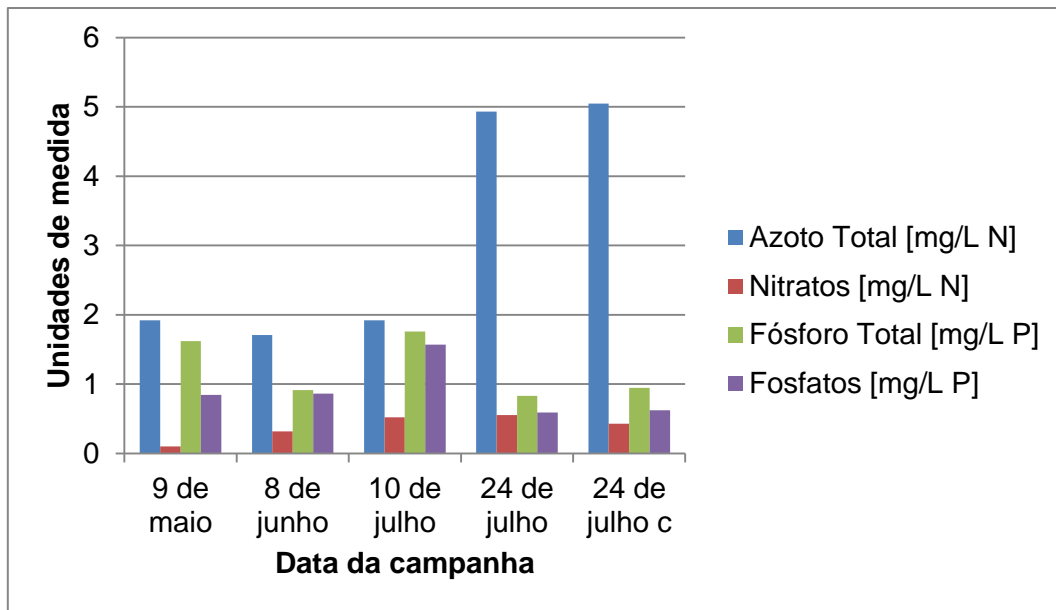


Figura 4.29 Resultados obtidos para o Lago 4 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Foram realizadas apenas duas recolhas no caso do CM e uma recolha no CNR, devido a estes charcos terem secado.

Os valores obtidos para o CM respeitantes ao parâmetro pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total encontram-se representados na Figura 4.30. O valor de pH registado em ambas as campanhas manteve-se praticamente igual, aproximado de 6. A mesma tendência verificou-se para o valor da temperatura.

Foi determinado apenas o valor de oxigénio dissolvido na segunda campanha, sendo o seu valor de 4,4 mg/L. Este valor encontra-se abaixo o valor mínimo estabelecido pelo Decreto-Lei nº 236/98, Anexo XXI para águas superficiais. O carbono orgânico total registado foi menor na segunda campanha, indicando presença de menor carga orgânica.

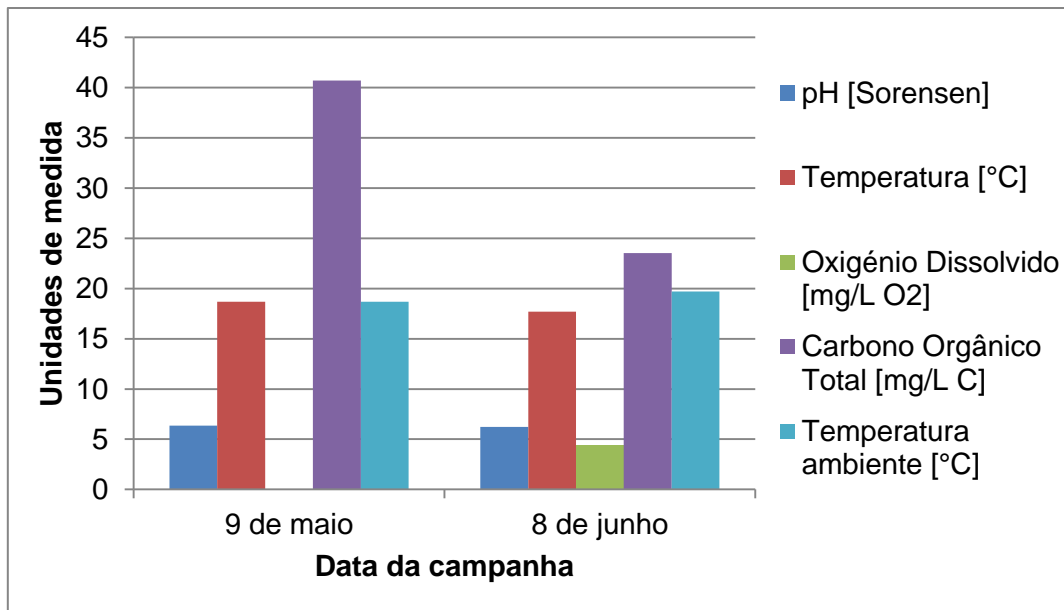


Figura 4.30 Resultados obtidos para o Charco Maravilha relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.

A condutividade baixa registada, indica baixa salinidade da água do charco, considerada uma água não salina [47]. Através dos valores obtidos, representados na Figura 4.31.

No que respeita à turvação e cor aparente, pelo contrário, obtiveram-se valores elevados, indicando a presença de partículas dissolvidas e em suspensão, que vão dificultar a passagem da luz.

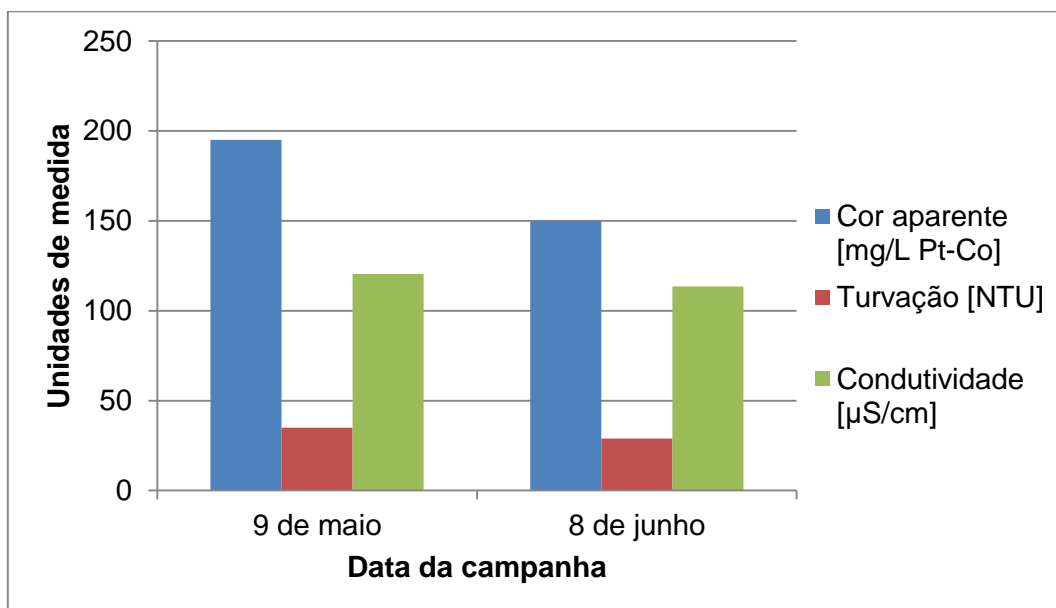


Figura 4.31 Resultados obtidos para o Charco Maravilha relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

No geral, tal como pode ser observado através da Figura 4.32, os valores obtidos para os nutrientes diminuem da primeira para a segunda recolha. O máximo obtido para o azoto total é de 1,58 mg/L e para o fósforo total é de 1,23 mg/L, sendo este valor considerado elevado pois ultrapassa o VMA estabelecido pelo Decreto-Lei nº 236/98, Anexo XXI para águas superficiais.

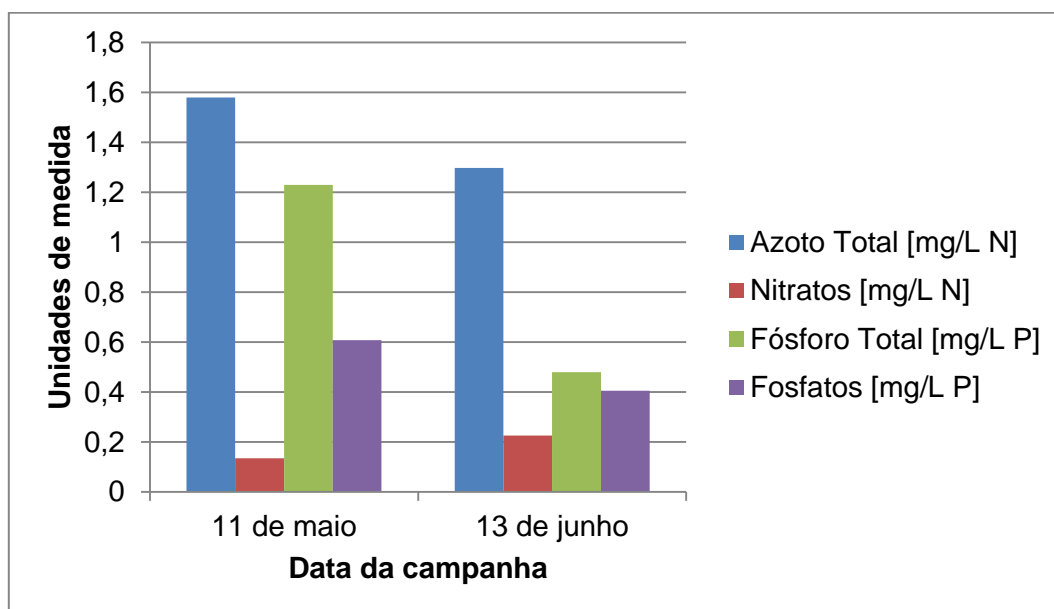


Figura 4.32 Resultados obtidos para o Charco Maravilha relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Para o CNR determinou-se um pH de 6,24 e a temperatura de 18,1°C. A cor aparente e turvação eram ambas elevadas, 425 mg/L Pt-Co e 80 NTU. O carbono orgânico total determinado foi igual a 20,58 mg/L.

Os nutrientes determinados na água do CNR foram 1,03 mg/L de azoto total, dos quais 0,24 mg/L se encontravam na forma de nitratos, e 0,65 mg/L de fósforo total, que se encontravam maioritariamente sob a forma de fosfatos (0,60 mg/L).

4.2.2 Jardins do Palácio de Cristal

As recolhas feitas nos Jardins do Palácio de Cristal realizaram-se nas seguintes datas: 11/05/2017, 13/06/2017, 13/07/2017 e 27/07/2017. Durante a primeira campanha, dia 11/05/2017, e nos dias que se antecederam houveram muitas chuvas fortes. Também nos dias que antecederam a terceira campanha (13/07/2017) choveu, podendo influenciar os resultados. Os valores obtidos para todos os parâmetros

analisados referentes ao lago do Palácio de Cristal apresentam-se nas figuras de 4.33 a 4.35.

Tal como pode ser observado pela Figura 4.33, a temperatura no lago PC variou entre 18,4°C e 24,0°C. O pH, por sua vez, permaneceu sempre alcalino, variando entre 9,13 e 9,82. Também o oxigénio dissolvido apresentava valores superiores à saturação. Estas observações são características de um excessivo desenvolvimento de algas que ocorre em condições de eutrofização.

A matéria orgânica presente no PC era inferior ao limite de deteção na primeira campanha, não atingindo 1 mg/L. Obtendo-se na terceira campanha o valor máximo 20,29 mg/L.

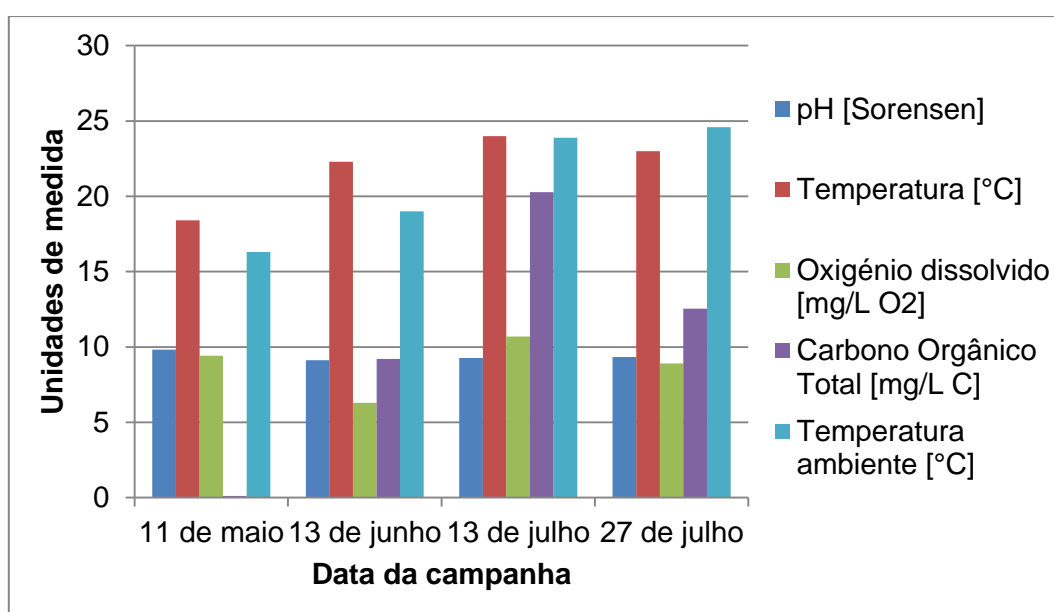


Figura 4.33 Resultados obtidos para o Lago do Palácio de Cristal relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.

A condutividade registada variou entre o valor mínimo de 368 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a primeira campanha e o valor máximo 423 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registado na terceira e quarta campanhas, sendo considerada uma água não salina [47] (Figura 4.34).

Os valores de cor aparente obtidos são devidos à presença de microalgas na água do lago, que conferem uma forte coloração. O mesmo acontece no que diz respeito à turvação registada.

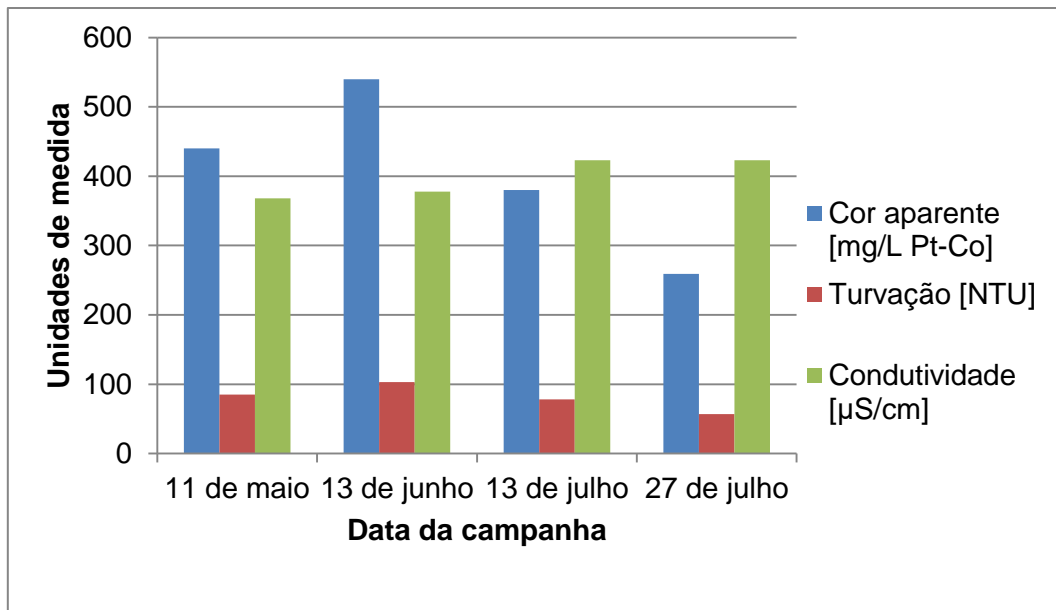


Figura 4.34 Resultados obtidos para o Lago do Palácio de Cristal relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Na Figura 4.35 encontram-se representados os resultados para o azoto e fósforo presentes no PC.

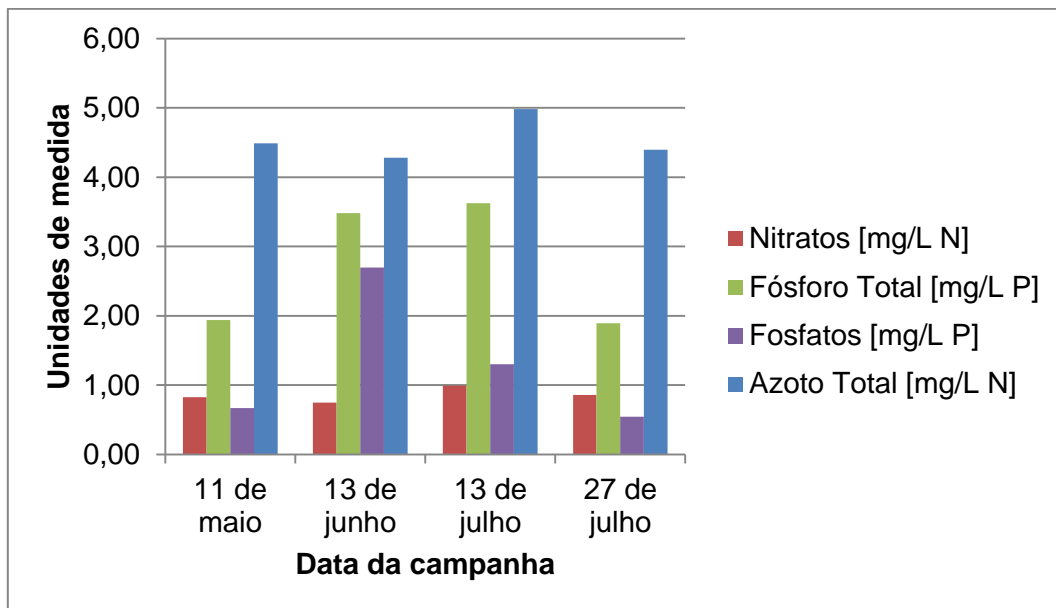


Figura 4.35 Resultados obtidos para o Lago do Palácio de Cristal relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Analisando todos os valores obtidos, confirma-se que são característicos de uma água que se encontra eutrofizada. Deste modo, quer devido às variações excessivas de pH e oxigénio dissolvido entre o dia e a noite quer devido ao facto de a

radiação solar não passar para o para as camadas mais profundas, é provável que ocorra anaerobiose e que possa no extremo levar à morte dos organismos presentes naquele local.

4.2.3 Jardim das Virtudes

Os valores obtidos para todos os parâmetros analisados referentes aos tanques do Jardim das Virtudes apresentam-se nas figuras de 4.36 a 4.47. As datas das amostragens foram as mesmas que no lago do Palácio de Cristal, apenas a reportar a limpeza do Jardim com recurso a meios mecânicos e que poderá ter produzido alguma alteração na qualidade da água devido à emissão de partículas em 13/07/2017 e uma limpeza do fundo dos tanques posterior a essa mesma data.

Através da Figura 4.36 verifica-se que a temperatura da água do V1 varia entre 18 e 19°C. O pH, por sua vez, nas primeiras campanhas realizadas é neutro, no entanto na última campanha o seu valor, 4,74, é ácido.

O parâmetro oxigénio dissolvido apresenta valores muito baixos, comparativamente ao valor normal de 8 mg/L ao ar ambiente a 25°C, sendo o mínimo obtido de 1,8 mg/L.

A matéria orgânica sofreu uma diminuição ao longo do tempo, como se pode deduzir pelos valores de carbono orgânico total. A análise conjunta destes parâmetros indica que o V1 se encontra em anaerobiose. Esta pode ser provocada pela presença de vegetação flutuante (lentilhas de água) que cobre na totalidade a superfície do charco e impede a entrada de oxigénio.

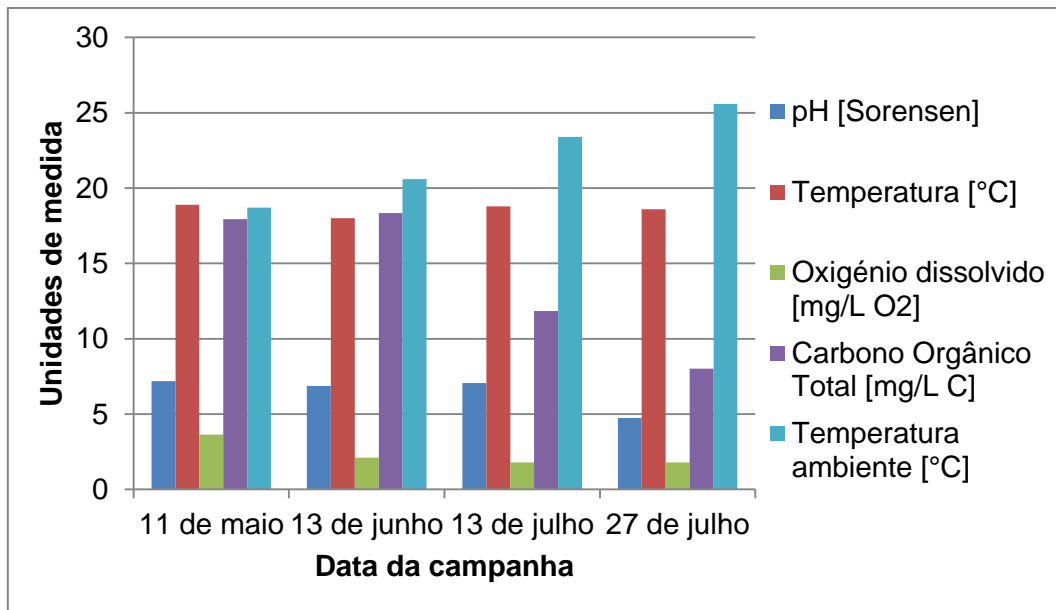


Figura 4.36 Resultados obtidos para o Tanque 1 relativamente aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.

Como se pode verificar pela Figura 4.37 a condutividade registada encontra-se entre 600 a 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerada uma água não salina [47]. A cor aparente e turvação apresentam um comportamento similar ao longo do tempo, sendo que na última campanha o valor obtido para ambos os parâmetros foi inferior ao limite de quantificação dos métodos, respetivamente 1 mg/L Pt-Co e 1 NTU, o que pode ser devido à limpeza do fundo do tanque.

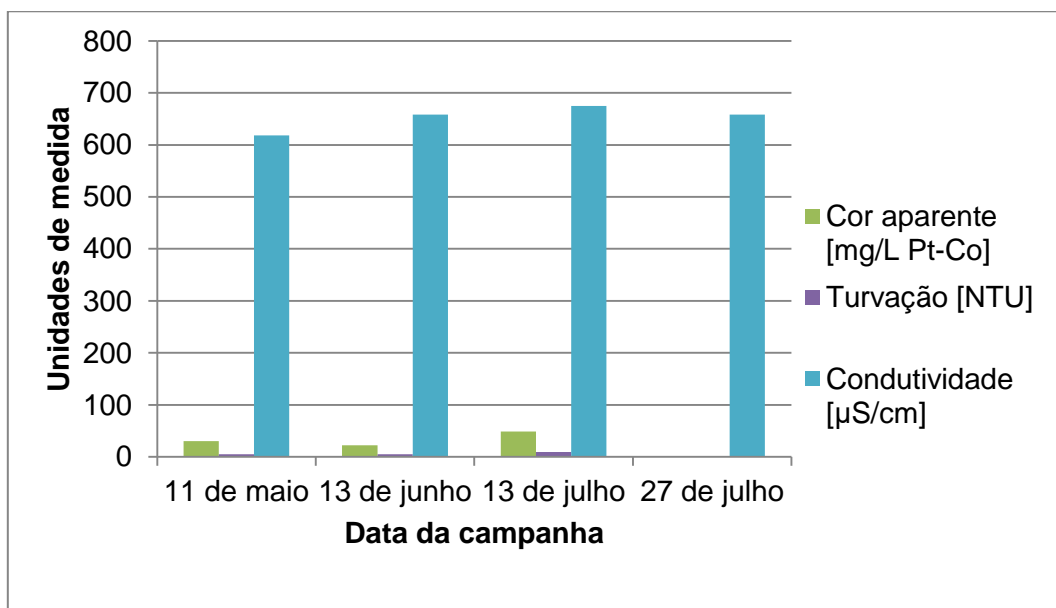


Figura 4.37 Resultados obtidos para o Tanque 1 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

A elevada concentração de azoto total verificada na Figura 4.38 é um dos factores que leva a que ocorra a eutrofização do meio, juntamente com valores elevados de fósforo total, o que contribui para as condições de anaerobiose verificadas.

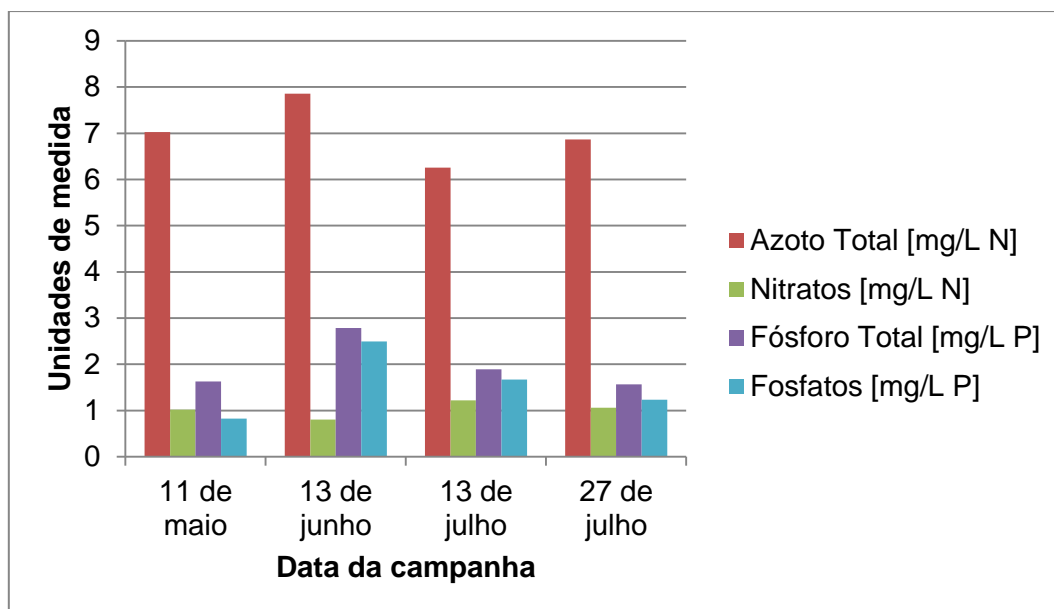


Figura 4.38 Resultados obtidos para o Tanque 1 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

Como pode ser observado na Figura 4.39, o pH determinado no V2 mantém-se neutro ao longo do tempo, variando entre 6,36 e 7,25. A temperatura registada aumentou ao longo do tempo, sendo o valor mínimo registado de 15,4°C e o valor máximo registado na última campanha igual a 18,8°C.

Também no V2 se registaram valores de oxigénio dissolvidos inferiores a 5 mg/L, provocados pela camada de lentilha de água que cobria completamente a superfície do tanque. No que respeita aos valores de carbono orgânico total, foi observado um pico de 19,55 mg/L, na segunda campanha.

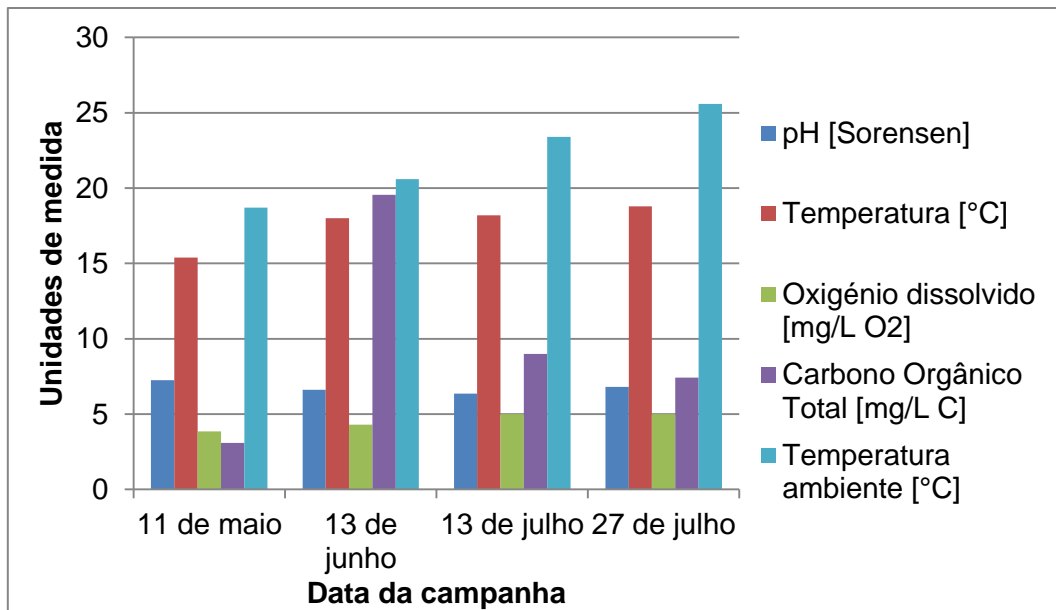


Figura 4.39 Resultados obtidos para o Tanque 2 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.

A água do V2, como se pode observar na Figura 4.40, apresenta valores de condutividade equiparados a uma água não salina [47].

A cor aparente determinada tende a diminuir ao longo das campanhas, sendo o seu valor inferior ao limite de quantificação (1 mg/L Pt-Co) na última campanha. A turvação não apresenta, neste caso, um comportamento idêntico à cor aparente variando aleatoriamente ao longo das campanhas. Em ambos os casos o valor mínimo atingido coincide com a última campanha que terá decorrido após uma limpeza do fundo do tanque.

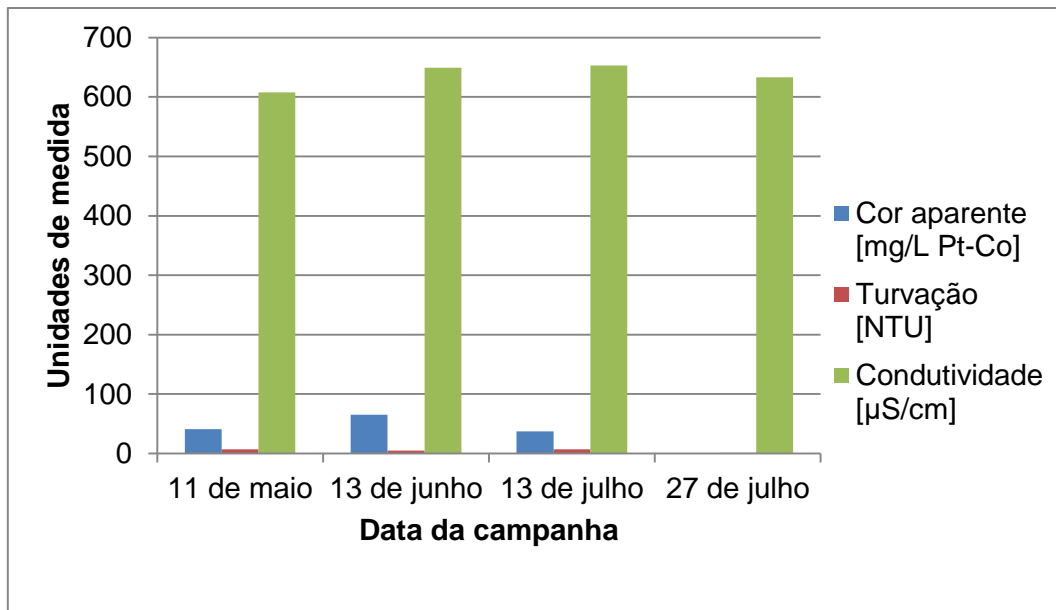


Figura 4.40 Resultados obtidos para o Tanque 2 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Como se pode verificar pela Figura 4.41, o valor de azoto total presente nas amostras era bastante elevado, apesar de a parcela que se encontra sob a forma de nitratos é baixa quando comparada ao valor total. O valor máximo registado de azoto total foi de 9,26 mg/L. O fósforo apresenta uma variação significativa ao longo das campanhas, não seguindo uma tendência. O valor determinado máximo é de 4,44 mg/L, respectivo à terceira campanha realizada. As concentrações elevadas de nutrientes, nomeadamente de fósforo que ultrapassa o VMA estabelecido para águas superficiais pelo Decreto-Lei nº 236/98, Anexo XXI (1 mg/L), contribuem para a ocorrência de eutrofização.

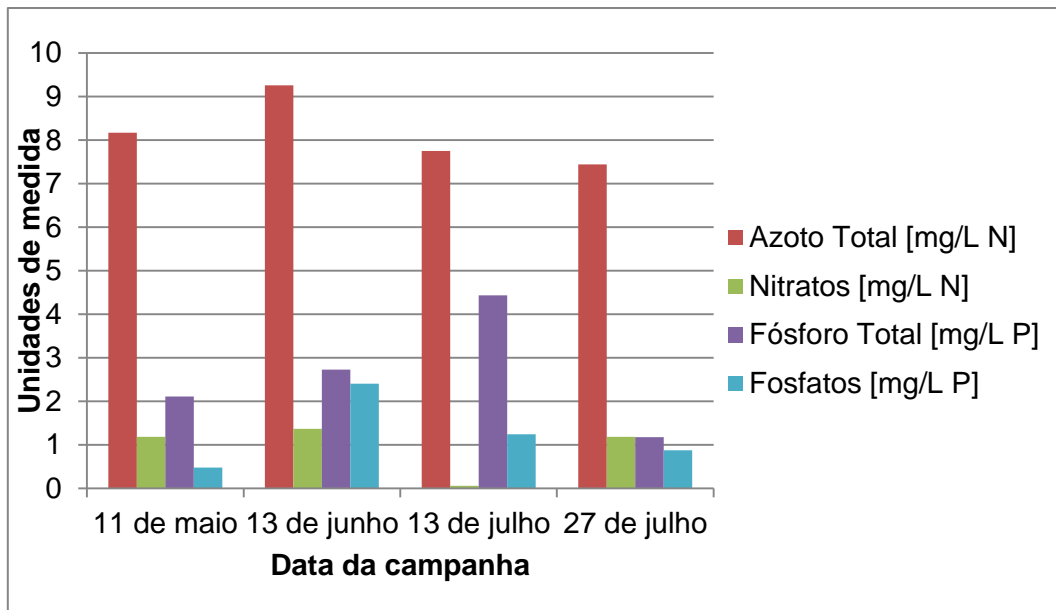


Figura 4.41 Resultados obtidos para o Tanque 2 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

O pH do V3 manteve-se neutro ao longo das campanhas (Figura 4.42), não tendo uma variação significativa. A temperatura da água variou entre o valor mínimo de 16,9°C e o valor máximo de 20,2°C.

Os valores obtidos para o oxigénio dissolvido encontram-se acima de 5 mg/L, considerando suficiente para os organismos presentes no tanque, tendo em conta que este é o valor mínimo estabelecido pelo Decreto-Lei nº 236/98, Anexo XXI, que se refere à qualidade das águas doces para fins aquícolas — águas piscícolas. O valor mínimo registado é de 5,1 mg/L e o valor máximo é de 6,5 mg/L.

Os resultados obtidos para a matéria orgânica não têm um comportamento tendencial ao longo do tempo, sendo no entanto superiores após episódios de chuva devido possivelmente a escorrências para os tanques.

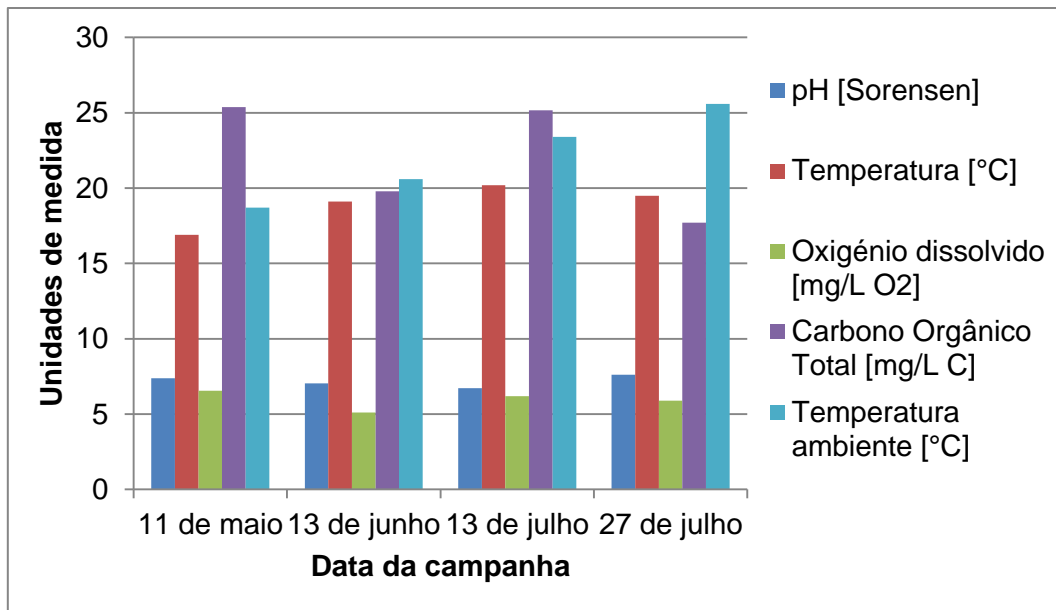


Figura 4.42 Resultados obtidos para o Tanque 3 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e carbono orgânico total.

Os valores de condutividade registados no V3 variaram entre 418 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 472 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 4.43) sendo considerada uma água não salina [47].

O comportamento da cor aparente e da turvação foram idênticos ao longo das campanhas. Aumentaram ao longo das 3 primeiras campanhas, no entanto na última análise o seu valor foi inferior ao limite de quantificação dos métodos, 1 mg/L Pt-Co e 1 NTU, respetivamente. Mais uma vez se pode atribuir este facto à limpeza do fundo do tanque.

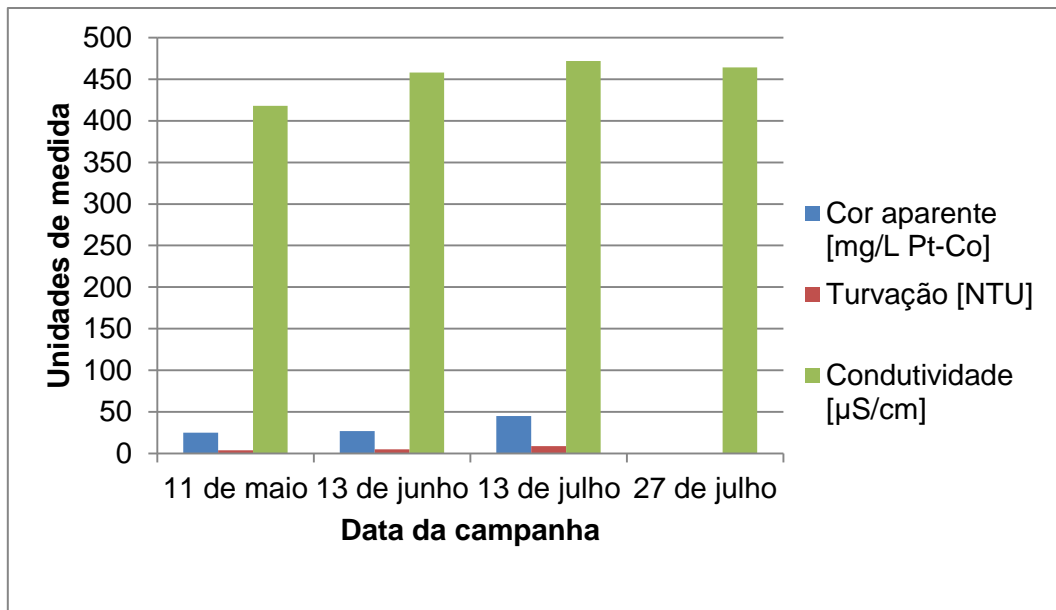


Figura 4.43 Resultados obtidos para o Tanque 3 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

Os valores obtidos para as concentrações dos nutrientes presentes nas amostras do V3 (Figura 4.44) variaram similarmente ao longo das campanhas, tendo ambos o seu máximo na segunda campanha. Para o azoto total foi um máximo de 11,94 mg/L, enquanto para o fósforo foi de 3,79 mg/L. Estas elevadas concentrações de nutrientes, no caso do fósforo superior ao VMA (1 mg/L) estabelecido para águas superficiais, contribuem para a ocorrência de eutrofização.

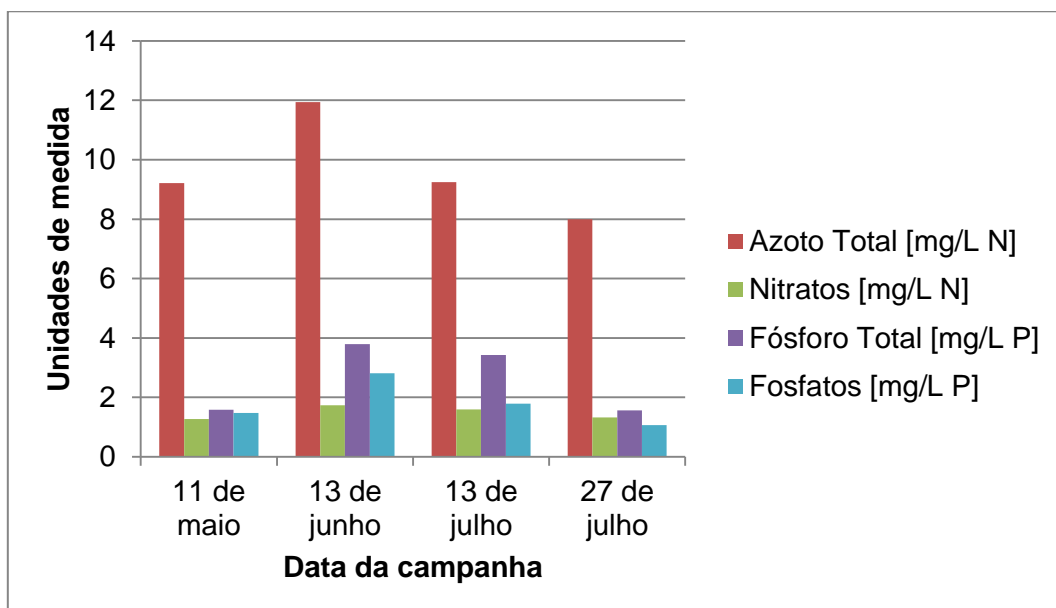


Figura 4.44 Resultados obtidos para o Tanque 3 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

A temperatura da água do V4 (Figura 4.45) variou entre 15,7°C e 20,3 °C. O pH, por sua vez, sofreu uma pequena variação entre 6,90 e 7,86.

Os valores de oxigênio dissolvido diminuíram ao longo das campanhas, atingindo na última um valor crítico, 3,7 mg/L, ficando assim abaixo do que é considerado razoável, 5 mg/L, de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98, Anexo XXI.

O parâmetro carbono orgânico total aumentou significativamente na segunda campanha e manteve-se aproximadamente dentro dos mesmos valores até ao final das campanhas, traduzindo-se num aumento da carga orgânica presente no charco.

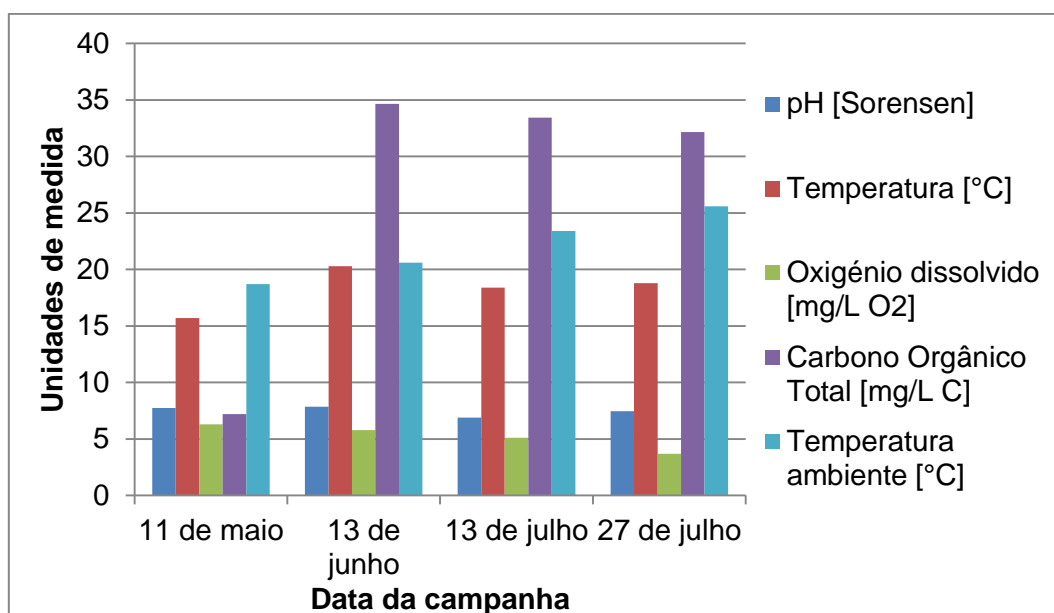


Figura 4.45 Resultados obtidos para o Tanque 4 relativos aos parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total.

A cor aparente e turvação comportaram-se do mesmo modo ao longo das campanhas (Figura 4.46). Na última campanha ambos valores foram inferiores aos limites de quantificação dos métodos, 1 mg/L Pt-Co e 1 NTU, respetivamente, pelo mesmo motivo. Tal como nos restantes tanques, os valores da condutividade do V4 encontram-se entre 617 μ S/cm e 674 μ S/cm, sendo considerada uma água não salina [47].

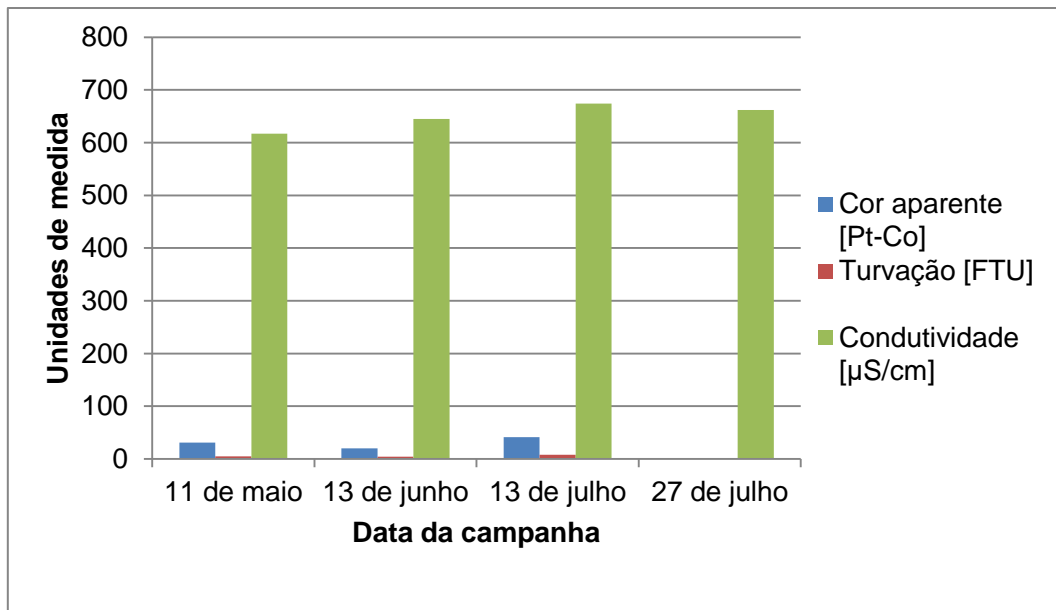


Figura 4.46 Resultados obtidos para o Tanque 4 relativos à cor aparente, turvação e condutividade.

O valor de azoto total determinado nas amostras do V4 (Figura 4.47) é máximo na segunda campanha, 6,92 mg/L, e mínimo na quarta campanha, 9,23 mg/L. O valor de azoto sob a forma de nitratos é pequeno quando comparado com o valor de azoto total. O fósforo total é também máximo na segunda campanha, 3,78 mg/L, e o mínimo de 1,19 mg/L na última campanha. O fósforo presente nas amostras está maioritariamente na forma de fosfatos. Também neste tanque se verificam condições de excesso de nutrientes que contribuem para a eutrofização.

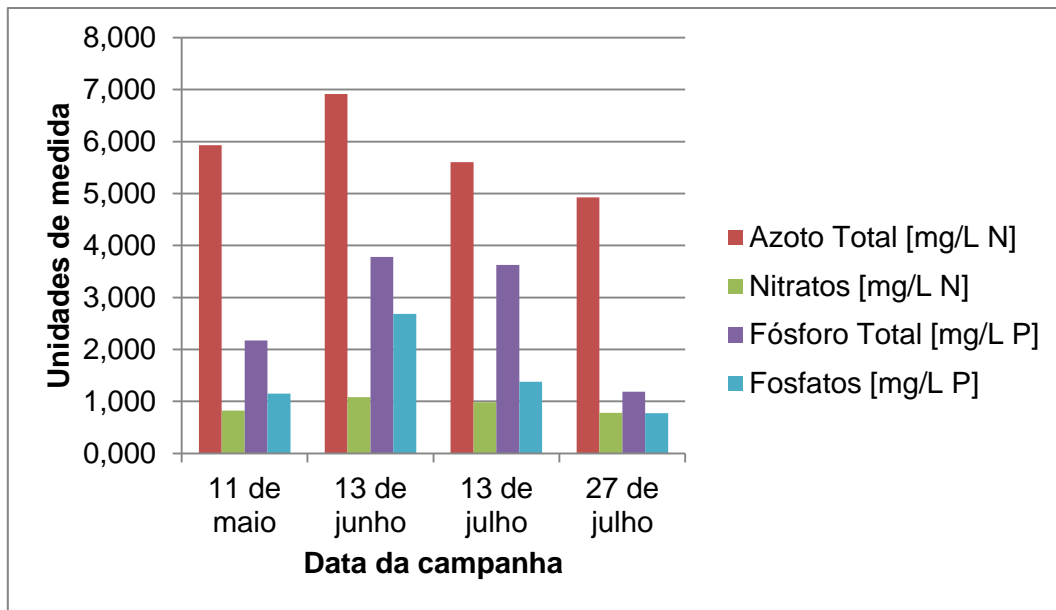


Figura 4.47 Resultados obtidos para o Tanque 4 relativos aos nutrientes azoto e fósforo.

4.2.4 Classificação da qualidade da água

Na Tabela 4.1 encontra-se o resumo da classificação da qualidade segundo o Instituto Nacional da Água (INAG) na Tabela A.1, Anexo A [48] para cada um dos parâmetros físico-químicos analisados para os lagos do Parque da Cidade. A qualidade da água dos lagos é classificada, de um modo global, como “muito má” (classe E), devido aos níveis de fósforo total determinados. A classificação global da qualidade da água em cada local e campanha apresenta-se na tabela 4.3. De acordo com as classificações obtidas para cada campanha, pode dizer-se que a campanha com pior classificação é a campanha de 24/07/2017.

Tabela 4.1 Classificação da qualidade da água por parâmetro físico-químico analisado para os lagos do Parque da Cidade, segundo critérios do INAG.¹

Parâmetro	Local	Data da campanha			
		09/05/2017	08/06/2017	10/07/2017	24/07/2017
pH ²	L1	A	A	C	C
	L2	A	A	A	A
	L3	A	A	A	A
	L4	A	A	A	A
	CM	B	B	-	-
	CNR	B	-	-	-
Azoto total	L1	B	B	B	C
	L2	E	E	E	E
	L3	C	B	B	B
	L4	B	B	B	E
	CM	B	C	-	-
	CNR	B	-	-	-
Fósforo	L1	E	E	E	E
	L2	E	E	E	E
	L3	E	E	E	E
	L4	E	E	E	E
	CM	E	D	-	-
	CNR	E	-	-	-
Condutividade	L1	A	A	A	A
	L2	A	A	A	A
	L3	A	A	A	A
	L4	A	A	A	B
	CM	A	A	-	-
	CNR	A	-	-	-

Na Tabela 4.2 encontra-se o resumo da classificação da qualidade segundo o INAG (Tabela A.1, Anexo A) para cada um dos parâmetros físico-químicos analisados para o lago do Palácio de Cristal e para os tanques do Jardim das Virtudes. A qualidade da água do lago e dos tanques é classificada, de um modo global, como “muito má” (classe E), devido aos níveis de azoto e fósforo determinados.

¹ Legenda da Tabela: A – Excelente; B – Boa; C – Razoável; D – Má; E – Muito má.

² O pH, sendo um parâmetro muito dependente de características geomorfológicas, pode apresentar valores fora deste intervalo, sem contudo significar alterações de qualidade devidas à poluição.

De acordo com as classificações obtidas para cada campanha, verifica-se que a campanha com piores resultados relativamente à qualidade da água é a de 27/07/2017 para o V1. Para este tanque, durante a recolha observou-se a libertação de gases indicando que o lago se encontrava em anaerobiose, corroborando esta classificação.

A classificação global da qualidade da água para cada local e campanha, tendo em conta os parâmetros analisados apresenta-se na tabela 4.3.

Tabela 4.2 Classificação da qualidade da água por parâmetro físico-químico analisado para o lago do Palácio de Cristal e Tanques do Jardim das Virtudes, segundo critérios do INAG.³

Parâmetro	Local	Data			
		11/05/2017	13/06/2017	13/07/2017	27/07/2017
pH ⁴	PC	C	C	C	C
	V1	A	A	A	D
	V2	A	A	C	A
	V3	A	A	A	A
	V4	A	A	A	A
Azoto total	PC	E	E	E	E
	V1	E	E	E	E
	V2	E	E	E	E
	V3	E	E	E	E
	V4	E	E	E	E
Fósforo	PC	E	E	E	E
	V1	E	E	E	E
	V2	E	E	E	E
	V3	E	E	E	E
	V4	E	E	E	E
Condutividade	PC	A	A	A	A
	V1	A	A	A	A
	V2	A	A	A	A
	V3	A	A	A	A
	V4	A	A	A	A

³ Legenda da Tabela: A – Excelente; B – Boa; C – Razoável; D – Má; E – Muito má.

⁴ O pH, sendo um parâmetro muito dependente de características geomorfológicas, pode apresentar valores fora deste intervalo, sem contudo significar alterações de qualidade devidas à poluição.

Na Tabela 4.3 encontra-se a classificação global da água de cada campanha.

Tabela 4.3 Classificação global da qualidade da água em cada campanha segundo os critérios do INAG tendo em conta os parâmetros físico-químicos analisados³.

Local	Data da campanha			
	09/05/2017	08/06/2017	10/07/2017	24/07/2017
L1	E	E	E	E
L2	E	E	E	E
L3	E	E	E	E
L4	E	E	E	E
	11/05/2017	13/06/2017	13/07/2017	27/07/2017
PC	E	E	E	E
V1	E	E	E	E
V2	E	E	E	E
V3	E	E	E	E
V4	E	E	E	E

Tal como já foi referido, a qualidade das águas de todos os locais estudados classificou-se como “muito má” em todas as campanhas. A classificação em todas elas é devida aos elevados níveis de nutrientes, pelo que é necessário tentar perceber a sua origem, isto é, se é biológica ou antropogénica, para posteriormente serem tomadas medidas de modo a minimizar esta perturbação.

4.3 Cafeína – Indicador de contaminação antropogénica

Efetuuou-se a determinação da cafeína em todas as amostras para usar como despiste de contaminação antropogénica nos lagos e charcos em estudo. No entanto, através do método utilizado, este composto não foi detetado em nenhuma amostra de nenhuma das campanhas. Contudo, em grande parte das amostras, era detetado no espectro de outro composto no comprimento de onde de 225 nm (Figura 4.48). Este pode tratar-se de um ruído ou de um composto que seja característico deste tipo de amostras.

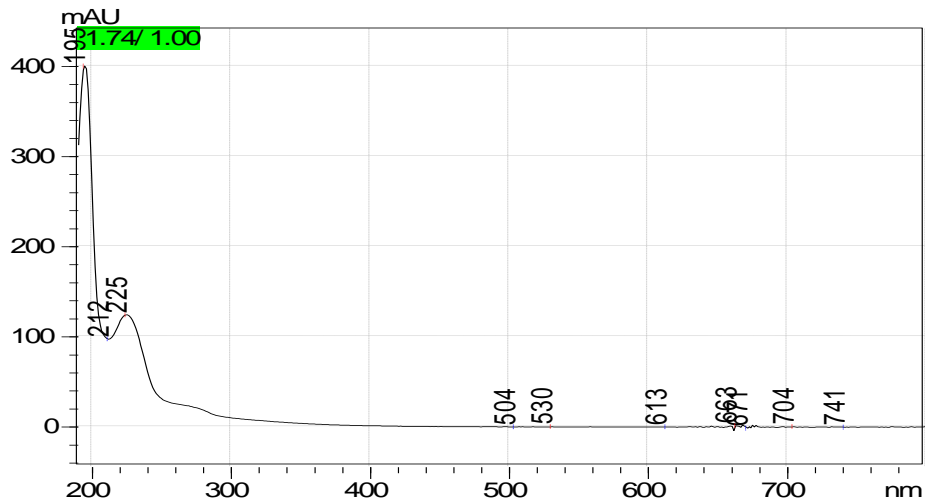


Figura 4.48 Espectro obtido na análise de uma amostra do Tanque 1 (13/06/2017).

Também em estudos realizados em água proveniente de outras origens também não foi detetada a cafeína. No caso de Seiler *et al.*, que investigaram o potencial da cafeína como um marcador de nitratos de origem antropogénica em águas de poços, concluiu que a degradação e sorção eram muito elevadas para a cafeína poder ser utilizada como um marcador efetivo [49]. Também Hebig *et al.* concluíram no seu estudo que os compostos neutros como o sulfametoxazol e a cafeína, ambos hidrófilos ao pH das experiências, foram fortemente degradados na presença de matéria orgânica [50]. No entanto, a aplicação da cafeína como indicador de contaminação antropogénica tem sido cada vez mais utilizada com sucesso. Como por exemplo no estudo realizado por Peeler *et al.*, cujo objectivo foi avaliar a hipótese de que as medidas de cafeína, nutrientes e bactérias indicadoras de contaminação fecal podem distinguir fontes humanas e não humanas de contaminação da água superficial em ambientes contrastantes, tendo sido detetada cafeína e associada a elevados níveis de bactérias de contaminação fecal [51]. Weigel *et al.* detetou cafeína em todas as amostras de águas residuais no seu estudo que consistia na determinação de produtos farmacêuticos e cafeína em águas residuais e águas do mar de Tromsø, Noruega [52].

4.4 Análise Termográfica

O estudo consistiu na avaliação do efeito da vegetação e das massas de água nas temperaturas superficiais, recorrendo à termografia de infravermelhos. Com esse intuito, realizou-se uma análise qualitativa das imagens térmicas, para visualizar esse efeito, e uma análise quantitativa.

4.4.1 Avaliação qualitativa dos resultados

As imagens visíveis e térmicas captadas nos distintos pontos dos cinco lagos, do Parque da Cidade do Porto, avaliados no dia 10 de julho, são apresentadas da Figura 4.49 à Figura 4.53, as imagens visíveis e térmicas efetuadas no dia 1 de setembro são apresentadas da Figura 4.54 à Figura 4.58. A escala utilizada em todas as imagens térmicas foi a mesma, variando a gama de temperaturas de 17.0 a 30.0° C. De forma geral, e para condições idênticas de incidência solar, verifica-se que as massas de água apresentam temperaturas mais baixas, seguindo-se as zonas com árvores/folhas e a vegetação rasteira. As temperaturas mais elevadas são registadas nas zonas calcetadas e os muros em pedra.

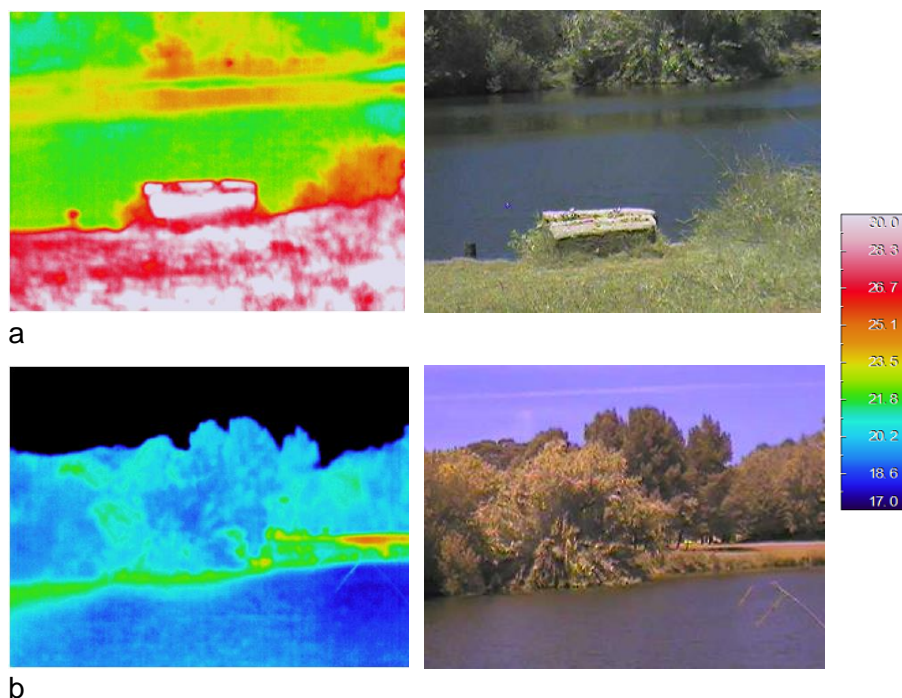


Figura 4.49 – Imagens térmicas e fotografias do Lago 1 no dia 10/07/2017: a) Ponto 1;
b) Ponto 2.

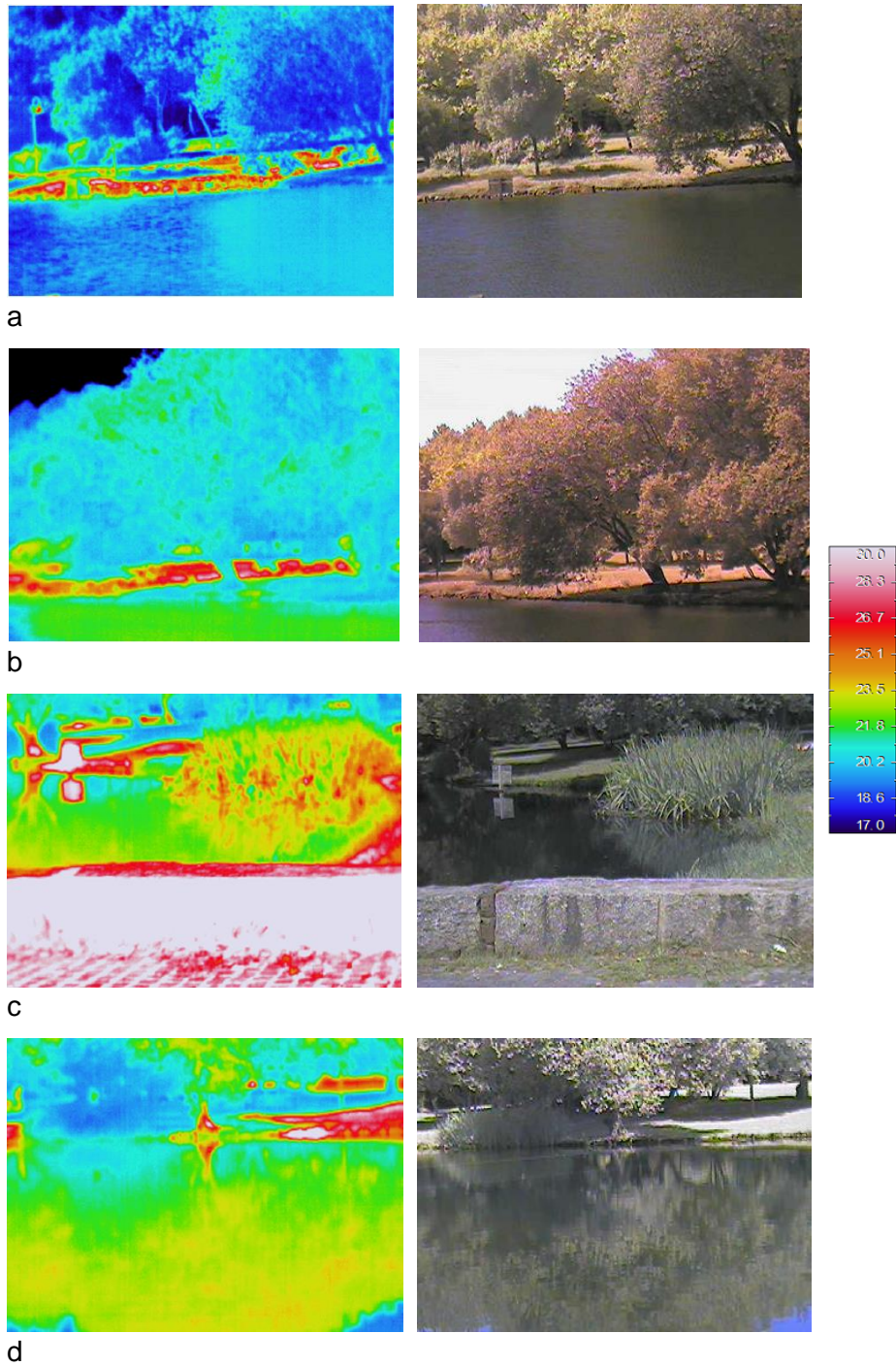
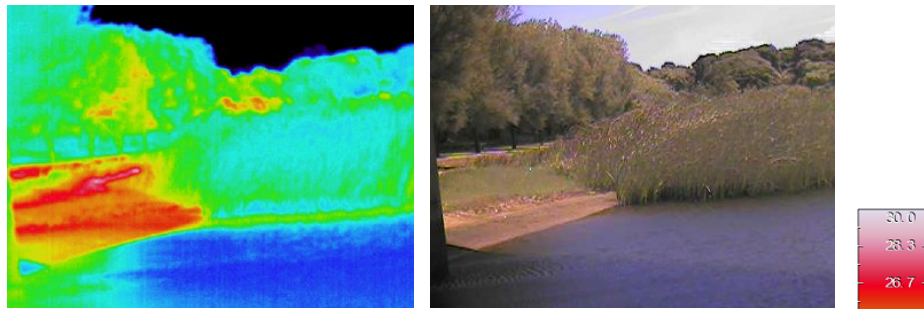


Figura 4.50 – Imagens térmicas e fotografias do Lago 2 no dia 10/07/2017:

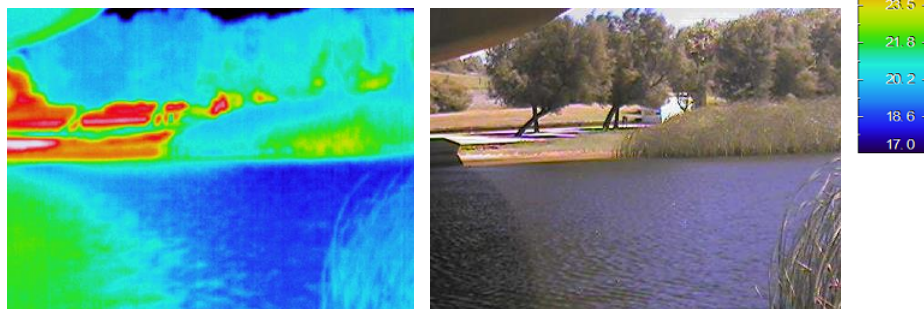
a) Ponto 1; b) Ponto 2; c) Ponto 3; d) Ponto 4.



Figura 4.51 – Imagem térmica e fotografia do Lago 3 no dia 10/07/2017.



a



b

Figura 4.52 – Imagens térmicas e fotografias do Lago 4 no dia 10/07/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2.

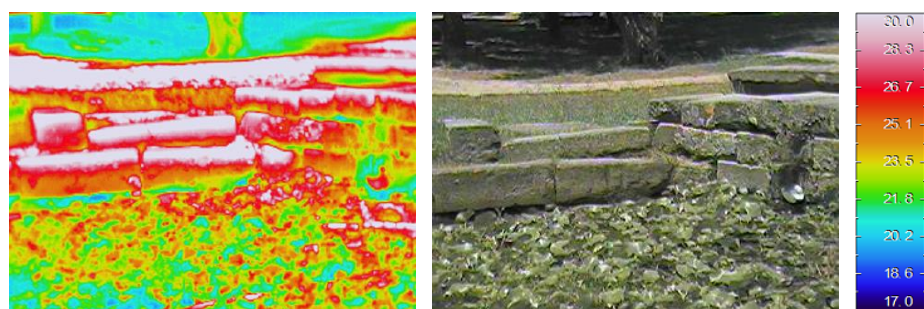


Figura 4.53 – Imagem térmica e fotografia do Charco do Núcleo Rural no dia 10/07/2017.

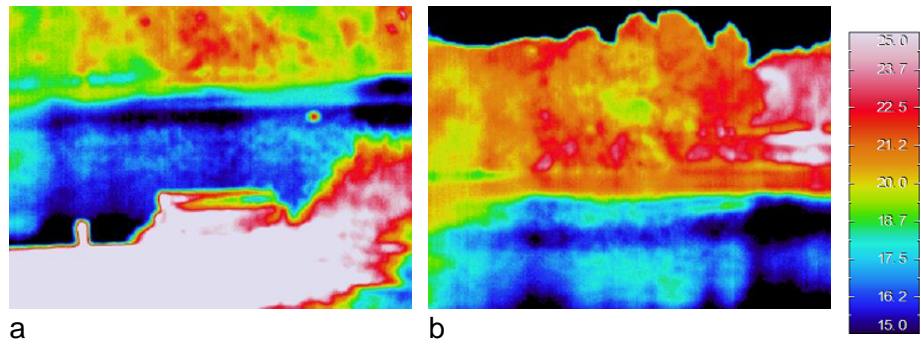


Figura 4.54 – Imagem térmica do Lago 1 no dia 01/09/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2.

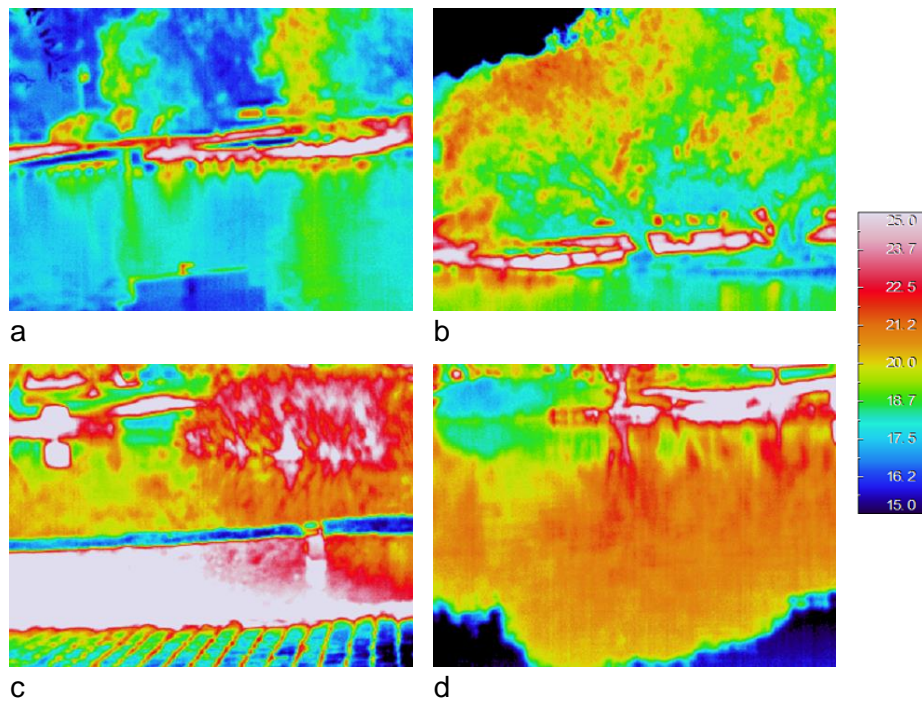


Figura 4.55 – Imagens térmicas do Lago 2 no dia 01/09/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2; c) Ponto 3; d) Ponto 4.

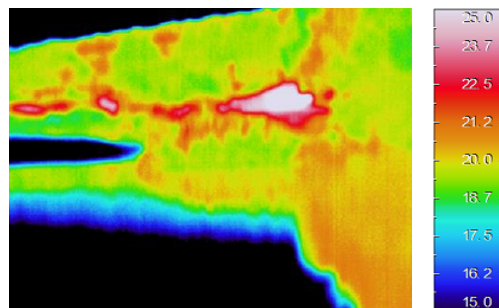


Figura 4.56 – Imagem térmica e fotografia do Lago 3 no dia 01/09/2017.

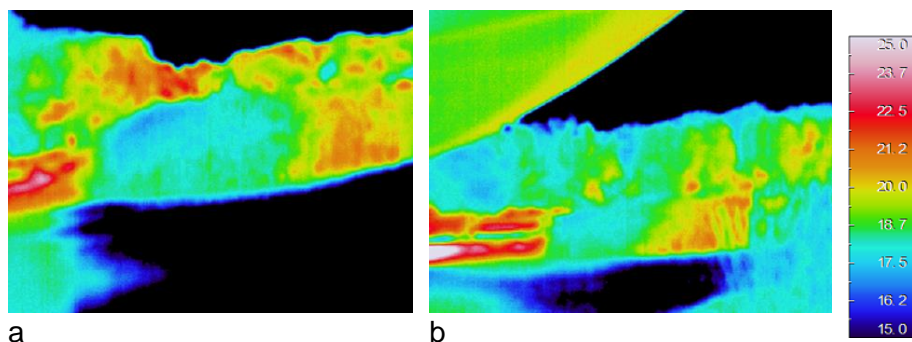


Figura 4.57 – Imagens térmicas do Lago 4 no dia 01/09/2017: a) Ponto 1; b) Ponto 2.

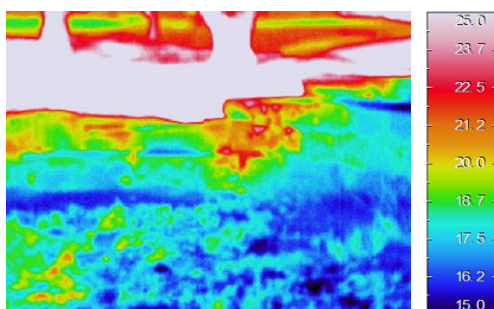


Figura 4.58 – Imagem térmica do Charco do Núcleo Rural no dia 01/09/2017.

As temperaturas obtidas nos dois dias são relativamente próximas. Contudo, verificou-se uma tendência para serem mais baixas na segunda campanha, mesmo sendo a temperatura do ar semelhante nos dois dias. Este facto pode ser devido à diferente posição do sol no horizonte, que modifica o ângulo de incidência dos raios solares, e influenciando, assim, as temperaturas superficiais. Também a menor humidade relativa do ar durante a segunda determinação pode influenciar a temperatura das massas de água, pois pode levar a um aumento da evaporação nessas zonas.

É importante mencionar que, na maioria das imagens térmicas, o efeito da reflexão da vegetação ou de outros elementos contíguos às massas de água é muito perceptível e influencia a temperatura superficial medida pela câmara de infravermelhos. Efectivamente, a temperatura superficial da água nas zonas com influência da reflexão é sempre superior às zonas sem reflexão.

4.4.2 Avaliação quantitativa dos resultados

A Tabela 4.4 mostra as temperaturas superficiais medidas nos diferentes pontos avaliados em cada local e para cada momento de medição, considerando áreas semelhantes para a avaliação da temperatura superficial em cada um deles. Na quantificação da temperatura superficial considerou-se a média das temperaturas das

diferentes superfícies estudadas, quer estivessem ao sol, sombreadas ou sob o efeito da reflexão. A Tabela 4.5 mostra as médias das temperaturas superficiais nos diferentes locais, para cada momento de medição, tendo sido obtida a partir das médias das temperaturas para cada zona nos diferentes pontos de observação.

Tabela 4.4 Médias das temperaturas superficiais nos diferentes pontos de cada local, para cada momento de medição (°C).

	10/07/2017				01/09/2017			
L1	P1	P2			P1	P2		
Água	22,6	19,1			15,8	16,3		
Árvores/folhas	22,5	20,2			18,5	21,3		
Vegetação rasteira	30,2	21,9			31,3	23,4		
Pedra	30,5	-			23,5	-		
L2	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Água	19,7	21,9	22,3	22,5	18,0	19,0	20,1	20,1
Árvores/folhas	19,2	20,6	23,5	22,2	17,8	19,4	23,1	17,9
Vegetação rasteira	13,5	23,0	23,1	22,9	23,5	21,1	21,3	24,1
Pedra			31,6				23,4	
L3	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Água	20,9				16,6			
Árvores/folhas	20,2				19,7			
Vegetação rasteira	25,8				23,5			
L4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Água	19,2	20,3			13,4	15,6		
Árvores/folhas	21,5	21,1			18,9	18,9		
Vegetação rasteira	27,6	27,1			21,0	21,6		
CNR	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Árvores/folhas	23,6				17,2			
Vegetação rasteira	30,0				33,1			
Pedra	27,3				18,6			

Tabela 4.5 Médias das temperaturas superficiais nos diferentes locais, para cada momento de medição (°C).

	10/07/2017	01/09/2017
L1		
Água	20,8	16,1
Árvores/folhas	21,4	19,9
Vegetação rasteira	26,1	27,4
Pedra	30,5	23,5
L2		
Água	21,6	19,3
Árvores/folhas	21,4	19,6
Vegetação rasteira	20,6	22,5
Pedra	31,6	23,4
L3		
Água	20,9	16,6
Árvores/folhas	20,2	19,7
Vegetação rasteira	25,8	23,5
L4		
Água	19,8	14,5
Árvores/folhas	21,3	18,9
Vegetação rasteira	27,4	21,3
CNR		
Árvores/folhas	23,6	17,2
Vegetação rasteira	30,0	33,1
Pedra	27,3	18,6

Verifica-se que a temperatura da água nos vários locais de amostragem, nos dois dias, é sempre inferior ou muito aproximada à temperatura da vegetação. Nos locais onde está presente pedra, verifica-se que a temperatura da mesma é superior à temperatura da superfície da água e vegetação, em geral, até 5 °C.

Geralmente, massas de água (lagos construídos parcialmente vegetados e não vegetados) asseguram temperaturas de superfície mais baixas que os locais circundantes, com base principalmente na análise de padrões diurnos. A influência do uso da terra e dos impactos da impermeabilização do solo influencia os níveis da temperatura ambiente circundante, provocando o seu aumento. Verificando-se essencialmente através da temperatura nas áreas urbanas associadas à expansão de áreas não vegetadas [53].

Em contexto urbano, o uso de vegetação em compartimentos aquáticos ou outros (como telhados verdes) tem um impacto direto na temperatura circundante e contribuem para diminuir, até certo ponto, o efeito da ilha de calor [54]. Essas questões são muito importantes em termos da dimensão ambiental [55].

5 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho teve como objetivo a monitorização da qualidade da água de diferentes massas de água em contexto urbano. Foram monitorizadas 11 massas de água na cidade do Porto, 4 lagos e 2 charcos do Parque da Cidade, o lago principal dos Jardins do Palácio de Cristal e 4 tanques do Jardim das Virtudes. Efectuou-se a análise físico-química de todas as massas de água, baseada na determinação dos seguintes parâmetros: pH, temperatura, oxigénio dissolvido, carbono orgânico total, condutividade, turvação, cor aparente, azoto total e na forma de nitratos, fósforo total e na forma de fosfatos, englobando a determinação da cafeína como indicador de contaminação antropogénica. Foi feita, também, a análise termográfica aos 4 lagos do Parque da Cidade e a um dos charcos, o Charco do Núcleo Rural, utilizando a tecnologia de termografia por infravermelhos.

Segundo os critérios de qualidade para águas superficiais do INAG, de acordo com a caracterização físico-química efectuada, a qualidade das massas de água estudadas do Parque da Cidade classifica-se como “muito má”. O que mais influencia esta classificação são os elevados níveis de fósforo determinados nas amostras de água efectuadas, seguindo-se dos níveis de azoto. A qualidade da água do lago do Palácio de Cristal e dos tanques do Jardim das Virtudes é também classificada, de um modo global, como “muito má”, devido aos níveis de azoto e fósforo presentes nesses locais.

A campanha na qual se registaram piores valores para os parâmetros estudados foi a última realizada, 24/07/2017 para o Parque da Cidade e 27/07/2017 para o Palácio de Cristal e Jardim das Virtudes.

Relativamente à utilização da cafeína como um indicador de contaminação antropogénica, não foi detetado este composto em nenhuma das amostras. No entanto, de acordo com alguns investigadores o facto de não ter sido detetado não indica que não esteja presente ou que os locais não sofram de contaminação pelo Homem pois existem vários fenómenos naturais que podem levar à redução da sua concentração não permitindo a sua deteção.

A técnica de termografia por infravermelhos (IRT) permitiu estudar a influência de diferentes elementos em diferentes sistemas, desde a temperatura superficial da água até a vegetação, nas mesmas condições. Os resultados obtidos permitiram observar que a temperatura das massas de água e vegetação envolvente é geralmente inferior à temperatura de pedras no espaço circundante às massas de água, o que demonstra a importância da sua presença como agentes moderadores da temperatura nos meios urbanos. No entanto, não relaciona o modo como a

temperatura das estruturas analisadas influencia o que a rodeia. A aplicação desta técnica no campo em estudo é inovadora e apresenta potencialidades ser aplicada em estudos posteriores, nomeadamente em outras épocas ano e noutros locais.

De acordo com as directrizes da DQA deveria ser dada continuidade à monitorização das massas de água em contexto urbano, às que foram estudadas e outras que sejam representativas da qualidade que as massas de água da Cidade do Porto possuem. Sugere-se que sejam alargados os parâmetros físico-químicos avaliados, podendo ser feita uma selecção, por exemplo, de metais, pesticidas e fármacos a analisar. Bem como que sejam feitas outras avaliações, como por exemplo, a nível biológico e microbiológico.

As campanhas realizadas neste trabalho abarcaram as estações Primavera e Verão, pelo que se propõe que sejam também realizadas nas restantes estações. De modo a perceber quais os efeitos que o abaixamento das temperaturas e de maiores períodos de precipitação provocariam nos locais estudados.

Além disso, com a seca que o país atravessa neste momento, sendo já perceptíveis os seus efeitos negativos em certos pontos, torna-se, igualmente, interessante estudar os seus efeitos nas massas de água e, conseqüentemente, nos ecossistemas.

Referências

- [1] S. E. Huber, Patrick R.; Shilling, Fraser; Thorne, James H.; Greco, “Municipal and regional habitat connectivity planning,” p. 105, pp. 15–26, 2012.
- [2] J. Tratalos, R. A. Fuller, P. H. Warren, R. G. Davies, and K. J. Gaston, “Urban form , biodiversity potential and ecosystem services,” vol. 83, pp. 308–317, 2007.
- [3] K. Rottle, Nancy & Yocom, Basics Landscape Architecture 02: Ecological Design. AVA Publishing SA, Switzerland, 2010.
- [4] S. V. Valeri and M. A. A. F. Senô, “A Importância dos Corredores Ecológicos para a Sustentabilidade de Remanescentes Florestais,” in Congresso Internacional de Direito Ambiental, 2004, vol. 1, pp. 699–709.
- [5] A. Agda and M. A. Lima, “O Desenvolvimento das áreas verdes no ecossistema urbano - um cenário ambiental e sustentável para fortaleza.,” 2016.
- [6] S. Teixeira et al., “Livro de Resumos do XXII Encontro Luso-Galego de Química,” Sociedade., no. November, J. A. Helder T. Gomes, Maria Olga A. S. Ferreira, João Barreira, Ed. Bragança, 2016, p. 336 páginas.
- [7] E. R. de Sousa, “Noções sobre qualidade da água,” Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2001.
- [8] “DQA (2000). Directiva 2000/60/CE. Parlamento Europeu e do Concelho,” 2000.
- [9] C. Lavinhas, “Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas,” Glossário de zonas húmidas. [Online]. Available: <http://www.icnf.pt/portal/agir>. [Accessed: 10-Nov-2017].
- [10] A. C. Da Cunha, H. F. A. Cunha, A. C. P. B. Júnior, and L. A. Daniel, “Microbiologic Water Quality in Urban and Periurban Rivers on Low Amazon River - Study of Case: Amapá State Alan,” pp. 322–328, 2004.
- [11] D. Tubbs, R. B. Freire, and S. Yoshinaga, “Utilização da Cafeína como Indicador de Contaminação Das Águas Subterrâneas Por Esgotos Domésticos No Bairro De Piranema – Municipios De Seropédica E Itaguaí / RJ,” XIII Congr. Bras. Águas Subterrâneas, pp. 1–9, 2004.
- [12] C. V Andreoli, “Biodiversidade : a Importância Da Preservação Ambiental Para Manutenção Da Riqueza E Equilíbrio Dos Ecossistemas,” Agrinho.Com.Br, pp. 443–464, 2017.
- [13] M. C. Cardoso, “Biodiversidade Urbana: Seleção e caracterização de Indicadores para Lisboa.,” Universidade de Lisboa, 2011.
- [14] J. F. F. de Sá, “Espaços verdes em meio urbano: uma abordagem metodológica com base em serviços de ecossistema,” Instituto Técnico de

- Lisboa, 2013.
- [15] K. R. Gunawardena, M. J. Wells, and T. Kershaw, "Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity.," *Sci. Total Environ.*, pp. 1040–1055, 2017.
- [16] N. M. M. R. Cristina S. C. Calheiros, Eva Barreira and and P. M. L. Castro, "Water masses surface temperatures assessment and their effect on surrounding environment," *Water Sci. Technol.*, 2017.
- [17] E. Barreira, R. M. S. F. Almeida, and J. M. P. Q. Delgado, "Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components," *Constr. Build. Mater.*, vol. 110, pp. 251–269, 2016.
- [18] M. T. Ferreira and A. G. Brito, "Águas interiores superficiais," in *Ecosistemas e Bem-Estar Humano - Avaliação para Portugal do Millenium Ecosystem Assessment*, Lisboa: Escolar Editora, 2009, pp. 341–380.
- [19] "Decreto-Lei n.o 236/98," 1998.
- [20] D. L. Tufford and H. N. Mckellar, "Spatial and temporal hydrodynamic and water quality modeling analysis of a large reservoir on the South Carolina (USA) coastal plain," vol. 114, pp. 137–173, 1999.
- [21] N. Donia and M. Bahgat, "Water quality management for Lake Mariout," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 527–541, 2016.
- [22] A. El-zeiny and S. El-kafrawy, "The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences Assessment of water pollution induced by human activities in Burullus Lake using Landsat 8 operational land imager and GIS q," *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, vol. 20, pp. S49–S56, 2017.
- [23] M. Houbraken, V. Habimana, D. Senaeve, E. López-dávila, and P. Spanoghe, "Science of the Total Environment Multi-residue determination and ecological risk assessment of pesticides in the lakes of Rwanda," *Sci. Total Environ.*, vol. 576, pp. 888–894, 2017.
- [24] J. C. López-doal et al., "Science of the Total Environment Nutrients , emerging pollutants and pesticides in a tropical urban reservoir : Spatial distributions and risk assessment," *Sci. Total Environ.*, vol. 575, pp. 1307–1324, 2017.
- [25] I. Delpla, A. Jung, E. Baures, M. Clement, and O. Thomas, "Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production," *Environ. Int.*, vol. 35, no. 8, pp. 1225–1233, 2009.
- [26] M. Lopes, "Avaliação da Qualidade da Água da Albufeira de Crestuma," Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2002.
- [27] A. Gomes, "Avaliação da Ecotoxicidade de Águas Superficiais - Aplicação à Bacia Hidrográfica do Rio Leça," Faculdade de Engenharia da Universidade do

- Porto, 2007.
- [28] A. Pereira, "Monotorização de Desreguladores Endócrinos em Águas," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2010.
- [29] A. Teixeira, "Monotorização de Pesticidas em Águas de Esposende," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2010.
- [30] P. and C. D.-M. Paíga, "Response surface methodology applied to SPE for the determination of ibuprofen in various types of water samples," *J. Sep. Sci.*, pp. 3220–3225, 2013.
- [31] D.-M. C. P, Paíga, Santos LH, Amorim CG, Araújo AN, Montenegro MC, Pena A, "Pilot monitoring study of ibuprofen in surface waters of north of Portugal," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, pp. 2410–2420, 2013.
- [32] P. Paíga, L. H. M. L. M. Santos, S. Ramos, S. Jorge, J. G. Silva, and C. Delerue-Matos, "Presence of pharmaceuticals in the Lis river (Portugal): Sources, fate and seasonal variation," *Sci. Total Environ.* 573, pp. 164–177, 2016.
- [33] M. C. B. S. M. M. Lúcia H.M.L.M. Santos, Paula Paíga, Alberto N. Araújo, Angelina Pena, Cristina Delerue-Matos, "Development of a simple analytical method for the simultaneous determination of paracetamol, paracetamol-glucuronide and p-aminophenol in river water," *J. Chromatogr.*, pp. 73–81, 2013.
- [34] R. Cymbron et al., "Monitorização da qualidade das águas interiores das Ilhas de Santa Maria e São Miguel da Região Autónoma dos Açores," *AQUAMAC - Técnicas y métodos para la gestión Sosten. del agua en Macaronesia*, no. April, pp. 295–334, 2005.
- [35] R. Ribeiro, J. Torres, V. Gomes, M. A. Carretero, N. Sillero, and G. A. Llorente, "Unsuspected richness near home: new herpetological records in Porto Metropolitan Area (NW Portugal)," *Boletín la Asoc. Herpetol. Esp.*, pp. 27–33, 2010.
- [36] D. F. F. Barbosa, "Estudo das Comunidades de Anfíbios da Cidade do Porto - Fatores condicionantes da distribuição e medidas de conservação," Faculdade de Ciências – Universidade do Porto, Porto, 2016.
- [37] F. C. Oliveira, "Compreender a ligação entre a biodiversidade e a qualidade da água em charcos urbanos-O Município do Porto como caso de estudo.," Faculdade de Ciências – Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [38] "Visit Porto." [Online]. Available: <http://www.visitporto.travel>. [Accessed: 12-Nov-2017].
- [39] S. Ribeiro, "Viaje comigo," Parque da Cidade do Porto, Portugal, 2015. [Online]. Available: <http://www.viajecomigo.com>. [Accessed: 12-Nov-2017].
- [40] C. M. do Porto, "Porto.," Jardins do Palácio de Cristal, 2014. [Online]. Available:

- <http://www.cm-porto.pt>. [Accessed: 12-Nov-2017].
- [41] I. Barreira, "Jardim das Virtudes: O encanto escondido da cidade do Porto," J. Porto Net, 2012.
- [42] Apha, Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater: Centennial Edition, 21st ed. United States, 2005.
- [43] HACH, DR/2000 Spectrophotometer instrument manual. U.S.A.
- [44] P. Paíga, A. Lolić, L. H. M. L. M. Santos, M. Correia, F. Hellebuyck, and C. Delerue-Matos, "Development of a SPE–UHPLC–MS/MS methodology for the determination of non-steroidal anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in seawater," J. Pharm. Biomed. Anal., vol. 106, p. Pages 61-70, 2015.
- [45] H. G. Jones, N. Archer, Rotenberg, and R. E. & Casa, "Radiation measurement for plant ecophysiology," J. Exp. Bot., vol. 54, pp. 879–889, 2003.
- [46] Omega, Transactions in Measurement&Control – Volume 1 – Non Contact Temperature Measurement. New York, NY, USA: Putnam Publishing Company and OMEGA Press LLC, 1998.
- [47] J. D. Rhoades, A. Kandiah, and A. M. Mashali, "The Use of Saline Waters for Crop Production –FAO Irrigation and Drainage Paper 48," Food Agric. Organ. United Nations, Rome, Italy, 1992.
- [48] "Instituto Nacional da Água (INAG)," Classificação dos cursos de água superficiais de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos. [Online]. Available: http://snirh.pt/snirh/_dadossintese/qualidadeanuario/boletim/tabela_classes.php. [Accessed: 11-Nov-2017].
- [49] R. L. Seiler, S. D. Zaugg, J. M. Thomas, and D. L. Howcroft, "Caffeine and pharmaceuticals as indicators of waste water contamination in wells," Ground Water, vol. 37, pp. 405–410, 1999.
- [50] K. H. Hebig, L. G. Groza, M. J. Sabourin, T. J. Scheytt, and C. J. Ptacek, "Transport behavior of the pharmaceutical compounds Carbamazepine, Sulfamethoxazole, Gemfibrozil, Ibuprofen, and Naproxen, and of the lifestyle drug Caffeine in saturated laboratory columns," Sci. Total Env., pp. 590-591-719, 2017.
- [51] K. A. Peeler, S. P. Opsahl, and J. P. Chanton, "Tracking Anthropogenic Inputs Using Caffeine, Indicator Bacteria, and Nutrients in Rural Freshwater and Urban Marine Systems," Environ. Sci. Technol, no. 7616–7622, 2006.
- [52] S. Weigel, U. Berger, E. Jensen, R. Kallenborn, and H. T. H. Hühnerfuss, "Determination of selected pharmaceuticals and caffeine in sewage and seawater from Tromsø/Norway with emphasis on ibuprofen and its metabolites,"

Chemosphere, pp. 583–592, 2004.

- [53] A. Nonomura, M. Kitahara, and T. Masuda, “Impact of land use and land cover changes on the ambient temperature in a middle scale city, Takamatsu, in Southwest Japan,” *J. Environ. Manage.*, pp. 3297–3304, 2009.
- [54] M. Razzaghmanesh, S. Beecham, and T. Salemi, “The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia,” *Urban For. Urban Green.*, vol. 15, pp. 89–102, 2016.
- [55] J. Xiong, Z. Lian, X. Zhou, J. You, and Y. Lin, “Effects of temperature steps on human health and thermal comfort,” *Build. Environ.*, vol. 94, pp. 144–154, 2015.

Anexos

Anexo A. Classificação dos cursos de água superficiais

Tabela A.1 Classificação por parâmetro dos cursos de águas superficiais de acordo com as suas características de qualidade para usos múltiplos [48]

PARÂMETRO:	UNIDADES:	MÉTODO DE CÁLCULO		A		B		C		D		E
				Excelente		Boa		Razoável		Má		Muito má
		PERCENTIL	FREQUÊNCIA	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	-
Arsénio	mg/l As	85	3	-	0.01	-	0.05	-	-	-	0.1	>0.1
Azoto Kjeldahl	mg/l N	85	4	-	0.5	-	1	-	2	-	3	>3
Azoto amoniacal	mg/l NH4	85	8	-	0.5	-	1.5	-	2.5	-	4	>4
Carência bioquímica de oxigénio	mg/l O2	85	8	-	3	-	5	-	8	-	20	>20
Carência química de oxigénio	mg/l O2	85	8	-	10	-	20	-	40	-	80	>80
Chumbo	mg/l Pb	85	3	-	0.05	-	-	-	0.1	-	0.1	>0.1
Cianetos	mg/l CN	85	3	-	0.05	-	-	-	0.08	-	0.08	>0.08
Cobre	mg/l Cu	85	3	-	0.05	-	0.2	-	0.5	-	1	>1
Coliformes fecais	/100 ml	85	8	-	20	-	2000	-	20000	-	>20000	
Coliformes totais	/100 ml	85	8	-	50	-	5000	-	50000	-	>50000	
Condutividade	µS/cm, 20°C	85	8	-	750	-	1000	-	1500	-	3000	>3000
Crómio	mg/l Cr	85	3	-	0.05	-	-	-	0.08	-	0.08	>0.08
Cádmio	mg/l Cd	85	3	-	0.001	-	0.005	-	0.005	-	>0.005	
Estreptococos fecais	/100 ml	85	4	-	20	-	2000	-	20000	-	>20000	
Fenóis	mg/l C6H5OH	85	4	-	0.001	-	0.005	-	0.01	-	0.1	>0.1
Ferro	mg/l Fe	85	3	-	0.5	-	1	-	1.5	-	2	>2
Fosfatos P2O5	mg/l P2O5	85	8	-	0.4	-	0.54	-	0.94	-	1	>1
Fósforo P	mg/l P	85	8	-	0.2	-	0.25	-	0.4	-	0.5	>0.5
Manganês	mg/l Mn	85	3	-	0.1	-	0.25	-	0.5	-	1	>1
Mercúrio	mg/l Hg	85	3	-	0.0005	-	-	-	0.001	-	0.001	>0.001
Nitratos	mg/l NO3	85	8	-	5	-	25	-	50	-	80	>80
Oxidabilidade	mg/l	85	8	-	3	-	5	-	10	-	25	>25
Oxigénio dissolvido (sat)	% saturação de O2	85	8	90	-	70	-	50	-	30	-	<30
Selénio	mg/l Se	85	3	-	0.01	-	-	-	0.05	-	0.05	>0.05
Substâncias tensoactivas	mg/l, sulfato de lauril e sódio	85	4	-	0.2	-	-	-	0.5	-	0.5	>0.5
Sólidos suspensos totais	mg/l	75	8	-	25	-	30	-	40	-	80	>80
Zinco	mg/l Zn	85	3	-	0.3	-	1	-	3	-	5	>5
pH	Escala Sorensen	85	8	6.5	8.5	5.5	9	5	10	4.5	11	>11

- O pH, sendo um parâmetro muito dependente de características geomorfológicas, pode apresentar valores fora deste intervalo, sem contudo significar alterações de qualidade devidas à poluição.
- Alteração de frequência ao Azoto Kjeldahl desde 2006.
- Nas classificações referentes ao Norte em 2007 não foi respeitada a frequência mínima de amostragem.