



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha

Aplicação do Modelo Aditivo Generalizado para Analisar a Dinâmica da Concentração de Nutrientes no Canal de Bombeamento de Água para a Aquacultura – Chuabo Dembe, Quelimane.



Autora:

Luísa Jaquelina Baptista Banze



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha

Aplicação do Modelo Aditivo Generalizado para Analisar a Dinâmica da Concentração de Nutrientes no Canal de Bombeamento de Água para a Aquacultura – Chuabo Dembe, Quelimane.

Autora:

Luísa Jaquelina Baptista Banze

Supervisor:

Anildo Naftal Nataniel

Quelimane, Março de 2019

Dedicatória

*‘Mas buscai primeiro o Reino de Deus, e a sua justiça, e todas estas coisas vos serão acrescentadas.’
‘Mt 6.33’*

Dedico este trabalho aos meus pais Baptista Jossías Jonas Banze & Ana Maria Langa e os meus irmãos Júlio Baptista, Mércia Matilde e Shélcia Banze no Senhor Jesus Cristo, por depositarem o seu amor em mim e pelo apoio redobrado. Amo muito a vocês, a minha vida tem sabor com a vossa existência.

Salmos 37: 4-6

- 4. Deleita-te também no Senhor, e Ele te concederá o que deseja o teu coração.*
- 5. Entrega o teu caminho ao Senhor; confia n’Ele, e Ele tudo fará.*
- 6. E Ele fará sobressair a tua justiça como a luz; e o teu juízo, como o meio-dia.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço à Deus pelo Seu Filho Jesus por ter-me resgatado do abismo, por hoje ser o Senhor e Salvador da minha vida, por me fazer entender que de tempestades e bonanças não devo mais temer ondas e ventos, porque o que pra mim é impossível pra Deus é só questão de tempo, por mais que o mar seja grande e eu pequena, Deus nunca vai-me abandonar, é só uma história para eu viver e experiência pra contar, e isso é Jesus a me moldar!

Agradeço a minha querida mãe (Ana Maria Langa) pelo grande amor que está cheio no coração dela, por me amar a mim e aos meus irmãos e por ser grande mulher batalhadora, mulher de Deus, que não mede esforços, mesmo doente, cansada ela batalha para nos ver felizes e estudando; agradeço ao meu querido Pai (Baptista Jossías Jonas Banze) que também nos ama muito e batalha para nos ver estudando. Ao meu pai na fé, José Humberto e a sua esposa Camila, ao pastor António e sua esposa Ângela, pastor Pelembe, Daniel e Simon vos digo muito obrigada por tudo quanto vocês fazem em minha vida, se cresço hoje espiritualmente é graças a Deus que vos colocou na minha vida. E agradeço a todos os meus irmãos em Cristo que sempre têm me apoiam.

Irmãos (Júlio Baptista, Mércia Matilde e Shélcia Banze) muito obrigada meus amores por tudo que vocês significam pra mim, minha cunhada (Marcelina Cuna) & minhas sobrinhas (Janifa Júlio & Mayra Júlio), I love you!

Aos meus avos (Matilde Matche & Marcos Júlio Langa) que sempre tem demonstrado amor por mim, e me ajudam bastante no companheirismo, nas orações, financeiramente; obrigada! Ao meu avo (Jossías Jonas Banze) que me ama bastante, obrigada pelo apoio avo! Minhas queridas avos, Anifa, Flora muito obrigada pelas orações!

As minhas tias amadas (Lurdes Mónica Langa, Elsa Matilde Langa e Luísa Amélia Langa ‘Chara’) pelo amor fraternal e pelo grande apoio em tudo, kanimambo!

Meus tios Jorge Marcos Langa, José Marcos Langa, Armando Marcos Langa, Agostinho Marcos Langa, Simões Chilaúle & Shanito muito obrigada pela força e apoio. Aos meus primos, Cândida, Peto, Mariza, Márcio, entre outros obrigada pelo amor e apoio.

Aos meus amigos e colegas da Residência (RF &RM), da escola, Ornela Fumo, Cacilda Munguambe, Cacilda Nhanombe, Ana Machiane, Neide Calucha, Edna Mavie, Armando Pelembe, Elias Cumbane,

Levi, Edilson Paulo, Adriano Muhate, Deuclésio, Gláucia, Justino, Sadia Acub, Basílio, Guelton, Sérgio Trump, Kátia, Carlota Covane, Matusse, Leovistónia Cumbe, Adelaide Bambo, Yula Rufino, Sara David, minha afilhada Isabel, Marlene, Farida, Alcinda, Ana, Cacilda, Célia, Ricardo, Oldim, Beto, Francisco, Da Gama, Dinis, João, Adolfo, Mamudo, David, Júlio, Esperado, Valentim, Amós, Júnior, Evandro, Erzídio, Anibal, Adilson, Tácio, Momed, Wilberth, e a todos meus colegas muito obrigada, vocês são uma parte de mim.

Aos meus manos que já saíram da ESCMC, Sevene Nhamposse, Cláudia, Balbina, Sérgio, Mavie, Salvador, Massicane, Jamisse, Flávio, Evaristo, Erasnes, Jéssica, Helena, Páscoa, Nélia, Célia, Salgueiro, meu padrinho Sodasse, Beto, Lucas, Debiene, Nelton, Tembe, Timba entre outros, muito obrigada, meus amores e brinquedos!

A mãe Cádía e diácono Adolfo, pelo papel de mãe e pai aqui em Quelimane pra minha vida muito obrigada, e a Bruna e Dianora as amigas que me foram concedidas por Deus, muito obrigada.

Em especial agradeço ao meu supervisor Anildo Nataniel Naftal, pelo maior apoio e/ou ajuda para a realização do meu trabalho.

Declaração de compromisso honra

Eu, Luísa Jaquelina Baptista Banze declaro que esta monografia intitulada “*Aplicação do Modelo Aditivo Generalizado para analisar a Dinâmica da Concentração de Nutrientes no Canal de Bombeamento de Água para a Piscicultura – Chuabo Dembe, Quelimane*”, nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado do meu labor individual. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha, da Universidade Eduardo Mondlane.

(Assinatura)

(Luísa Jaquelina Baptista Banze)

Quelimane, Março de 2019

Resumo

Este estudo tem como objectivo principal, desenvolver modelos aditivos generalizados que determinam a dinâmica da concentração dos nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) para aplicação no canal de bombeamento de água para a aquacultura no chuabo Dembe em Quelimane. Os dados foram colhidos durante dois dias correspondentes à 23 de Junho e 13 de Dezembro do ano 2017. Foi feita a análise exploratória das co-variáveis testando a colinearidade, normalidade e homogeneidade da variável resposta. Foi usado o GAM no programa R versão 3.5.0 2018 para prever as de $[\text{NH}_4^+]$, $[\text{NO}_3^-]$ e $[\text{PO}_4^{3-}]$. A selecção do GAM foi feita na base da eliminação das variáveis não significativas ($p\text{-value} > 0.05$). Para validar o GAM, baseou-se no AIC (Critério de Informação de Akaike), GCV (“*General cross validation*”) e o método gráfico. GAM explicou o desvio de 99.30%, 97.20% e 90.40% para Amónia, Nitrato e Fosfato respectivamente. Para a $[\text{NH}_4^+]$, as variáveis preditivas seleccionadas pela ordem de significância foram: CE, ATM, Hora, VC, TS e Tb; para a $[\text{NO}_3^-]$: TS, CE, VC, Hora, MOD e Tb; e para a $[\text{PO}_4^{3-}]$: MOD, CE, TS, Tb, Hora e VC. A partir da análise feita verificou-se que o GAM pode ser aplicado para modelar a concentração de nutrientes pois, os resultados preliminares mostraram que pode-se bombear a água rica em nutrientes no período da tarde, embora os dados não foram suficientes para obter uma conclusão robusta.

Palavras-chave: Amónia; Nitrato; Fosfato; Canal de Chuabo-Dembe e GAM.

Abstract

This study aims to develop generalized additive models that determine the nutrient concentration dynamics (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) for application in the water pumping channel for aquaculture at the Chuabo Dembe in Quelimane. The data were collected during two days corresponding to June 23 and December 13, 2017. The exploratory analysis of the covariates was performed by testing the collinearity, normality and homogeneity of the response variable. GAM was used in program R version 3.5.0 2018 to predict those of $[\text{NH}_4^+]$, $[\text{NO}_3^-]$ and $[\text{PO}_4^{3-}]$. The GAM selection was based on the elimination of non-significant variables ($p\text{-value} > 0.05$). To validate the GAM, it was based on the AIC (Akaike Information Criterion), GCV (General Cross Validation) and the graphical method. GAM explained the deviation of 99.30%, 97.20% and 90.40% for Ammonia, Nitrate and Phosphate respectively. For $[\text{NH}_4^+]$, the predictive variables selected by order of significance were: EC, ATM, Time, VC, TS and Tb; for $[\text{NO}_3^-]$: TS, CE, VC, Time, MOD and Tb; and for $[\text{PO}_4^{3-}]$: MOD, CE, TS, Tb, Time and VC. From the analysis made it was verified that GAM can be applied to model the nutrient concentration because, preliminary results showed that the nutrient-rich water can be pumped in the afternoon, although the data were not sufficient to obtain a robust conclusion.

Keywords: Ammonia; Nitrate; Phosphate; Chuabo-Dembe Channel and GAM.

Tabela de abreviaturas

Tabela i: Lista de abreviações e significados

Símbolo	Significado
GAM	Modelo Aditivo Generalizado
CE	Condutividade Eléctrica
TS	Temperatura
ATM	Altura da Maré
Tb	Turbidez
VC	Velocidade das Correntes
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
AIC	Critério de Informação de Akaike
GCV	Generalized Cross validation (validação da curva generalizada)
EDF	Graus de Liberdade Efectivos do Modelo
DF. Residual	Grau de Liberdade Residual
N	Número de amostra
NH ₄ ⁺	Amónia ionizada
NO ₃ ⁻	Nitrato
PO ₄ ³⁻	Fosfato
mg l ⁻¹	miligramas por litro
ms ⁻¹	metros por segundo
mscm ⁻¹	milisemens por centímetro
psu	unidade de salinidade prática
GMT	Tempo Médio de Greenwich
FTU	Unidade de Turbidez Formazina
ESCMC	Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras
UEM	Universidade Eduardo Mondlane

Lista de figuras

Nº	Título da figura	Página	
1	Localização da área de estudo	11	
2	Ajustes de variáveis preditivas que modelam a variação da concentração de Amónia no canal de Chuabo- Dembe.	16	
3	Concentração de Amónia observado e modelado no canal do Chuabo-Dembe.	17	
4	Ajustes de variáveis preditivas que modelam a variação da concentração de Nitrato no canal de Chuabo- Dembe.	18	
5	Concentração de Nitrato observado e modelado no canal do Chuabo-Dembe.	19	
6	Ajustes de variáveis preditivas que modelam a variação da concentração de Fosfato no canal de Chuabo-Dembe.	20	
7	Concentração de fosfato observado e modelado no canal do Chuabo-Dembe.	21	
Anexos			
Nº da figura	Nº do anexo	Título da figura	Página
1	1	Diagramas de quartis de concentração de amónia, nitrato e fosfato respectivamente.	33
2	2	Classificação das variáveis pela ordem decrescente do valor de importância.	34
3	3	Correlação das variáveis preditivas para os modelos de concentração dos nutrientes.	35
4	4	Gráficos de validação do modelo da concentração de Amónia.	36
5	4	Gráficos de validação do modelo da concentração de Nitrato.	37
6	4	Gráficos de validação do modelo da concentração de Fosfato.	38

Lista de tabelas

Nº	Título da tabela	Página
i	Lista de abreviações e significados	vii
1	Modelos seleccionados da variação da concentração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) no canal de Chuabo-Dembe.	15

Índice	pág.
CAPÍTULO I	
1.Introducao	1
1.1.Problematizacao e Justificativa.....	2
1.2. Objectivos.....	3
1.2.1.Geral.....	3
1.2.2.especificos.....	3
CAPÍTULO II	
2.revisao de literatura.....	4
2.1.Estuário e a sua importância.....	4
2.2.Canais estuarinos	4
2.3.Nutrientes.....	4
2.4.Importância dos nutrientes para aquacultura.....	5
2.5.Amonia.....	5
2.6.Nitrato.....	6
2.7.Fosfato.....	6
2.8.Dinâmica de nutrientes no estuário.....	7
2.9. Factores químicos e físicos quem influenciam na dinâmica concentração dos nutrientes.....	8
a)Oxigénio dissolvido.....	8
b)Matéria orgânica dissolvida.....	8
c)Velocidade das correntes.....	8
d)Salinidade.....	8
e)Condutividade eléctrica.....	9

f)Altura da maré.....	9
g)Temperatura.....	9
h)Turbidez.....	10
2.10.Modelo Aditivo Generalizado (GAM).....	10

CAPÍTULO III

3. Metodologia.....	11
3.1. Área de estudo.....	11
3.2. Descrição de dados.....	12
3.3. Análise de dados.....	12

CAPÍTULO IV

4. Resultados.....	15
4.1. Concentração de Amónia Dissolvido (NH_4^+).....	16
4.2. Concentração de Nitrato Dissolvido (NO_3^-).....	18
4.3. Concentração do Fosfato dissolvido (PO_4^-).....	20
5. Discussão.....	22
5.1. Aspectos Gerais do Modelo GAM na Dinâmica dos Nutrientes.....	22
5.2. Concentração de Amónia Dissolvido [NH_4^+].....	22
5.3. Concentração de Nitrato Dissolvido [NO_3^-].....	24
5.4. Concentração de Fosfato Dissolvido [PO_4^-].....	25

CAPÍTULO V

6. Conclusões.....	27
7. Recomendações.....	28

Referências bibliográficas.....29

ANEXOS.....32

CAPÍTULO I

1. Introdução

De um modo geral, os estuários são corpos de água de pequena profundidade, com volumes que dependem das estações de inverno e verão, fundos lamosos e também com dinâmica dependente do balanço entre precipitação, evaporação e altura das marés (Eschrique, 2011).

Os sistemas estuarinos são os principais fornecedores de nutrientes para região costeira, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem e podem vir a receber aportes significativos por acção antrópica (Eschrique, 2011), da mesma forma os canais estuarinos por acção antrópica podem receber quantidades significativas de nutrientes. O aumento da concentração de nutrientes nas águas estuarinas e costeiras provoca diversas modificações no meio, podendo produzir um aumento da produtividade e rendimento pesqueiro (Filho *et al.*, 2003; Eschrique, 2011).

O estuário dos Bons Sinais possui uma grande importância pelo facto de proporcionar a pesca, o turismo, o porto de Quelimane que facilita a troca de mercadorias, pelo seu alto valor ecológico, densidades de mangais que proporcionam locais de reprodução para vasta gama de espécies marinhas com alto valor económico, no que diz respeito ao desenvolvimento das actividades de aquacultura e tem sido nos últimos anos alvo de vários estudos em diferentes áreas de acção como, na Química Marinha, Biologia Marinha, Oceanografia e Geologia Marinha (Timba, 2013).

O estuário dos Bons Sinais é suprido de nutrientes dissolvidos e particulados provenientes de diversas fontes, isso deve-se ao facto do estuário banhar algumas Ilhas da Província da Zambézia florestadas de mangal e uma parte da cidade de Quelimane, que é caracterizada por actividades antrópicas (Nhamposse, 2017). Este, apresenta uma variedade de canais sujeitas á oscilações da maré e descargas de água doce que acaba sendo um contributo importante em aquacultura (Jamisse, 2017) pelo facto de exportar nutriente, o que possibilita a aquisição dos mesmos para a actividade aquícola.

É de extrema importância estudar a concentração de nutrientes, pois além do mais, contribui na obtenção de informações referentes a condições biogeoquímicas do estuário (Nhamposse, 2017). Assim, o presente trabalho visa em desenvolver um modelo eficaz para a determinação da dinâmica da concentração dos nutrientes limitantes seleccionados para aplicação no canal de bombeamento de água para a aquacultura no Chuabo Dembe em Quelimane.

1.1.Problematização e Justificativa

A aquacultura vem apresentando um crescimento muito rápido nas últimas décadas em decorrência da demanda crescente por produtos aquáticos acrescida pela incapacidade do sector pesqueiro de suprir essa demanda através do peado (Queiroz & Frighetto, 2005).

No entanto, o maior déficit de nutrientes que tem sido verificado na água usada para a aquacultura no laboratório de aquacultura da ESCMC-UEM entre outras áreas, induz os produtores e investigadores da área da aquacultura a aplicar os fertilizantes artificiais disponíveis no mercado, e essa aquisição de nutrientes artificiais acaba elevando os custos dos ensaios de produção. Por outro lado, os investigadores recorrem ao uso de modelos de regressão linear para prever a variação da concentração de nutrientes e respectivo crescimento das espécies cultivadas tendo mostrado uma limitação pelo facto de avaliar as variáveis preditivas separadamente.

Neste contexto, foi realizado este estudo com objectivo de determinar os intervalos óptimos de concentração dos nutrientes para maximizar o bombeamento de água rica em nutrientes para as experiências de aquacultura, diminuindo relativamente a aplicação de nutrientes inorgânicos artificiais que são dispendiosos. Por outro lado, pretende-se testar a aplicação do GAM, no estudo da dinâmica de nutrientes pela sua flexibilidade em modelar correlações entre as co-variáveis não lineares e a variável resposta, caso concreto deste estudo, a dinâmica da concentração de nutrientes. O GAM permite a integração das variáveis preditivas e as respectivas interações.

1.2.Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

- ✓ Desenvolver modelos aditivos generalizados que determinam a dinâmica da concentração dos nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) para aplicação no canal de bombeamento de água para a aquacultura no Chuabo Dembe em Quelimane.

1.2.2. Objectivos específicos

- ✓ Desenvolver o modelo de concentração de cada tipo de nutriente;
- ✓ Determinar os intervalos ótimos das variáveis preditivas de cada modelo.

CAPÍTULO II

2. Revisão da Literatura

2.1. Estuário e a sua importância

Os estuários são ambientes transição, podendo estes serem encontrados em todas as partes literárias do mundo, em diferentes condições ambientais como clima e regimes de maré que condiciona a diferenciação ambiental dum ecossistema do outro (Timba, 2013). Segundo Melo (2017), o estuário é um corpo de águas semifechadas onde acontece a diluição mensurável da água do mar pela água doce que provem da drenagem continental, tendo uma conexão livre com o mar aberto.

Os estuários mostram-se ser mais produtivos em relação às outras áreas sejam marinhas ou continentais, pois estes recebem variedade de nutrientes provenientes de outros ecossistemas pelos processos (intemperismo, da lixiviação, das ressurgências costeiras) que influenciam directamente na produtividade do ambiente estuarino. Os rios exercem uma função muito importante no transporte de matéria, pois funcionam como canais de escoamento, dentro de processos aluvias como, erosão, transporte e sedimentação (Melo, 2017).

2.2. Canais estuarinos

Canal estuarino acaba sendo considerado como estuário, o que os difere é o facto de o canal ter uma conexão livre e directa com o estuário, e o estuário por sua vez, ter uma conexão livre e directa com o mar (Silva, 2009).

2.3. Nutrientes

Os nutrientes principalmente os limitantes são constituintes essenciais envolvidos no processo de formação da matéria orgânica nos seres vivos, iniciando-se nos produtores primários, no caso de sistemas aquáticos, do fitoplâncton, chegando até ao organismo de topo da cadeia alimentar (Eschrique, 2011). Entre os principais nutrientes inorgânicos dissolvidos presentes em corpos de água destacam-se os seguintes: nitrogénio (NID=amónia + nitrato + nitrito), fosfato e silicato, os quais possibilitam o desenvolvimento dos organismos do fitoplâncton (Melo, 2017).

2.4. Importância dos nutrientes para aquacultura

Segundo Melo (2017), dentre os nutrientes (nitrogénio, fosfato e silicato) que possibilitam o desenvolvimento dos organismos do fitoplâncton, o nitrogénio e o fosfato são limitantes e mais importantes à produtividade primária, tendo em conta que no metabolismo dos ecossistemas aquáticos ou mesmo na aquacultura o nitrogénio participa na forma de proteínas e o fosfato contribui no armazenamento de energia e estruturação da membrana celular.

Os nutrientes podem ser considerados como elementos importantes à manutenção da produtividade dos corpos hídricos, mas a origem natural ou antrópica, e a quantidade de nutrientes carregados pelos rios influenciam na produção do ecossistema podendo provocar níveis elevados de eutrofização (Melo, 2017).

2.5. Amónia

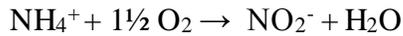
É um composto químico constituído por um átomo de azoto (N) e por três átomos de hidrogénio (H), no ambiente é originária de processos metabólicos, agrícolas e industriais, na água geralmente está abaixo de 0,2 mg /L. A Amónia é uma enzima catalisadora de proteínas, e é produto primordial da excreção dos organismos aquáticos. Com tudo, a amónia ou amónia total é a soma da amónia ionizada (NH_4^+) e a amónia não ionizada (NH_3^+). A forma não ionizada da amónia (NH_3^+) é considerada mais tóxica para os organismos aquáticos. Assim, é necessário que haja um equilíbrio da amónia na água, e o mesmo depende geralmente dos parâmetros de pH, da temperatura e da salinidade (Queiroz & Boeira, 2007).

O equilíbrio da amónia em sua solução aquosa ($\text{NH}_3^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$) é extremamente dependente do pH e, em menor grau, da temperatura e concentração iónica, tornando a solução mais ou menos tóxica (Gazzola, 2003).

O ciclo biogeoquímico de nitrogénio nos tanques de aquacultura é depende da actividade biológica, e a amónia que é liberada na água dos tanques pela decomposição da matéria orgânica pode ser usada novamente pelas plantas, ou pode ser nitrificada para nitrato pelas bactérias quimioautotróficas (Queiroz & Boeira, 2007).

A Amónia excretada pelos organismos aquáticos é oxidada em nitrato pela acção das bactérias quimioautotróficas, *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, que transformam a amónia (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-) e, em seguida em nitrato (NO_3^-) (Perreira & Mercante, 2005).

✓ *Nitrossomonas* – Que oxidam amónia ao nitrito:



✓ *Nitrobacter* – Que oxidam nitrito ao nitrato:



2.6.Nitrato

O nitrato é a forma do nitrogénio orgânico que é originado pela redução do nitrogénio orgânico em amoniacal devido a acção bacteriana, pela conversão de nitrogénio amoniacal em nitrito causada pela acção do segundo grupo de bactérias e pela conversão do nitrito em nitrato também pela acção de bactérias (Ferraz & Amaral, 2009).

O nitrato ocorre de forma natural em lagos, rios e mares com uma concentração de cerca de $1\mu\text{g/L}$ que pode aumentar quando as fontes externas desse composto estiverem conectadas a esses mesmos cursos de água e, é considerado o derivado do nitrogénio mais estável (Dellagiustina, 2000).

Queiroz e Boeira (2007), afirmam que a concentração de nitrato e quantidade de fitoplâncton estão directamente relacionadas porque o fitoplâncton é o maior responsável pela produção de matéria orgânica nos ambientes aquáticos. Portanto, a elevada concentração de fitoplâncton pode ser maior indicador da quantidade de nitrato nos tanques de aquacultura, sendo que as taxas de produtividade primária indicam a quantidade de fitoplâncton existente nesses ambientes, isso, estima quantidade de matéria orgânica fixada pela fotossíntese.

2.7.Fosfato

O fósforo é um elemento muito importante para as espécies responsáveis pela produtividade primária (produtores) assim como para os organismos de outros níveis tróficos. Fósforo e os seus derivados são

responsáveis pela estrutura do esqueleto e pela conversão de energia em todo sistema biológico por este elemento participar em processos importantes do metabolismo dos seres vivos, como: na estruturação da membrana celular e no armazenamento de energia através dos fosfolipídeos. Juntamente com o nitrogénio, o fósforo é um elemento indispensável para a formação de proteínas de animais e vegetais (Esteves, 1998). O fitoplâncton absorve intensamente o fósforo apresentado em forma de fosfato que se encontra dissolvido na água. Fosfato é um dos produtos que provem da dissociação do ácido fosfórico (H_3PO_4) (Eschrique, 2011).

O autor acima ainda afirma que, os esgotos urbanos, sem tratamento, contem o fósforo principalmente como ortofosfato e fosfatos inorgânicos condensados (polifosfatos), oriundos de dejectos humanos e efluentes domésticos. Um desses constituintes dos esgotos domésticos são os polifosfatos presentes em produtos de limpeza, outros efluentes podem também conter fósforo em quantidades elevadas, como efluentes de despesca das fazendas de cultivo de camarão e águas de efluentes pluviais, que são ricos em nutrientes dissolvidos e particulados e os provenientes da drenagem de agricultura.

2.8.Dinâmica de nutrientes no estuário

A distribuição dos nutrientes nas águas superficiais é amplamente controlada pelos agentes biológicos, físicos e químicos específicos do ambiente. A quantidade de nutrientes é elevada em estuários muito povoados, devido às entradas de esgotos domésticos e industriais, drenagem urbana e efluente agrícola (Eschrique, 2011).

A quantidade de nutrientes (matéria prima imprescindível para a produção primária) coloca os estuários entre os sistemas mais produtivos do mundo, com eleva taxa de produção primária e de biomassa autotrófica e heterotrófica (Filho *et al.*, 2003). Assim, a entrada de nutrientes de origem antrópica frequentemente se torna muito grande e pode provocar a eutrofização excessiva no meio, em particular em ambientes onde a circulação aprisionada (Franco, 2007). Várias alterações nas características químicas e na qualidade da água destes corpos de água também têm sido registadas, como resultado da alteração biogeoquímica dos nutrientes, com muitas consequências ecológicas, como a alteração da composição de espécies, aumento excessivo do fitoplâncton e diminuição dos níveis de oxigénio (Filho *et al.*, 2003; Franco, 2007). Embora, em alguns casos, os nutrientes podem ficar presos nos sedimentos, de modo que a coluna de água não demostre um impacto ambiental importante (Eschrique, 2011).

2.9.Factores químicos e físicos quem influenciam na dinâmica concentração dos nutrientes

a) Oxigénio dissolvido

É a quantidade de oxigénio não-composto dissolvido na água, portanto é uma medida de concentração, tendo como unidade mg/L, também podendo ser expresso em ppm (partes por milhão). É influenciado por diversos factores naturais como a altitude ou a temperatura, que ao aumentar causa uma diminuição na solubilidade do oxigénio na água, e isso deve ser considerado em uma medida de oxigénio dissolvido, dado que um corpo de água pode variar sua temperatura ao longo do ano, do dia e até mesmo no intervalo de uma hora (Montes, 2003). Quanto maior for a velocidade e o volume de um fluxo de água em um corpo d'água, maior será quantidade de oxigénio dissolvido, pois maior será a superfície de água em contacto com a atmosfera ao longo do tempo, portanto quedas de água também aumentam o oxigénio dissolvido. Sólidos dissolvidos ou suspensos diminuem os níveis de dissolução de oxigénio na água (Franco, 2007).

b) Matéria orgânica dissolvida

A matéria orgânica é a fracção orgânica do solo e sedimento, incluindo resíduos vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição, tecidos e células de organismos e substâncias produzidas por habitantes do solo e sedimentos (Dias, 2005).

c) Velocidade das correntes

Os dados de velocidade das correntes são reduzidos para fornecer a velocidade longitudinal do canal, convencionando valores positivos que representam correntes para montante, e valores negativos para jusante. Toda via, as velocidades de correntes são responsáveis pelo transporte e pela distribuição dos nutrientes nos estuários (The Open University, 1999).

d) Salinidade

A salinidade é a quantidade de sal (em gramas) dissolvida num quilograma de água. Esta propriedade varia também em profundidade, como a temperatura, contribuindo para a separação das massas de água com densidades diferentes através da haloclina (Montes, 2003).

Segundo o autor acima, a dinâmica da salinidade influencia na variação dos parâmetros abióticos e bióticos no meio estuarino e na floresta do mangal. A maioria dos compostos químicos e iões existentes

nas águas estuarinas, influenciam na variação das concentrações de nutrientes em locais com salinidade muito alta acima de 30ppm.

e) Condutividade eléctrica

A condutividade da água depende do número de iões dissolvidos por unidade de volume (i.e., salinidade) e da mobilidade dos iões (i.e., temperatura e pressão). Suas unidades são mScm^{-1} (milisemens por centímetro). A condutividade aumenta igualmente pela adição de salinidade a 0.01, um aumento da temperatura de 0.01 °C, e um aumento de profundidade (i.e., pressão) de f 20 m. Para as maiores das aplicações praticas em oceanografia, as mudanças de condutividade são dominadas por mudanças de temperatura (Esteves, 1998).

f) Altura da maré

As marés são movimentos periódicos das águas devido as mudanças nas forças atractivas do Sol e da Lua sobre a Terra em rotação (Nehama, 2004).

A altura da maré é definida pela distância vertical entre o nível do mar em um determinado instante e o nível de redução (plano de referência que constitui a origem de contagem das profundidades e das alturas da maré) (Marone & Mesquita, 1997).

g) Temperatura

A temperatura é um factor determinante no ciclo de vida de vários seres aquáticos, influenciando seu metabolismo e sua reprodução, a temperatura tem influência sobre a energia livre de Gibbs, que interfere na ocorrência de reacções bioquímicas nesses organismos, podendo causar a desnaturação de proteínas, dentre outros efeitos (Montes, 2003). A temperatura também tem influência sobre a solubilidade de gases, seu aumento provoca a diminuição da solubilidade do oxigénio dissolvido e impacta na viscosidade da água, bem como em sua tensão superficial e outros factores (Ferraz & Amaral, 2009).

A temperatura varia ao longo do dia e também ao longo das estações do ano. O efeito da radiação solar directa pode ser amenizado pela presença de mata ciliar no corpo d'água. Mesmo existindo tais variações frequentes de temperatura, o despejo de água muito quente, como o provindo de actividade industrial, em corpos d'água pode ter um impacto deletério no ambiente (Correia *et al.*, 2015).

h) Turbidez

Turbidez é a grandeza que indica o grau de atenuação da luz ao atravessar a água e está associada à presença de partículas em suspensão na água, que, por si só, não representa um risco à saúde. A origem natural dessas partículas vai desde a argila sobre a qual o corpo de água se localiza até plâncton. Sua origem por influência humana pode ser atribuída a actividades de mineração ou resíduos industriais e domésticos, que podem afectar significativamente a turbidez (Correia *et al.*, 2015). Então a turbidez não necessariamente indica um risco para a saúde, mas os sólidos em suspensão podem carregar microorganismos patogénicos ou mesmo causar um desequilíbrio do ecossistema prejudicando a fotossíntese das plantas aquáticas, diminuindo a quantidade de oxigénio e até aumentando a temperatura através de uma maior absorção da radiação solar (Tavares, 2005).

2.10. Modelo Aditivo Generalizado (GAM)

Segundo Hastie e Tibshirani (1990), GAM é um modelo linear generalizado com um preditor linear envolvendo a soma das funções suavizadas das co-variáveis (variáveis preditivas). O modelo pode ser escrito da seguinte forma:

$$g(\mu_i) = X_i^* \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + f_{13}(x_{3i}, x_{4i}) + \dots + f_n(x_n)$$

Onde $\mu_i \equiv E(Y_i)$ sendo que $Y_i \sim$ alguma distribuição da família exponencial. Y_i é a variável resposta, X_i^* é uma coluna da matriz do modelo para os componentes paramétricos, θ é o vector de parâmetros, e f_i são funções suaves das co-variáveis x_k . O modelo permite flexibilidade na especificação da dependência da resposta com as co-variáveis, o uso de modelos com especificações suaves das co-variáveis pode trazer mais informação do que apenas o modelo paramétrico. Esta facilidade e conveniência vêm acompanhadas de dois problemas teóricos. Primeiro é necessário representar esta função suave de alguma maneira, segundo, avaliar o ajuste desta função.

GAM tem sido aplicado em vários estudos como por exemplo, na ecologia para prever abundância e biomassa das espécies aquáticas (Zuur *et al.*, 2009; Maunder *et al.*, 2014; Wood, 2006); na biogeoquímica para a análise da dinâmica de nutrientes (Richard *et al.*, 2013; Robson e Dourdet, 2013); na aquacultura para prever o crescimento das espécies cultivadas (Wood, 2006); entre outras.

CAPÍTULO III

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado com base nos dados obtidos no canal Chuabo-Dembe do estuário dos Bons Sinais. O estuário dos Bons Sinais localiza-se no centro do país concretamente na província da Zambézia com coordenadas de Latitude de $17^{\circ}52'25,67''$ Sul e Longitude de $36^{\circ}51'25,67''$ Este da costa moçambicana, fazendo fronteira com a cidade de Quelimane e distrito de Inhassunge, possuindo uma extensão de 30 km desde a boca até a confluência e 2 km de largura e tem cerca de profundidade média de 12 metros (Timba, 2013).

Este estuário nasce da confluência de dois rios nomeadamente Licuar e Cuácua, para além destes dois rios existem também vários canais que permitem a ligação do próprio estuário e os ecossistemas de mangal, também caracterizada por marés semidiurnas e influenciado por ventos e monções da África Oriental. O clima, dum modo geral, é caracterizado por duas estações distintas: seca ou de inverno entre os meses de Abril e Outubro, e húmida ou de verão entre os meses de Novembro e Março (República de Moçambique, 2005), com temperaturas diurnas superiores a 30°C na estação quente, e na estação fria podem baixar até 20°C (INAHINA, 2000).

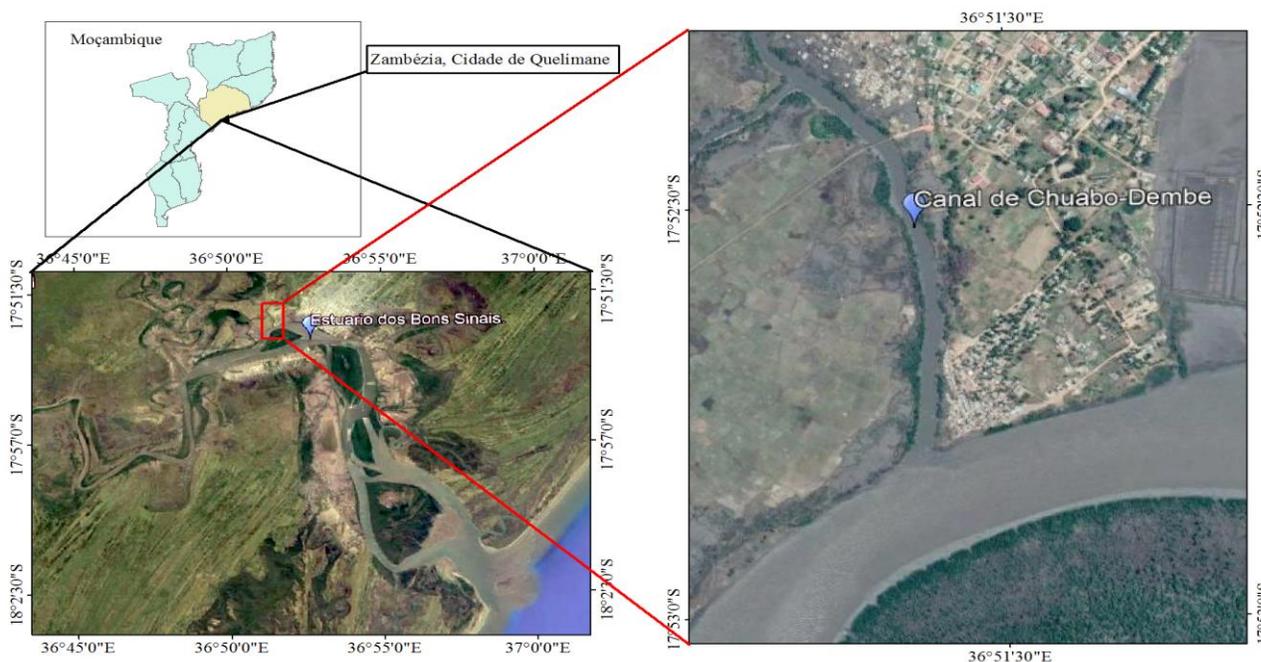


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo (arcgis 10.5; Google Earth).

3.2.Descrição de dados

Os dados usados foram colhidos durante dois dias correspondentes à 23 de Junho e 13 de Dezembro do ano 2017 (Jamisse, 2017). Na amostragem foram recolhidas amostras de água em intervalos regulares de uma hora para análise laboratorial da concentração de nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) em mgL^{-1} . Paralelamente, a recolha de amostras de água foram medidas variáveis ambientais tal como: Hora (GMT), a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (psu), matéria orgânica dissolvida (mgL^{-1}), turbidez (FTU), oxigénio dissolvido (mgL^{-1}), condutividade eléctrica (mscm^{-1}), velocidade das correntes (ms^{-1}) e maré (m).

3.3.Análise de dados

Para análise de dados, foi usado o programa R versão 3.5.1 2018. Em princípio foi feita a análise exploratória dos dados, que consistiu na detecção dos valores anormais “*outliers*” das variáveis dependentes (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) através do método gráfico do “*boxplot*” (Zuur *et al.*, 2010). Na análise feita constatou-se que todas as variáveis dependentes não apresentaram valores anormais (Anexo 1, figura 1).

Para a selecção das variáveis independentes para o modelo determinou-se o valor da ordem de importância das variáveis, tempo, temperatura, salinidade, matéria orgânica dissolvida, turbidez, oxigénio dissolvido, condutividade eléctrica, velocidade das correntes e maré usando o pacote estatístico “*randomforest*” (Ver anexo 2, figura 2). Em seguida foi usado o teste colinear nos pacotes “*corrplot*” e “*VIF*”. No pacote *corrplot* foram ilustrados todos valores dos coeficientes das correlações das variáveis (anexo3, figura 3), e o investigador decide excluir uma das variáveis colineares cujo coeficiente da correlação do par for superior à 70% (Dormann, *et al.*, 2013). No pacote *VIF* o programa elimina automaticamente uma das variáveis colineares do par até que se atinja um linear do *VIF* no valor de 3 (Hassrick, *et al.*, 2016). Assim, das nove variáveis medidas duas variáveis foram excluídas do modelo, nomeadamente oxigénio dissolvido e salinidade por serem colineares e terem menor valor de ordem de importância.

O modelo aditivo generalizado (GAM) foi usado para estimar a concentração dos nutrientes e avaliar o efeito das variáveis ambientais na concentração dos nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) no canal do Chuabo-Dembe. O modelo com a distribuição de Gauss com a função “*identity link*” é recomendado

para variáveis contínuas (Wood, 2006; Zuur *et al.*, 2009). Cada modelo GAM foi ajustado usando o coeficiente de regressão de spline para modelar os termos não lineares, excepto a variável hora onde a regressão cubica cíclica do spline foi aplicado para ilustrar o comportamento cíclico (Wood, 2006).

Nos modelos, a dimensão k representa os graus de liberdade máximos de cada termo de ajuste, e foi considerado $k=4$ em todas variáveis seleccionadas no modelo, excepto uma variável que foi considerado $k=3$, assegurando que a soma de todos os valores de k em cada modelo seja inferior ao tamanho amostra (N). A selecção das variáveis para incluir em cada GAM foi feita aplicando a eliminação reversa das variáveis, baseando-se nos seguintes critérios: (i) se os valores de confiança à 95% dos termos de ajuste incluírem zero; (ii) se o valor de GCV baixar quando o termo de ajuste não significativo é eliminado (Wood, 2001). (iii) se o valor do critério de informação de Akaike (AIC) baixar quando o termo não significativo for eliminado (Akaike, 1974). Assim, os modelos com valores de recorde muito baixo do GCV e AIC foram seleccionados. Deste modo, os modelos GAM foram ajustados usando a função `gam()` a partir do pacote `mgcv` no R (Wood, 2006). da seguinte forma:

1-Modelo de concentração de Amónia

$$\text{Amónia} = \text{gam}([\text{NH}_4^+] \sim \text{s}(\text{Hora}, k=4, bs="cc") + \text{s}(\text{Condutividade Eléctrica}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Temperatura}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Mare}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Turbidez}, k=3, bs="cs") + \text{s}(\text{Velocidade}, k=4, bs="cs"))$$

2- Modelo de concentração de Nitrato

$$\text{Nitrato} = \text{gam}([\text{NO}_3^-] \sim \text{s}(\text{Hora}, k=4, bs="cc") + \text{s}(\text{Condutividade Eléctrica}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Temperatura}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Matéria Orgânica Dissolvida}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Turbidez}, k=3, bs="cs") + \text{s}(\text{Velocidade}, k=4, bs="cs"))$$

3-Modelo de concentração de Fosfato

$$\text{Fosfato} = \text{gam}([\text{PO}_4^{3-}] \sim \text{s}(\text{Hora}, k=4, bs="cc") + \text{s}(\text{Condutividade Eléctrica}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Temperatura}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Matéria Orgânica Dissolvida}, k=4, bs="cs") + \text{s}(\text{Turbidez}, k=3, bs="cs") + \text{s}(\text{Velocidade}, k=4, bs="cs"))$$

Onde: mgcv- é o pacote estatístico usado no R para modelar a variável resposta; nutriente- variável resposta; s-coeficiente de regressão de spline do ajuste; k-máximo grau de liberdades permitido para o spline; bs- base do spline; cc- regressão cúbica cíclica; cs- regressão cúbica de spline. Os restantes termos são os acrónimos das variáveis consideradas em cada modelo.

A qualidade do ajuste dos modelos de GAM foi estimada como a percentagem do desvio explicado a partir dos residuais (Hastie & Tibshirani, 1990; Wood, 2006; Zuur *et al.*, 2009). Também, foi usado a função `gam.check ()` para a verificação da qualidade do modelo através do método gráfico. Segundo Wood (2006); Zuur *et al.* (2009) GAM próximo do ajuste apresenta: (a) os valores teóricos e da amostra apresentam *qq-plot* muito próximo a uma linha recta e sugere uma distribuição normal; (b) homogeneidade, isto é, os valores do residual em função dos valores modelados deve ser similar na linha do zero; (c) o gráfico da variável observada versus a variável modelada deve ser uma linha recta; (d) o histograma do residual deve apresentar distribuição normal. E as ferramentas do pacote `ggplot2` (Wickham, 2009) foram explorados para visualizar os dados observados e modelados usando os gráficos de barra para detectar a variação diurna.

CAPÍTULO IV

4. Resultados

O resumo estatístico dos modelos candidatos de concentração dos nutrientes dissolvidos NH_4^+ , NO_3^- e PO_4^- estão ilustrados na tabela 1 e, nas figuras 2-7 como sendo a representação gráfica dos melhores ajustes suavizados para o efeito condicional das variáveis preditivas na variável de interesse, isto é, nutriente dissolvido. Os modelos produziram ajustes adequados para os dados considerados baseando-se na percentagem do desvio explicado a partir do modelo GAM (tabela 1) e com pequenas anomalias do residual (figura 4-6, anexo,4). A partir das figuras 4-6, anexo 4 observa-se que o diagnóstico gráfico dos modelos confirmou a normalidade (histograma e “*qq plot*”), homogeneidade da variância (residual versus valores modelados), assim como o ajuste do modelo (valores observados versus valores modelados), isto é, a relação gráfica entre a variável resposta e os valores modelados é linear.

Tabela 1. Modelos seleccionados da variação da concentração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^-) no canal de Chuabo-Dembe. Todos os modelos foram ajustados com a distribuição de Gauss com a função “identity link”. EDF- graus de liberdade efectivos do modelo; AIC- critério de informação de Akaike; GCV- “generalized cross validation”; DF. Residual- grau de liberdade residual; n- número de amostra; Hora- hora do dia em GMT CE- condutividade eléctrica; TS- temperatura da superfície; ATM- altura da maré; Tb- turbidez da água; MOD- Matéria Orgânica Dissolvida; e VC- velocidade das correntes.

Parâmetros	Modelo [NH_4^+]		Modelo [NO_3^-]		Modelo [PO_4^-]	
R ² Ajustado	0.99		0.95		0.81	
Desvio explicado (%)	99.30		97.2		90.40	
AIC	-47.20		28.85		15.27	
GCV	0.01		0.44		0.14	
EDF	13.51		13.28		13.29	
DF. Residual	12.49		12.71		12.71	
N	26		26		26	
Variáveis preditivos	EDF	P-Value	EDF	P-Value	EDF	P-Value
Hora	1.96	<0.001	1.80	<0.001	1.97	<0.1
CE	2.74	<0.001	2.92	<0.001	2.80	<0.01
TS	1.33	<0.01	3.00	<0.001	2.30	<0.01
ATM	2.67	<0.001	-	-	-	-
Tb	2.00	<0.1	0.93	<0.1	2.00	<0.1
VC	1.81	<0.01	2.60	<0.001	1.89	<0.1
MOD	-	-	1.05	<0.1	1.36	<0.001

4.1. Concentração de Amónia Dissolvido (NH_4^+)

O modelo logístico para a concentração de amónia (NH_4^+) dissolvido explicou um ajuste de cerca de 99.30% e $r^2=0.99$ (Tabela 1) para as variáveis preditivas significantes ($p\text{-value} < 0.05$). Cerca de seis variáveis seguiram o critério definido previamente na secção de metodologia de acordo com o nível de ordem de significância (Tabela 1 e Figura 2), nomeadamente: CE, ATM, Hora, VC, TS e Tb. O modelo mostrou melhores resultados de $[\text{NH}_4^+]$ no intervalo das 8 horas até as 14 horas do dia, a condutividade eléctrica entre 38 -55m scm^{-1} e temperatura inferior a 30°C (Figura 2). O efeito da maré mostra uma variação positiva da $[\text{NH}_4^+]$, ou seja, há aumenta durante a enchente quando o canal recebe água do estuário e, os valores de turbidez e velocidade de correntes observados têm efeitos positivos acima de 25.180 FTU e 0.1 ms^{-1} respectivamente (Figura 2).

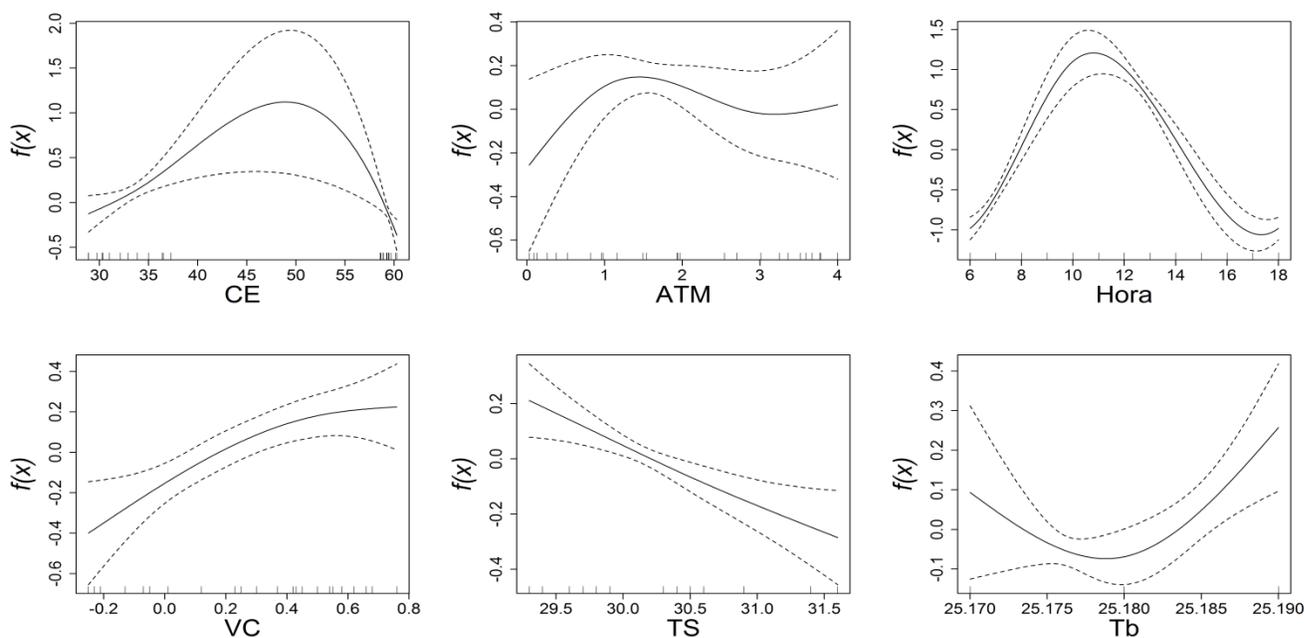


Figura 2: Ajustes de variáveis preditivas que modelam a variação da concentração de Amónia no canal de Chuabo- Dembe. As linhas verticais no eixo abcissas indicam valores observados. No eixo das ordenadas está representada a contribuição dos termos do ajuste do modelo na escala de preditores lineares. As linhas tracejadas indicam o limite inferior e superior à 95% do nível de confiança do ajuste modelado.

A figura 3 mostra a variação dos valores de $[\text{NH}_4^+]$ observados e modelados com GAM. A partir da figura pode-se observar o ajuste dos valores modelados durante as horas de amostragem. Portanto, os valores observados e modelados oscilaram seguindo um padrão numa função quase parabólica, isto é, das 6 horas até 12 horas a variação foi crescente e depois das 12 horas a variação foi decrescente. O erro estimado pelo coeficiente determinístico ajustado entre os dados observados e modelados foi de cerca de 1%, ou seja, $r^2=0.90$ e, a similaridade das médias é observável na figura 3.

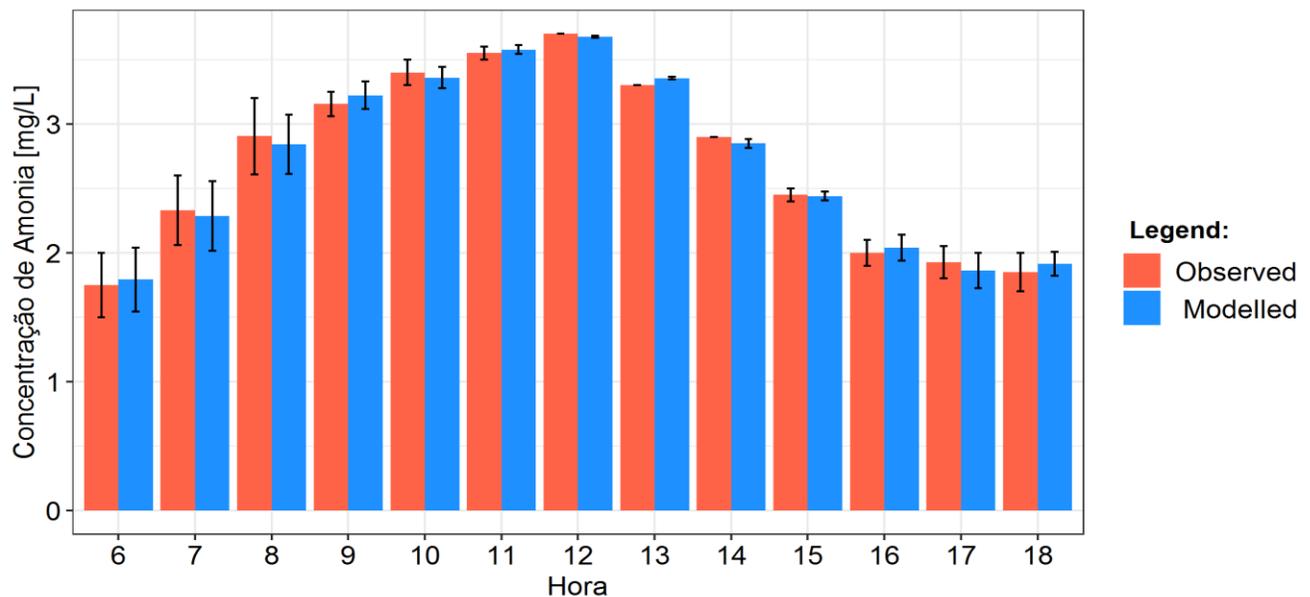


Figura 3: Concentração de Amónia observado e modelado no canal do Chuabo-Dembe. Os dados correspondem as médias de 12 horas de amostragem no canal em dois dias diferentes correspondentes aos meses de Junho e Dezembro de 2017.

4.2. Concentração de Nitrato Dissolvido (NO_3^-)

O GAM para a $[\text{NO}_3^-]$ dissolvido explicou um desvio de ajuste de cerca de 97.20% e r^2 de 0.95 (Tabela 1). As seis variáveis preditivas seleccionados pela ordem do nível de significância (p -value<0.05) para prever a $[\text{NO}_3^-]$ foram: TS, CE, VC, Hora, MOD e Tb. A $[\text{NO}_3^-]$ foi elevada a temperaturas superiores de 30°C , nos valores de condutividade eléctrica abaixo de 30mscm^{-1} e entre 45mscm^{-1} a 55mscm^{-1} e, onde a velocidade das correntes registou valores entre -0.2 e 0.2ms^{-1} e valores maiores que 0.6ms^{-1} . (Figura 4). O efeito da hora do dia é notável no intervalo das 6-12 horas e das 14-18 horas, e altas taxas de matéria orgânica dissolvida e níveis altos de turbidez estão associados a altas concentrações de nitrato (Figura 4).

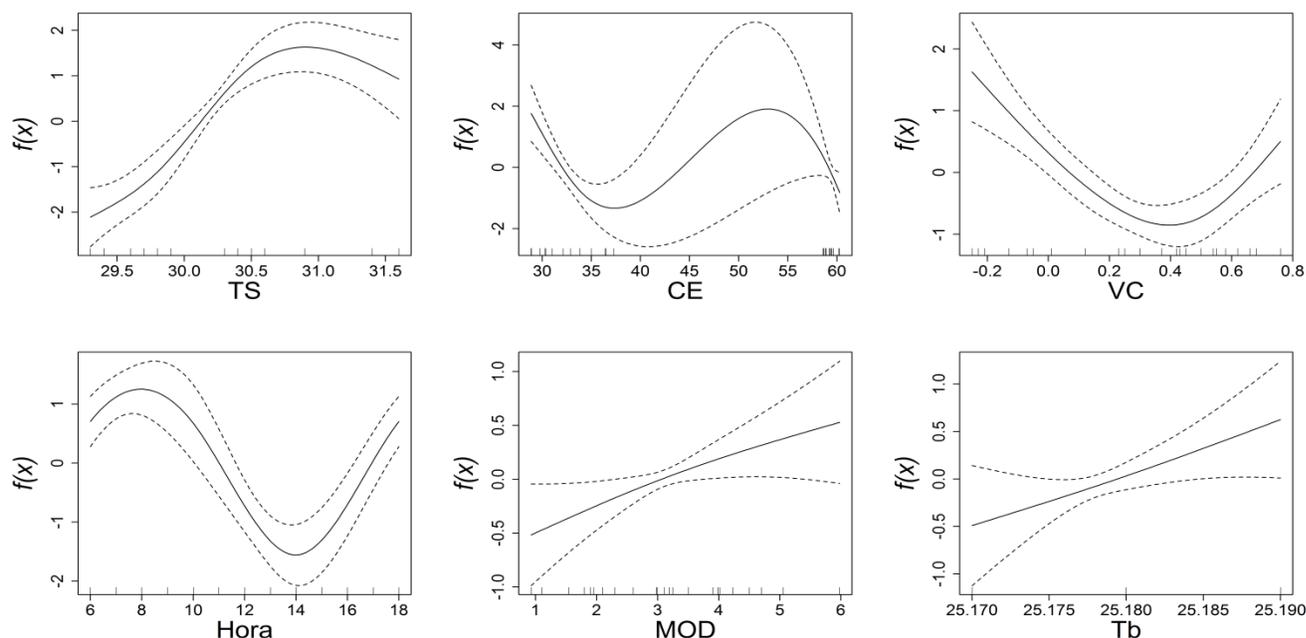


Figura 4: Ajustes de variáveis preditivas que modelam a variação da concentração de Nitrato no canal de Chuabo- Dembe. As linhas verticais no eixo abcissas indicam valores observados. No eixo das ordenadas está representada a contribuição dos termos do ajuste do modelo na escala de preditores lineares. As linhas tracejadas indicam o limite inferior e superior à 95% do nível de confiança do ajuste modelado.

A similaridade das médias dos valores modelados e observados para a $[\text{NO}_3^-]$ está ilustrada na figura 5. O padrão de variação $[\text{NO}_3^-]$ colhido nas amostras assim como o previsto pelo modelo GAM, tendem a seguir uma diminuição exponencial no intervalo das 6 horas até as 15 horas e, a partir das 16 horas a $[\text{NO}_3^-]$ tendem a aumentar. O erro estimado pelo coeficiente determinístico ajustado entre os dados observados e modelados foi de cerca de 1%, ou seja, $r^2=0.97$.

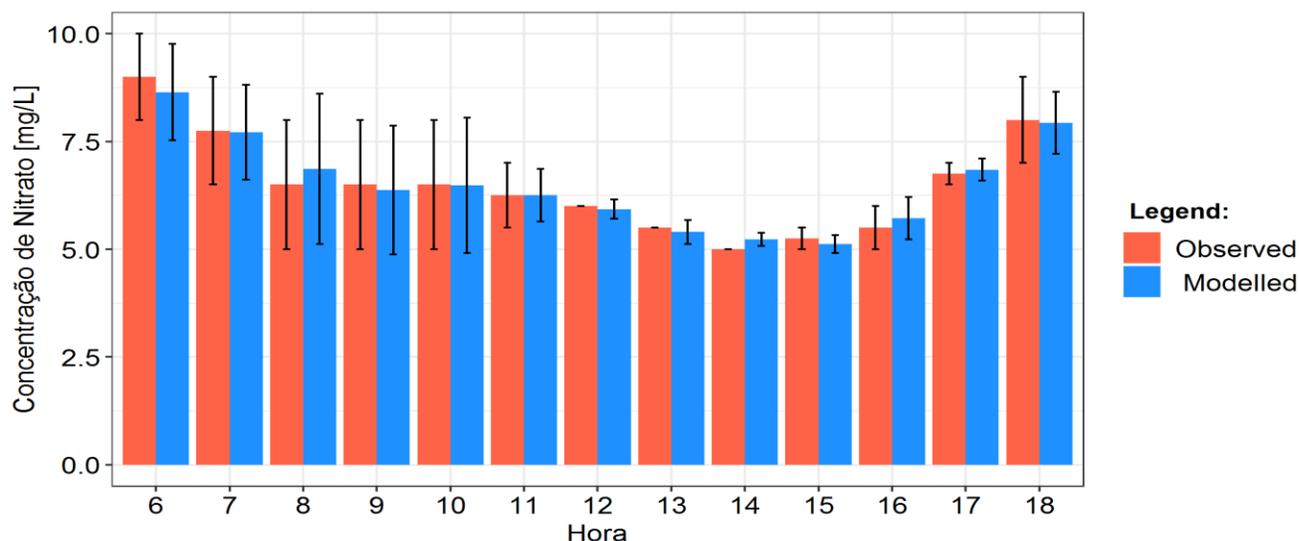


Figura 5: Concentração de Nitrato observado e modelado no canal do Chuabo-Dembe. Os dados correspondem as médias de 12 horas de amostragem no canal em dois dias diferentes correspondentes aos meses de Junho e Dezembro de 2017.

4.3. Concentração do Fosfato dissolvido (PO_4^-)

O modelo aditivo generalizado para a concentração de fosfato (PO_4^-) dissolvido explicou um ajuste de cerca de 90.40% e $r^2=0.81$ (Tabela 1) para as variáveis preditivas significantes ($p\text{-value} < 0.05$). As seis variáveis preditivas seleccionadas de acordo com o nível de ordem de significância (Tabela 1 e Figura 6), foram: MOD, CE, TS, Tb, Hora e VC. O modelo mostrou valores elevados de $[\text{NH}_4^+]$ no intervalo das 6 horas até as 7 horas e das 14 horas até as 18 horas do dia, a condutividade eléctrica entre 29.5-30.5 mScm^{-1} e entre 50-55 mScm^{-1} , a temperatura inferior ou igual a 29.5°C, a matéria orgânica dissolvida apresenta valores entre 4-6 mgL^{-1} (Figura 6). Os valores da turbidez da água e velocidade de correntes observados têm efeitos positivos acima de 25.180-25.190 FTU e $-0.2\text{-}0.1 \text{ ms}^{-1}$ respectivamente (Figura 6).

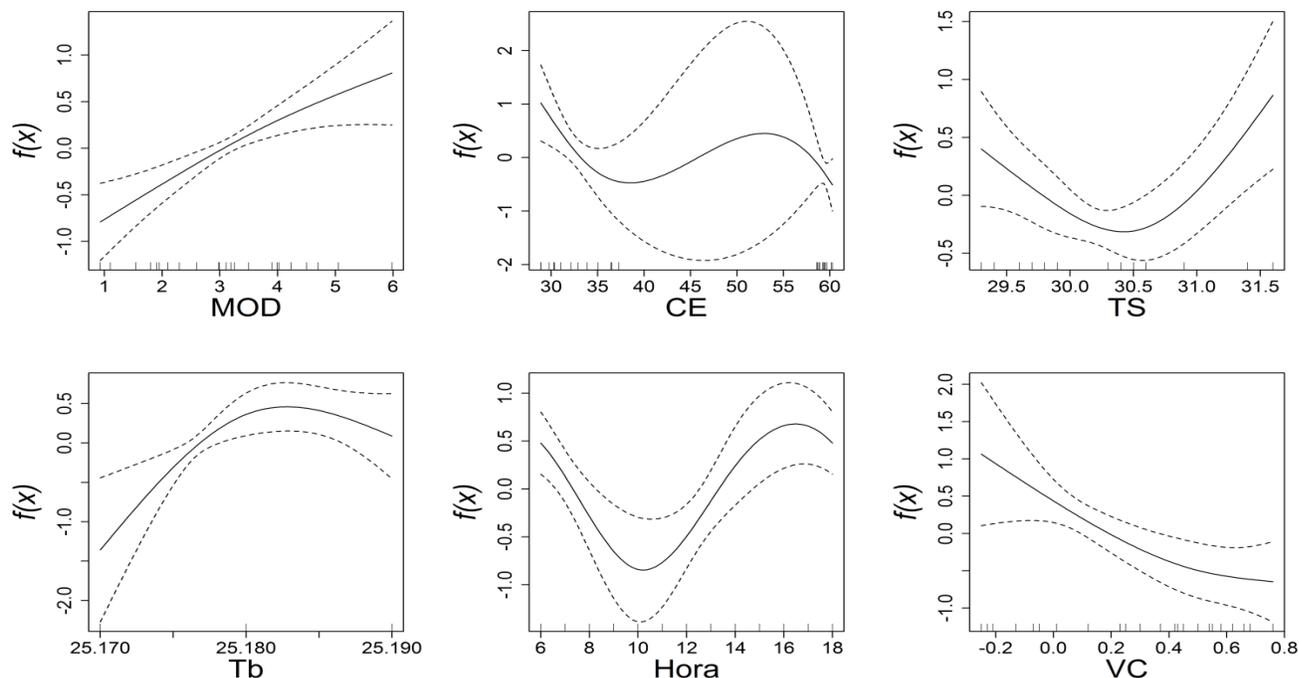


Figura 6: Ajustes de variáveis preditivas que modelam a variação da concentração de fosfato no canal de Chuabo- Dembe. As linhas verticais no eixo abcissas indicam valores observados. No eixo das ordenadas está representada a contribuição dos termos do ajuste do modelo na escala de preditores lineares. As linhas tracejadas indicam o limite inferior e superior à 95% do nível de confiança do ajuste modelado.

A figura 7 mostra a variação dos valores de $[PO_4^{+}]$ observados e modelados com modelo GAM. A partir da figura pode-se observar o ajuste dos valores modelados durante as horas de amostragem. Portanto, os valores observados e modelados oscilaram com a mesma tendência e mostram valores um pouco similares, isto é, das 6 horas até 15 horas a variação foi decrescente e foi aumentando as 16, depois das 17 horas até as 18 horas a variação foi novamente decrescente. O erro estimado pelo coeficiente determinístico ajustado entre os dados observados e modelados foi de aproximadamente 1%, ou seja, $r^2=0.90$ e, a similaridade das médias é observável na figura 7.

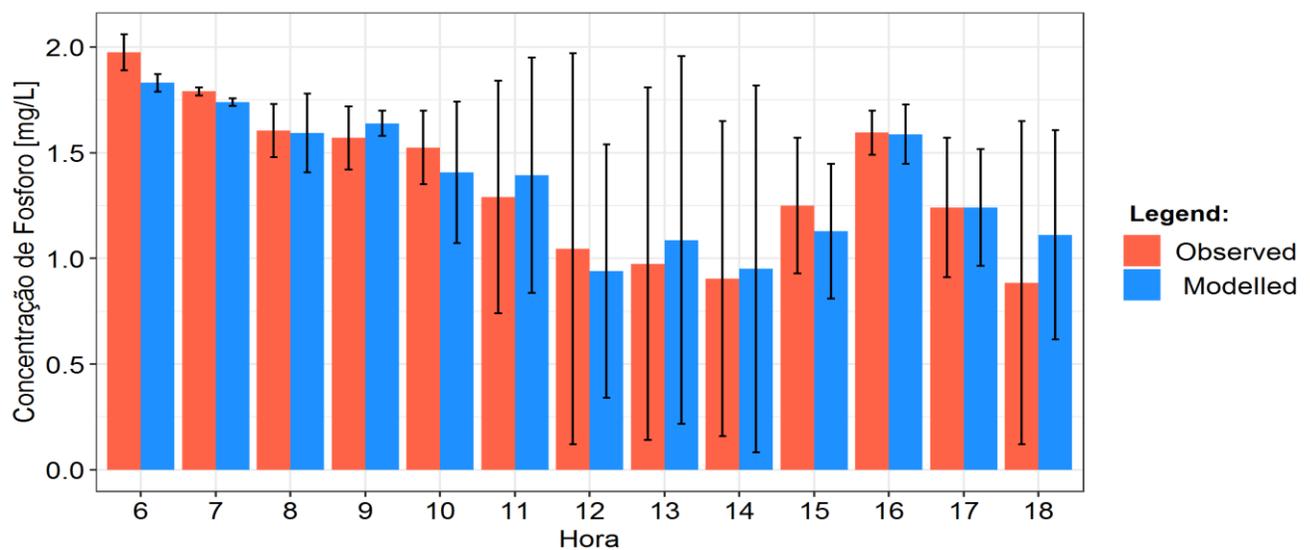


Figura 7: Concentração de fosfato observado e modelado no canal do Chuabo-Dembe. Os dados correspondem as médias de 12 horas de amostragem no canal em dois dias diferentes correspondentes aos meses de Junho e Dezembro de 2017.

5. Discussão

5.1. Aspectos Gerais do Modelo GAM na Dinâmica dos Nutrientes

Este estudo procura evidenciar que a aplicação do GAM pode providenciar grandes melhorias na previsão da dinâmica de concentração dos nutrientes dissolvidos (NH_4^+ , NO_3^- e PO_4^-) comparativamente com uma regressão linear simples. Os dados usados foram amostrados num ponto discreto do canal de Chuabo Dembe, onde tem sido bombeado a água para actividades de aquacultura, no período diurno, isto é, no intervalo das 6 horas até as 18 horas, nos dias 23 de Junho e 13 de Dezembro de 2017. Portanto, a amostragem no período diurno limitou a captação do ciclo periódico completo do dia (24 horas) sobre a dinâmica dos nutrientes dissolvidos no canal, assim como a melhor avaliação do desempenho do GAM para prever o período óptimo favorável entre dia e noite para o bombeamento de água rica em nutrientes dissolvidos para actividades aquícolas. A abordagem sobre a concentração de nutrientes dissolvidos usando o GAM já foi realizada em outros locais tais como a confluência do rio Fitzroy na Austrália (Richards et al., 2013), nos canais tributários do rio Gold Coast Broadwater, também na Austrália (Robson and Dourdet, 2013), entre outros locais.

5.2. Concentração de Amónia Dissolvido [NH_4^+]

Com os resultados da [NH_4^+] obtidos através do GAM, verificou-se uma tendência similar entre os valores observados e modelados com p -value <0.05 e r^2 -ajustado de 0.90%. Também, pode-se notar que modelo usado é adequado, pois, apresentou uma distribuição normal dos valores do residual, a homogeneidade dos valores do residual e valores modelados e a linearidade da variação da variável resposta e variável preditiva (Fig. 4, anexo4), estando em concordância com os autores Wood (2006); Zuur et al. (2009).

Para a concentração de amónia, as três primeiras variáveis preditivas (condutividade eléctrica, altura da maré e a hora) apresentaram alta significância no modelo GAM e as mesmas também foram avaliadas consoante a sua importância ecológica (Zuur et al., 2009) e constatou-se que são muito importantes para a indicação, presença e concentração desse nutriente (Correia et al., 2015).

A concentração de amónia (figura 2) no canal mostrou-se elevada quando a condutividade eléctrica foi de 38-55 ms/cm, a condutividade indica a presença de alta concentração de sais na água, e dependendo

do número de iões dissolvidos e mobilidade dos mesmos iões, esta aumenta com adição de salinidade, temperatura e profundidade e também é um importante indicador de nutrientes (Correia *et al.*, 2015). A condutividade eléctrica aumenta com o aumento das substâncias dissolvidas como a amónia, pois se dissolvem em iões na água e contribuem para a condução da electricidade.

A variação da altura da maré acompanhou de maneira coerente a variação de amónia (figura 2), mostrando que durante a enchente a concentração de amónia teve tendência em aumentar provavelmente pelo condicionamento do transporte desse nutriente do mangal para o canal (Nhamposse, 2017), ou talvez por causa da alta conversão de nitrogénio dissolvido em amónia através da amonificação (Sarmiento & Gruber, 2006).

Os maiores valores da concentração de amónia (figura 2) no canal foram registados das 08 horas às 14 horas durante a enchente (Fig. 2). Assim, pode-se notar que as 12 horas foi o pico máximo da concentração da amónia no canal. E esta elevação na enchente, acredita-se que pode estar ligada a fixação de nitrogénio na coluna de água para depois converter em amónia a partir do processo de amonificação, e por outro lado pode estar associado ao fraco consumo de nutrientes por organismos fotossintéticos (Nhamposse, 2017).

Em relação a velocidade das correntes, na ilustração da figura 2, pode-se notar que a mesma mostrou-se directamente proporcional a concentração da amónia no canal, isto é, a medida que vai aumentando a velocidade a concentração da amónia também segue aumentando, talvez pelo maior volume de água transportado que pode arrastar grande parte dos nutrientes ao longo do canal (Jamisse, 2017).

A temperatura no modelo (figura 2) mostrou um comportamento diferenciado da velocidade das correntes, a mesma é inversamente proporcional a amónia, isto é, quando a temperatura aumenta a concentração de amónia diminui seguindo uma função linear. Esta relação linear pode ser influenciada pelo facto de a temperatura induzir a acção catalítica das bactérias para oxidação da amónia em nitrato (Sarmiento & Gruber, 2006). Por sua vez, a turbidez, atenua a penetração da luz na coluna de água (Pinet, 1996) e, sabe-se que com a insuficiência da luz, a absorção dos nutrientes é limitada (Sarmiento & Gruber, 2006), possivelmente, seja por isso que com uma ligeira subida de turbidez acima de 25.180 mscm⁻¹ a concentração de amónia tende a aumentar. Em relação a diminuição da amónia nos primeiros instantes de amostragem, provavelmente a amónia foi acumulada no período nocturno e quando iniciou a amostragem, com a incidência da luz solar a baixos níveis de turbidez, o processo fotossintético pode

ter sido intenso, absorvendo amónia dissolvido na coluna de água, tendo mudado o cenário com a elevação da maré que através do processo de mistura e resuspensão dos sedimentos elevou os níveis de turbidez.

5.3. Concentração de Nitrato Dissolvido [NO₃⁻]

GAM seleccionado para a [NO₃⁻] reproduziu resultados que prevê uma tendência similar entre os valores observados e modelados (*p-value* <0.05; *r*²= 0.97 %). A validade do modelo também foi suportado pelo método gráfico ilustrado na figura 4, anexo 5, cuja interpretação sugere que um bom modelo deve apresentar a distribuição normal dos valores do residual (histograma e *qq -plot*), a relação residual vs valores modelados deve ser homogéneo e a variação da variável resposta em função da variável prevista pelo modelo deve ser linear (Wood, 2006; Zuur et al., 2009).

A variação do nitrato mostrou-se crescente com a elevação do gradiente de temperatura em cerca de 1.5°C. Esta variação pode estar associada a influência que a temperatura exerce na actividade microbiana que secretam as enzimas que catalisam a inter-conversão da matéria orgânica dissolvida na água em nutrientes inorgânicos (Sarmiento & Gruber, 2006). Por outro lado, é evidenciado a resolução do GAM em detectar pequenas variações não lineares das co-variáveis em relação a variável resposta (Wood, 2006; Zuur *et al.*, 2009). A condutividade eléctrica é conhecida como um “*prox*” na concentração de nutrientes (Robson and Dourdet, 2013), portanto, a maior nível de significância desta variável na concentração do nitrato era prevista com indicador de concentração de iões dissolvidos provenientes de dissociação iónica dos sais (Montes, 2003). Por outro lado, [NO₃⁻], variou inversamente em relação a velocidade das correntes

O efeito da hora do dia foi notória nas primeiras horas do dia e também a tendência crescente da [NO₃⁻] do nitrato foi observável no final do dia. Isto pode estar associado a baixa actividade fotossintética que é inversamente proporcional a concentração dos nutrientes (Libes, 1992). Apesar de este estudo ter tido limitação de amostragem no período nocturno, sabe-se que a actividade fotossintética que limita a concentração dos nutrientes na coluna de água é mais intensa durante o dia e a concentração de oxigénio que contribui para a remineralização da matéria orgânica é mais elevada durante a noite (Sarmiento & Gruber, 2006) o que pode explicar as variações observadas na concentração dos nutrientes em função da hora do dia.

A matéria orgânica dissolvida influenciou de forma linear positiva a concentração do nitrato. Esta co-variável (MOD) nas teorias (Libes, 1992; Sarmiento & Gruber, 2006; Alongi, 2009; Liu *et al.*, 2010) sustentam que quanto maior for a concentração da matéria orgânica dissolvida, maior será a concentração de nutrientes gerados pelos processos de remineralização aeróbica e oxidação - redução. A turbidez é uma das co-variáveis com efeito linear positiva na variação da concentração do nitrato. Esta relação da variação de $[\text{NO}_3^-]$ em função de turbidez pode ser justificada pelo facto da co-variável preditiva aumentar o seu valor como resultado de resuspensão dos sedimentos ou lixiviação das partículas nas áreas adjacentes ao canal rica em nutrientes (Alongi, 2009), ou pelo efeito de turbidez que reduz a penetração da luz para a fotossíntese sendo favorável para maior concentração do nitrato.

5.4. Concentração de Fósforo Dissolvido $[\text{PO}_4^-]$

Para $[\text{PO}_4^-]$, GAM seleccionado reproduziu resultados que ilustra um padrão de variação similar entre os valores observados e modelados (*p-value* <0.05; $r^2= 0.90\%$). A validade do modelo também foi suportado pelo método gráfico ilustrado na figura 6, anexo 4, cujos gráficos mostram a distribuição normal dos valores do residual (histograma e *qq -plot*), a relação residual vs valores modelados é homogéneo e a variação da variável resposta em função da variável prevista pelo modelo foi linear (Wood, 2006; Zuur *et al.*, 2009).

Para $[\text{PO}_4^-]$, pode-se verificar que este aumenta com o aumento da matéria orgânica (figura 4), talvez seja pelo facto dos nutrientes serem resultado da remineralização da matéria orgânica e consequentemente a concentração dos mesmos nutrientes dissolvidos no canal, isto é, dependendo da disponibilidade da matéria orgânica, e também segundo Dias (2005), pode-se considerar a entrada da matéria orgânica de origem antrópica que aumenta muito a quantidade de nutrientes (fósforo e nitrato).

O efeito da condutividade eléctrica, revelou uma flutuação da $[\text{PO}_4^-]$, talvez por ser um “*indicador*” de sais dissolvidos que podem estar na forma de dissociação iónica (Montes, 2003). Contudo, no perfil da temperatura (figura 4) verifica-se que nas primeiras horas da amostragem, a medida que vai aumentando a temperatura os nutrientes tendem a diminuir no canal até 30.5 °C, o que pode estar associado intensidade luminosa adequada para absorção fotossintética dos nutrientes (Liu *et al.*, 2010). Depois 30.5 °C a $[\text{PO}_4^-]$ começou a demonstrar o contrário, isto é, aumentando com o contínuo da

temperatura, provavelmente, pode ter havido a desnaturação enzimática do fitoplâncton que é considerado maior consumidor de nutrientes dissolvidos (Sarmiento & Gruber, 2006) e a velocidade das reacções tende a diminuir, ou por outra pode ser o caso do ponto de inibição da fotossíntese por excesso da luz (Dias, 2005). Por outro lado, a temperatura pode ter induzido a acção catalítica das bactérias para acelerar a remineralização da matéria orgânica influenciando o aumento da concentração do fosfato e outros nutrientes.

Olhando para o perfil da turbidez pode-se verificar que o fosfato aumenta também com o aumento da turbidez (figura 4), assim, pode-se se dizer que deve ser a causa da fraca incidência da luz solar, a turbidez na superfície atenua a penetração da luz devido a presença de partículas suspensas (Pinet, 1996), provenientes do revolvimento dos sedimentos ricos em nutrientes, o que pode contribuir na concentração de fosfato, pois há diminuição da taxa de absorção para o processo fotossintético.

O efeito da hora do dia pode estar associado as variações térmicas e luminosas, por isso, foi observado nas primeiras horas a diminuição da $[PO_4^-]$ até às 10 horas, possivelmente devido ao processo da fotossíntese e posteriormente a $[PO_4^-]$ aumentou, provavelmente devido a foto-inibição e desnaturação do fitoplâncton com a elevação da intensidade luminosa e da temperatura respectivamente (Lalli & Parsons, 2004). Porém, a velocidade das correntes mostrou-se inversamente proporcional a $[PO_4^-]$, isto pode ser explicado pelo efeito do transporte lateral dos nutrientes e da matéria orgânica dissolvida (Lalli & Parsons, 2004; Sarmiento & Gruber, 2006;) do canal para o estuário ou outras áreas durante a amostragem que tem sido observado na vazante da maré.

CAPÍTULO V

6. Conclusões

Em geral, a partir de análise de dados, verificou-se que o modelo aditivo generalizado (GAM) pode ser aplicado para prever a concentração dos nutrientes no canal onde tem sido feito o bombeamento de água para actividades da aquacultura. Contudo, os dados usados não foram suficientes para desenvolver um modelo mais robusto e obter conclusões aproximadas a realidade, devido a limitação de amostragem.

Contudo, os modelos preliminares desenvolvidos pelo GAM mostram que:

Amónia [NH_4^+] – o desvio explicado pelo GAM foi de 99.3 % e $r^2= 0.99$. as variáveis seleccionadas pela ordem de significância e os respectivos intervalos óptimos para bombeamento de água foram: $40 < \text{CE} < 55 \text{ mscm}^{-1}$; $\text{ATM} > 1 \text{ m}$; Hora 9-14 h; $\text{VC} > 0.2 \text{ ms}^{-1}$; $\text{TS} < 30 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\text{Tb} > 25.180 \text{ FTU}$.

Nitrato [NO_3^-] - GAM explicou cerca de 97.2 % do desvio e $r^2= 0.95$. as co-variáveis seleccionadas pela sua ordem de significância e as faixas adequadas para bombear a água rica em nitrato foram: $\text{TS} > 30.5 \text{ }^\circ\text{C}$; $\text{CE} > 45 \text{ mscm}^{-1}$; $\text{VC} < 0.0 \text{ \& VC} > 0.4 \text{ ms}^{-1}$; Hora $< 10 \text{ \& } > 14 \text{ h}$; $\text{MOD} > 3 \text{ mgL}^{-1}$ e $\text{Tb} > 25.180 \text{ FTU}$.

Fosfato [PO_4^{3-}] - o desvio explicado e o r^2 - ajustado obtido pelo GAM foram de 90.4% e 0.81 respectivamente. As variáveis preditivas seleccionadas pela sua ordem de significância e as faixas óptimas para o bombeamento para a aquacultura foram: $\text{MOD} > 3 \text{ mgL}^{-1}$; $40 < \text{CE} < 55 \text{ mscm}^{-1}$; $\text{TS} > 30.5 \text{ }^\circ\text{C}$; $\text{Tb} > 25.180 \text{ FTU}$; Hora $> 13 \text{ h}$; $\text{VC} < 0.2 \text{ ms}^{-1}$.

7. Recomendações

Aos investigadores recomenda-se a realizar amostragem da concentração de nutrientes num ciclo de 24 horas, seguindo o ciclo de marés vivas e mortas nas duas estações do ano (inverno e verão).

Recomenda-se ainda a aplicação do GAM para estudo do efeito das variáveis ambientais para modelar a dinâmica dos nutrientes assim como o crescimento das espécies na actividade da aquacultura pelas suas vantagens de correlacionar co-variáveis não lineares com a variável resposta de forma integrada.

Aos praticantes de aquacultura para bombear água rica em nutrientes a partir das 14 horas para fosfato e nitrato e no intervalo das 9-13 horas quando se deseja água rica em amónia (NH_4^+).

Referências bibliográficas

- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. Transactions on Automatic Control. 716-723 pp.
- Alongi, D. M. (2009). The energetic of mangrove forests. Townsville, Queensland, Australia: Australian Institute of Marine Science.
- Correia, L. J., Fernandes, A. J., Lacerda, M. M., Lúcio, M., Tomaz, J. K., Honorato, M. B., et al. (2015). Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba – Cabedelo, PB. Divulgação científica e tecnológica do IFPB. 47-54 pp.
- Dellagiustina, A. (2000). Determinação das concentrações de nitrogénio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do rio Itajaí-Açu. Florianópolis-Brasil.
- Dias, M. H. (2005). Distribuição da matéria orgânica, nitrogênio e fósforo de uma secção transversal do manguezal no estuário da baía de Vitória. Vitória.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., et al. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. 27-46 pp.
- Eschrique, S. A. (2011). Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brazil. São Paulo.
- Esteves, A. S. (1998). Fundamentos da Limnologia. Rio de Janeiro: editora Interciência/FINEP. 602 pp.
- Ferraz, D. R., & Amaral, A. A. (2009). Variacao Nictimeral dos Parâmetros Físico-Químicos da Agua de Um Viveiro de Cultivo de Tilapia. Paraíba.
- Filho, J. P., Spillere, L. C., & Schettini, C. A. (2003). Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do rio Itajaí-Açu, SC. In Dinâmica de Nutrientes. Universidade do Vale do Itajaí, Rio Grande.
- Franco, V. P. (2007). Produtividade primária na zona costeira adjacente aos estuários do Tejo e Sado. Mestrado em Biologia e gestão de Recursos Marinhos.
- Gazzola, A. C. (2003). Efeito da Amônia e do Oxigênio Dissolvido na Sobrevivência de Alevinos de Dourado, *Salminus brasiliensis*. Florianopolis.
- Hassrick, J. L., J.Henderson, M., Huff, D. D., Sydeman, W. J., Sabal, M. C., A.Harding, J., et al. (2016). Early ocean distribution of juvenile Chinook salmon in an upwelling ecosystem. Fisheries Oceanography. 133-146 pp.

- Hastie, T. J., & Tibshirani, R. J. (1990). *Generalized Additive Models*.
- INAHINA. (2000). *Tabela de marés*.
- Jamisse, O. H. (2017). *Influencia dos Nutrientes Inorganicos Dissolvidos na Qualidade de Água captada no Canal Tributário do Estuário dos Bons Sinais para ensaios experimentais de Aquicultura no Chuabo Dembe*. UEM- Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras , Quelimane.
- Lalli, C. M., & Parsons R. T. (2004). *Biological Oceanography an introduction*. 2ª edição. The Open University.
- Libes, S. M. (1992). *An introduction to marine biochemistry*. Wiley, New York.
- Liu, k., Atkinson, L., Quinones R., Talaue-mcmunus L. (2010). *Carbon and nutrient fluxes in continental margins. A global synthesis*.
- Marone, E., & Mesquita, A. R. (1997). *On Tidal Analyses With Measurements Errors*.
- Maunder, K., Williams, P., Walton, K., Ferguson, M., Beck, E., & Probst, Y. (2014). *Introduction to nutrition informatics in Australia*. *Nutrition & Dietetics*, 71(4).
- Melo, E. R. (2017). *Processos hidrodinâmicos e implicações na carga de nutrientes no estuário do rio São Francisco de corrente das reduções de vazões*. Programa de pós-graduação em meteorologia . Universidade Federal de Alagoas, Maceio.
- Moçambique, R. d. (2005). *Perfil distrital de Quelimane*.
- Montes, M. d. (2003). *Factores que influenciam na produtividade dos oceanos: a importância do fluxo de difusão dos nutrientes para a biomassa do fitoplâncton na região oceânica do nordeste brasileiro*. Recife .
- Nehama, F. P. (2004). *Previsão de marés na Estação Biológica de Inhaca*. UEM.
- Nhamposse, S. A. (2017). *Estudo da variação do fluxo de Amônio, Fosfato e Nitrato nos canais de mangal com vegetação densa e menos densa no estuário dos Bons Sinais*.
- Perreira, L. P., & Mercante, C. T. (2005). *A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água*. . Sao Paulo.
- Pinet, P. R. (1996). *invitation to oceanography*.
- Queiroz, J. F., & Frighetto, R. T. (2005). *Aquicultura e Meio Ambiente Qualidade da Água e Boas Práticas de Manejo (BPMs)*.

- Queiroz, J. F. (2006). *Recomendacoes Praticas para Melhorar a Qualidade da Agua e dos Efluentes dos Viveiros de Aquicultura*. Jaguariuna - SP.
- Queiroz, J. F., & Boeira, R. C. (2007). *Boas Práticas de Manejo (BPMs) para Reduzir o Acúmulo de Amônia em Viveiros de Aquicultura*. Jaguariúna, SP.
- República de Moçambique. (2005). *Perfil distrital de Quelimane (2005 ed.)*.
- Richards R., Chaloupka M., Strauss D., & Tomlinson R. (2013). Using Generalized Additive Modelling to Understand the Drivers of Long-Term Nutrient Dynamics in the Broadwater Estuary (a Subtropical Estuary), Gold Coast, Australia. *J Coast Res.* 298:1321–1329 pp.
- Robson, B. J., & Dourdet V. (2013). Incorporating a generalised additive model of river nutrient concentrations into a mechanistic receiving water model. *20th Int Congr Model Simul.*(December):373–379 pp.
- Sarmiento, J. L., & Gruber, N. (2006). *Ocean Biochemical Dynamics*. Oxfordshire.
- Silva, N. B. (2009). *Concepção e Construção de uma Turbina para Aproveitamento da Energia de Maré*. Quelimane, Zambezia.
- Tavares, A. R. (2005). *Monitoramento da qualidade da água do rio Paraíba do Sul e diagnóstico de conservação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, São José dos Campos, São Paulo. 176 pp.
- The Open University, 1999. *Waves, Tides and Shallow Water Processes*, second edition. Butterworth-Heinemann, Oxford. 227 pp.
- Timba, I. L. (2013). *Propagação da Onda de Maré no Estuário Dos Bons Sinais*. UEM- Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras , Quelimane.
- Wickham, H. (2009). *ggplot2. Elegant graphics for data analysis*.
- Wood, S. N. (2001). *mgcv: GAMs and Generalized Ridge Regression for R*. Lancaster University.
- Wood, S. N. (2006). *Generalized Additive Models: an introduction with R-* Copyright CRC do not distribute.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. *Journal of Statistical Software*. 1-3 pp.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*. 1-14 pp.

ANEXOS

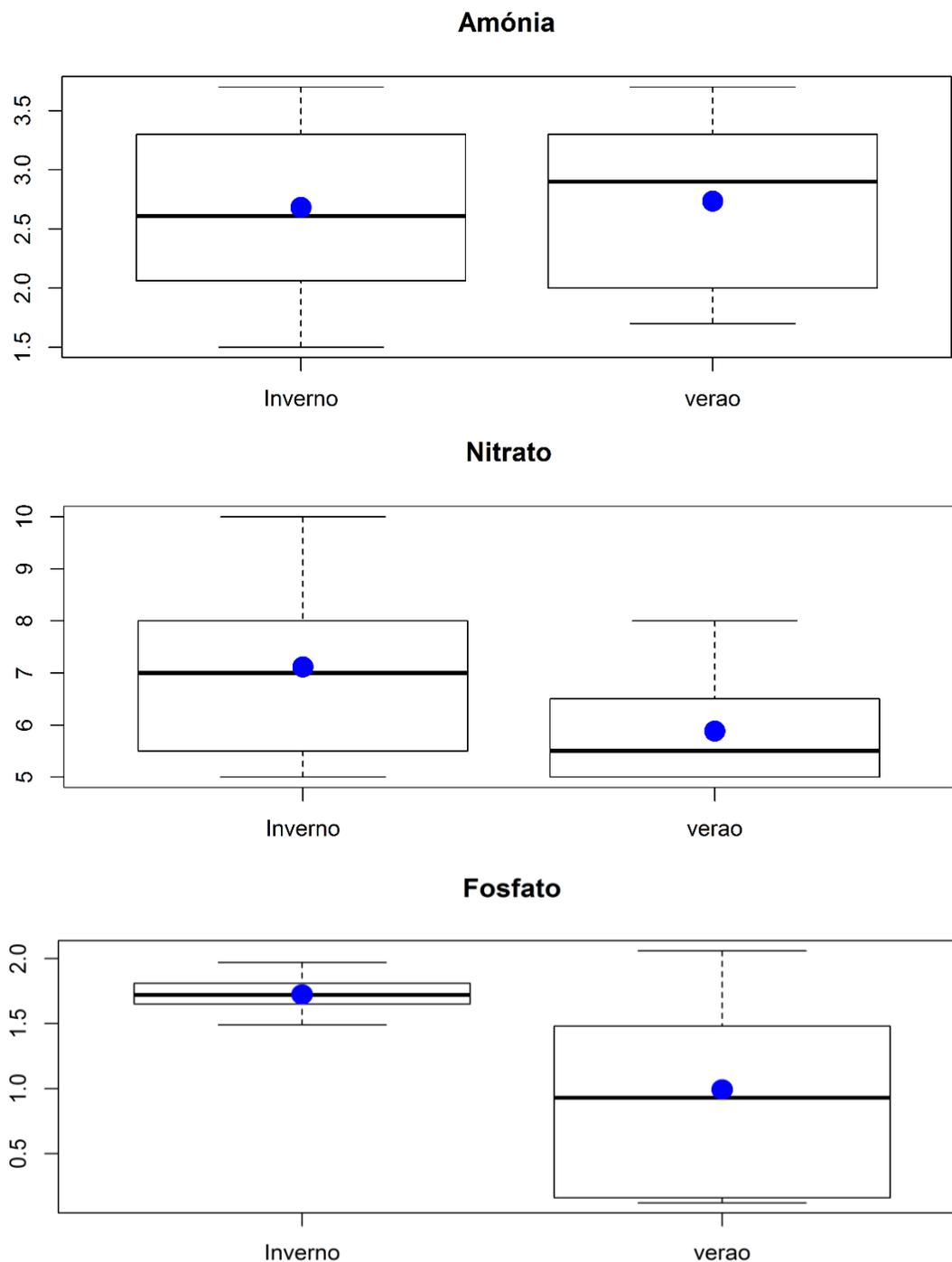


Figura 1: diagramas de quartis de concentração de amónia, nitrato e fosfato respectivamente. Os pontos em azul indicam a média da variável, a linha horizontal negra no centro do diagrama indica a mediana, a linha tracejada inferior e superior no diagrama indica 25% e 75% dos quartis respectivamente. Os valores atípicos “outliers” normalmente são observados como pontos além da linha tracejada inferior e superior.

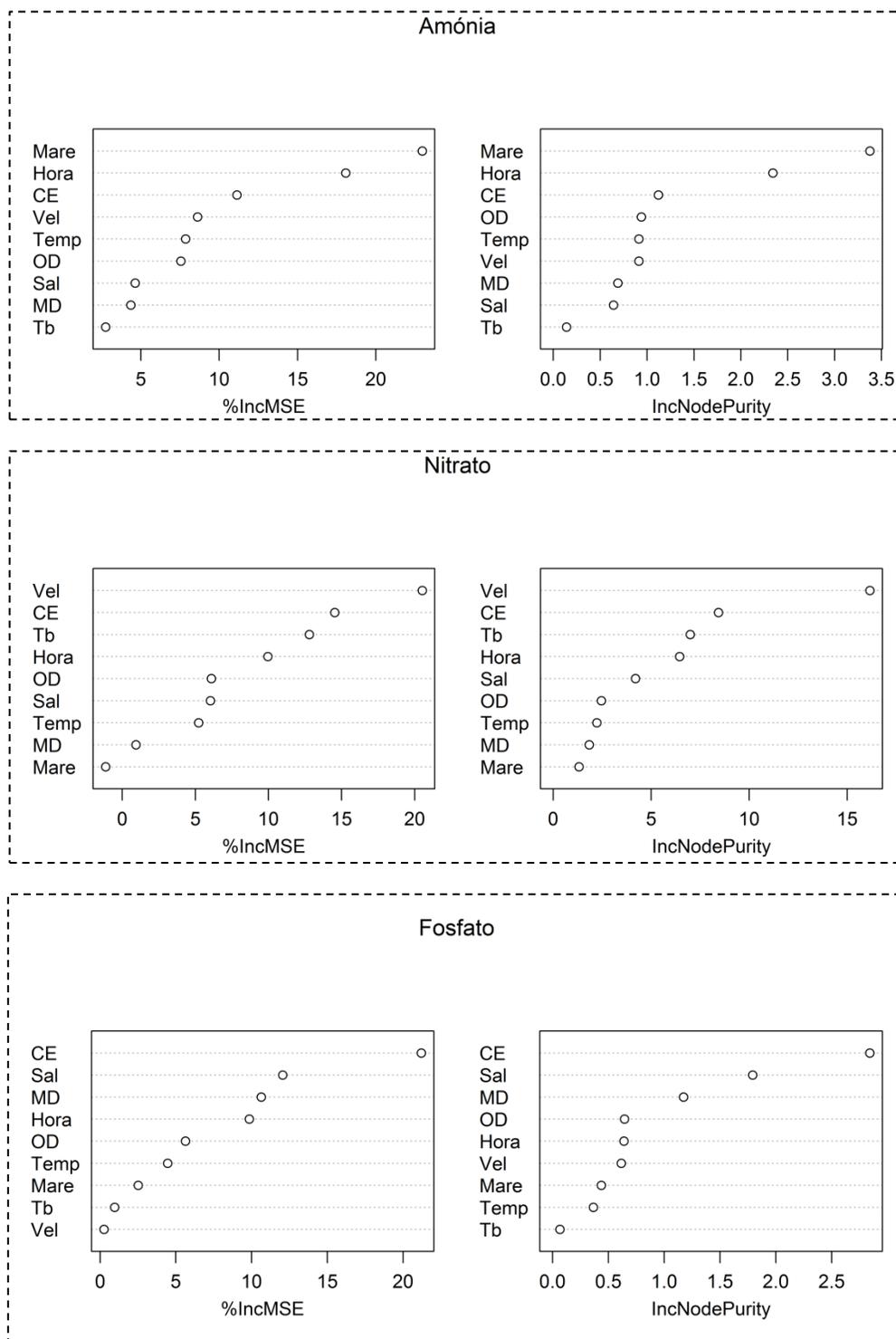


Figura 2: Classificação das variáveis pela ordem decrescente do valor de importância. Para cada painel estão indicadas as variáveis pela sua ordem de importância para os modelos preditivos da concentração de amônia, nitrato e fosfato de cima para baixo respectivamente.

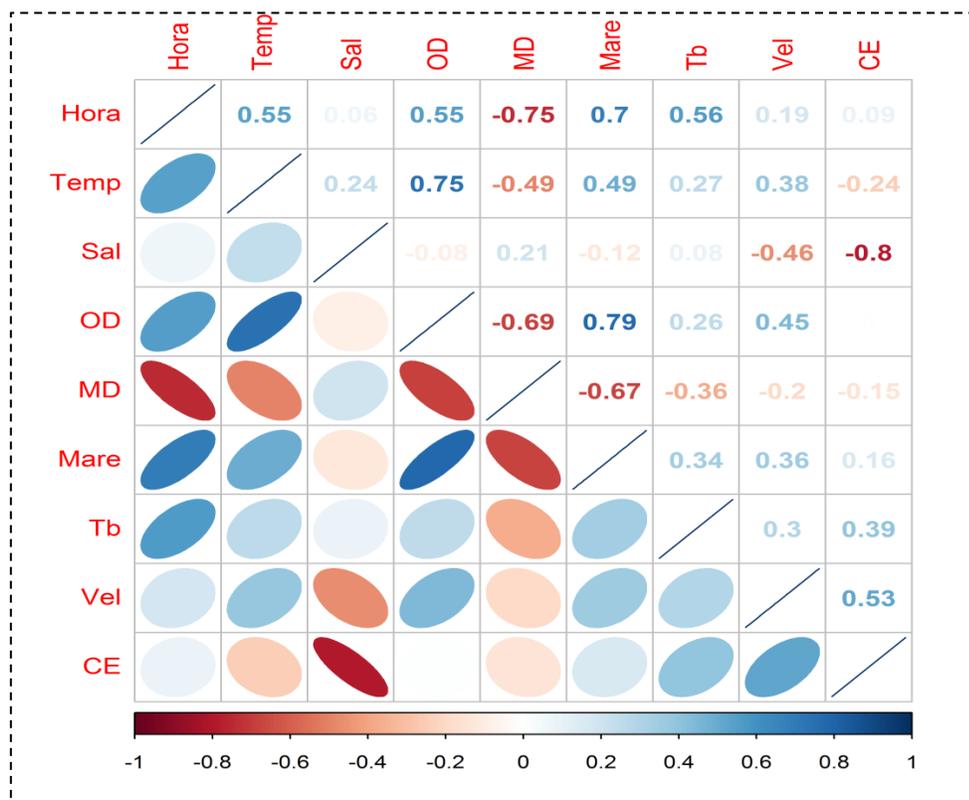


Figura 3: Correlação das variáveis preditivas para os modelos de concentração dos nutrientes. O painel superior indica os coeficientes da correlação de Pearson e o painel inferior indica as bandas de correlação negativa a vermelho e correlação positiva a azul das variáveis aos pares. Todos os coeficientes de correlação do par das variáveis cujo valor absoluto é ≥ 0.70 as tais variáveis são consideradas colineares.

Anexo 4.

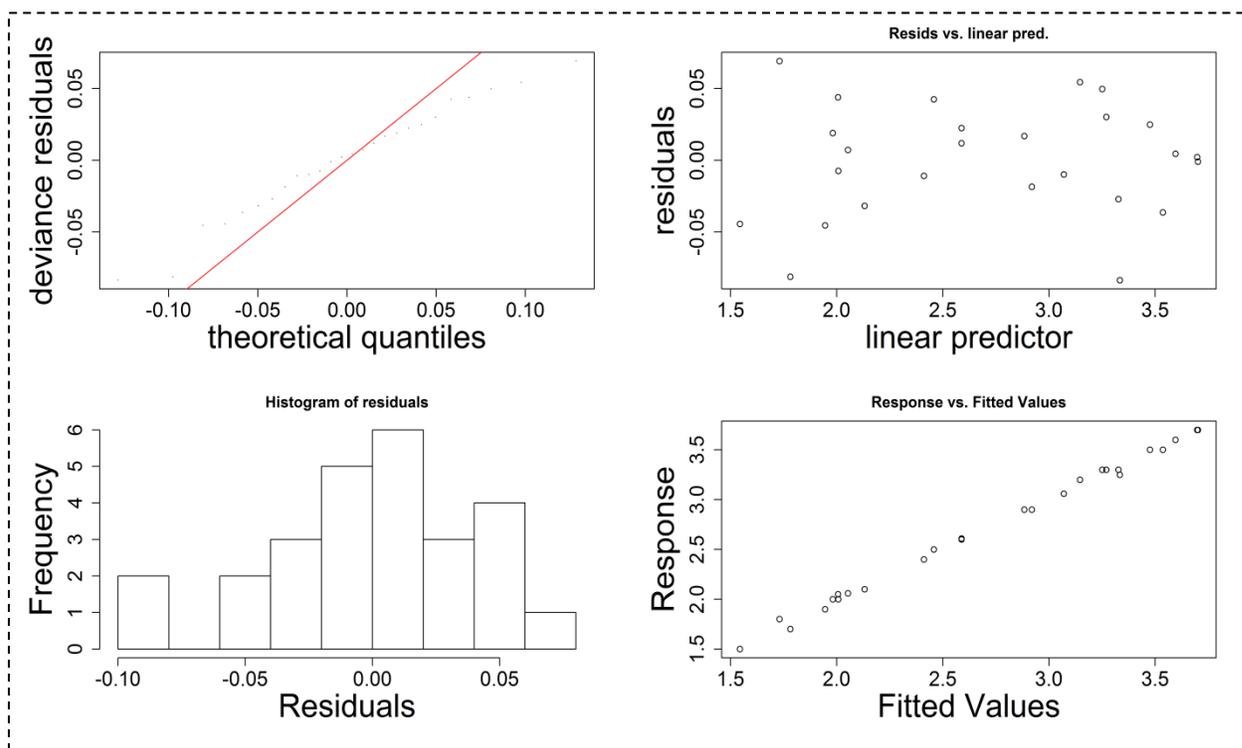


Figura 4: Gráficos de validação do modelo da concentração de Amónia. O gráfico superior á esquerda ilustra *qq-plot* para a normalidade. O gráfico superior a direita mostra a variação do residual vs predictor lineal. O gráfico inferior a esquerda mostra histograma da distribuição normal do residual. E o gráfico inferior a direita mostra a relação da variável resposta ou observada e os valores modelados.

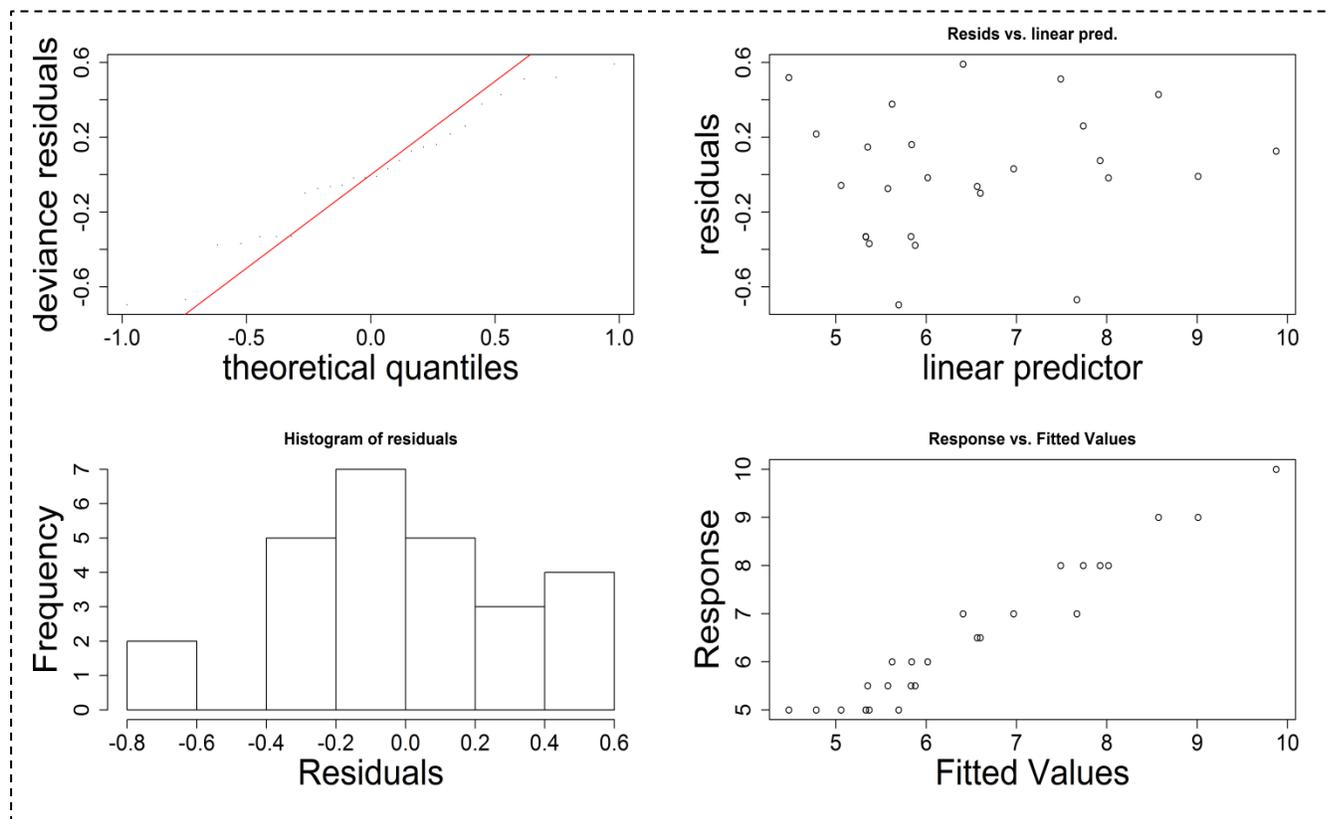


Figura 5: Gráficos de validação do modelo da concentração de Nitrato. O gráfico superior á esquerda ilustra *qq-plot* para a normalidade. O gráfico superior a direita mostra a variação do residual vs predictor lineal. O gráfico inferior a esquerda mostra histograma da distribuição normal do residual. E o gráfico inferior a direita mostra a relação da variável resposta ou observada e os valores modelados.

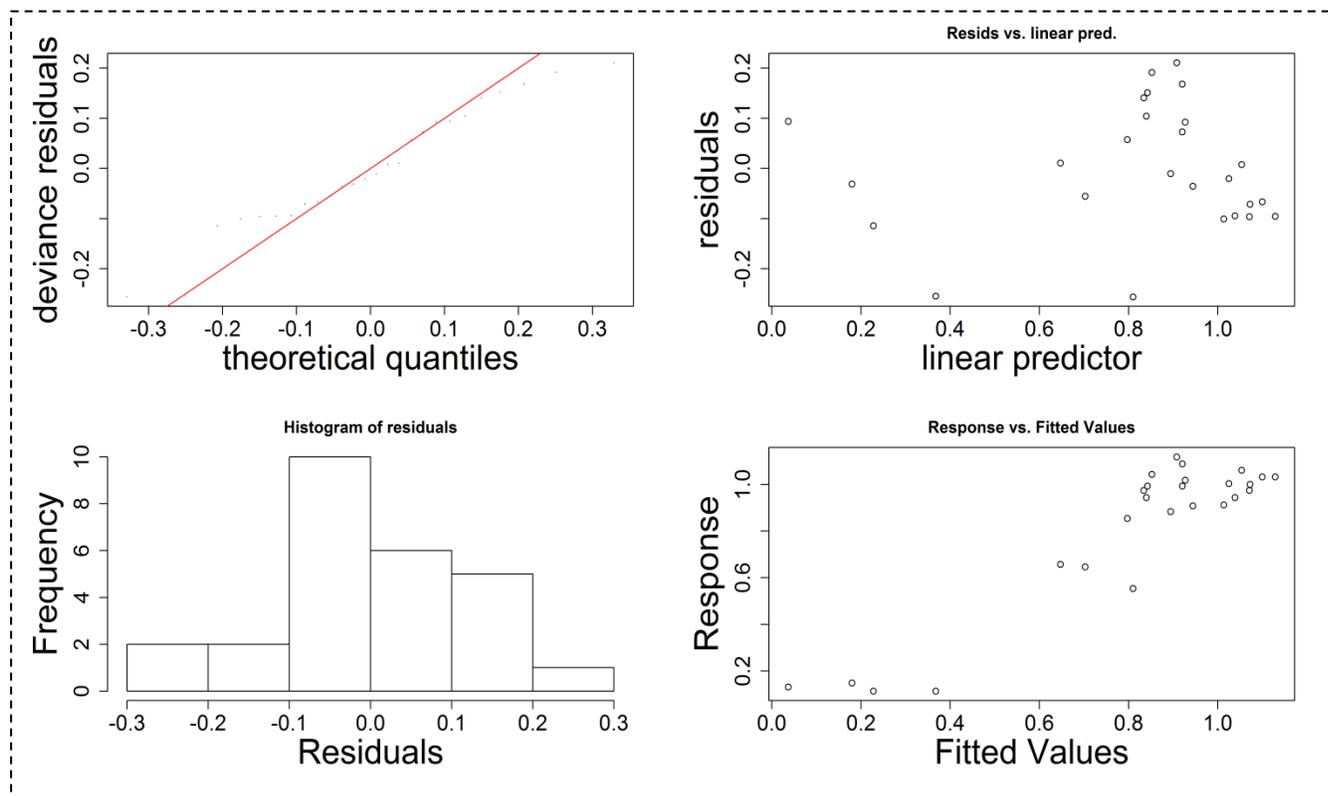


Figura 6: Gráficos de validação do modelo da concentração de Fosfato. O gráfico superior á esquerda ilustra *qq-plot* para a normalidade. O gráfico superior a direita mostra a variação do residual vs preditor lineal. O gráfico inferior a esquerda mostra histograma da distribuição normal do residual. E o gráfico inferior a direita mostra a relação da variável resposta ou observada e os valores modelados.