

**Relatório de estágio no
SEA LIFE Porto
Avaliação da qualidade
da água**

Diogo Oliveira Cândido



**Relatório de estágio no SEA LIFE
Porto – Avaliação da qualidade da
água.**

Diogo Oliveira Cândido



Diogo Oliveira Cândido

Relatório de estágio no SEA LIFE Porto – Avaliação da qualidade da água

Estágio de Candidatura ao grau de Mestre em Ciências do Mar – Recursos Marinhos, especialização em Aquacultura e Pescas, submetida ao Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto.

Orientador – Professor Doutor Paulo Vaz-Pires

Categoria – Professor Catedrático

Afiliação – Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto (ICBAS) / Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR)

Coorientador – Doutora Ana Ferreira

Categoria – Curadora

Afiliação – SEA LIFE Porto

Declaração de honra

Declaro que o presente relatório é da minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, encontrando-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e autoplágio constitui um ilícito académico.



(Diogo Oliveira Cândido)

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Doutor Paulo Vaz-Pires, pela sua disponibilidade e por ter marcado o meu percurso académico no ICBAS. Desejo que possa marcar o percurso académico de muitos outros alunos por muitos anos, assim como fez comigo.

Gostaria também de agradecer à minha orientadora, Doutora Ana Ferreira, por todo o apoio durante a escrita do trabalho, mesmo nas alturas em que o trabalho “aperta” e ainda por ter disponibilizado todos os dados para a realização deste trabalho. Parabéns, Ana, por seres uma excelente líder da equipa de biologia do SEA LIFE Porto.

Por fim, gostaria de agradecer à minha namorada, Inês, pelo apoio durante o meu percurso académico e por nunca me deixar desistir. Gostava ainda de agradecer ao meu pai, mãe e irmãs pelo apoio e paciência durante todo o meu percurso de estudos. Aos meus tios, primos e amigos um obrigado, por toda a orientação. E um especial obrigado aos meus tios Fátima e Vítor por me terem mostrado, desde novo, o mundo espetacular que existe nos oceanos.

Muito obrigado.



O meu primeiro mergulho
(à direita) com o meu tio
Vítor (à esquerda) na
Serra da Arrábida,
Setúbal, 2004.

“O mar é um convite para descobrir o desconhecido”

Resumo

A qualidade da água desempenha um papel crucial na saúde e no bem-estar dos animais aquáticos, influenciando diretamente o seu crescimento, reprodução e sobrevivência. Este estudo analisou os três principais sistemas de água do SEA LIFE Porto (marinho ambiente, água doce e marinho tropical) ao longo de dezoito meses, visando avaliar a qualidade da água. Os parâmetros avaliados incluíram o oxigénio dissolvido, compostos azotados (amoníaco, nitritos e nitratos), pH, temperatura, salinidade e frequência/volume das trocas de água.

Os resultados destacaram o sistema marinho tropical por apresentar um maior número de parâmetros cujas médias se encontravam fora dos limites recomendados (nomeadamente para os nitratos e a salinidade), ao contrário dos sistemas marinho ambiente e de água doce, que mostraram as médias de todos os parâmetros dentro dos valores estipulados.

Para além disso, os compostos azotados, particularmente os nitratos, foram os mais preocupantes em todos os sistemas estudados, sugerindo necessidade em melhorar a circulação da água e otimizar os sistemas de filtração.

O estudo identificou ainda correlações entre os diferentes parâmetros, como as correlações positivas entre os nitratos/nitritos, oxigénio dissolvido (OD)/trocas de água, pH/nitratos, pH/nitritos, pH/trocas de água, amoníaco/nitritos, salinidade/nitratos, salinidade/nitritos, temperatura/nitratos, temperatura/salinidade. Correlações negativas foram também encontradas entre nitratos/trocas de água, nitritos/trocas de água, amoníaco/trocas de água, OD/nitratos, OD/nitritos, salinidade/pH, salinidade/trocas de água; temperatura/OD, temperatura/pH, temperatura/trocas de água.

Apesar da extrema importância da qualidade da água para qualquer sistema aquático, estudos sobre este tema são escassos. Em resumo, a monitorização e o controlo da qualidade da água representam um enorme desafio na gestão e manutenção dos aquário-museus.

Abstract

Water quality plays a crucial role in the health and well-being of aquatic animals, directly influencing their growth, reproduction, and survival. This study analysed the three main water systems at SEA LIFE Porto (marine, freshwater, and tropical marine) over eighteen months to assess water quality. The parameters evaluated included dissolved oxygen, nitrogen compounds (ammonia, nitrites, and nitrates), pH, temperature, salinity, and frequency/volume of water exchanges.

Results highlighted the tropical marine system for having a higher number of parameters with averages outside recommended limits (especially nitrates and salinity), unlike the marine ambient and freshwater systems, which maintained all parameters within specified values.

Additionally, nitrogen compounds, particularly nitrates, posed the greatest concerns across all studied systems, suggesting a need to improve water circulation and optimize filtration systems.

The study also identified correlations between different parameters, such as positive correlations between nitrates/nitrites, dissolved oxygen (DO)/water exchanges, pH/nitrates, pH/nitrites, pH/water exchanges, ammonia/nitrites, salinity/nitrates, salinity/nitrites, temperature/nitrates, and temperature/salinity. Negative correlations were also found between nitrates/water exchanges, nitrites/water exchanges, ammonia/water exchanges, DO/nitrates, DO/nitrites, salinity/pH, salinity/water exchanges, temperature/DO, temperature/pH, and temperature/water exchanges.

Despite the critical importance of water quality in aquariums, studies on this topic are scarce. In summary, monitoring and controlling water quality pose significant challenges in the management and maintenance of aquariums.

Índice

Índice de figuras	x
Índice de tabelas	xii
Abreviaturas.....	xiii
1. Introdução	1
2. Materiais e métodos	10
Breve descrição dos sistemas do SEA LIFE Porto	10
Sistema marinho ambiente.....	11
Sistema de água doce.....	13
Sistema marinho tropical.....	15
Métodos para a determinação dos parâmetros da água.....	17
Determinação do oxigénio dissolvido	17
Métodos para a determinação dos compostos azotados	18
Determinação do pH	19
Determinação da temperatura e da salinidade.....	19
Determinação das trocas de água	20
Análise estatística	20
3. Resultados	21
4. Discussão.....	39
5. Conclusão	45
6. Referências bibliográficas	46
7. Anexos.....	53
Anexo I: Relação entre % OD, temperatura e salinidade.....	53
Anexo II: Correlação de <i>Spearman</i>	54

Índice de figuras

Figura 1 Esquemas ilustrativos dos componentes presentes em cada sistema analisado (a, sistema marinho tropical; b, sistema de água doce; c, sistema marinho ambiente).	10
Figura 2. Tanques 7 ao 13 do sistema marinho ambiente.	12
Figura 3. Tanques 2, 3 e 4 do sistema de água doce.	14
Figura 4. Tanques 17, 18, 21, 24 e 30 do sistema marinho tropical.	16
Figura 5. Equipamento multiparâmetro (e respetiva sonda) utilizado para a medição de oxigénio dissolvido.	17
Figura 6. Equipamentos utilizados para a determinação dos compostos azotados.	18
Figura 7. Sonda utilizada para a determinação de pH.	19
Figura 8. Sonda utilizada para a determinação de temperatura e de salinidade.	19
Figura 9. Evolução do oxigénio dissolvido ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro  e amarela  representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	22
Figura 10. Evolução do amoníaco ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).	23
Figura 11. Evolução dos nitritos ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).	23
Figura 12. Evolução dos nitratos ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).	24
Figura 13. Evolução do pH ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro	24
Figura 14. Evolução da temperatura ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro  e amarela  representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	25
Figura 15. Evolução da salinidade ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro  e amarela  representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	25

Figura 16. Frequência (e respectivos volumes) de trocas de água ao longo do tempo no sistema marinho ambiente.....	26
Figura 17. Evolução do oxigénio dissolvido ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	27
Figura 18. Evolução do amoníaco ao longo do tempo no sistema de água doce (a linha laranja-escuro.....	28
Figura 19. Evolução dos nitritos ao longo do tempo no sistema de água doce (a linha laranja-escuro (■) representa o limite máximo recomendado).....	28
Figura 20. Evolução dos nitratos ao longo do tempo no sistema de água doce (a linha laranja-escuro (■) representa o limite máximo recomendado).....	29
Figura 21. Evolução do pH ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	29
Figura 22. Evolução da temperatura ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	30
Figura 23. Evolução da salinidade ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	30
Figura 24. Execução (e respectivos volumes) de trocas de água ao longo do tempo no sistema de água doce.....	31
Figura 25. Evolução do oxigénio dissolvido ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	33
Figura 26. Evolução do amoníaco ao longo do tempo no sistema marinho tropical (a linha laranja-escuro (■) representa o limite máximo recomendado).	33
Figura 27. Evolução dos nitritos ao longo do tempo no sistema marinho tropical (a linha laranja-escuro (■) representa o limite máximo recomendado).....	34
Figura 28. Evolução dos nitratos ao longo do tempo no sistema marinho tropical (a linha laranja-escuro (■) representa o limite máximo recomendado).....	34

Figura 29. Evolução do pH ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).....	35
Figura 30. Evolução da temperatura ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	35
Figura 31. Evolução da salinidade ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro (■) e amarela (■) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).	36
Figura 32. Execução (e respetivos volumes) de trocas de água ao longo do tempo no sistema marinho tropical.	36
Figura 33. Relação entre % OD consoante a temperatura e salinidade presente no tanque (Fondriest Environmental, 2013).	53

Índice de tabelas

Tabela 1. Resumo dos principais parâmetros físico-químicos que avaliam a qualidade da água com os respetivos valores recomendados e exemplos de medidas corretivas.2	
Tabela 2. Caracterização dos aquários incluídos no sistema marinho ambiente.	11
Tabela 3. Caracterização dos aquários incluídos no sistema de água doce.	13
Tabela 4 Caracterização dos aquários incluídos no sistema marinho tropical.	15
Tabela 5. Caracterização do espaço amostral do sistema marinho ambiente.....	21
Tabela 6. Caracterização do espaço amostral do sistema de água doce.	26
Tabela 7. Caracterização do espaço amostral do sistema marinho tropical.....	31
Tabela 8. Resultados da correlação de Spearman entre todos os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, salinidade, pH, OD, amoníaco, nitritos e nitratos) e o parâmetro troca de água.....	38
Tabela 9. Sugestões de melhoria por sistema e respetivos objetivos.	41
Tabela 10. Correlação de Spearman entre os parâmetros avaliados (temperatura, salinidade, pH, OD, amoníaco, nitritos, nitratos e troca de água).....	54

Abreviaturas

CO₂: dióxido de carbono

L: litros

mg/L: miligrama por litro

n: número de amostras

NH₃: amoníaco

NH₄⁺: ião amónio

NO₂⁻: nitrito

NO₃⁻: nitrato

O₂: oxigénio

OD: oxigénio dissolvido

ppm: partes por milhão

psu: *practical salinity units*

1. Introdução

A água é um elemento vital para a vida aquática, influenciando a biologia e fisiologia de todas as espécies aquáticas, como os peixes, os corais, as tartarugas e os anfíbios, contribuindo significativamente para o desenvolvimento e bem-estar dessas espécies (Wanja *et al.*, 2020). Consequentemente, a qualidade da água é um fator crítico para a manutenção da saúde e biodiversidade aquática (Olsen *et al.*, 2018).

Os animais aquáticos em cativeiro enfrentam desafios adicionais devido aos volumes de água significativamente menores em que habitam em comparação com seus semelhantes selvagens (Diggles *et al.*, 2011). Desta forma, a qualidade da água pode variar ao longo do dia, sendo influenciada pelo metabolismo dos animais aquáticos, os seus regimes alimentares e as características específicas do ambiente em que vivem (Marinou *et al.*, 2020). Embora apresentem alguma tolerância em relação à qualidade da água, estas variações podem afetar diretamente a saúde e o comportamento desses animais (Marinou *et al.*, 2020). Em condições adversas intensas ou prolongadas, os animais aquáticos podem não ser capazes de manter a homeostase, podendo resultar em *stress* crônico que prejudica a função imunológica, o crescimento, a função reprodutiva e, consequentemente, a sua resistência ao desenvolvimento de patologia (Marinou *et al.*, 2020; Wanja *et al.*, 2020).

A qualidade da água é determinada por um conjunto de parâmetros físicos, químicos e biológicos que influenciam diretamente o ambiente a que os animais aquáticos estão expostos (Ritchie & Schiebe, 2000). Entre os parâmetros físico-químicos mais importantes a monitorizar destacam-se o oxigénio dissolvido, os compostos azotados, o dióxido de carbono, o pH, a temperatura e a salinidade (Tabela 1) (Lawrence *et al.*, 2017; Marinou *et al.*, 2020).

Tabela 1. Resumo dos principais parâmetros físico-químicos que avaliam a qualidade da água com os respectivos valores recomendados e exemplos de medidas corretivas.

Parâmetro	Valores recomendados	Exemplos de medidas corretivas
Oxigênio dissolvido (O ₂)	6 mg/L (Welker <i>et al.</i> , 2013) 4 mg/L para peixes de águas quentes (Lawrence <i>et al.</i> , 2017) 3 mg/L para peixes de águas quentes (Buttner <i>et al.</i> , 1993) 5 mg/L para peixes de águas frias (Buttner <i>et al.</i> , 1993)	Arejamento contínuo através de bomba de ar (Buttner <i>et al.</i> , 1993; Datta, 2014)
Amoníaco (NH ₃)	<0,02 mg/L (Buttner <i>et al.</i> , 1993; Lawrence <i>et al.</i> , 2017) <0,01 mg/L (dos Santos Silva <i>et al.</i> , 2018)	Remoção da matéria orgânica (Datta, 2014) Aumento da frequência de substituição de água (Ciji & Akhtar, 2020; Lawrence <i>et al.</i> , 2017) Colocação de plantas fixadoras de azoto (Ciji & Akhtar, 2020; Lawrence <i>et al.</i> , 2017) Substituição de 25 a 50 % da água (Forouhar Vajargah & Mohamadi Yalsuyi, 2022) Diminuição do pH abaixo de 7 (Forouhar Vajargah & Mohamadi Yalsuyi, 2022) Diminuição ou interrupção da alimentação (Forouhar Vajargah & Mohamadi Yalsuyi, 2022)
Nitritos (NO ₂ ⁻)	<0,5 mg/L (Buttner <i>et al.</i> , 1993) <10 mg/L (Paul <i>et al.</i> , 2020)	Adição de cloreto de sódio (Ciji & Akhtar, 2020) Implementação de filtros biológicos eficientes (Ciji & Akhtar, 2020) Alimentação com rações suplementadas com antioxidantes (Ciji & Akhtar, 2020)
Nitratos (NO ₃ ⁻)	< 1 ppm (dos Santos Silva <i>et al.</i> , 2018) 10 a 150 ppm (Aquamonitrix, 2021)	Aumento da frequência de substituição de água (Aquamonitrix, 2021) Colocação de plantas fixadoras de azoto (Aquamonitrix, 2021)

< 25 mg/L (Papadopoulos <i>et al.</i> , 2024)		
Dióxido de carbono (CO ₂)	20 mg/L (Lawrence <i>et al.</i> , 2017)	Aumento da frequência de substituição de água (Höglund <i>et al.</i> , 2023) Diminuição da densidade populacional (Höglund <i>et al.</i> , 2023) Aumento do arejamento ou oxigenação (Buttner <i>et al.</i> , 1993) Tamponamento da água (Buttner <i>et al.</i> , 1993)
pH ([H ⁺])	6 a 9 (Tucker & D'abramo, 2008) 7 a 9 (Buttner <i>et al.</i> , 1993)	pH elevado: adição de um ácido, sulfato de alumínio ou dióxido de carbono (Tucker & D'abramo, 2008; Zweig <i>et al.</i> , 1999) Redução da quantidade de plantas e de algas (Tucker & D'abramo, 2008; Zweig <i>et al.</i> , 1999) pH baixo: adição de bicarbonato de sódio (Buttner <i>et al.</i> , 1993)
Temperatura	Águas tropicais: 29-30°C (Zweig <i>et al.</i> , 1999)	Colocação de um segundo termóstato (de reserva) em série (Datta, 2014)
	Águas quentes: 20-28°C (Zweig <i>et al.</i> , 1999)	
	Águas temperadas: 15-20°C (Zweig <i>et al.</i> , 1999)	
	Águas frias: <15°C (Zweig <i>et al.</i> , 1999)	
Salinidade	5 a 18 psu (Bøeuf & Payan, 2001) 10 a 30 psu (Noor <i>et al.</i> , 2018)	Salinidade baixa: adição de cloreto de sódio (Zweig <i>et al.</i> , 1999) Salinidade alta: adição de água doce (Boyd, 2019)

OXIGÉNIO DISSOLVIDO (OD)

O oxigénio (O₂) dissolvido apresenta-se como um parâmetro crítico, uma vez que é fundamental para a respiração dos animais aquáticos (Zhu *et al.*, 2021). A concentração necessária de O₂ depende principalmente do tamanho dos animais, mas também é afetada pela taxa de alimentação, pela espécie e pelo nível de atividade (Lawrence *et al.*, 2017). Além disso, a sua concentração varia inversamente com o aumento da temperatura e da salinidade (Lawrence *et al.*, 2017).

Para garantir um crescimento saudável, é comumente recomendada uma concentração de aproximadamente 6 mg de O₂ por litro (6 mg O₂/L $\approx$ 6 partes por milhão - ppm) a 25°C (Welker *et al.*, 2013). No entanto, este valor pode variar entre 3 a 6 mg O₂/L (Tabela 1) (Buttner *et al.*, 1993; Lawrence *et al.*, 2017).

De uma forma geral, concentrações abaixo de 4 mg/L podem levar à hipóxia dos animais, manifestando-se através da redução da ingestão de alimentos, do crescimento e da taxa metabólica em peixes adultos e podem causar mortalidade na maioria dos embriões de invertebrados (Welker *et al.*, 2013). Embora algumas espécies de peixes menos ativas consigam tolerar hipóxia severa (0,5 mg O₂/L), espécies mais ativas podem apresentar sinais clínicos em hipóxia moderada (4,5 mg O₂/L) (Welker *et al.*, 2013).

COMPOSTOS AZOTADOS

Os compostos azotados, como o amoníaco, os nitratos e os nitritos, desempenham também um papel crucial nos ecossistemas aquáticos.

O amoníaco é resultante do metabolismo proteico dos animais aquáticos e da decomposição da ração ou de outra matéria orgânica (Ip, 2010; Lawrence *et al.*, 2017). Nos ecossistemas aquáticos existe naturalmente duas formas que se encontram em equilíbrio: o amoníaco (NH₃) e o ião amónio (NH₄⁺), de acordo com a reação química $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$ (Ip, 2010; Lawrence *et al.*, 2017). Dada a reduzida permeabilidade das membranas celulares ao ião amónio, é predominante o amoníaco que consegue atravessá-las, sendo altamente tóxico (Ip, 2010). A proporção de amoníaco aumenta relativamente ao ião amónio quando o pH e a temperatura aumentam e diminui quando a salinidade aumenta (Lawrence *et al.*, 2017). Mesmo em concentrações muito reduzidas (0,02 mg NH₃/L), o amoníaco pode ser tóxico, tornando-se um parâmetro crítico para animais mantidos em cativeiro, ao contrário do que ocorre no estado selvagem (onde a diluição do amoníaco ocorre naturalmente, resultando em valores não tóxicos) (Datta, 2014; Lawrence *et al.*, 2017).

Nos sistemas com recirculação, o amoníaco é degradado pelas bactérias nitrificantes, que o oxidam em nitritos, também tóxicos em concentrações acima de 1 ppm, causando a formação de metahemoglobina e comprometendo a capacidade de transporte de O₂ (dos Santos Silva *et al.*, 2018).

Em contraste, os nitratos, produtos finais do processo de oxidação ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$) são formados pela conversão endógena dos nitratos e são relativamente menos tóxicos para os animais aquáticos, tolerando até 1000 mg/L (Lawrence *et al.*, 2017).

Os sinais clínicos mais frequentes de intoxicação por compostos azotados incluem inflamação das brânquias, letargia, perda de apetite e comportamentos anormais, incluindo respiração à superfície e permanência no fundo do tanque (Ciji & Akhtar, 2020; Forouhar Vajargah & Mohamadi Yalsuyi, 2022).

DIÓXIDO DE CARBONO

No caso do dióxido de carbono (CO₂), este é um gás produzido principalmente pela respiração dos animais aquáticos e pela decomposição da matéria orgânica (Lawrence *et al.*, 2017).

Por ser uma molécula gasosa pequena e neutra, o dióxido de carbono atravessa rapidamente as membranas celulares e acidifica os fluidos corporais ao ser convertido rapidamente em ácido carbônico (Ishimatsu *et al.*, 2005). Nos sistemas aquáticos, este encontra-se em equilíbrio com os iões de bicarbonato (não tóxicos), estando a sua concentração dependente do pH [$\text{CO}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$], temperatura e salinidade da água (Lawrence *et al.*, 2017).

Tal como os compostos azotados, a presença de dióxido de carbono deve ser controlada em sistemas fechados, com uma concentração recomendada abaixo de 20 mg/L (Lawrence *et al.*, 2017). A acumulação de dióxido de carbono pode ocorrer devido à insuficiente substituição de água, resultando em hipercapnia (isto é, num aumento da pressão parcial de CO₂ no sangue arterial), o que afeta a troca de gases no sangue dos animais (Höglund *et al.*, 2023).

pH

O pH é determinado pela concentração de iões de hidrogénio (H⁺) presente na água, sendo recomendados valores entre 6 e 9 para sistemas aquáticos artificiais (Tucker & D'abramo, 2008).

A diminuição do pH (acidificação) dos ecossistemas aquáticos naturais pode ocorrer devido a diversas causas, como a ocorrência de chuvas ácidas, o aumento da absorção de CO₂ (derivado das alterações climáticas) e a decomposição da matéria

orgânica (Kleinhappel *et al.*, 2019). Esta última causa, juntamente com a respiração dos animais, é a mais comum para a diminuição do pH em sistemas aquáticos artificiais (Buttner *et al.*, 1993).

A acidificação afeta a capacidade quimiossensorial dos animais aquáticos, influenciando a seleção de parceiros, o reconhecimento de parentesco, o comportamento de dominância, a alimentação e detecção de predadores e de presas, o que pode ter um impacto direto na sua sobrevivência e desempenho dos animais (Kleinhappel *et al.*, 2019). Adicionalmente, valores de pH inferiores a 6,5 podem ser altamente tóxicos, afetando o crescimento das espécies e podendo levar ao colapso do sistema circulatório, particularmente nas fases iniciais de desenvolvimento, onde a sensibilidade à descida do pH é maior devido à ausência de mecanismos de regulação ácido-base (dos Santos *et al.*, 2020; Zweig *et al.*, 1999). Verifica-se ainda a morte dos animais em ambientes com pH extremos (inferior a 4 ou superior a 11) (dos Santos *et al.*, 2020; Zweig *et al.*, 1999). Além disso, acidificação da água também afeta o ciclo do azoto, diminuindo a capacidade de desnitrificação das bactérias nitrificantes como a *Nitrosomonas* spp. e *Nitrobacter* spp. (Paul *et al.*, 2020).

TEMPERATURA

Quanto à temperatura, esta é considerada o principal fator ecológico abiótico, especialmente devido ao facto da maioria dos animais aquáticos, incluindo a maioria dos peixes, anfíbios, répteis e invertebrados, serem ectotérmicos (Volkoff & Rønnestad, 2020). Estes animais dependem da temperatura ambiente para regular a sua temperatura corporal, o que, por sua vez, regula a taxa metabólica e o ritmo de diversos processos fisiológicos.

Assim, a temperatura da água influencia diretamente os animais, alterando a taxa respiratória, a alimentação, o metabolismo, o crescimento, o comportamento e a reprodução, mas também afeta a qualidade da água, influenciando a solubilidade do oxigénio dissolvido e, por consequência, a taxa de oxidação da matéria orgânica na água (Volkoff & Rønnestad, 2020; Zweig *et al.*, 1999). Por exemplo, o aumento da temperatura pode provocar *stress* nos animais, uma vez que aumenta a taxa respiratória, a taxa metabólica e, ao mesmo tempo, diminui a concentração de oxigénio dissolvido na água (Volkoff & Rønnestad, 2020).

SALINIDADE

A salinidade da água, determinada pela concentração total de iões dissolvidos, desempenha um papel crucial na fisiologia dos animais aquáticos (Lawrence *et al.*,

2017). Os iões predominantes na regulação da salinidade da água do mar são o cloreto e o sódio, conferindo-lhe uma salinidade padrão de 35 *practical salinity unit* (psu) (19 g de Cl^-/L , 10.5 g de Na^+/L) (Bœuf & Payan, 2001). Em contrapartida, em água doce, os iões mais abundantes são o carbonato e o bicarbonato (HCO_3^-) (Bœuf & Payan, 2001). Para manter o equilíbrio osmótico, os peixes marinhos ingerem grandes quantidades de água e excretam ativamente o excesso de sais através das brânquias e do tegumento, produzindo, conseqüentemente, quantidades muito reduzidas de urina, de modo a conservar a água, pois perdem a água naturalmente por osmose (Lawrence *et al.*, 2017). No caso dos peixes de água doce, para manter o equilíbrio osmótico, estes animais raramente bebem água, pois absorvem-na por osmose. Por isso, necessitam de absorver sais ativamente, requerendo um gasto energético. Por estas razões, os peixes de água doce produzem uma elevada quantidade de urina e bastante diluída (Lawrence *et al.*, 2017). Este processo de osmorregulação implica um custo energético significativo, variando de acordo com o nível de salinidade do meio e tendo impacto negativo no crescimento, reprodução e bem-estar dos animais aquáticos (Bœuf & Payan, 2001; Lawrence *et al.*, 2017). Estudos indicam que peixes marinhos tendem a apresentar taxas de desenvolvimento ou crescimento mais altas em salinidades mais baixas, enquanto os peixes de água doce em salinidades mais altas (Bœuf & Payan, 2001). Além disso, sugerem ainda que muitas espécies frequentemente, quando jovens, optam por condições de salinidade intermédia (8–16 psu) e crescem de forma ótima em estuários e sistemas costeiros (Bœuf & Payan, 2001).

Assim, torna-se imperativo a monitorização dos parâmetros físico-químicos da água e a manutenção destes em níveis adequados para cada espécie, assegurando um ambiente aquático saudável e promovendo o bem-estar dos animais em cativeiro (Sun *et al.*, 2022). As medidas mais frequentemente implementadas encontram-se descritas na Tabela 1. Destaca-se a importância das limpezas regulares para a remoção do excesso da matéria orgânica, bem como as substituições (trocas) de água, as quais são mencionadas com maior frequência pelos diversos autores e influenciam a maioria dos parâmetros da qualidade da água.

Não obstante, os ecossistemas de água doce e salgada estão a enfrentar atualmente uma redução drástica (Buonocore *et al.*, 2021; da Silva *et al.*, 2019). Por exemplo, os ecossistemas de água doce cobrem atualmente menos de 1 % da superfície terrestre e cerca de 60 % dos de água salgada foram degradados ou usados de forma insustentável (Buonocore *et al.*, 2021; da Silva *et al.*, 2019). Estes habitats

desempenham papéis cruciais na preservação da biodiversidade, oferecendo não só habitats, mas também apresentando um potencial significativo para a captura de carbono (Buonocore *et al.*, 2021; da Silva *et al.*, 2019). A sua degradação é impulsionada por diversos fatores, incluindo a introdução de espécies exóticas, eutrofização, sobrepesca, poluição e alterações climáticas (Buonocore *et al.*, 2021; da Silva *et al.*, 2019).

Em paralelo, a população humana tem crescido exponencialmente, tendo atingido 7,8 mil milhões em 2020 (Gu *et al.*, 2021). Este crescimento populacional contribuiu para a perda de cerca de 30 % das florestas, 20 % do solo superficial e 20 % das terras agrícolas nos últimos 50 anos, ameaçando a sobrevivência de metade a dois terços de todas as espécies nas próximas quatro gerações (Grow *et al.*, 2024).

À medida que a biodiversidade selvagem diminui, instituições, como os zoológicos e aquários-museu, são chamados a atuar como santuários e a envolver os visitantes na reversão destas tendências globais (Grow *et al.*, 2024). Estes têm emergido como agentes cruciais na conservação da biodiversidade, na promoção de bem-estar animal, sensibilização social e educação ambiental, conectando o Homem com o ambiente e incentivando a sociedade a adotar comportamentos ambientalmente mais responsáveis (Chogale *et al.*, 2020; Grow *et al.*, 2024).

A empresa *Merlin Entertainments Limited* possui cerca de 52 aquários-museu, dedicando-se ao cuidado de mais de 160 000 animais e de mais de 4 000 espécies (Merlin Entertainments, 2024). O SEA LIFE Porto é um dos centros desta empresa e, à semelhança dos outros aquários-museu, possui um cariz de entretenimento, sensibilização, bem-estar animal e conservação das espécies aquáticas (SEA LIFE, 2023). Além disso, o SEA LIFE Porto está empenhado na conservação dos oceanos e dos habitats autóctones, mantendo espécies naturais de diferentes regiões de Portugal em cativeiro e desenvolvendo estudos de conservação.

Esta empresa é constituída por vários departamentos (operações, *marketing* e biologia) que trabalham em conjunto e em constante melhoria. O departamento de biologia, local onde foi realizado o estágio, é responsável pela monitorização da saúde e bem-estar de mais de 3 000 animais aquáticos, incluindo a pesagem regular, a observação comportamental e a alimentação dirigida e cuidada. É também responsável pela limpeza e manutenção dos aquários, bem como pela monitorização dos parâmetros da água, assegurando um ambiente apropriado para as diferentes espécies que ali habitam.

Este trabalho visa a avaliar a qualidade da água ao nível do oxigénio dissolvido, compostos azotados (amoníaco, nitritos e nitratos), pH, temperatura e salinidade nos tanques do SEA LIFE Porto, sendo crucial para assegurar a saúde dos animais, bem como para promover a sensibilização do público sobre a importância da conservação marinha.

Em suma, os aquários públicos desempenham um papel multifacetado e crucial para a sociedade, incentivando o respeito pela vida marinha e pela procura de soluções sustentáveis para um futuro melhor do planeta.

2. Materiais e métodos

Breve descrição dos sistemas do SEA LIFE Porto

O SEA LIFE Porto é constituído por três sistemas principais: o sistema marinho ambiente, o sistema de água doce e o sistema marinho tropical, sendo estes a base de estudo deste trabalho (Figura 1). Para além destes, existem cinco sistemas isolados mais pequenos, cada um com equipamentos de filtração independentes e necessidades particulares, não tendo sido selecionados para este trabalho.

Este aquário-museu funciona em sistema fechado, utilizando a água de rede de abastecimento público para o sistema de água doce e produzindo a sua própria água salgada para os sistemas marinho ambiente e marinho tropical.

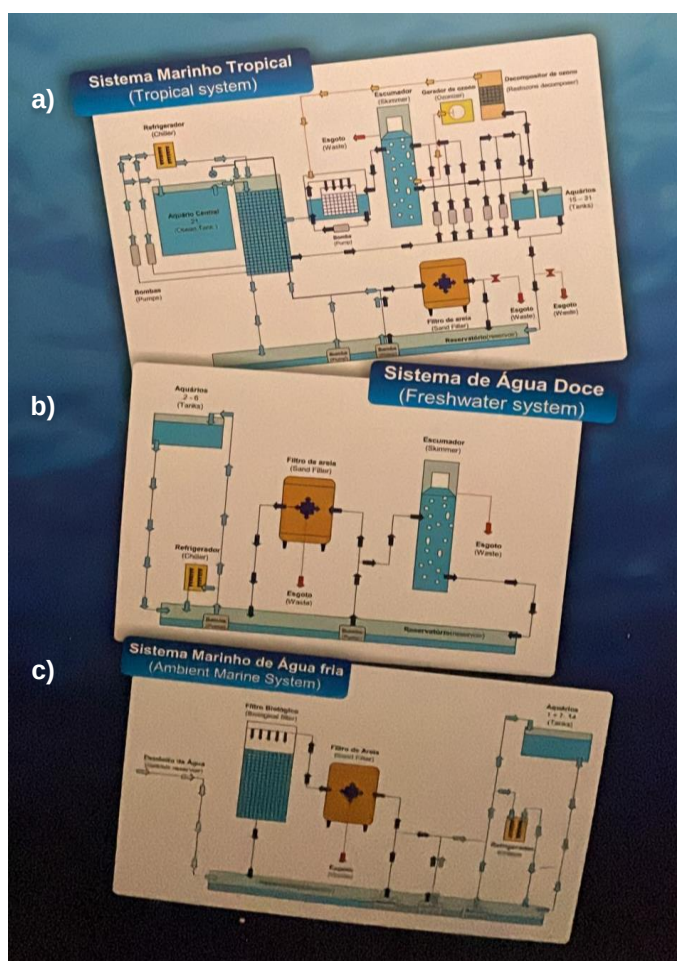


Figura 1 Esquemas ilustrativos dos componentes presentes em cada sistema analisado (a, sistema marinho tropical; b, sistema de água doce; c, sistema marinho ambiente).

Sistema marinho ambiente

O sistema marinho ambiente é um sistema de recirculação aquático (RAS) sendo composto por 9 aquários (Tabela 2, Figura 2), com um volume total de aproximadamente 22 000 litros. Este sistema é caracterizado por albergar espécies típicas das zonas de água salgada fria, representando as espécies que podem ser encontradas no mar em Portugal. Os valores recomendados pela empresa para este sistema são: a temperatura a 17 °C, a salinidade a 27 ppm, o pH de 8, o amoníaco inferior a 0,05 mg/L, os nitritos inferiores a 0,10 mg/L e os nitratos inferiores a 50 mg/L.

Tabela 2. Caracterização dos aquários incluídos no sistema marinho ambiente.

Aquário	Volume (L)
1	2200
7	2800
8	2300
9	1925
10	10 000
11	500
12	750
13	500
14	1000



Figura 2. Tanques 7 ao 13 do sistema marinho ambiente.

Sistema de água doce

O sistema de água doce é um sistema RAS e é constituído por 4 tanques (Tabela 3, Figura 3), com um volume total de 30 800 litros. Este sistema caracteriza-se por hospedar espécies características das zonas de água doce fria, contendo espécies que podem ser encontradas nos rios de Portugal. Os valores recomendados pela empresa para este sistema são: a temperatura a 17 °C, o pH de 8, o amoníaco inferior a 0,05 mg/L, os nitritos inferiores a 0,10 mg/L e os nitratos inferiores a 50 mg/L.

Tabela 3. Caracterização dos aquários incluídos no sistema de água doce.

Aquário	Volume (L)
2	20 000
3	2000
4	8000
5	800

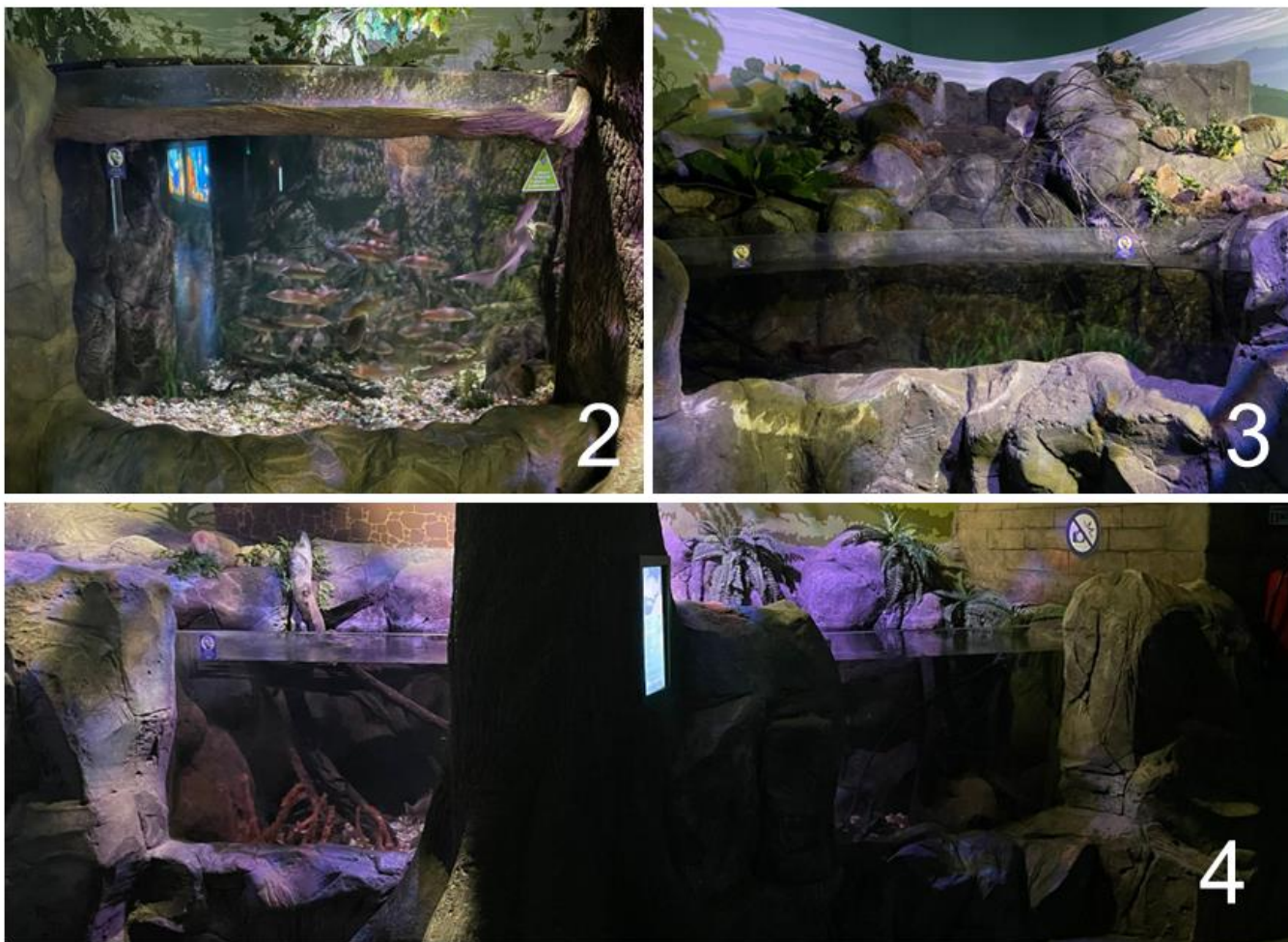


Figura 3. Tanques 2, 3 e 4 do sistema de água doce.

Sistema marinho tropical

O sistema marinho tropical é um sistema RAS e composto por 17 tanques (Tabela 4, Figura 4), com um volume total de aproximadamente 571 000 litros. Este sistema acolhe espécies representativas das zonas de água salgada quente, apresentando animais tropicais. Os valores recomendamos pela empresa para este sistema são: a temperatura de 24 °C, a salinidade de 27 ppm, o pH de 8, o amoníaco inferior a 0,05 mg/L, os nitritos inferiores a 0,10 mg/L e os nitratos inferiores a 20 mg/L.

Tabela 4 Caracterização dos aquários incluídos no sistema marinho tropical.

Aquário	Volume (L)
15	3259
16	3204
17	4500
18	7520
19	1000
20	800
21	500 000
22	3500
23	3500
24	6000
25	6000
26	307
27	307
28	307
29	3000
30	25 000
31	2800

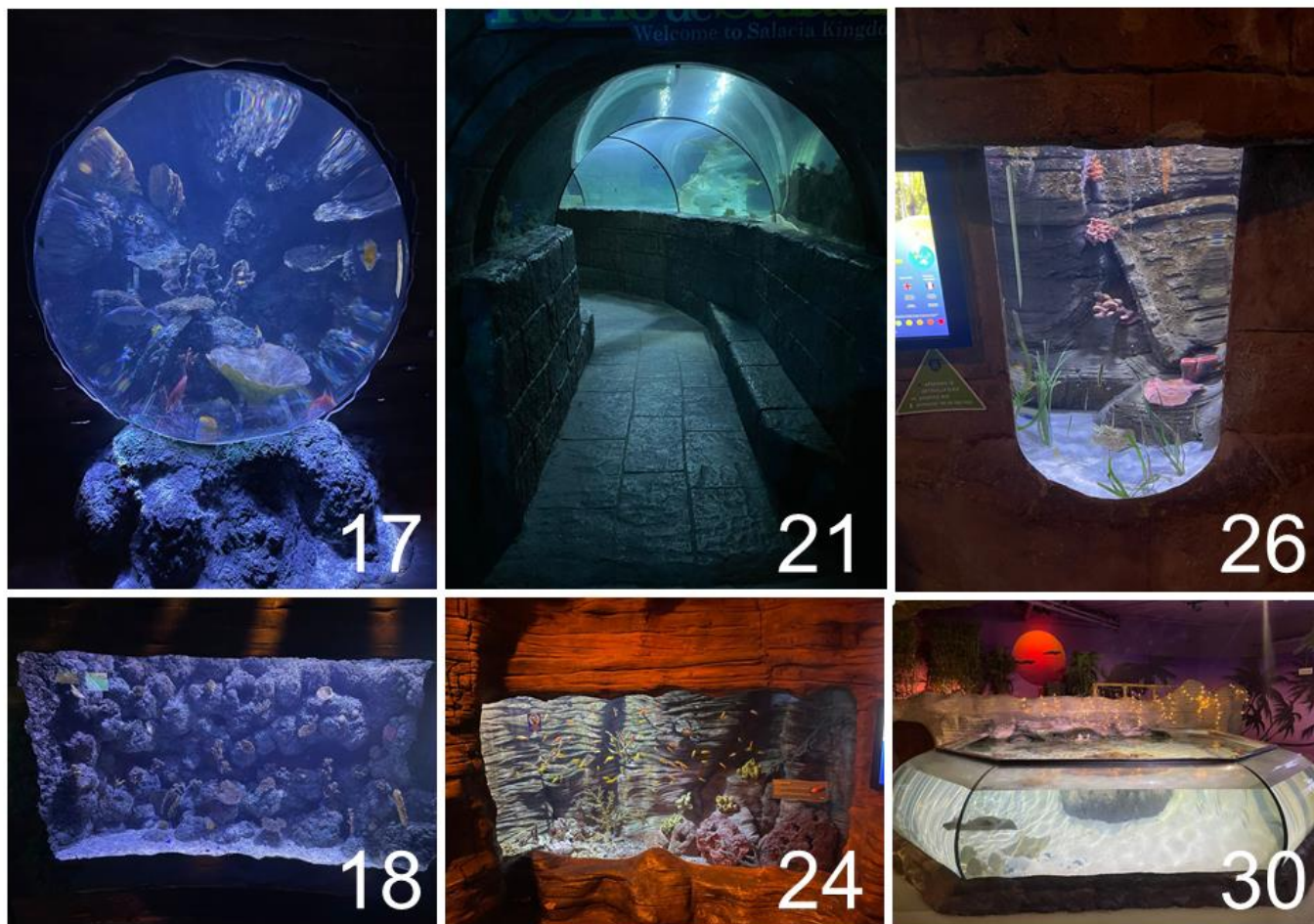


Figura 4. Tanques 17, 18, 21, 24 e 30 do sistema marinho tropical.

Métodos para a determinação dos parâmetros da água

Determinação do oxigénio dissolvido

A determinação de oxigénio dissolvido (OD) é realizada através de leituras diárias nos tanques maiores dos três sistemas, nomeadamente nos aquários 4, 10 e 21. Embora as leituras sejam obtidas em percentagem para facilitar a interpretação dos resultados, estas podem ser convertidas para mg/L utilizando a tabela do Anexo I e a seguinte fórmula (Fondriest Environmental, 2013):

$$\text{O}_2 \text{ mg/L} = (\% \text{ de OD obtido na leitura}) \times (\text{valor de OD tabelado de acordo com a temperatura e salinidade presente no tanque})$$

Assim, quando as leituras indicam uma percentagem de 100 % para o OD, a concentração de oxigénio será de 8,3 mg/L no sistema marinho ambiente, de 9,9 mg/l no sistema de água doce e de 7,3 mg/l no sistema marinho tropical. O equipamento HI 98194 Multiparameter (Hanna Instruments, Amorim, Portugal, Figura 5a) e a respetiva sonda (Figura 4b) é calibrada semanalmente de acordo com as instruções do fabricante (HANNA Instruments, 2022b), ou seja, a sonda é colocada no exterior do tanque (sem contacto com a água) e deverá medir 100% de OD.



Figura 5. Equipamento multiparâmetro (e respetiva sonda) utilizado para a medição de oxigénio dissolvido.

Métodos para a determinação dos compostos azotados

A determinação dos compostos azotados (amoníaco, nitritos e nitratos) é realizado semanalmente, com recurso a dois equipamentos: Palintest 7100 Photometer (Palintest, Gateshead, Reino Unido, Figura 6a) para o sistema de água doce e HANNA HI-97115 (Hanna Instruments, Figura 6b) para os sistemas salgados. As amostras para estes parâmetros são sempre recolhidas antes da primeira alimentação. Na eventualidade do valor obtido ser discrepante, realiza-se uma nova determinação no dia seguinte sendo a recolha realizada antes da primeira alimentação. Os procedimentos são executados de acordo com os protocolos de cada fabricante (HANNA Instruments, 2022a; Palintest, 2015). Resumidamente, a quantificação de amoníaco é efetuada através do método colorimétrico do salicilato, onde o amoníaco reage com hipoclorito de sódio e salicilato de sódio na presença de nitroprussiato de sódio, formando um complexo esverdeado cuja intensidade é medida por espectrofotometria. Este valor é posteriormente multiplicado por um coeficiente que considera a temperatura, o pH e a salinidade da água, obtendo-se assim a concentração de amoníaco. Para a quantificação de nitritos, aplica-se o método do sulfato ferroso, onde os nitritos reagem com sulfato ferroso (FeSO_4) em meio ácido, originando óxido nítrico (NO). Já a quantificação de nitratos baseia-se no método de redução com cádmio, que converte nitratos em nitritos utilizando cádmio metálico em meio tamponado. A concentração de nitratos é calculada pela diferença entre esta determinação e a concentração de nitritos determinada pelo método do sulfato ferroso descrito.



(a)



(b)

Figura 6. Equipamentos utilizados para a determinação dos compostos azotados.

Determinação do pH

A determinação do pH é realizada através de leituras diárias nos tanques maiores dos três sistemas, nomeadamente nos aquários 4, 10 e 21. A calibração do equipamento HI 98194 Multiparameter (Hanna Instruments, Figura 6b) e respetiva sonda (Figura 7) é realizada semanalmente, conforme as instruções do fabricante (HANNA Instruments, 2022b).



Figura 7. Sonda utilizada para a determinação de pH.

Determinação da temperatura e da salinidade

A medição da temperatura e da salinidade é realizada diariamente nos tanques 4, 10 e 21. A calibração do equipamento (HI 98194 Multiparameter, Hanna Instruments, Figura 6b) e respetiva sonda (Figura 8) é efetuada semanalmente, seguindo as instruções do fabricante (HANNA Instruments, 2022b).



Figura 8. Sonda utilizada para a determinação de temperatura e de salinidade.

Determinação das trocas de água

As trocas de água são executadas aos domingos, utilizando água de abastecimento público. Este procedimento coincide com o dia de “jejum”, em que a quantidade de alimento fornecida aos animais é ligeiramente reduzida. De forma a retirar a água rapidamente, é realizado um *backwash* dos filtros mecânicos (isto é, processo de reverter temporariamente o fluxo de água através do filtro para eliminar os resíduos acumulados e manter a eficiência da filtração), esvaziando o sistema o máximo possível antes de reabastecê-lo com água “nova”, visando melhorar a qualidade da água dos sistemas. Esta água é descartada juntamente com os restantes resíduos para o sistema público de esgotos.

No caso do sistema de água doce, as trocas são realizadas com água recente retirada diretamente da rede de abastecimento pública. Já nos sistemas de água salgada, é necessário encher previamente o reservatório “*Salt mix*” para adicionar a quantidade de sal (Instant Ocean, ASF, Sarrebourg, França) necessária.

Análise estatística

Os dados obtidos no período de 1 de janeiro de 2023 a 30 de abril de 2024, totalizando 1,5 anos, foram analisados utilizando o software SPSS versão 29. Para cada um dos parâmetros (oxigénio dissolvido, compostos azotados, pH, temperatura e salinidade), foram calculadas a média, o desvio-padrão, o valor máximo e mínimo observados em cada um dos sistemas (marinho ambiente, água doce e marinho tropical) do SEA LIFE Porto. Além disso, foi realizada uma análise de correlação multivariada para investigar as relações entre cada um dos parâmetros da água. Devido ao fato da maioria das variáveis não apresentarem uma distribuição normal, foi utilizada uma análise de correlação de *Spearman* bidirecional (Z. Wang *et al.*, 2019).

3. Resultados

Sistema marinho ambiente

A análise do sistema marinho ambiente inclui o estudo da média, desvio-padrão, valores mínimos e máximos observados para cada parâmetro: oxigénio dissolvido, amoníaco, nitrito, nitrato, pH, temperatura, salinidade e trocas de água (Tabela 5).

Tabela 5. Caracterização do espaço amostral do sistema marinho ambiente.

Parâmetro	n	Média	SD	Mín	Máx
OD (%)	483	96,4	4,30	86,1	103,0
Amoníaco (mg/L)	80	0,0016	0,0008	0,0000	0,0045
Nitritos (mg/L)	70	0,02	0,02	0,00	0,07
Nitratos (mg/L)	74	41,2	16,69	3,2	90,0
pH	398	8,1	0,38	7,5	10,2
Temperatura (°C)	483	17,6	0,64	16,0	19,8
Salinidade (ppm)	483	27,3	2,33	22,2	34,2
Trocas de água	82	7,3 %	0,03	1,2 %	17,0 %

n: número de amostras, SD: desvio-padrão, mín: valor mínimo, máx: valor máximo.

De uma forma geral, as médias obtidas para os parâmetros avaliados oscilaram dentro dos limites recomendados, representando assim a adequação de todos os parâmetros ao longo das medições (7/7) (Tabela 5).

Não obstante, na análise baseada nas diversas medições ao longo do tempo identificaram-se alterações pontuais. Os parâmetros do OD, amoníaco, nitritos e temperatura estão sistematicamente dentro dos valores recomendados (Figuras 9, 10, 11 e 14), contudo os nitratos ultrapassaram os limites recomendados (<50 mg/L) em janeiro, março, abril, agosto, setembro e outubro de 2023, tendo sido verificado um valor máximo de 90 mg/L (Figura 12). O pH manteve-se dentro dos valores recomendados, à exceção do mês de abril de 2023, onde os valores começaram a aumentar exponencialmente, culminando num pico e coincidindo com o registo do

valor máximo observado de 10,2 (Figura 13). Após este incidente, verificou-se uma avaria na sonda, motivo pelo qual não se registaram valores entre os meses de maio a julho de 2023.

Quanto à salinidade, apenas de agosto a novembro de 2023, esta apresentou-se inferior ao que seria recomendado (25,5 a 30 ppm), registando-se o valor mínimo de 22,2 ppm (Figura 15).

Relativamente às trocas de água, estas oscilaram entre os 1,2 % e os 17 % (Figura 16). Embora o maior volume de troca de água (17 %) ter sido registado em dezembro de 2023, visando amenizar os valores ligeiramente inferiores de salinidade observados durante esse mês, a frequência mais elevada deste parâmetro foi observada em abril de 2023, coincidindo com os picos de pH e nitratos.

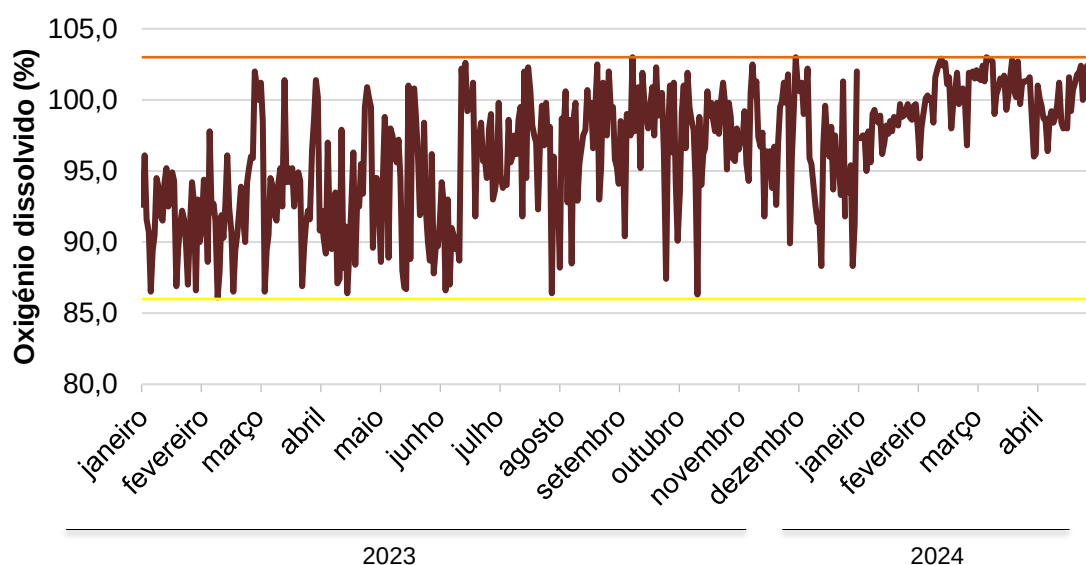


Figura 9. Evolução do oxigênio dissolvido ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escura e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

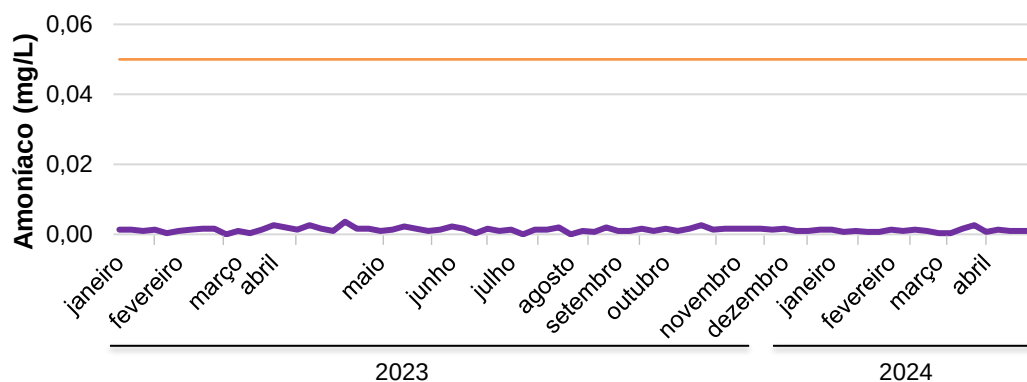


Figura 10. Evolução do amoníaco ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).

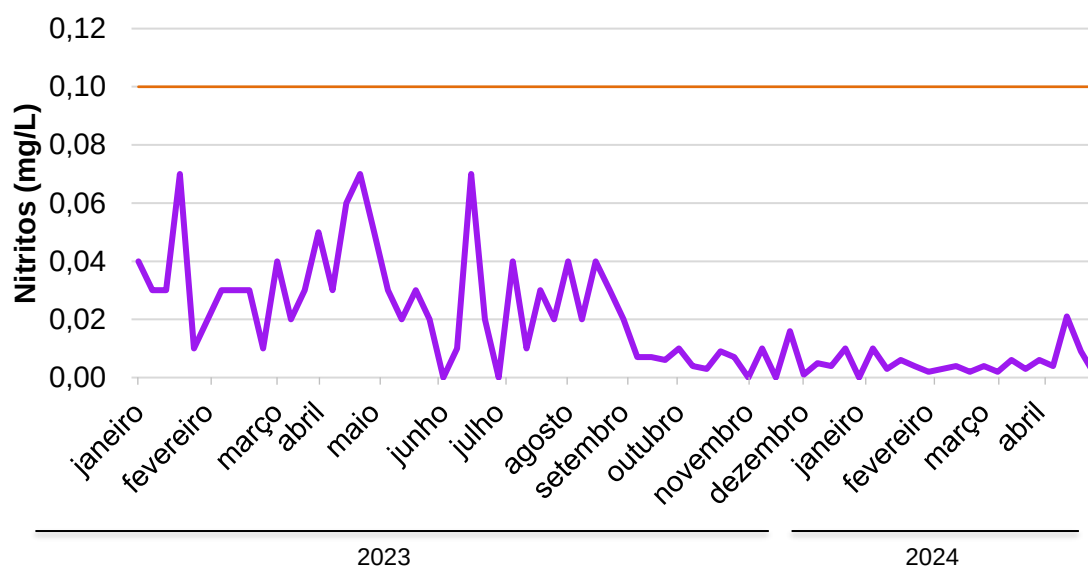


Figura 11. Evolução dos nitritos ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).

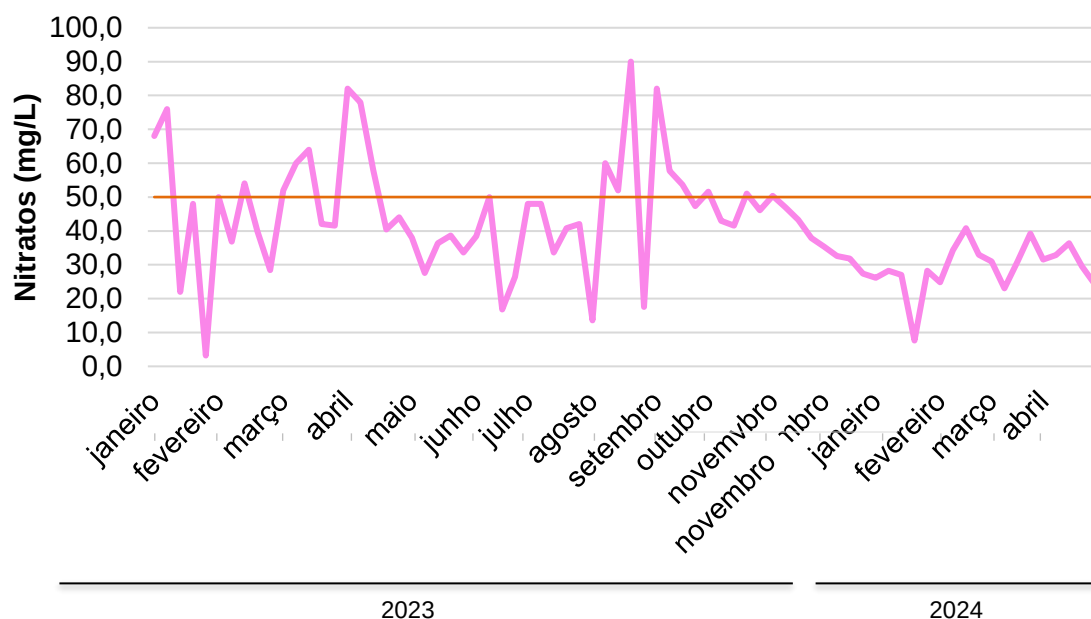


Figura 12. Evolução dos nitratos ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).

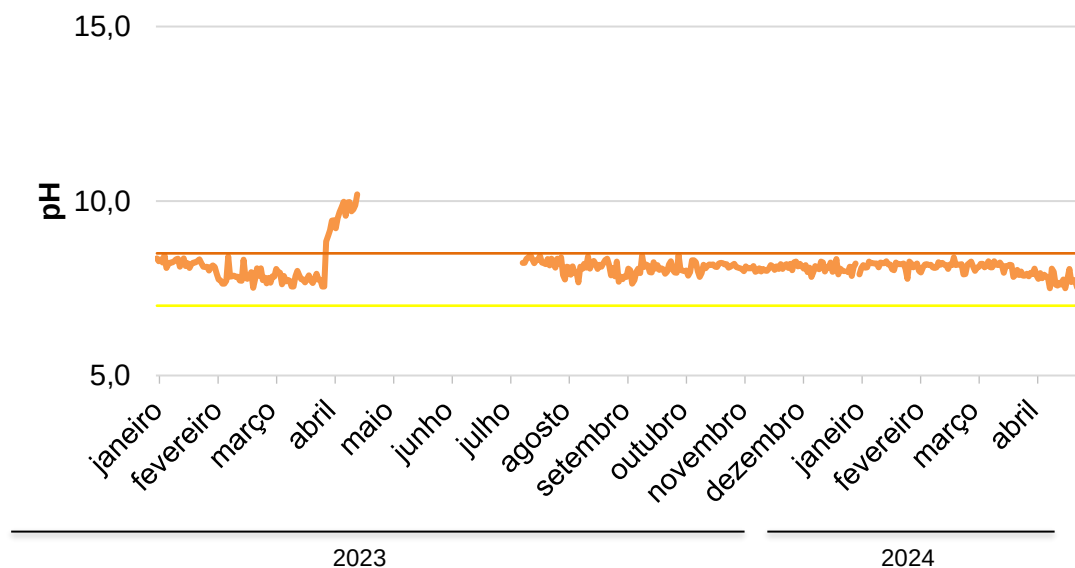


Figura 13. Evolução do pH ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro  e amarela  representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

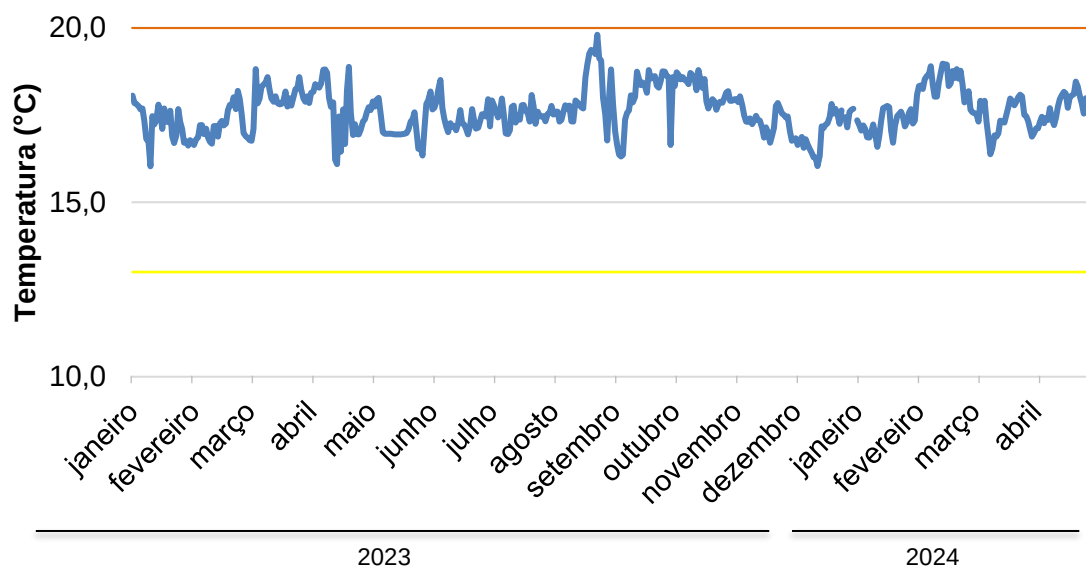


Figura 14. Evolução da temperatura ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

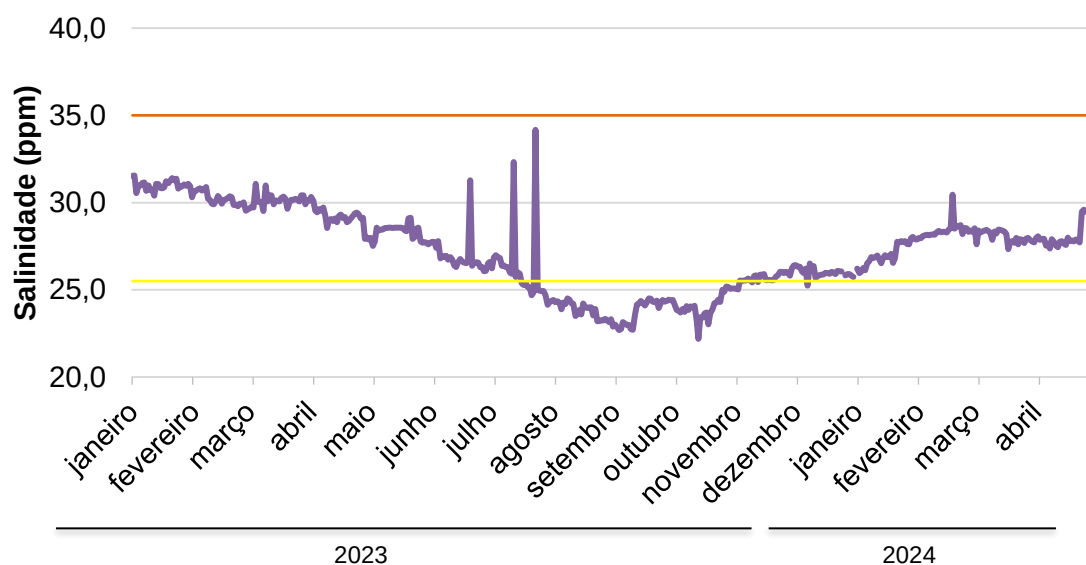


Figura 15. Evolução da salinidade ao longo do tempo no sistema marinho ambiente (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

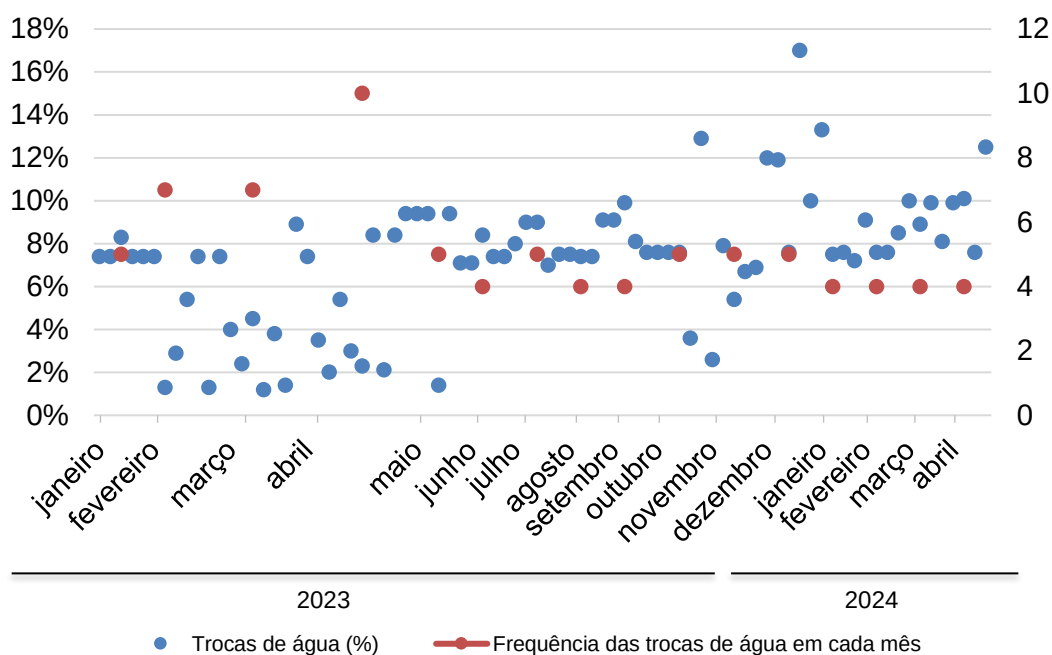


Figura 16. Frequência (e respetivos volumes) de trocas de água ao longo do tempo no sistema marinho ambiente.

Sistema de água doce

O número de amostras, a média, o desvio-padrão e os valores mínimos e máximos observados para cada parâmetro encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Caracterização do espaço amostral do sistema de água doce.

Parâmetro	n	Média	SD	Mín	Máx
OD (%)	482	95,2	5,08	86,0	106,4
Amoníaco (mg/L)	86	0,0020	0,0013	0,0000	0,0066
Nitritos (mg/L)	66	0,01	0,01	0,00	0,04
Nitratos (mg/L)	66	31,8	14,36	3,2	66,0
pH	399	8,2	0,48	7,5	10,8
Temperatura (°C)	483	15,3	0,39	14,5	17,3
Salinidade (ppm)	483	0,2	0,13	0,1	0,8
Trocas de água	90	9,1 %	2,9 %	1,2 %	15,0 %

n: número de amostras, SD: desvio-padrão, mín: valor mínimo, máx: valor máximo.

Os valores médios de todos os parâmetros encontram-se dentro dos limites previstos, observando-se uma adequação total dos parâmetros ao longo das medições (7/7, Tabela 6).

Através da análise das figuras, os valores obtidos para os parâmetros de oxigénio dissolvido, amoníaco, nitritos, temperatura e salinidade encontram-se dentro dos limites recomendados, conforme evidenciado pelas figuras 17, 18, 19, 22 e 23, respetivamente.

O parâmetro dos nitratos ultrapassou os limites recomendados (<50 mg/L) em janeiro, abril e julho de 2023, tendo sido verificado um valor máximo de 66 mg/L (Figura 20).

O pH permaneceu dentro dos valores recomendados, embora tenha apresentado oscilações acima do máximo recomendado de fevereiro a abril, atingindo um pico em abril, com o valor máximo observado de 10,8 (Figura 21). Devido à mesma razão mencionada na secção anterior (avaria da sonda), não foram registados valores entre maio e julho de 2023.

Relativamente às trocas de água, estas variaram entre os 1,2 % e os 15% (Figura 24). O maior volume de troca de água (15 %) foi registado em julho de 2023, visando mitigar o pico de nitrato. A frequência mais elevada deste parâmetro foi observada em abril de 2023, coincidindo com os picos de pH e de nitratos.

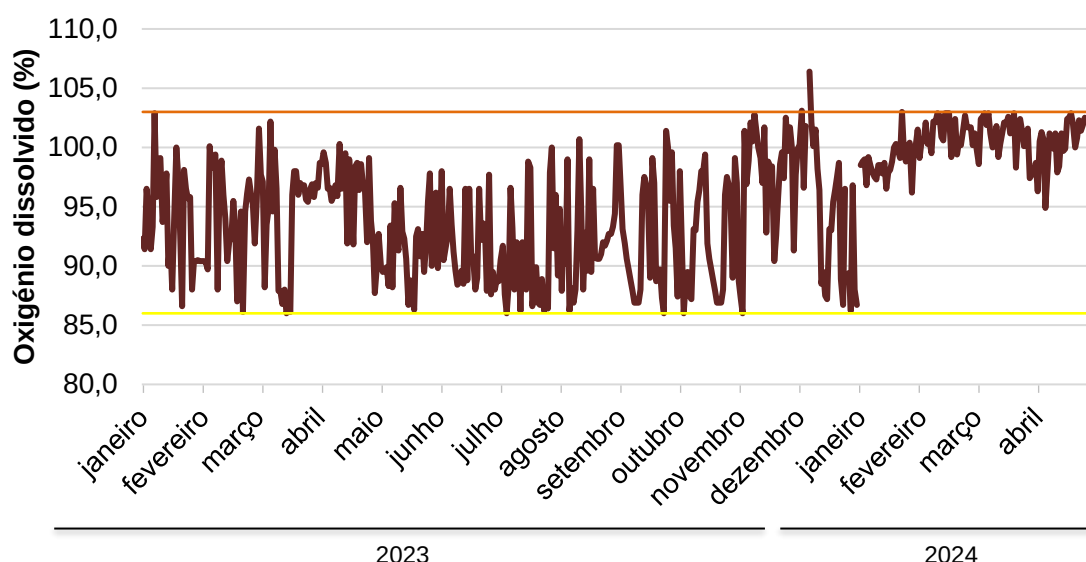


Figura 17. Evolução do oxigénio dissolvido ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escura e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

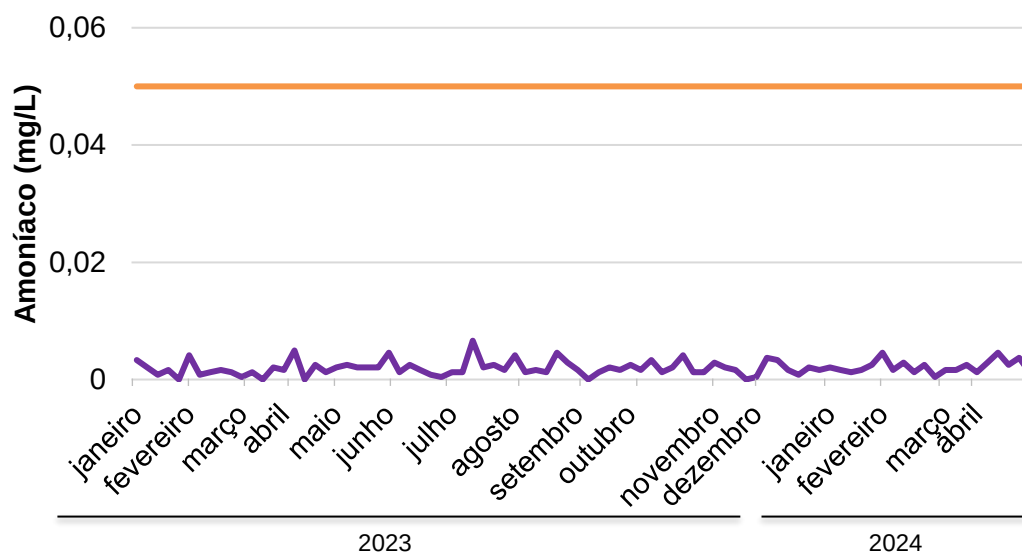


Figura 18. Evolução do amoníaco ao longo do tempo no sistema de água doce (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).

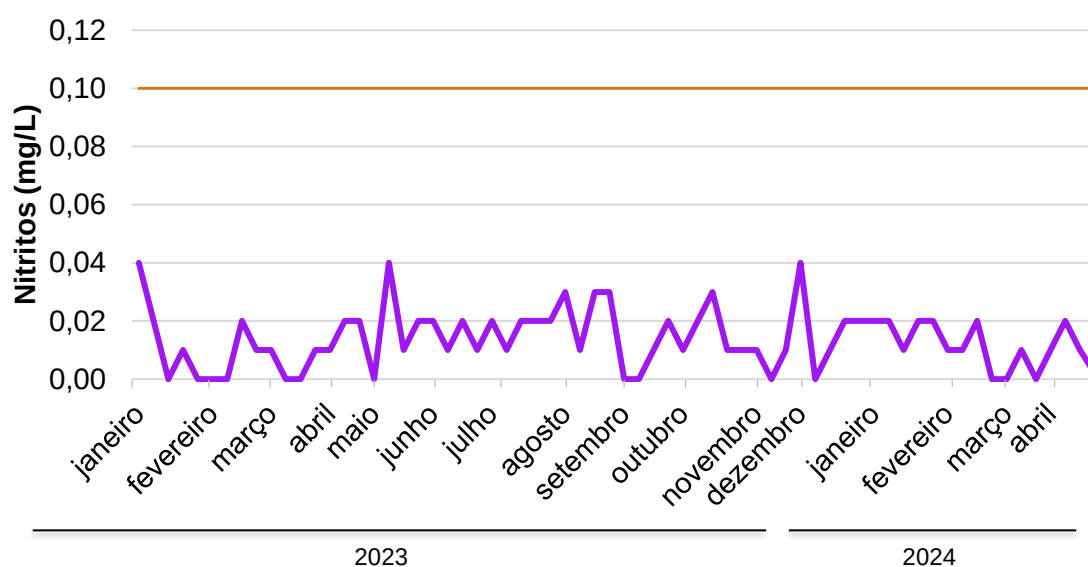


Figura 19. Evolução dos nitritos ao longo do tempo no sistema de água doce (a linha laranja-escuro  representa o limite máximo recomendado).

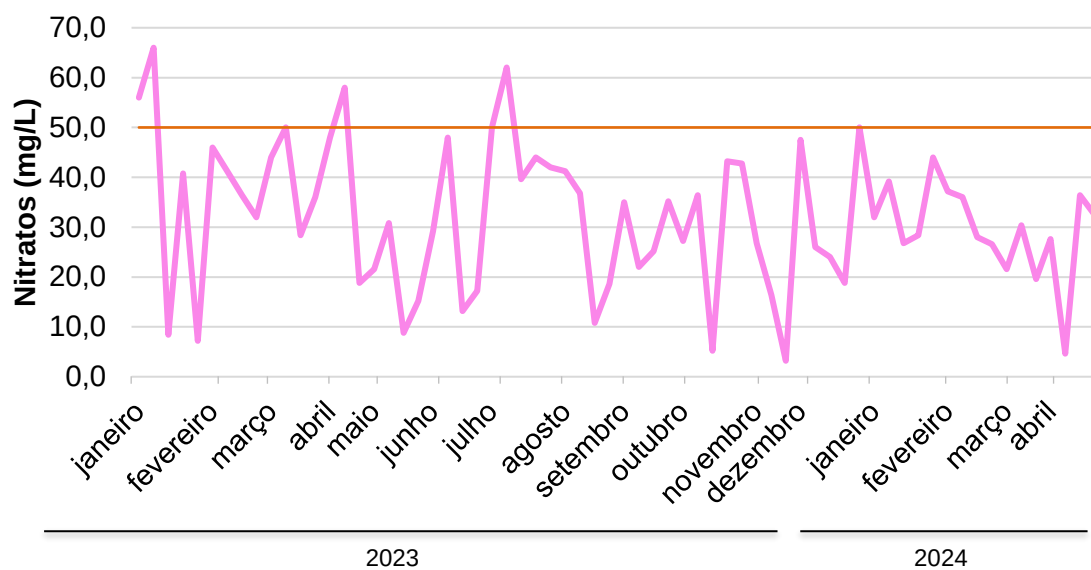


Figura 20. Evolução dos nitratos ao longo do tempo no sistema de água doce (a linha laranja-escuro (l) representa o limite máximo recomendado).

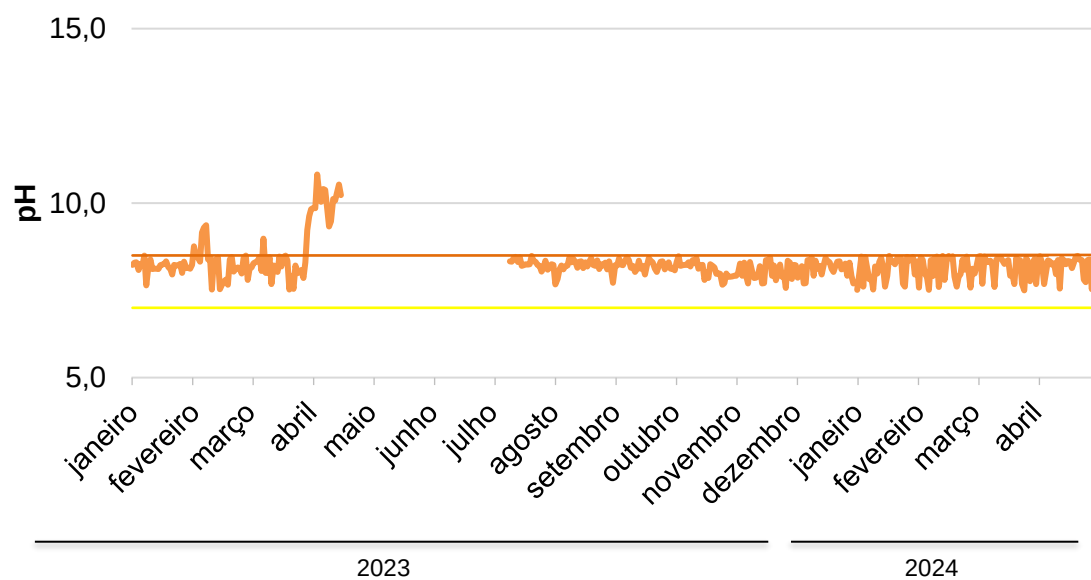


Figura 21. Evolução do pH ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro (l) e amarela (l) representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

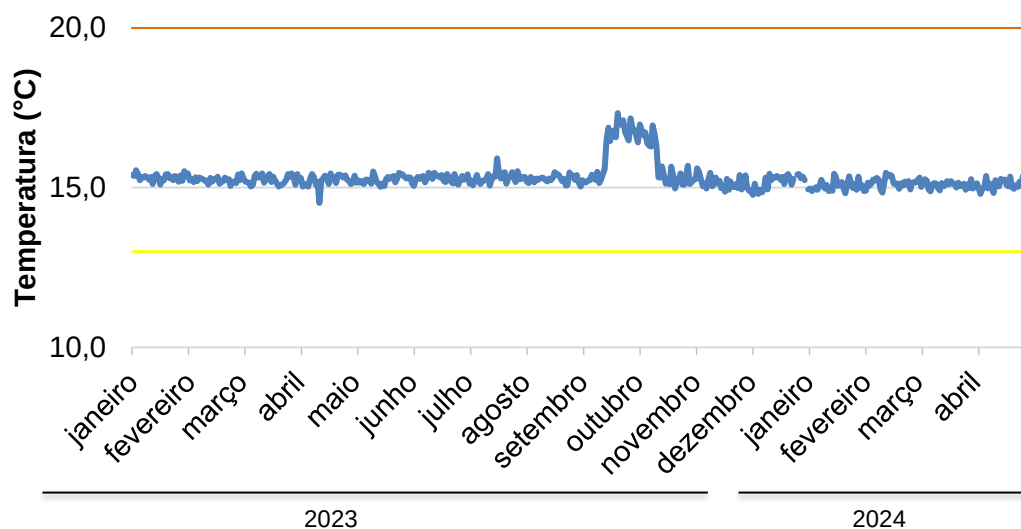


Figura 22. Evolução da temperatura ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

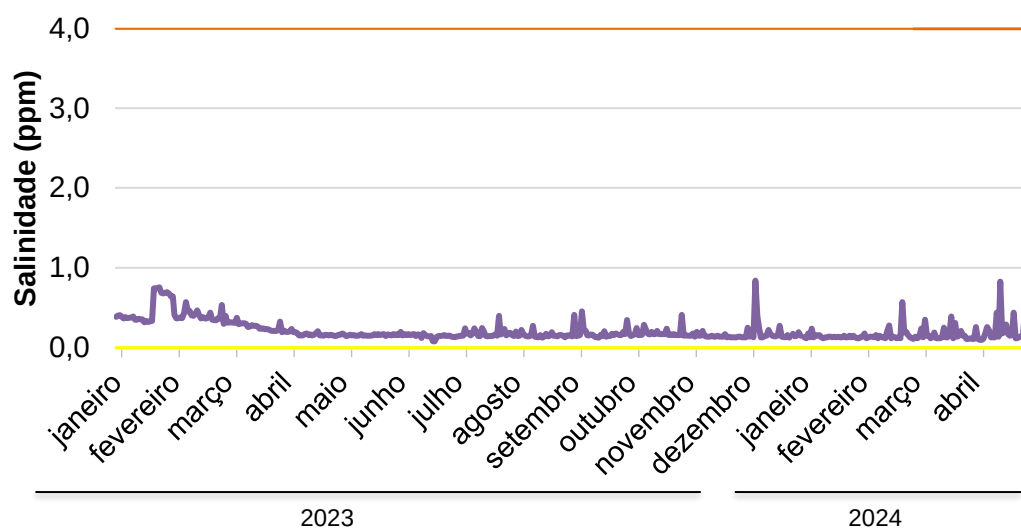


Figura 23. Evolução da salinidade ao longo do tempo no sistema de água doce (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

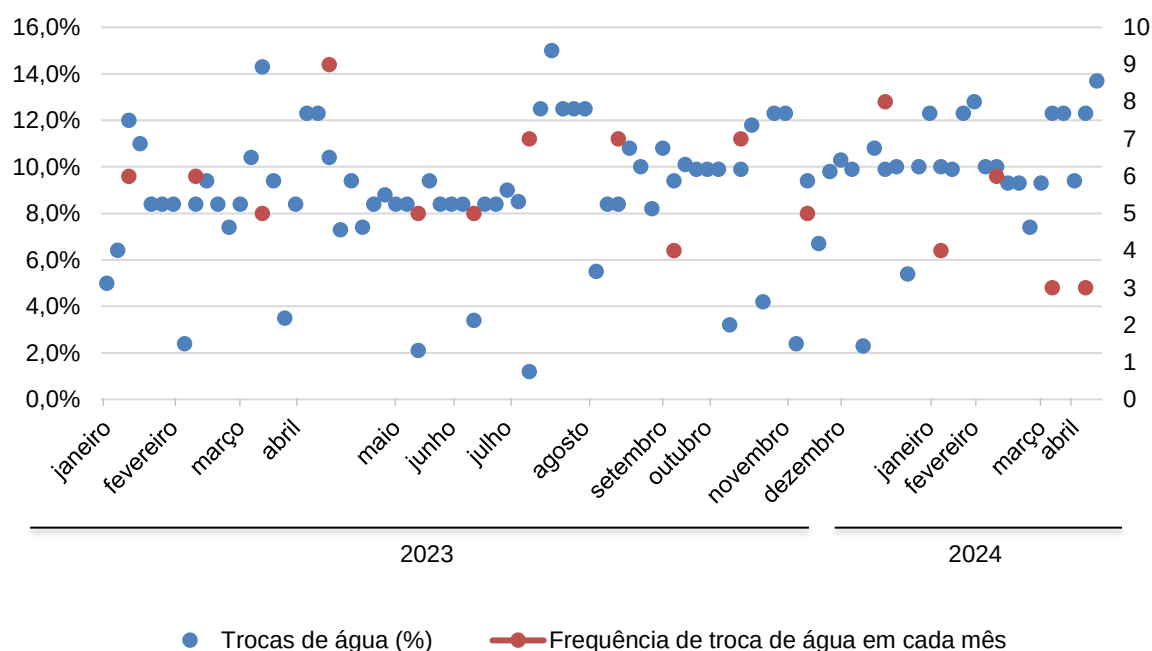


Figura 24. Execução (e respectivos volumes) de trocas de água ao longo do tempo no sistema de água doce.

Sistema marinho tropical

A caracterização do conjunto de dados obtidos no sistema marinho tropical, como a média, desvio-padrão, valor mínimo e máximo, encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização do espaço amostral do sistema marinho tropical.

Parâmetro	n	Média	SD	Mín	Máx
OD (%)	484	95,1	4,20	86,0	103,0
Amoníaco (mg/L)	87	0,0027	0,0045	0,0000	0,0389
Nitritos (mg/L)	79	0,02	0,02	0,00	0,09
Nitratos (mg/L)	87	54,6	25,83	13,2	148,0
pH	427	7,9	0,42	7,3	10,0
Temperatura (°C)	484	23,3	0,81	15,1	24,6
Salinidade (ppm)	484	26,0	2,01	0,1	32,8
Trocas de água	95	2,8 %	1,4 %	0,3 %	4,9 %

n: número de amostras, SD: desvio-padrão, mín: valor mínimo, máx: valor máximo.

De um modo geral, os valores médios encontram-se dentro dos recomendados, exceto para dois parâmetros (nitratos e salinidade), representando uma adequação de parâmetros de 5/7.

Os valores para os parâmetros de oxigênio dissolvido e nitritos permaneceram dentro dos limites recomendados ao longo do período amostral, conforme demonstrado nas figuras 25 e 27, respectivamente.

Relativamente ao amoníaco, embora o valor máximo registrado (0,0389 mg/L, Tabela 7) estar dentro do limite recomendado, este representa uma alteração brusca no sistema (Figura 26).

Os nitratos excederam os limites recomendados (<50 mg/L) praticamente durante todo o período do estudo, alcançando um valor máximo de 148 mg/L (Figura 28), o mais elevado entre os três sistemas analisados.

A variação de pH observada neste sistema assemelha-se àquela verificada nos outros dois sistemas, tendo sido identificada uma avaria na sonda em maio de 2023, como ilustrado na figura 29.

Os valores de temperatura encontraram-se, em geral, em conformidade com os valores recomendados, com exceção dos meses de fevereiro a abril e julho a setembro de 2023, nos quais foram registradas descidas acentuadas (Figura 30).

Na salinidade observou-se consistentemente valores abaixo das recomendações, destacando-se um mínimo de 0,1 ppm (Figura 31).

Quanto às trocas de água, estas foram efetuadas de forma consistente ao longo do período de estudo, mantendo-se um volume constante (Figura 32). Foi verificada uma maior frequência de trocas de água nos meses de fevereiro a abril de 2023, coincidindo com os picos de amoníaco e nitritos, contribuindo potencialmente para as variações de temperatura observada durante esse intervalo de tempo.

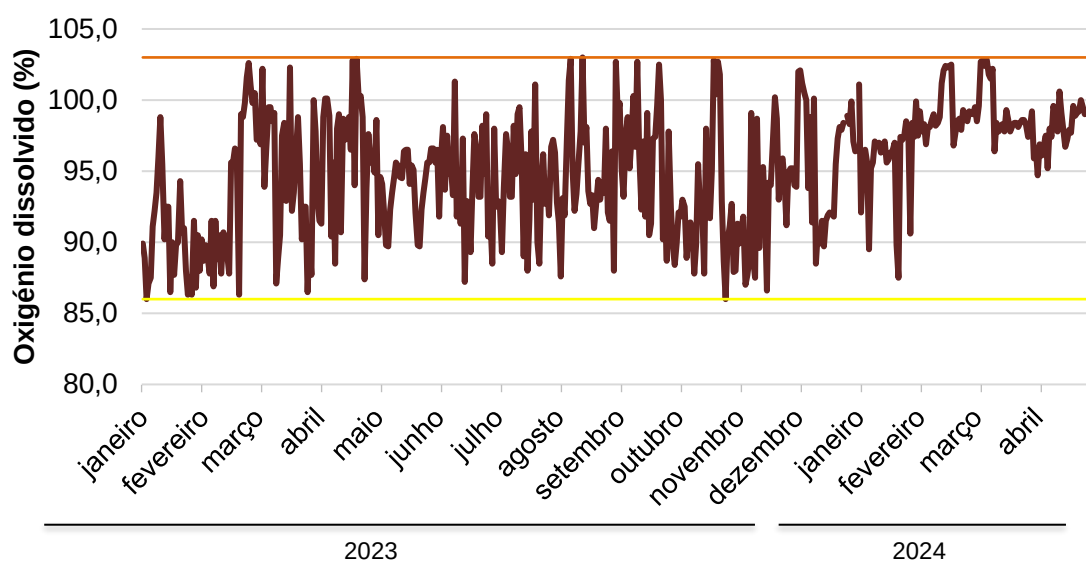


Figura 25. Evolução do oxigénio dissolvido ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

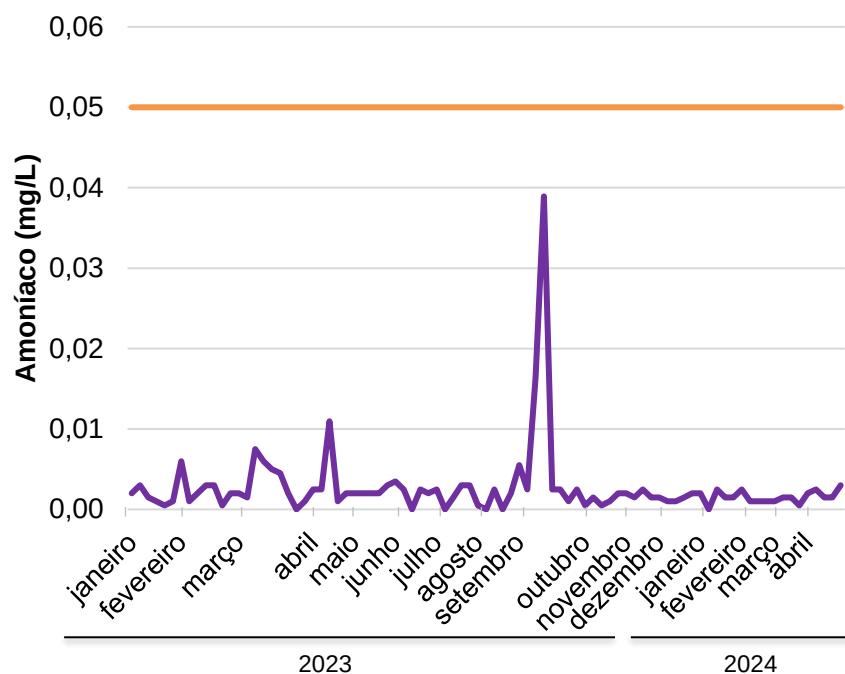


Figura 26. Evolução do amoníaco ao longo do tempo no sistema marinho tropical (a linha laranja-escuro representa o limite máximo recomendado).

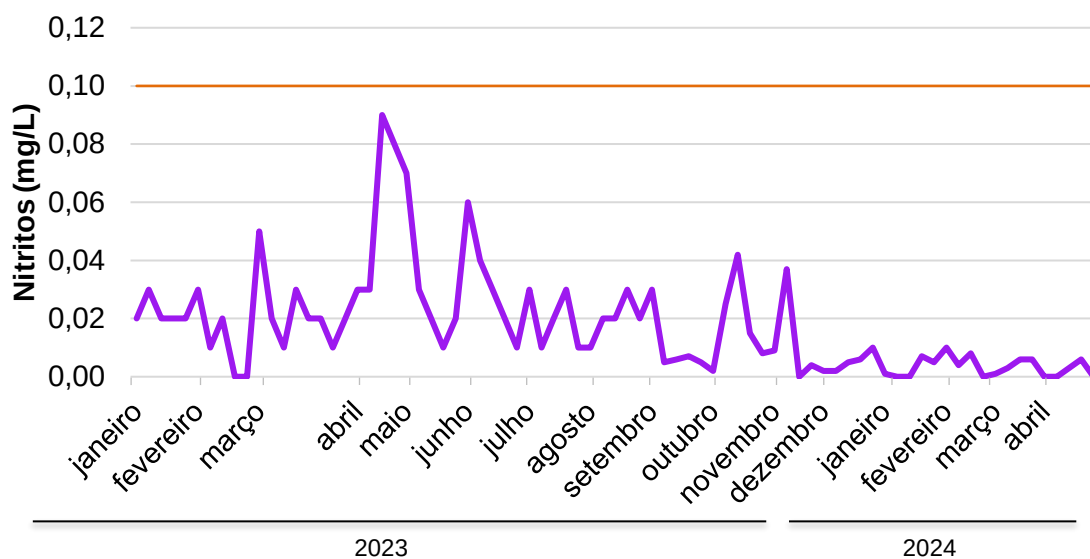


Figura 27. Evolução dos nitritos ao longo do tempo no sistema marinho tropical (a linha laranja-escuro representa o limite máximo recomendado).

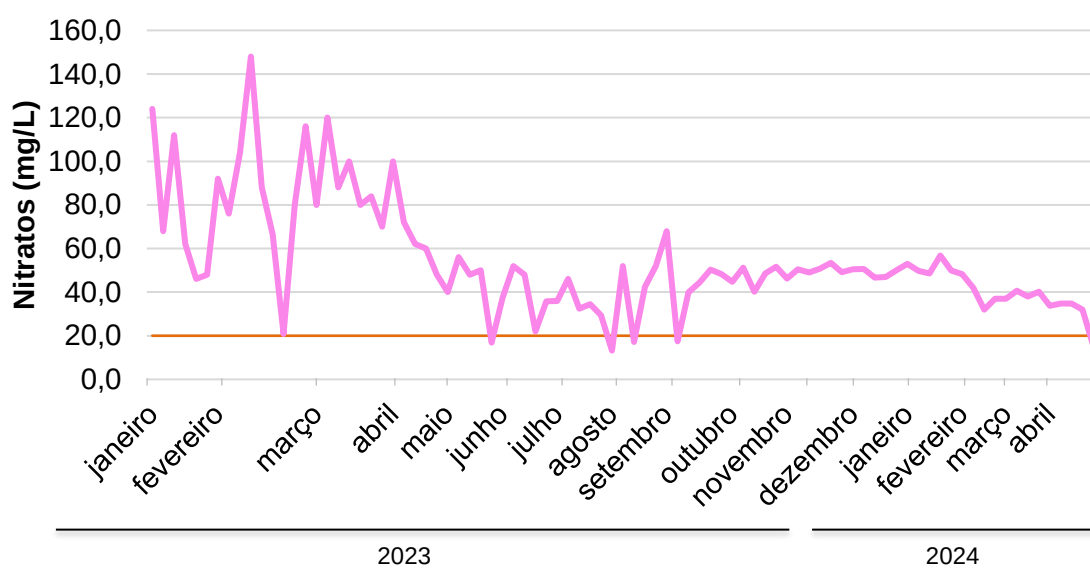


Figura 28. Evolução dos nitratos ao longo do tempo no sistema marinho tropical (a linha laranja-escuro representa o limite máximo recomendado).

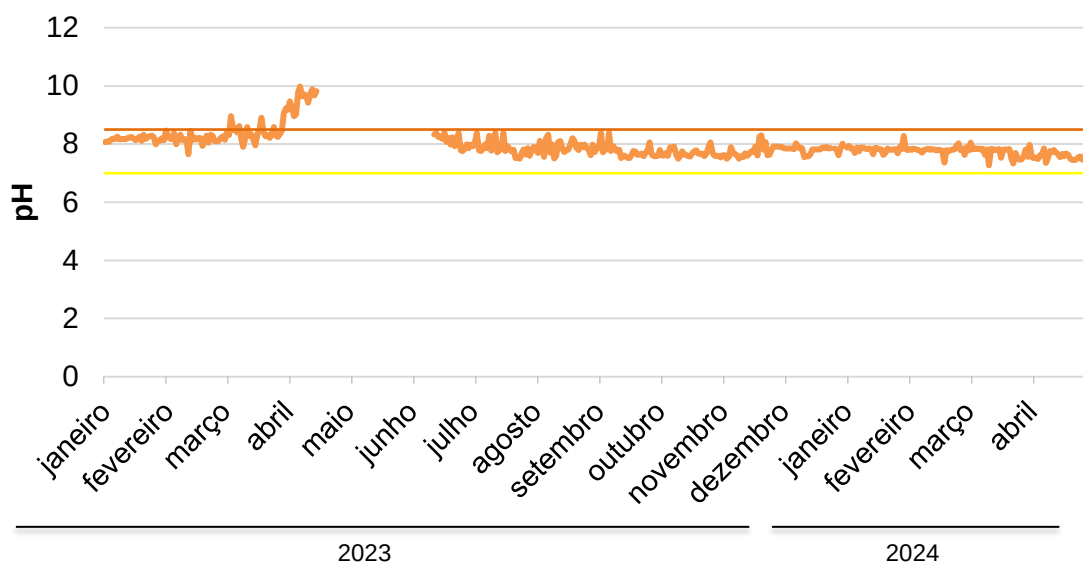


Figura 29. Evolução do pH ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

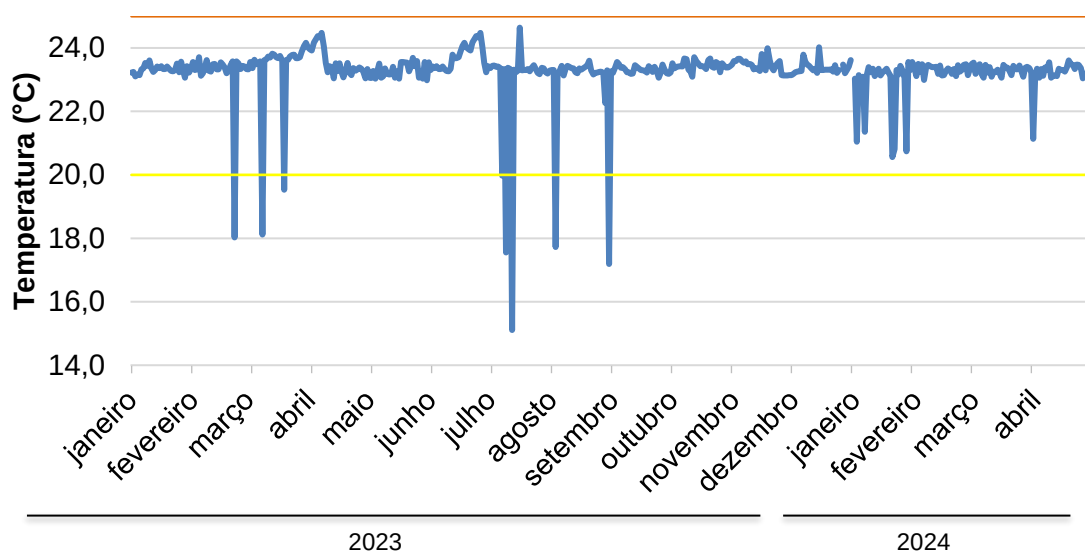


Figura 30. Evolução da temperatura ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro e amarela representam o limite máximo e mínimo recomendado, respetivamente).

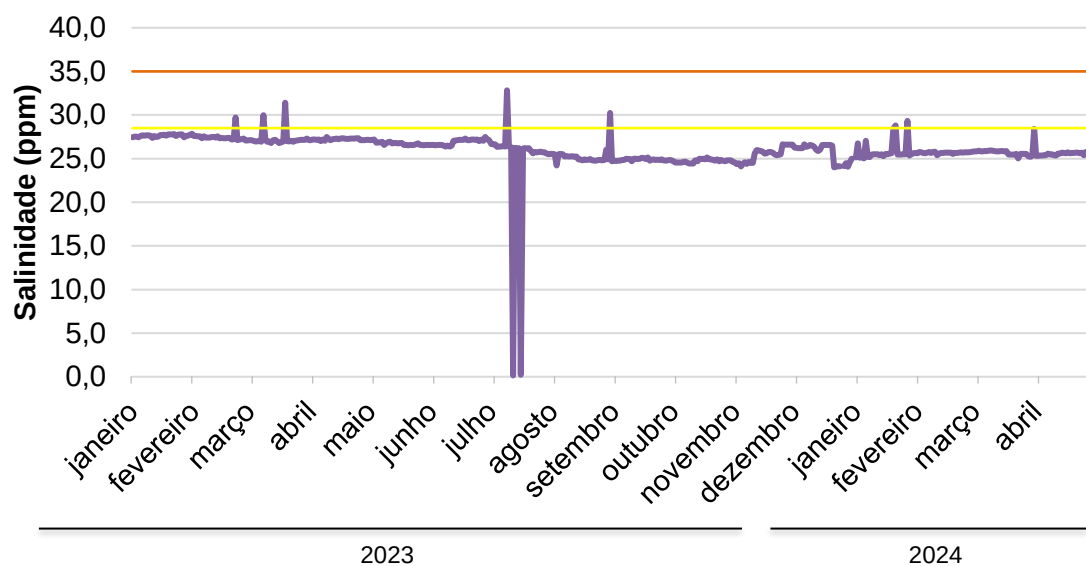


Figura 31. Evolução da salinidade ao longo do tempo no sistema marinho tropical (as linhas laranja-escuro () e amarela () representam o limite máximo e mínimo recomendado, respectivamente).

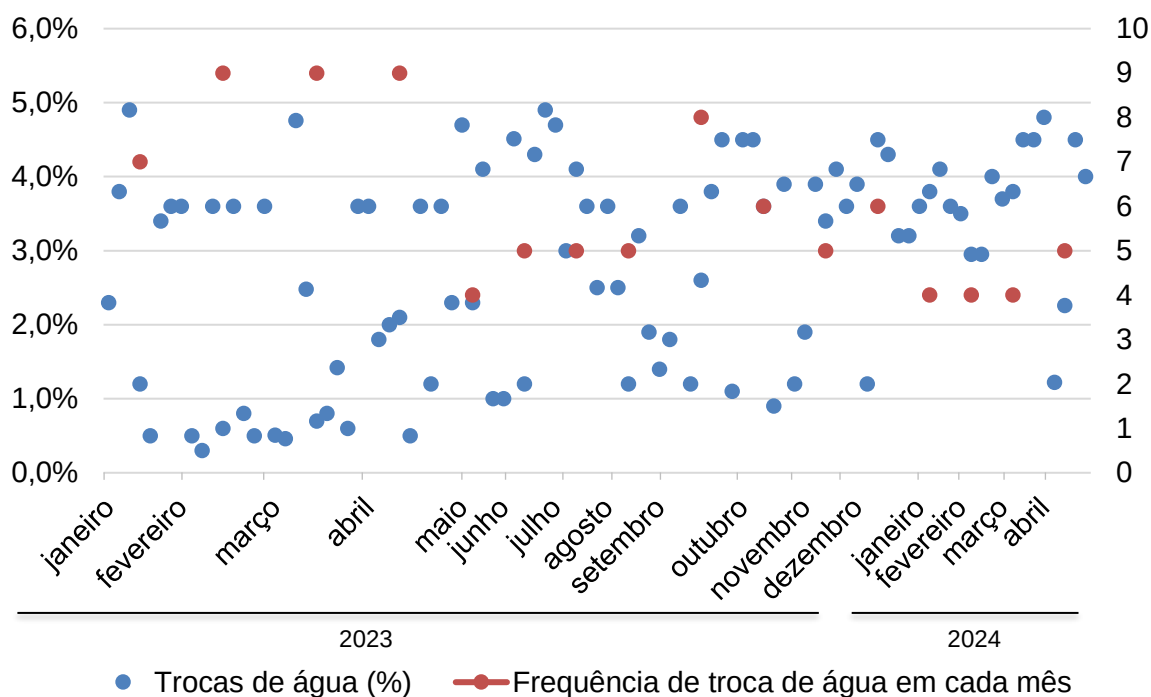


Figura 32. Execução (e respectivos volumes) de trocas de água ao longo do tempo no sistema marinho tropical.

Correlação de *Spearman*

A análise estatística, com recurso à correlação de *Spearman*, revelou as seguintes correlações (Tabela 8, Anexo II):

- Correlação positiva:
 - Nitratos e nitritos;
 - OD e trocas de água;
 - pH e nitratos;
 - pH e nitritos;
 - pH e trocas de água;
 - Amoníaco e nitritos;
 - Salinidade e nitratos;
 - Salinidade e nitritos;
 - Temperatura e nitratos;
 - Temperatura e salinidade.
- Correlação negativa:
 - Nitratos e trocas de água;
 - Nitritos e trocas de água
 - Amoníaco e trocas de água;
 - OD e nitratos;
 - OD e nitritos;
 - Salinidade e pH;
 - Salinidade e trocas de água;
 - Temperatura e OD;
 - Temperatura e pH;
 - Temperatura e trocas de água.

Tabela 8. Resultados da correlação de *Spearman* entre todos os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, salinidade, pH, OD, amoníaco, nitritos e nitratos) e o parâmetro troca de água.

Parâmetros	Temp	Sal	pH	OD	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	TA
Temp								
Sal	R=0,59**							
pH	R=-0,32**	R=-0,15**						
OD	R=-0,07**							
NH ₃								
NO ₂ ⁻		R=0,16*	R=0,15*	R=-0,30**	R=0,16*			
NO ₃ ⁻	R=0,44**	R=0,30**	R=0,16*	R=-0,14*		R=0,22**		
TA	R=-0,69**	R=-0,45**	R=0,14*	R=0,18**	R=-0,16*	R=-0,19**	R=-0,41*	

Temp: temperatura, Sal: salinidade, OD: oxigênio dissolvido, NH₃: amoníaco, NO₂⁻: Nitritos, NO₃⁻: Nitratos, TA: troca de água, : correlação positiva; : correlação negativa, *p<0,05, **p<0,01.

4. Discussão

A qualidade da água desempenha um papel crucial na saúde e sobrevivência dos animais aquáticos, influenciando diretamente o seu bem-estar, o crescimento e a reprodução (Marinou *et al.*, 2020). Fatores como a concentração de oxigênio dissolvido, dos compostos azotados, o pH, a temperatura e a salinidade são determinantes para a manutenção de um ambiente aquático saudável (Marinou *et al.*, 2020; Toni *et al.*, 2019). Qualquer desequilíbrio nestes parâmetros pode resultar em *stress*, desenvolvimento de patologia e até mortalidade entre as espécies aquáticas (Toni *et al.*, 2019). Além disso, a degradação da qualidade da água pode afetar a cadeia alimentar e a biodiversidade, comprometendo os ecossistemas (de Guzman *et al.*, 2022). Deste modo, a preservação e a constante monitorização da qualidade da água são essenciais para garantir a sustentabilidade das populações aquáticas e a integridade dos ecossistemas.

A análise dos dados revelou algumas oscilações repentinas nos parâmetros de pH, oxigênio dissolvido, salinidade e temperatura, sugerindo a possibilidade de erros de leitura, isto é, que as medições possam ter sido registadas sem que a sonda tenha estabilizado completamente. Exemplos destas oscilações incluem: i) dois picos na salinidade do sistema marinho ambiente (Figura 15), ii) duas reduções repentinas na temperatura do sistema marinho tropical (Figura 30), e iii) duas diminuições abruptas na salinidade do sistema marinho tropical (Figura 31).

Entre os três sistemas analisados, o sistema marinho tropical destacou-se por apresentar um maior número de parâmetros cujas médias estavam fora do recomendado (particularmente os nitratos e a salinidade), ao contrário dos sistemas marinho ambiente e de água doce, que não apresentaram qualquer discrepância. Embora ambos os sistemas (marinho tropical e marinho ambiente) necessitem de água salgada, o sistema marinho tropical possui uma capacidade muito maior (571 mil litros), enquanto o sistema marinho ambiente tem apenas 22 mil litros. Esta diferença de volumes de água representa um problema quando há necessidade de ajustar a salinidade, pois a quantidade de água é tão elevada que demora várias semanas para atingir os valores de salinidade desejados. Em contrapartida, os médicos veterinários que assistem o centro recomendam uma salinidade inferior para prevenir doenças nos animais residentes, nomeadamente por *Cryptocaryon* spp. (Kong *et al.*, 2022).

Entre os parâmetros avaliados, o oxigénio dissolvido mostrou-se bastante estável em todos os tanques, podendo ser explicado pela circulação de água existente durante todo o dia e pela injeção de ar individual e ajustável por tanque. Para além disso, existem dois variadores de frequência no sistema marinho tropical (sistema com maior volume de água) que ajustam o funcionamento das bombas principais conforme a leitura realizada no tanque principal, permitindo maior eficiência. O oxigénio dissolvido é o parâmetro mais volátil e sujeito a mudanças abruptas, que podem causar elevadas mortalidades. Por este motivo, deve ser efetuado um controlo rigoroso de forma a garantir a segurança e o bem-estar dos animais.

Embora a temperatura da água se tenha mantido dentro dos valores estipulados durante este estudo, este parâmetro continua a ser uma das principais preocupações, uma vez que é influenciada tanto pela temperatura do centro como pelas variações ambientais diárias. A temperatura pode variar devido ao funcionamento das Unidades de Tratamento de Ar (UTA), que exigem manutenção rigorosa, assim como os permutadores de calor e os pré-filtros nas tubagens, que são limpos pela equipa de manutenção externa. Além da manutenção, é essencial analisar as oscilações e ajustar conforme a temperatura ambiente para garantir os valores ideais.

Relativamente ao pH, este permaneceu estável ao longo do ano, com exceção de uma inconsistência nos valores em abril de 2023, sem alteração visível no comportamento dos animais, sugerindo um problema na sonda de leitura. Por este motivo, não foram realizadas leituras nos meses de maio a junho de 2023, aguardando-se a substituição do equipamento.

Quanto à salinidade, esta é ajustada de acordo com as recomendações dos médicos veterinários, especialmente nos sistemas marinho tropical e marinho ambiente, onde se recomenda a hiposalinidade, de forma pontual, para controlar determinadas patologias. Durante o período do estudo, são observadas variações, sendo meticulosamente monitorizadas e ajustadas pelos aquaristas do centro, conforme as diretrizes veterinárias.

Embora os parâmetros de temperatura, pH, oxigénio dissolvido, nitritos e salinidade estivessem geralmente dentro dos valores recomendados, os compostos azotados, em especial os nitratos, foram os que mais problemas apresentaram durante este estudo nos três sistemas analisados. Ora, a produção de amoníaco está diretamente relacionada com concentração de nitratos presente no sistema, e o seu excesso poderá provocar, a médio-curto prazo, um excesso de nitratos. As principais causas

deste desequilíbrio incluem problemas de estabilidade do biofiltro, excesso de alimentação, diminuição de limpeza dos tanques e dificuldades na filtração mecânica dos sistemas e na realização de trocas de elevada quantidade de água, necessárias para remover os nitratos do sistema (Boyd, 2017; Interpet, 2024). Quanto ao sistema de água doce, o subdimensionamento do biofiltro poderá justificar a instabilidade do amoníaco.

Particularmente em relação ao excesso de matéria orgânica depositada em todos os aquários e reservatórios de água, a adoção de novas técnicas e tecnologias é fundamental. Por exemplo, aumentar a circulação da água nos tanques impedirá que a matéria orgânica se deposite nos substratos ou nas decorações, garantindo que a maior quantidade de matéria orgânica seja encaminhada para os sistemas de filtração, evitando a sua decomposição dentro dos aquários. Além disso, seria necessário aprimorar o sistema de filtração, para evitar que a água de saída dos tanques reencaminhe a sujidade para o interior dos reservatórios. Ainda seria crucial melhorar a filtragem da água dos reservatórios para garantir a remoção de qualquer matéria orgânica presente. Por fim, deve ser ainda garantido que os biofiltros estejam adequadamente dimensionados e a funcionar corretamente, evitando a entrada de matéria orgânica nos mesmos e os escumadores estejam operacionais, uma vez que estes também auxiliam a remoção do amoníaco dos sistemas. Deste modo, as sugestões de melhoria são descritas detalhadamente por sistema na Tabela 9.

Tabela 9. Sugestões de melhoria por sistema e respetivos objetivos.

Sistema	Sugestões de melhoria	Objetivo
Água doce	Instalação de um maior número de bombas de circulação nos aquários	Aumentar a circulação de água no aquário
	Aumento da frequência de sifonagem (isto é, aspiração da matéria orgânica) nos aquários	Extrair matéria orgânica do aquário
	Introdução de animais (por exemplo, os mexilhões de rio) nos aquários	Diminuir depósito de matéria orgânica no aquário
	Aumento do volume do biofiltro do sistema	Melhorar a eficiência da filtragem biológica do sistema
	Aprimoramento da filtração mecânica na saída dos aquários (por exemplo, com filtros de rolo)	Remover eficazmente as partículas e as impurezas do sistema
	Melhoria do funcionamento do escumador do sistema	
Marinho ambiente	Instalação de mais bombas de circulação nos aquários	Aumentar a circulação de água no aquário
	Aquisição de um escumador	Remover eficazmente de partículas e impurezas do sistema
	Aumento da frequência de sifonagem	Extrair matéria orgânica do aquário
	Introdução de animais (por exemplo, peixes bentónicos e estrelas-do-mar);	Diminuir depósito de matéria orgânica no aquário

Marinho tropical	Aumento da filtração mecânica na saída dos aquários	Remover eficazmente as partículas e as impurezas do sistema
	Melhoria do funcionamento do filtro de tambor existente	
	Aumento da frequência de sifonagem	Extrair matéria orgânica do aquário
	Introdução de animais (por exemplo, camarões e ouriços-do-mar);	Auxiliar a manutenção do aquário
	Instalação de um maior número de bombas de circulação nos aquários	Aumentar a circulação de água no aquário

Em suma, de acordo com as sugestões acima mencionadas, recomenda-se a introdução de bombas de circulação nos tanques, filtros de lamelas com autolimpeza, filtros de rolo, filtros de tambor, estrelas-do-mar, camarões, espécies de peixes bentônicos e ouriços-do-mar.

No que diz respeito aos nitratos, estes apresentaram valores elevados em todos os sistemas estudados, particularmente no sistema marinho tropical. Por serem o último produto do ciclo de azoto e não existirem outras bactérias para os decompor, a única forma eficaz de os reduzir é através de trocas de água (evidenciado pela correlação negativa entre os nitratos e as trocas de água). No entanto, o centro enfrenta desafios significativos na realização destas trocas. Durante o estudo, os volumes associados às maiores percentagens de trocas de água foram de 15 % no sistema de água doce, 17 % no sistema marinho ambiente e apenas 4,9 % no sistema marinho tropical. Esta dificuldade está relacionada com o volume dos reservatórios em comparação com o total do sistema, exigindo esvaziamento máximo dos reservatórios seguido de reposição com água “nova” até o nível máximo de operação. No caso do sistema de água doce, este processo de aumento do volume das trocas de água é facilitado, embora haja considerações quanto ao custo da água de abastecimento público e à sustentabilidade. No entanto, é o suprimento mais acessível, permitindo aumentar as trocas de água até atingir os valores ideais de nitratos. Para os sistemas de água salgada, a obtenção desta água é mais complexa e dispendiosa (como mencionado anteriormente). Semanalmente, são utilizados 40 mil litros de água salgada para efetuar as trocas parciais nos sistemas. Aumentar a frequência dessas trocas para duas vezes por semana acarretaria um aumento exponencial de todos os custos associados à produção de água artificial, incluindo o custo do sal, da água e o dispêndio de tempo. As soluções para os elevados níveis de nitratos poderiam incluir a aquisição de água marinha natural e o seu tratamento posterior com ozono, ultravioleta, carvão ativado e filtração mecânica. Embora tenha sido estabelecido contacto com várias empresas com pontos de captação de água marinha, o transporte

tem sido uma limitação devido ao potencial de danificar os veículos de transporte. Outra alternativa seria a implementação de *Algae Scrubbers* ou reatores de macroalgas ao desnitrificador já existente no sistema. Estes dispositivos promovem o crescimento de algas, que consomem os nitratos e os fosfatos presentes nos sistemas, contribuindo assim para a remoção eficiente destes compostos. Embora seja uma técnica comum em aquários de menor escala, ainda não é amplamente utilizada em aquários maiores.

Diversas correlações entre os diferentes parâmetros foram identificadas neste estudo, destacando a complexidade das interações dentro dos ecossistemas aquáticos. Algumas destas correlações já foram amplamente descritas em estudos anteriores, nomeadamente as correlações positivas entre a temperatura e os nitratos (Lawrence *et al.*, 2017; Papadopoulos *et al.*, 2024) e as correlações negativas entre OD e os nitratos (Fantong, 2013; Liu *et al.*, 2021), OD e nitritos (Fantong, 2013; Liu *et al.*, 2021), salinidade e pH (Benison *et al.*, 2021; Rugebregt & Nurhati, 2020), temperatura e OD (Lawrence *et al.*, 2017), temperatura e pH (Rugebregt & Nurhati, 2020) e nitratos e as trocas de água (Setiadi *et al.*, 2021).

Embora não existam estudos que determinem a correlação entre os nitratos e os nitritos, esta correlação positiva observada é consistente com o ciclo de azoto, na medida em que os nitritos são convertidos em nitratos. Assim, o aumento dos níveis de nitritos resulta num incremento de nitratos (Coppock & Nation, 2018). Similarmente, a correlação positiva entre o OD e as trocas de água pode ser explicada pela introdução de água nova, que possuirá um alto teor de oxigénio; portanto, uma maior frequência de trocas de água elevará o teor de OD.

Ainda a correlação positiva encontrada entre a temperatura e a salinidade poderá ser justificada pelo aumento da evaporação decorrente do aumento de temperatura da água, provocando um aumento de salinidade.

Apesar da correlação negativa descrita entre o pH e os nitratos, bem como o pH e nitritos (Gopinath *et al.*, 2002; Lawrence *et al.*, 2017), este estudo encontrou correlações positivas entre eles. Isto facto poderá ser explicado pelo facto de que a formação de nitritos e, consequentemente, de nitratos ser sensível ao pH do meio. Um pH mais baixo (mais ácido) inibe a atividade das bactérias nitrificantes (por exemplo, *Nitrosomonas* spp. e *Nitrobacter* spp.), resultando numa menor conversão de nitratos em nitritos (Paul *et al.*, 2020). De igual modo, este estudo revelou ainda uma correlação positiva entre a salinidade e os nitratos, bem como entre a salinidade

e os nitritos. Wang *et al.* (2018) observaram que uma elevada salinidade pode mitigar os efeitos deletérios dos nitritos em larvas de *Takifugu obscurus*, recorrendo a mecanismos fisiológicos e moleculares que reduzem o impacto tóxico do nitrito (J. Wang *et al.*, 2018). Além disso, é importante salientar que níveis elevados de salinidade podem comprometer a atividade do género bacteriano *Nitrobacter*, presente em sistemas aquáticos e conhecido pelo seu papel na desnitrificação de solos salinos (Huang *et al.*, 2022).

Adicionalmente, a correlação positiva encontrada entre o pH e as trocas de água, bem como as correlações negativas entre salinidade/trocas de água e temperatura/trocas de água podem sugerir que o pH, a temperatura e a salinidade não foram devidamente ajustados às características necessárias aos tanques.

Embora a qualidade da água seja fundamental para o funcionamento dos aquários-museu, há uma notável escassez de estudos dedicados a este tema. Globalmente, existem mais de duzentos aquários-museu (MarineBio, 2023). No entanto, a quantidade de estudos publicados sobre a qualidade da água nesses locais é limitada. Em suma, a monitorização e o controlo da qualidade da água representam um desafio significativo na manutenção e gestão dos aquários-museu, sendo cruciais na preservação da biodiversidade marinha e na promoção de ambientes aquáticos saudáveis.

5. Conclusão

Entre os três sistemas avaliados, o sistema marinho tropical apresentou maior número de parâmetros fora dos valores recomendados. Os compostos azotados, particularmente os nitratos, emergiram como as principais preocupações em todos os sistemas estudados, indicando a necessidade de melhorar a circulação da água, otimizar os sistemas de filtração e aprimorar o funcionamento dos biofiltros. Identificaram-se correlações significativas entre diferentes parâmetros, destacando a complexidade das interações dentro dos ecossistemas aquáticos.

Em suma, a monitorização contínua e o controlo rigoroso da qualidade da água devem ser prioridades constantes para preservar a biodiversidade marinha e a promoção de ambientes aquáticos saudáveis.

Ao longo deste estágio curricular, houve a oportunidade de integrar a equipa da biologia do SEA LIFE Porto, desenvolvendo atividades muito diversas, donde se incluiu a realização das análises da qualidade da água. Esta experiência, juntamente com os contactos anteriores em diferentes instalações com sistema RAS (Sistema aquático de circulação) para aquacultura e peixes ornamentais, proporcionou uma perspetiva crítica sobre os sistemas de recirculação e tratamento de água. Além disso, reforçou o papel primordial da qualidade da água no bem-estar dos animais.

6. Referências bibliográficas

- Aquamonitrix. (2021). *Nitrite & Nitrate in RAS Aquaculture*.
<https://aquamonitrix.com/nitrate-and-nitrite-aquaculture/#:~:text=According%20to%20the%20Institute%20for,getting%20the%20nutrients%20they%20need>.
- Benison, K. C., O'Neill, W. K., Blain, D., & Hallsworth, J. E. (2021). Water Activities of Acid Brine Lakes Approach the Limit for Life. *Astrobiology*, 21(6), 729–740.
<https://doi.org/10.1089/ast.2020.2334>
- Bœuf, G., & Payan, P. (2001). How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130(4), 411–423. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00268-X](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00268-X)
- Boyd, C. E. (2017). General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. In *Fish Diseases* (pp. 147–166). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5>
- Boyd, C. E. (2019). *Salinity in aquaculture, Part 2*.
<https://www.globalseafood.org/advocate/salinity-in-aquaculture-part-2/>
- Buonocore, E., Grande, U., Franzese, P. P., & Russo, G. F. (2021). Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview. *Water*, 13(15), 2060. <https://doi.org/10.3390/w13152060>
- Buttner, J. K., Terlizzi, D. E., & Soderberg, R. (1993). An Introduction to Water Chemistry in Freshwater Aquaculture. *Northeastern Regional Aquaculture Center*.
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.ncrac.org/files/biblio/NRAC0170.pdf>
- Chogale, N., Metar, S., Pagarkar, A. U., & Satam, S. B. (2020). The role of the public aquarium of marine biological research station on raising public awareness to aquatic environment. *Journal of Experimental Zoology. India*, 23(1), 919–923.
www.connectjournals.com/jez
- Ciji, A., & Akhtar, M. S. (2020). Nitrite implications and its management strategies in aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 878–908.
<https://doi.org/10.1111/raq.12354>

- Coppock, R. W., & Nation, P. N. (2018). Aquatic Toxicology. In *Veterinary Toxicology* (pp. 733–739). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811410-0.00054-4>
- da Silva, R., Pearce-Kelly, P., Zimmerman, B., Knott, M., Foden, W., & Conde, D. A. (2019). Assessing the conservation potential of fish and corals in aquariums globally. *Journal for Nature Conservation*, 48, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.12.001>
- Datta, S. (2014). Aquarium Water Quality Management. *FISHCOOPS*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2747.6164>
- de Guzman, I., Altieri, P., Elozegi, A., Pérez-Calpe, A. V., von Schiller, D., González, J. M., Brauns, M., Montoya, J. M., & Larrañaga, A. (2022). Water diversion and pollution interactively shape freshwater food webs through bottom-up mechanisms. *Global Change Biology*, 28(3), 859–876. <https://doi.org/10.1111/gcb.16026>
- Diggles, B. K., Cooke, S. J., Rose, J. D., & Sawynok, W. (2011). Ecology and welfare of aquatic animals in wild capture fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(4), 739–765. <https://doi.org/10.1007/s11160-011-9206-x>
- dos Santos, J. A., Soares, C. M., & Bialetzki, A. (2020). Effects of pH on the incubation and early development of fish species with different reproductive strategies. *Aquatic Toxicology*, 219, 105382. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105382>
- dos Santos Silva, M. J., da Costa, F. F. B., Leme, F. P., Takata, R., Costa, D. C., Mattioli, C. C., Luz, R. K., & Miranda-Filho, K. C. (2018). Biological responses of neotropical freshwater fish *Lophiosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. *Science of The Total Environment*, 616–617, 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
- Fantong, W. Y. (2013). Temporal pollution by nitrate (NO₃), and discharge of springs in shallow crystalline aquifers: Case of Akok Ndoue catchment, Yaounde (Cameroon). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (5), 175-191. <https://doi.org/10.5897/AJEST2013.1421>
- Fondriest Environmental, I. (2013). *Dissolved Oxygen*. Fundamentals of Environmental Measurements. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>

- Forouhar Vajargah, M., & Mohamadi Yalsuyi, A. (2022). An Overview of Ammonia Poisoning in Aquariums. *Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 3(5), 668–670. <https://doi.org/10.37871/jbres1494>
- Gopinath, A., Joseph, N., Sujatha, C. H., & Nair, S. M. (2002). Forms of Nitrogen (NO₃ - -N; NO₂ - -N and NH₂ CONH₂ -N) and their relations to A.O.U. in the Indian coastal waters of Arabian Sea. *Chemistry and Ecology*, 18(3–4), 233–244. <https://doi.org/10.1080/02757540215056>
- Grow, S., Lyles, A. M., Greenberg, R., Powell, D. M., & Dorsey, C. (2024). Zoos, Aquariums, and Zoological Parks. In *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 474–484). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822562-2.00036-0>
- Gu, D., Andreev, K., & E. Dupre, M. (2021). Major Trends in Population Growth Around the World. *China CDC Weekly*, 3(28), 604–613. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.160>
- HANNA Instruments. (2022a). *Instruction Manual - HI97115*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.hannainst.com/hubfs/product-manuals/MAN97105_02_22.pdf?srsltid=AfmBOooYcgPwhPb_bO8wnzMa_CzSNwpm6U4ffuX7pZCmsGZHA5_DIYgx
- HANNA Instruments. (2022b). *Instruction Manual - HI98194, HI98195 and HI98196*. https://www.hanna.pt/fichs/ficheiros/HI98194_95_96.pdf
- Höglund, E., Folkedal, O., Aerts, J., Hvas, M., Øverli, Ø., Jensen, A.-M., Vindas, M. A., Nilsson, J., & Kristiansen, T. (2023). Welfare effects of environmental hypercapnia quantified by indicators based on morphology and allostatic load in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 572, 739512. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739512>
- Huang, D., Li, X., & Luo, X. (2022). Response of Nitrifier and Denitrifier Abundance to Salinity Gradients in Agricultural Soils at the Yellow River Estuary. *Agronomy*, 12(7), 1642. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071642>
- Interpet. (2024). *How to treat high ammonia in an aquarium*. <https://pondaquariumproblemsolver.co.uk/problem/interpet/high-ammonia/>
- Ip, Y. (2010). Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. *Frontiers in Physiology*, 1. <https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00134>

- Ishimatsu, A., Hayashi, M., Lee, K., Kikkawa, T., & Kita, J. (2005). Physiological effects on fishes in a high-CO₂ world. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C9). <https://doi.org/10.1029/2004JC002564>
- Kleinhappel, T. K., Burman, O. H. P., John, E. A., Wilkinson, A., & Pike, T. W. (2019). The impact of water pH on association preferences in fish. *Ethology*, 125(4), 195–202. <https://doi.org/10.1111/eth.12843>
- Kong, J., Zhou, L., Yuan, Y., Wang, L., Kang, T., Wu, J., Xie, X., & Yin, F. (2022). Salinity regulates the formation and hatching of *Cryptocaryon irritans* tomonts, affecting infectivity to *Larimichthys crocea*. *Aquaculture*, 554, 738166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738166>
- Lawrence, C., Sanders, G. E., & Wilson, C. (2017). Aquatics. In *Management of Animal Care and Use Programs in Research, Education, and Testing* (pp. 559–578). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315152189-24>
- Liu, X., Hu, S., Sun, R., Wu, Y., Qiao, Z., Wang, S., Zhang, Z., & Cui, C. (2021). Dissolved oxygen disturbs nitrate transformation by modifying microbial community, co-occurrence networks, and functional genes during aerobic-anoxic transition. *Science of The Total Environment*, 790, 148245. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148245>
- MarineBio. (2023). *Worldwide Aquariums & Marine Life Centers*. <https://www.marinebio.org/creatures/marine-aquariums/#:~:text=The%20following%20is%20our%20list,life%20centers%20around%20the%20world>.
- Marinou, K., Waley, D., Broberg, B., Reiser, S., & Bergensen, B. (2020). *Guidelines on water quality and handling for welfare of farmed vertebrate fish - EU Platform on Animal Welfare Own Initiative Group on Fish*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-07/aw_platform_plat-conc_guide_farmed-fish_en.pdf
- Merlin Entertainments. (2024). *SEA LIFE conservation, welfare and engagement*. <https://www.merlinentertainments.biz/responsible-business/animal-care-and-conservation/sea-life-conservation-welfare-engagement/>
- Noor, N. Md., Das, S. K., Cob, Z. C., & Ghaffar, M. Abd. (2018). Effects of Salinities and Diets on Growth of Juvenile Hybrid Grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* × *E.*

- lanceolatus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(9).
https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_9_04
- Olsen, A. Y., Smith, A., & Larson, S. (2018). A Temporal Analysis of Water Quality Variability at the Seattle Aquarium in Elliott Bay, Puget Sound, WA. In *Water Challenges of an Urbanizing World*. InTech.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.71353>
- Palintest. (2015). *Palintest - Test Instructions*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.palintest.fr/application/files/7914/5839/4002/Tubetests_Instructions_EN_WEB.pdf
- Papadopoulos, D. K., Lattos, A., Chatzigeorgiou, I., Tsaballa, A., Ntinis, G. K., & Giantsis, I. A. (2024). The influence of water nitrate concentration combined with elevated temperature on rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in an experimental aquaponic Setup. *Fishes*, 9(2), 74. <https://doi.org/10.3390/fishes9020074>
- Paul, I., Panigrahi, A. K., & Datta, S. (2020). Influence of nitrogen cycle bacteria on nitrogen mineralisation, water quality and productivity of freshwater fish pond: A Review. *Asian Fisheries Science*, 33(2).
<https://doi.org/10.33997/j.afs.2020.33.2.006>
- Ritchie, J. C., & Schiebe, F. R. (2000). Water Quality. In *Remote Sensing in Hydrology and Water Management* (pp. 287–303). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-59583-7_13
- Rugebregt, M. J., & Nurhati, I. S. (2020). Preliminary Study of Ocean Acidification: Relationship of pH, Temperature, and Salinity in Ohoililir, Southeast Maluku. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 618(1), 012004.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012004>
- SEA LIFE. (2023). *Mission Statement*.
<https://www.visitsealife.com/London/Conservation/Mission-Statement/>
<https://www.visitsealife.com/london/conservation/mission-statement/>
- Setiadi, E., Saputra, A., & Taufik, I. (2021). The effects of differences in water exchange on the productivity of glass eel stage in *Anguilla bicolor bicolor* culture. *E3S Web of Conferences*, 322, 02006.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132202006>

- Sun, L., Wang, B., Yang, P., Wang, X., Li, D., & Wang, J. (2022). Water quality parameter analysis model based on fish behavior. *Computers and Electronics in Agriculture*, 203, 107500. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107500>
- Toni, M., Manciocco, A., Angiulli, E., Alleva, E., Cioni, C., & Malavasi, S. (2019). Review: Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives. *Animal*, 13(1), 161–170. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000940>
- Tucker, C. S., & D'abramo, L. R. (2008). Managing High pH in Freshwater Ponds. *Southern Regional Aquaculture Center*, 4604. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://fisheries.tamu.edu/files/2013/09/SRAC-Publication-No.-4604-Managing-High-pH-in-Freshwater-Ponds.pdf>
- Volkoff, H., & Rønnestad, I. (2020). Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature*, 7(4), 307–320. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1765950>
- Wang, J., Tang, H., Zhang, X., Xue, X., Zhu, X., Chen, Y., & Yang, Z. (2018). Mitigation of nitrite toxicity by increased salinity is associated with multiple physiological responses: A case study using an economically important model species, the juvenile obscure puffer (*Takifugu obscurus*). *Environmental Pollution*, 232, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.026>
- Wang, Z., Lv, J., Tan, Y., Guo, M., Gu, Y., Xu, S., & Zhou, Y. (2019). Temporospatial variations and Spearman correlation analysis of ozone concentrations to nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matters and carbon monoxide in ambient air, China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(4), 1203–1210. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.02.003>
- Wanja, D. W., Mbutia, P. G., Waruiru, R. M., Mwadime, J. M., Bebora, L. C., Nyaga, P. N., & Ngowi, H. A. (2020). Fish husbandry practices and water quality in central Kenya: potential risk factors for fish mortality and infectious diseases. *Veterinary Medicine International*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/6839354>
- Welker, A. F., Moreira, D. C., Campos, É. G., & Hermes-Lima, M. (2013). Role of redox metabolism for adaptation of aquatic animals to drastic changes in oxygen availability. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 165(4), 384–404. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.04.003>

- Zhu, N., Ji, X., Tan, J., Jiang, Y., & Guo, Y. (2021). Prediction of dissolved oxygen concentration in aquatic systems based on transfer learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105888. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105888>
- Zweig, R., Morton, J. D., & Stewart, M. M. (1999). *Source Water Quality for Aquaculture A Guide for Assessment* (Environmentally and socially sustainable development). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://freshwater-aquaculture.extension.org/wp-content/uploads/2019/08/Source_Water_Quality_for_Aquaculture_A_Guide_for_Assessment.pdf

7. Anexos

Anexo I: Relação entre % OD, temperatura e salinidade

TEMPERATURE (°C)	SALINITY (g/kg)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.621	14.120	13.636	13.167	12.714	12.277	11.854	11.445	11.051
1	14.216	13.733	13.266	12.815	12.378	11.956	11.548	11.154	10.773
2	13.829	13.364	12.914	12.478	12.057	11.650	11.256	10.875	10.507
3	13.460	13.011	12.577	12.156	11.750	11.356	10.976	10.608	10.252
4	13.107	12.674	12.255	11.849	11.456	11.076	10.708	10.352	10.008
5	12.770	12.352	11.947	11.554	11.175	10.807	10.451	10.107	9.774
6	12.447	12.043	11.652	11.272	10.905	10.550	10.206	9.872	9.550
7	12.139	11.748	11.369	11.002	10.647	10.303	9.970	9.647	9.335
8	11.843	11.465	11.098	10.743	10.399	10.066	9.744	9.431	9.128
9	11.559	11.194	10.839	10.495	10.162	9.839	9.526	9.223	8.930
10	11.288	10.933	10.590	10.257	9.934	9.621	9.318	9.024	8.739
11	11.027	10.684	10.351	10.028	9.715	9.412	9.117	8.832	8.556
12	10.777	10.444	10.121	9.808	9.505	9.210	8.925	8.645	8.379
13	10.537	10.214	9.901	9.597	9.302	9.017	8.739	8.470	8.210
14	10.306	9.993	9.689	9.394	9.108	8.830	8.561	8.300	8.046
15	10.084	9.780	9.485	9.198	8.921	8.651	8.389	8.135	7.888
16	9.870	9.575	9.289	9.010	8.740	8.478	8.223	7.976	7.737
17	9.665	9.378	9.099	8.829	8.566	8.311	8.064	7.823	7.390
18	9.467	9.188	8.917	8.654	8.399	8.151	7.910	7.676	7.449
19	9.276	9.005	8.742	8.486	8.237	7.995	7.761	7.533	7.312
20	9.092	8.828	8.572	8.323	8.081	7.846	7.617	7.395	7.180
21	8.914	8.658	8.408	8.166	7.930	7.701	7.479	7.262	7.052
22	8.743	8.493	8.250	8.014	7.785	7.561	7.344	7.134	6.929
23	8.578	8.334	8.098	7.867	7.644	7.426	7.214	7.009	6.809
24	8.418	8.181	7.950	7.725	7.507	7.295	7.089	6.888	6.693
25	8.263	8.032	7.807	7.588	7.375	7.168	6.967	6.771	6.581
26	8.113	7.888	7.668	7.455	7.247	7.045	6.849	6.658	6.472
27	7.968	7.748	7.534	7.326	7.123	6.926	6.734	6.548	6.366
28	7.827	7.613	7.404	7.201	7.003	6.810	6.623	6.441	6.263
29	7.691	7.482	7.278	7.079	6.886	6.698	6.515	6.337	6.164
30	7.558	7.354	7.155	6.961	6.772	6.589	6.410	6.236	6.066
31	7.430	7.230	7.036	6.846	6.662	6.483	6.308	6.137	5.972
32	7.305	7.110	6.920	6.735	6.555	6.379	6.208	6.042	5.880
33	7.183	6.993	6.807	6.626	6.450	6.278	6.111	5.948	5.790
34	7.065	6.879	6.697	6.520	6.348	6.180	6.017	5.857	5.702
35	6.949	6.767	6.590	6.417	6.248	6.084	5.924	5.768	5.617
36	6.837	6.659	6.485	6.316	6.151	5.991	5.834	5.681	5.533
37	6.727	6.553	6.383	6.218	6.056	5.899	5.746	5.597	5.451
38	6.619	6.449	6.283	6.121	5.963	5.810	5.660	5.513	5.371

Figura 33. Relação entre % OD consoante a temperatura e salinidade presente no tanque (Fondriest Environmental, 2013).

Anexo II: Correlação de *Spearman*

Tabela 10. Correlação de *Spearman* entre os parâmetros avaliados (temperatura, salinidade, pH, OD, amoníaco, nitritos, nitratos e troca de água).

Parâmetro	Estatística	Temperatura (°C)	Salinidade (ppm)	pH	OD (%)	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Trocas de água
Temperatura (°C)	CC	1,000	0,586**	-0,322**	-0,070**	-0,011	0,043	0,435**	-0,689**
	p		0,000	0,000	0,008	0,867	0,534	0,000	0,000
	n	1450	1450	1224	1449	253	215	227	266
Salinidade (ppm)	CC	0,586**	1,000	-0,146**	-0,039	-0,104	0,164*	0,299**	-0,450**
	p	0,000		0,000	0,135	0,099	0,016	0,000	0,000
	n	1450	1450	1224	1449	253	215	227	266
pH	CC	-0,322**	-0,146**	1,000	-0,004	0,042	0,149*	0,161*	0,143*
	p	0,000	0,000		0,894	0,540	0,042	0,024	0,030
	n	1224	1224	1224	1223	214	185	197	229
OD (%)	CC	-0,070**	-0,039	-0,004	1,000	0,002	-0,294**	-0,144*	0,181**
	p	0,008	0,135	0,894		0,971	0,000	0,030	0,003
	n	1449	1449	1223	1449	253	215	227	266
NH ₃ (mg/L)	CC	-0,011	-0,104	0,042	0,002	1,000	0,164*	0,049	-0,162*
	p	0,867	0,099	0,540	0,971		0,017	0,480	0,020
	n	253	253	214	253	253	212	212	208
NO ₂ ⁻ (mg/L)	CC	0,043	0,164*	0,149*	-0,294**	0,164*	1,000	0,215**	-0,189**
	p	0,534	0,016	0,042	0,000	0,017		0,002	0,008
	n	215	215	185	215	212	215	211	198
NO ₃ ⁻ (mg/L)	CC	0,435**	0,299**	0,161*	-0,144*	0,049	0,215**	1,000	-0,409**
	p	0,000	0,000	0,024	0,030	0,480	0,002		0,000
	n	227	227	197	227	212	211	227	203
Trocas de água	CC	-0,689**	-0,450**	0,143*	0,181**	-0,162*	-0,189**	-0,409**	1,000
	p	0,000	0,000	0,030	0,003	0,020	0,008	0,000	
	n	266	266	229	266	208	198	203	267

CC: coeficiente de correlação de *Spearman*, p: significância, n: número de amostras, OD: oxigênio dissolvido, NH₃: amoníaco, NO₂⁻: nitritos, NO₃⁻: nitratos; * p<0,05; ** p<0,01