



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Anderson Marques Araújo do Nascimento

**EFEITOS AMBIENTAIS DA DRAGAGEM DO PORTO DE MACEIÓ (AL) E
CENÁRIO FUTURO DA DEMANDA PORTUÁRIA**

Maceió, Alagoas

2022

ANDERSON MARQUES ARAÚJO DO NASCIMENTO

**EFEITOS AMBIENTAIS DA DRAGAGEM DO PORTO DE MACEIÓ (AL) E
CENÁRIO FUTURO DA DEMANDA PORTUÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geografia, na linha de pesquisa: Dinâmica Socioambiental e Geoprocessamento.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros

Maceió, Alagoas,

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

N244e Nascimento, Anderson Marques Araújo do.
Efeitos ambientais da dragagem do Porto de Maceió (AL) e cenário futuro da demanda portuária / Anderson Marques Araújo do Nascimento. – 2022.
129 f. : il. color.

Orientador: Paulo Ricardo Petter Medeiros.
Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 107-117.
Apêndices: f. 119-122.
Anexos: f. 124-129.

1. Dragagem portuária. 2. Área portuária - Demanda. I. Título.

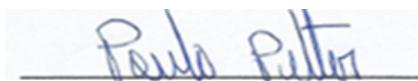
CDU: 911:504

ANDERSON MARQUES ARAÚJO DO NASCIMENTO

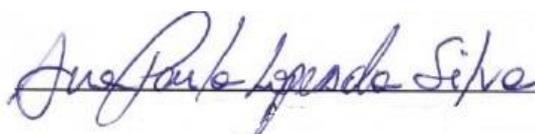
**EFEITOS AMBIENTAIS DA DRAGAGEM DO PORTO DE MACEIÓ (AL) E CENÁRIO
FUTURO DA DEMANDA PORTUÁRIA**

APROVADA EM: 17 de janeiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros
PPGG/IGDEMA/UFAL
Orientador



Profa. Dra. Ana Paula Lopes da Silva
PPGG/IGDEMA/UFAL
Membro interno



Profa. PhD. Nilva Brandini
PNPD/UFF-RJ
Membro externo

À minha mãe, Edivânia,
por seu amor incomensurável,

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Edivânia Marques da Silva, e ao meu irmão, Marcus Vinícius Marques Araújo do Nascimento, por estarem sempre presentes em todos os estágios do meu ciclo vital até então, principalmente nos momentos de dificuldade e descrença, cuja presença constante enche meu coração de júbilo. Em especial minha mãe, o alicerce de toda a caminhada e a razão do querer mais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros, pela oportunidade de aprender com seu gesto, por partilhar seus conhecimentos e experiências e por ter cedido as portas à minha pessoa sempre que oportuno. Nada seria possível sem a sua imensa capacidade de proporcionar uma chance de crescimento e ratificação da pessoa humana que encontrou seu rumo na ciência, diante da pequenez e da inevitável possibilidade de errar. Não acredito que as coisas aconteçam por acaso, mas caso contrário não consigo imaginar alguém que tenha sido mais privilegiado que eu, pois a inspiração é fruto de seu reflexo.

À Profa. PhD. Nilva Brandini, pela sua disposição em ajudar, sempre prestativa a sugerir melhorias para o aprimoramento da dissertação. Pela sua liderança, companheirismo e ensinamentos repassados em campo e com as análises laboratoriais no tempo em que fui bolsista e estive incessantemente em contato direto com sua pessoa, em 2018.

Aos professores do IGDEMA/UFAL, em especial: à Ana Paula Lopes da Silva, por sua personalidade ímpar, elétrica, vivaz, de convivência deliciosa, capaz de proporcionar momentos extremamente agradáveis. À Nivaneide Alves de Melo Falcão, de didática e ensino exemplares, a primeira pessoa que conheci e a quem devo meu eterno obrigado; jamais esquecerei do 2º dia da graduação em que procurava, desesperadamente, por estágio para atuar em alguma área direcionada à Química e, como num roteiro de filme, você me apresentou a luz no fim do túnel. Ao Kleython de Araújo Monteiro, grande estimulador na elaboração de artigos. À Rochana Campos de Andrade Lima Santos, com você aprendi que a arte de lecionar é uma dádiva de grande esplendor.

Aos membros da banca avaliadora, Ana Paula e Nilva, por terem aceitado compô-la em primeiro instante, com vias de críticas, propostas de melhoria e adaptações a este presente trabalho. Seus apontamentos e sugestões promoveram discussões científicas de grande qualidade. Adicionalmente, ao Prof. Dr. Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo pelas contribuições complementares ao corpo do trabalho, de grande valia.

Ao Laboratório Integrado de Ciências do Mar e Naturais (LABMAR), setor de Hidroquímica, e ao Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGA), ao qual tenho um profundo apreço e gratidão simplesmente por terem me permitido ir muito além dos próprios sonhos.

À Fundação Euclides da Cunha (FEC) de Apoio Institucional, da Universidade Federal Fluminense (UFF) pela concessão das bolsas e disponibilização dos dados coletados; ao CNPq através do Instituto do Milênio Estuários CNPq/MCT (Protocolo nº 420.050/2005-1) e CNPq INCT-TMCOcean (Protocolo nº 573.601/2008-9) pelos equipamentos utilizados na coleta e processamento dos dados, bem como todo o suporte logístico concedido em campo à equipe de pesquisadores

À Tecnóloga Sílvia Maria Torres Abreu Farias, a primeira pessoa que me acolheu no laboratório ainda como estagiário e técnico em Química, em 2015, me dando a oportunidade de chegar até aqui. Minha imensa gratidão por ter sido o catalisador desse processo.

Ao Manuel Messias dos Santos, pela sua liderança e ensinamentos transpassados com as análises em laboratório, sempre disposto e apto a ensinar.

Ao David “Dion” Rodrigues Santos, amizade especial da qual tive a sorte de conhecer por acaso ainda no 1º período da graduação nas aulas de inglês da FALE, onde aprendi a superar e respeitar as diferenças. Jamais esquecerei suas palavras de conforto nos momentos de

adversidade, de modo a nortear minha cabeça sempre adiante. A todas as pessoas e amizades bacanas e humildes que conheci em Palestina, meu primeiro contato com o Semiárido, promovidas por você. Com você aprendi um dilema chamado: DESISTIR NEVER, NUNCA!

Ao Rostan Antonio de Lima Silva, por sua simplicidade e pelas inúmeras conversas na volta pra casa e pelos constantes conselhos para almejar e ambicionar o sucesso na vida profissional. Não consigo expressar em palavras a alegria que é ter uma amizade como a sua.

Ao Paulo Ricardo dos Santos Correia, pela amizade recíproca que formamos de 2016 pra cá, pelas viradas de Ano Novo que passamos juntos e muitas datas especiais que comemoramos sempre que oportuno e pelos nossos contínuos diálogos sobre a vida acadêmica, oferecendo-me palavras de incentivo.

Ao Diogo Cristiano dos Santos (Smilly), amigo especial e confidente, pela convivência e confiança surpreendente, muito gratificante. Com você me sinto sempre no porto-seguro para abrir meu coração, dialogar, elucubrar, expressar e apresentar pontos de vista e vivências que sempre permitem conversas sadias e proeminentes.

Ao Emyr Vinícius Santos Pereira, pela amizade e companheirismo no laboratório, somados ao corre-corre que era lavar as vidrarias a tempo antes da execução das análises (muito boas, por sinal).

Ao Aerton de Andrade Bezerra, amizade que formei ao ingressar na pós-graduação. Nossas longas conversas para sanar dúvidas, protocolos, seminários, questionamentos e uma pilha de compromissos acadêmicos certamente nos fará ver, um dia, que toda essa ralação valeu a pena.

À Geovânia Ricardo dos Santos (Geo), grande amor de pessoa da qual nutri um carinho enorme e especial nos momentos que sucederam seu fim na UFAL, onde estabeleci uma verdadeira amizade, íntima e confidencial.

À Ana Beatriz da Silva (Bia), que mesmo de longe não deixou de tecer apoio, sempre solícita, doce e presente para me ajudar com minhas eventuais dúvidas.

Ao Gean Carlos Pereira de Lucena, amizade promovida pelos acasos que só os encontros inesperados promovem, diluída em um misto de risos, resenhas, confissões, fofocas e reciprocidade. Amizade esta de Campina Grande-PB, nosso marco zero, da qual almejo mantê-la continuamente estabelecida.

Aos amigos africanos, Gregory Llewellyn Britz (Greg) da Namíbia e Larios Nelcael Mensah (Cael) de Benim, pela amizade que formamos com os sucessivos encontros casuais no restaurante universitário, pelos papos descontraídos e jocosos de sempre sentados à mesa e pela história de vida simples de ambos, que se assemelha pertinentemente à minha, ao qual absorvo como inspirações. Muito obrigado por permitirem ser amigo de vocês e, principalmente, a me respeitar como pessoa.

Aos amigos que me acompanharam desde a graduação, Álvaro dos Santos (Aovinho) e Gabriel do Nascimento Alves (Maninho). Com vocês vivi momentos inesquecíveis, mágicos, únicos e singulares, para toda uma vida! Seminários, viagens de campo, eventos científicos Alagoas afora, companheiros de turma do começo ao fim da graduação... momentos de grande vivacidade, impossíveis de se esquecer.

Enfim, a todos aqueles que por um lapso de memória e que por ventura possam não ter sido mencionados aqui, o meu MUITO OBRIGADO por também fazerem parte da minha trajetória acadêmica.

Se não houver frutos,
valeu a beleza das flores;
Se não houver flores,
valeu a sombra das folhas;
Se não houver folhas,
valeu a intenção da semente.

Henrique de Souza Filho – Henfil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar os efeitos ambientais dos sedimentos dragados do Porto de Maceió no ano de 2018, bem como projetar a demanda portuária futura após as atividades de dragagem. O processo de monitoramento ambiental foi executado em três campanhas amostrais (antes, durante e após as atividades de dragagem), correspondentes aos meses de março, maio e agosto de 2018, respectivamente. Nas três campanhas amostrais foram realizadas coletas de água nos estratos de superfície e fundo das áreas de dragagem (bacia de evolução do Porto) e de descarte dos sedimentos dragados. Em campo foram obtidos dados *in situ* dos parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido, porcentagem de oxigenação, temperatura, condutividade elétrica e salinidade e de transparência da água. Em laboratório, as amostras coletadas foram filtradas para determinação do material particulado em suspensão e das séries nitrogenada e fosfatada. Ao fim das atividades, os dados multiparamétricos foram tabulados e então comparados aos valores de aceitabilidade fixados pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005 e n° 454 de 2012 para águas salinas de Classe 1. A concentração de material particulado em suspensão nas campanhas amostrais constatou comportamento dinâmico entre os estratos prévia, durante e após as obras de dragagem, apresentando valores ascendentes na bacia de evolução do Porto, na referida ordem de amostragem, enquanto na área de descarte foram constatados valores ascendente e descendente, respectivamente. Antes das obras de dragagem não foi verificada predominância tendencial das séries nitrogenada e fosfatada entres os estratos, em virtude de a draga ainda não estar em funcionamento. Na campanha de dragagem, predominou-se a série nitrogenada e fosfatada de superfície e os maiores valores, enquanto em agosto foi observada a predominância da série nitrogenada e fosfatada de fundo com significativa diminuição nas concentrações. À exceção da série fosfatada nas três campanhas de amostragem e das taxas de oxigênio dissolvido e % de saturação, no período de dragagem, os demais parâmetros analisados estiveram em conformidade ao padrão de aceitabilidade, tanto na bacia de evolução do porto, quanto na área de descarte. O cenário futuro da demanda portuária pós-dragagem até o ano de 2060 projeta que há expectativa de aumento dos volumes exportados e importados, com destaque para derivados de granéis líquidos combustíveis, granéis sólidos vegetais e granéis sólidos minerais. Além disso, há perspectiva de novas cargas, que incluem escória de cobre, ácido sulfúrico, coque de petróleo, cavacos de eucalipto e madeira e produtos containerizados. Com relação à atracação de navios de cruzeiro, a projeção é de 11 atracões ao ano, no cenário tendencial. Cabe mencionar que boa parte dos resultados que serão apresentados e detalhados mais adiante já encontram-se publicados em formato de artigo científico em periódico com fator de impacto A3 (Apêndice 1) conforme novo Qualis atualizado e em formato de resumo expandido nos anais de evento relacionado à linha de pesquisa do referido trabalho (Apêndice 2).

Palavras-chave: Dragagem portuária. Diagnóstico multiparâmetros. Demanda prospectiva.

ABSTRACT

The aim of this work was to analyze the environmental effects of sediments dredged from the Port of Maceió in 2018, as well as to project the future port demand after the dredging activities. The environmental monitoring process was carried out in three sampling campaigns (before, during and after the dredging activities), corresponding to the months of March, May and August 2018, respectively. In the three sampling campaigns, water was collected from the surface and bottom strata of the dredging areas (Port evolution basin) and for the disposal of the dredged sediments. In the field, in situ data were obtained for the parameters turbidity, dissolved oxygen, percentage of oxygenation, temperature, electrical conductivity and salinity and water transparency. In the laboratory, the collected samples were filtered to determine the suspended particulate matter and the nitrogen and phosphate series. At the end of the activities, the multiparametric data were tabulated and then compared to the acceptability values set by CONAMA Resolution No. 357 of 2005 and No. 454 of 2012 for Class 1 saline water. The concentration of particulate matter in suspension in the sampling campaigns found dynamic behavior between the strata prior to, during and after the dredging works, showing ascending values in the Porto evolution basin, in the aforementioned sampling order, while in the disposal area values were found ascending and descending, respectively. Before the dredging works, a trend predominance of the nitrogen and phosphate series between the strata was not verified, due to the fact that the dredger is not yet in operation. In the dredging campaign, the nitrogen and phosphate series on the surface and the highest values were predominant, while in August there was a predominance of the nitrogen and phosphate series at the bottom with a significant decrease in concentrations. With the exception of the phosphate series in the three sampling campaigns and the dissolved oxygen and % saturation rates, in the dredging period, the other parameters analyzed were in accordance with the acceptability standard, both in the port's evolution basin and in the area of discard. The future scenario of post-dredging port demand until the year 2060 projects that there is an expectation of an increase in exported and imported volumes, with emphasis on derivatives of fuel liquid bulk, vegetable solid bulk and mineral solid bulk. In addition, there is perspective for new loads, which include copper slag, sulfuric acid, petroleum coke, eucalyptus and wood chips and containerized products. Regarding the docking of cruise ships, the projection is 11 attractions per year, in the trend scenario. It is worth mentioning that a good part of the results that will be presented and detailed further on are already published in a scientific article format in a journal with an impact factor A3 (Appendix 1) according to the new updated Qualis and in an expanded summary format in the related event annals to the research line of that work (Appendix 2).

Keywords: Port dredging. Multiparameter diagnostics. Prospective demand.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa de localização do Porto de Maceió, Alagoas.....	40
Figura 2	Réplica da draga utilizada nas atividades de dragagem e descarte dos sedimentos do Porto de Maceió.....	42
Figura 3	Pontos de coleta nas áreas de dragagem e descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió.....	43
Figura 4	Análise box plot do MPS nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	47
Figura 5	Interpolação linear dos valores de MPS nos pontos amostrais entre os estratos da bacia de evolução do Porto antes (A e B), durante (C e D) e após (E e F) as obras de dragagem.....	49
Figura 6	Interpolação linear dos valores de MPS nos pontos amostrais entre os estratos da área de descarte antes (A e B), durante (C e D) e após (E e F) as obras de dragagem.....	52
Figura 7	Análise box plot da turbidez nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	54
Figura 8	Análise box plot da transparência da água nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	55
Figura 9	Interpolação linear da turbidez (A, C e E) e transparência da água (B, D e F) nos pontos amostrais da bacia de evolução do Porto antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.....	57
Figura 10	Interpolação linear da turbidez (A, C e E) e transparência da água (B, D e F) nos pontos amostrais da área de descarte antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.....	60
Figura 11	Análise boxplot do oxigênio dissolvido (A) e da % de saturação de OD (B) nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	63
Figura 12	Análise boxplot da salinidade (A) e condutividade elétrica (B) nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	64
Figura 13	Análise boxplot da série nitrogenada nitrito (A), nitrato (B), amônia (C) e nitrogênio total (D) nas áreas de dragagem e descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	65
Figura 14	Interpolação linear da série nitrogenada nitrito (A, B, I, J, Q e R), nitrato (C, D, K, L, S e T), amônia (E, F, M, N, U e V) e nitrogênio total (G, H, O, P, W e X) nos pontos amostrais entre os estratos da bacia de evolução do Porto antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.....	68
Figura 15	Interpolação linear da série nitrogenada nitrito (A, B, I, J, Q e R), nitrato (C, D, K, L, S e T), amônia (E, F, M, N, U e V) e nitrogênio total (G, H, O, P, W e X) nos pontos amostrais entre os estratos da área de descarte antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.....	77
Figura 16	Análise boxplot da série fosfatada ortossolúvel (A) e total (B) nas áreas de dragagem e descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).....	84
Figura 17	Interpolação linear da série fosfatada ortossolúvel (A, B, E, F, I e J) e total (C, D, G, H, K e L) nos pontos amostrais entre os estratos da bacia de	87

	evolução do Porto antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.....	
Figura 18	Interpolação linear da série fosfatada ortossolúvel (A, B, E, F, I e J) e total (C, D, G, H, K e L) nos pontos amostrais entre os estratos da área de descarte antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.....	93
Figura 19	Projeção de demanda das cargas relevantes do Complexo Portuário de Maceió.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores máximos de aceitabilidade para as séries nitrogenada e fosfatada, conforme o CONAMA, para águas salinas de Classe 1.....	46
Tabela 2	Guia geral para interpretação dos valores de % de saturação de oxigênio dissolvido.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A1	bombordo – lado esquerdo
A2	estibordo – lado direito
A3	proa – lado frontal
A4	popa – lado traseiro
AAP	Agenda Ambiental Portuária
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
Camex	Câmara de Comércio Exterior
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSS	concentração de sólidos suspensos
CTCQA	Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental
DNH	Diretoria de Hidrografia da Marinha
E	leste
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HPAs	hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i> – Ponderação do Inverso da Distância
MDF	<i>Medium density fiberboard</i> - Placa de fibra de densidade média
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i> - Aglomerado de densidade média
mg/L N	miligrama por litro de nitrogênio
mg/L P	miligrama por litro de fósforo
MHWN	preamar média de quadratura
MHWS	preamar média de sizígia
MPS	material particulado em suspensão
µm	micrômetro
MIP	material inorgânico particulado
MOP	material orgânico particulado
MT	Ministério dos Transportes
mS/cm	miliSiemens por centímetro
N	nitrogênio
N₂	gás nitrogênio
N₂O	óxido nitroso
NE	nordeste
NH₃	amônia
NH₄⁺	íon amônio
NM	nível médio
NO₂⁻	nitrito
NO₃⁻	nitrato
NID	nitrogênio inorgânico dissolvido
NOD	nitrogênio orgânico dissolvido
NOP	nitrogênio orgânico particulado
nm	nanômetro
NR	nível de redução
N-Total	nitrogênio total
NTU	<i>nephelometric turbidity units</i>
O₂	gás oxigênio
OD	oxigênio dissolvido
P	fósforo

PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
pH	potencial hidrogeniônico
PND	Plano Nacional de Dragagem
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
ppt	<i>parts per thousands</i> – partes por milhares
PO₄³⁻	ortofosfato
P-orto	fósforo ortossolúvel
P-total	fósforo total
%satOD	porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido
Reman	Refinaria Isaac Sabbá de Manaus
RLAM	Refinaria Landulpho Alves
RNEST	Refinaria Abreu e Lima
SE	sudeste
SEP/PR	Secretaria de Portos da Presidência da República
SSE	sul-sudeste
SW	sudoeste
TGL	Terminal de Granéis Líquidos
TMS	total de matéria suspensa
TSS	total de sólidos suspensos
TSHD	<i>Trailing suction hopper dredge</i> – draga transportadora de sucção e arrasto
UCD	Unidade de Caracterização de Amostragem
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Dragagem	20
2.2 Equipamentos de dragagem	22
2.2.1 Draga TSHD.....	23
2.3 Destinação final do sedimento dragado	23
2.4 Parâmetros indicadores de qualidade ambiental da água e de sedimentos	25
2.4.1 Material particulado em suspensão.....	25
2.4.2 Turbidez e transparência da água.....	26
2.4.3 Oxigênio dissolvido.....	27
2.4.4 Nitrogênio.....	28
2.4.5 Fósforo.....	29
2.5 Legislação ambiental e portuária no Brasil	30
2.5.1 Plano conceitual de dragagem.....	33
2.5.2 Plano de amostragem.....	34
2.5.3 Caracterização do material dragado.....	34
2.5.3.1 Caracterização física.....	35
2.5.3.2 Caracterização química.....	35
2.5.3.3 Caracterização ecotoxicológica.....	36
2.5.4 Definição da localização das áreas de disposição.....	37
2.5.5 Programas de monitoramento.....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Caracterização geral da área de estudo	40
3.2 Dragagem e pontos de coleta	41
3.3 Material particulado em suspensão	44
3.4 Séries nitrogenada e fosfatada	44
3.5 Medidas <i>in situ</i>	44
3.6 Geotecnologia	45
3.7 Projeção da demanda portuária	45
3.8 Análise dos dados	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Material particulado em suspensão	47
4.2 Turbidez e transparência da água	54
4.3 Oxigênio dissolvido e % de saturação	62
4.4 Salinidade e condutividade elétrica	63
4.5 Série nitrogenada	64
4.6 Série fosfatada	84
4.7 Prospecção da movimentação futura do Porto de Maceió pós-dragagem	97
4.7.1 Granel líquido combustível.....	98
4.7.1.1 Soda cáustica.....	98
4.7.1.2 Derivados de petróleo.....	98
4.7.1.3 Produtos químicos.....	99
4.7.1.4 Etanol.....	99
4.7.1.5 Petróleo.....	100
4.7.2 Granel sólido vegetal.....	101
4.7.2.1 Açúcar.....	101
4.7.2.2 Trigo.....	102

4.7.3 Granel sólido mineral.....	102
4.7.4 Perspectiva de novas cargas.....	103
4.7.5 Navios de cruzeiro.....	104
5 CONCLUSÕES.....	105
REFERÊNCIAS.....	107
APÊNDICES.....	118
ANEXOS.....	123

1 INTRODUÇÃO

O setor portuário configura importante braço da economia mundial e segue em constante expansão. As atividades de dragagem são intrínsecas à operação portuária e executadas periodicamente, na maior parte dos casos, podendo intensificar o transporte de sedimentos em um dado local e causar impactos econômicos e ambientais (MATTOS e GONÇALVES, 2016).

Os avanços no transporte marítimo, o aumento das demandas do comércio internacional e o foco para a redução de custos logísticos são algumas razões para que os portos tenham que se adequar para atender a nova realidade do transporte internacional (MENEZZO, 2016). Nesse novo cenário, com navios de grande porte, a profundidade do porto influencia diretamente na capacidade de receber essas embarcações. Sendo assim, o trabalho de dragagem no porto é fundamental para acompanhar essa modernização, pois para ser capaz de atuar com embarcações de maior calado mantendo a segurança da operação, se faz necessário realizar investimentos na infraestrutura portuária (OLIVEIRA e CORREIA, 2019).

Nos últimos anos, fatores como a demanda ambiental, comercial e turística, juntamente com a viabilidade de manutenção e expansão da atual capacidade do Porto de Maceió gerou a necessidade da realização de obras de dragagem, executadas no ano de 2018, visando à melhoria das condições de navegabilidade de seu canal de acesso.

Dentro desses termos, a dragagem torna-se uma alternativa altamente viável e eficaz, tendo, no entanto, como consequências mudanças na hidrodinâmica, nas características geofísicas e eventualmente alterações na geoquímica da água e do sedimento (REIS et al., 2020), já que a maior parte do material dragado é destinado no mar, uma vez que grande parte desse material não apresenta nível de contaminantes preocupantes e é semelhante aos sedimentos de áreas não antropizadas (CESAR et al., 2014).

Entretanto, a parte restante que é poluída, oriunda de fontes antrópicas (fertilizantes químicos, resíduos industriais, lançamento de esgotos e efluentes não tratados, rejeitos de minério, etc.), pode conter significativa contaminação capaz de causar danos ambientais e perda de espécies desejáveis (FERREIRA et al., 2012; JUNJIE et al., 2014; FONSECA e PALMA, 2018; VEZZONE et al., 2018; FERREIRA, 2019; FERREIRA et al., 2020; FONSECA et al., 2020).

Os conflitos decorrentes da operação de dragagem em relação à qualidade dos corpos hídricos ocorrem, principalmente, em função da ressuspensão dos sedimentos dragados, que tem como consequência uma piora na qualidade ambiental da área dragada (JONES et al., 2015). Assim, a concordância com os requisitos ambientais apresenta-se como premissa

fundamental para a viabilidade ambiental das atividades de dragagem e, conseqüentemente, das atividades portuárias (CHAGAS et al., 2018).

Uma das etapas desse processo consiste na elaboração de projetos de dragagem que, se bem estruturados, vão permitir o gerenciamento de toda a cadeia de atividades de dragagem, entre as quais se destacam: a escolha dos melhores métodos de dragagem e de despejo do material dragado, bem como a seleção do equipamento de dragagem mais adequado para a retirada, transporte e despejo dos materiais submersos (LOPES, 2014).

Por ser um cenário recorrente, Murta et al (2019) apontam a necessidade do monitoramento ambiental contínuo, tanto na área dragada quanto na área de descarte, com a modelagem da dispersão da pluma de sedimentos. Para tanto, e com base em estudos especializados, os materiais dragados devem ser devidamente identificados, quantificados e caracterizados física e quimicamente, de forma a não haver dúvida, uma vez que os projetos precisam ser economicamente justificados e gerar o menor impacto ambiental possível ou contribuir para a minimização dos riscos ambientais, de forma a atender as exigências da legislação em vigor e viabilizar a relação do custo-benefício, associado aos aspectos positivos, almejados pela dragagem portuária (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Acerca do exposto, o objetivo geral do presente estudo consistiu em analisar os efeitos ambientais dos sedimentos dragados do Porto de Maceió, bem como a prospecção da demanda portuária pós-dragagem.

Os objetivos específicos consistiram em:

1. Determinar as concentrações de material particulado em suspensão antes, durante e após as obras de dragagem;
2. Analisar as séries nitrogenada e fosfatada da água nas três campanhas de amostragem;
3. Avaliar as medidas *in situ* de turbidez e transparência da água, salinidade e condutividade elétrica e das taxas de oxigênio dissolvido e % de saturação nas mesmas campanhas supracitadas;
4. Espacializar a incidência dos multiparâmetros nas áreas de dragagem e de descarte dos sedimentos, mediante o uso de técnicas de geoprocessamento;
5. Projetar a demanda futura prevista para o Complexo Portuário de Maceió em um horizonte até 2060.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Dragagem

Em linhas gerais, a dragagem é definida, conforme a lei nº 12.815/13, como sendo uma obra de engenharia que consiste no desassoreamento, alargamento, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material de fundo de rios, lagoas, mares, baías ou canais; geralmente com o intuito de realizar a manutenção ou aumentar a profundidade dos canais de navegação utilizados por grandes navios, cargueiros e autotransportadoras de contêineres para acesso aos portos (MENEGAZZO e PETTERINI, 2018).

A dragagem pode ser de dois tipos principais: ambiental e de manutenção. Enquanto a dragagem de manutenção tem como principal meta manter, satisfatoriamente, as profundidades de portos, rios e canais propiciando a navegação, a dragagem ambiental visa a retirada de uma determinada quantidade de sedimentos contaminados (BOLDRINI et al., 2007a).

Na dragagem de manutenção ocorre a retirada de forma rápida de uma grande quantidade de material sedimentar, sendo que muitas vezes não se é dada a devida importância ao manejo do material dragado. Por outro lado, na dragagem ambiental existem procedimentos rigorosos aplicados tanto à operação de dragagem, quanto ao transporte e manejo deste material, assim como de sua disposição (BOLDRINI et al., 2007b).

Embora o principal uso das atividades de dragagens seja para a construção ou ampliação de cais e portos, as dragagens incluem atividades de extração de sedimentos para as indústrias de construção civil e agrícolas, de obras de proteção das zonas costeiras através de aterro e recuperação de terras, de melhorias ambientais na prevenção de inundações ou remediação de áreas contaminadas, além de instalações de infraestrutura, tais como cabos e dutos subaquáticos (MANAP e VOULVOULIS, 2015).

As dragagens são importantes para manter a segurança da navegação de portos, terminais e marinas e são fundamentais para garantir o comércio e a sustentabilidade econômica de várias regiões (BATES et al, 2015). Nos últimos anos, houve um incremento na demanda por dragagens em todo o mundo, seja pelo crescimento das atividades comerciais globalizadas, seja pelo aumento no número e no tamanho dos navios (SILVEIRA, 2016).

Como resultado, a realização da dragagem agrega valor à atividade portuária com o aumento da capacidade do canal, visto que o aumento da profundidade permite o atendimento de embarcações de maior calado, muitas vezes mais modernos. Já o aumento da largura pode

influenciar na melhoria do tráfego marítimo, permitindo maior agilidade de operação e consequentemente maior produtividade (MAREN et al., 2015).

Dentro das obras marítimas e portuárias, destacam-se os processos para construção e manutenção dos canais de navegação, principalmente aqueles utilizados para entrada e saída de navios de portos, e que geralmente sofrem algum processo de diminuição em sua profundidade, sendo necessária a operação de dragagem destes canais (TORRES, 2000).

As três etapas básicas de uma atividade de dragagem são a escavação, o transporte e a disposição final dos sedimentos, que são realizadas repetidas vezes até que seja alcançada a profundidade desejada. Diferentes tecnologias e equipamentos são utilizados, dependendo do tipo de material e do local do trabalho (MANAP e VOULVOULIS, 2014). Os sedimentos dragados são removidos dos cursos de água e, em seguida, devem ser geridos de forma que atenda às normas regulatórias e tenha uma gestão equilibrada entre custos e riscos (MARMIN et al., 2014; BATES et al., 2015).

A grande demanda faz com que aumentem os riscos de impactos ambientais negativos, como a contaminação das águas e a alteração do hábitat natural de diversas espécies (MANAP e VOULVOULIS, 2016). Ademais, podem haver alterações significativas na hidrodinâmica local, afetando a navegação (MATTOS, 2016). Todavia, as atividades de dragagem estão sujeitas a licenciamento ambiental para assim garantir a implantação e a operação de portos e terminais portuários, a navegabilidade, as condições de operação de obras hidráulicas e o controle de eventos hidrológicos críticos, trazendo, portanto, inúmeros benefícios sociais, econômicos e de segurança para a sociedade (BOLDRINI e DE PAULA, 2009).

Sob uma perspectiva do risco às saúdes humana e ecológica, a avaliação da contaminação dos sedimentos e a sua gestão adequada se tornam muito importantes quando as atividades de dragagem são executadas. Consequentemente, a remoção de sedimentos contaminados requer a caracterização do material dragado, a avaliação de possíveis áreas de disposição e a avaliação dos potenciais efeitos ambientais. Sob a regra geral de que a dispersão e diluição dos contaminantes no meio ambiente deve ser evitada, atividades de dragagem e disposição devem ser feitas somente depois de avaliar áreas a serem dragadas e de disposição, assegurando, na medida do factível, que a perturbação ambiental e os possíveis prejuízos serão minimizados (LEOTSINIDIS e SAZAKLI, 2008).

Estudos anteriores enfatizam os eventuais impactos ambientais negativos das dragagens associados ao aumento da turbidez da água e dispersão da pluma de sedimentos, tais como os realizados por Mattos (2016) na Baía de Paranaguá e Antonina (PR), Wartanian et al (2016) no Porto de Umm Qaser (Iraque), Santos e Farinhas (2017) no Porto de Santos (SP), Santos (2018)

e Sousa (2018) no Complexo Portuário de São Luís (MA) e Sipres (2019) na Baía de Guanabara (RJ). Em ambos os estudos, a magnitude e a gravidade dos impactos ambientais de projetos de dragagens dependem da frequência, duração e intensidade de perturbações como turbidez e sedimentação, além da resiliência do ecossistema em questão.

2.2 Equipamentos de dragagem

Os equipamentos utilizados nos serviços de dragagem são denominados de dragas, geralmente uma embarcação ou plataforma flutuante equipada com mecanismos necessários para se efetuar a remoção de sedimentos, podendo ser de dois tipos principais: mecânicas e hidráulicas ou de sucção (GOES FILHO, 2004).

As dragas mecânicas têm como característica a menor seletividade do material a ser dragado, além de ser uma operação de forma descontínua. São utilizadas para a remoção de cascalho, areia e sedimentos muito coesivos, como argila, turfa e silte altamente consolidado. Estas dragas removem sedimentos de fundo através da aplicação direta de uma força mecânica para escavar o material, independentemente de sua densidade (LOPES, 2014).

As formas principais de dragas mecânicas são as escavadeiras flutuantes, tais como as de caçamba e de garras (*grab dradge*), as escavadeiras (*dipper dredge*), as retroescavadeiras (*hoe*), as de pá de arrasto (*dragline*) e as dragas de alcatruzes, também conhecidas por *bucket ladder*. Os sedimentos escavados com a utilização de dragas mecânicas são geralmente transportados em barcaças, dependendo do volume a ser transportado (SIMÕES, 2009; OLIVEIRA, 2010; BASTOS e BASSANI, 2012; MUSRIYADI e NAIFAH, 2017; ROJAS-SOLAS e DE LA MORENA-DE LA FUENTE, 2018).

As dragas hidráulicas ou de sucção, por sua vez, devido às suas grandes dimensões e capacidade de trabalho, são utilizadas geralmente em dragagens de portos marítimos, onde o volume de dragagem costuma ser bastante expressivo, sendo mais adequadas para a remoção de areia e silte pouco consolidado, removendo e transportando o sedimento na forma líquida. São em geral bombas centrífugas, acionadas por motores a diesel ou elétricos, montadas sobre barcas e que descarregam o material dragado através de tubulações, mantidas sobre a água através de flutuadores (SIMÕES, 2009; BASTOS e BASSANI, 2012).

As dragas hidráulicas ou de sucção podem ser do tipo aspiradoras ou cortadoras. Nas aspiradoras, a aspiração é feita por meio de um grande bocal de sucção, no qual o material é desagregado, absorvido e levado junto com a água aos tubos sugadores. Já as cortadoras dispõem de um rotor aspirador, equipado com lâminas que desagregam o material já

consolidado para que este possa ser aspirado para o interior do tubo de sucção que se insere no núcleo do rotor, semelhante às dragas aspiradoras, porém com maior eficiência (WIT, 2015; SU e YUAN, 2016; MUSRIYADI e NAIFAH, 2017, LI et al., 2018).

2.2.1 Draga TSHD

É frequente o uso de dragas autotransportadoras de sucção e arrasto do tipo TSHD (*Trailing suction hopper dredge*) em obras de dragagem portuária, em que os navios apresentam tanques (cisternas) de fundo móvel onde o material dragado é depositado. Essas dragas operam por meio de um sistema de dutos e braços sugadores, com auxílio de implementos perfuradores e desagregadores nas extremidades chamados de cabeça de dragagem, e ao aspirar o sedimento trazem junto uma grande quantidade de água. Conforme os tanques vão se enchendo a água excedente é eliminada, processo este conhecido por *overflow* (transbordamento), por meio de uma saída vertical, enquanto o sedimento dragado se deposita no fundo. Esse fluxo forma uma pluma de turbidez (*overflow plume*) sob a quilha, que apresenta comportamento e capacidade de visualização variável, composta principalmente de argila e areia fina (WIT et al., 2014).

2.3 Destinação final do sedimento dragado

Desde seu início e durante séculos, os resíduos de dragagem eram dispostos de forma totalmente aleatória, em locais onde muitas vezes prejudicavam seriamente o meio ambiente, sem que houvesse nenhum questionamento em relação a este aspecto (GOES FILHO, 2004; BOLDRINI et al., 2007b). A preocupação com a gestão adequada do material dragado só passou a se configurar, realmente, em meados dos anos 1970, com a Conferência de Estocolmo, em 1972 e com a Convenção de Londres, realizada no mesmo ano, na qual deram origem às regulamentações internacionais de depósito dos materiais dragados em áreas marítimas, retificada em 1996 com o Protocolo de Londres e só entrando em vigor a partir de 2006, ratificada por 44 países, entre eles o Brasil como um de seus signatários (FROHLICH et al., 2015).

Como de praxe, o descarte em mar aberto ou próximo a zona costeira é o mais comum e mais utilizado método de destinação do material dragado e tem sido o menos oneroso dentre os demais métodos, apesar de ecologicamente discutível (TORRES, 2000).

Os potenciais efeitos ambientais da dragagem são, em geral, ocasionados como resultado das próprias operações da dragagem em si, ou em consequência da destinação dos

sedimentos dragados, que assumem, então, restrições quanto ao uso e sua disposição (OLIVEIRA, 2010).

O lançamento/alijamento do sedimento promove a dispersão de nutrientes e contaminantes (íons livres e complexados da água intersticial, coloides, adsorvido em partículas finas, etc.) em horas e a longo prazo na coluna de água. Isso continua a ocorrer mesmo depois da sedimentação total do material no local de disposição/bota-fora, no entorno ou áreas mais amplas. Além dos fatores hidrodinâmicos, uma mudança permanente do estado trófico e da disponibilidade de poluentes na coluna d'água depende da frequência e do volume de sedimentos lançados (SILVEIRA, 2016).

Todos os contaminantes podem ser dispersados na forma livre e/ou complexados e adsorvidos em partículas finas e precipitar com as partículas maiores. O resultado é que a sedimentação tende a formar uma camada que cobre o sedimento não contaminado preexistente, cuja permanência/persistência depende da frequência e quantidade de material lançado e das diferenças das condições ambientais (ressuspensão, espalhamento de fundo, correntes de marés e ação das ondas). Enquanto o material permanece lá, a liberação de contaminantes para o meio nas suas formas mais biodisponíveis pode acontecer com a toxicidade e os riscos específicos, ou seja, em qualquer caso, a dispersão e a liberação crônica de contaminantes caracteriza uma atenuação da concentração (SILVEIRA, 2016).

Uma pluma de sedimentos em suspensão, definida por Crapper (1977) como fluxos com a flutuabilidade alimentada de maneira contínua pelas características do material pode conter uma larga variedade de diâmetros de partículas, variando desde classe de areia com diâmetros maiores que 63 μm , até argila com diâmetros bem menores. Dada a menor velocidade de sedimentação na cisterna da draga, a pluma geralmente contém mais argila e areia fina do que o próprio material dragado (WIT et al., 2014).

O despejo na coluna d'água pode ser predominantemente dispersivo ou não-dispersivo. Nos estratos não-dispersivos, a intenção é que o material permaneça no fundo, enquanto nos dispersivos o material pode distribuir-se durante o despejo ou ser erodido do fundo após um determinado período, podendo ser removido e transportado para fora da área de despejo através da ação de correntes ou ondas. Em ambos os casos, o sítio de despejo pode ser monitorado e gerenciado de diversas maneiras para reduzir ou evitar impactos ao ambiente (TORRES, 2000).

Assim, o descarte de sedimentos dragados requer planejamento inicial, decisão técnica especializada e projeto estratégico, antecedentes às obras de dragagem (MATTOS, 2016).

2.4 Parâmetros indicadores de qualidade ambiental da água e de sedimentos

2.4.1 Material particulado em suspensão

A pluma de dispersão do material dragado que fica na coluna d'água é chamado na literatura de material particulado em suspensão (ou, simplesmente, MPS), também denominado TMS (total de matéria suspensa), TSS (total de sólidos suspensos), ou ainda CSS (concentração de sólidos suspensos) (BARNES et al., 2015).

O MPS é constituído por partículas inorgânicas (sedimento), denominado também de material inorgânico particulado (MIP), e elementos biogênicos (matéria orgânica dissolvida e particulada) em suspensão na água, também denominado de material orgânico particulado (MOP) (HAKANSON et al., 2005).

Essas partículas possuem a capacidade de inibir ou enriquecer os ecossistemas costeiros, fixar ou adsorver poluentes de metal, produtos químicos ou de origem orgânica (VIANA, 2009; GOMES, 2016; SOUSA, 2016; BARROS et al., 2017), podendo causar eutrofização e a degradação de habitats marinhos biologicamente produtivos (LIU et al., 2016). Entre outras consequências estão a elevação da turbidez, da sedimentação e a diminuição de oxigênio dissolvido na água (GRASSO et al., 2018).

O MPS presente na água é, geralmente, uma mistura de substâncias de diferentes origens e propriedades (tamanho, forma, área superficial, capacidade de se agregar com poluentes, dentre outras). Esse material está dividido na fração orgânica (MOP) e inorgânica (MIP). A matéria orgânica total, normalmente é dividida em particulada e dissolvida. Aproximadamente 4% da MOP é constituída de matéria viva, sendo o restante oriundo de detritos (HAKANSON et al., 2005)

O MPS é constituído por três frações sólidas principais: areia, argila e silte. As partículas mais grosseiras, principalmente areia, constituem a principal fonte do material particulado em suspensão. O silte e a argila, por sua vez, são materiais coesivos, e dependendo da quantidade de água podem ser classificados como lama (*mud*) (PASSOS et al., 2015; SIMÕES NETO et al., 2017).

Em relação à constituição dos materiais dragados, as frações argílica e orgânica são as mais relevantes. A fração argílica é constituída de sedimentos muito finos, conservando-se em um maior intervalo de tempo na coluna d'água, sendo facilmente carregada pela ação das ondas e marés. Por esse motivo, são passíveis de se disseminarem mais facilmente para fora da área

prevista de disposição, originando, por conseguinte, um aumento da região que será impactada (SHAO et al., 2015).

A fração orgânica, por sua vez, é sintetizada a partir da união de substâncias originadas de resíduos de animais e vegetais, em associação com o solo e substâncias provenientes de processos físicos, químicos e biológicos nesses resíduos, podendo, assim, alterar o seu comportamento físico e químico, influenciando, tão logo, na disposição do material dragado no meio aquático, podendo então ser ressuspenso (OLIVEIRA, 2010).

Observa-se, assim, que o material particulado em suspensão desempenha um importante papel nos ecossistemas aquáticos, influenciando no transporte de diferentes tipos de materiais e contaminantes, tanto nas frações dissolvidas na região pelágica quanto nas frações particuladas que gradativamente se sedimenta na região bentônica, associados, a quantidade de plâncton, material ressuspenso, aporte de material alóctone, concentração de substâncias húmicas e fúlvicas (HAKANSON et al., 2005).

No que se refere às obras de dragagem, milhões de metros cúbicos de material sólido e em suspensão são retirados do local de origem e sua análise deve ocorrer prévia, durante e posteriormente à obra no sentido de avaliar possíveis danos ambientais, como alteração dos padrões de circulação e mistura da água, salinidade, turbidez, alteração das condições do local de lançamento do material dragado e impactos diretos sobre a fauna e flora aquática, que eventualmente podem afetar a pesca e sua área de influência direta do local de disposição (POLLOCK et al., 2014; KJELLAND et al., 2015; JONES et al., 2016; WENGER et al., 2017; CABALLERO et al., 2018; COELHO et al., 2018).

Dessa forma, o MPS é amplamente analisado e utilizado em trabalhos de gestão de recursos hídricos por ser um indicador de transparência da água e determinação da zona fótica, uma vez que expressa diretamente a pluma de dispersão dos sedimentos dragados (FALCÃO FILHO et al., 2016).

2.4.2 Turbidez e transparência da água

A turbidez da água é a medida de sua capacidade em dispersar a radiação. Quantitativamente, este fenômeno pode ser expresso em termos de coeficiente de dispersão ou unidade, sendo as mais frequentes a NTU (*nephelometric turbidity units*) e as unidades de turbidez de Jackson (YAO et al., 2014).

A porção iluminada da coluna d'água pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. Esta região da coluna d'água é denominado zona eufótica e sua extensão depende,

principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática (BESSELL-BROWNE et al., 2017).

Os principais fatores responsáveis pela turbidez da água, bem como pela dispersão da radiação, são as partículas suspensas (bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos e inorgânicos) e em menor proporção os compostos dissolvidos. Estes últimos são os responsáveis pela cor verdadeira da água e o material em suspensão pela cor aparente (CHAGAS, 2015).

Do ponto de vista óptico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez, e sua avaliação, de maneira simples, é feita com o emprego de um disco de 20 a 30 cm de diâmetro, denominado disco de Secchi. Este aparelho simples foi introduzido em estudos limnológicos pelo italiano Angelo Secchi, em 1886. Esta medida é obtida mergulhando-se o disco, geralmente com dois quadrantes pintados de branco e preto, o que facilita a leitura ou a visualização da cor branca na água (ESTEVES, 1998).

A profundidade do desaparecimento do disco de Secchi é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no caminho ótico. Em outras palavras, a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação de 400 a 740 nm, portanto o espectro visível, refletida do disco não é mais sensível ao olho humano, denominada profundidade do disco de Secchi (ESTEVES e BARBIERI, 2011).

Considerando-se a simplicidade de sua utilização, o custo reduzido, a facilidade de transporte e, sobretudo, o número de informações que podem ser extraídas a partir das medidas de profundidade do disco de Secchi, seu estudo possibilita não só avaliar a evolução da transparência da água, como também inferir sobre fenômenos ligados à biologia, à física, e química do ambiente como, por exemplo, a eutrofização (ESTEVES, 2011).

2.4.3 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) na coluna d'água é essencial para a sobrevivência de peixes e demais organismos aquáticos e sua concentração depende do somatório de diversos fatores, como aeração (difusão de gases na interface água-atmosfera), transporte, fotossíntese, respiração, nitrificação e degradação da matéria orgânica morta biodisponível (PINTO et al., 2010).

O OD representa a quantidade de oxigênio consumido, resultante da oxidação da matéria orgânica dissolvida, das reações de oxidação catalisadas pela atuação de microrganismos presentes na água e pela nitrificação da amônia (D'ANGELLO, 2011).

O enriquecimento de nutrientes, oriundo, sobretudo, do lançamento de esgotos e efluentes não tratados e do carreamento de agrotóxicos (herbicidas, pesticidas, fungicidas...), na água ou contido nos sedimentos ou partículas em suspensão, dentro de certas condições, pode favorecer o desenvolvimento de uma superpopulação de microrganismos decompositores, que consomem rapidamente o gás oxigênio disponível. Em consequência, o nível de O_2 na água é drasticamente reduzido, acarretando a morte por asfixia das espécies aeróbicas. O ambiente, então, passa a exibir uma nítida predominância de organismos anaeróbicos, em virtude da incidência de algas e cianobactérias, que produzem substâncias tóxicas diversas (DARWICH et al., 2005; ESTEVES e FURTADO, 2011).

Às vezes, ocorre proliferação excessiva de certas algas, fenômeno conhecido como floração das águas. O aumento na população de algas superficiais forma uma espécie de “tapete” sobre as águas, dificultando a penetração de luz no ambiente aquático. Assim, a atividade fotossintetizante das algas submersas é seriamente afetada. Além disso, no final do processo, essas algas morrem e, ao serem decompostas, provocam mais consumo de O_2 , como sucede na degradação de qualquer material orgânico. Logo, a disponibilidade de O_2 na água torna-se muito pequena, fato que provoca a morte de seres aeróbicos por asfixia, e o gás oxigênio pelas algas de superfície é liberado praticamente em sua totalidade para a atmosfera (JANZEN et al., 2008).

2.4.4 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos principais elementos dos ciclos biogeoquímicos globais, sob as formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), dentre outros (NASCIMENTO e MEDEIROS, 2021).

Assim como o fósforo (P), o N é essencial para o metabolismo e constituição celular (biomassa), por sua grande abundância em biomoléculas-chave como proteínas, peptídeos e aminoácidos, sendo indispensável para os organismos, podendo ser limitante à produção primária e secundária, crescimento de algas, microrganismos procarióticos (bactérias planctônicas, por exemplo) e organismos eucariotos (zooplânctons) em ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011).

As principais fontes de N para os ecossistemas aquáticos são a fixação biológica de nitrogênio (processos de transformação de N_2 em N biológico), chuvas, tempestades atmosféricas de raios, aporte orgânico e inorgânico a partir de ecossistemas adjacentes e,

atualmente em grande escala, pelo aporte de efluentes domésticos e industriais não tratados ou parcialmente tratados nos corpos d'água (ESTEVEES e AMADO, 2011).

As formas de N podem ser classificadas nas seguintes categorias: nitrogênio orgânico particulado (NOP) sob a forma de organismos (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton, peixes, etc.) ou detritos, normalmente compostos com tamanhos superiores a 0,2 ou 0,45 μM ; nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) sob a forma de compostos lixiviados (aminoácidos, peptídeos, purinas, etc.) a partir de organismos senescentes ou mortos como macrófitas aquáticas e organismos fitoplanctônicos; e nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) sob as formas de nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso e nitrogênio molecular (ESTEVEES e AMADO, 2011).

Nos ecossistemas aquáticos o nitrito, o nitrato e o íon amônio são as principais formas de nitrogênio assimiláveis pelos produtores primários. A principal forma inorgânica de N prontamente utilizável metabolicamente pelos produtores primários é o íon amônio; em termos energéticos, o nitrito é a segunda melhor forma assimilável de nitrogênio, seguida do nitrato (LIU et al., 2019).

Em Limnologia, as referências sobre as concentrações de amônia, na maioria dos casos, estão sendo consideradas juntas as concentrações das duas formas de nitrogênio amoniacal, NH_3 e NH_4^+ (ESTEVEES, 2011).

2.4.5 Fósforo

A determinação das concentrações de fósforo na água e sedimentos é uma etapa fundamental para o monitoramento e análise de fenômenos como a eutrofização, bem como para o conhecimento dos padrões de ciclagem do fósforo em ambientes aquáticos (FERREIRA et al., 2012).

O fósforo pode ser classificado em quatro formas principais: fósforo particulado (P-particulado) orgânico e inorgânico, fósforo dissolvido (P-dissolvido) orgânico e inorgânico, fósforo inorgânico dissolvido (P-orto) e fósforo total (P-total) (ESTEVEES, 2011).

O P-particulado orgânico inclui o fósforo presente nas estruturas celulares de organismos vivos (excretas) ou mortos ou em partes de organismos e fezes, enquanto o P-particulado inorgânico inclui o fosfato adsorvido a partículas, como argilas (ESTEVEES e PANOSSO, 2011).

O P-orgânico dissolvido é produzido por organismos vivos ou em decomposição, inclui compostos como nucleotídeos, coloides orgânicos e ésteres de fosfato de baixo peso molecular;

já o fósforo inorgânico dissolvido corresponde principalmente ao ortofosfato (P-orto ou PO_4^{3-}). A fração denominada “fósforo solúvel reativo” se refere principalmente ao P-orto, mas também inclui qualquer forma de fósforo que é detectada pelos métodos usados para a quantificação de ortofosfato (ESTEVES e PANOSSO, 2011).

O P-total, como a própria denominação sugere, corresponde à soma de todas as formas de fósforo em uma amostra de água; é determinado convertendo-se todo o fósforo (dissolvido e particulado), presente em uma amostra não filtrada, em uma forma inorgânica, o ortofosfato (ESTEVES e PANOSSO, 2011).

Do ponto de vista ambiental, todas as formas de fósforo são importantes, no entanto, o P-total e o P-orto assumem maior relevância; o primeiro por ser utilizado como estimativa do grau de fertilização (estado trófico) do ambiente aquático, e o segundo por ser a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos, microalgas e bactérias (YU et al., 2017; LIU et al., 2019).

2.5 Legislação ambiental e portuária no Brasil

Desde a abertura dos portos brasileiros ao comércio com as nações amigas do império de Portugal, em 1808, o crescimento econômico do Brasil, país de dimensões continentais com um litoral de mais de 7.500 km de extensão, sempre dependeu das atividades portuárias (CASTRO, 2012).

Concomitantemente à abertura dos portos surgem os centros urbanos e uma simbiótica relação porto-cidade-região, de modo que, à medida que os portos se desenvolvem, promovem o desenvolvimento dos ambientes externos de várias maneiras (CASTRO, 2012).

As recentes mudanças no setor de transporte aquaviário iniciaram com a Lei de Modernização dos Portos, que inaugurou o novo regime jurídico de exploração e das instalações portuárias. Passaram pela Agenda Ambiental Portuária (AAP), que iniciou a conciliação da atividade portuária com a preservação ambiental; a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), encarregada de implementar, em sua esfera de atuação, as políticas formuladas pelo Ministério dos Transportes (MT); e pela Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR), criada através da lei nº 11.518 de 5 de setembro de 2007, cuja responsabilidade é formular políticas e diretrizes para o fomento do setor, executando medidas, programas e projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura e superestrutura portuária (MENEZZO, 2016; HAGUENAUER et al., 2020).

A SEP/PR desenvolveu uma série de projetos previstos nas duas fases do Programa de Aceleração do Crescimento do Governo Federal (PAC 1 e PAC 2), que priorizam a manutenção, recuperação e ampliação da infraestrutura portuária, assim como a ampliação da eficiência logística dos portos brasileiros com vistas ao crescimento econômico e desenvolvimento do País. Os investimentos em dragagens para aprofundamento dos canais de acesso aos terminais, capacitando-os para receber embarcações de maior porte, inserem-se nessa questão (FELIPE JUNIOR, 2018).

O Plano Nacional de Dragagem (PND 1), instituído pela Lei 11.610/2007, foi lançado em 2007 e teve como meta principal desassorear os portos brasileiros, além da manutenção da profundidade dos mesmos e para propor soluções a fim de reduzir os gargalos de acessos marítimos aos portos brasileiros. Dentre as limitações mais relevantes estão o assoreamento dos canais, bacias de evolução e berços de atracação, insuficiência da capacidade operacional e logística dos portos para atender à crescente demanda e embarcações, alta taxa de multa por atrasos, aumento dos custos de fretes e seguros e perda de competitividade. O Plano inaugurou também a “dragagem por resultado”, que consiste na contratação das obras em caráter contínuo, mantendo assim as condições de profundidade estabelecidas no projeto por até cinco anos, prorrogável uma única vez por até um ano (MENEGAZZO e PETTERINI, 2018).

Por sua vez, O PND 2, lançado em 2012, prevê o aprofundamento e manutenção das profundidades atingidas nos canais de acesso, bacia de evolução e berços de atracação em contratos de longo prazo e possibilidade de contratação em blocos, para garantir o ganho de escala (FELIPE JUNIOR, 2018).

A questão ambiental, anteriormente, ganhou ampla importância a partir da década de 1990, com a regulamentação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Dentre as ferramentas da PNMA, está a exigência de avaliação de impacto ambiental e o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, como a operação de portos e as atividades de dragagem, incluindo a disposição dos sedimentos dragados (BOLDRINI et al, 2007b).

O Anexo 1 da Resolução nº 237/97 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) elenca expressamente a dragagem e os derrocamentos em corpos d'água como atividades sujeitas ao licenciamento ambiental. Quando da publicação da referida Resolução, o Brasil já era signatário da Convenção de Londres de 1972, que foi promulgada por meio do Decreto nº 87.566/82. Esse acordo internacional determinava que as partes signatárias deviam adotar medidas para impedir a contaminação do mar pelo alijamento de resíduos e de outras substâncias que pudessem gerar perigos para a saúde humana, prejudicar os recursos biológicos

e a vida marinha, bem como danificar as condições ou interferir em outras aplicações legítimas do mar (LIMA, 2009; FROHLICH et al., 2015).

A intensificação das atividades de dragagem no Brasil, todavia, externalizou diversas lacunas no marco regulatório até então existente, de modo que até meados dos anos 2000 não havia uma lei em nível nacional que regesse àquelas postuladas no Protocolo de Londres, o que culminou na criação das diretrizes implementadas pela Resolução CONAMA n° 344/2004, com vias de fiscalização e preservação ambiental. Entretanto, ela não definia limites de concentrações de constituintes, o que a tornava incompleta, já que a coluna sedimentar é constituída de sedimentos mais a água intersticial em contato direto com a coluna d'água. Além disso, o Brasil não possuía séries históricas sobre contaminação em sedimentos relativos à dragagem; logo, a definição dos valores orientadores de qualidade teve como referência publicações canadenses e norte-americanas (BOLDRINI e DE PAULA, 2009).

Diante desse fato, a Resolução CONAMA n° 344/04 previu uma revisão em até cinco anos de sua publicação, que teria como objetivo o estabelecimento de valores orientadores nacionais para classificação do material a ser dragado. Dessa forma, seria possível constituir séries históricas durante o período de vigência, o que auxiliaria no futuro refinamento dos valores orientadores de qualidade, tornando-os mais próximos das peculiaridades das regiões brasileiras (FROHLICH et al., 2015).

Contudo, a referida revisão não conseguiu ser realizada dentro do prazo estabelecido, o que motivou a publicação da Resolução CONAMA n° 421/10, que revogara o artigo 9° da Resolução CONAMA n° 344/04 (que estabelecia a necessidade de revisão) e determinou que a Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental (CTCQA) do CONAMA deveria apresentar ao Plenário do referido conselho, no prazo de 24 meses, uma proposta de revisão parcial ou total da Resolução CONAMA n° 344/04 (ANDRADE, 2009).

Finalmente, em 2012, a Resolução CONAMA n° 454 incrementou as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, contemplando uma revisão mais abrangente dos valores orientadores de qualidade e dos procedimentos que aprimoram o gerenciamento de materiais a serem dragados em área portuárias (FROHLICH et al., 2015; KANASHIRO e XIE, 2016).

A partir de então ficaram definidos os limites para diversos contaminantes que podem ser carregados junto com o sedimento de fundo, geralmente associados às atividades agrícolas na bacia hidrográfica e despejos de efluentes domésticos e industriais sem tratamento (SILVA, 2007).

Cabe mencionar que a alteração da expressão “procedimentos mínimos”, prevista na Resolução CONAMA n° 344/04, para “procedimentos referenciais”, reforça o entendimento de que a Resolução CONAMA n° 454/12 estabelece diretrizes para o gerenciamento do material a ser dragado, e não procedimentos e valores mandatórios. Por sua vez, a alteração da expressão “águas jurisdicionais brasileiras”, prevista na Resolução CONAMA n° 344/04, para “águas sob jurisdição nacional”, acabou por reproduzir a nomenclatura já adotada pela Lei n° 9.966/00, o que auxiliou a uniformização (FROHLICH et al., 2015).

2.5.1 Plano conceitual de dragagem

Uma das principais inovações da Resolução CONAMA n° 454/12 se refere à necessidade de apresentação pelo empreendedor de um plano conceitual de dragagem ao órgão ambiental licenciador, contemplado no artigo 3°, devendo apresentar: levantamento batimétrico da área a ser dragada, cotas pretendida e de eventual projeto anterior, delimitação da área a ser dragada com coordenadas georreferenciadas, volume a ser dragado, delimitação das áreas de disposição propostas com suas coordenadas georreferenciadas, cronograma de execução e caracterização dos equipamentos de dragagem.

A Resolução CONAMA n° 454/12 permite ainda que o órgão ambiental licenciador, no caso de dragagens em águas salinas e salobras, solicite ao empreendedor o levantamento batimétrico das áreas de disposição propostas e, quando oportuno, a descrição do sistema de rastreamento dos equipamentos de dragagem, exceto quando se tratar de situações de emergência ou de calamidade pública, decretadas ou declaradas oficialmente.

Dessa forma, ao exigir a apresentação de um plano conceitual de dragagem no âmbito do licenciamento ambiental, a Resolução CONAMA n° 454/12 auxiliou na uniformização do conjunto mínimo de dados e informações a ser solicitado pelos órgãos ambientais licenciadores.

Todavia, a exemplo da Resolução n° 344/04, a Resolução n° 454/12 incluiu a possibilidade de dispensa de caracterização prévia do material a ser dragado e três hipóteses de dispensa, relacionadas aos casos nos quais já se tem um conhecimento adequado do histórico da área a ser dragada ou quando esta já vem sendo objeto de monitoramento ambiental, proveniente de:

1. áreas com monitoramento regular do sedimento, de acordo com os critérios definidos pelo órgão ambiental licenciador, com base na Resolução CONAMA n° 454/12;

2. áreas que não apresentem histórico de contaminação, considerando o uso e ocupação do solo ou comprovados por dados representativos de caracterização do sedimento, a critério do órgão ambiental licenciador;
3. dragagem de manutenção e sujeito a programa de monitoramento da área a dragar, aprovado e acompanhado pelo órgão ambiental licenciador.

Observa-se, portanto, que a Resolução CONAMA n° 454/12 ampliou as hipóteses excepcionais que justificam a não realização da caracterização prévia do material a ser dragado, o que foi motivado pela experiência adquirida durante os licenciamentos ambientais de dragagens ocorridos durante a vigência da Resolução CONAMA n° 344/04.

2.5.2. Plano de amostragem

A Resolução CONAMA n° 454/12 também exige a apresentação de um Plano de Amostragem pelo empreendedor antes da realização das coletas do material. De acordo com o artigo 2º, XI, da referida Resolução, o Plano de Amostragem deverá apresentar um “planejamento detalhado da amostragem do material a ser dragado, explicitando a metodologia de coleta; o número de amostras (incluindo as de controle de qualidade), a localização dos pontos de coleta em planta georreferenciada e no perfil vertical da camada de sedimentos a dragar (profundidade da amostra); as metodologias analíticas que serão adotadas; as formas de identificação, de armazenamento e preservação e transporte das amostra e a data de realização das amostragens; a equipe técnica e os equipamentos a serem utilizados na coleta, incluindo os de medição *in situ*”.

Ademais, o novo ato normativo criou ainda a possibilidade de amostragem por meio de amostras compostas que sejam representativas de uma Unidade de Caracterização de Amostragem (UCD), desde que estejam disponíveis informações suficientes sobre a área a ser dragada e os seus respectivos sedimentos, tais como o histórico de contaminação e as fontes de poluição do local, a granulometria dos sedimentos, entre outras.

2.5.3 Caracterização do material a ser dragado

A Resolução CONAMA n° 454/12 estabelece que o programa de investigação laboratorial (ensaios) do material a ser dragado poderá ser desenvolvido em até três etapas, a saber: caracterização física, caracterização química e caracterização ecotoxicológica.

2.5.3.1 Caracterização física

No que se refere à caracterização física, a Tabela II do Anexo da Resolução CONAMA n° 454/12 não alterou os parâmetros referentes às características do material a ser dragado (como o volume e a distribuição granulométrica), que foram previstos na Resolução CONAMA n° 344/04. Entretanto, a Resolução n° 454/12 estabeleceu três novas hipóteses de dispensa de caracterização química, ecotoxicológica e de outros estudos complementares relativos ao material a ser dragado:

1. quando o material for 100% composto por areia e granulometrias superiores;
2. quando o material for composto por areia grossa, muito grossa, cascalho ou seixo em fração igual ou superior a 50%, alteração essa já prevista no artigo 7º, I, “a”, da Resolução CONAMA n° 344/04;
3. quando o volume do material a ser dragado for de até 100.000 m³, em cursos de água, lagos e reservatórios, a ser disposto em solo ou em águas sob jurisdição nacional, dependendo da vazão ou do volume do corpo hídrico, desde que justificado pelo empreendedor e aceito pelo órgão ambiental licenciador e que as amostras apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

2.5.3.2 Caracterização química

A Resolução CONAMA n° 454/12 prevê que a caracterização química do material a ser dragado deve determinar as concentrações das substâncias poluentes contidas na fração total da amostra. No caso de disposição do material em solo, como inexistiam à época valores orientadores definidos no âmbito nacional, a Resolução CONAMA n° 344/04 determinou a comparação dos resultados com a norma criada em 2001 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), até que tais valores nacionais fossem estabelecidos pelo CONAMA (FROHLICH et al., 2015).

A Resolução CONAMA n° 454/12 já reflete o novo cenário do marco regulatório, pois prevê que, para disposição em solo, os resultados devem ser comparados com os valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 420/09 ou norma estadual vigente. Logo, atualmente, o Brasil já conta com critérios e valores orientadores nacionais de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, definidos na Resolução CONAMA n° 420/09, o que contribui para o aprimoramento da classificação química de materiais a serem dragados para disposição em terra (KANASHIRO e XIE, 2016).

No que se refere à disposição em águas sob jurisdição nacional, conforme esperado, a Resolução CONAMA n° 454/12 promoveu a revisão dos valores orientadores definidos na Tabela III do Anexo da Resolução CONAMA n° 344/04, buscando aproximá-la ainda mais da realidade brasileira. Essa revisão somente foi possível em razão da coleta de informações sobre caracterizações de materiais dragados em áreas de diversos terminais portuários do Brasil, o que resultou na formação de um banco de dados com as primeiras séries históricas do país (FROHLICH et al., 2015). Deve ser enfatizado que os valores definidos pela Resolução CONAMA n° 454/12 continuam não representando “valores de corte”, mas sim referências a serem utilizadas para um gerenciamento adequado da atividade de dragagem (LIMA, 2009).

Por essa razão, a Resolução CONAMA n° 454/12 reitera que os valores basais de uma determinada região devem prevalecer sobre os valores orientadores, sempre que aqueles se apresentarem mais elevados. Além disso, o referido ato normativo amplia a participação do órgão ambiental licenciador, já que este deverá definir as substâncias químicas a serem determinadas para a caracterização do material a ser dragado quando da análise do Plano de Amostragem, podendo, de acordo com as fontes de poluição que interferem na área a ser dragada, proceder à eventual inclusão ou supressão de substâncias. Na hipótese de inclusão de substâncias químicas não constantes da Tabela III do Anexo da Resolução CONAMA n° 454/12, caberá ao órgão ambiental licenciador estabelecer previamente os valores orientadores a serem adotados.

Por fim, cumpre salientar que a Resolução CONAMA n° 454/12 manteve a exigência de que a caracterização química do material a ser dragado inclua as determinações de carbono orgânico e de nutrientes, a fim de subsidiar o acompanhamento de processo de eutrofização em áreas selecionadas para disposição sujeitas a esse processo. A Tabela IV do Anexo da Resolução CONAMA n° 454/12 prevê valores orientadores idênticos aos anteriormente estabelecidos pela Tabela IV do Anexo da Resolução CONAMA n° 344/04, considerados como “valores-alerta”, ou seja, acima dos quais há possibilidade de ocorrer prejuízo ao ambiente na área de disposição do corpo de água. Porém, tais valores não serão utilizados para classificação do material a ser dragado, mas tão somente como fator contribuinte para o gerenciamento da área de disposição e seu entorno (FROHLICH et al., 2015).

2.5.3.3 Caracterização ecotoxicológica

A utilização de métodos ecotoxicológicos é necessária para traduzir o significado ecológico dos níveis de contaminação de sedimentos. De acordo com a Resolução CONAMA

n° 454/12, a caracterização ecotoxicológica deve ser realizada, quando couber, em complementação à caracterização química, com a finalidade de avaliar os impactos potenciais à vida aquática no local proposto para a disposição do material dragado em águas sob jurisdição nacional (MOREIRA et al., 2009).

A Resolução CONAMA n° 344/04 já previa a realização de ensaios ecotoxicológicos para materiais cuja concentração de mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, ou de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) do Grupo A, estivessem entre os Níveis 1 e 2, ou se a somatória das concentrações de todos os HPAs estivessem acima do valor correspondente à soma de HPAs, além de outros testes que poderiam ser exigidos pelo órgão ambiental licenciador, com algumas retificações reformuladas pela Resolução CONAMA n° 454/12 quanto à concentração desses materiais contidos no sedimento.

Foi mantida a exigência da Resolução CONAMA n° 344/04 de que os ensaios ecotoxicológicos deverão ser acompanhados da determinação de nitrogênio amoniacal na fração aquosa e correspondente concentração de amônia não ionizada, bem como dos resultados referentes ao pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido. Contudo, a Resolução CONAMA n° 454/12 acrescentou que outros ensaios, como os realizados para sulfetos, poderão ser solicitados, quando necessário, pelo órgão ambiental licenciador.

No que se refere à classificação dos resultados ecotoxicológicos, a Resolução CONAMA n° 454/12 previu duas classes: uma de efeito tóxico não significativo (quando menor ou igual a 50% do efeito tóxico medido) e outra de efeito tóxico significativo (quando maior que 50% do efeito tóxico medido). Deve-se atentar, entretanto, que esses resultados serão considerados apenas como mais uma das linhas de evidência para o gerenciamento do material a ser dragado (FROHLICH et al., 2015).

2.5.4 Definição da localização das áreas de disposição

Outro aprimoramento realizado pela Resolução CONAMA n° 454/12 reside no estabelecimento de diretrizes para a seleção e o dimensionamento das áreas de disposição, também denominadas como áreas de “bota-fora”. A utilização de uma área de disposição, assim como a própria atividade de dragagem, deve ser previamente autorizada pelo órgão ambiental licenciador, que avaliará as características do local proposto, a partir de um levantamento prévio a ser realizado pelo empreendedor. A Resolução CONAMA n° 454/12 estabelece que tal levantamento deve abranger a análise:

1. de outros usos existentes no local e em seu entorno;

2. da viabilidade econômica da operação de dragagem;
3. da segurança operacional, incluindo-se zonas de exclusão militar;
4. da presença de áreas ambientalmente sensíveis ou protegidas no local e em seu entorno.

Além disso, previamente à disposição do material dragado, o polígono do bota-fora deverá ser objeto de estudos de batimetria e de caracterização física, química e biológica do sedimento e da coluna d'água. Essas atividades gerarão dados relevantes de *background*, que poderão ser comparados futuramente com os dados produzidos em eventuais programas de monitoramento. A Resolução CONAMA n° 454/12 ainda prevê que o estudo sobre a área de disposição deve contemplar a modelagem matemática da dispersão da pluma de sedimentos descartados e do transporte de fundo.

No que se refere aos impactos sobre o meio socioeconômico, a referida Resolução estabelece que, enquanto ocorrer a disposição do material dragado, as atividades pesqueiras no polígono do bota-fora deverão ser suspensas. Essa determinação embasará a definição das áreas de restrição à pesca pela autoridade marítima, a fim de garantir a segurança da navegação, o que já vem sendo realizado na prática em diversos licenciamentos ambientais de dragagem (FROHLICH et al., 2015).

Por fim, para mitigar os impactos ambientais causados por essas atividades, a Resolução CONAMA n° 454/12 dispõe que as dimensões das áreas de disposição do material a ser dragado no mar, em estuários ou em baías deverão garantir, quando couber, que haja alternância entre os setores nela existentes (FROHLICH et al., 2015).

2.5.5 Programas de monitoramento

A Resolução CONAMA n° 344/04 não criava diretrizes específicas para a execução dos programas de monitoramento relativas à dragagem e respectiva disposição do material dragado nas áreas de bota-fora selecionadas. Andrade (2009), por conseguinte criticou o fato de a Resolução CONAMA n° 344/04 não abordar de forma adequada e suficiente a questão da disposição dos sedimentos (o que foi aprimorado pela Resolução CONAMA n° 454/12) e do monitoramento da área de descarte.

Observa-se, contudo, que a Resolução CONAMA n° 454/12 buscou considerar o monitoramento como um instrumento fundamental no âmbito do gerenciamento de áreas com constante realização de dragagens, criando subsídios para tomadas de decisão pelos órgãos ambientais licenciadores, tendo como base os resultados desses acompanhamentos (FROHLICH et al., 2015).

Em muitos casos, um programa de monitoramento pode indicar que a área monitorada não necessita de um acompanhamento específico, em virtude da ausência comprovada de um histórico de contaminação dos sedimentos. Os dados produzidos podem indicar ainda a necessidade de monitoramento de outras substâncias ou até mesmo a suspensão da disposição na área de bota-fora, devido à ocorrência de alterações significativas no meio ambiente (FROHLICH et al., 2015).

A Resolução CONAMA n° 454/12 dispõe que os dados de caracterização e classificação do material dragado e outras informações relevantes da área de disposição selecionada e do seu entorno, bem como as medidas de controle cabíveis a cada situação, deverão auxiliar a elaboração dos programas de monitoramento. Além disso, os resultados desses programas serão avaliados periodicamente e, além de subsidiarem o gerenciamento das atividades de dragagem, poderão motivar algumas decisões pelo órgão ambiental licenciador, tais como a modificação ou encerramento do programa de monitoramento, a redefinição ou suspensão da disposição do material dragado e a dispensa da caracterização prévia de materiais a serem dragados ou localizados em áreas de disposição, caso o monitoramento indique a inexistência de um histórico de contaminação.

Por fim, a Resolução CONAMA n° 454/12 entrou novamente na seara do licenciamento ambiental de dragagens, ao prever que, nas áreas sujeitas a programa de monitoramento aprovado e acompanhado pelo órgão ambiental licenciador, a dragagem de manutenção deverá estar contemplada na licença de operação das atividades portuárias, hidroviárias ou destinadas a outros fins previstos na referida Resolução. Essa determinação tem o claro objetivo de tornar mais eficiente o licenciamento ambiental, evitando que dragagens de manutenção sejam licenciadas individualmente quando já se tem conhecimento sobre a necessidade futura das mesmas, bem como sobre as características da área de dragagem por conta de dados de monitoramento.

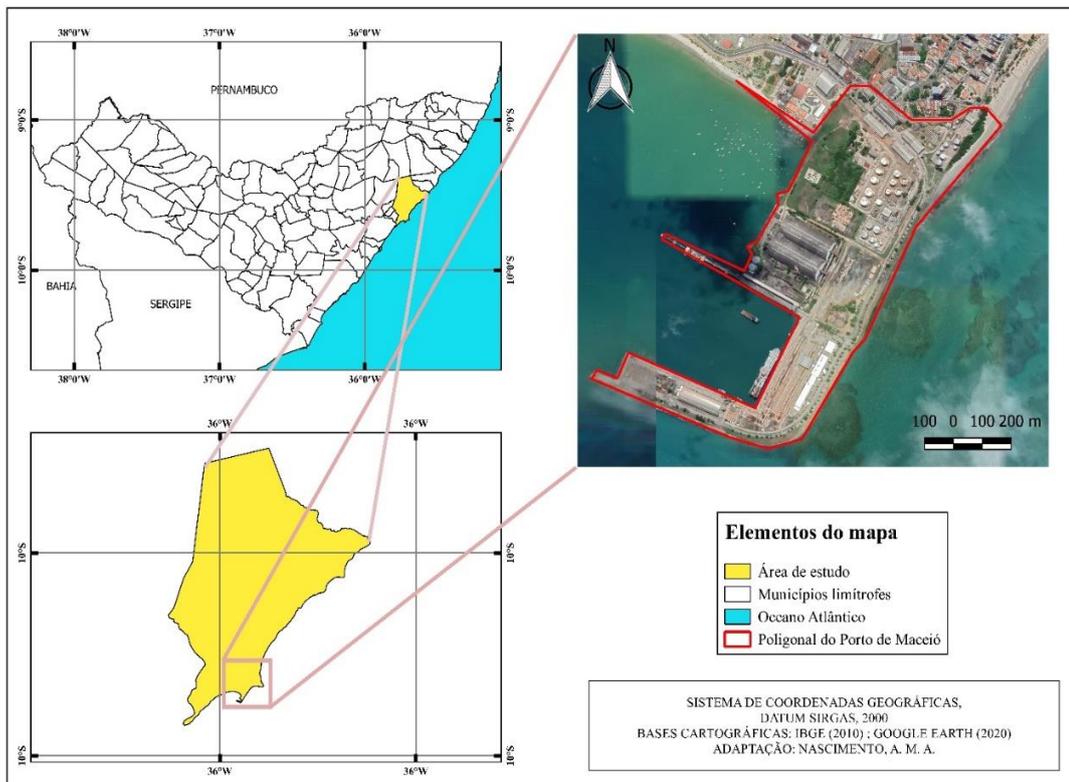
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral da área de estudo

O Porto de Maceió está localizado na área leste da capital alagoana, entre as praias da Pajuçara e Jaraguá. A área é limitada a leste pelo Oceano Atlântico e nas demais direções pelo município de Maceió (Figura 1), nas coordenadas geográficas 09°40'25" S e 35°43'17" W (SEP/PR, 2015).

O município está sob o domínio climático As' – tropical quente com chuvas de outono/inverno, de acordo com a classificação de Köppen, com predomínio de Latossolos Amarelos; na área experimental, em específico, predomina majoritariamente a presença de Neossolos Quartzarênicos, derivados de sedimentos arenoquartzosos do Grupo Barreiras do período Terciário e sedimentos marinhos do período Holoceno (EMBRAPA, 2014).

Figura 1- Mapa de localização do Porto de Maceió, Alagoas.



Fonte: O Autor

A estrutura do Porto de Maceió contém oito berços de acostagem adequados para realização de operações de carga ou descarga de mercadorias, abastecimento, movimentação de passageiros e de suprimentos. Além disso, conta com cinco armazéns, sendo quatro externos

e um interno, no Cais Comercial, com um canal de acesso de 120 metros de largura (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019).

Em decorrência da configuração da costa, a corrente que prevalece é a corrente de maré, cuja direção na enchente é para o sul, e na vazante, para o norte. A amplitude máxima de maré no local é de 2,60 metros e a média é de 1,08 metros, possuindo característica semidiurna. O nível médio (NM) do Porto de Maceió é de 1,13 m, acima do nível de redução (NR), adotado pela Diretoria de Hidrografia da Marinha (DHN) para a Carta Náutica da DHN nº 901. A preamar média de sizígia (MHWS) é de 2,05 m e a preamar média de quadratura (MHWN) é de 1,55 m. As ondas nas áreas de fundeio são resultantes das forças do vento dominante, bem como sua direção e duração, da qual destaca-se o vento E-SSE, onde a altura média das ondas varia entre 1,0 e 1,5 m (APCM, 2011).

As correntes de maré são fracas e possuem características semidiurnas. Nos meses de abril a agosto os ventos predominantes, do ponto de vista estatístico, são os dos quadrantes E e SE, e a corrente junto à costa tem o sentido NE, com a corrente próxima ao litoral assumindo o sentido SW. Ao longo de todo o ano a corrente ao largo tem o sentido SW. As correntes, em geral, têm velocidades baixas desde a entrada do porto, chegando a ser próxima de zero na Bacia de Evolução e nos Píeres na maior parte dos meses do ano. No inverno as correntes chegam a atingir dois nós no canal de acesso ao Porto (APCM, 2011).

A análise dos aspectos ambientais da região do Complexo Portuário de Maceió mostra que este se encontra inserido em uma região ambientalmente sensível, devido à proximidade com Unidades de Conservação e de uma área de exclusão, além da presença dos arrecifes de corais. O entorno portuário abrange, também, o Riacho Salgadinho, um recurso hídrico que sofre com intervenções antrópicas, especialmente devido ao lançamento de efluentes clandestinos e ao descarte de resíduos sólidos. Essa situação acaba por deteriorar a qualidade da água oceânica em determinadas épocas do ano, devido ao carreamento dos resíduos até a área do Porto Organizado (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019). Cabe mencionar que próximo ao porto encontra-se o Emissário Submarino da cidade, que despeja águas residuais urbanas (SEP/PR, 2015).

3.2 Dragagem e pontos de coleta

As obras de dragagem do Porto de Maceió tiveram duração de três meses, executada a partir de 19 de março de 2018 pela draga autotransportadora de sucção e arrasto TSHD (Figura 2) e por uma outra draga mecânica do tipo restroescavadeira para a finalização das áreas

inacessíveis à draga previamente mencionada, da empresa belga Jan de Nul, responsável pelas obras de aprofundamento do canal de acesso, da bacia de evolução e dos berços. A draga, fabricada em 1994, possui comprimento de 89,6 metros, 18,4 metros de largura e 3,6 metros de calado (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2018).

Figura 2- Réplica da draga utilizada nas atividades de dragagem e descarte dos sedimentos do Porto de Maceió.



Fonte: Paulo Ricardo Petter Medeiros

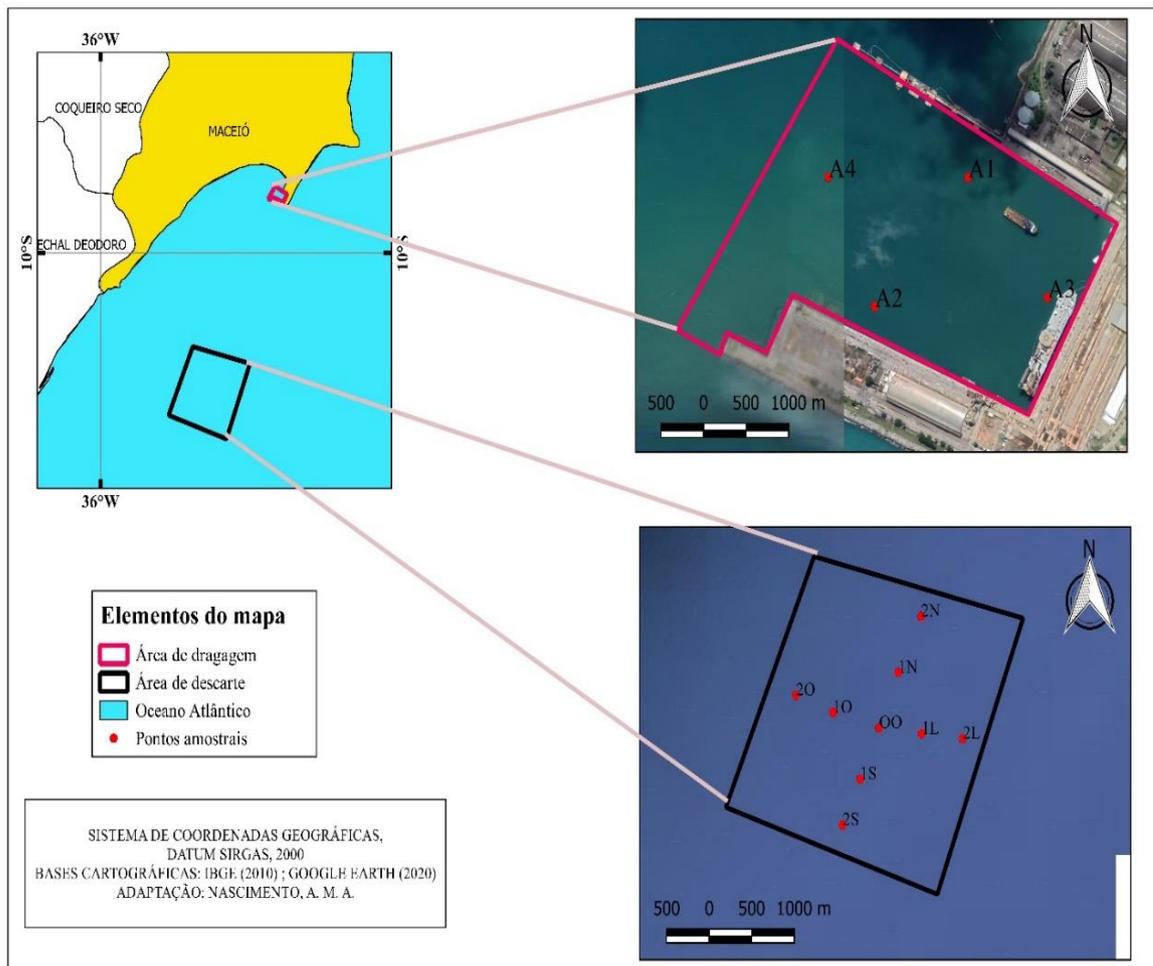
Cada ponto de dragagem no Porto teve um objetivo de calado (profundidade) a ser atingido. Dentro da bacia de evolução o calado passou de 9,5 metros para 11 metros, o berço de 5 metros para 9 metros e o Terminal de Açúcar de 5 metros para 10,5 metros. O volume estimado de sedimento dragado no Porto de Maceió foi de mais de um milhão e cem mil metros cúbicos de sedimentos (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2018).

As amostragens foram realizadas conforme o Plano de Gestão Ambiental da Dragagem do Porto de Maceió, em três campanhas amostrais no ano de 2018: antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

Na bacia de evolução do Porto (área de dragagem) foram realizadas coletas de água em quatro pontos seccionados à posição da embarcação: à bombordo (lado esquerdo – A1), à estibordo (lado direito – A2), à proa (parte frontal – A3) e à popa (parte traseira – A4) (Figura 3). As amostras foram coletadas em galões plásticos de 5 L, devidamente asseados, em superfície a uma profundidade de 1 metro e no fundo a uma profundidade de até 11 metros.

Já na área de descarte as coletas foram realizadas em área preliminarmente definida, na qual foram plotados nove pontos de coletas (Figura 3), a partir do ponto central (OO) em: Norte (1N e 2N), Sul (1S e 2S), Leste (1L e 2L) e Oeste (1O e 2O). As coletas de água também foram realizadas em duplicata em cada ponto amostral: em superfície, até 1 metro, e no fundo a uma profundidade de até 21 metros.

Figura 3- Pontos de coleta nas áreas de dragagem e descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió.



Fonte: O Autor

As amostras foram estocadas em caixa isotérmica com gelo para conservação e encaminhadas imediatamente para o Laboratório Integrado de Ciências do Mar e Naturais (Setor de Hidroquímica), da Universidade Federal de Alagoas (LABMAR/UFAL). Em laboratório as amostras foram submetidas à filtração a pressão reduzida em kitassato, estocadas em garrafas de polietileno e mantidas à refrigeração em freezer por 48 horas. Após esse período as amostras foram descongeladas e então sucedidas as análises dos parâmetros MPS, série nitrogenada e série fosfatada.

3.3 Material particulado em suspensão

Em laboratório, o MPS foi determinado pela técnica gravimétrica, seguindo a metodologia de Strickland e Parsons (1972).

3.4 Séries nitrogenada e fosfatada

A análise das séries nitrogenada (nitrito, nitrato, amônia e nitrogênio total) e fosfatada (ortossolúvel e total) foram executadas pelo método colorimétrico e quantificadas por espectrofotometria UV/VIS, conforme metodologia descrita em Grasshoff et al. (1999).

3.5 Medidas *in situ*

Em campo, foram realizados em cada ponto de coleta medidas *in loco* de transparência da água com auxílio de um disco de Secchi, com diâmetro de 30 cm, suspenso a um cabo de fio graduado. O disco foi imergido e as medições de transparência foram estimadas por dedução entre o ponto de profundidade anotado em que o disco desaparece do campo de visão, submerso em água, e o nível de reaparição do disco emerso à superfície. A transparência verdadeira foi a média das duas medidas.

Foram realizadas também amostragens dos parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido e saturação, salinidade e condutividade elétrica com sonda multiparamétrica (YSI-6600 V2) acoplada com sensor óptico. Para a obtenção da saturação de oxigênio dissolvido foram realizadas medidas de temperatura da água; a porcentagem de saturação foi determinada então mediante a equação:

$$\% \text{ Saturação de Oxigênio Dissolvido} = \frac{\text{OD}}{\text{sat/OD}} \cdot 100$$

onde: OD = taxa de oxigênio dissolvido (mg/L); sat/OD = taxa de saturação de oxigênio dissolvido a uma dada temperatura (ppm) pré-determinado em tabela; 100 = fator de conversão para porcentagem.

3.6 Geotecnologia

Os dados das séries nitrogenada e fosfatada, bem como os parâmetros físicos que expressam diretamente a pluma de dispersão dos sedimentos (MPS, turbidez e transparência) nas áreas de dragagem e de descarte, foram espacializados por interpolação linear utilizando técnicas de geoprocessamento com o uso do software multiplataforma Qgis, versão 2.18, na qual foram reunidas as bases de dados geográficas (vetoriais, matriciais e planilhas eletrônicas).

Após a inserção dos pontos plotados e da tabulação dos dados no editor Excel, foi realizada a manipulação espacial para a construção de uma base de dados em um sistema plano de coordenadas.

Os planos de informação foram gerados utilizando o método de interpolação matemática IDW (*Inverse Distance Weighted* – Ponderação do Inverso da Distância), de estimativas geoestatísticas, em formato matricial (raster), conforme a metodologia de Marcuzzo et al. (2011).

3.7 Projeção da demanda portuária

A prospecção futura acerca do desenvolvimento do Complexo Portuário ao longo dos próximos anos teve como pilar o Plano Mestre do Complexo Portuário de Maceió, esboçado pelo Ministério da Infraestrutura (2019), utilizando dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ.

Para tanto, o Plano Mestre projetou uma visão geral acerca do perfil das movimentações do Complexo Portuário de Maceió, indicando os volumes movimentados e exibindo os dados por natureza de carga, sentido de movimentação e tipo de navegação para o ano-base 2017 (Anexo 1), anterior às obras de dragagem no Porto, apresentando, além disso, o histórico de movimentação das mercadorias relevantes no Complexo Portuário para os últimos cinco anos, detalhado por carga relevante, sentido da movimentação, as principais origens e destinos e a taxa de crescimento para cada carga avaliada, incrementando informações que balizaram a projeção de demanda e os valores previstos de movimentação até o ano de 2060.

3.8 Análise dos dados

Os teores das séries nitrogenada e fosfatada foram comparados e julgados embasados nas diretrizes da Resolução CONAMA n° 357 de 2005 e n° 454 de 2012 para águas salinas de

Classe 1, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (Tabela 1).

Tabela 1- Valores máximos de aceitabilidade para as séries nitrogenada e fosfatada, conforme o CONAMA, para águas salinas de Classe 1.

Nitrito	0,07 mg/L N
Nitrato	0,40 mg/L N
Amônia	0,40 mg/N
Nitrogênio total	4,8 mg/L N
Fósforo ortossolúvel	0,031 mg/L P
Fósforo total	0,062 mg/L P

Fonte: Resolução CONAMA n° 357/2005 e n° 454/2012.

A porcentagem de saturação de oxigênio em relação à concentração de oxigênio dissolvido foi interpretada de acordo com a literatura inerente, conforme a Tabela 2 abaixo.

Tabela 2- Guia geral para interpretação dos valores de % de saturação de oxigênio dissolvido.

Porcentagem de saturação	Interpretação
≤ 60%	Pobre. A água pode estar muito quente ou as bactérias podem estar consumindo o OD.
60 – 79%	Aceitável para a maioria das espécies.
80 – 125%	Excelente para a maioria das espécies.
≥ 125%	Muito alta. Pode ser perigoso para as espécies aquáticas.

Fonte: EMBRAPA (2011)

Integralmente, os multiparâmetros trabalhados em campo e em laboratório foram submetidos à análise em gráficos de Box Plot para melhor visualização da variabilidade e discrepância dos dados nas três campanhas amostrais, elaborados no Programa R, versão 3.6.0.

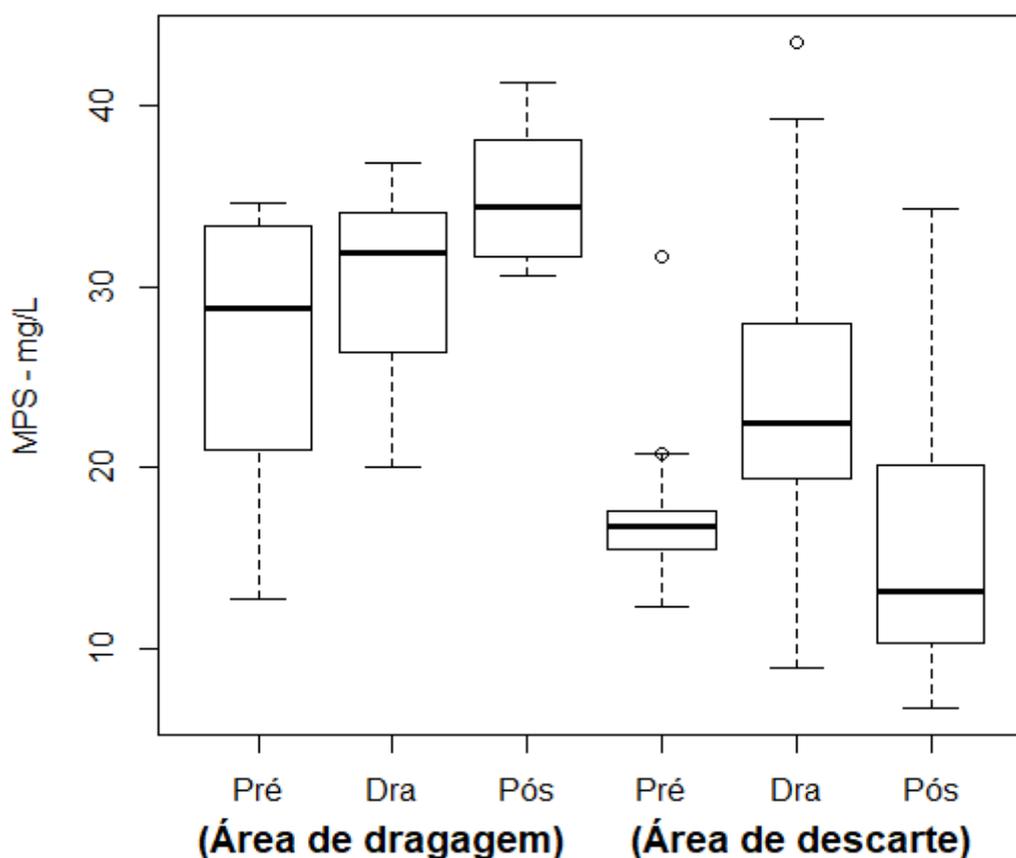
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Material particulado em suspensão

Na bacia de evolução do Porto, a análise box plot denotou um aumento crescente nos valores de MPS entre as campanhas amostrais (Figura 4). Foram constatadas médias progressivas antes, durante e após a dragagem no Porto, com 26,71, 30,15 e 35,05 mg/L, respectivamente. Com relação à amplitude estatística, que leva em conta a diferença entre a mínima e a máxima registradas, os valores tornaram-se menos discrepantes na mesma ordem previamente mencionada: 21,97 (pré-dragagem), 16,80 (dragagem) e 10,68 (pós-dragagem).

Na área de descarte, por sua vez, foram observadas médias ascendente da campanha de pré-dragagem (17,40 mg/L) para a de dragagem (23,65 mg/L) e descendente para a campanha de pós-dragagem (15,19 mg/L) (Figura 4). O mesmo padrão foi observado para a amplitude estatística, com 19,37, 34,59 e 27,61, nesta ordem.

Figura 4- Análise box plot do MPS nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).

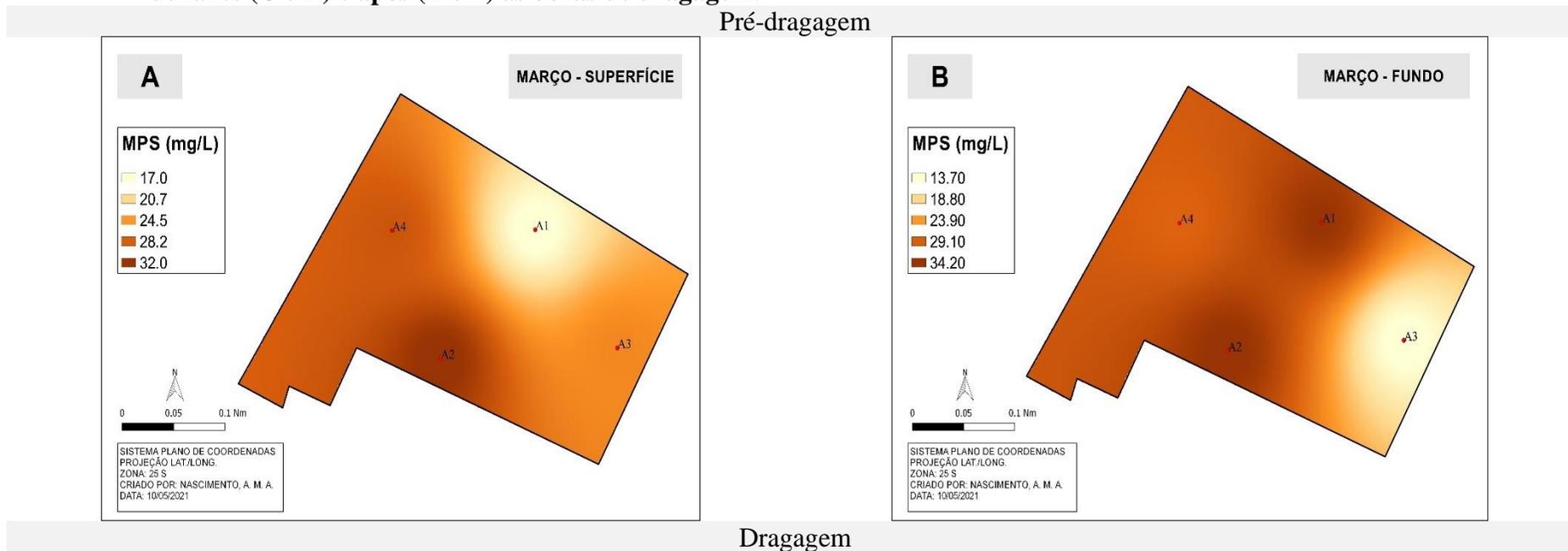


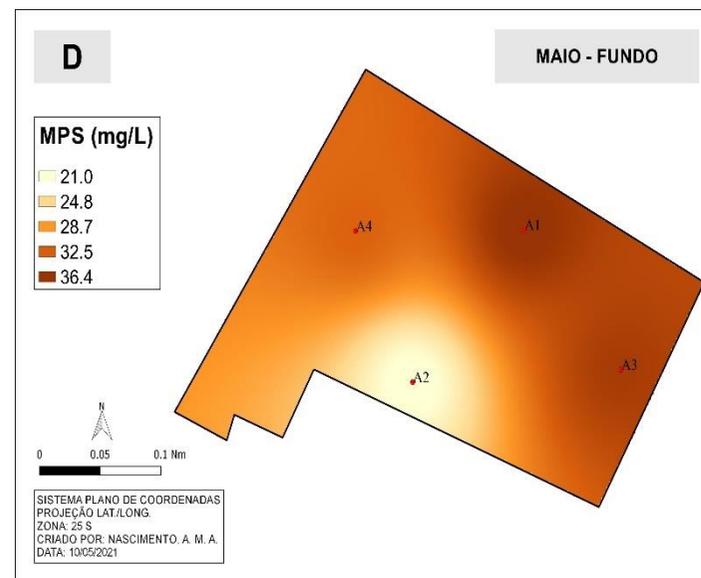
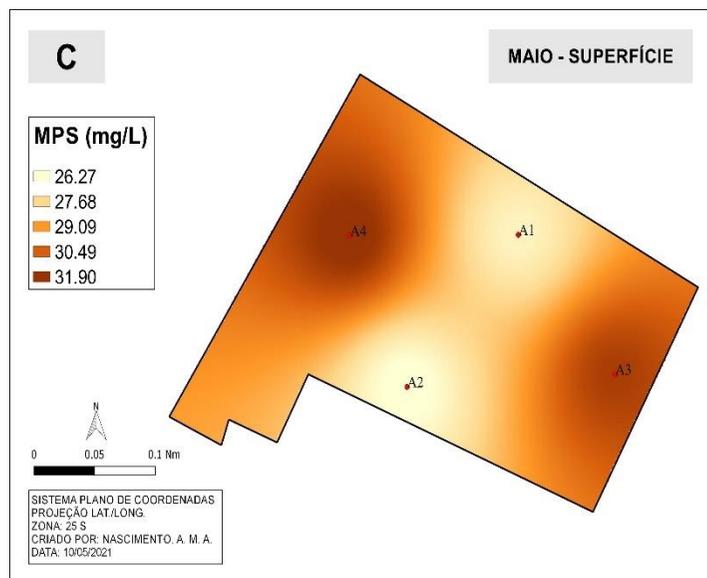
Os valores interpolados de MPS na bacia de evolução do Porto em superfície estiveram incidentes nos pontos à estibordo (A2) e à popa (A4), entre 28,2 e 32 mg/L (Figura 5A), enquanto no fundo a incidência esteve concentrada uniformemente entre 23,9 e 34,2 mg/L dos pontos amostrais, com exceção do ponto à proa (A3), que oscilou entre 13,7 e 18,8 mg/L (Figura 5B).

A campanha de dragagem, em oposição, caracterizou-se pelo gradiente considerável nos números de MPS e na distribuição da pluma de dispersão entre os estratos. Em superfície, oscilaram entre 26,27 e 31,9 mg/L, com maiores incidências nos pontos A3 e A4 (Figura 5C), enquanto no fundo essa oscilação variou entre 21 e 36,4 mg/L, incidentes à proa (A3), à bombordo (A1) e à popa (A4) (Figura 5D). Coincidentemente, o ponto no lado estibordo (A2) em ambos os estratos registraram os menores valores.

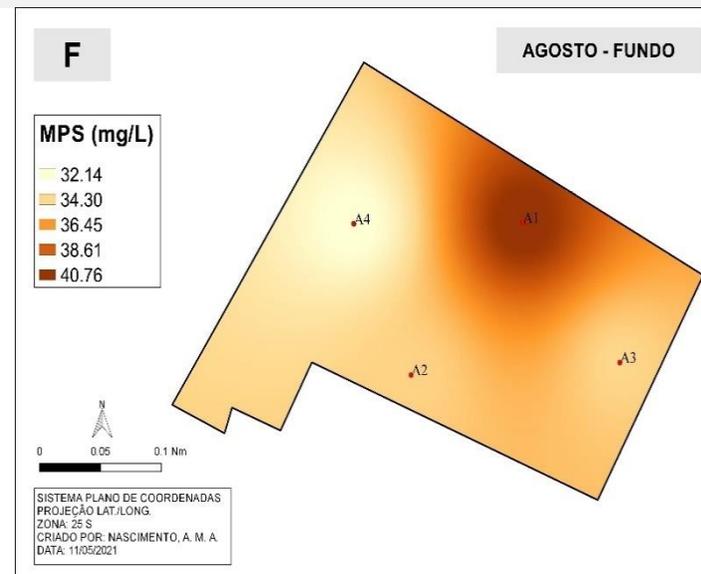
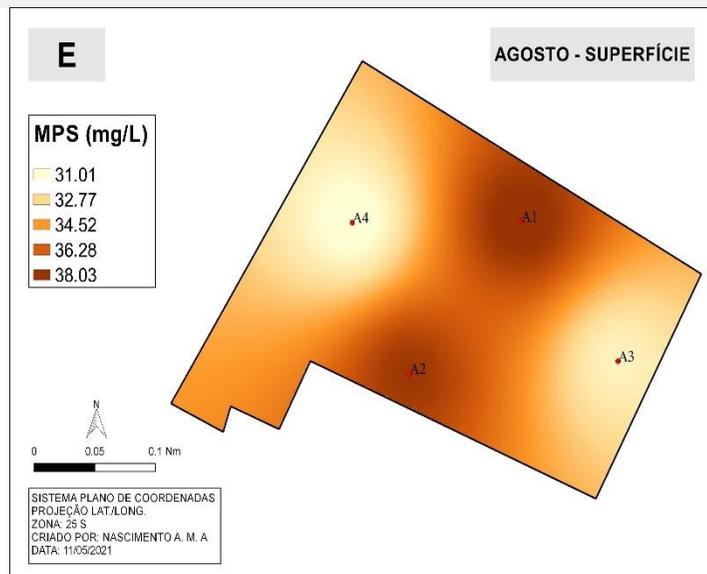
Na pós-dragagem, as taxas interpoladas em superfície oscilaram entre 31,01 a 38,03 mg/L, com maiores incidências para A2 e para A1 (Figura 5E), enquanto no fundo essa oscilação variou entre 32,14 a 40,76 mg/L, com maior incidência para exclusiva para A1 (Figura 5F). Coincidentemente, o ponto A4 em ambos os estratos registrou os menores valores, no intervalo de 31,01 a 32,77 mg/L (superfície) e de 32,14 a 34,30 mg/L (fundo).

Figura 5- Interpolação linear dos valores de MPS nos pontos amostrais entre os estratos da bacia de evolução do Porto antes (A e B), durante (C e D) e após (E e F) as obras de dragagem.





Pós-dragagem

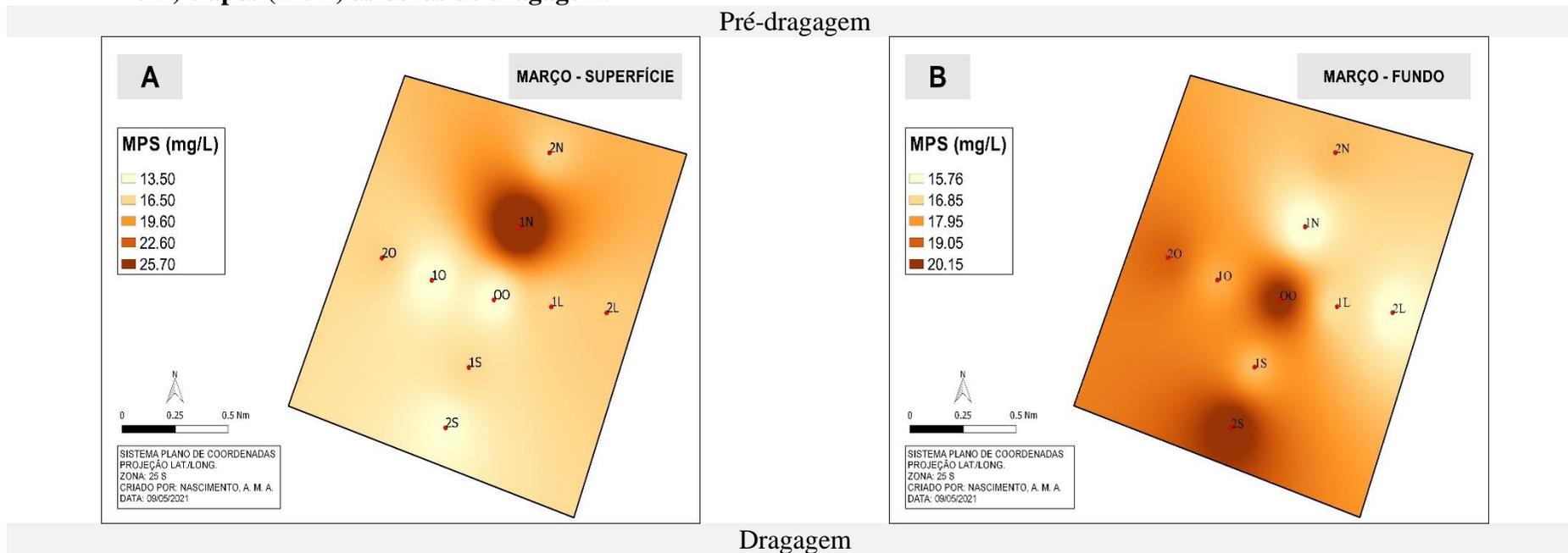


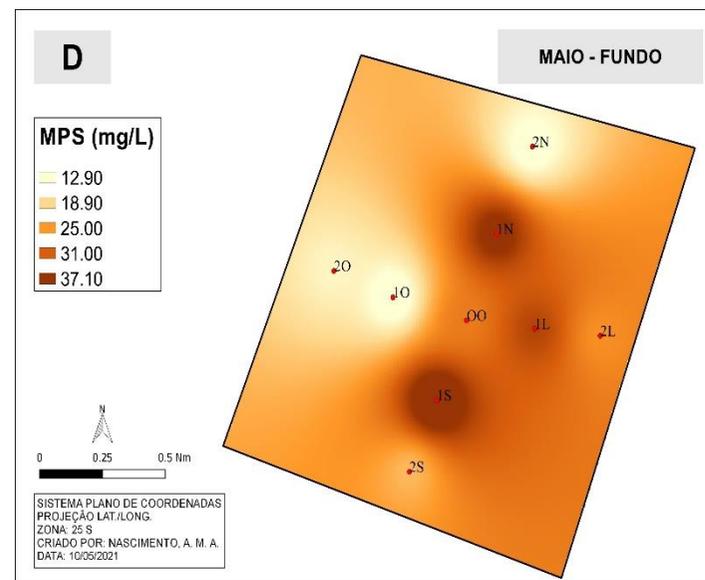
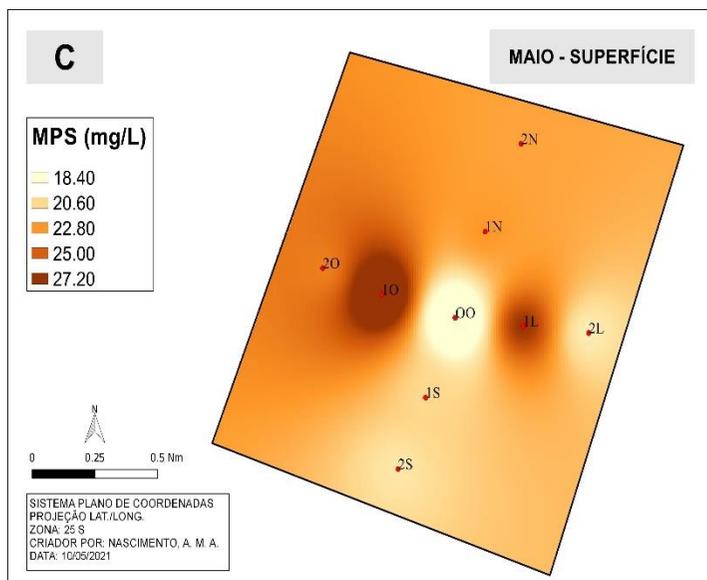
Na área de descarte, as taxas interpoladas, na pré-dragagem, estiveram incidentemente concentradas no estrato de fundo entre os pontos amostrais, à exceção dos pontos 2L e 1N. Este último foi o que apresentou a maior registro de MPS em superfície (25,70 mg/L), onde também foi observado a dispersão da pluma mais a norte (1N e 2N), ao passo que nos demais pontos o intervalo de classe foi praticamente uniforme e constante, entre 13,5 e 16,5 mg/L (Figura 6A). Já nos pontos para sudoeste (1O, 2O, OO, 1S e 2S), no fundo, foram constatados os maiores valores, que oscilaram entre 17,95 e 20,15 mg/L, enquanto nos demais pontos essa oscilação variou entre 15,76 e 16,85 mg/L (Figura 6B).

No período de dragagem, os valores interpolados constataram uma mobilidade na dispersão da pluma de sedimentos na área. No estrato de superfície, os valores variaram entre 18,40 e 27,20 mg/L, estando mais incidentes nas porções oeste, norte e leste e menos incidentes na porção central-sul (Figura 6C). No estrato de fundo, o MPS esteve concentrado especificamente na porção central, abrangendo os pontos 1N, 1S, 1L, 2L e OO, com intervalos entre 25 e 37,1 mg/L; em contraste, os pontos a oeste e extremo norte denotaram os menos valores, com intervalo entre 12,9 a 18,9 mg/L (Figura 6D).

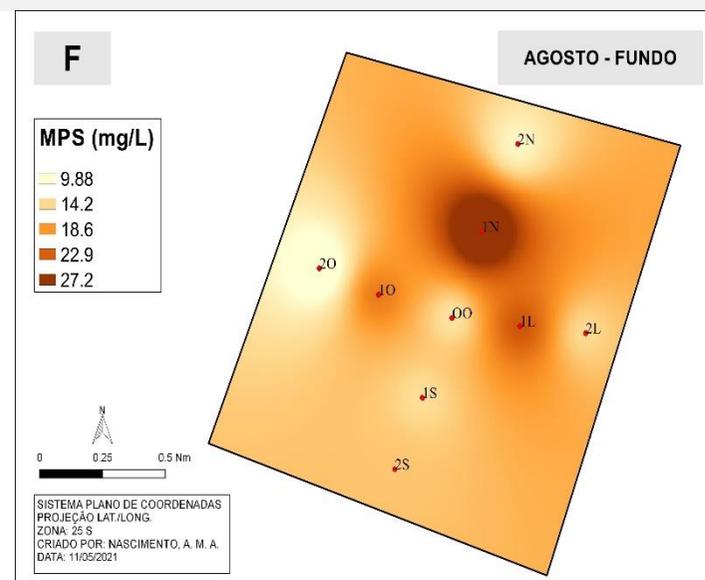
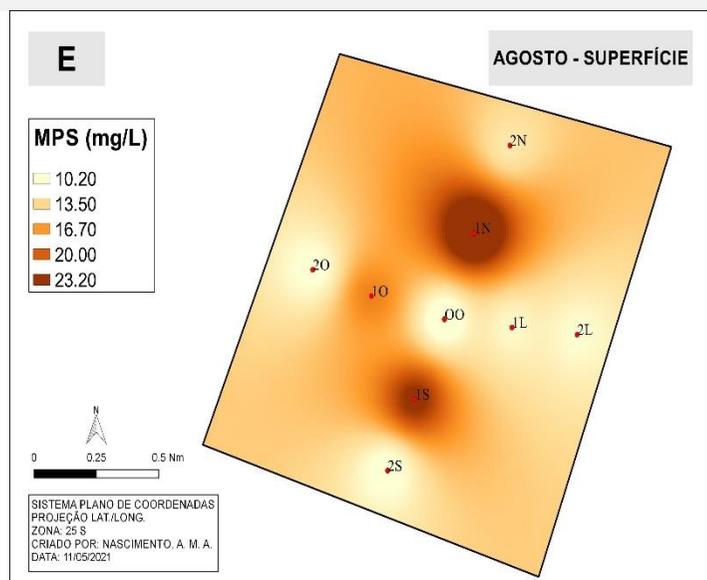
Na pós-dragagem, em ambos os estratos a maior incidência de MPS esteve presente no ponto 1N (23,2 e 27,2 mg/L, respectivamente), com tendência de agregação nos pontos circunvizinhos ao ponto central, que oscilou de 16,7 a 20 mg/L (superfície) e de 18,6 a 22,9 mg/L (fundo). Nos demais pontos amostrais os intervalos de classe oscilaram entre 10,2, a 13,5 mg/L, em superfície (Figura 6E) e entre 9,88 a 14,2 mg/L, no fundo (Figura 6F).

Figura 6- Interpolação linear dos valores de MPS nos pontos amostrais entre os estratos da área de descarte antes (A e B), durante (C e D) e após (E e F) as obras de dragagem.





Pós-dragagem

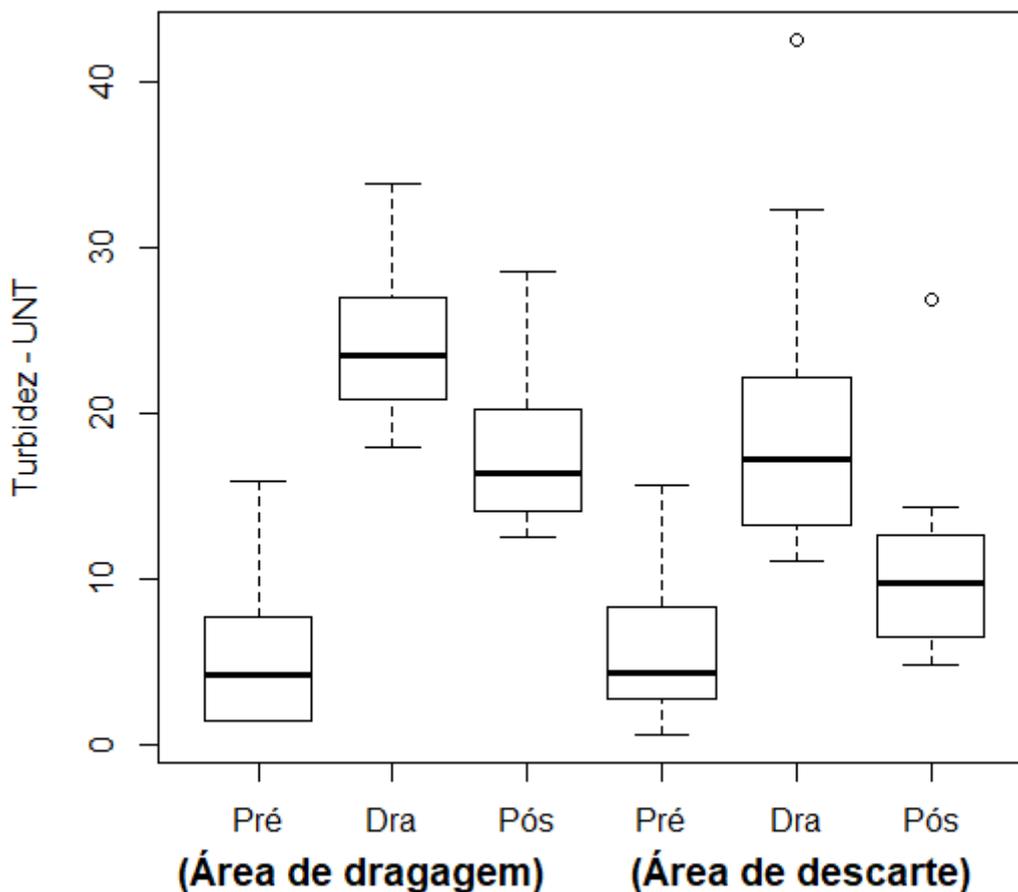


4.2 Turbidez e transparência da água

Para turbidez, a análise box plot constatou que tanto na área de dragagem quanto na de descarte os valores encontraram-se de maneira similar na campanha de pré-dragagem, com médias de 5,58 e 5,92 UNT, respectivamente. Na campanha de dragagem, observou-se um aumento abrupto, resultante das obras de dragagem e de descarte nas duas áreas, com valores médios de 24,33 e 19,41 UNT, nesta ordem. Na campanha de pós-dragagem, observou-se reduções significativas nos teores, com 17,83 e 10,48 UNT, nesta sequência (Figura 7).

A amplitude estatística na área de dragagem, entretanto, apresentou pequenos aumentos da primeira para a última campanha, com diferença de 14,53, 15,87 e 16,04. Por sua vez, na área de descarte, a diferença entre as mínimas e máximas registradas foram mais discrepantes, em especial nas campanhas de dragagem (31,33) e pós-dragagem (22,01) em relação a de pré-dragagem (15,04).

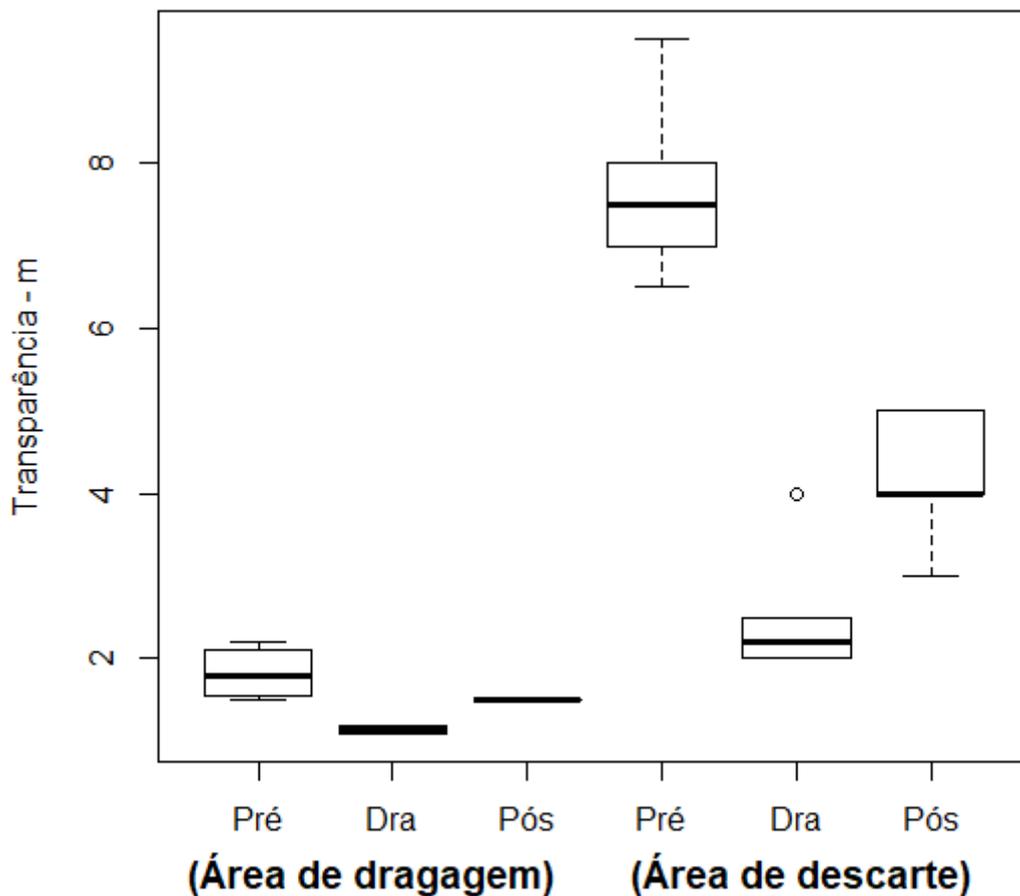
Figura 7- Análise box plot da turbidez nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).



Para a transparência da água, na área de dragagem, a média foi de 1,83 m na pré-dragagem e, a partir daí, com as campanhas de dragagem e pós-dragagem, foram constatadas médias constantes e praticamente invariáveis, especialmente no pós-dragagem, com 1,15 m e 1,50 m, na respectiva ordem (Figura 8), ambas inferiores aos antecedentes as obras de dragagem, efeito imediato do aumento gradual de MPS e turbidez na bacia de evolução do Porto, conforme observado nos gráficos box plots anteriores. Em consequência, a amplitudes constatadas foram de 0,7, 0,1 e 0, respectivamente.

O mesmo padrão de valores médios foi constatado na área de descarte, com maior média na campanha de pré-dragagem (7,56 m) e, na sequência, como resultado do descarte de sedimentos, as médias de transparência da água reduziram drasticamente (2,42 m), apresentando um aumento médio após as obras de dragagem (4,17 m) (Figura 8). Por conseguinte, a amplitude estatística também seguiu a mesma ordem cronológica das campanhas amostrais, com discrepâncias de 3, 0,5 e 1,5.

Figura 8- Análise box plot da transparência da água nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).



Com relação turbidez interpolada, na bacia de evolução do Porto, foi observada maior incidência de turvação à estibordo (A2), com 22,2 UNT, evidenciando, por consequência, relação direta com a maior concentração de MPS para este ponto amostral em ambos os estratos, diferentemente do que ocorrera com os pontos à proa (A3) e à popa (A4), com valores entre 3,62 a 8,25 UNT, enquanto que para o lado bombordo (A1) os valores de turbidez estiveram no intervalo de 12,90 UNT (Figura 9A).

Todavia, não foi observado maior estratificação de transparência da água para os pontos amostrais com menor turvação (A3 e A4) em relação aos que registraram maior registro dos mesmos (A1 e A2). Nos pontos A3 e A4 a transparência variou entre 1,52 m a 1,68 m, enquanto que em A1 e A2 esta variação foi igual ou superior a 2 metros (Figura 9B). Desta forma, na campanha de pré-dragagem, as medidas de transparência não mostraram valores de correlação direta com as taxas incidentes de MPS e turbidez.

Na campanha de dragagem, a maior incidência de turbidez esteve no segmento A4-A1, com valores médios de 25,59 e 27,72 UNT (Figura 9C), valores estes correspondentes aos eixos de maior registro de MPS observados anteriormente em superfície e fundo, respectivamente. O ponto à estibordo (A2) constatou o menor valor de turbidez (19,20 UNT), observando-se, também, nítida relação à concentração incidente de MPS nos pontos amostrais.

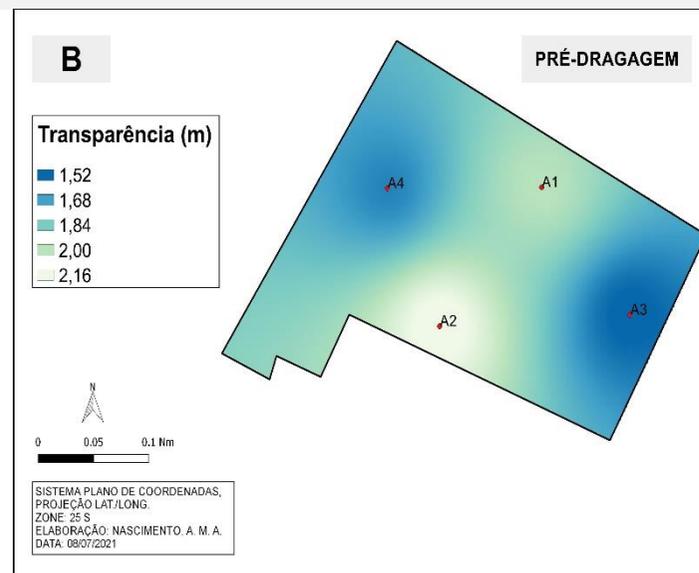
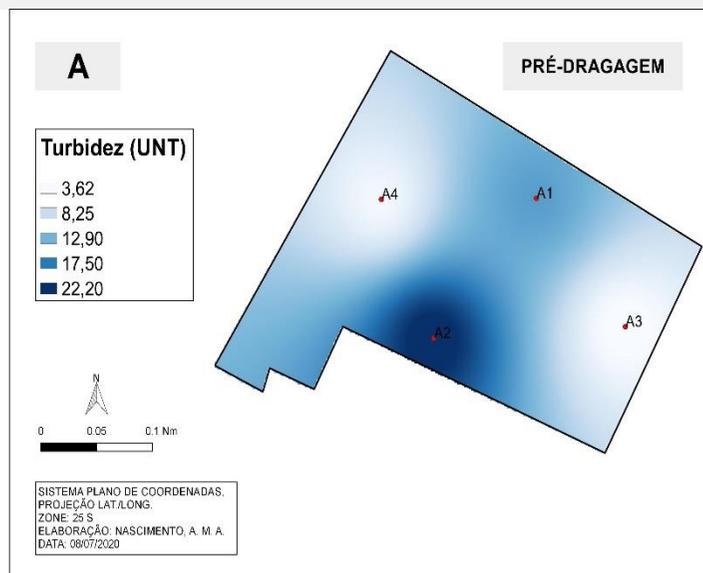
As medidas de transparência da água também evidenciaram a nítida correlação de incidência em relação às concentrações de MPS e turbidez, com profundidades médias inferiores às registradas na campanha antecedente. Para o eixo A1-A4, mais incidente, a transparência oscilou entre 1,10 m e 1,13 m, enquanto que no eixo A2-A3, menos incidente, foram constatadas as maiores profundidades, entre 1,15 m e 1,20 m (Figura 9D).

Na campanha de pós-dragagem, a turbidez oscilou entre 15,26 e 21,19 UNT, sendo mais incidente no ponto A1 (Figura 9E), sendo observado nitidez de correlação aos registros incidentes de MPS para este ponto amostral, conforme observado anteriormente.

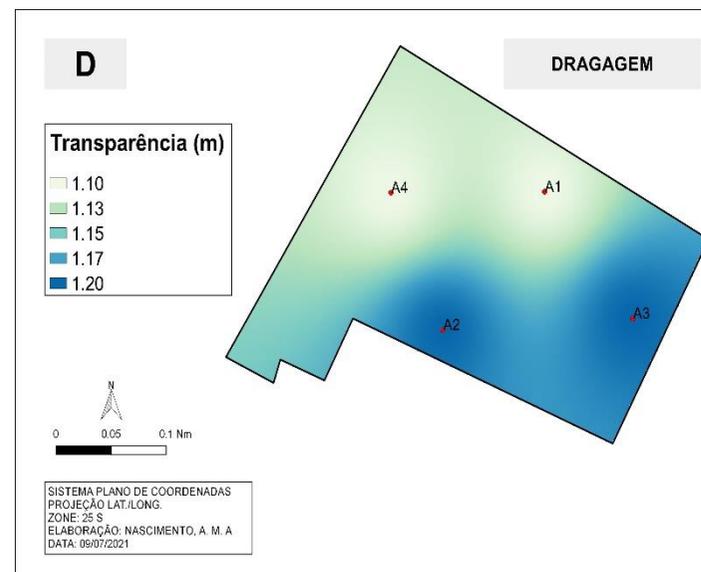
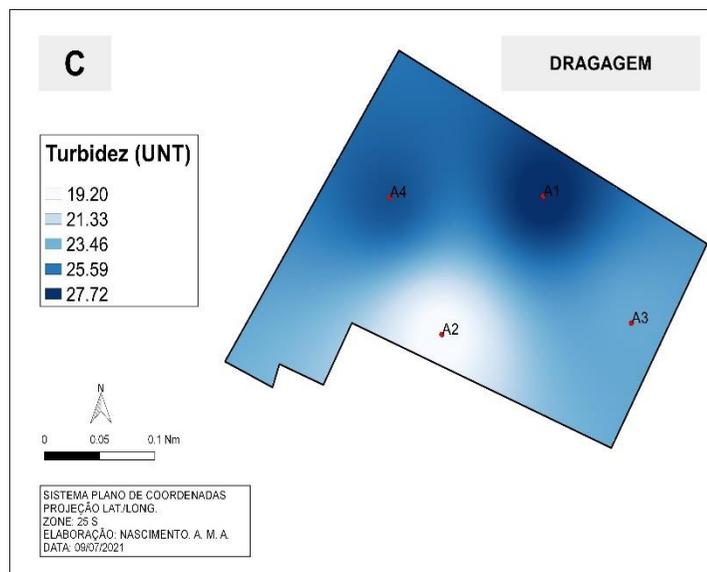
As medições de transparência da água na área de dragagem, por sua vez, estiveram estagnadas na profundidade de 1,50 m, sendo infimamente incidente no ponto à popa (Figura 9F), valor, portanto, superior a campanha anterior.

Figura 9- Interpolação linear da turbidez (A, C e E) e transparência da água (B, D e F) nos pontos amostrais da bacia de evolução do Porto antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

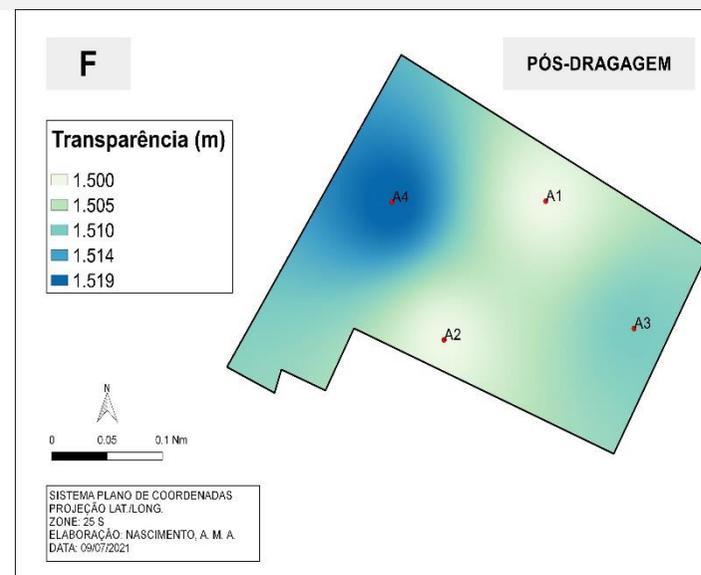
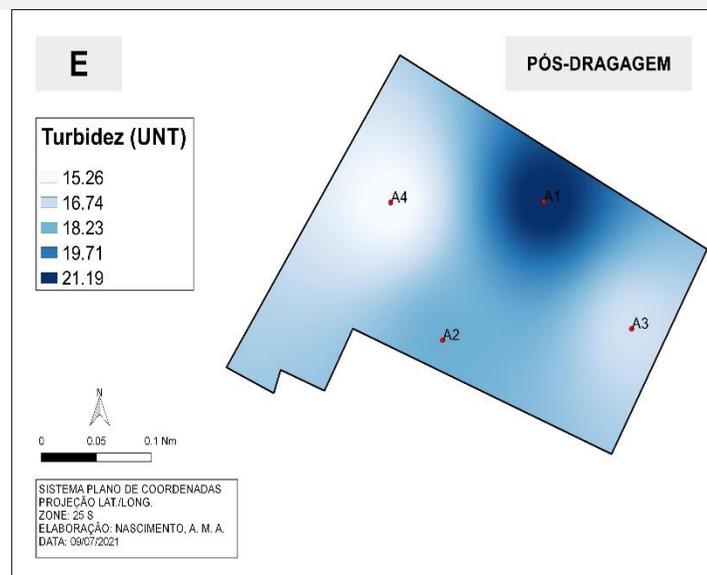
Pré-dragagem



Dragagem



Pós-dragagem



Na área de descarte, constatou-se maior incidência de turbidez, na campanha de pré-dragagem, nas porções a norte e leste dos pontos amostrais (19,90 UNT), observando-se também nítida relação às maiores taxas de MPS constatadas no estrato de superfície para este período. Nas porções a centro-oeste-sul, a incidência de turvação mostrou-se similar, com os menores registros, entre 5,77 e 9,29 UNT (Figura 10A), também atribuídos a menor ocorrência de MPS na camada de superfície.

A exemplo da área de dragagem, foi observado anomalia de estratificação na área de descarte, tais como os observados para o ponto amostral 1N e central (OO), em que as profundidades de transparência da água estiveram superiores a 8 metros (Figura 10B); ou seja, não tiveram relação com a incidência de MPS na área observada no mesmo período. Esse fator, possivelmente, esteve atribuído à ausência do descarte de sedimentos dragados, correspondente ao período de pré-dragagem.

No período de dragagem, a pluma de turbidez esteve concentrada na porção sul-leste, entre 43,3 e 48,6 UNT, estando mais incidente nos pontos 1L e 1S. Por sua vez, foi observado a pluma menos incidente nas porções norte e oeste da área, entre 27,5 e 38 UNT, estando disperso no ponto amostral 2N (Figura 10C)

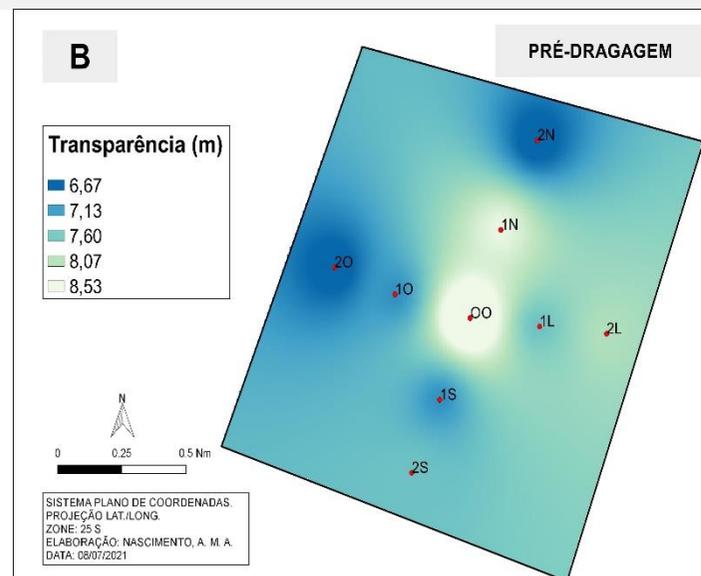
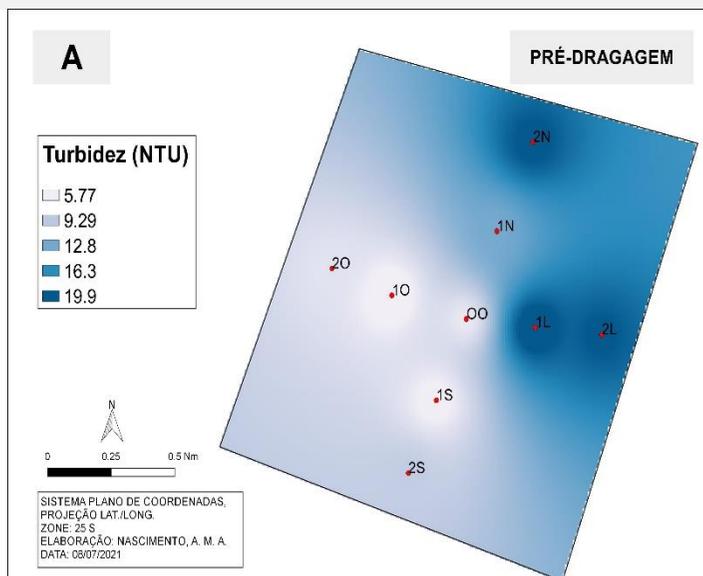
A transparência da água também incidiu ao ponto amostral com menor turbidez e material particulado em suspensão, 2N (3,66 m). Nos demais pontos amostrais, essa tendência mostrou-se similar/estável, entre 2,06 m e 2,86 m (Figura 10D). Cabe mencionar, que os valores de transparência da água foram drasticamente inferiores aos registrados em março, o que reforça o efeito imediato da pluma de dispersão dos sedimentos dragados na área.

Na campanha de pós-dragagem não observado relação de incidência para turbidez em resposta às concentrações de MPS, que entre os estratos estiveram concentradas na parte central dos pontos amostrais. O maior valor de turbidez, de 30,5 UNT, esteve exclusivamente incidente no ponto 2O, enquanto que nos demais pontos, de forma praticamente constante e estável, os preponderaram no intervalo entre 17 e 23,8 UNT (Figura 10E).

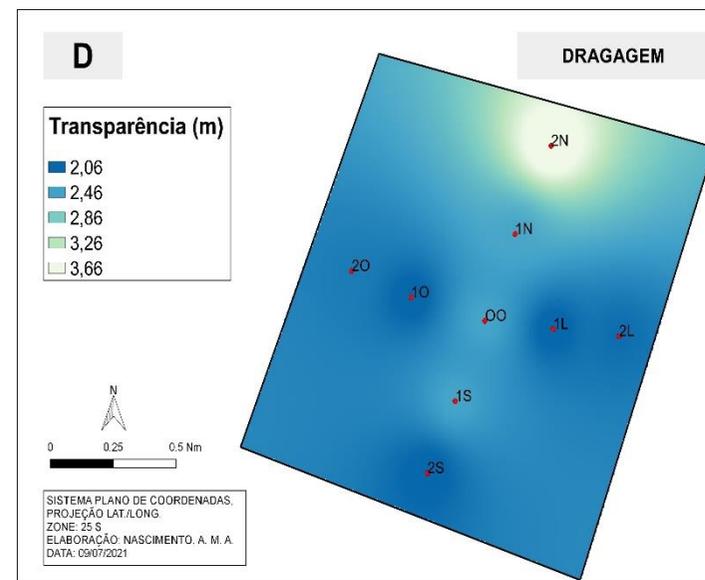
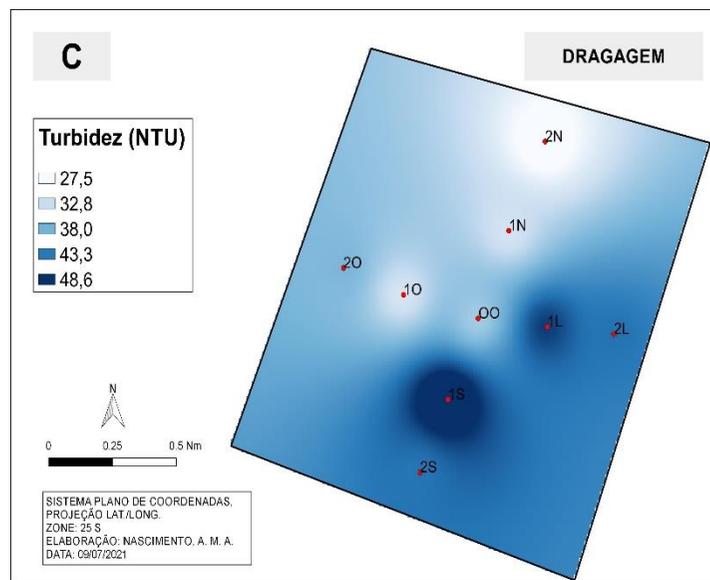
O mesmo patamar atípico foi observado para a transparência da água; para a borda oeste foram constatadas as maiores estratificações, predominantemente no intervalo entre 4,56 m e 4,91 m, estando menos incidentes para a borda leste, entre 3,50 m e 3,85 m (Figura 10F), não sendo observado, portanto, relação direta com os teores de turbidez e de MPS entre os pontos amostrais para a campanha de pós-dragagem.

Figura 10- Interpolação linear da turbidez (A, C e E) e transparência da água (B, D e F) nos pontos amostrais da área de descarte antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

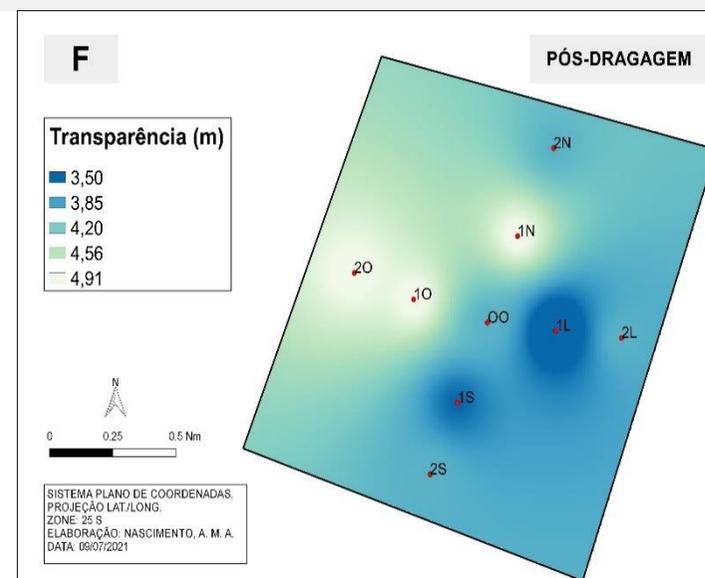
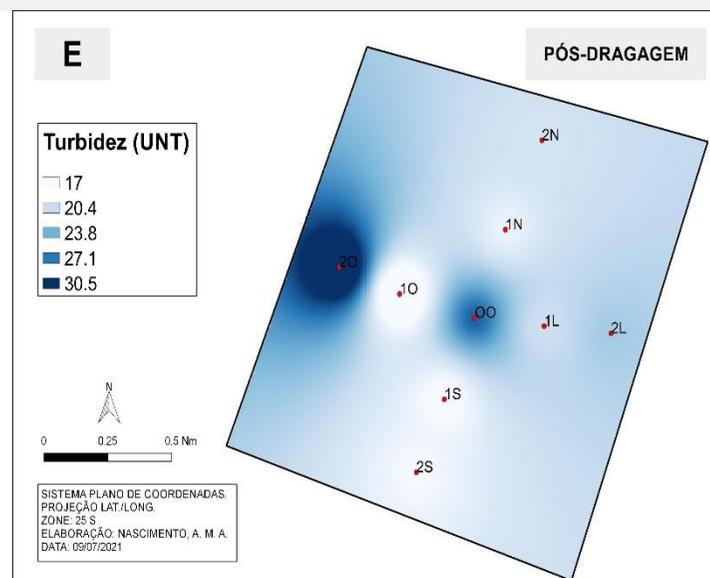
Pré-dragagem



Dragagem



Pós-dragagem



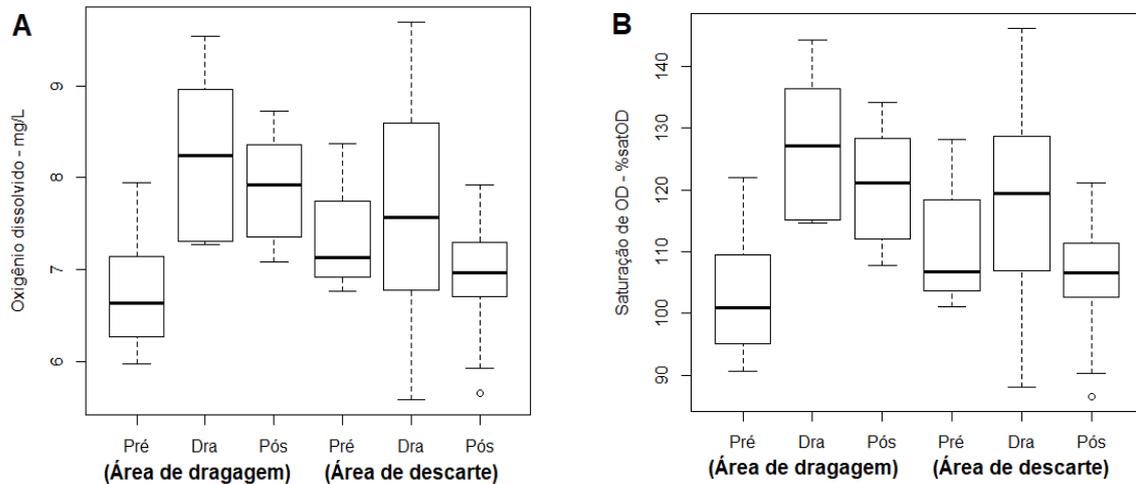
4.3 Oxigênio dissolvido e % de saturação

Os boxplots dos parâmetros oxigênio dissolvido e % de saturação apresentaram em ambas as áreas tendência acumulativa nas primeiras duas campanhas (Figura 11). Em especial no período de dragagem, o consumo de oxigênio excessivo esteve atribuído a maior presença de sedimentos em suspensão, favorecendo desta forma maior consumo dos mesmos pelas espécies aquáticas, resultando, por conseguinte, no aumento nas % de saturação de OD. A tendência de decréscimo no pós-dragagem para ambas as variáveis é sugerida pelo maior tempo de compactação dos sedimentos (decantação), com tendência similar ao período de pré-dragagem.

Para oxigênio dissolvido, foram observadas, tanto na área de dragagem quanto na área de descarte, taxas ascendentes do período de pré-dragagem para o de dragagem e descendentes da dragagem para a de pós-dragagem, com médias respectivas de 6,75, 8,23 e 7,88 mg/L na área de dragagem, e de 7,35, 7,65 e 6,96 mg/L na área de descarte (Figura 11A). As amplitudes observadas também obedeceram a mesma ordem respectiva, com 1,97, 2,27 e 1,65 (área de dragagem) e 1,61, 4,10 e 2,26 (área de descarte).

O mesmo padrão mencionado acima foi observado para a % de saturação de OD, com médias de 102,95, 127,04 e 120,66% na área de dragagem e com 111,29, 117,89 e 106,34% na área de descarte (Figura 11B). Na área de dragagem, as amplitudes estatísticas foram de 31,4, 29,7 e 26,3, enquanto na área de descarte foram de 27,1, 58 e 34,6, respectivamente. Dessa forma, todos os teores registrados antes da execução das obras apresentaram %satOD predominantemente Excelente em ambas as áreas, oscilando entre Excelente a Muito Alto na campanha de dragagem e enquadrando-se no patamar prévio (Excelente) na pós-dragagem.

Figura 11- Análise boxplot do oxigênio dissolvido (A) e da % de saturação de OD (B) nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).



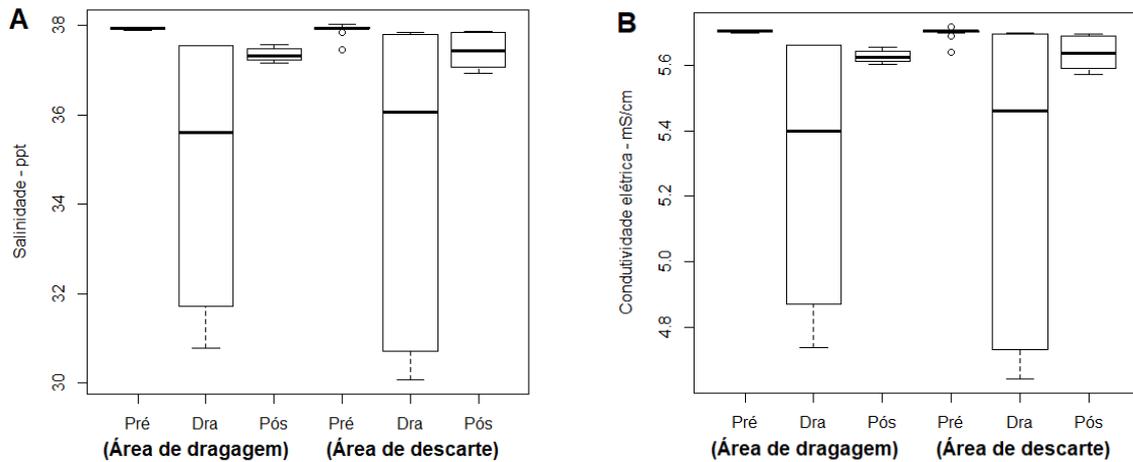
4.4 Salinidade e condutividade elétrica

Os boxplots dos parâmetros salinidade e condutividade elétrica apresentaram, tanto na área de dragagem quanto na de descarte, tendências amplamente similares nas três campanhas amostrais (Figura 12).

A salinidade nas duas áreas apresentou similaridade na concentração de sais nas campanhas amostrais antecedente e posterior às obras de dragagem (março e agosto), com medianas e discrepâncias praticamente constantes, com 37,94 e 37,35 ppt na bacia de evolução e com 37,92 e 37,44 ppt na área de descarte (Figura 12A). Na campanha de dragagem, em contrapartida, a exceção, com valor médio de 34,76 (bacia de evolução) e 34,67 ppt (área de descarte), fator este atribuído a maior concentração de MPS. As amplitudes em sequência foram de 0,06, 6,78 e 0,41, na área de dragagem, e de 0,57, 7,76 e 0,93, na área de descarte.

Paralelamente, a condutividade elétrica, à exceção da campanha de dragagem, também esteve praticamente estável nas campanhas antecedente (5,70 mS/cm em ambas as áreas) e posterior (5,63 e 5,64 mS/cm) às obras. A maior discrepância correspondente ao mês de execução das obras de dragagem, com maior presença de MPS, diminuiu consideravelmente, com 5,28 e 5,27 mS/cm, respectivamente (Figura 12B). As amplitudes observadas foram de 0,009, 0,92 e 0,052 (área de dragagem) e de 0,076, 1,06 e 0,13 (área de descarte).

Figura 12- Análise boxplot da salinidade (A) e condutividade elétrica (B) nas áreas de dragagem e de descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).



4.5 Série nitrogenada

Os boxplots da série nitrogenada denotaram valores ascendentes da campanha de pré-dragagem para a de dragagem e descendente para a de pós-dragagem tanto na área de dragagem quanto na área de descarte (Figura 13).

Para o nitrito, as médias observadas foram de 0,0021, 0,0087, 0,0014 (área de dragagem), 0,0013, 0,0028 e 0,011 mg/L N (área de descarte) (Figura 13A). As amplitudes estatísticas entre as campanhas também seguiram os mesmos padrões ascendente e descendente respectivos, com 0,0012, 0,0037 e 0,0035 na área de dragagem, e com 0,0031, 0,0059 e 0,0036 na área de descarte.

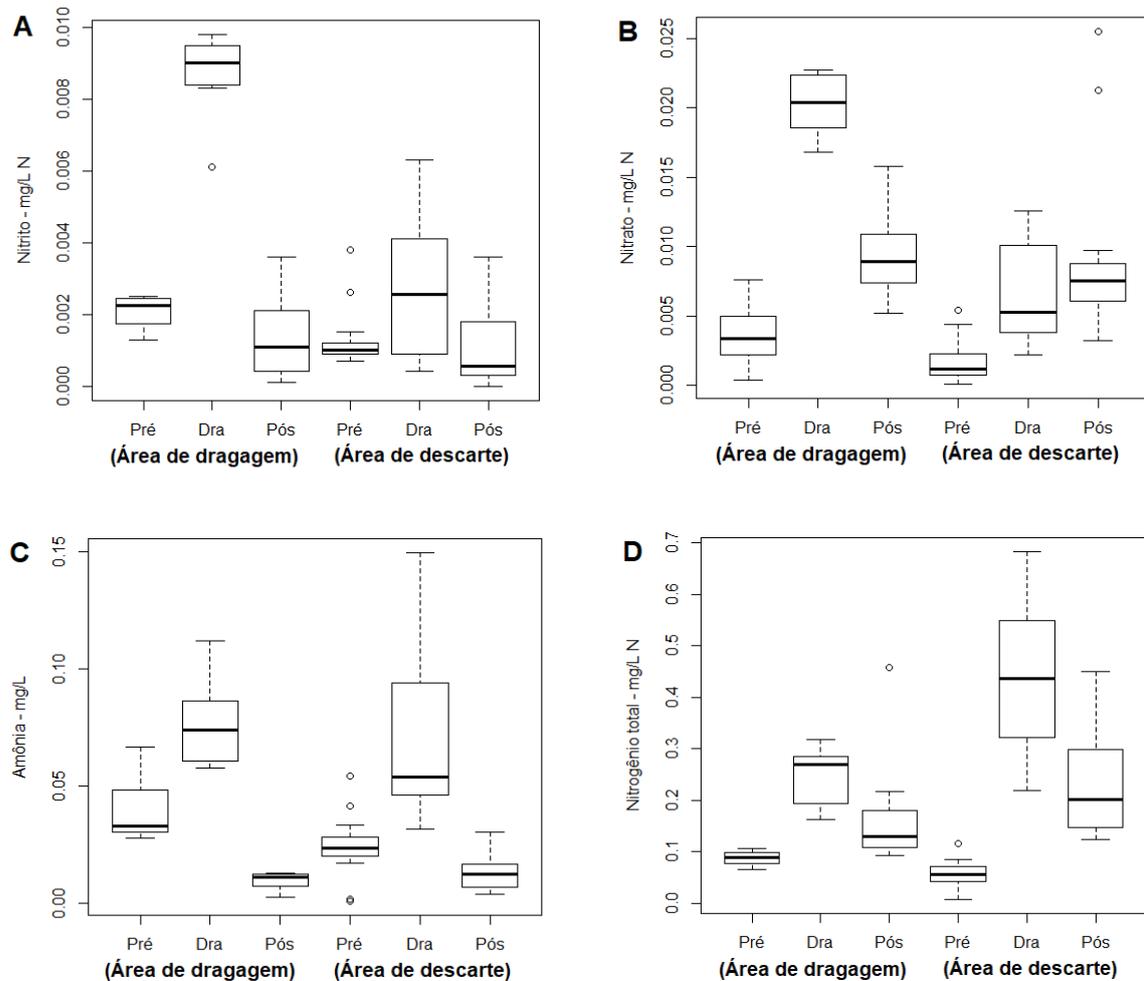
Para o nitrato, foram constatadas também médias ascendente e descendente, na área de dragagem, com 0,004, 0,020 e 0,009 mg/L N (Figura 13B); todavia, as amplitudes denotaram um padrão descendente da campanha antecedente para a de dragagem e ascendente para a de pós-dragagem, com 0,007, 0,006 e 0,011. Na área de descarte, em oposição, foram observadas médias ascendentes da pré até a pós-dragagem, com 0,0018, 0,0065 e 0,0087 mg/L N, respectivamente. O mesmo padrão ascendente também foi observado nas amplitudes estatísticas: 0,0053, 0,0104 e 0,0223.

Para a amônia, as médias constataram padrões ascendente e descendente entre as três campanhas amostras, nesta ordem, tanto na área dragada quanto na de bota-fora (Figura 13C). Na área de dragagem, as médias respectivas foram de 0,040, 0,077 e 0,010, enquanto na de descarte foram de 0,024, 0,068 e 0,014. O mesmo patamar ascendente e descendente foi

observado, com 0,039, 0,054 e 0,010 na área de dragagem e com 0,053, 0,118, 0,026 na área de descarte.

Para o nitrogênio total, as médias observadas constataram padrões ascendente e descendente entre as três campanhas, na ordem respectiva, tanto na área dragada quanto na de despejo, com 0,088, 0,247 e 0,173 (área de dragagem) e 0,058, 0,445 e 0,226 (área de descarte) (Figura 13D). As amplitudes, no entanto, configuraram um patamar ascendente na área de dragagem, com 0,042, 0,155 e 0,365. Na área de descarte, por sua vez, as amplitudes seguiram o mesmo padrão ascendente e descendente respectivo observado anteriormente nas médias, com 0,109, 0,464 e 0,327.

Figura 13- Análise boxplot da série nitrogenada nitrito (A), nitrato (B), amônia (C) e nitrogênio total (D) nas áreas de dragagem e descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).



Os valores interpolados da série nitrogenada, na pré-dragagem estiveram concentrados, de maneira uniforme, a estibordo (A2) e à proa (A3) para o nitrito (Figuras 14A e 14B), a

amônia (Figuras 14E e 14F) e o nitrogênio total (Figuras 14G e 14H), além do nitrato de superfície (Figura 14C); à única exceção foi observada para o nitrato de fundo, concentrado para bombordo (A1) (Figura 14D). Os pontos à popa (A4), em geral, obtiveram os menores registros.

Em superfície, as taxas interpoladas na área oscilaram entre 0,0021 a 0,0025 mg/L N (nitrito), 0,0007 a 0,0050 mg/L N (nitrato), 0,0319 a 0,0650 mg/L N (amônia) e 0,0832 a 0,0994 mg/L N (nitrogênio total), enquanto que para a série nitrogenada de fundo essa oscilação variou de 0,0013 a 0,0024 mg/L N (nitrito), 0,0023 a 0,0072 mg/L N (nitrato), 0,0283 a 0,0414 mg/L N (amônia) e 0,0664 a 0,1050 mg/L N (nitrogênio total).

Dessa forma, todos os registros da série nitrogenada para a campanha amostral, antecedente às obras de dragagem, apresentaram padrão de aceitabilidade fixado pela resolução n° 357 (nitrito, nitrato e amônia) e n° 454 (nitrogênio total) do CONAMA para águas salinas de Classe 1, listadas anteriormente na Tabela 1.

Na campanha de dragagem, também observou-se incidência entre os estratos da série nitrogenada, com exceção da amônia, sobretudo no estrato de superfície. Para o nitrito, o nitrato e o nitrogênio total foi observado uniformidade de concentração à proa (Figuras 14I e 14J), à estibordo (Figuras 14K e 14L) e à bombordo (Figuras 14O e 14P), com valores entre 0,0063 a 0,0097, 0,0084 a 0,0126 e 0,169 a 0,282 mg/L, em superfície, nesta ordem; e com valores entre 0,0083 a 0,0094, 0,0170 a 0,0213 e 0,186 a 0,311 mg/L N, no fundo, nesta sequência. Para a amônia, os valores de maior aglomeração estiveram dispersos para os pontos à proa em superfície, com valor máximo de 0,111 mg/L N (Figura 14M) e para bombordo no fundo, com taxa máxima de 0,0755 mg/L N (Figura 14N). O ponto à popa, a exemplo da campanha antecedente às obras também apresentou os menores números interpolados em ambos os estratos, com 0,0618 e 0,0588 mg/L, respectivamente.

Apesar das maiores registros observados em relação à pré-dragagem, todos os valores da série nitrogenada para esse período também estiveram em conformidade às diretrizes n° 357 e n° 454 do CONAMA.

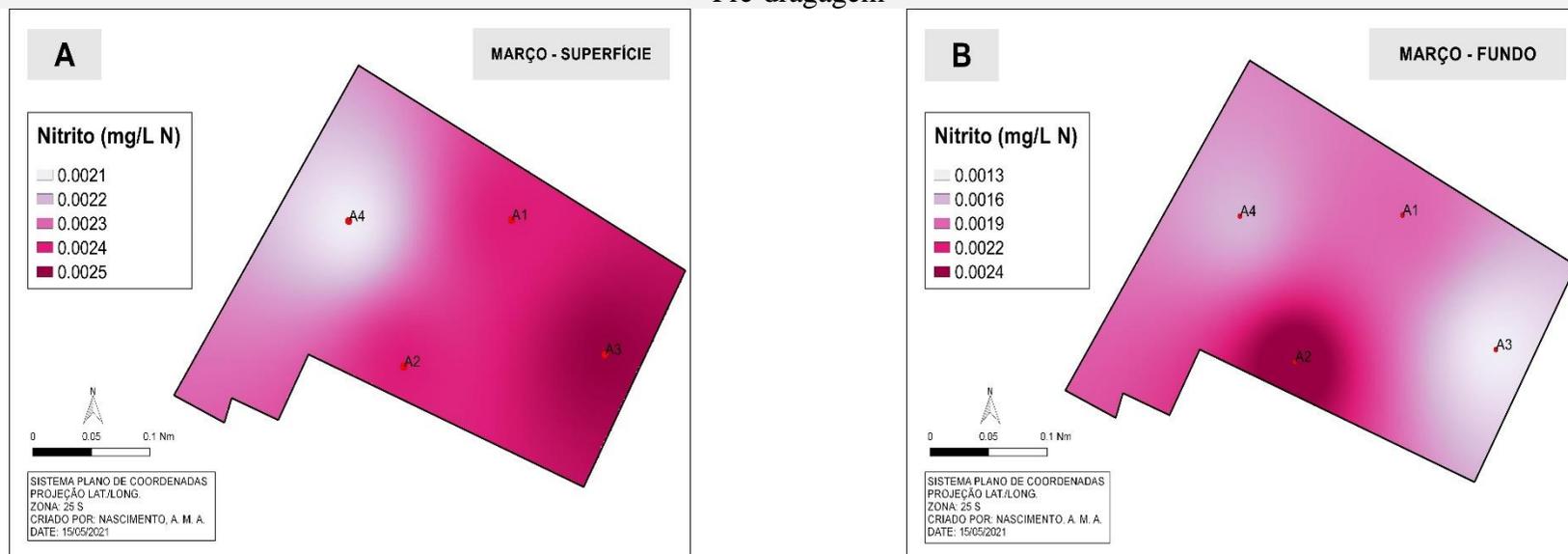
Diferentemente da campanha anterior, em que predominou a série nitrogenada de superfície, na campanha de pós-dragagem foram constatadas a concentração nitrogenada de fundo, com exceção da amônia, em que os valores incidentes estiveram dispostos no estrato de superfície, possivelmente atribuído a um maior estágio de decantação dos sedimentos dragados e como consequência da cessação das atividades de dragagem. Além disso, as taxas registradas foram inferiores ao da campanha de dragagem, também conferido a maior compactação dos sedimentos decantados.

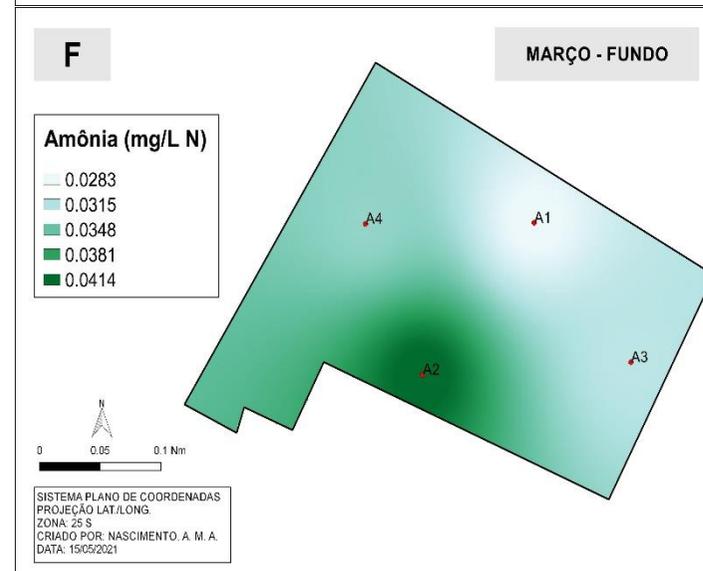
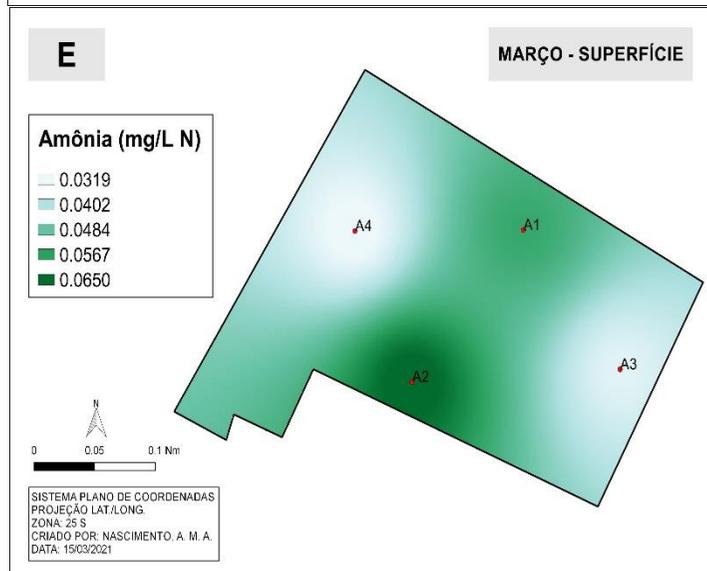
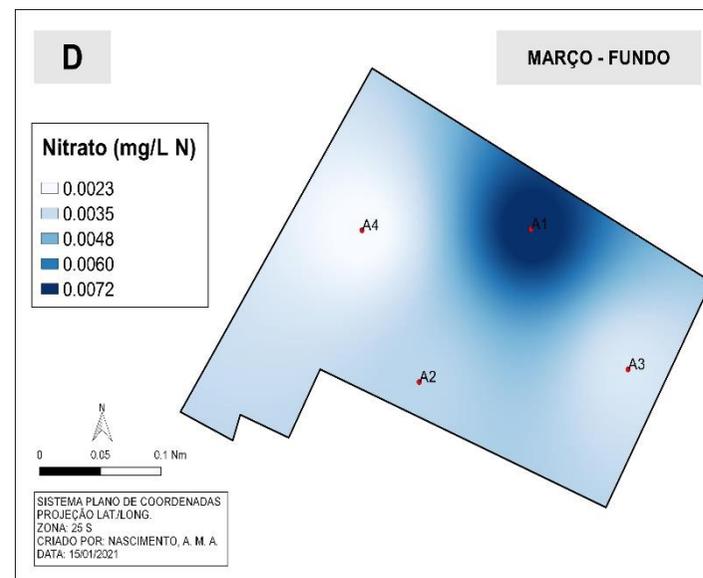
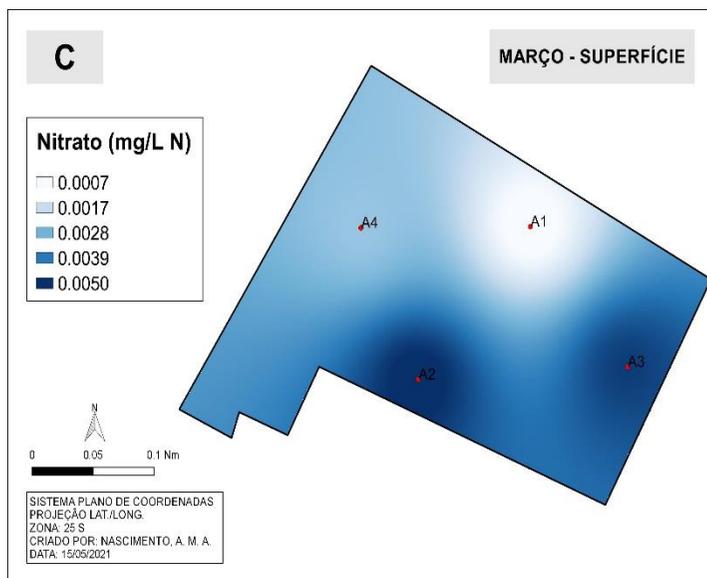
A espacialização interpolada apresentou uniformidade nos estratos para o nitrito (Figuras 14Q e 14R) e para a amônia (Figuras 14U e 14V) no lado bombordo, com 0,0008 e 0,0035 mg/L N (nitrito) e 0,0125 e 0,0127 mg/L N (amônia). A incidência à bombordo também foi observada para o nitrato de fundo, com valor de 0,0154 mg/L N (Figura 14T), enquanto que para o nitrato de superfície, notou-se maior incidência à proa, com 0,0093 mg/L N (Figura 14S). O nitrogênio total, por sua vez, apresentou-se incidente à popa (superfície) e à proa (fundo), com valores máximos de 0,212 (Figura 14W) e 0,442 mg/L N (Figura 14X), em vista que nos demais pontos foi constatado interpolações constantes e uniformes.

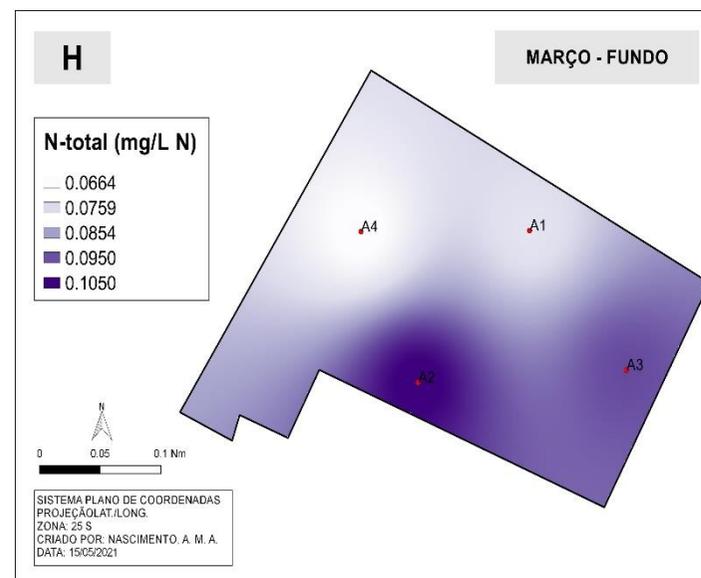
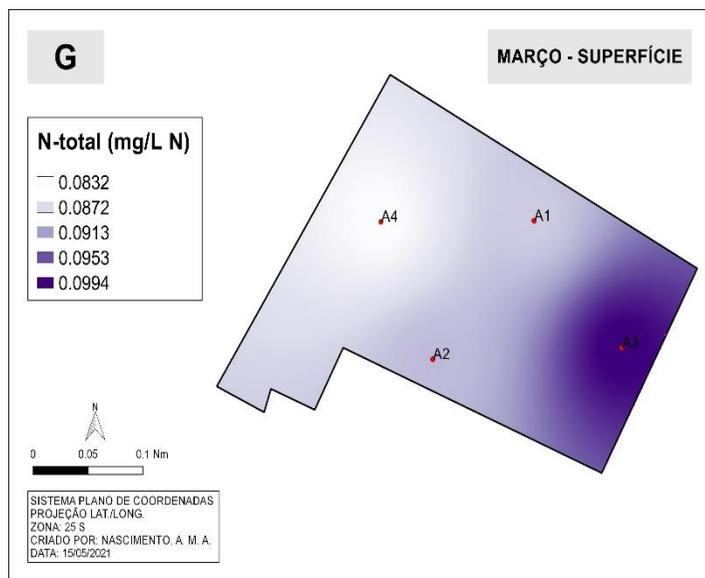
Assim, todos os valores mencionados estiveram abaixo do valor máximo exigido pelas resoluções n° 344 e n° 454 do CONAMA.

Figura 14- Interpolação linear da série nitrogenada nitrito (A, B, I, J, Q e R), nitrato (C, D, K, L, S e T), amônia (E, F, M, N, U e V) e nitrogênio total (G, H, O, P, W e X) nos pontos amostrais entre os estratos da bacia de evolução do Porto antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

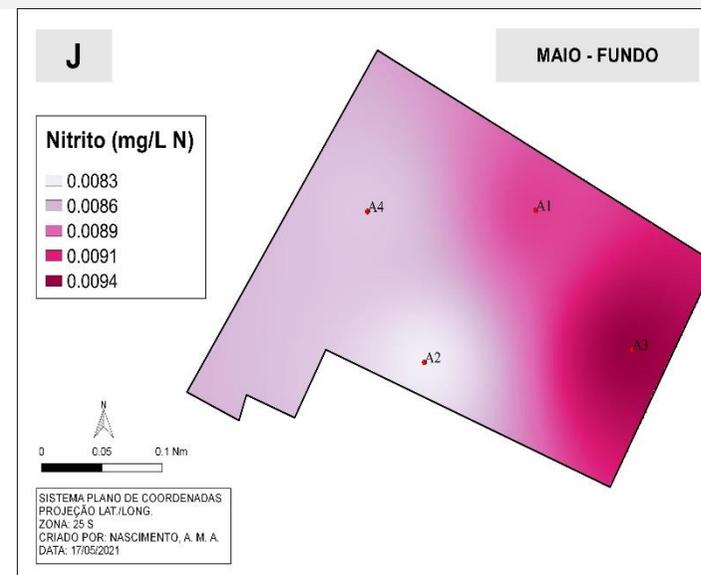
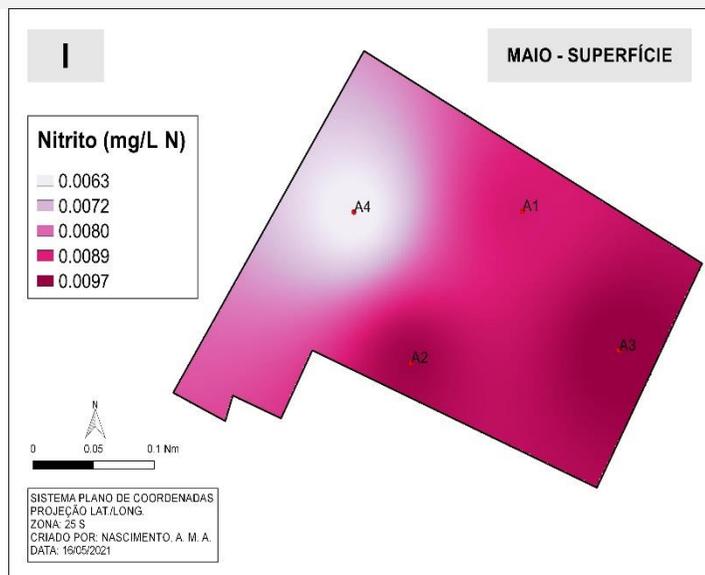
Pré-dragagem

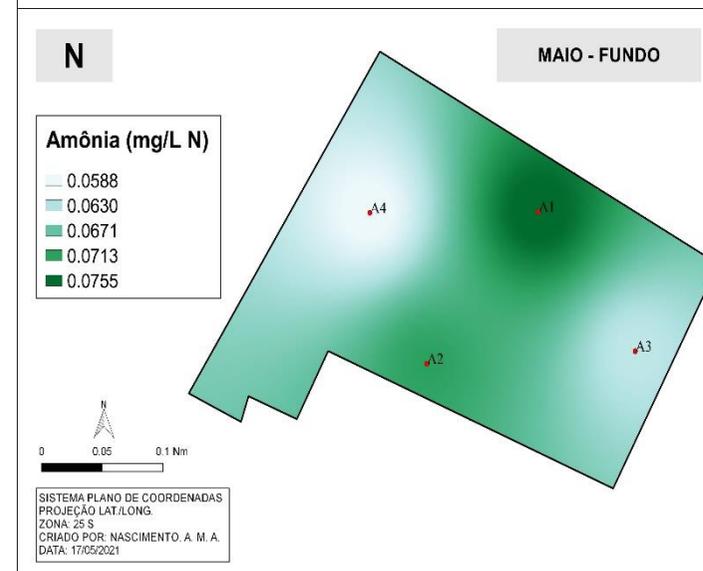
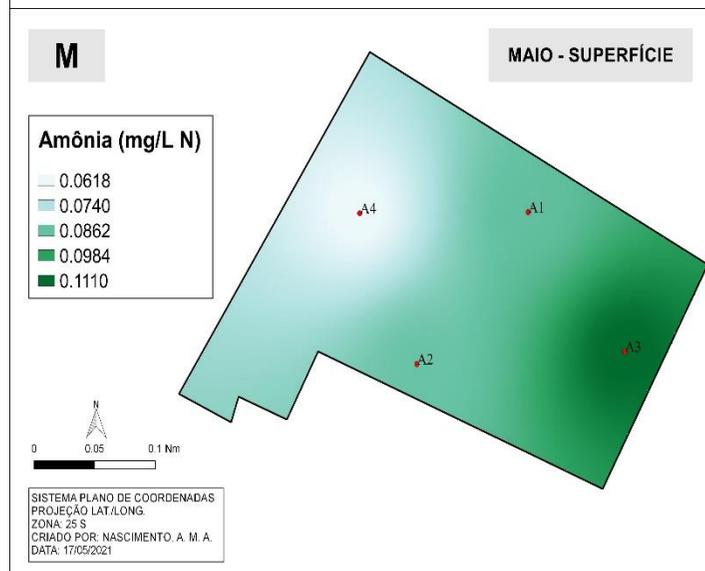
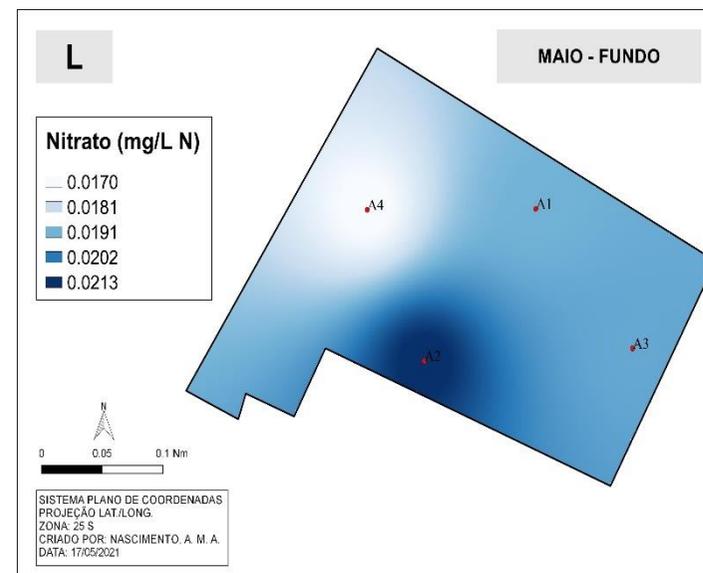
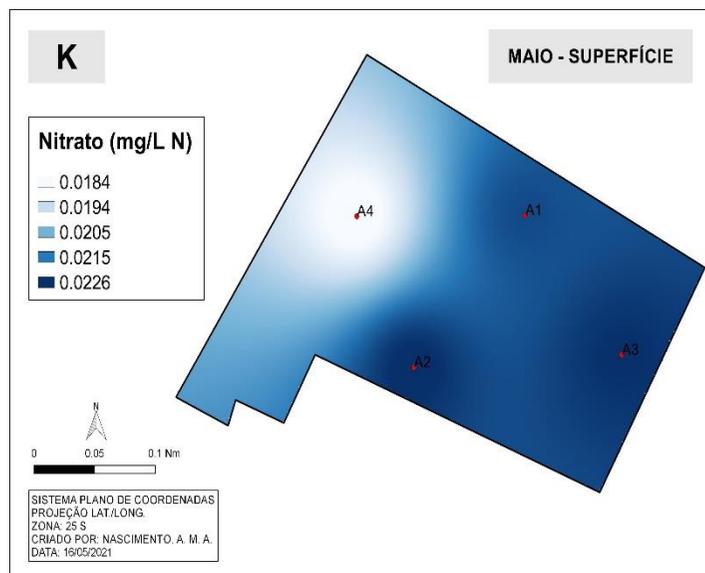


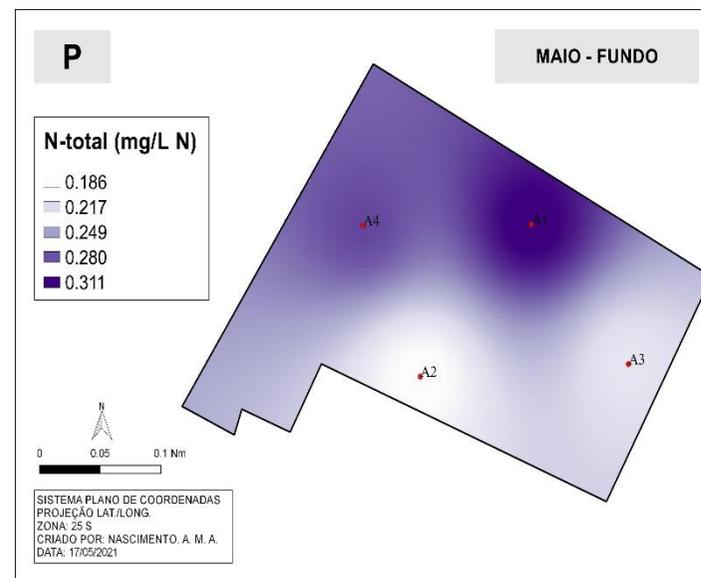
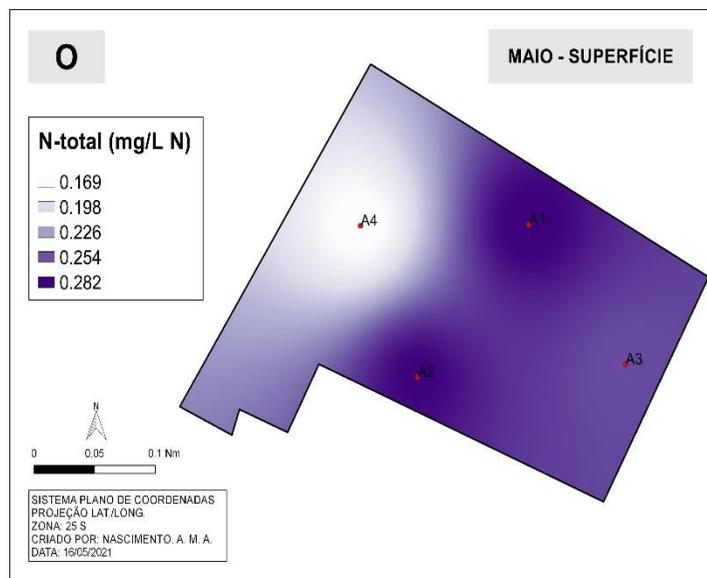




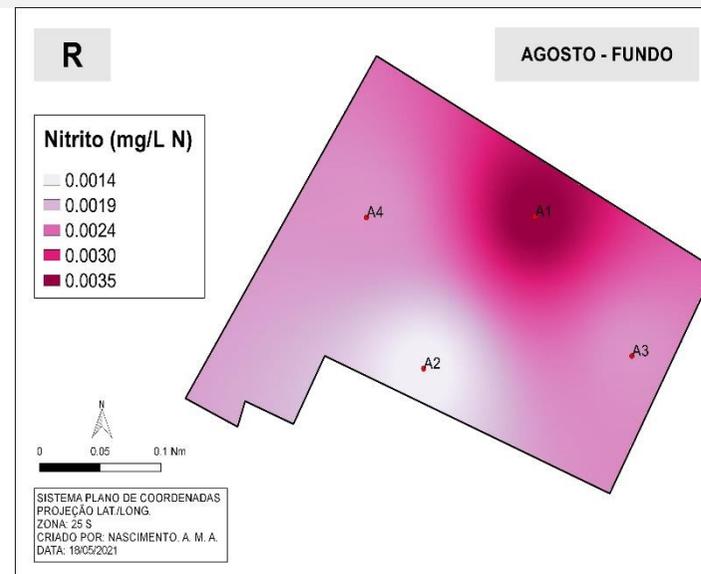
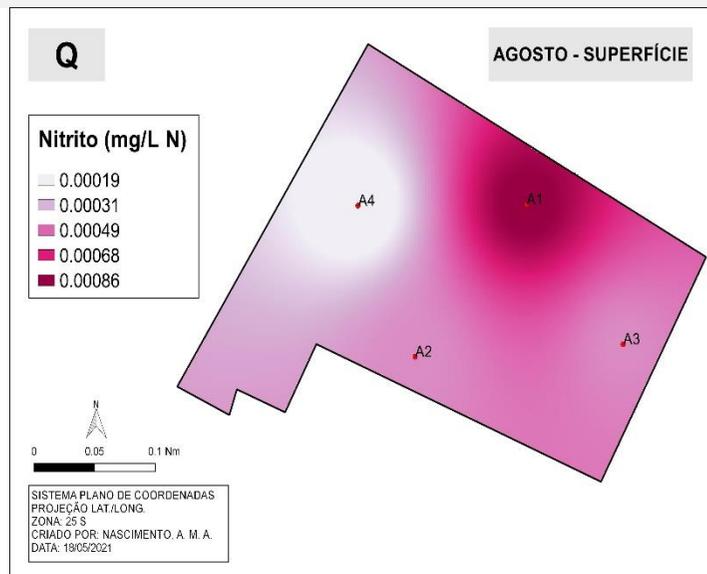
Dragagem

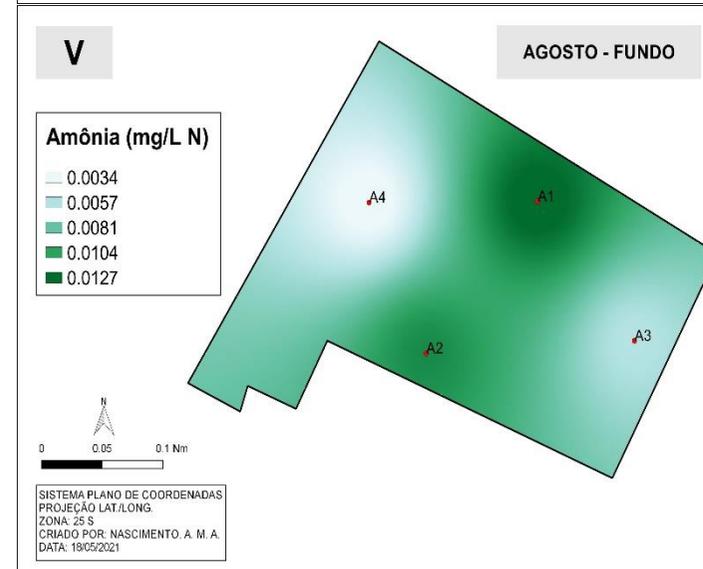
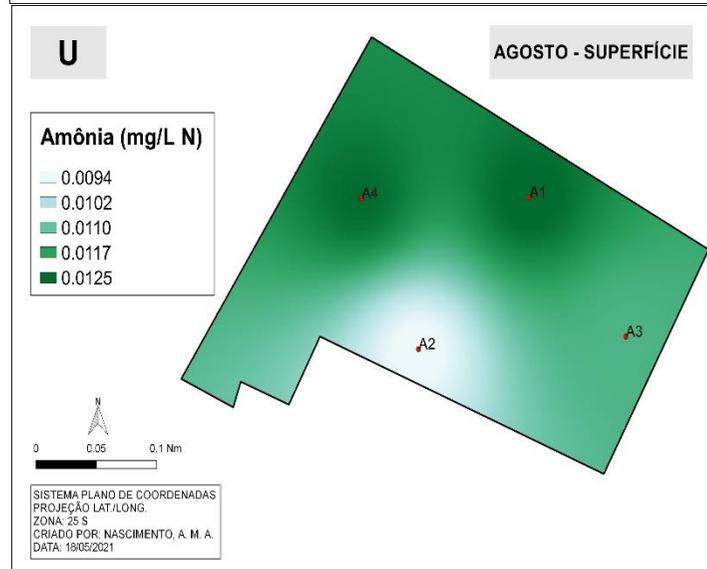
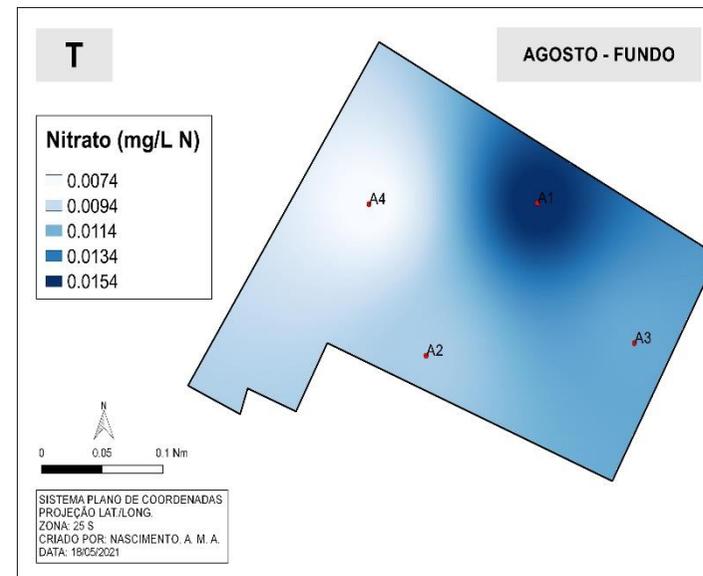
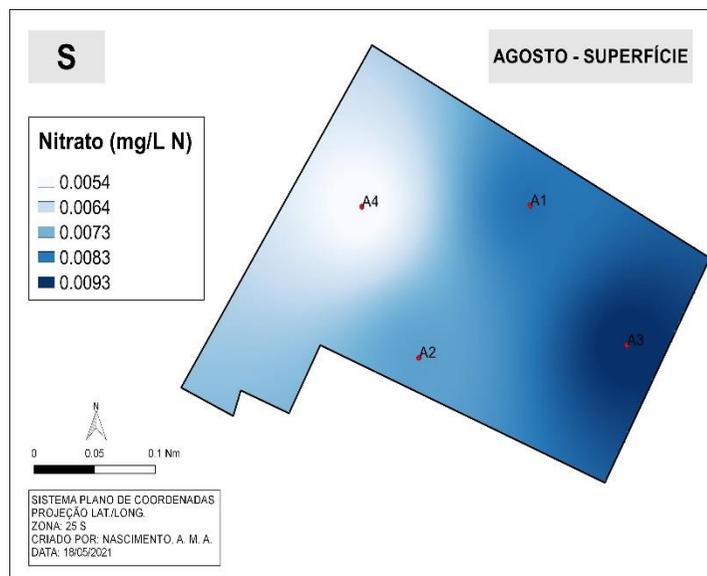


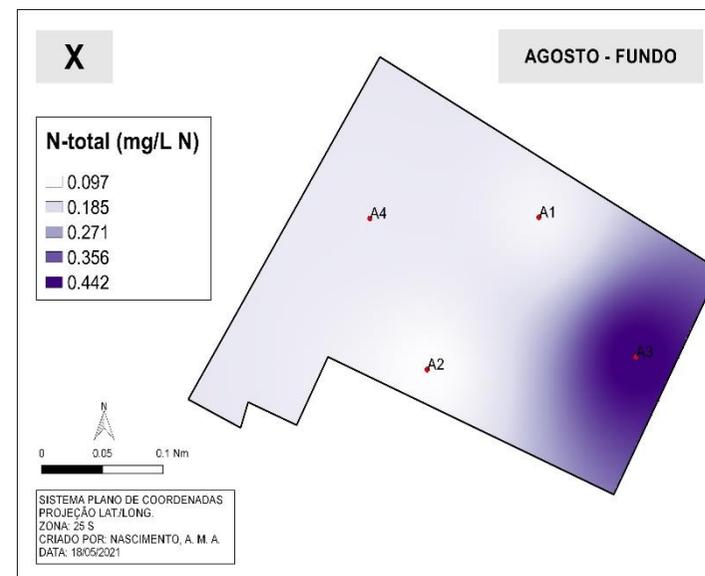
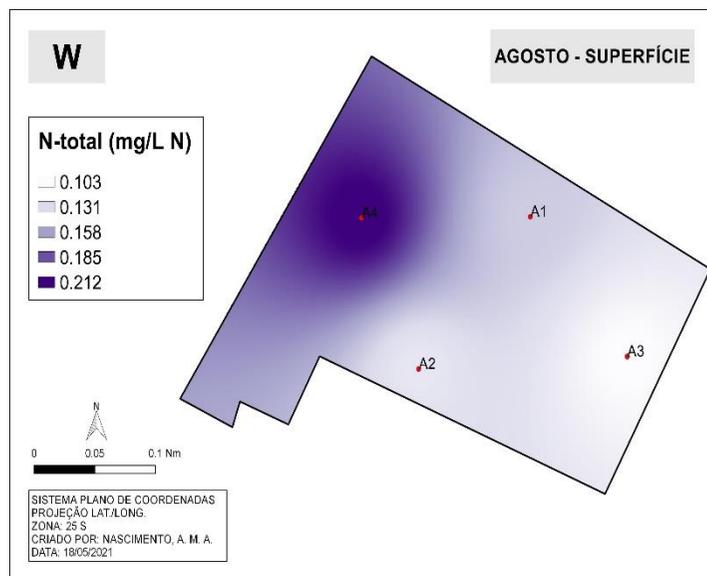




Pós-dragagem







Na área de descarte, os valores interpolados, na campanha antecedente, de nitrito apresentaram dispersão à norte (ponto amostral 2N) nos dois estratos, enquanto que nos demais pontos os valores decresceram; as taxas em superfície oscilaram entre 0,0009 a 0,0034 mg/L N (Figura 15A), enquanto no fundo variaram entre 0,00080 a 0,00115 mg/L N (Figura 15B).

Nas demais séries nitrogenadas, em contrapartida, não foi observada uniformidade e regularidade de concentração entre os estratos dos pontos amostrais. Para o nitrato, os pontos de maior acumulação estiveram dispersos para sul (2S) em superfície, com valores entre 0,0007 a 0,0043 mg/L N (Figura 15C) e para leste-oeste (1E, 1W e 2W) no fundo, com valores entre 0,0008 a 0,0031 mg/L N (Figura 15D). Para a amônia, a concentração esteve dispersa para norte (1N), em superfície, e para sul (2S), no fundo, com taxas mínima de 0,0190 e 0,0054 e máxima de 0,0357 e 0,0463 mg/L N, respectivamente (Figuras 15E e 15F); enquanto que para o nitrogênio total os valores de maior concentração estiveram dispersos aleatoriamente em 2N, 1W e 2S (superfície), com taxas entre 0,0442 e 0,0671 mg/L N (Figura 15G) e para leste (2E), no fundo, que oscilaram entre 0,0189 e 0,1000 mg/L N (Figura 15H).

Na campanha de descarte foi observado maiores registros, em especial no estrato de superfície, Neste período, observou-se concentração preponderante entre os estratos para o nitrito (2W e 2S, e OO, no fundo) e o nitrato (2W e 1W, e 2S, no fundo), com valores máximos de 0,0040 e 0,0114 mg/L N, respectivamente. No estrato de superfície, na porção oeste (1W e 2E) das duas variáveis, foi observada a maior incidência, com máximas de 0,0055 e 0,0102 mg/L N; as porções para norte e leste, em suma, as menores incidências (Figuras 15I a 15L).

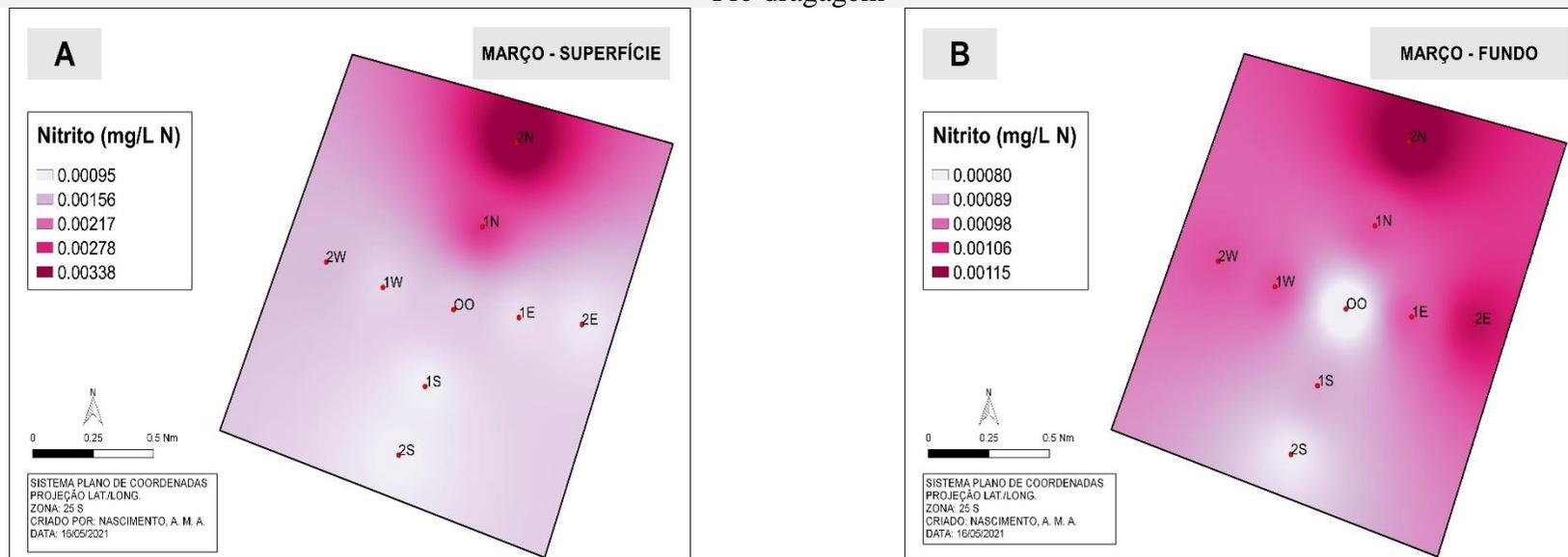
Para a amônia, os intervalos interpolados oscilaram entre 0,0486 e 0,1270 mg/L N, em superfície, e entre 0,0439 e 0,0912 mg/L N, no fundo, com o valor máximo incidente exclusivo no ponto 2W (superfície) e OO (fundo) (Figuras 15M e 15N). Para o nitrogênio total também não foi observado incidência entre os estratos; em superfície foi observado incremento nos pontos extremos (2N, 2E, 2S e 2W), com valor maior de 0,612 mg/L N, em oposição aos pontos internos, com os menores focos de incidência (Figura 15O). Já no fundo, os valores incidentes estiveram plotados em 1E, 1S e 2N, com valor máximo de 0,528 mg/L N (Figura 15P).

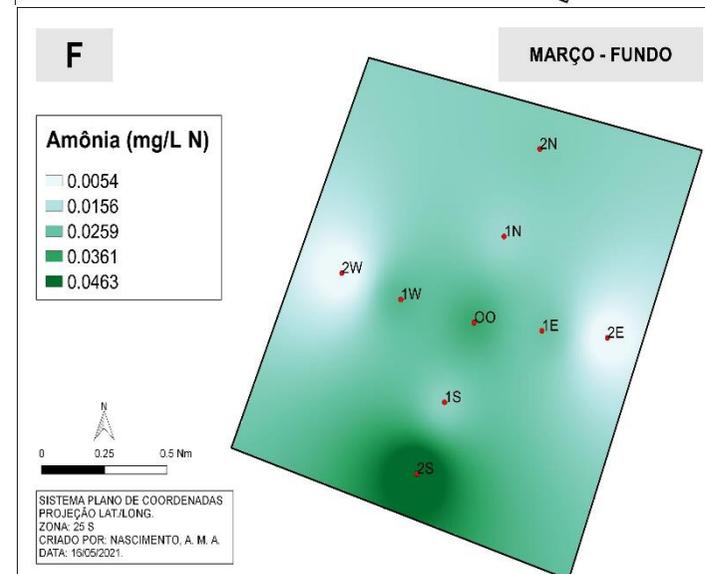
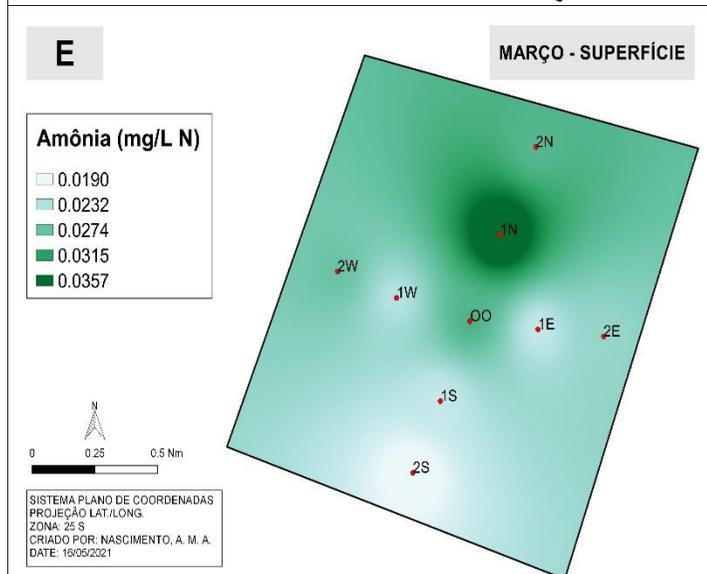
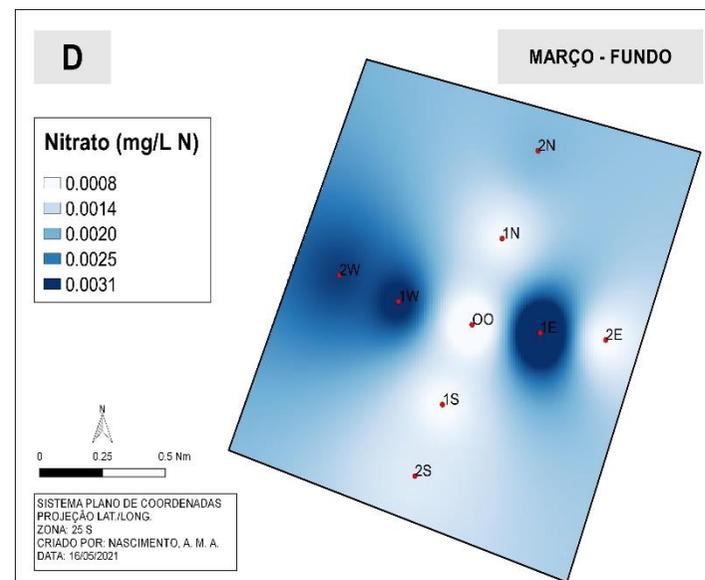
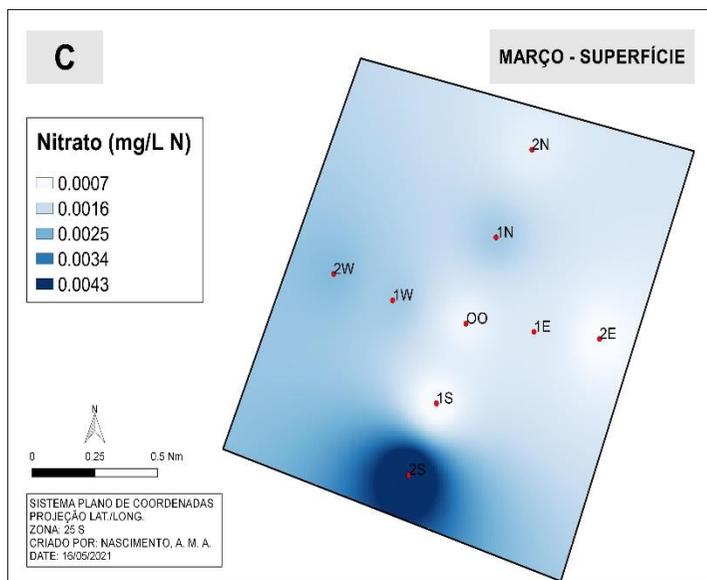
Na pós-dragagem, os valores interpolados constataram uniformidade de maior incidência exclusiva entre os estratos para o nitrito (ponto 2N, Figuras 15Q e 15R), a amônia (ponto 2W, Figuras 15U e 15V) e o nitrogênio total (pontos 2S, Figuras 15W e 15X), enquanto nas demais localidades, com poucas exceções, foram detectadas as menores incidências, em geral, também uniformes. Para o nitrato também foi constatado valores uniformes entre os pontos plotados, no entanto os registros de maior incidência apresentaram-se dispersos para norte em superfície (2N, Figura 15S) e no ponto central ao fundo (OO, figura 15T).

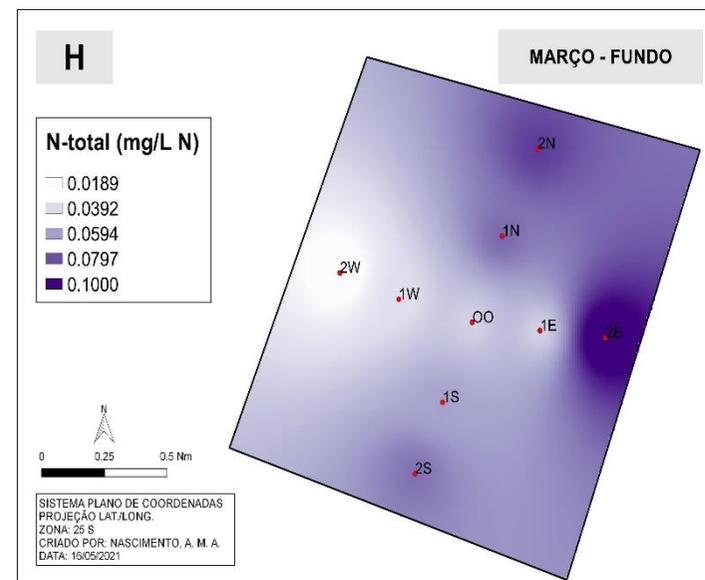
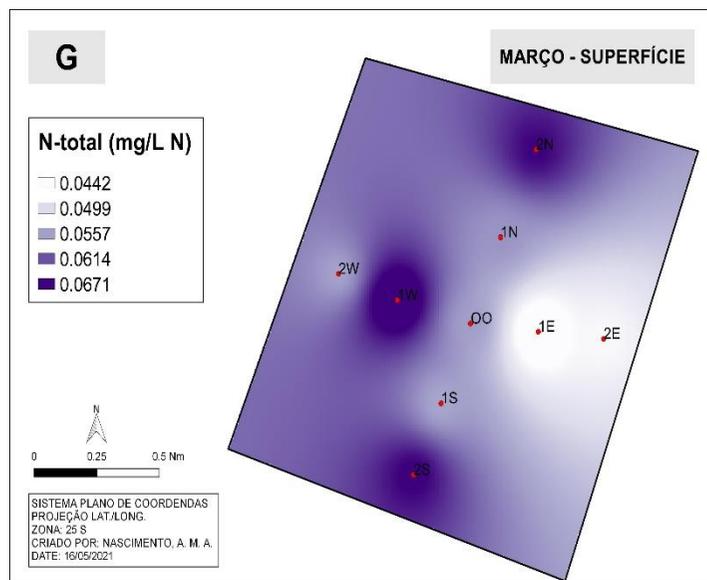
A exemplo do observado na área de dragagem no mesmo período, a série nitrogenada de fundo foi predominante em todas as formas analisadas. Todos os valores mencionados também estiveram abaixo do valor estabelecido pelas resoluções n° 344 e n° 454 do CONAMA para águas salinas de Classe 1.

Figura 15- Interpolação linear da série nitrogenada nitrito (A, B, I, J, Q e R), nitrato (C, D, K, L, S e T), amônia (E, F, M, N, U e V) e nitrogênio total (G, H, O, P, W e X) nos pontos amostrais entre os estratos da área de descarte antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

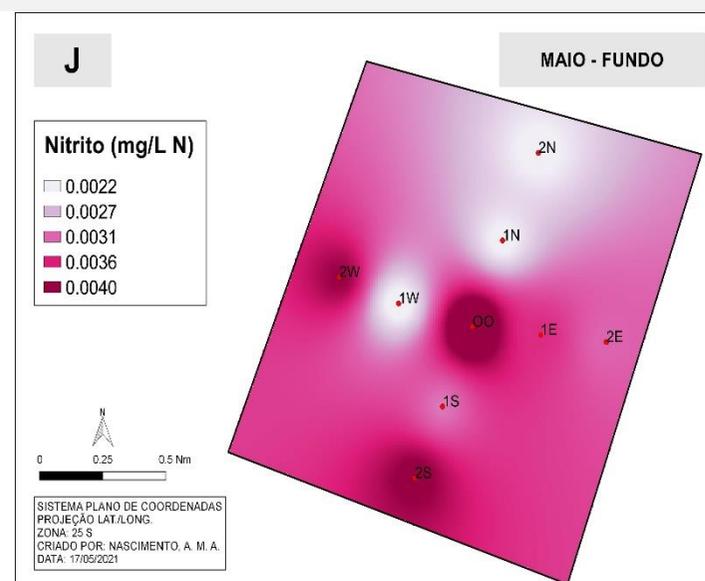
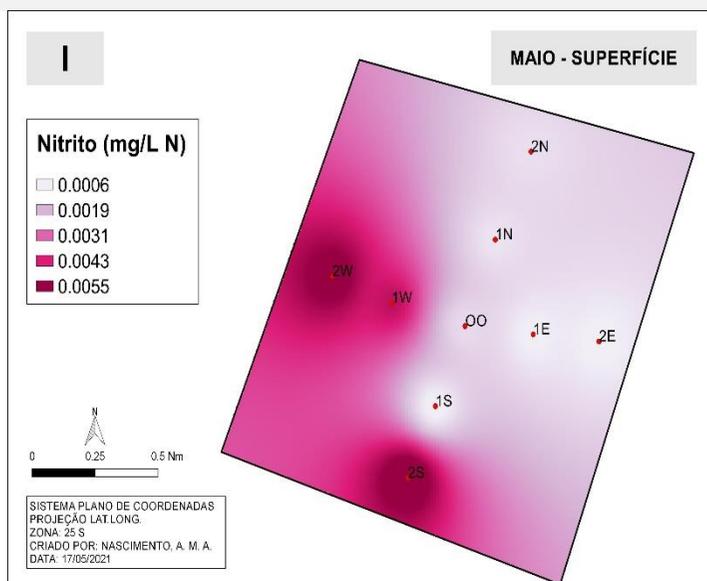
Pré-dragagem

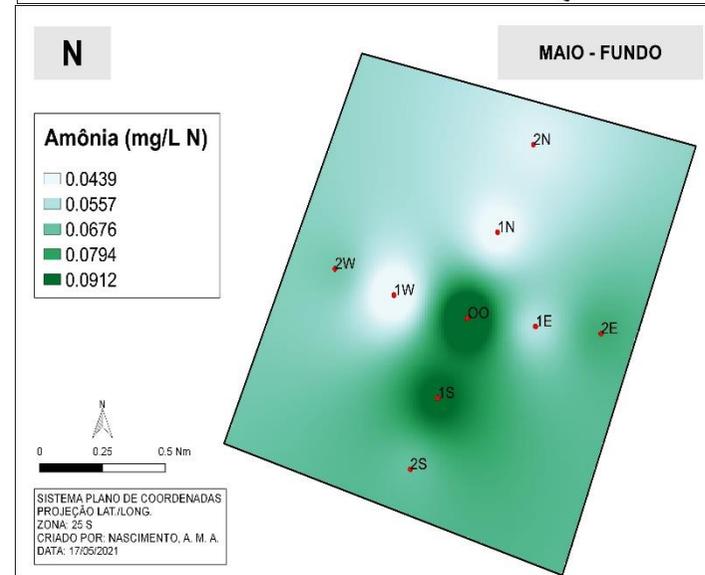
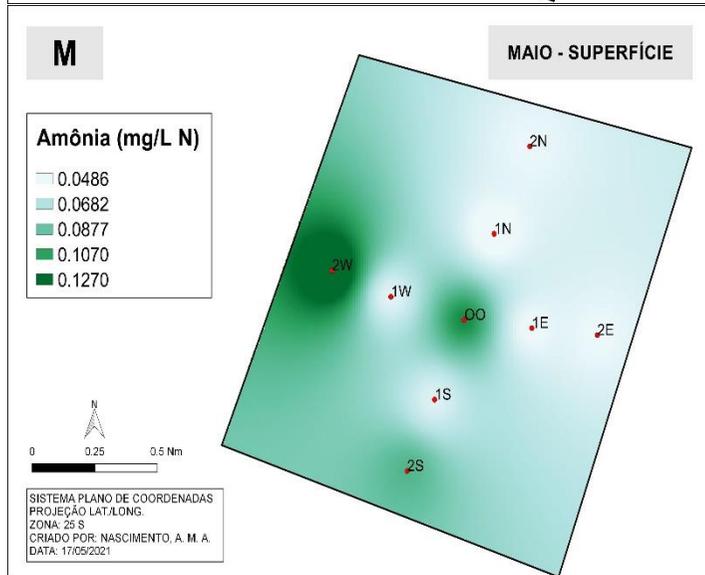
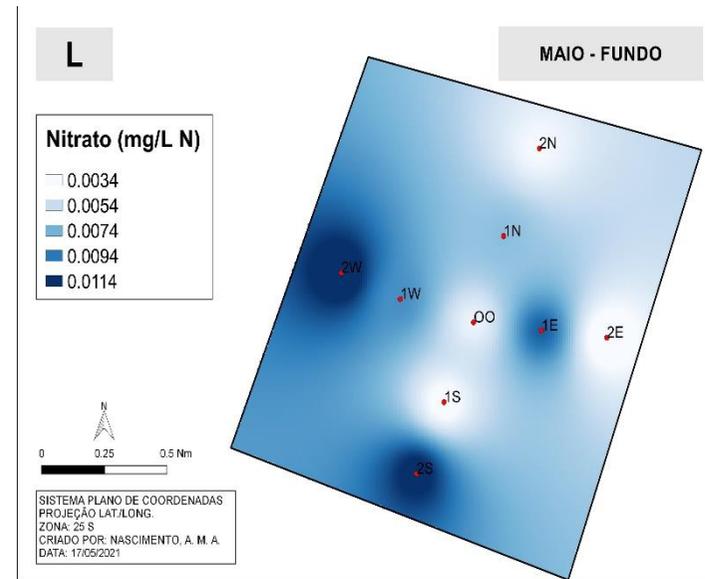
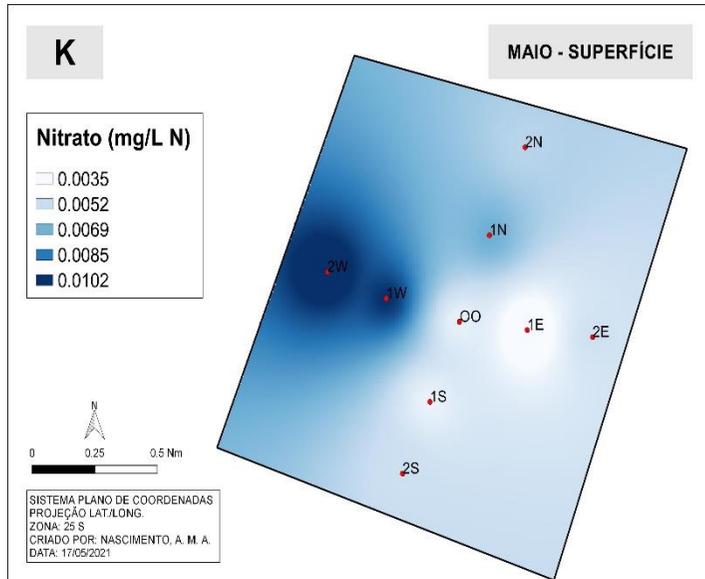


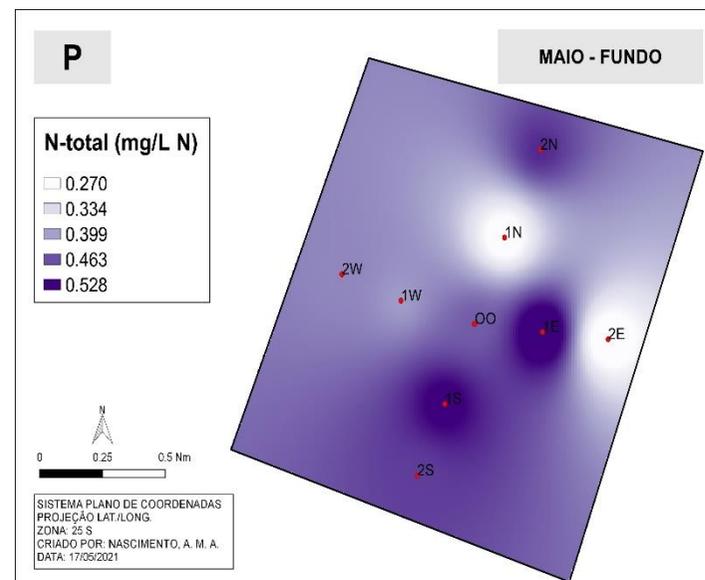
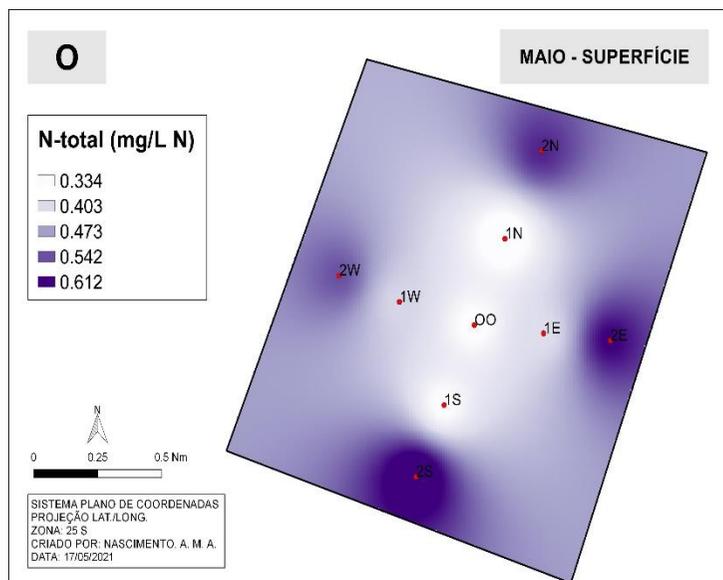




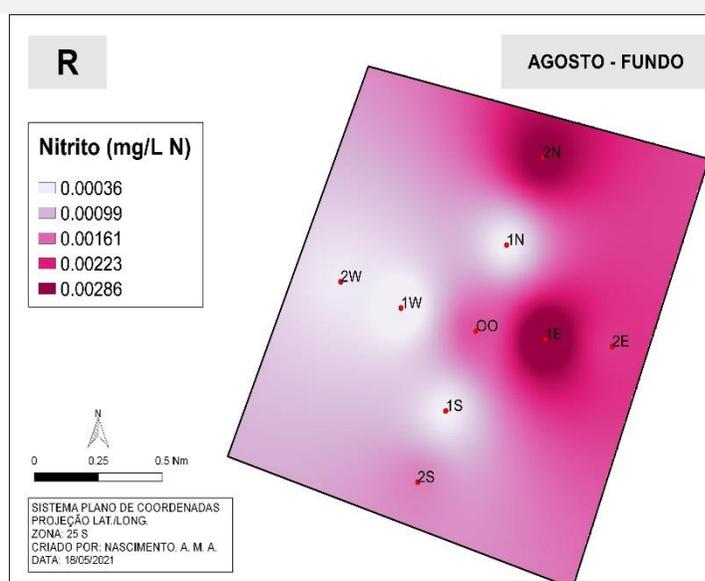
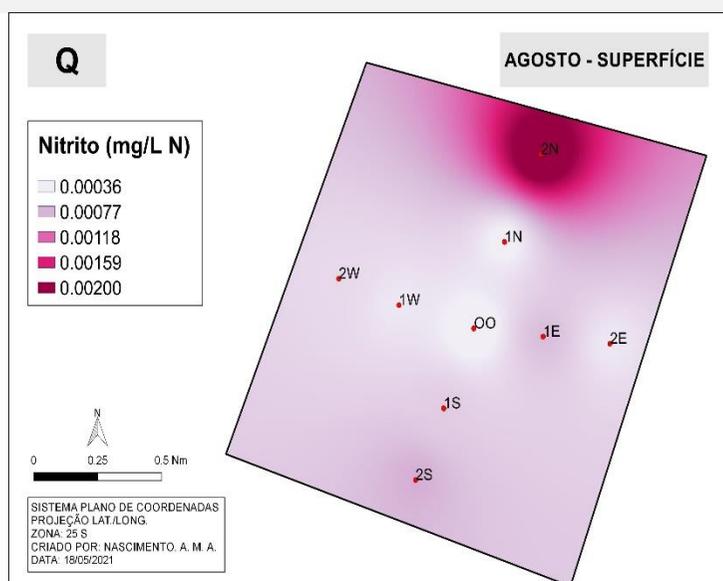
Dragagem

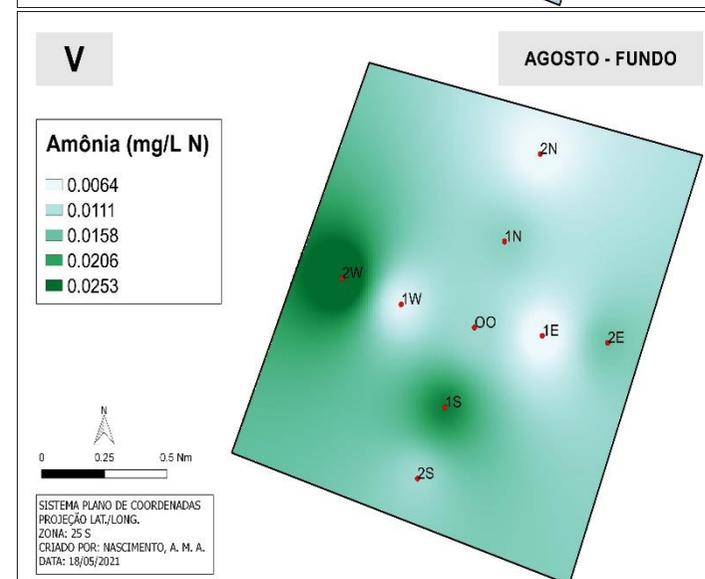
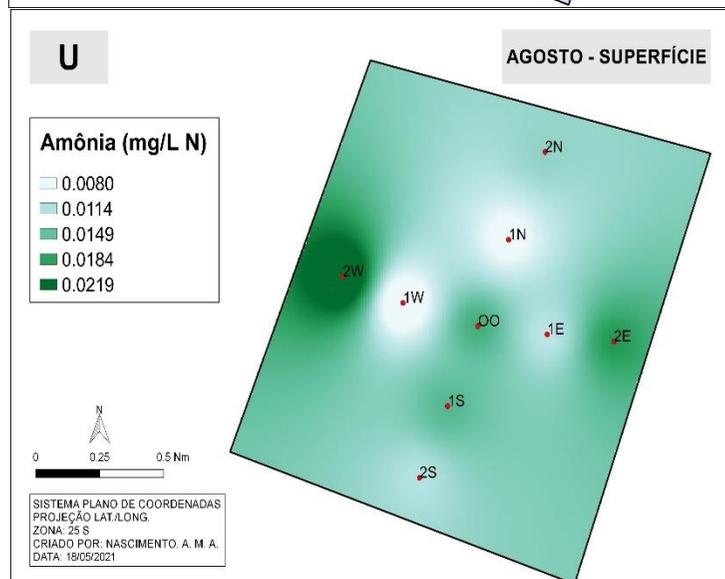
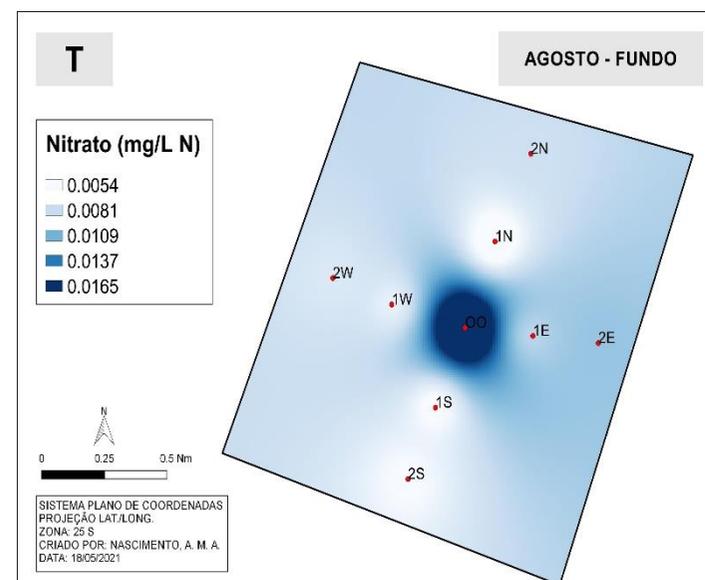
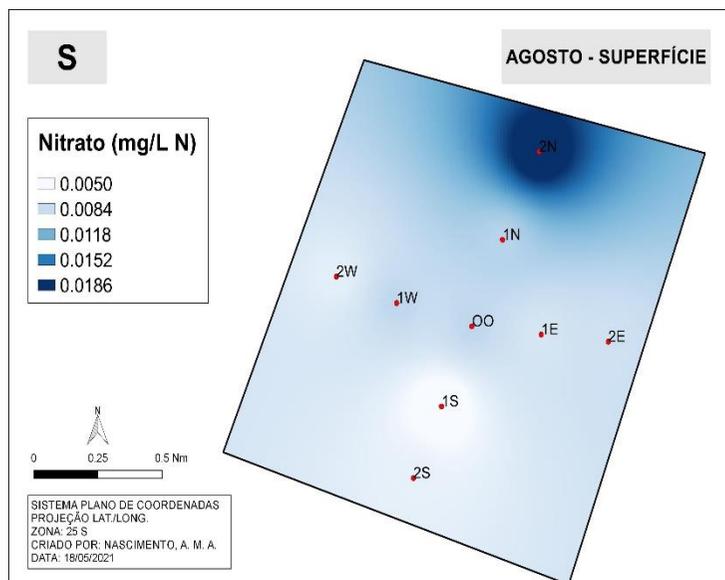


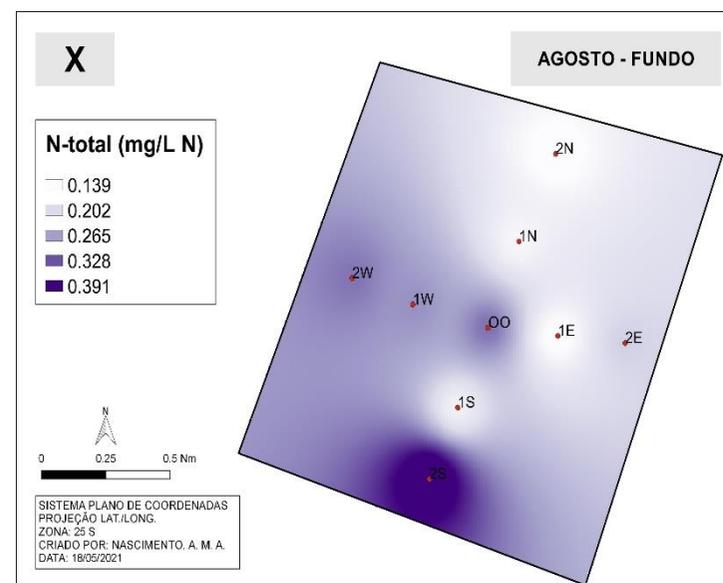
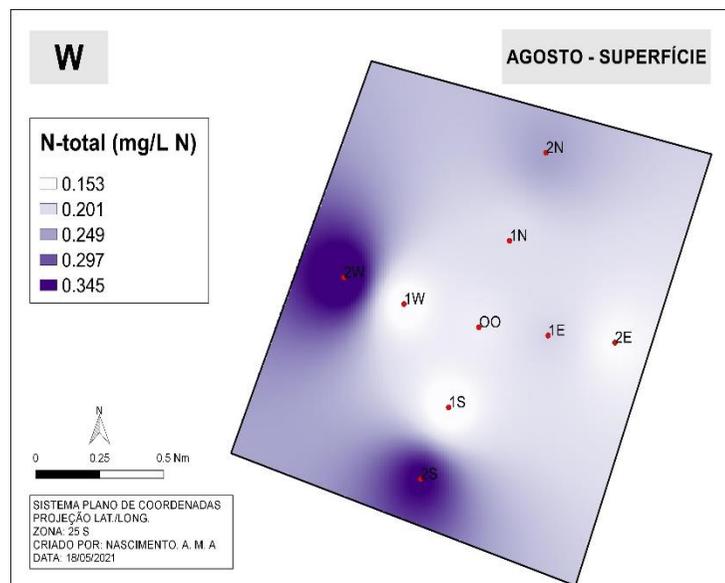




Pós-dragagem





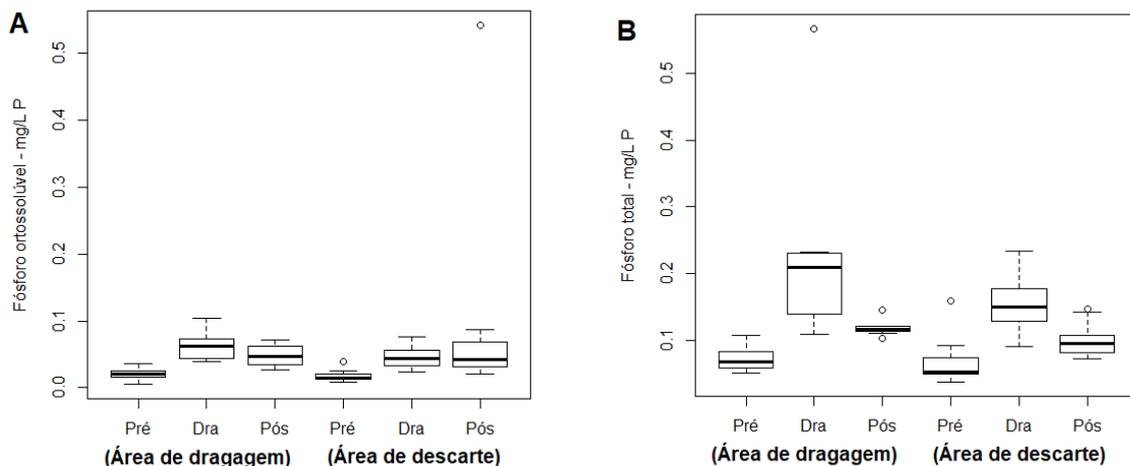


4.6 Série fosfatada

A análise boxplot, tanto para o fósforo ortossolúvel quanto para o fósforo total constataram, constatou um padrão ascendente da campanha de pré para a de dragagem e descendente para a de pós-dragagem nas duas áreas de estudo (Figura 16). Esse padrão foi constatado tanto para as médias quanto para as amplitudes estatísticas, com exceção do observado nas médias constatadas na pós-dragagem da área de descarte para o P-orto, em virtude da grande discrepância registrada no valor máximo, configurando, em consequência disso, um padrão ascendente.

Para o P-orto, as médias respectivas nas campanhas amostrais foram de 0,021, 0,063 (área de dragagem), 0,017, 0,045 e 0,076 (área de descarte) (Figura 16A), com amplitudes de 0,030, 0,064 e 0,045 (área de dragagem) e 0,031, 0,052 e 0,044 (área de descarte). Já para o P-total, as médias foram de 0,072, 0,229 e 0,119 na área de dragagem e de 0,065, 0,151 e 0,100 na área de descarte (Figura 16B), com amplitudes de 0,056, 0,458 e 0,043 e de 0,122, 0,142 e 0,075, respectivamente.

Figura 16- Análise boxplot da série fosfatada ortossolúvel (A) e total (B) nas áreas de dragagem e descarte antes (pré-dragagem), durante (dragagem) e após (pós-dragagem).



Os valores de fósforo ortossolúvel interpolados na área de dragagem oscilaram entre 0,020 a 0,029 mg/L P em superfície (Figura 17A), com maior incidência para bombordo (A1) e entre 0,010 a 0,038 mg/L P no fundo (Figura 17B), com maior junção à estibordo (A2). Em virtude da ausência de dragagem nesse período, não foi observado congruência entre os estratos.

Para o fósforo total, em oposição, foi observado similaridade em relação à incidência entre os estratos (Figuras 17C e 17D), com os maiores valores registrados à estibordo (0,088 e 0,107 mg/L P, respectivamente) e os menores à proa (A3) (0,061 e 0,051 mg/L P), enquanto que para bombordo e à popa foram observadas concentrações no mesmo intervalo de classe, entre 0,068 a 0,081 mg/L P e 0,065 a 0,092 mg/L P, respectivamente.

A Resolução CONAMA estabelece valores máximos de fósforo ortossolúvel até 0,031 mg/L P e de fósforo total até 0,062 mg/L P em águas salinas de Classe 1. Para o fósforo ortossolúvel, apenas o valor máximo registrado ultrapassou o valor fixado, enquanto que para o fósforo total todas as taxas registradas excederam o máximo valor estabelecido.

As taxas excessivas são atribuídas, sobretudo, ao lançamento de esgotos e efluentes não tratados nas redondezas do Porto de Maceió, que são carregados diretamente para o mar, que incluem o Riacho Salgadinho e o Emissário Submarino (Apêndice 3).

Na campanha de dragagem, os teores de P-orto interpolados no estrato de superfície estiveram praticamente estáveis, como fora observado nos pontos à proa (A3), à bombordo (A1) e à popa (A4), com taxas da ordem de 0,040 a 0,047 mg/L P; excepcionalmente, a maior taxa incidente, de 0,068 mg/L P, esteve concentrado à estibordo (A2, Figura 17E). No fundo também foram constatados teores praticamente estáveis nos pontos à proa, à estibordo e à bombordo, da ordem de 0,060 a 0,070 mg/L P, estando excepcionalmente com maior incidência no ponto à popa, com 0,098 mg/L P (Figura 17F).

Para o P-total de superfície, os teores estiveram concentrados nos pontos à bombordo e à popa, com valor máximo de 0,229 mg/L P; à proa esse valor oscilou entre 0,216 a 0,223 mg/L, enquanto que à estibordo, com menor registro, variou entre 0,202 a 0,209 mg/L P (Figura 17G). No fundo, o ponto de maior incidência esteve excepcionalmente concentrado no ponto à popa (0,544 mg/L), enquanto que nos demais pontos amostrais os valores constatados estiveram praticamente constantes, da ordem de 0,121 a 0,227 mg/L P (Figura 17H).

Em comparativo à campanha antecedente, as taxas de P-orto e P-total, sem exceção, estiveram em patamares muito acima do valor máximo tolerável de 0,031 mg/L P e 0,062 mg/L P para águas salinas de Classe 1 expedido pelo CONAMA, ressaltando mais uma vez o efeito dos sedimentos dragados no aumento das taxas da série fosfatada.

Com relação aos valores de fósforo ortossolúvel interpolados, na pós-dragagem, foi observado duas seções de incidência, em superfície: uma no segmento estibordo-proa (A2-A3), mais incidente, com valores da ordem de 0,035 a 0,040 mg/L P, e uma outra no segmento bombordo-popa (A1-A4), menos incidente, com valores da ordem de 0,030 a 0,033 mg/L P (Figura 17I). No fundo também foi observada uma incidência linear no segmento

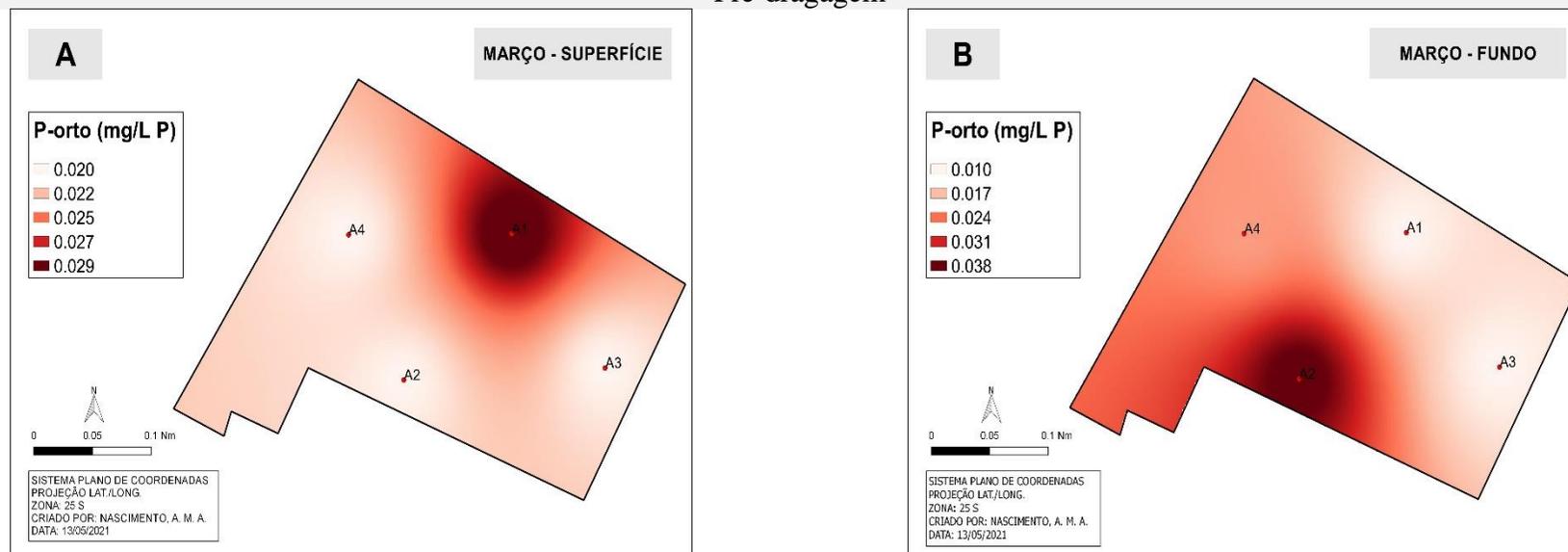
bombordo-proa (A1-A3), que oscilou entre 0,060 a 0,070 mg/L P, enquanto no segmento estibordo-popa (A2-A4), menos incidente, uma oscilação no intervalo de 0,051 a 0,056 mg/L P (Figura 17J).

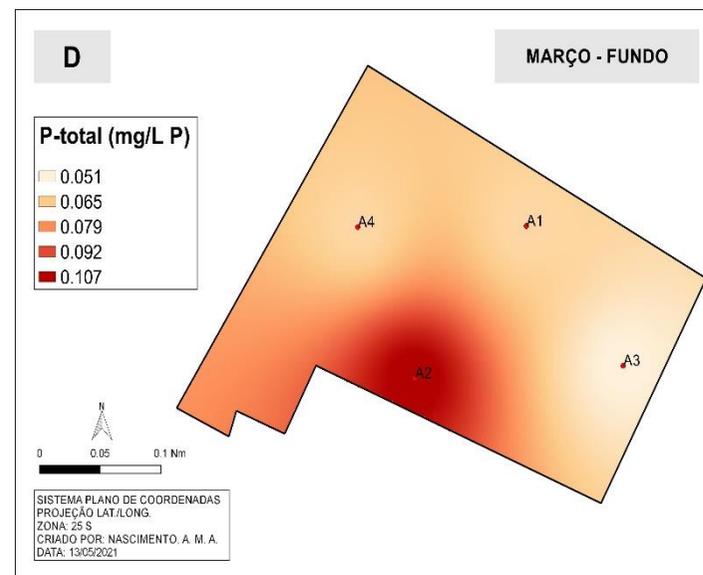
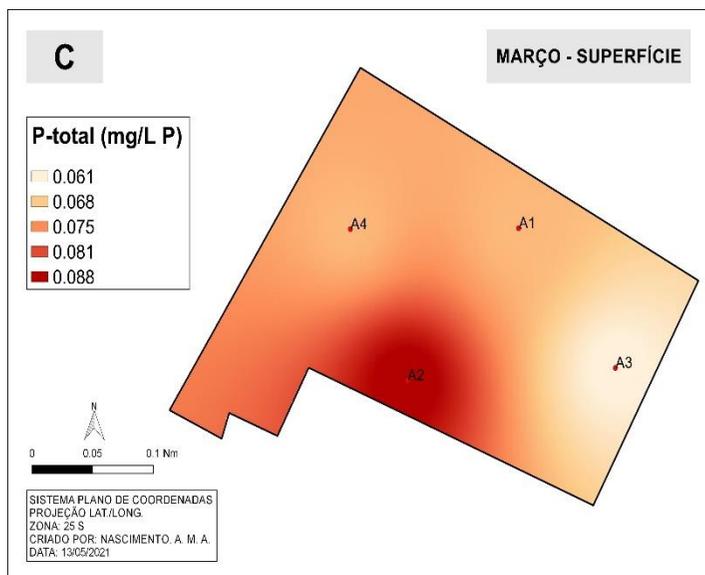
Para o fósforo total, foi observado maior incidência no intervalo de 0,110 a 0,120 mg/L P nos pontos à estibordo, à bombordo e à popa, com exceção do ponto à proa, que apresentou valores na ordem de 0,101 a 0,106 mg/L P (Figura 17K). No fundo, a maior incidência esteve exclusivamente detectada no ponto à bombordo (0,148 mg/L P), enquanto nos demais pontos, menos incidentes, foi observado uniformidade, no intervalo de 0,120 a 0,127 mg/L P (Figura 17L).

À exceção do valor mínimo, todos os valores de P-orto estiveram acima do valor máximo fixado pelo CONAMA para águas salinas de Classe 1. O mesmo patamar excedente também foi constatado para o P-total. No entanto, os valores foram menores aos registrados na campanha de dragagem, o que sugere uma tendência de diminuição nas taxas de P-total, como resultado do fim das atividades de dragagem na área.

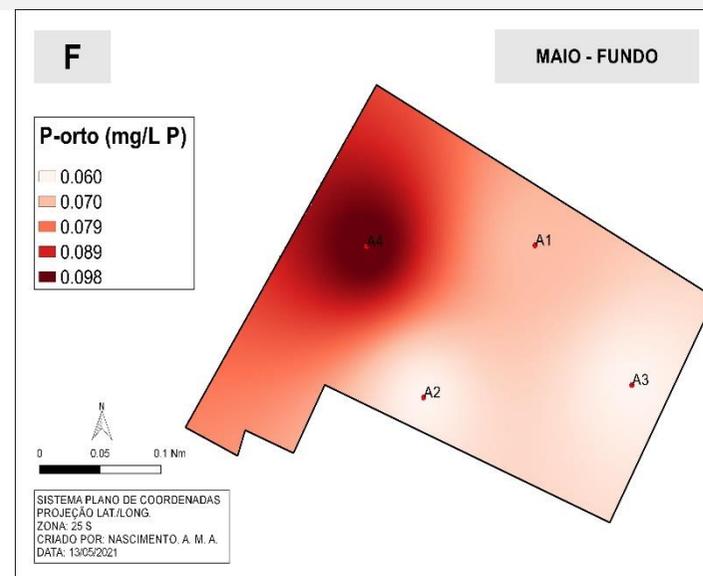
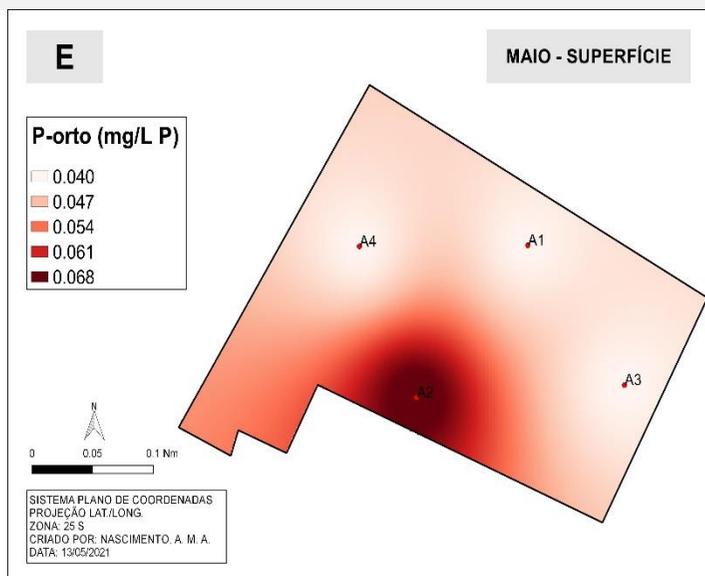
Figura 17- Interpolação linear da série fosfatada ortossolúvel (A, B, E, F, I e J) e total (C, D, G, H, K e L) nos pontos amostrais entre os estratos da bacia de evolução do Porto antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

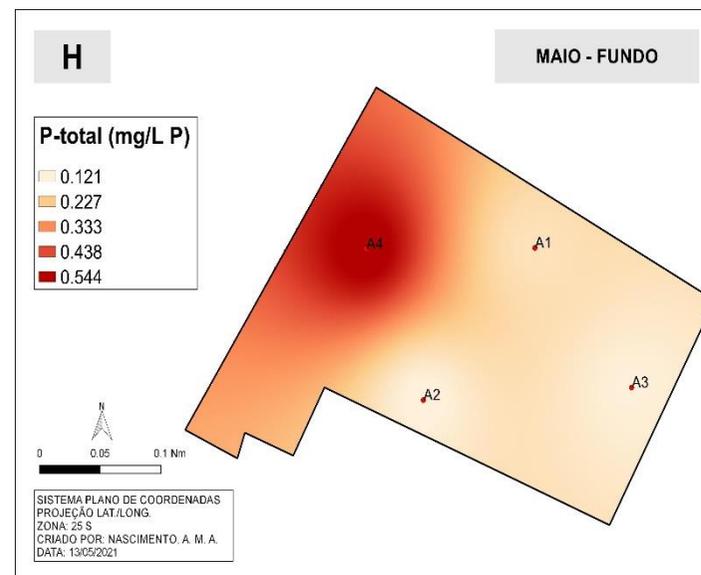
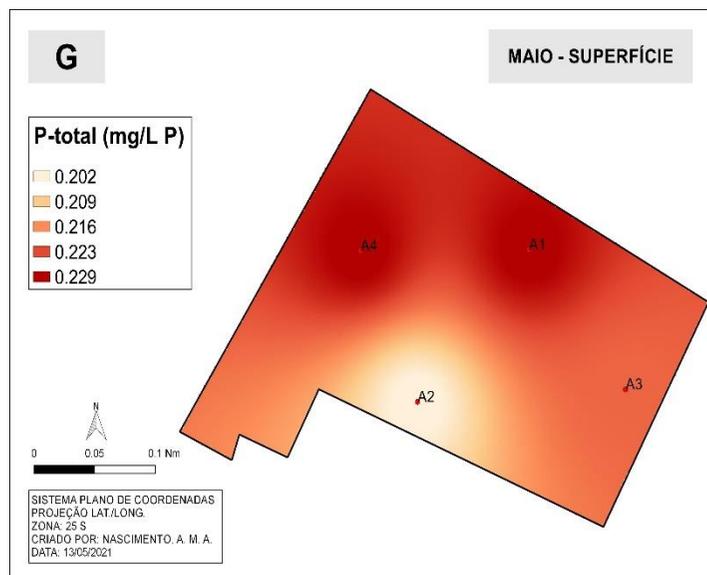
Pré-dragagem



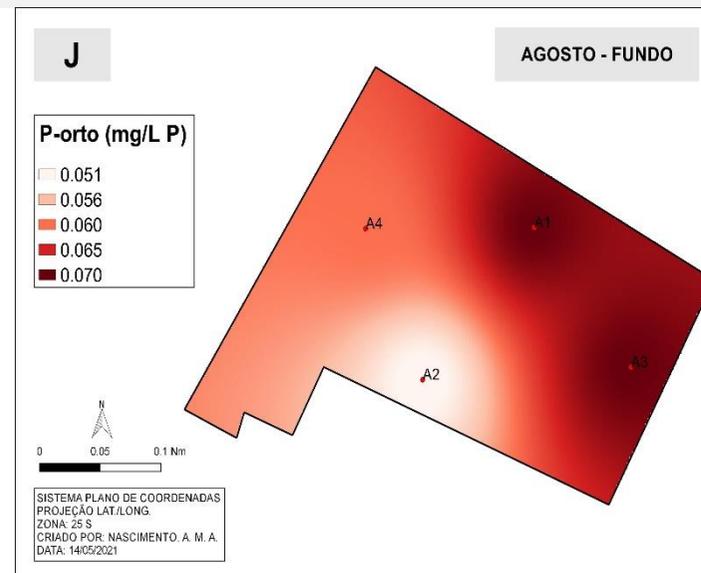
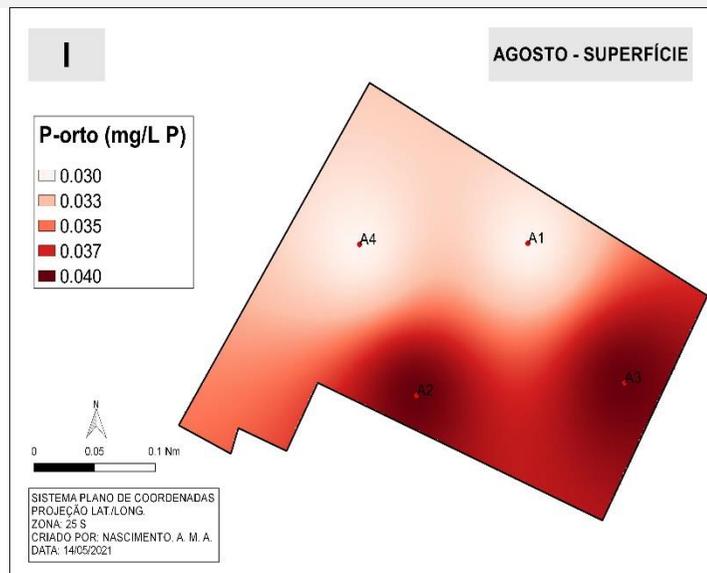


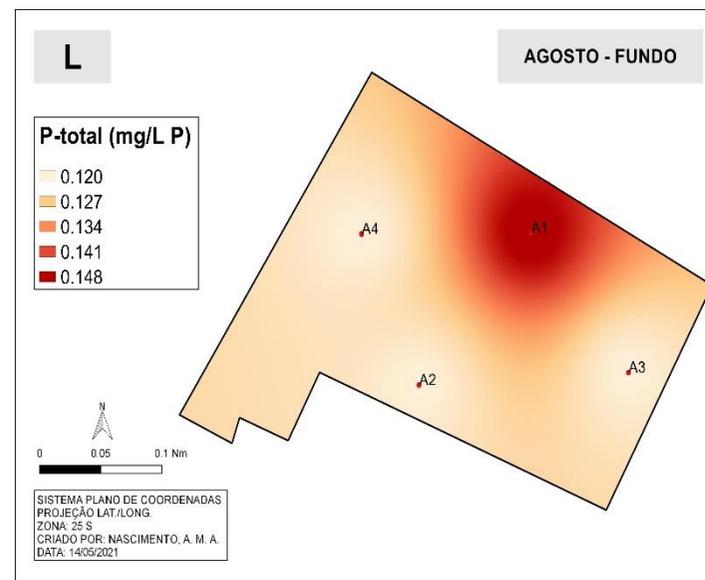
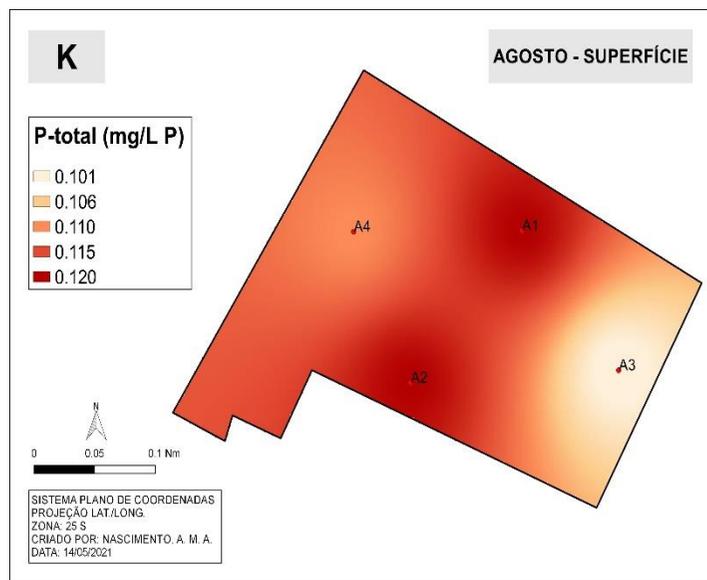
Dragagem





Pós-dragagem





Com relação aos valores interpolados da área de descarte, na pré-dragagem, foi observada a congruência nas concentrações de fósforo ortossolúvel entre os estratos, com maiores incidências para centro-norte, como fora observado nos pontos 1N, 1O, 2O, OO e 2L, com taxas entre 0,021 a 0,031 mg/L P em superfície (Figura 18A) e entre 0,017 e 0,024 no fundo (Figura 18B), enquanto que para os pontos para sul, 1S e 2S (superfície), bem como os pontos amostrais 1L e 2N (fundo), os menores registros coincidentes entre os estratos, entre 0,011 a 0,016 mg/L P e 0,011 a 0,014 mg/L P, respectivamente.

Em oposição, não foi observado congruência nas concentrações de fósforo total entre os estratos para a campanha antecedente. Em superfície, o maior valor constatado de 0,121 mg/L P esteve exclusivamente concentrado a 1N (Figura 18C), ao passo que nos demais pontos amostrais foi observada concentrações constantes e uniformes que oscilaram entre 0,045 a 0,083 mg/L P. No fundo, as taxas de maior incidência foram observadas nos pontos 2N, 2O, OO, 1 L e 2L, com intervalos que oscilaram entre 0,068 a 0,084 mg/L P, oposto aos demais pontos amostrais circunvizinhos, que variaram entre 0,051 a 0,060 mg/L P (Figura 18D).

Para o P-total, embora valores de aceitabilidade de até 0,062 mg/L P tenham sido constatados, valores acima desse valor fixado para águas salinas de Classe 1 foram registrados, mesmo na campanha antecedente às atividades de despejo na área, ressaltando os fatores supracitados anteriormente na área de dragagem, oriundos do despejo de contaminantes de fontes difusas. Todavia, para o P-orto, em apenas um registro a taxa excedeu o valor máximo de 0,031 mg/L P, preponderando, portanto, valores de aceitabilidade para o período amostral, em razão da ausência de descarte de sedimentos mencionado.

Na campanha de descarte, os valores mais incidentes de P-orto, em superfície, estiveram concentrados nos pontos 2O (0,055 mg/L P), 1N e 2S (0,047 mg/L), enquanto nos demais pontos amostrais oscilaram no intervalo entre 0,024 a 0,040 mg/L P (Figura 18E). No fundo, os pontos de maior incidência estiveram plotados em 2L (0,074 mg/L P) e 1L (0,064 mg/L P), enquanto nos demais pontos amostrais os valores variaram no intervalo de 0,033 a 0,054 mg/L P (Figura 18F). Apesar dos valores mínimos constatados entre os estratos, as concentrações, de forma geral, estiveram muito acima do valor máximo fixado pelo CONAMA para águas salinas de Classe 1.

Para o P-total não foi observado incidência regular entre os pontos amostrais e entre os estratos. Em superfície, as taxas mais incidentes foram constatadas nos pontos 2O e 2S (0,219 mg/L P), enquanto que nos demais pontos o intervalo oscilou entre 0,133 e 0,197 mg/L P (Figura 18G). No fundo, os maiores registros estiveram voltados nas bordas dos pontos extremos 2O e 2L, com valor máximo de 0,171 mg/L; para norte, com os menores registros, os

valores oscilaram entre 0,095 a 0,114 mg/L P, enquanto nos demais pontos o intervalo de classe variou entre 0,133 a 0,152 mg/L P (Figura 18H). Esses valores também estiveram acima dos registrados na campanha antecedente e ao valor de aceitabilidade estabelecido pelo CONAMA.

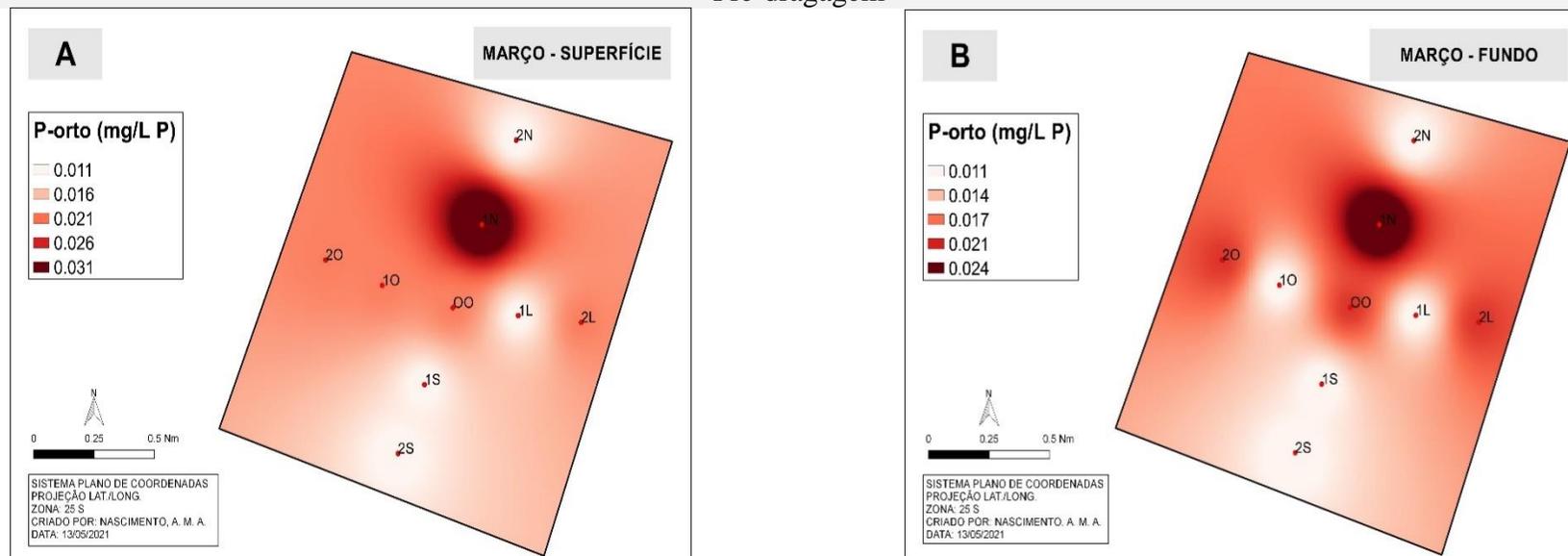
Na pós-dragagem, para o P-orto, foi observado dois pontos excepcionais de maior incidência: em superfície esteve exclusivamente concentrado no ponto amostral 2L (0,060 mg/L P) e no fundo de maneira exclusiva no ponto amostral 2O (0,422 mg/L P); os demais pontos amostrais, de maneira uniforme, oscilaram no intervalo de 0,024 a 0,042 mg/L P, em superfície (Figura 18I); já no fundo esteve da ordem de 0,045 a 0,139 mg/L P (Figura 18J).

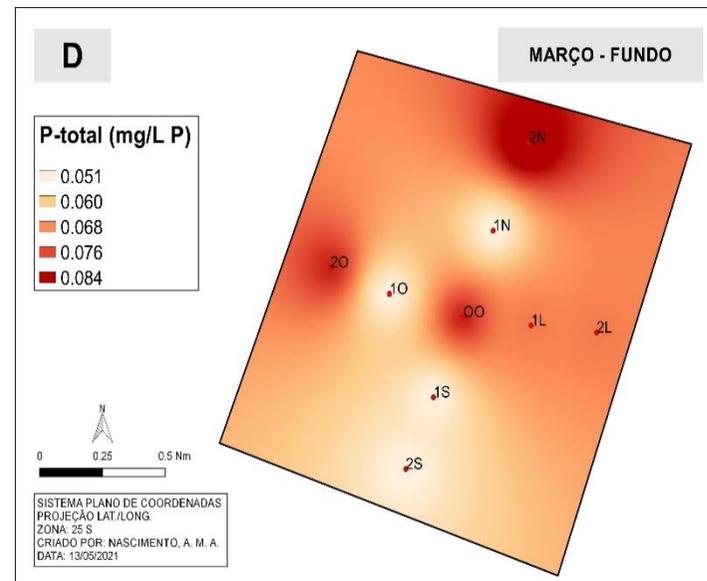
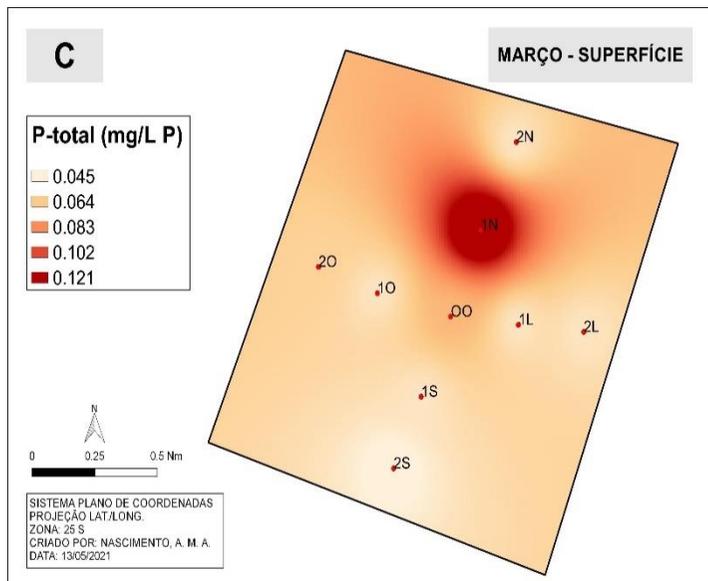
Por sua vez, a maior incidência de fósforo total em superfície esteve concentrada no ponto 2L (0,104 mg/L P); nos pontos 1O e 1S a incidência encontrada foi de 0,097 mg/L P, enquanto que nos demais pontos amostrais a oscilação variou no intervalo de 0,077 a 0,091 mg/L P (Figura 18K). No fundo, os pontos de maior incidência estiveram linearmente concentrados a 1O, OO e 1L (0,137 mg/L P), enquanto nos demais pontos amostrais o intervalo de oscilação foi da ordem de 0,086 a 0,124 mg/L P (Figura 18L).

Para o P-total, todos os valores registrados estiveram acima do valor fixado pelo CONAMA para águas salinas de Classe 1, porém, comparativamente ao mês de maio, as taxas estiveram levemente inferiores às registradas no período de dragagem, em resposta à cessação dos sedimentos dispostos na área. Para o P-orto também foi constatada a predominância das taxas excedentes ao valor máximo fixado pelo CONAMA para águas salinas de Classe 1, embora valores de aceitabilidade tenham sido encontrados, particularmente no estrato de superfície. Todavia, as taxas de P-orto registraram, em geral, valores inferiores ao período de dragagem.

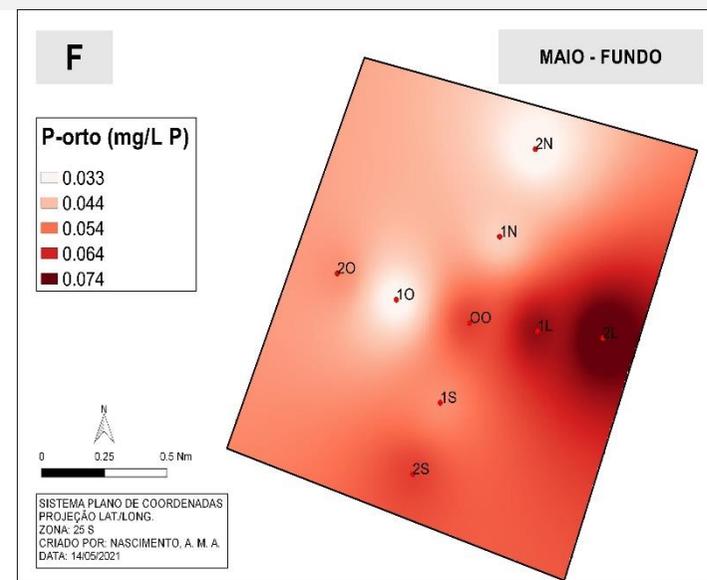
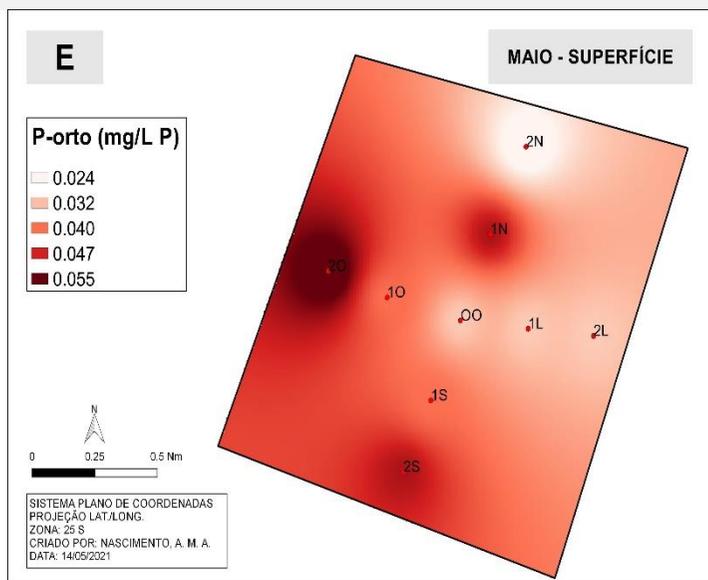
Figura 18- Interpolação linear da série fosfatada ortossolúvel (A, B, E, F, I e J) e total (C, D, G, H, K e L) nos pontos amostrais entre os estratos da área de descarte antes (março), durante (maio) e após (agosto) as obras de dragagem.

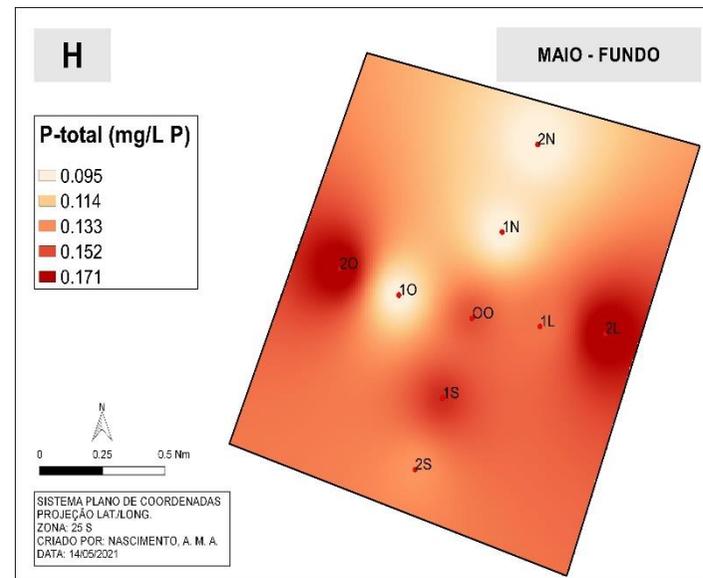
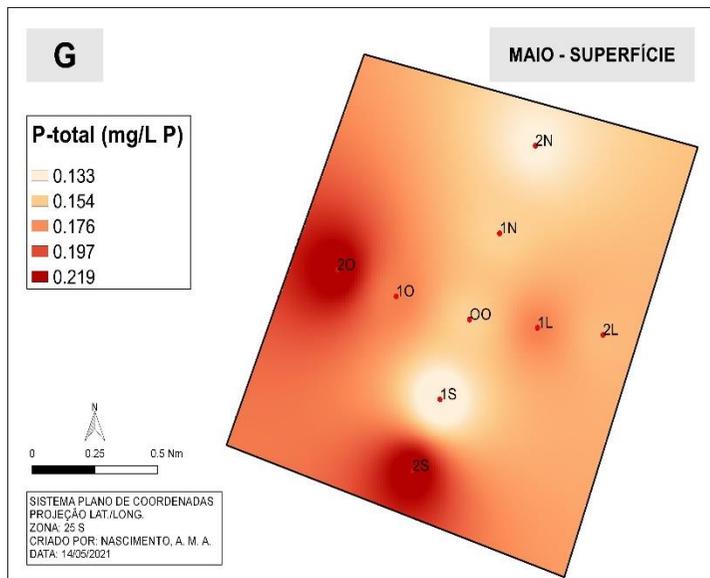
Pré-dragagem



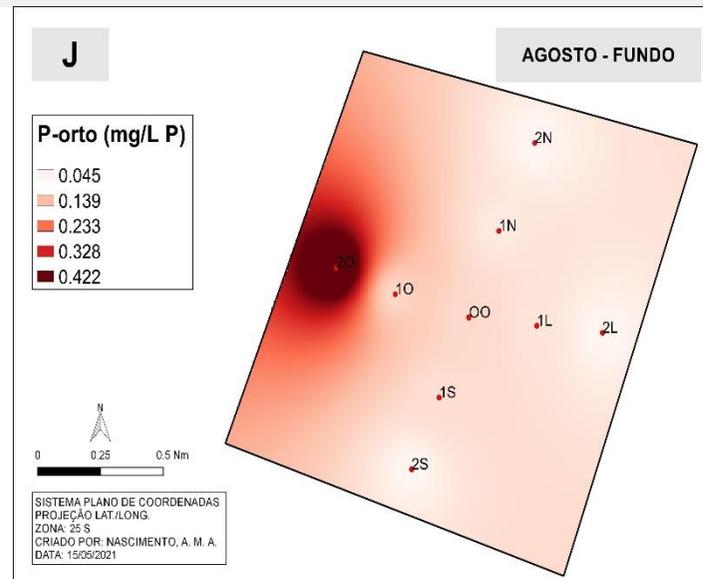
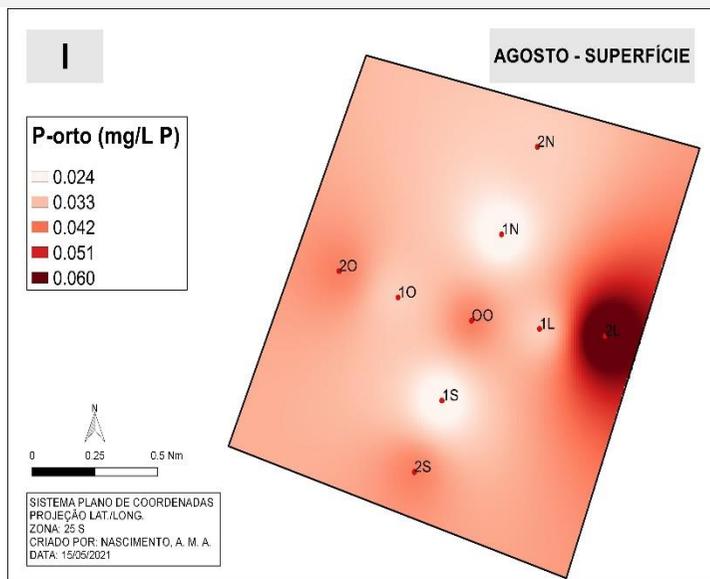


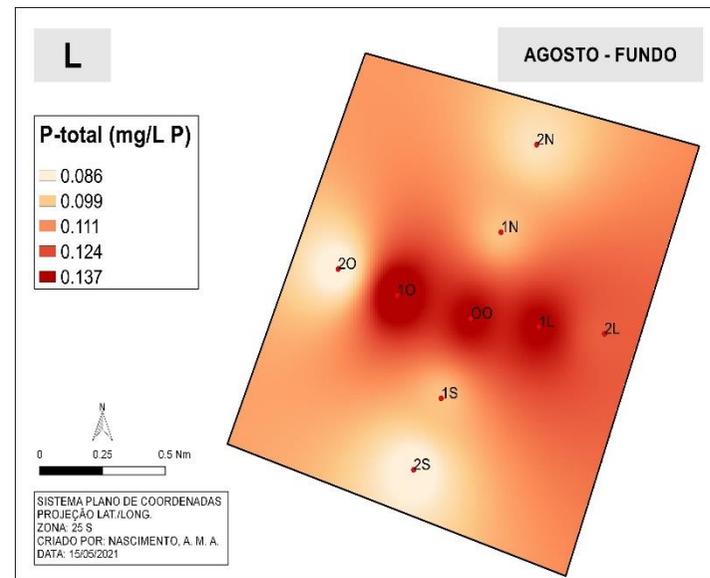
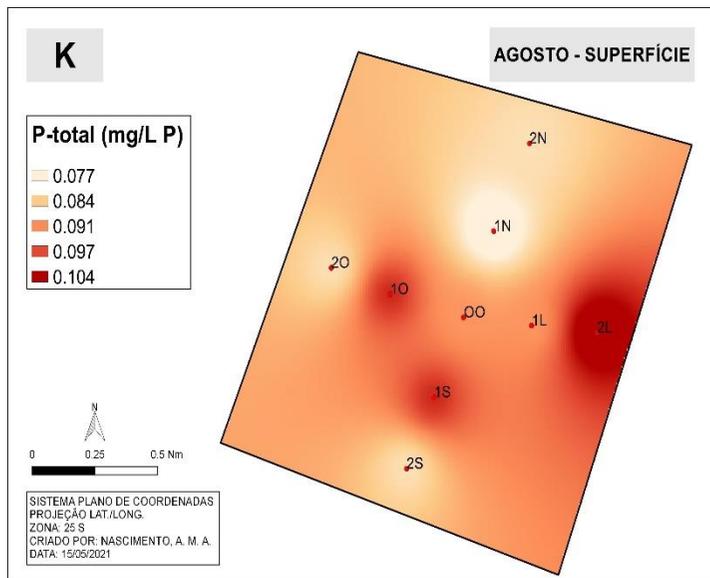
Dragagem





Pós-dragagem



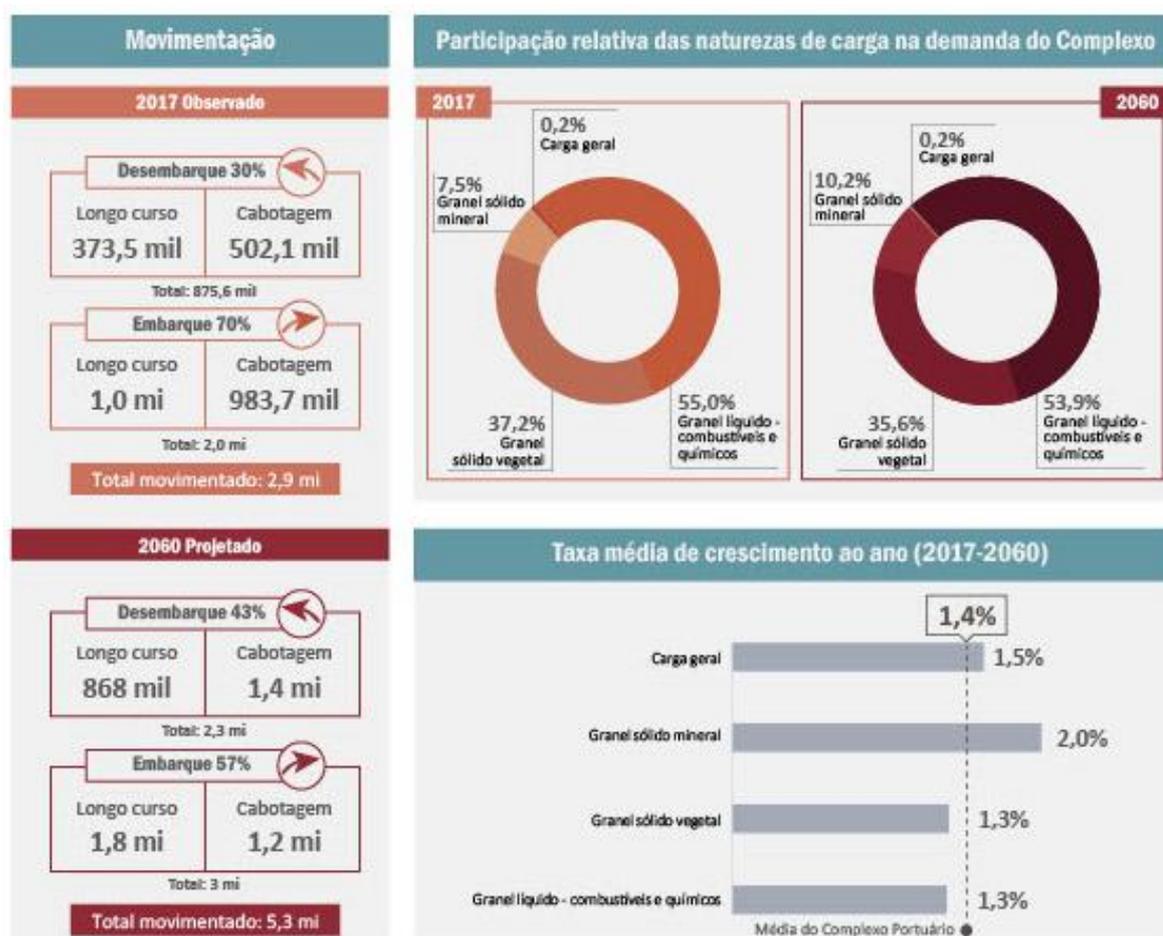


4.7 Prospecção da movimentação futura do Porto de Maceió pós-dragagem

Até o final do período de planejamento, espera-se, de acordo com o Plano Mestre do Complexo Portuário de Maceió, um incremento de 84% no volume movimentado entre 2017 e 2060 e a principal tendência esperada é a redução da participação do açúcar e da soda cáustica nas movimentações, de 35 e 22% em 2017 para 33 e 15% em 2060, respectivamente, haja vista o crescimento acentuado previsto para os produtos químicos, derivados de petróleo e etanol, de 2,3% ao ano (Figura 19).

Até 2060, espera-se que a demanda para o Complexo apresente uma taxa média de crescimento de 1,4% ao ano, alcançando um total de 5,3 milhões de toneladas. A taxa média estimada de 1,4% a.a. leva em consideração o cenário tendencial para o período entre 2017 e 2060, podendo oscilar entre 1,6% e 1,1% ao ano nos cenários otimista e pessimista, respectivamente (Anexo 2).

Figura 19- Projeção de demanda das cargas relevantes do Complexo Portuário de Maceió.



Fonte: Ministério da Infraestrutura

4.7.1 Granel líquido combustível

No ano de 2017, entre as cargas relevantes, o Complexo Portuário de Maceió movimentou 1,6 milhão de toneladas de granéis líquidos, combustíveis e químicos, grupo que inclui as seguintes cargas: soda cáustica, derivados de petróleo, produtos químicos, etanol e petróleo. Na projeção constada no Anexo 3 é possível observar a evolução da movimentação das referidas cargas no período observado (2013-2017) e o projetado (2018-2060).

4.7.1.1 Soda cáustica

No ano de 2017, o Complexo movimentou 639 mil toneladas de soda cáustica através do Terminal Braskem. O embarque de cabotagem teve como principais destinos os complexos portuários de Vitória e Barra do Riacho (ES), Santos (SP), Rio de Janeiro e Niterói (RJ) e Salvador e Aratu-Candeias (BA), destinado sobretudo a clientes externos.

O cenário tendencial de projeção de demanda considera que não ocorrerá expansão na capacidade produtiva da unidade da Braskem, responsável pela produção de soda cáustica em Maceió. A partir de 2027, espera-se atingir o nível máximo de movimentação. Nesse sentido, até 2060, espera-se que a movimentação de soda cáustica no Complexo Portuário de Maceió seja de 778 mil toneladas, com uma taxa média de crescimento anual de 0,3% no período projetado.

4.7.1.2 Derivados de petróleo

No ano de 2017, toda a movimentação de derivados de petróleo (exceto Gás Liquefeito de Petróleo - GLP) no Complexo Portuário de Maceió foi de cabotagem, que totalizou 282 mil toneladas. Os desembarques, responsáveis por 98% dos volumes, tiveram origem principalmente nos complexos portuários de Santos, Salvador e Aratu-Candeias e São Sebastião (SP). De acordo com informações obtidas em visita técnica ao Complexo, o diesel S-500 é o principal derivado operado, seguido pela gasolina.

Em termos nacionais, as perspectivas do mercado de derivados de petróleo apontam para um cenário de aumento das importações. Esse resultado pondera os seguintes aspectos: 1. A política de preços praticada pela Petrobras, a qual estabelece a paridade de preços entre os mercados doméstico e internacional, favorece a atuação de empresas privadas nesse mercado; 2. A inexistência de perspectiva de novos investimentos na área de refino, conforme indicado

no Plano de Negócios e Gestão 2018-2022 da Petrobras; 3. A retomada do crescimento econômico nacional e a expansão do consumo doméstico.

Ao final do período projetado, em 2060, espera-se que o Complexo movimentará 832 mil toneladas do produto, apresentando uma taxa média anual de crescimento de 2,3%. No cenário pessimista, considera-se a possibilidade de parte da demanda do Complexo Portuário de Maceió passar a ser atendida pela Refinaria Abreu e Lima (RNEST), com os volumes sendo transportados pelo modal rodoviário. Nessas condições, a projeção de demanda para o ano de 2060 é estimada em 737 mil toneladas, com uma taxa de crescimento anual médio de 2,0%.

4.7.1.3 Produtos químicos

Em 2017, o Complexo Portuário de Maceió movimentou 270 mil toneladas de produtos químicos por meio das instalações do Terminal Braskem. Dessa movimentação, 70% correspondem a operações de embarque de cabotagem, sendo os destinos de maior relevância os complexos portuários de Salvador e Aratu-Candeias, de Vitória e Barra do Riacho, de Santos e do Rio de Janeiro e Niterói. O restante (30%) é importado, tendo como principal parceiro comercial os Estados Unidos.

A demanda por produtos químicos no Complexo é influenciada pela presença do Polo Cloroquímico de Alagoas, localizado no município de Marechal Deodoro. O Polo conta atualmente com 23 empresas, que atuam nos segmentos de fabricação de PVC, soda cáustica, tubos e conexões, plásticos em geral, bem como na produção de insumos para a indústria química.

Para 2060, a demanda estimada é de 667 mil toneladas, alinhada com a capacidade produtiva da empresa, fornecida em reunião técnica, a qual não possui previsão de aumento nos próximos anos. Desse modo, estima-se um crescimento médio anual de 2,3%.

4.7.1.4 Etanol

O Porto de Maceió registrou no ano de 2017 uma movimentação de 224 mil toneladas de etanol, que ocorreu por desembarques de cabotagem (98%) e de longo curso (2%). A carga transportada via cabotagem tem como principais origens os complexos portuários do Itaqui (MA), de Paranaguá e Antonina (PR) e de Recife e Suape (PE).

A projeção do cenário tendencial de demanda é de 580 mil toneladas em 2060, com uma taxa média de crescimento de 2,3% ao ano. No cenário otimista, a projeção de demanda de

etanol apresenta um crescimento superior no curto prazo, em razão de um aumento na demanda a partir de uma melhora nos mercados nacional e internacional. Nesse contexto, a estimativa de crescimento é de 2,5% ao ano, chegando a alcançar 646 mil toneladas no ano de 2060.

Destaca-se que o resultado das projeções pondera os seguintes fatores: 1. A movimentação de etanol é realizada, em parte, para compor o *blend* da gasolina, do qual representa 27% da composição da mistura. Assim, a perspectiva de movimentação da carga tem relação direta com as expectativas de movimentação de derivados de petróleo; 2. A produção de etanol no estado de Alagoas tem apresentado uma tendência de queda (de 46% entre 2000 e 2017), situação inversa à observada em termos nacionais e até mesmo em relação às regiões Norte e Nordeste. Evidencia-se, então, a perspectiva de manutenção da necessidade de desembarque de etanol no Complexo em estudo; 3. Na importação, ressalta-se possíveis impactos negativos referentes a uma tarifa aprovada pela Câmara de Comércio Exterior (Camex), que infere tributação de 20% na importação do etanol que exceder 600 milhões de litros ao ano.

4.7.1.5 Petróleo

No ano de 2017, o Porto de Maceió movimentou 164 mil toneladas de petróleo, por meio de embarques de cabotagem. Os principais destinos foram os portos de Manaus (AM), Suape, Aratu-Candeias e Salvador, além do Terminal Aquaviário de Guamaré (RN).

Atualmente, o petróleo movimentado pelo Porto tem origem em poços *onshore*. A produção na região de Maceió é concentrada no Campo de Pilar, de onde o petróleo é enviado, por meio de oleodutos, até o Porto Organizado. A Petrobras Transporte S.A. (Transpetro) conta com tancagem para esse tipo de produto e realiza o seu embarque no Terminal de Granéis Líquidos (TGL) do Porto, com destino à Refinaria Isaac Sabbá (Reman), localizada em Manaus (AM), e à Refinaria Landulpho Alves (RLAM), em São Francisco do Conde (BA).

Conforme informações obtidas em visita técnica, existe a perspectiva de uma retração na movimentação de petróleo, em função da diminuição no nível de produção dos poços na região. De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, a produção *onshore* no estado apresentou uma queda de 48% entre os anos de 2007 e 2016.

Projeta-se no cenário tendencial que a movimentação de petróleo no Complexo cessará a partir de 2027, não havendo expectativa de retomada.

4.7.2 Granel sólido vegetal

Em 2017, entre as cargas relevantes, foram movimentadas 1,1 milhão de toneladas de granéis sólidos vegetais no Complexo Portuário de Maceió. Essa natureza de carga inclui açúcar e trigo, ambos movimentados no Porto Organizado, nos sentidos de exportação e importação, respectivamente. No Anexo 4 é possível observar a evolução da movimentação dessas cargas no período observado (2012-2017) e projetado (2018-2060).

4.7.2.1 Açúcar

No ano de 2017, o Porto de Maceió movimentou 996 mil toneladas de açúcar via embarques de longo curso. As movimentações de açúcar a granel constituem quase a totalidade (92%) das movimentações de granéis sólidos no Porto de Maceió.

Acerca dos mercados consumidores, os principais destinos das exportações de açúcar em 2017 foram Canadá (32%), Estados Unidos (12%) e Tunísia (9%). Os municípios de origem da mercadoria são: Maceió, Coruripe e São Luís do Quitunde, todos no estado de Alagoas.

Nos últimos anos, segundo informado em visita técnica, há uma tendência de redução na produção de cana-de-açúcar no estado de Alagoas, devido, sobretudo, às condições climáticas desfavoráveis e à crise econômica brasileira. Destacam-se, ainda, as dificuldades para o aumento da produtividade da cultura no estado em virtude de as áreas com melhor qualidade de solo para o cultivo estarem situadas em regiões de encosta.

Esses fatores resultaram em uma queda de 52% da produção entre os anos de 2013 e 2017, valor acima do registrado pelas regiões Norte e Nordeste, de 39% para o mesmo período. Desse modo, há perspectiva de permanência de apenas um terço da quantidade atual de usinas.

Somando-se a isso, fatores externos, como a produção crescente, atrelados aos baixos custos em países como Índia, Indonésia e Paquistão, além de uma maior produção açucareira na Rússia, impactam de forma negativa nas exportações de Alagoas.

Ao final do período projetado (2060), a expectativa é de uma movimentação de 1,8 milhão de toneladas de açúcar, representando um acréscimo de 76% em relação ao ano 2017. A taxa média anual de crescimento é de 1,3%.

4.7.2.2 Trigo

As importações de trigo têm origem predominantemente da Argentina e são destinadas ao próprio município de Maceió, mais especificamente para o moinho Motrisa, localizado a 2 km do Porto de Maceió. Em 2017, totalizaram-se cerca de 77 mil toneladas desembarcadas.

A demanda projetada de trigo para o Complexo é de 127 mil toneladas em 2060, contando com uma taxa média de crescimento de 1,1% ao ano. Destaca-se que esse resultado pondera os seguintes fatores: 1. O aumento da demanda por trigo é significativamente atrelado ao crescimento populacional; 2. Dado que o consumo *per capita* de trigo na Região Nordeste se encontra abaixo do consumo em regiões como Sul e Sudeste, há espaço para aumento na demanda por esse cereal na região, impulsionando a movimentação de trigo no Complexo Portuário em análise; 3. Considerando as dificuldades de cultivo de trigo no Brasil, ocasionada, principalmente, por questões climáticas, o País deve se manter como importador dessa carga nos anos futuros.

4.7.3 Granel sólido mineral

Em 2017, entre as cargas relevantes, o Complexo Portuário de Maceió movimentou 208 mil toneladas de granéis sólidos minerais, correspondendo a desembarques de longo curso de fertilizantes realizados no Porto de Maceió.

As importações têm como origem o Marrocos, ao passo que os principais destinos são os municípios de Maceió (70%), Santa Luzia do Norte (25%), ambos no estado de Alagoas, e Maruim, no estado de Sergipe (3%). A carga segue para misturadoras situadas na região de Maceió por meio de caminhões. Segundo informado em visita técnica, parte da demanda de fertilizantes do Porto de Maceió tem como destino a empresa Fertial Fertilizantes de Alagoas Ltda, do Grupo Fertipar, localizada no município de Maceió.

Diante desse contexto, ao final do período projetado, há a expectativa de que o Porto de Maceió movimente 526 mil toneladas de fertilizantes, apresentando uma taxa média de crescimento de 2,1% ao ano até 2060.

De acordo com informações obtidas em visita técnica, com a conclusão das obras de dragagem no Porto de Maceió, há expectativa de aumento dos volumes importados de fertilizantes, dada a possibilidade de recepção de navios com maior capacidade, tendo em vista a captação da carga destinada ao estado, que atualmente é importada pelo Porto de Suape.

O Anexo 5 exhibe os resultados da projeção de demanda de fertilizantes no Complexo Portuário de Maceió.

4.7.4 Perspectiva de novas cargas

As cargas perspectivas são aquelas que possuem potencial de movimentação no Complexo Portuário em estudo e que têm como condicionantes: investimentos em melhorias operacionais significativas, investimentos em capacidade dos terminais avaliados e efetivação de esforços comerciais por parte da Autoridade Portuária e dos demais agentes atuantes no Complexo. A movimentação dessas cargas está além daquelas já consideradas nos cenários de demanda pessimista, tendencial e otimista. As cargas perspectivas previstas para o Complexo Portuário de Maceió são as seguintes:

- a) **Escória de cobre:** a Mineradora Vale Verde, localizada próxima ao município de Maceió, tem interesse em exportar cerca de 85 mil toneladas por ano do produto a partir de 2020, de acordo com informações obtidas em visita técnica;
- b) **Ácido sulfúrico:** expectativa referente aos desembarques do produto no Complexo, com destino à filial da empresa Timac Agro, em Satuba (AL). O produto atualmente é importado pelo Porto de Aratu-Candeias (BA).
- c) **Coque de petróleo:** exportação de coque verde, produzido pela Petrobras na RNEST, localizada em Ipojuca (PE) e desembarques de coque com maior nível de enxofre, se comparado com o coque produzido pela RNEST, destinados às indústrias, como a cimenteira.
- d) **Cavacos de eucalipto e madeira:** perspectivas atreladas ao cenário de substituição de parcela da produção de cana-de-açúcar em Alagoas por outras culturas, as quais poderiam gerar volumes exportáveis para o Complexo. As exportações de obras de madeira estão atreladas à implementação de uma unidade da empresa Duratex no estado, com de início das operações no ano de 2019. A empresa, que já atua no cultivo de eucalipto em Alagoas, iniciará a produção de painéis de MDF (*Medium Density Fiberboard*) e MDP (*Medium Density Particleboard*), destinados aos mercados da Região Nordeste e internacional.
- e) **Produtos containerizados:** desembarque de produtos finais e de matérias-primas para as indústrias, como as localizadas no Polo Industrial de Marechal Deodoro.

4.7.5 Navios de cruzeiro

O Complexo Portuário de Maceió recebeu a atracação de oito navios de passageiros em 2017, número 27% menor em relação ao maior valor registrado no período observado (2014-2017), de 11 atracações em 2015. Apesar do histórico de queda, o setor apresenta boas perspectivas para os próximos anos. De acordo com a CLIA Brasil, a tendência de retomada do crescimento se consolida pela entrada em operação de novos navios. Além disso, há um projeto de construção de um Terminal de Passageiros no Porto de Maceió, o qual já teve a Ordem de Serviço para construção, assinada em 2018.

O Anexo 6 exhibe os resultados da projeção de demanda de navios de passageiros no Complexo Portuário de Maceió. Nele, a projeção de demanda de atracações de navios de cruzeiro para o Complexo Portuário de Maceió é de 11 atracações para o ano de 2060, no cenário tendencial, apresentando uma taxa média de crescimento de 0,5% ao ano, com atracções de 12 ou 10 navios de cruzeiro nos cenários otimista e pessimista, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

A concentração de material particulado em suspensão nas campanhas amostrais constatou comportamento dinâmico entre os estratos prévia, durante e após as obras de dragagem do Porto de Maceió. Na área de dragagem foram constatados valores ascendentes na mesma ordem de amostragem, enquanto na área de descarte foram constatados valores ascendentes da campanha de pré-dragagem para a de dragagem e descendente para a de pós-dragagem.

Antes das obras de dragagem não foi verificado predominância tendencial das séries nitrogenada e fosfatada entres os estratos, em virtude de a draga ainda não estar em funcionamento. No período de dragagem, predominou-se a série nitrogenada e fosfatada de superfície e os maiores registros, como consequência dos sedimentos em suspensão, enquanto na pós-dragagem foi observada a predominância da série nitrogenada e fosfatada de fundo e significativa diminuição nas taxas de nitrogênio e fósforo, como consequência do término das obras. Esse padrão foi verificado tanto na bacia de evolução do Porto de Maceió, quanto na área de descarte do material dragado.

Todos os números da série nitrogenada nas três campanhas amostrais tiveram valores dentro das aceitabilidades estabelecidas pela Resolução CONAMA para águas salinas de Classe 1. Já para os valores da série fosfatada, em oposição, constataram, majoritariamente, taxas excedentes das fixadas pela Resolução, fato este não necessariamente atribuído às obras de dragagem no Porto, que de forma antecedente já se constatavam acima do valor de referência permitido. Tal comportamento é justificado pelo grande aporte de esgotos que a área é submetida, através do Riacho Salgadinho, Emissário Submarino e fontes difusas.

De forma geral, no entanto, apesar dessa carga orgânica, as concentrações de oxigênio dissolvido e % saturação, tanto na área de dragagem quanto na de descarte, apresentaram um padrão de aceitabilidade entre os estratos predominantemente classificada no patamar Excelente (entre 80 a 125%), favorável à consumação pelas espécies aquáticas, com exceção do período de dragagem, em que predominou o patamar tido como Muito Alto (> 125%), danoso ao corpo aquático.

Os parâmetros oxigênio dissolvido e % de saturação, salinidade e condutividade elétrica apresentaram tendência à estabilidade na ausência de sedimentos e à acumulação nas duas áreas de estudo, em resposta ao aumento ou diminuição dos sedimentos dragados/descartados em ambas as áreas.

A confecção dos mapas geoestatísticos de interpolação promoveu melhor visualização da incidência espacial dos multiparâmetros nas duas áreas trabalhadas, bem como o discernimento dos mesmos entre os pontos amostrais.

A aplicação da análise em box plot mostrou-se ser pertinentemente útil para avaliar e interpretar os resultados de maneira integrada, principalmente devido ao grande número de parâmetros analisados, podendo ser aplicado satisfatoriamente em estudos afins.

O cenário futuro da demanda portuária pós-dragagem até o ano de 2060 projeta que há expectativa de aumento dos volumes exportados e importados, com destaque para os derivados de granéis líquidos combustíveis, que incluem a soda cáustica, derivados de petróleo, produtos químicos, etanol e petróleo; os granéis sólidos vegetais, principalmente o açúcar voltado à exportação e o trigo voltado à importação; e os granéis sólidos minerais, especialmente a importação de fertilizantes. Além disso, há perspectiva de novas cargas, que incluem escória de cobre, ácido sulfúrico, coque de petróleo, cavacos de eucalipto e madeira e produtos containerizados. Com relação à atracação de navios de cruzeiro, a projeção é de 11 atracões ao ano, no cenário tendencial.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 804 p.

ANDRADE, L. C. R. Fundamentos da resolução CONAMA 344/2004 e sua revisão. In: BOLDRINI, E. B.; PAULA, E. V. (Org.). **Gestão ambiental portuária: Subsídios para o licenciamento das dragagens**. Antonina: ADEMADAN, 2009. p. 360-373.

APCM – ADMINISTRAÇÃO DO PORTO DE MACEIÓ. **Plano de desenvolvimento e zoneamento do Porto de Maceió: cadastro, acessos e condições climáticas e de segurança à navegação do Porto de Maceió**. 1. ed. Brasília: APCM, 2011. 22 p.

BARNES, B. B. et al. Sediment plumes induced by the Port of Miami dredging: Analysis and interpretation using Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 170, n. 9, p. 328–339, Sep. 2015.

BARROS, I. et al. Hidrocarbonetos no material particulado em suspensão da Baía de Guanabara: avaliação do estado de contaminação. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 28-36, jan./dez. 2017.

BASTOS, B. C.; BASSANI, C. A questão da expansão portuária como solução para o desenvolvimento econômico: o caso das dragagens e os impactos ambientais na baía de Sepetiba. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9, 2012, Resende. **Anais...** Resende: IX SEGET, 2012, p. 1-17.

BATES, M. E. et al. Life cycle assessment for dredged sediment placement strategies. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 511, n. 1, p. 309-318, Jan. 2015.

BESSELL-BROWNE, P. et al. Impacts of turbidity on corals: The relative importance of light limitation and suspended sediments. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 117, n. 2, p. 161-170, Apr. 2017.

BOLDRINI, E. B.; DE PAULA, E. V. **Gestão ambiental portuária: Subsídios para o licenciamento das dragagens**. 1. ed. Antonina: ADEMADAN, 2009. 376 p.

BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; DE PAULA, E. V. **Dragagens portuárias no Brasil: engenharia, tecnologia e meio ambiente**. 1. ed. Antonina: ADEMADAN, 2007. 296 p. (a)

BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; DE PAULA, E. V. **Dragagens Portuárias no Brasil: licenciamento e monitoramento ambiental**. 1. ed. Curitiba: Serzgraf, 2007. 310 p. (b)

BRASIL. **Lei Federal nº 12.815, de 5 de junho de 2013**. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas

pelos operadores portuários; altera as Leis nº 5.025, de 10 de junho de 1966, nº 10.233, de 5 de junho de 2001, nº 10.683, de 28 de maio de 2003, nº 9.719, de 27 de novembro de 1998, e nº 8.213, de 24 de julho de 1991; revoga as Leis nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993, e nº 11.610, de 12 de dezembro de 2007, e dispositivos das Leis nº 11.314, de 3 de julho de 2006, e nº 11.518, de 5 de setembro de 2007; e dá outras providências. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 11.610, de 12 de dezembro de 2007. Institui o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária, e dá outras providências. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/>. Acesso: 13 jul. 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 11.518, de 5 de setembro de 2007. Acresce e altera dispositivos das Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 10.233, de 5 de junho de 2001, 10.893, de 13 de julho de 2004, 5.917, de 10 de setembro de 1973, 11.457, de 16 de março de 2007, e 8.630, de 25 de fevereiro de 1993, para criar a Secretaria Especial de Portos, e dá outras providências. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/>. Acesso: 13 jul. 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

BRASIL. Decreto Federal nº 87.566, de 16 de setembro de 1982. Promulga o texto da convenção sobre prevenção da poluição marinha por alijamento de resíduos e outras matérias, concluída em Londres, em 29 de dezembro de 1972. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

CABALLERO, I.; NAVARRO, G.; RUIZ, J. Multi-platform assessment of turbidity plumes during dredging operations in a major estuarine system. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 68, n. 6, p. 31-41, Jun. 2018.

CASTRO, S. M. **Conflitos ambientais e participação social em processos de avaliação ambiental estratégica para o setor portuário: dragagem em foco.** 2012. 259 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CESAR, A. et al. Environmental assessment of dredged sediment in the major Latin American seaport (Santos, São Paulo – Brazil): An integrated approach. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 498, n. 11, p. 679-687, Nov. 2014.

CHAGAS, V. O.; BONECKER, S. L. C.; CRUZ, M. B. Avaliação ambiental de atividade de dragagem através da aplicação de indicadores de qualidade da água. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, v. 5, n. 10, p. 753-770, ago. 2018.

CHAGAS, D. S. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico.** 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas, 2015.

COELHO, V. S. et al. Impactos da dragagem no entorno do Porto do Açú, São João da Barra – RJ: Breve panorama dos efeitos da salinização. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE, 7, 2018, Três Rios. **Anais...** Três Rios: VII SIGABI, 2018, p. 359-362.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 454, de 1 de novembro de 2012.** Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 421, de 3 de fevereiro de 2010.** Dispõe sobre revisão e atualização da Resolução CONAMA n° 344, de 25 de março de 2004. Disponível em: <https://www.diariodasleis.com.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/>. Acesso: 14 jul. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 344, de 25 de março de 2004.** Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Disponível em: <https://documentacao.socioambiental.org/>. Acesso: 19 jun. 2021.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 237, de 19 de dezembro de 1997.** Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/>. Acesso: 19 jun. 2021.

CRAPPER, P. F. Forced plume characteristics. **Tellus**, London, v. 29, n. 10, p. 470-475, Oct. 1977.

D'ANGELO, R. A. **Físico-química da água e caracterização dos sedimentos de uma micro-bacia costeira de Mata Atlântica com múltiplos usos do solo, Jacuecanga, Angra**

dos Reis, R.J. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

DARWICH, A. J. et al. Limnologia do Lago Tupé: dinâmica espaço-temporal do oxigênio dissolvido. In: SANTOS-SILVA, E. N. et al. (Orgs.). **BioTupé: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Manaus: Editora INPA, 2005. p. 35-67.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 4. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014. 374 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água**. 1. ed. Fortaleza: EMBRAPA, 2011. 48 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. 826 p.

ESTEVES, F. A.; FURTADO, A. L. S. Oxigênio dissolvido. In: FRANCISCO DE ASSIS ESTEVES. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 167-191.

ESTEVES, F. A.; AMADO, M. A. Nitrogênio. In: FRANCISCO DE ASSIS ESTEVES. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 239-258.

ESTEVES, F. A.; PANOSSO, R. Fósforo. In: FRANCISCO DE ASSIS ESTEVES. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 259-281.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998. 602 p.

FALCÃO FILHO, C. A. T.; STRENZEL, G. M. R.; de PAULA, F. C. F. Dados TM aplicados a modelagem da pluma sedimentar na Costa do Cacau, Ilhéus-Bahia, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 58, p. 117-135, jun. 2016.

FELIPE JÚNIOR, N. F. O setor portuário de Sergipe: Redes, fluxos e participação do capital privado. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 35, n. 5, p. 72-89, dez. 2018.

FERREIRA, A. R. L. et al. Potencial tóxico de sedimentos dragados das Baías de Sepetiba e da Guanabara (RJ) em cenário de disposição de latossolo. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 1141-1151, nov. 2020.

FERREIRA, W. L. S. Marés de lama: Impactos socioambientais dos rejeitos da mineração e dragagem portuária. Estudos de caso de Mariana (MG) e Rio Grande (RS). In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10, 2019, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: X IBEAS, 2019, p. 1-5.

FERREIRA, A. N.; BERETTA, M.; MAFALDA JÚNIOR, P. O. Avaliação do impacto da dragagem sobre associação fitoplanctônica do Porto de Aratu, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 30-46, mai. 2012.

FONSECA, E. M. et al. Effects of dredged sediment dumping on trace metals concentrations and macro benthic assemblage at the continental shelf adjacent to a tropical urbanized estuary. **Ocean & Coastal Management**, Amsterdam, v. 196, n. 10, p. 1-11, Aug. 2020.

FONSECA, R. M.; PALMA, C. Problemas ambientais relacionados com a dragagem de sedimentos poluídos. In: JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA, 5, 2018, Lisboa. **Anais...** Lisboa: V Instituto Hidrográfico, 2018, p. 1-4.

FROHLICH, M. F.; NASPOLINI, B. F.; VOLSCHAN JÚNIOR, I. A evolução do processo de avaliação e gerenciamento de material relacionado às atividades de dragagem no Brasil: Uma análise comparativa entre as Resoluções CONAMA n° 344/04 e n° 454/12. **Eng. Sanit. Ambient.**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 131-140, jan./mar. 2015.

GOES FILHO, H. A. **Dragagem e gestão de sedimentos**. 2004. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GOMES, L. S. **Concentração de metais na água e nos sedimentos superficiais costeiros no entorno do Complexo Industrial do Superporto do Açú (São João da Barra, RJ)**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods of seawater analysis**. 3. ed. Weinheim: Verlag Chemie, 1999. 614 p.

GRASSO, F. et al. Suspended sediment dynamics in the Macrotidal Seine Estuary (France): 1. Numerical modeling of turbidity maximum dynamics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Washington, v. 123, n. 1, p. 558-577, Feb. 2018.

HAKANSON, L. et al. Suspended particulate matter (SPM) in rivers: empirical data and models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 183, n. 2, p. 251–267, Apr. 2005.

HAGUENAUER, G. M. et al. Uso de indicadores de gestão como critério na alocação de recursos de dragagem em portos públicos brasileiros. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 149-180, jul./set. 2020.

JANZEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; LAMON, A. W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Eng. Sanit. Ambient.**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 278-283, jul./set. 2008.

JONES, R. et al. Assessing the impacts of sediments from dredging on corals. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 102, n. 12, p. 9–29, Dec. 2016.

JONES, R. et al. Temporal patterns in seawater quality from dredging in tropical environments. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n. 10, p. 1-25, Oct. 2015.

JUNJIE, R. K. et al. Impacts of sediments on coral energetics: partitioning the effects of turbidity and settling particles. **Plos One**, New York, v. 9, n. 9, p. 1-11, Sep. 2014.

KANASHIRO, A. M.; XIE, J. Evaluation of chemical properties of dredged materials, Paranaguá Port, Brazil, according to dredging legislation CONAMA 454/2012. **RISUS – Journal on Innovation and Sustainability**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 3-16, Aug. 2016.

KJELLAND, M. E. et al. A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. **Environ Syst Decis**, New York, v. 35, n. 7, p. 334–350, Jul. 2015.

LEOTSINIDIS, M.; SAZAKLI, E. Evaluating contamination of dredges and disposal criteria in Greek coastal areas. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 72, n. 5, p. 811–818, Jun. 2008.

LI, M. et al. Novel method of construction-efficiency evaluation of cutter suction dredger based on real-time monitoring data. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, Reston, v. 144, n. 6, p. 1-14, Ago. 2018.

LIMA, S. N. P. A diretriz específica de material dragado da convenção de Londres de 1972: Base para uma proposta de revisão da resolução CONAMA 344/2004. In: BOLDRINI, E. B.; PAULA, E. V. (Org.). **Gestão ambiental portuária: Subsídios para o licenciamento das dragagens**. Antonina: ADEMADAN, 2009. p. 341-351.

LIU, W. et al. Experimental simulation of nitrogen and phosphorus release during marine dumping of dredged sediment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH, 4, 2019, Xangai. **Anais...** Xangai: IV ICAEER, 2019, p. 1-4.

LIU, C. et al. Effects of riverine suspended particulate matter on the post-dredging increase in internal phosphorus loading across the sediment-water interface. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 211, n. 1, p. 165-172, Jan. 2016.

LOPES, C. R. B. **A importância da dragagem no cenário econômico nacional**. 2014. 50 f. Monografia (Graduação em Capitania de Cabotagem) – Departamento de Ensino de Náutica, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2014.

MANAP, N.; VOULVOULIS, N. Data analysis for environmental impact of dredging. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 137, n. 7, p. 394-404, Jul. 2016.

MANAP, N.; VOULVOULIS, N. Environmental management for dredging sediments – The requirement of developing nations. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 147, n. 5, p. 338-348, Oct. 2015.

MANAP, N.; VOULVOULIS, N. Risk-based decision-making framework for the selection of sediment dredging option. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 496, n. 10, p. 607-623, Oct. 2014.

MARCUZZO, F. F. N. et al. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 4, n. 4, p. 793-804, ago./dez. 2011.

MAREN, D. S. van. et al. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. **Continental Shelf Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 1-14, Jan. 2015.

MARMIN, S.; DAUVIN, J-C.; LESUEUR, P. Collaborative approach for the management of harbour-dredged sediment in the Bay of Seine (France). **Ocean & Coastal Management**, Amsterdam, v. 102, v. 5. p. 328-339. May. 2014.

MATTOS, E. P. **Modelagem hidrodinâmica da dispersão da pluma de sedimentos em suspensão oriundos de atividades de dragagem na Baía de Paranaguá e Antonina, PR.** 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MATTOS, E. P.; GONÇALVES, J. E. Modelagem hidrodinâmica da dispersão de sedimentos em suspensão oriundos de atividades de dragagem: estudo de caso na Baía de Paranaguá e Antonina – PR. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DESEMPENHO PORTUÁRIO, 3, 2016, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: III CIDESPORT, 2016, p. 1-32.

MENEGAZZO, L.; PETTERINI, F. Maiores navios no mundo, mais um desafio no Brasil: uma análise do Programa Nacional de Dragagem. **Estud. Econ.**, São Paulo, v. 48, n. 1, p. 175-209, jan./mar. 2018.

MENEGAZZO, L, R. **Avaliação econômica do Programa Nacional de Dragagem: uma análise das obras realizadas nos portos marítimos.** 2016. 240 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Centro Sócio-Econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Plano mestre: Complexo Portuário de Maceió.** 1. ed. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2019. 88 p.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Ordem de serviço da dragagem do Porto de Maceió é assinada**. 5 de março de 2018. Disponível em: <http://antigo.infraestrutura.gov.br/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MOREIRA, L. B. Uso de ensaios de ecotoxicidade na avaliação de sedimentos em áreas portuárias. In: BOLDRINI, E. B.; PAULA, E. V. (Org.). **Gestão ambiental portuária: Subsídios para o licenciamento das dragagens**. Antonina: ADEMADAN, 2009. p. 286-299.

MURTA, A. L. S. et al. Environmental monitoring of dredging at the Port of Angra dos Reis. **Holos**, Natal, v. 35, n. 2, p. 1-23, abr. 2019.

MUSRIYADI, T. B.; NAIFAH, S. F. R. Booster pump performance analysis towards rotation of impeller for CSD type. **International Journal of Marine Engineering Innovation and Research**, Surubaya, v. 2, n. 1, p. 25-32, Dec. 2017.

NASCIMENTO, A. M. A.; MEDEIROS, P. R. P. Análise da série nitrogenada na água intersticial dos sedimentos dragados do Porto de Maceió (AL). In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 13, 2021, Aracaju. **Anais...** Aracaju: XIII ENREHSE, 2021, p. 1-6.

OLIVEIRA, G. A. M.; CORREIA, R. S. A necessidade da dragagem no Porto de Santos. In: CONGRESSO DE LOGÍSTICA DAS FACULDADES DE TECNOLOGIA DO CENTRO PAULA SOUZA, 10, 2019, Guarulhos. **Anais...** Guarulhos: X FATECLOG, 2019, p. 1-10.

OLIVEIRA, U. B. G. **A dragagem e os impactos ao meio ambiente**. 2010. 45 f. Monografia (Tecnólogo em Construção Naval) - Cluster Brasileiro de Inteligência Artificial para Navios e Navios Autônomos, Fundação Centro Universitário da Zona Oeste do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PASSOS, T. et al. Separação e caracterização das frações de sólidos provenientes de sedimento de dragagem do Porto de Rio Grande – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: XI COBEQ-IC, 2015, p. 1-6.

PINTO, A. L.; OLIVEIRA, G. H.; PEREIRA, G. A. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da Bacia do Córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Rev. GEOMAE**, Campo Mourão, v. 1, n. 1, p. 69-82, jan./jun. 2010.

POLLOCK, F. J. et al. Sediment and turbidity associated with offshore dredging increase coral disease prevalence on nearby reefs. **Plos One**, New York, v. 9, n. 7, p. 1-9, Jul. 2014.

REIS, F. B et al. Atividade de dragagem e circulação de massas de águas oceânicas: possíveis influências nas características físico-químicas na plataforma continental interna adjacente à Baía de Guanabara (RJ). **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 53, n. Especial, p. 52-60, jan. 2020.

ROJAS-SOLA, J. I.; DE LA MORENA-DE LA FUENTE, E. Agustin de Betancourt's mechanical dredger in the Port of Kronstadt: Analysis through computer-aided engineering. **Appl. Sci.**, Basel, v. 8, n. 1338, p. 1-24, Aug. 2018.

SANTOS, V. S. **Caracterização hidrodinâmica e fluxos de sedimentos em suspensão no Complexo Portuário de São Luís (MA) durante a atividade de dragagem**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

SANTOS, D. R.; FARINHAS, P. G. **Dragagem no Porto de Santos: um estudo sobre seus impactos ambientais e socioeconômicos**. 2017. 42 f. Monografia (Tecnólogo em Gestão Portuária) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista Rubens Lara, Santos, 2017.

SEP/PR – SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Plano Mestre: Porto de Maceió**. 1. ed. Florianópolis: UFSC, 2015. 286 p.

SHAO, D.; PURNAMA, A.; SUN, T. Modeling the temporal evolution of dredging-induced turbidity in the far field. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, Reston, v. 141, n. 5, p. 1-8, Sep. 2015.

SILVA, J. M. Portos – indutores de desenvolvimento econômico, com responsabilidade sócio-ambiental. In: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; DE PAULA, E. V. (Eds.). **Dragagens portuárias no Brasil: engenharia, tecnologia e meio ambiente**. 1. ed. Antonina: ADEMADAN, 2007. p. 32-37.

SILVEIRA, A. E. F. **Índice de risco para gestão de dragagem em ambientes costeiros: estudo de caso da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

SIMÕES, M. H. **Sistematização dos aspectos ambientais de dragagens portuárias marítimas no Brasil**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SIMÕES NETO, J. A. et al. Possibilidade de aproveitamento dos sedimentos de dragagem do porto de Paranaguá. **Quaternary and Environmental Geosciences**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 55-61, jul./dez. 2017.

SIPRES, F. **Discussão de impactos ambientais de um projeto de mineração submarina na Baía de Guanabara**. 2019. 100 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SOUSA, L. K. S. **Efeito da atividade de dragagem sobre a macrofauna benthica do Complexo Portuário de São Luís, Maranhão**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

SOUSA, C. L. R. **Determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em água e material particulado em suspensão na Baía de Todos os Santos e Aratu**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica do Petróleo e Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. 2. ed. Ottawa: Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 1972. 167 p.

SU, Z.; YUAN, W. Parameter estimation of trailing suction hopper dredger dredging model by GA. **Frontier Computing**, Singapore, v. 375, n. 4, p. 811-815, Abr. 2016.

TORRES, R. J. **Uma análise preliminar dos processos de dragagem do Porto de Rio Grande, RS**. 2000. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande, 2000.

VEZZONE, M. et al. Ecotoxicological evaluation of dredged sediments from Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio de Janeiro State, Brazil) using bioassays with earthworms and collembolans. **Environmental Earth Sciences**, Berlin, v. 77, n. 743, p. 743-753, Nov. 2018.

VIANA, L. C. A. **Acumulação de metais-traço em sedimentos de áreas adjacentes ao Porto de Niterói (Enseada de São Lourenço, Baía de Guanabara, RJ)**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

WARTANIAN, K. F.; AL-IMARAH, F. J. M.; ADAM, R. S. Effect of navigation and dredging upon the quality of water and sediments of Umm Qaser Port, October 2010. **Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences**, New Delhi, v. 4, n. 2, p. 243-251, Jun./Aug. 2016.

WENGER, A. S. et al. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. **Fish and Fisheries**, Hoboken, v. 18, n. 2, p. 967–985, Feb. 2017.

WIT, L. **3D CFD modelling of overflow dredging plumes**. 2015. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Physical Sciences Institute, Technische Universiteit Delft, Delft, 2015.

WIT, L.; TALMON, A. M.; van RHEE, C. 3D CFD simulations of trailing suction hopper dredger plume mixing: Comparison with field measurements. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 34-46, Oct. 2014.

YAO, M.; NAN, J.; CHEN, T. Effect of particle size distribution on turbidity under various water quality levels during flocculation processes. **Desalination**, Amsterdam, v. 354, n. 12, p. 116-124, Dec. 2014.

YU, J. et al. Evaluation of simulated dredging to control internal phosphorus release from sediments: Focused on phosphorus transfer and resupply across the sediment-water interface. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 592, n. 8, p. 662-673, Aug. 2017.

APÊNDICES

Apêndice 1- Publicação da temática em formato de artigo científico na Revista Brasileira de Geografia Física (RBGF).

Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n.04 (2021) 2087-2113.



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgef>



Análise Espaço-Temporal da Pluma de Dispersão dos Sedimentos Dragados do Porto de Maceió, Alagoas

Anderson Marques Araújo do Nascimento¹, Paulo Ricardo Petter Medeiros², Geovânia Ricardo dos Santos³, Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo⁴

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas (PPGG/IGDEMA/UFAL), e-mail: anderson.nascimento@igdema.ufal.br (autor correspondente); ² Professor Titular do PPGG/IGDEMA/UFAL, e-mail: paulopetter@hotmail.com; ³ Mestra pelo PPGG/IGDEMA/UFAL, e-mail: geovanriarcados@gmail.com; ⁴ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, do Instituto de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Alagoas (PPGMET/ICAT/UFAL), e-mail: georgenes.cavalcante@icat.ufal.br.

Artigo recebido em 23/04/2020 e aceito em 26/04/2021

RESUMO

O entendimento da dinâmica sedimentar é importante na caracterização dos impactos causados pelas dragagens e este conhecimento torna-se decisivo para o discernimento dos mesmos. O objetivo deste artigo foi analisar a pluma de dispersão dos sedimentos do Porto de Maceió. As análises foram realizadas em três campanhas amostrais, antes, durante e após as obras portuárias, na qual foram plotados os pontos de coleta nas áreas de dragagem e descarte. Foram analisados o material particulado em suspensão (MPS) pelo método gravimétrico e realizadas amostragens *in situ* dos parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação, salinidade e condutividade elétrica com sonda multiparâmetros e de transparência da água com disco de Secchi. Os parâmetros MPS, turbidez e transparência foram analisados por interpolação linear, enquanto as demais variáveis foram submetidas à análise em curva de calibração polinomial. Os multiparâmetros trabalhados foram submetidos à análise em box plot de modo a avaliar a variância entre as campanhas. A variação de MPS nas campanhas amostrais mostrou comportamento espacial e temporal dinâmicos; A interpolação promoveu melhor visualização dos parâmetros físicos que expressam diretamente a pluma de dispersão; As variáveis suplementares apresentaram padrões de tendência em relação à carga de sedimentos; A análise em box plot mostrou-se ser pertinentemente útil para avaliar e interpretar os resultados de forma integrada, principalmente devido ao grande número de parâmetros analisados; As obras de dragagem tiveram gestão equilibrada entre a quantidade de sedimentos dragados e a disposição espacial dos mesmos no local de descarte quando comparado a área de dragagem. Palavras-chave: Dragagem. Material particulado em suspensão. Variação Multiparamétrica.

Spatio-Temporal Analysis of the Dredged Sediment Scattering Plume in the Port of Maceió, Alagoas

ABSTRACT

The understanding of the sedimentary dynamics is important in the characterization of impacts caused by dredging and this knowledge becomes decisive for their discernment. The aim of this article was to analyze the plume of dispersion of the sediments of the Port of Maceió. The analyzes were carried out in three sampling campaigns, before, during and after the port works, in which the collection points in the dredging and discard areas were plotted. The suspended particulate material (SPM) was analyzed using the gravimetric method and *in situ* sampling of the parameters turbidity, dissolved oxygen and percentage of saturation, salinity and electrical conductivity with a multiparameter probe and water transparency with Secchi disk. The parameters SPM, turbidity and transparency were analyzed by linear interpolation, while the other variables were subjected to analysis on a polynomial calibration curve. The multiparameters worked were submitted to box plot analysis in order to assess the variance between campaigns. The variation of SPM in the sample campaigns showed dynamic spatial and temporal behavior; The interpolation promoted a better visualization of the physical parameters that directly express the plume of dispersion; The supplementary variables showed trend patterns in relation to the sediment charge; Box plot analysis proved to be pertinently useful for evaluating and interpreting the results in an integrated manner, mainly due to the large number of parameters analyzed; The dredging works had a balanced

2087

Apêndice 2- Publicação da temática em formato de resumo expandido nos anais do XIII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe (ENREHSE).



XIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ANÁLISE DA SÉRIE NITROGENADA NA ÁGUA INTERSTICIAL DOS SEDIMENTOS DRAGADOS DO PORTO DE MACEIÓ (AL)

Anderson Marques Araújo do Nascimento¹; Paulo Ricardo Petter Medeiros²

RESUMO: O objetivo crucial do trabalho está pautado na análise da série nitrogenada (nitrito, nitrato, amônia e nitrogênio total) na água intersticial (superfície e fundo) dos sedimentos dragados do Porto de Maceió oriundos das obras de dragagem realizadas no ano de 2018. A análise da série nitrogenada foi realizada em três campanhas amostrais, antes (março), durante (maio) e após (agosto) as atividades de dragagem na bacia de evolução do Porto e de descarte dos rejeitos dragados mediante coletas de água em superfície e fundo dos pontos amostrais plotados em campo e de acordo com o Plano de Gestão Ambiental preliminar do Porto de Maceió. A série nitrogenada, em laboratório, foi determinada pelos métodos colorimétrico e espectrofotométrico. Os resultados obtidos foram comparados aos limites estabelecidos nas diretrizes da Resolução CONAMA n° 357 de 2005 e n° 454 de 2012 para águas salinas de Classe 1. Em todas as campanhas amostrais os níveis da série nitrogenada estiveram em conformidade à Resolução.

Palavras-Chave – Dragagem. Nitrogênio. Resolução CONAMA.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, fatores como a demanda ambiental, comercial e turística, juntamente com a viabilidade de manutenção e expansão da atual capacidade do Porto de Maceió gerou a necessidade da realização de obras de dragagem, executadas no ano de 2018, visando à melhoria das condições de navegabilidade de seu canal de acesso.

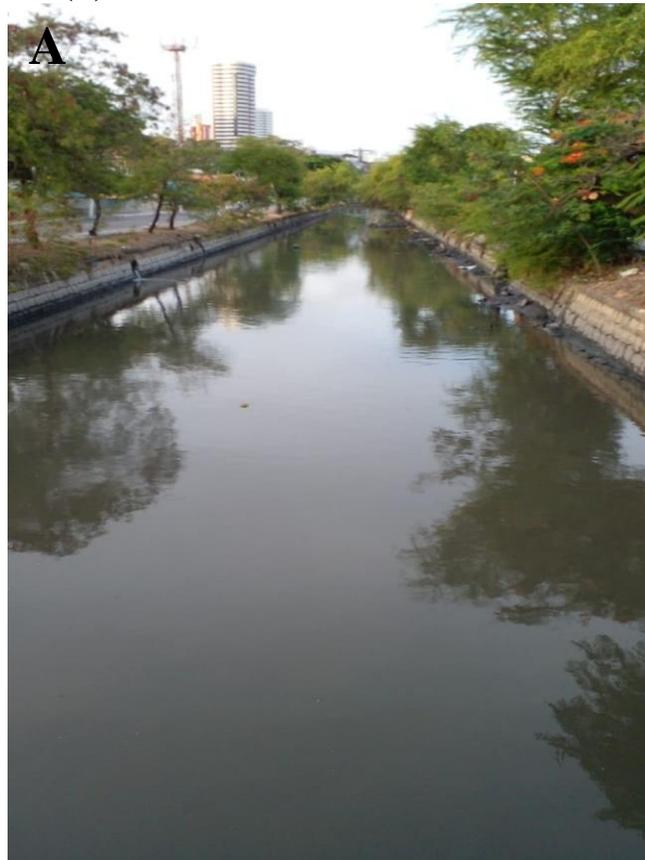
As dragagens são uma alternativa viável para manter a segurança da navegação de portos, terminais ou marinas, no entanto, a maior parte do material dragado é destinado no mar, uma vez que grande parte desse material não apresenta nível de contaminantes preocupantes e é semelhante aos sedimentos de áreas não antropizadas. Entretanto, a parte restante que é poluída, oriunda das atividades humanas (fertilizantes químicos, resíduos industriais, lançamento de esgotos e efluentes não tratados, rejeitos de minério, etc.) possui significativa contaminação e é capaz de causar danos ambientais e perda de espécies desejáveis, além de fenômenos como a eutrofização, resultante de elementos nutricionais, entre os quais o nitrogênio (Manap e Voulvoulis, 2016).

O nitrogênio, foco deste trabalho, é um dos principais elementos dos ciclos biogeoquímicos globais, sob as formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), dentre outros, podendo ser utilizado efetivamente como indicador e como importante ferramenta de monitoramento ambiental dos ambientes aquáticos, a exemplo das áreas submetidas à atividades e descarte de sedimentos oriundos de dragagem (Liu et

1) Aluno do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Alagoas (PPGG/UFAL), anderson.nascimento@igdema.ufal.br.

2) Professor Dr. Associado IV do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas (IGDEMA/UFAL)

Apêndice 3- Trajeto de fontes difusas para o Riacho Salgadinho (A, B e C), foz do Riacho Salgadinho e Porto de Maceió ao fundo (D) e Emissário Submarino de Maceió (E).





Fonte: O Autor

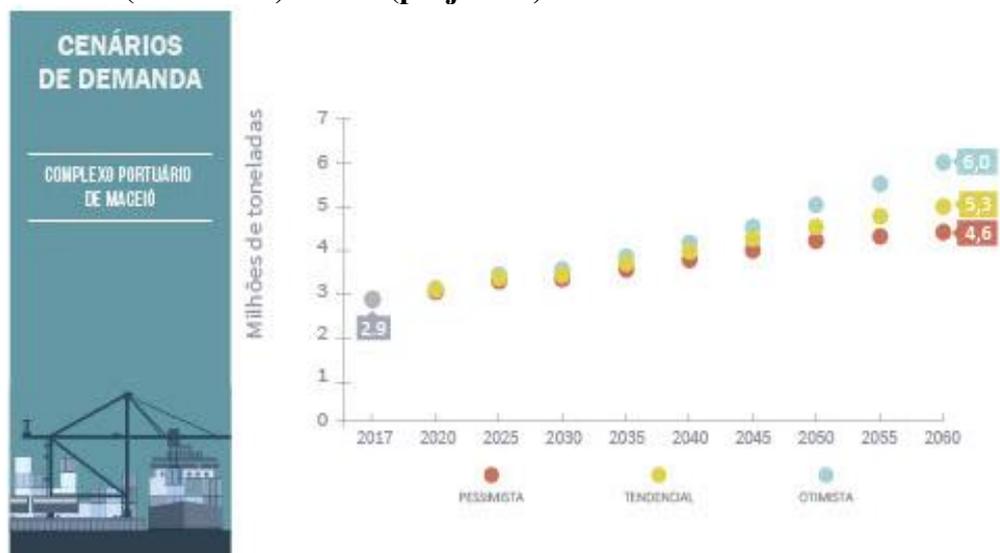
ANEXOS

Anexo 1- Perfil da movimentação do Complexo Portuário de Maceió no quadriênio 2013-2017.



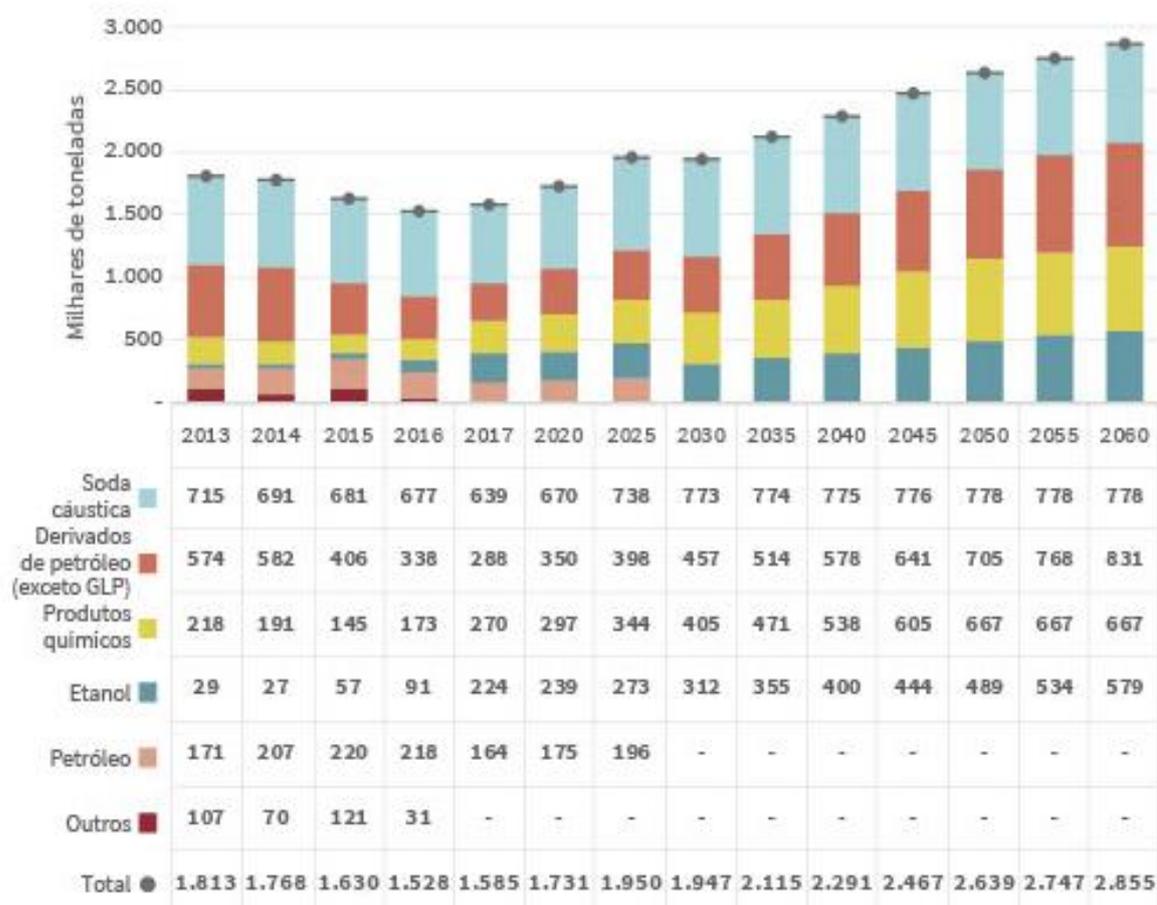
Fonte: ANTAQ (2017), elaborado pelo Ministério da Infraestrutura (2019)

Anexo 2- Cenários de demanda do Complexo Portuário de Maceió entre os anos de 2017 (observado) e 2060 (projetado) em milhões de toneladas.



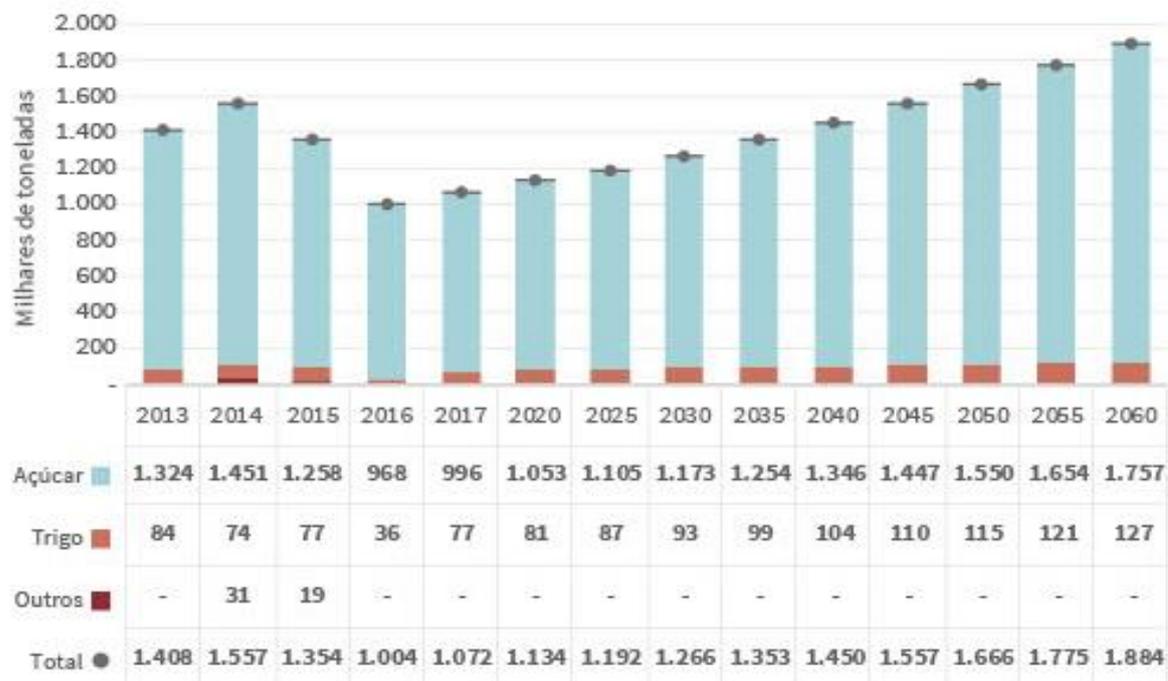
Fonte: ANTAQ (2017), elaborado pelo Ministério da Infraestrutura (2019)

Anexo 3- Evolução da movimentação de granéis líquidos – combustíveis e químicos no Complexo Portuário de Maceió, observada (2013-2017) e projetada (2020-2060) em milhares de toneladas.



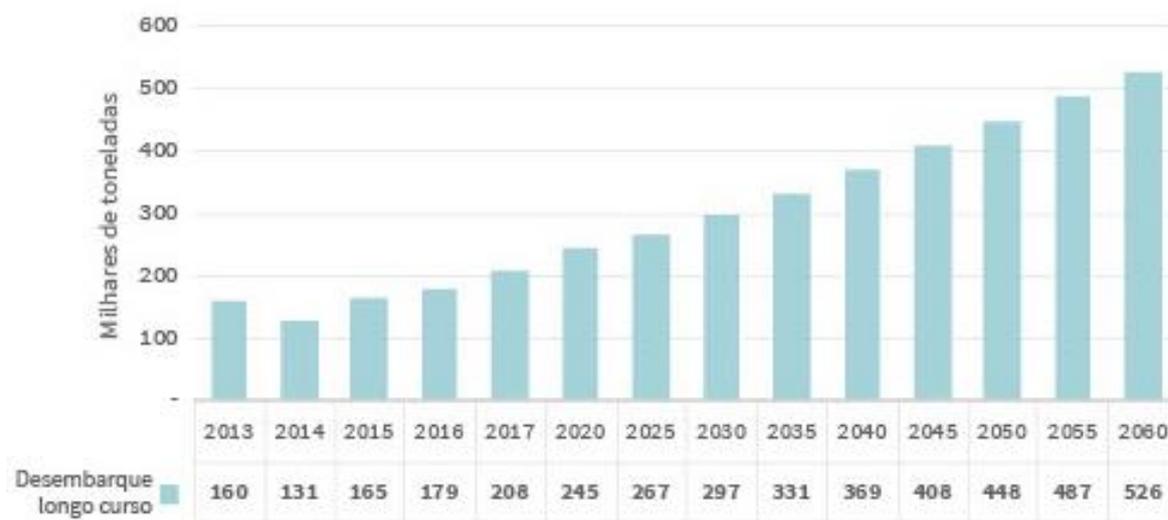
Fonte: ANTAQ (2017), elaborado pelo Ministério da Infraestrutura (2019)

Anexo 4- Movimentação de granel sólido vegetal no Complexo Portuário de Maceió, observada (2013-2017) e projetada (2020-2060), em milhares de toneladas.



Fonte: ANTAQ (2017), elaborado pelo Ministério da Infraestrutura (2019)

Anexo 5- Movimentação de fertilizantes no Complexo Portuário de Maceió, observada (2013-2017) e projetada (2020-2060), em milhares de toneladas



Fonte: ANTAQ (2017), elaborado pelo Ministério da Infraestrutura (2019)

Anexo 6- Aspectos gerais da movimentação de navios de cruzeiro no Complexo Portuário de Maceió, observada (2014-2017) e projetada (2018-2060).



Fonte: APMC (2017), elaborado pelo Ministério da Infraestrutura (2019)