

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área
Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e
Costeira Adjacente**

Material Suplementar Ambiente Costeiro

Tema: Manguezal

RT- 46/JUN 24

RA2023 PMBA/FEST

Vitória,

Junho de 2024

EQUIPE TÉCNICA

Mônica Maria Pereira Tognella

Antelmo Ralph Falqueto

Andreia Barcelos Passos Lima Gontijo

Edilson Romais Schmildt

Marcelo Barcellos da Rosa

Helia del Carmen Farias Espinoza

Camila Patrício de Oliveira

Dielle Meire de Santana Lopes

Eduardo Almeida Filho

Karen Otoni de Oliveira Lima

Laís Altoé Porto

Neilson Victorino de Brites Junior

Raquel Vidal dos Santos Leopoldo

Samira Leite

Sávia Soares Pascoalini

Saulo Furtado Ronconi Vieiras

Ully Depolo Barcelos

Verônica D'Addazio Pinheiro

Brenno Nascimento de Mattos

Brunna Rocha Martins

Ana Flávia de Moraes Bastos

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL.....	4
2	METODOLOGIA.....	4
2.1	COLETA.....	4
2.1.1	Estrutura e Funcionamento da flora do Rio Doce e dos Manguezais de Aracruz (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), Barra Nova (Rio Mariricu) e Conceição da Barra (Rio São Mateus).....	4
2.1.2	Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos	6
2.1.3	Diagnóstico de contaminação da vegetação do manguezal por metais nas áreas de estudo	8
2.2	ANÁLISE.....	9
2.2.1	Estrutura e Funcionamento da Flora do Rio Doce e dos Manguezais de Aracruz (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), Barra Nova (Rio Mariricu) e Conceição da Barra (Rio São Mateus).....	9
2.2.2	Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos	13
2.2.3	Diagnóstico de contaminação da vegetação do manguezal por metais nas áreas de estudo	17
2.3	HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS	20
3	RESULTADOS DOS INDICADORES	20
3.1	SEDIMENTOS.....	21
3.2	FLORA.....	35
3.3	BIORREMEDIAÇÃO.....	77
3.4	DECAPODA.....	156
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS 5 ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO	188
5	ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS	194
6	REFERÊNCIAS	195

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

A malha e frequência amostral do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) passou por modificações ao longo do tempo, visando seu aperfeiçoamento para atendimento aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) MS – Malha e Frequência amostral, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) MS – Mapas das malhas amostrais, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais monitoradas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais monitoradas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em agosto de 2022 (e dezembro de 2022 para o Tema Ecotoxicologia). Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest a fim de determinar os indicadores.

2.1 COLETA

2.1.1 Estrutura e Funcionamento da flora do Rio Doce e dos Manguezais de Aracruz (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), Barra Nova (Rio Mariricu) e Conceição da Barra (Rio São Mateus)

A estrutura da vegetação foi coletada seguindo a metodologia proposta por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986). Em campo, todos os indivíduos que compõem a parcela foram lacrados e identificados em termos de espécie. Dados sobre a altura (m) individual, diâmetro (cm) dos troncos à altura do peito (DAP) e números de troncos por indivíduo foram obtidos em campo. A partir da análise destes parâmetros é possível determinar o desenvolvimento estrutural calculando os seguintes parâmetros por estação:

densidade de troncos, altura média do dossel, altura do dossel com base nos três indivíduos mais altos, DAP médio da floresta, área basal individual e total, dominância de espécies, relação tronco/indivíduo.

A coleta de folhas ocorre para as seguintes análises: metais, atividade antirradicalar e pigmentos. Sendo coletadas amostras de três espécies vegetais: *Laguncularia racemosa* (Lg); *Rhizophora mangle* (Rh) *Talipariti pernambucense* (Tp), de acordo com sua ocorrência e distribuição nos manguezais de cinco ambientes: Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Rio Doce (RD), Barra Nova (BN), São Mateus (SM), no estado do Espírito Santo. O monitoramento é realizado em bosques do tipo franja e bacia nas margens esquerda e direita dos estuários. O período de monitoramento ocorre desde janeiro de 2019 com coletas analisadas até janeiro de 2023.

A amostragem de folhas para análise de metais e da atividade antirradicalar seguiu o seguinte protocolo: coleta realizada manualmente; obtenção de 20 folhas maduras completamente expandidas de cada indivíduo amostrando cerca de cinco plantas por área amostral (parcela) para obtenção de amostras compostas contendo aproximadamente 40 g. Para a análise de pigmentos, cinco folhas foram coletadas por indivíduo, sob as mesmas características morfológicas. Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel identificados de acordo com cada estação amostral. As amostras de metais e atividade antirradicalar foram secas em estufa de circulação forçada a 65° C até peso constante. Em seguida, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley (Marca Tecnal; modelo TE650/1) com peneiras de malha 20 e enviadas em amostras separadas para a análise química de macro e micronutrientes e para atividade antirradicalar. As amostras de pigmentos foram armazenadas em gelo até a chegada ao Laboratório de Ecologia de Manguezal. Todo o material foi imediatamente armazenado em freezer à -30° C até o momento da extração.

Para as medições da produtividade primária (fluorescência da clorofila *a* e assimilação de CO₂), definiu-se o protocolo de amostragem sendo a aquisição dos dados em seis folhas (réplicas) consideradas jovens e completamente expandidas, sem indícios de senescência. Para atender a este padrão, foram amostradas as folhas do segundo par a partir do ápice para a base do ramo. A amostragem ocorreu em cinco indivíduos jovens (amostras) de *Rhizophora mangle* com até dois metros de altura. Quando essa espécie estava ausente na parcela, foi selecionada aquela dominante (*Laguncularia racemosa* ou *Avicennia schaueriana* ou *Talipariti pernambucense*), seguindo o mesmo padrão de amostragem (Quadro 1). A aquisição dos dados de produtividade primário foi realizada sempre pela manhã, no mesmo intervalo de tempo (entre 7 e 12 horas) em todas as parcelas.

Quadro 1: Espécies amostradas nas análises fotossintéticas por área/estação ao longo do PMBA/Fest.

Área	Estações	Espécie
Piraquê-Açu	PA1FD, PA1BD1, PA2FD, PA2BD, PA3FD, PA3BD, PA1FE, PA1BE, PA2FE, PA2BE, PA3FE, PA3BE	<i>R. mangle</i>
Piraquê-Açu	PA4E	<i>T. pernambucense</i>
Piraquê-Mirim	Todas	<i>R. mangle</i>
Rio Doce	RD1, RD2, RD3	<i>T. pernambucense</i>
Barra Nova	BN1FE, BN1BE, BN2FD, BN2BD, BN3BD	<i>R. mangle</i>
Barra Nova	BN3FD	<i>L. racemosa</i>
São Mateus	SM1FD, SM1BD, SM2FD, SM1FE, SM1BE, SM2FE, SM2BE, SM3FE, SM3BE	<i>R. mangle</i>
São Mateus	SM3FE, SM3BE	<i>L. racemosa</i>
São Mateus	SM4E	<i>T. pernambucense</i>

2.1.2 Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos

Em cada área de estudo, parcelas fixas, denominadas estações de coleta, com aproximadamente 75 m² foram delimitadas ao longo do gradiente estuarino: estuário inferior (Setor 1), médio (Setor 2) e superior (Setor 3) para avaliação da densidade e estrutura populacional de *Ucides cordatus* e *Cardisoma guanhumi*. Em cada setor, as estações foram demarcadas próximo às margens direita e esquerda dos canais mais representativos do estuário e lacres plásticos numerados inseridos nos seus extremos. As mesmas foram georreferenciadas utilizando o GPS Trimble Juno AS, fotografadas e monitoradas de acordo com a etapa metodológica descrita abaixo. Para *U. cordatus*, em cada margem, estações foram demarcadas em um bosque de manguezal de franja e em outro de bacia. O número de estações variou em função dos estuários e das espécies. A diferença no número de estações entre as espécies justifica-se pela condição natural de distribuição de *C. guanhumi* na faixa supratidal e pelo fato da espécie estar ameaçada de extinção por perda de habitat e sobreexploração, dificultando a demarcação de estações amostrais nos estuários monitorados no norte do Espírito Santo. Além da baixa densidade populacional desta espécie, a dificuldade de encontrar áreas com habitat propício que sejam contínuas e extensas também limitou o desenho amostral. Isso se deve ao habitat naturalmente fragmentado, agravado pela supressão de vegetação, bem como pelo fato da faixa de planície sujeita à inundação pelas marés de sizígia mais extremas (necessária para o recrutamento da espécie) ser relativamente estreita.

Em cada estação de coleta, pelo menos 3 quadrados de 5 x 5 metros foram demarcados e as seguintes atividades realizadas: contagem das galerias diferenciando-as em abertas, fechadas (indicativo de ecdise) e vazias, identificadas pela ausência de atividades biogênicas (marcas de rastros, dejetos ou movimentação de substrato), para estimativa da densidade de indivíduos (indivíduos/m²); e medição (mm) do diâmetro (menor e maior) da abertura de cada galeria, uma vez que estas são elípticas, para auxiliar na avaliação da estrutura populacional. As medições dos diâmetros das galerias foram realizadas com o auxílio de paquímetro de aço (marca Digimess), com precisão de aproximadamente 0,03 mm, adaptado pela soldagem de prolongamentos em forma de espátula de 10,5 cm de

comprimento, 2 cm de largura e 3 a 4 mm de espessura, com base no método descrito por Schmidt et al. (2008). A contagem das galerias permitiu a estimativa da densidade populacional uma vez que cada galeria, aberta ou fechada, é habitada por um indivíduo (SCHMIDT, 2006).

Armadilhas do tipo ratoeiras foram posicionadas aleatoriamente na entrada das galerias para a captura de *C. guanhumi*. Cada exemplar teve seu sexo identificado por dimorfismo sexual externo (formato do abdômen) (MELO, 1996) e condição de vida anotado para determinação da razão sexual e para avaliação do período de reprodução. Estes exemplares foram coletados por catadores profissionais e tiveram seu comprimento e largura aferidos por meio de paquímetro digital (sem adaptação) da marca Digimess, com precisão de aproximadamente 0,03 mm, posicionado sobre a superfície dorsal da carapaça. Os indivíduos foram liberados no próprio local de captura logo após as medições. A técnica empregada nesta etapa foi a de captura e soltura. Durante as expedições, exemplares aleatórios de *U. cordatus* foram capturados por catadores profissionais por meio da coleta manual, técnica conhecida como braceamento e recomendada pelos órgãos ambientais. A identificação do sexo e medição do cefalotórax de cada indivíduo foi realizada e liberado no próprio local de captura, logo após as medições.

Durante o período reprodutivo, dez fêmeas ovígeras de *U. cordatus* foram coletadas nos estuários dos rios Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Mariricu e São Mateus e de *C. guanhumi* apenas na foz do Rio Doce por se tratar de uma espécie ameaçada de extinção. Os exemplares foram transportados em sacos de estopa até o laboratório de Ecologia do Ecossistema Manguezal, localizado na Universidade Federal do Espírito Santo – Campus São Mateus, para posteriores análises e tombamento das espécies no acervo do projeto.

As fêmeas ovígeras foram cuidadosamente lavadas para retirada do excesso de sedimento e, em seguida, crioanestesiadas (MELO, 1996) para posteriormente as medições biométricas (comprimento e largura do cefalotórax) serem realizadas. Os indivíduos com a massa ovígera foram pesados em balança (modelo AL500C da marca Marte) com precisão de 0,001 g. Posteriormente, a raspagem da massa ovígera presa nos pleópodes foi realizada e as seguintes informações obtidas: (1) peso total (g); (2) peso da subamostra (g); e (3) contagem de ovos, por unidade, da massa ovígera de cada fêmea. O seguinte procedimento foi executado para estimar o número de ovos por fêmea: uma subamostra de aproximadamente 2,5 g/ml de massa ovígera foi retirada para cada indivíduo. Para a separação total dos ovos presos aos filamentos foi utilizada solução de hipoclorito de sódio (NACIO) 5% em 100 ml de água destilada e agitados por 5 minutos. Após este procedimento, o material foi lavado com água destilada. Após esta etapa, ocorre a retirada do excesso de água da subamostra com auxílio de Pipeta Pasteur, em seguida a subamostra é pesada e colocada em placa de Petri para os ovos serem fotografados com câmera digital (modelo LEICA EZ câmera 2.6.0) acoplada ao estereoscópio óptico (marca Nikon, modelo Leica M80). O programa responsável por determinar a escala fotográfica das imagens foi LAS EZ 3.0.0, instalado em computador e ligado ao estereoscópio óptico. O número de ovos em cada imagem digital adquirida foi contabilizado através do programa Paint (Microsoft®) ou CountThings. Posteriormente, extrapolado para determinar o número total por fêmea, de acordo com o volume total de ovos avaliado por indivíduo. Todo material analisado foi preservado em álcool 70%.

2.1.3 Diagnóstico de contaminação da vegetação do manguezal por metais nas áreas de estudo

Sedimentos - As amostras de sedimentos foram coletadas nas parcelas de franja e de bacia inseridas nos estuários monitorados. Estas parcelas correspondem as áreas de coletas de flora e fauna, supracitadas nos itens 2.1.1 e 2.1.2. Ao longo de cada parcela, 6 subamostras de sedimento foram coletadas até a profundidade de 5 centímetros por meio de coletores constituídos por um tubo de PVC. A fim de compor a amostra composta representativa da área, as subamostras foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados, com o nome da parcela e inseridas em caixa térmica com gelo até posterior armazenamento em freezer em laboratório.

Cultivo - Em janeiro de 2023 propágulos de *R. mangle* foram coletados em diferentes indivíduos adultos no manguezal da Guaxindiba, região localizada foz natural do rio Itaúnas, por esforço intensivo nas duas margens do rio. Após a coleta, os propágulos foram transportados para o laboratório de Ecologia do Ecossistema Manguezal (CEUNES/UFES) e foram triados, lavados em água corrente com detergente neutro para retirar resíduos de lama e areia, bem como micro-organismos e identificados. Após a lavagem inicial, os propágulos passaram pelo processo de assepsia pela imersão em solução de hipoclorito de sódio a 2,5% durante 10 minutos seguido de tríplice enxágue. Após a assepsia, foi mensurado o comprimento (cm) por meio de trena calibrada e peso fresco (g) aferido em balança analítica com precisão de 0,001g e diâmetro (mm) com auxílio de paquímetro digital. Após esta, etapa os indivíduos sem avarias foram selecionados para implantação do experimento.

Para avaliar o efeito do ferro e manganês no desenvolvimento e fisiologia de plântulas de *R. mangle*, os propágulos coletados foram levados à casa de vegetação, localizada no CEUNES/UFES. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), distribuídos em seis tratamentos, com seis repetições por concentração, resultando em 36 parcelas experimentais para cada metal. Cada bloco é constituído por seis vasos, cada vaso representa um tratamento.

Inicialmente os propágulos foram cultivados tendo como substrato solução de Hoagland e Arnon (1950) modificada, seguindo o protocolo definido por Tognella et al. (2019). Após quatro meses, os meios de cultivo existentes foram trocados para todas as amostras sendo, então, adicionadas à solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) diferentes concentrações de Fe na forma de cloreto de ferro (FeCl₃). Isto resultou nos seguintes tratamentos, baseados na concentração final de Fe: (1) - 0 µmol L⁻¹ (2) - ; (3) - 315 µmol L⁻¹; controle (4) - 630 µmol L⁻¹; (5) - 945 µmol L⁻¹; e (6) - 1260 µmol L⁻¹ de Fe sendo o pH da solução ajustado a 5,5 ±0,2.

O manganês, utilizado na forma de sulfato de manganês (MnSO₄), resultou nos seguintes tratamentos: (1) - 0 µmol L⁻¹ (2) - controle; (3) - 370 µmol L⁻¹; (4) - 740 µmol L⁻¹; (5) - 1110 µmol L⁻¹; e (6) - 1480 µmol L⁻¹ de Mn sendo o pH da solução ajustado a 5,5 ±0,2.

As concentrações do controle para Fe e Mn são as indicadas na solução de Hoagland e Arnon (1950).

Mensalmente são monitorados os parâmetros morfológicos (comprimento do epicótilo e número de folhas) e a fluorescência da clorofila *a*. Ao final do experimento serão analisados concentração de

metais nos diferentes compartimentos das plântulas, assimilação de carbono e trocas gasosas, área foliar e pigmentos fotossintetizantes. A aquisição destes parâmetros será realizada apenas ao final, pois se trata de processos destrutivos.

2.2 ANÁLISE

2.2.1 Estrutura e Funcionamento da Flora do Rio Doce e dos Manguezais de Aracruz (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), Barra Nova (Rio Mariricu) e Conceição da Barra (Rio São Mateus)

Metais foliares - para a análise foliar foram considerados os seguintes nutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu). Os elementos foram analisados após mineralização pela digestão nítrico-perclórica e foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (BLANCHARD et al., 1965). Além destes, o metal tóxico chumbo (Pb) foi quantificado de acordo com Malavolta et al. (1997).

Atividade antirradicalar - as amostras de folhas secas e moídas foram pesadas ($\pm 0,5000$ ou $\pm 1,0000$ g cada) em balança analítica (BIOPRECISA, modelo Fa2104n, acurácia de 4 casas decimais) utilizando papel de pesagem e transferidas individualmente para tubos Falcon de 15 mL, previamente identificados. Após, foram adicionados 5 mL de metanol (HPLC PAI-ACS, marca Panreac) em cada tubo Falcon utilizando pipeta automática (NAVELAB). Os tubos Falcon foram fechados e colocados em banho ultrassônico (SANDERS, modelo Soniclean 2) a 40 KHz por 160 minutos para extração. A cada 40 minutos, os tubos Falcon eram retirados do banho e agitados durante 30 segundos em um agitador de tubos. Em seguida, os tubos Falcon foram colocados em uma centrífuga de bancada (NOVA INSTRUMENTS, modelo NI1811-A) e centrifugados a 3400 rpm durante 20 minutos. O extrato sobrenadante dos tubos Falcon centrifugados foram transferidos para tubos de ensaio de 15 mL previamente identificados e de massa conhecida. A seguir, os tubos de ensaio foram postos em estufa de secagem (DELEO, modelo A5SE) a 50° C até evaporação total do solvente metanol e até apresentação de massa constante de extrato seco na pesagem. Os tubos de ensaio com o extrato seco foram pesados novamente e, então, adicionados 5 ou 10 mL de metanol (dependendo da massa inicial) utilizando pipeta automática. Os tubos com o extrato seco foram colocados em banho ultrassônico por 5 minutos até total dissolução do extrato no solvente.

Para os testes de atividade antioxidante com DPPH[•], todas as soluções metanoicas dos extratos secos foram diluídas em metanol (duas, cinco, dez ou vinte vezes), para que a absorbância medida se mantenha dentro da faixa de trabalho. As soluções já diluídas foram denominadas como soluções de trabalho (ST). Os ensaios foram realizados adicionando alíquotas de 15 µL, 25 µL e 35 µL de cada ST, em cubetas contendo 3,0 mL de solução metanoica de DPPH[•] 0,2 mmol. L⁻¹ e a reação foi mantida ao abrigo da luz durante 60 minutos antes das medidas espectrofotométricas. Todos os ensaios foram realizados em triplicata. As medidas foram realizadas em espectrofotômetro Lambda 16 da marca Perkin Elmer, monitorando a absorbância das amostras em 517 nm. Os brancos consistem em 3,0 mL de metanol contendo 15 µL, 25 µL ou 35 µL da respectiva ST. O controle negativo foi uma solução contendo apenas DPPH 0,2 mmol. L⁻¹ em metanol.

O cálculo da porcentagem de inibição do radical DPPH[•] foi realizado de acordo com a seguinte equação:

$$\% \text{ inibida} = \left(1 - \frac{[A(a) - A(b)]}{[A(c) - A(b)]} \right) \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

Onde A(a) é a absorbância da amostra, A(b) é a absorbância do branco, e A(c) é a absorbância do controle negativo.

A partir das porcentagens inibidas para cada concentração, foram determinados os valores de IC₅₀ (concentração necessária para inibir 50% do radical DPPH[•]), por meio de regressão linear. Como todas as análises foram realizadas em triplicata, foram utilizados a média e o desvio padrão para representar o IC₅₀ de cada amostra (Apêndice).

Análise de pigmentos - amostras de 5 g de massa fresca congeladas à -30° C foram trituradas em nitrogênio líquido (N₂) até redução à pó fino, o qual foi transferido para tubos de ensaio. Nesta amostra foi adicionado 15 mL de solução de acetona 90% + de 0,5 g.L⁻¹ de carbonato de cálcio (CaCO₃). Imediatamente após esse processo, os tubos de ensaio foram acondicionados em temperatura de 2° C por 24 h para extração completa dos pigmentos (modificado de ARAR, 1997). Depois disso, as amostras foram filtradas e o sobrenadante armazenado em frascos âmbar à -30° C até a análise por espectrofotometria.

O procedimento de extração foi realizado de forma que os efeitos da luz, da temperatura e da ação enzimática sobre a degradação da clorofila fossem minimizados. As vidrarias contendo as amostras foram protegidas contra a luz e os solventes de extração foram utilizados gelados. O tempo de extração foi mantido ao seu mínimo possível, diminuindo assim a possibilidade de degradação dos pigmentos analisados. Os tubos de ensaio foram vedados com papel alumínio e mantidos em gelo.

O procedimento de extração dos pigmentos ocorreu como descrito acima. Posteriormente, foram determinadas as leituras da densidade ótica em espectrofotômetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA) a 470 nm, 645 nm e 663 nm. As determinações das concentrações dos pigmentos fotossintéticos foram realizadas de acordo com as equações propostas por Wellburn (1994) e expressas em mg mL⁻¹ de massa fresca:

$$\text{Clorofila } a = (12,25 \times A_{663} - 2,79 \times A_{645})$$

$$\text{Clorofila } b = (21,5 \times A_{645} - 5,1 \times A_{663})$$

$$\text{Carotenoides} = (1000 \times A_{470} - 1,82 \times \text{Clor } a - 85,02 \times \text{Clor } b / 198)$$

Onde: A₄₇₀ = absorbância em 470 nm; A₆₄₅ = absorbância em 645 nm; A₆₆₃ = absorbância em 663 nm.

Fluorescência da clorofila *a* - as medições foram realizadas utilizando-se fluorômetro portátil Handy-PEA (Hanstech Instruments Ltd., King's Lynn, Norkfolk, UK). As folhas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos (FALQUETO et al., 2008) utilizando-se clipes foliares apropriados (Hansatech

Instruments, UK), para a oxidação completa da cadeia de transporte de elétrons. A intensidade de fluorescência em 50 μ (considerado como F0), 100 μ s, 300 μ s, 2 ms (FJ), 30 ms (FI) e a fluorescência máxima (Fm) foram registradas e utilizadas para os cálculos dos parâmetros do teste JIP de acordo com Strasser et al. (2004) e Stirbet e Govindjee (2011). O parâmetro que compõe o indicador ecológico flora utilizado no relatório foi PI_{Total} – índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II (FSII) para a redução dos aceptores finais do fotossistema I (FSI), uma vez que é considerado um dos parâmetros mais sensíveis para medir a eficiência quântica do FSII (SMIT et al., 2009).

Assimilação de carbono - para as medidas da assimilação de CO_2 utilizou-se medidor portátil de fotossíntese (Infrared gas analyzer, IRGA) modelos LCi, LCi T e Lcpro T (ADC, Bio Scientific Ltd. Hoddesdon, England). O parâmetro analisado neste relatório foi a assimilação de CO_2 ($A - \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$). O uso eficiente da água foi calculado para todas as espécies, mas não inserido neste documento, pois não foi possível estabelecer relação com o rompimento da barragem. Os dados são continuamente entregues na planilha de dados brutos.

Análise estatística - Todos os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett). Os parâmetros fisiológicos que apresentaram normalidade e homogeneidade foram submetidos ao teste ANOVA, seguido do teste post-hoc de Tukey, para as comparações entre os períodos (secos e chuvosos) do monitoramento em cada estuário para cada espécie e por compartimento, quando pertinente. A análise temporal contemplou todos os períodos secos e chuvosos do monitoramento, exceto o período seco de 2020 em função da pandemia causada pela Covid-19 que impossibilitou as saídas de campo. A região onde estão inseridas as áreas de estudo, região tropical, é caracterizada por um período seco (abril a setembro) e período chuvoso (outubro a março) (NOBREGA et al., 2010; RRDM, 2019 RT 21, Anexo 5 Manguezal). Maiores descrições dos manguezais estudados encontram-se em Tognella et al. (2022). As análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2022) e os pacotes utilizados foram *ExpDes.pt* (FERREIRA et al., 2021) e *readxl* (WICKHAM et al., 2023). Os parâmetros fisiológicos que não apresentaram normalidade e homogeneidade foram submetidos ao teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas *a posteriori*, com correção de Bonferroni (ZAR, 1996). Para estas análises, os seguintes pacotes foram utilizados: *dplyr* (WICKHAM et al., 2023), *readxl* (WICKHAM et al., 2023) e *easyanova* (ARNHOLD, 2022).

A análise integrada dos dados estruturais e do Fator de Bioacumulação (FBA) foi obtida por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) que utiliza matriz de correlação dos dados (LEGENDRE e LEGENDRE, 1994), para isto empregou-se o programa R (R CORE TEAM, 2023), usando os pacotes “ggplots2” (WICKHAM, 2016), *FactoMineR* (LE et al., 2008), *factoextra* (KASSAMBARA e MUNDT, 2017) e *factoInvestigate* (THULEAU E HUSSON, 2020). Para avaliar a estrutura populacional das florestas de mangue foram analisados os parâmetros estruturais obtidos em outubro 2023 como referência. Os dados abióticos analisados incluíram o fator de bioacumulação de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn), referente às amostras coletadas entre outubro de 2018 a junho 2023.

A análise de agrupamento Tangleram foi empregada para realizar uma análise comparativa da estrutura das florestas monitoradas. Os parâmetros estruturais analisados foram coletados em outubro/dezembro 2019 (ano 1) e outubro/novembro 2023 (ano 5). A análise foi conduzida no programa R (R CORE TEAM, 2023), utilizado o pacote dendextend (GALILI, 2015).

Também foi realizada a Análise de Componentes Principais no que diz respeito aos dados fisiológicos e de concentração de metais em folhas para cada espécie, sendo conduzido por meio dos pacotes estatísticos citados acima. A ACP, representando os estuários pelos compartimentos A e C para *R. mangle*, foi produzida por estação climática, isto é, uma para o período chuvoso e outra para o período seco. Para *L. racemosa*, uma única ACP foi conduzida, considerando os períodos, e contemplou-se os estuários, uma vez que a espécie é amostrada para os parâmetros fisiológicos (Quadro 1) apenas no compartimento C. Para *T. pernambucense*, também foi construída uma ACP considerando todos os períodos amostrais (seco e chuvoso) para a foz do Rio Doce. No Novo Ciclo do PMBA/Fest mais duas áreas de *T. pernambucense* foram adicionadas (Piraquê-Açu e São Mateus) e uma ACP foi construída comparando-as com os indivíduos do Rio Doce.

A fim de integrar os dados de Fator de Bioacumulação (FBA) e os dados fisiológicos para as espécies de mangue (*R. mangle* e *L. racemosa*) e para *T. pernambucense* uma ACP foi construída para cada espécie, considerando as estações climáticas.

Análise de correlação de Spearman entre dados fisiológicos e concentração de metais em folhas foi realizada para cada espécie de mangue e para cada período (chuvoso e seco). Para *T. pernambucense*, a correlação de Spearman foi realizada utilizando todos os dados coletados para o Rio Doce, independente do período, e outra análise considerando as três áreas nas quais a espécie é monitorada a partir do Novo Ciclo do PMBA/Fest. As análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2022) e os pacotes utilizados foram ds (ARNHOLD, 2019) e corrplot (WEI e SIMKO, 2021).

Análise de Redundância (RDA) foi realizada para *R. mangle* e *L. racemosa* a fim de descrever os atributos ambientais (variáveis preditoras ou explicativas) que mais contribuem na variância dos dados fisiológicas (variáveis resposta). A análise foi conduzida no programa R (R CORE TEAM, 2022), utilizando os pacotes *vegan* (OKSANEN et al., 2022) e *extrafont* (CHANG, 2023), seguindo a sequência de análise proposta por Powell (2019). As variáveis colineares e não significantes foram identificadas e retiradas do modelo; em seguida o modelo é submetido ao teste de permutação para verificar sua significância. As variáveis explicativas consideradas para *R. mangle* foram metais foliares (Mn, Fe, Zn, Pb e Cu), precipitação e salinidade intersticial; sendo as mesmas examinadas para *L. racemosa* com a adição das características do sedimento (teor de matéria orgânica e fração de areia e lama). Considerou-se como nível de significância estatística o α igual a 0,05 para todos os testes descritos acima.

Mapeamento – Assimilação de Carbono (A) e Índice de Conservação (PI_{Total}). O mapeamento foi realizado para todas as espécies da Flora, utilizando para cada uma das variáveis uma forma geométrica diferente com uma determinada tonalidade para definir baixo, médio ou alto nível de A e

PI_{Total}. A apresentação de ambas as variáveis foi realizada num mesmo mapeamento para cada um dos 8 períodos analisados permitindo a comparação por ano e ainda as mudanças ao longo dos anos. Neste mapeamento temático, a intenção é facilitar a leitura e comparação dos resultados para diferentes grupos. Foram utilizadas as cartografias base recomendadas e o mapeamento original foi realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1. Para a comparação gráfica da análise da evolução temporal foi utilizada ferramenta Power point. Os *shapefiles* correspondem a duas tabelas, uma para PI_{Total} e outra para A, construídas a partir das análises desses dados.

Mapeamento – Bioacumulação (FBA). O mapeamento da Bioacumulação utilizou 4 classes (ausência de acúmulo, baixa bioacumulação, bioacumulação média e alta bioacumulação). A cartografia temática foi elaborada para a comparação de 5 metais em 8 períodos. Foi escolhido um símbolo (forma geométrica) para representar as classes do mesmo tamanho, mas com cores bem diferenciadas. Os metais mapeados foram ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e chumbo (Pb), e as espécies da flora mapeadas foram: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia schaueriana* e *Talipariti pernambucense*. Como nos outros mapeamentos foram utilizadas as cartografias base recomendadas e o mapeamento original foi realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1 e para a comparação gráfica da análise da evolução temporal, foi utilizada ferramenta Power point. O *shapefile* utilizou uma tabela, para todos os metais e para todos os anos, construída a partir dos resultados dessa análise.

Mapeamento – Metais no sedimento. Os metais no sedimento foram mapeados todos no mesmo mapa para cada período, a simbologia escolhida para cada metal não corresponde a um padrão internacional, mas no mapa temático elaborado é possível diferenciar cada metal claramente e com isto observar sua concentração ao longo do tempo segundo os parâmetros estabelecidos na literatura. Os metais mapeados foram vanádio, cobalto, níquel, cobre, arsênio, cádmio, bário, chumbo, cromo, ferro, alumínio, manganês; outros metais analisados não foram mapeados pois não ultrapassaram os limites estabelecidos. Como nos outros mapeamentos foram utilizadas as cartografias base recomendadas e o mapeamento original foi realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1 e o PowerPoint para a comparação gráfica da análise da evolução temporal. O *shapefile* gerado corresponde a uma tabela para todos os anos.

2.2.2 Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos

A densidade populacional (indivíduos/m²) em cada unidade amostra (n = 3), totalizando 75 m², foi estimada considerando a contagem de galerias habitadas (fechadas e abertas) registradas, uma vez que cada uma é habitada por um indivíduo (SCHMIDT, 2006). As galerias foram diferenciadas em abertas, fechadas (indicativo de ecdise) e vazias, identificadas pela ausência de atividades biogênicas (marcas de rastros, dejetos ou movimentação de substrato). A medição do diâmetro (menor e maior) da abertura de cada uma, uma vez que estas são elípticas, foi realizada para auxiliar na avaliação da estrutura populacional. O menor diâmetro das galerias foi empregado para estimar o tamanho dos indivíduos de *U. cordatus*, uma vez que este possui melhor correlação com o comprimento do cefalotórax do caranguejo devido ao hábito da espécie entrar de lado na galeria (SCHMIDT et al., 2008).

A estimativa foi obtida pela conversão do valor do menor diâmetro da galeria em comprimento de cefalotórax (Equação 1) e, posteriormente, em largura (Equação 2), por meio das equações lineares propostas por Schmidt et al. (2008), sendo elas:

Abertura da galeria

$$\text{Diâmetro menor} = 0,36 + 1,04 * CC \text{ (Equação 1)}$$

Comprimento do cefalotórax

$$LC = -0,05 + 1,30 * CC \text{ (Equação 2)}$$

Onde, CC (mm) corresponde ao comprimento e LC (mm), a largura do cefalotórax, ambos em unidade de milímetros.

O teste de Shapiro-Wilk e Bartlett foram utilizados para verificar a normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Os dados foram transformados ($\log + 1$) quando não apresentaram distribuição normal ou variâncias homogêneas, premissas para aplicar ANOVA paramétrica. A ANOVA unifatorial (Teste F) e o teste de Tukey para comparações múltiplas foram aplicados para verificar diferenças na densidade populacional (variável dependente) de *U. cordatus* entre os períodos amostrados (variável independente) (chuvoso 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023; e seco 2019, 2021, 2022 e 2023) em cada estuário. As mesmas análises estatísticas foram aplicadas para a variável dependente largura do cefalotórax (mm). Quando os dados não apresentaram distribuição normal, mesmo após a transformação, o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis e o *pós-hoc* de Comparações Múltiplas com a correção de Bonferroni, para ajustar o valor de significância de p , foram realizados. As referências utilizadas nestas análises foram Gotelli e Ellison (2013) e Zar (2010).

Para *C. guanhumi*, ANOVA unifatorial foi aplicada para avaliar a diferença da densidade de indivíduos entre os períodos em cada estuário. A análise de normalidade dos resíduos e a homogeneidades das variâncias também foram realizadas através do teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados foram transformados ($\log + 1$) quando não atenderam as premissas para aplicar ANOVA paramétrica (Teste F), e o teste de Tukey para comparações múltiplas. Após a transformação, ao não atenderem novamente as premissas, o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis e o de Comparações Múltiplas com a correção de Bonferroni, para ajustar o valor de significância de p , foram executados.

Histogramas da distribuição de frequência das classes de tamanho (mm) para *U. cordatus*, por período chuvoso e seco, foram elaborados a partir das estimativas do tamanho dos indivíduos, ocupando cada galeria, para cada estuário para auxiliar na interpretação da estrutura populacional da espécie quanto a frequência de jovens ($LC \leq 45$ mm, CONTI e NALESSO, 2010) e adultos na população. Para *C. guanhumi*, os histogramas foram construídos com base nos valores de largura do cefalotórax dos indivíduos capturados e medidos em campo. Indivíduos com $LC \leq 55$ mm foram considerados jovens (SILVA e OSHIRO, 2002).

A razão sexual foi estimada para as duas espécies, em cada estuário, nos períodos chuvoso e seco de cada ano e o teste do Qui-quadrado (X^2) aplicado para avaliar diferenças significativas na frequência de distribuição de machos e fêmeas em relação a frequência esperada na natureza (1:1). Para fins de inferência, adotou-se o nível de significância de 5% (ZAR, 2010) para esta e todas as demais análises. Embora seja um importante indicador de alterações na população, até o momento não foi possível estabelecer relação entre o parâmetro e o rompimento da barragem, assim, a análise não foi inserida neste documento. Os dados são continuamente entregues na planilha de dados brutos.

Para a realização das análises multivariadas de componentes principais (PCA = *Principal Component Analysis*), o procedimento segundo Gotelli e Ellison (2013) com representação gráfica *biplot* (HOTELLING, 1933; CRUZ e CARNEIRO, 2006) foi utilizado. A PCA foi empregada considerando todos os períodos chuvosos e secos, para a totalidade dos estuários em cada compartimento (A: Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; B: Rio Doce; C: Barra Nova e São Mateus), bem como a mesma abrangência temporal para os compartimentos A e C. Os parâmetros populacionais (densidade e largura do cefalotórax), granulometria (frações areia e lama em %), teor de matéria orgânica (%) e carbonato de cálcio CaCO_3 (%) no sedimento, concentração de metais no sedimento (Alumínio, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Chumbo, Vanádio, Zinco e semi-metal Arsênio em mg/kg) foram empregados nesta análise. Os valores de cada variável foram inicialmente padronizados pela equação $Z = (Y_i - \bar{Y})/s$ em que Z representa o valor padronizado adimensional, Y_i corresponde ao valor da amostra i para a variável original Y , e \bar{Y} e s representam sua média e desvio padrão respectivamente. A Distância Euclidiana foi usada como medida de dissimilaridade e a representação da variabilidade em gráfico bidimensional com base nos dois primeiros componentes principais. Análise de correlação de Pearson também foi realizada entre os parâmetros populacionais e concentração de metais no sedimento e micronutrientes foliar (Alumínio, Chumbo, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco) considerando todos os períodos chuvosos e secos em cada estuário. A Análise de Redundância (RDA) foi realizada para explorar as relações entre os parâmetros populacionais (densidade e largura média da carapaça), as propriedades do sedimento (granulometria, carbonato de cálcio e matéria orgânica), salinidade intersticial, concentração (mg/kg) de As e metais no sedimento (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V e Zn) e nas folhas (Al, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) e elucidar os efeitos dessas variáveis na D e LC de *U. cordatus* de acordo com Powell (2019). Os dados foram agrupados por períodos (chuvosos e secos) em cada estuário. O Rio Doce não foi considerado nesta análise em função do número amostral. Esta e as demais análises foram executadas no programa R versão 4.2.2 (R CORE TEAM, 2022) utilizando os pacotes *easynova* (ARNHOLD, 2022), *ggplot2* (WICKHAM, 2011), *factoextra* (KASSAMBARA e MUNDT, 2017), *FactoInvestigate* (THULEAU e HUSSON, 2020), *FactoMineR* (LE et al., 2018), *ds* (ARNHOLD, 2019) e *vegan* (OKSANEN et al., 2022).

A fecundidade foi estimada por meio da expressão proposta por Ogawa e Rocha (1976) descrita abaixo:

$$F = N * (P/PS) \text{ (Equação 3)}$$

onde: F = fecundidade individual; N = número de ovos da subamostra; P = peso total da massa de ovos (g); e PS = peso da subamostra (g).

A análise de covariância (ANCOVA) foi realizada para comparar a fecundidade de *U. cordatus*, variável dependente, considerando o tamanho médio como covariável, entre os períodos reprodutivos (2019, 2020, 2021, 2022 e 2023), variável independente, no âmbito do PMBA/Fest e dados pretéritos encontrados por Porto et al. (2021), em 2015 e 2016, no estuário do Rio São Mateus. A homogeneidade das variâncias foi testada por meio do teste de Levene e em relação a normalidade, o teste de Shapiro-Wilk foi conduzido para avaliar a distribuição dos resíduos (ZAR, 2010). A ANCOVA foi executada somente quando todos os pressupostos foram atendidos (FIELD et al., 2012). Quando não foi possível realizar esta análise, a ANOVA paramétrica ou não paramétrica (Kruskal-Wallis) foi utilizada.

Mapeamento – Densidade e Estágio de desenvolvimento. Para delimitar a distribuição dos habitats das espécies *C. guanhumi* e *U. cordatus*, com base na utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG – ARCGIS 10.1) no litoral norte capixaba, foi necessário estabelecer procedimento padrão na utilização do GPS pós-processado Juno (Trimble). Os dados registrados em cada vértice das parcelas fixas foram desenhados na imagem do satélite SKYSAT de alta resolução (1 m de resolução) e o ponto de localização final para cada estação amostral da espécie corresponde ao centro geométrico de cada parcela. Os marcos geodésicos (estabelecidos pelo RTK) são importantes no processo de mapeamento, pois fornecem precisões apuradas e permitem voltar as áreas com exatidão, é possível determinar a localização das parcelas em função da distância aos marcos instalados nas áreas. Na construção do mapeamento temático foi utilizada a densidade média (indivíduos/m²) e largura do cefalotórax (mm) o que forneceu a estimativa do estágio de desenvolvimento para ambas as espécies *U. cordatus* e *C. guanhumi* em cada estuário monitorado. O mapeamento temático utilizou desenhos dos caranguejos e cores diferentes para o estágio adulto e juvenil, segundo a largura do cefalotórax e formas geométricas diferenciadas para representar as densidades. Como nos outros mapeamentos foram utilizadas as cartografias base recomendadas e o mapeamento original foi realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1 e o Power Point empregado para realizar a comparação gráfica da análise da evolução temporal. Os mapas contêm dois *shapefiles* por espécie.

Mapeamento – Ocorrências dos indicadores ecológicos decápodes, *Cardisoma guanhumi* e *Ucides cordatus*. Estudos indicam que o guaiamum e o uçá possuem uma conexão estreita com seu habitat (os manguezais). No trabalho de Riecken e Blab in LANG, BLASCHKE (2009), podemos encontrar uma compilação relevante dos recursos que são importantes para a ocorrência de espécies animais nos diferentes habitats, para o mapeamento da ocorrência dos decápodes foram considerados: a) a densidade; b) o habitat; c) a avistagem do indicador ecológico. Como observado a metodologia foi simplificada em função dos estudos desenvolvidos desde 2018 e focando no plano de trabalho do PMBA/Fest. O termo avistagem foi empregado para identificar áreas de ocorrência observadas durante os trabalhos de mapeamento com vistoria em terra. Isto não significa que o habitat das espécies não envolva toda área do manguezal e, no caso do guaiamum, as planícies internas e as florestas de Restinga.

Os mapas temáticos de ocorrência do indicador ecológico decápode, consideraram então a avaliação de possíveis alterações da estrutura populacional utilizando o parâmetro densidade num contexto

espaço-temporal, utilizando o número de galerias, diâmetro das galerias, etc. Neste mapeamento foi dado um destaque a densidade média para cada local amostrado, associando o mesmo a seu habitat.

Considerando estas relações foi utilizada a avaliação ecológica rápida dos estuários para complementar os dados das áreas amostradas, verificando a presença (avistagem) do *Cardisoma guanhumi*, Latreille, 1828, e o observando o habitat onde foi avistado. E a mesma metodologia foi aplicada para a espécie *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), considerando a densidade das espécies nas áreas amostradas nos compartimentos estudados e seus respectivos estuários.

O mapeamento temático da ocorrência de ambas as espécies, considera: os pontos onde as parcelas foram levantadas (áreas amostradas), o avistamento das espécies ao longo do ecossistema manguezal e, por conseguinte, a área que ele ocupa no estuário. A equipe se deslocou por terra e pelos rios de cada estuário, marcando os pontos onde a espécie foi avistada.

Por existir uma estreita relação entre os indicadores ecológicos e seu habitat (decapoda/manguezal) se procedeu primeiro ao mapeamento dos manguezais em cada estuário pelo que foram digitalizados no Sistema de Informação Geográfica (SIG) - ARCGIS os polígonos do ecossistema manguezal em cada uma das áreas estudadas e verificado em campo o limite desses polígonos (utilização de RTK, GPS pós processado e interpretação de imagens de satélite). As ilhas sem mangue dentro dos próprios polígonos foram consideradas como apicuns, áreas sendo colonizadas, pertencentes ao ecossistema manguezal, com a exceção de povoados ou urbanização encontrados e interpretados como não pertencentes a classe manguezal.

O mapeamento final de ocorrência foi elaborado considerando-se o maior índice de densidade média ao longo do monitoramento registrado em cada área (diferenciando do mapeamento das densidades, onde foi apontada a média), analisados e representado por simbologia apropriada (caranguejo de diferente tamanho sobre círculo colorido para ressaltar dentro da mancha de vegetação digitalizada. A simbologia utilizada permite entender as diferentes densidades encontradas, sendo que a avistagem também está simbolizada. O mapa temático possui legenda, que por sua vez assinala as densidades encontradas nas áreas divididas em intervalos, a espécie representada por um desenho (como já foi observado), o símbolo para o manguezal com a respectiva área em hectares e as áreas degradadas.

2.2.3 Diagnóstico de contaminação da vegetação do manguezal por metais nas áreas de estudo

Sedimentos – Granulometria e Teor de CaCO_3 - Em laboratório, após o descongelamento, cerca de 50 gramas da amostra bruta foram separados para a análise granulométrica. A fim de não afetar a pesagem e classificação da granulometria, antes dos processos de separação de grãos foram retirados da amostra os sais solúveis, matéria orgânica e carbonato de cálcio. Primeiramente, para a retirada dos sais, foi realizada a lavagem da amostra com água por meio da técnica de decantação em becker de 1 L por três vezes. Após esse procedimento, a amostra foi seca em estufa a 60 °C e pesada. A oxidação da matéria orgânica ocorreu pelo uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - 30% PA) em chapa aquecedora a 70°C, onde o reagente foi inserido aos poucos na amostra. A oxidação foi finalizada

quando a inserção de H_2O_2 deixou de gerar reação de borbulhamento no sedimento. Para retirar todo o peróxido de hidrogênio, foram realizadas três lavagens com água destilada após a decantação da amostra. Após a secagem da amostra, uma nova pesagem precedeu a descarbonatação do sedimento, através do uso de ácido clorídrico (HCl PA). Para este fim, o becker com a amostra foi colocado em uma capela de exaustão de gases para a adição lenta e gradual de HCl com o auxílio de uma proveta. O procedimento continua até que a adição de HCl não provoque mais reação (borbulhamento). Terminada a retirada dos carbonatos, o sedimento foi lavado cinco vezes com água destilada e seco em estufa. Após seco, o becker com o sedimento descarbonatado é novamente pesado e o teor de carbonato de cálcio é obtido pela diferença de peso da amostra antes e após a descarbonatação. Em seguida, o valor é transformado em porcentagem de carbonato de cálcio em relação ao peso total da amostra, conforme método primeiramente reportado por Gross (1971).

Posteriormente, foi feita a separação úmida das frações grossa (areia + cascalho) e fina (silte + argila), na qual procedeu-se colocando a amostra lavada em peneira com abertura igual a 63 μm sob água destilada. O becker contendo a fração fina foi deixado em repouso até completa deposição do sedimento em suspensão. Após a decantação, o excesso de água foi drenado cuidadosamente com uma mangueira e a fração lama foi analisada empregando-se o granulômetro a laser, Mastersizer 2000 da Malvern Instruments de acordo com a metodologia adaptada de Dias (2004).

O Becker contendo a fração grossa (após a água ser drenada) foi levado à estufa a 60°C para secagem da amostra. Após seco, o sedimento foi pesado e seguiu para o fracionamento, que consiste em utilizar conjunto de peneiras com telas de malhas de 2 mm a 0,063 mm colocadas em um agitador mecânico durante 15 minutos. A quantidade retida em cada peneira foi pesada e posteriormente planilhada. A escala granulométrica utilizada foi a de Wentworth (1922), em que as frações maiores que 0,063 mm são classificadas como areias/grânulos e as menores, como silte/argila (SUGUIO, 1973).

Sedimentos – Teor de Matéria Orgânica - O teor de matéria orgânica (MO) presente nos sedimentos foi mensurado por meio do método de calcinação, que consiste na queima da MO em altas temperaturas. Para isso, 2 g de cada amostra de sedimento foi pesada e acondicionada em cadinhos de porcelana. Posteriormente, foram submetidas à temperatura de 450 °C na mufla durante 4 horas. A massa da MO é definida pelo peso do sedimento antes da queima na mufla subtraído do peso após a queima na mufla segundo método modificado Goldin (1987). O teor é a conversão deste valor em porcentagem, podendo-se encontrar a concentração de MO presente nas amostras por meio do cálculo:

$$MO = \frac{Pf \cdot 100}{Pi}$$

Onde MO é o teor de matéria orgânica (%), Pf é o peso final (g) e Pi é o peso inicial (g) das amostras.

Sedimentos – Concentração de Metais - A análise de metais em sedimentos foi realizada segundo método US EPA 3051A (USEPA, 2013), que preconiza a digestão de cerca de 0,50 g de sedimento seco e homogeneizado, em 10 mL de HNO_3 em tubos de Teflon com o uso do forno micro-ondas (CEM, MARX X-PRESS) seguindo os seguintes parâmetros: 1ª rampa de temperatura 25°C a 175°C em 5:30min. e a 2ª rampa de 25°C a 175°C em 4:30min., ambas em potência de 1600 W. A solução foi

então resfriada e filtrada utilizando o filtro Whatman nº 1 e diluída para 100 ml num balão volumétrico e as soluções analisadas pelo ICP -MS (Espectrometria de massa de plasma indutivamente acoplada; Agilent, CX7500). Os elementos analisados pelo ICP-MS foram: vanádio, cobalto, níquel, cobre, arsênio, prata, cádmio, bário, chumbo, cromo, ferro, alumínio, manganês, zinco e mercúrio. O material de referência (SS-2, Enviro MATTM) foi analisado para certificação do método e porcentagens de recuperação desses elementos.

Os resultados das concentrações de metais (mg kg^{-1}), foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett). Quando os resultados apresentaram distribuição normal, as comparações entre os períodos amostrados (chuvoso 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023; e seco 2019, 2021, 2022 e 2023) foram determinadas pelo teste de Análise de Variância (ANOVA), seguido do teste post hoc Tuckey. Quando os dados não indicaram normalidade, as comparações supracitadas foram determinadas pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas a posteriori (Teste de Bonferroni) (ZAR, 1996).

As PCAs (Principal Component Analysis) do indicador abiótico sedimentos foram representadas graficamente com a função biplot (HOTELLING, 1933; CRUZ e CARNEIRO, 2006), segundo procedimento de Gotelli e Ellison (2013). As PCAs dos períodos chuvosos foram constituídas com parâmetros de granulometria (cascalho, areia e lama (%)), teores de matéria orgânica (%) e CaCO_3 (%) e concentração de metais encontrados nos sedimentos (V, Co, Ni, Cu, As, Ag, Cd, Ba, Pb, Cr, Fe, Al, Mn, Zn e Hg (mg kg^{-1})) nos estuários dos compartimentos A (PA e PM), B (RD) e C (BN e SM), considerando apenas os períodos chuvosos. O mesmo procedimento foi adotado para a construção das PCAs dos períodos secos, porém apenas os resultados destes períodos foram utilizados. Os programas Excel e Software Rstudio (R CORE TEAM, 2023, versão 4.3.2) foram aplicados nas análises descritas acima.

Cultivo- Taxa de Crescimento: A taxa de crescimento (TC) é calculada pela fórmula: $TC = \frac{\Delta C}{\Delta T}$

Onde, ΔC corresponde à variação da altura (em cm) e ΔT (tempo em dias) refere-se ao intervalo entre as observações. A taxa de crescimento relativo (TCR), diferentemente da TC, leva em consideração o

peso dos indivíduos, sendo balizada como: $TCR = \left[\frac{(\ln \ln Ps1 - \ln \ln Ps2)}{(Ti - Tf)} \right]$;

onde, Ps1 e Ps2 correspondem, respectivamente, ao peso seco em gramas do indivíduo no início e ao final do experimento, isto é, em Ti e Tf (MCKEE, 1995). O peso seco inicial (Ps1) foi obtido com base nos 134 propágulos que não foram utilizados no experimento. A massa seca destes propágulos foi utilizada na elaboração da curva de regressão para correlação com os propágulos do experimento.

Parâmetros fisiológicos - A fluorescência transiente da clorofila a e a assimilação de carbono correspondem aos parâmetros fisiológicos que vão identificar a eficiência do indivíduo na utilização da água, nutrientes e luz para a elaboração de biomassa líquida. Tendo em vista que todas as réplicas estavam sob mesmas condições ambientais (i.e., luz, nutrientes e temperatura), espera-se que as diferenças observadas nestes parâmetros entre os tratamentos representem a interferência do

elemento em maior concentração na solução, neste caso, o ferro/mangânês sobre a produção primária líquida. A análise destes parâmetros segue o protocolo estabelecido em análises fotossintéticas.

Análise nutricional - Ao final do experimento, as plântulas de cada tratamento serão separadas em quatro compartimentos (raiz, folhas, epicótilo e hipocótilo). A análise laboratorial destes parâmetros segue o protocolo estabelecido para análise de metais foliares.

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Avaliação da Cobertura do Dossel (Índice de Área Foliar): etapa descontinuada durante o ciclo “Transição”; os resultados apesar de relevantes do ponto de vista ecológico não foram associados aos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão.

Caracterização da dinâmica estuarina nos Rios São Mateus, Maricú e Piraquê: concluída. Etapa descontinuada no último Plano de Trabalho (setembro/2022), tendo em vista que os padrões de inundação dos estuários foram caracterizados durante os quatro anos de monitoramento.

Sedimentos: coleta e análise da profundidade de 5-15 cm foi descontinuada no último Plano de Trabalho (setembro/2022), tendo em vista que as concentrações de metais na profundidade de 5-15cm eram similares as concentrações de 0-5 cm.

Anatomia: Etapa descontinuada durante o ciclo de “ Transição “, os resultados eram obtidos a partir das plântulas do cultivo. Com o retorno do cultivo esta metodologia não foi inserida novamente no último Plano de Trabalho (setembro/2022).

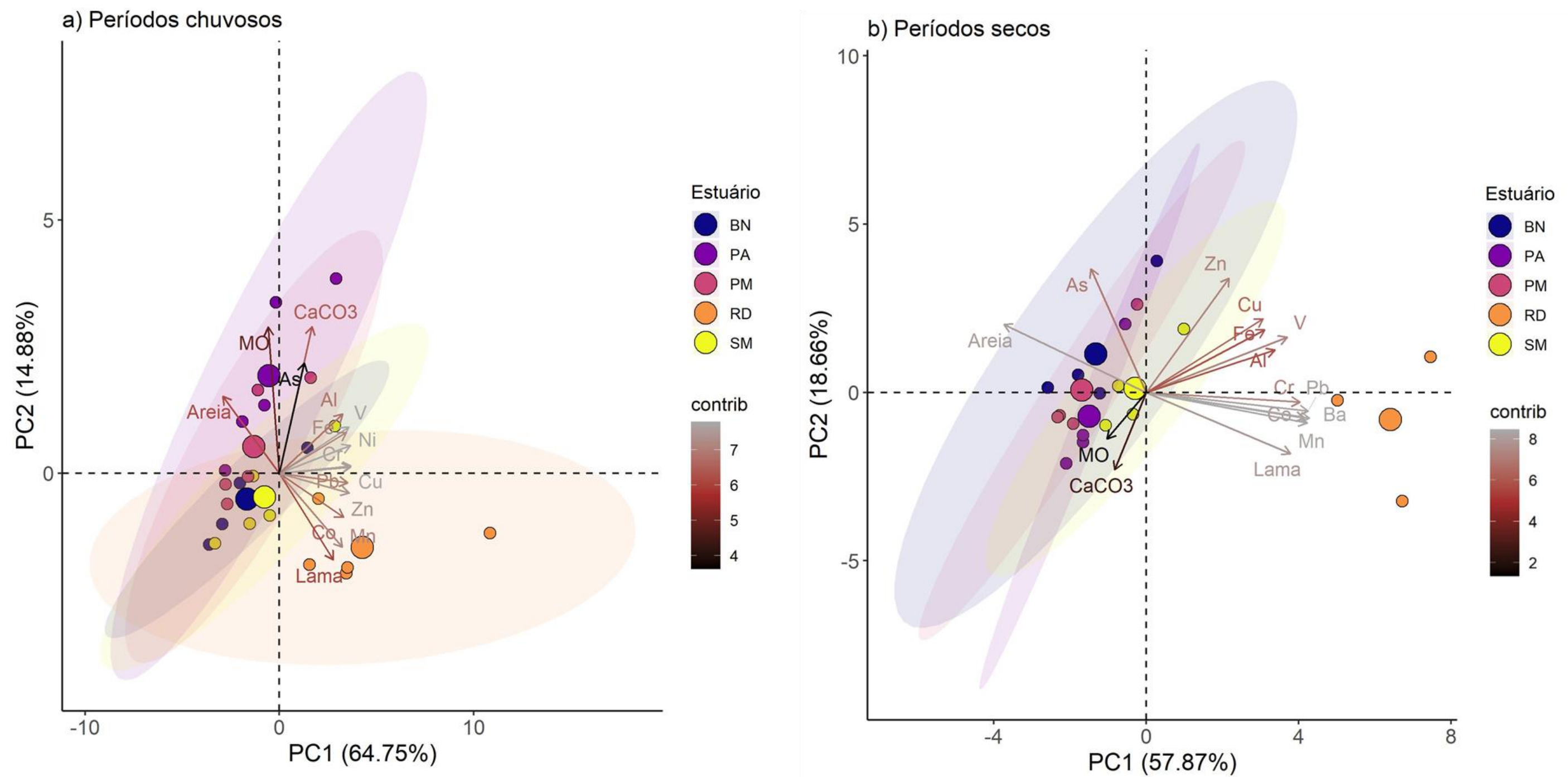
3 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – março/2023) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

3.1 SEDIMENTOS

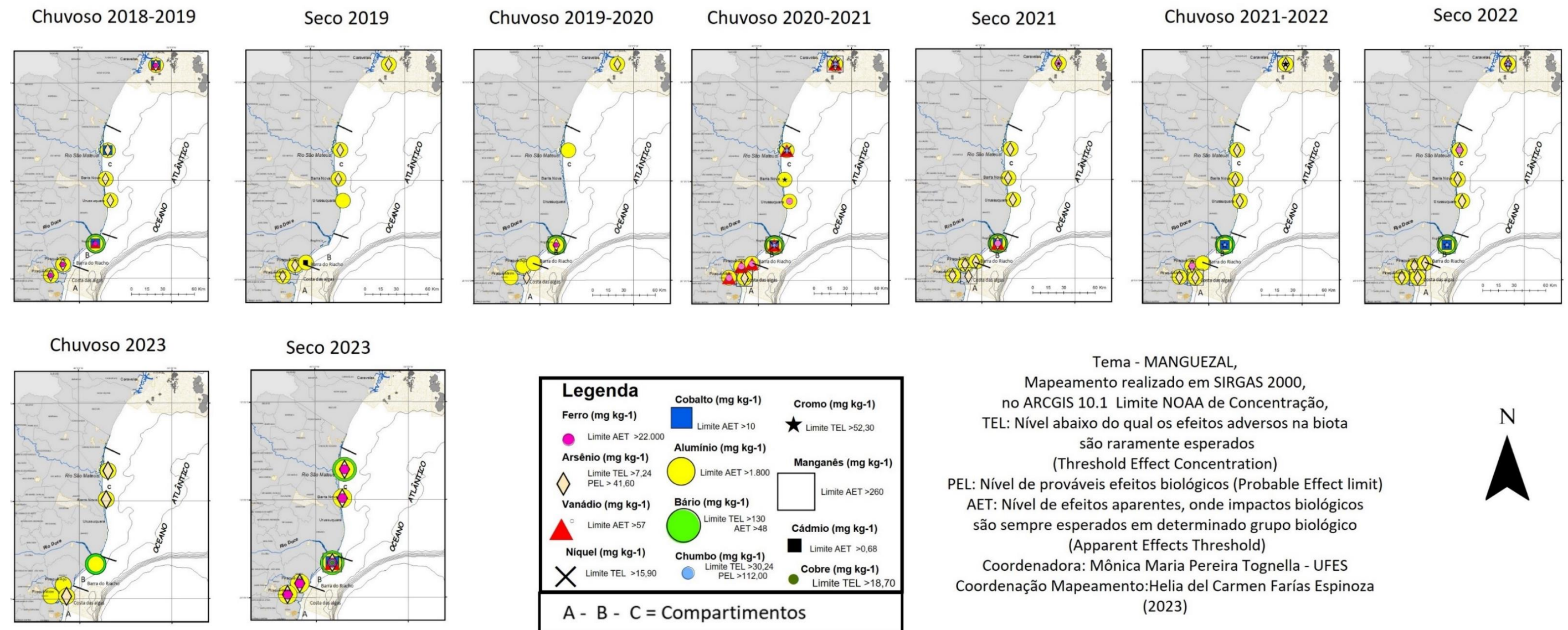
Figura 1: Indicador Abiótico Sedimentos - Análise de componente principal (PCA), usando a função biplot com a contribuição de cada variável, utilizando as concentrações de metais nos sedimentos (mg kg^{-1}), teor de matéria orgânica (MO), teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e granulometria (areia (%) e lama (%)); considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5)) (a) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) (b) nos manguezais de Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Regência (RD) (Compartimento B), Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Al: alumínio; As: arsênio; Ba: bário; Co: cobalto; Cr: cromo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Hg: mercúrio; V: Vanádio; e Zn: zinco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



As concentrações de metais e as propriedades do sedimento (granulometria, teor de matéria orgânica e CaCO_3) nos estuários estão expostas nas PCAs da Figura 1, considerando o agrupamento dos períodos chuvosos (Figura 1) e secos (Figura 1b). Para os períodos chuvosos, os eixos PC1 e PC2 representaram um total de 79.63% (64.75% e 14.88%, respectivamente) da variância dos dados ditando uma relação relevante entre distribuições de metais e propriedades do sedimento nos estuários monitorados (Figura 1a). MO, CaCO_3 e As apresentaram as maiores contribuições para a construção do eixo y, por outro lado, Cr, Cu, Ni e Zn contribuíram para o eixo x. É evidente a separação do Rio Doce (RD) dos demais estuários e a formação de dois grupos: São Mateus (SM) e Barra Nova (BN) que são os componentes do compartimento C, e outro grupo formado pelo Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM), integrantes do Compartimento A. Co, Mn e lama agruparam as amostras do RD indicando sedimento mais lamoso e com as maiores concentrações desses metais, com destaque também para o Cu e Pb. Os manguezais do compartimento A foram os mais notoriamente influenciados por fontes marinhas, visto sua compatibilidade com sedimentos mais grosseiros (elevado teor de areia) e carbonato de cálcio (CaCO_3), este último altamente correlacionado com o As. Este padrão na região é observado também no ambiente praiar (Albino et al., 2016; (FEST, 2023b)). A sazonalidade está influenciando o padrão de distribuição dos parâmetros, com destaque para a sobreposição dos estuários localizados no compartimento A (PA e PM) e BN, comportamento observado no período seco diferente do verificado no período chuvoso. Indicando maior similaridade entre estes estuários durante os períodos secos. Ba, Co, Mn e Pb foram os metais que mais contribuíram para a construção do eixo x e As e Zn para a do eixo y no período seco. Nota-se a baixa contribuição de areia e CaCO_3 neste período em relação ao chuvoso. A soma dos dois eixos (PC1 e PC2) nos períodos secos (Figura 1b) explicaram 76.54% da variância total (57.87% e 18.66%, respectivamente) e indicaram a setorização dos estuários que apresentaram comportamento similar e ao mesmo tempo apontaram as características individuais de cada área analisada. O padrão de contaminação dos estuários é acentuado nos períodos chuvosos, mas é possível notar tendência similar nos períodos secos, apesar de ocorrer uma maior dispersão dos metais, evidenciando a influência de alguns elementos, como zinco, cobre, ferro, alumínio e vanádio nos manguezais do compartimento C (BN e SM).

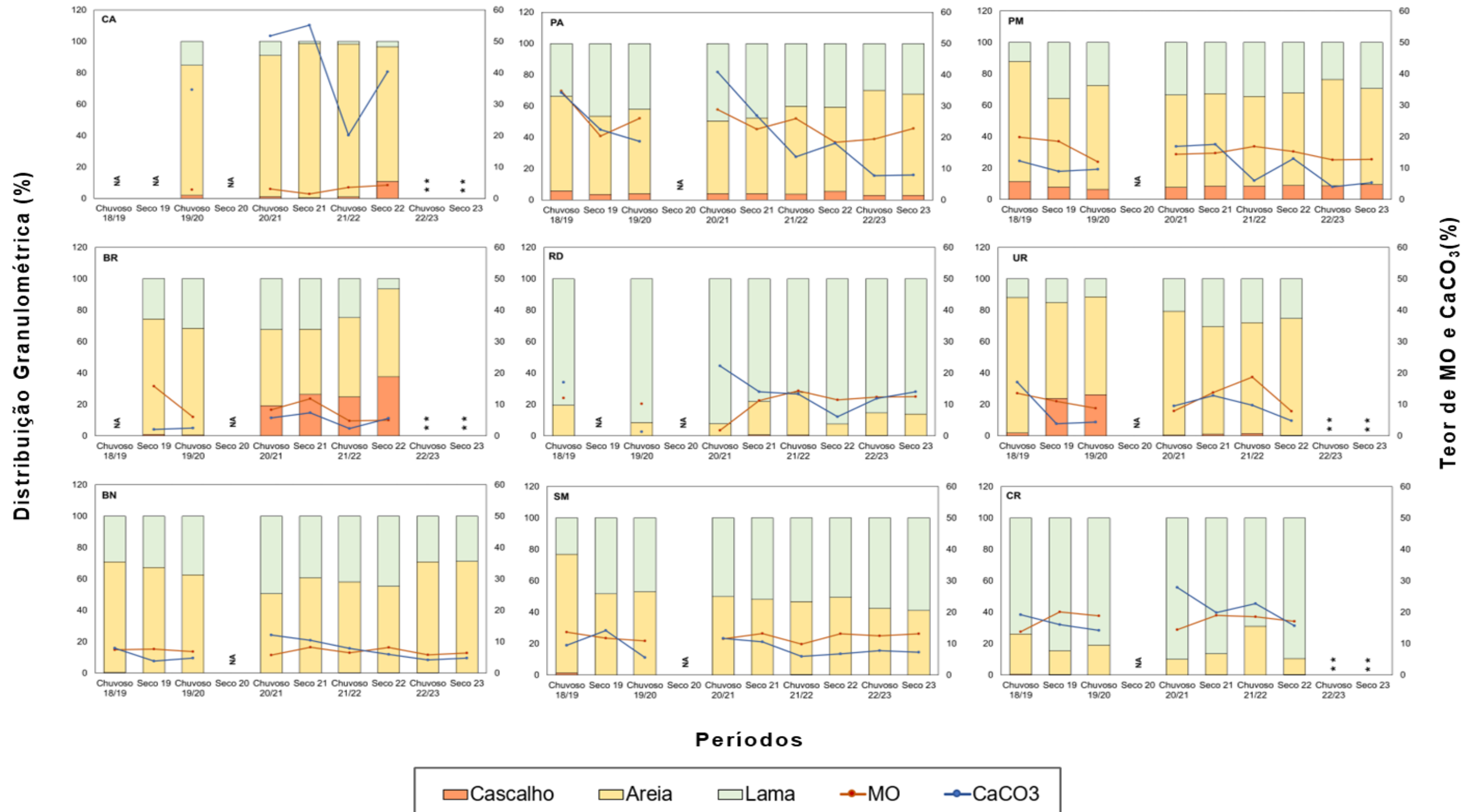
Figura 2: Indicador Abiótico Sedimentos - Mapa temático da concentração dos metais ferro, arsênio, vanádio, níquel, cobalto, alumínio, bário, chumbo, cromo, manganês e cádmio (mg kg^{-1}) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais do compartimento A (Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM)), compartimento B (Barra do Riacho (BR) e Rio Doce (RD)), compartimento C (Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), e São Mateus (SM)) e Caravelas (CR), durante o monitoramento do PMBA/Fest.

Comparações metais no sedimento (0-5 cm)



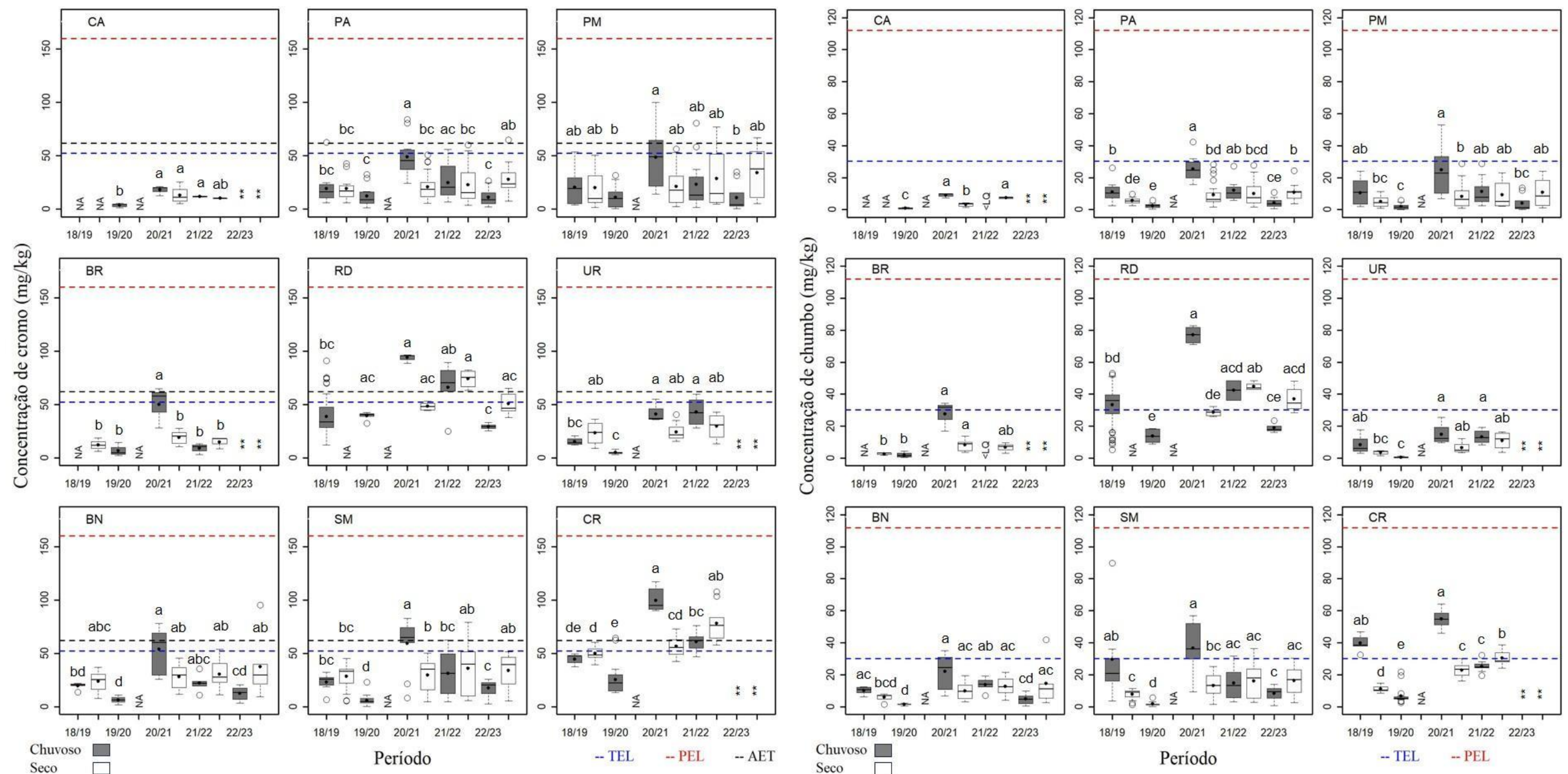
A contaminação por metais nos sedimentos estuarinos pode ser avaliada através da aplicação dos limites NOAA, que fornecem a concentração onde impactos biológicos são esperados (BUCHMAN, 1999). Os mapas temáticos da Figura 2 exibem as áreas de coleta dos compartimentos A, B e C, assim como o período no qual a concentração do metal ultrapassou algum dos limites NOAA, com uma simbologia para cada metal. Os períodos do monitoramento PMBA/Fest em que as concentrações analisadas ultrapassaram um dos limites estão expostos nos mapas temáticos da Figura 2. Ao longo do monitoramento PMBA/Fest, os períodos chuvosos denotavam maior risco para a comunidade biológica, devido ao aumento da vazão dos rios e consequente aumento da concentração de metais depositados nos sedimentos. No entanto, o último período seco amostrado (seco/23) apresentou concentrações que geram impactos biológicos para diversos metais, em diversos estuários amostrados. Como exemplo, tem-se o ferro, que demonstrou impacto em todos os estuários simultaneamente pela primeira vez ao longo do monitoramento PMBA/Fest. Este padrão, unido com as maiores concentrações encontradas na foz do Rio Doce, colabora com a contaminação crônica já observada da região costeira, tendo a foz do Rio Doce seguindo como área-fonte de contaminação para as demais áreas (FEST, 2023b). É importante salientar ainda, que o efeito sinérgico entre os metais não é avaliado na aplicação dos limites NOAA e pode constituir um agravante para as comunidades biológicas de cada região (MORAES et al., 2011).

Figura 3: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição das frações granulométricas (cascalho, areia e lama (silte + argila) (%), teores de matéria orgânica (MO) (%) e carbonato de cálcio (CaCO₃) (%) nos sedimentos de profundidade de 0 a 5 cm períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest. NA: período não amostrado. (**):Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: período não amostrado. (**):Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor.



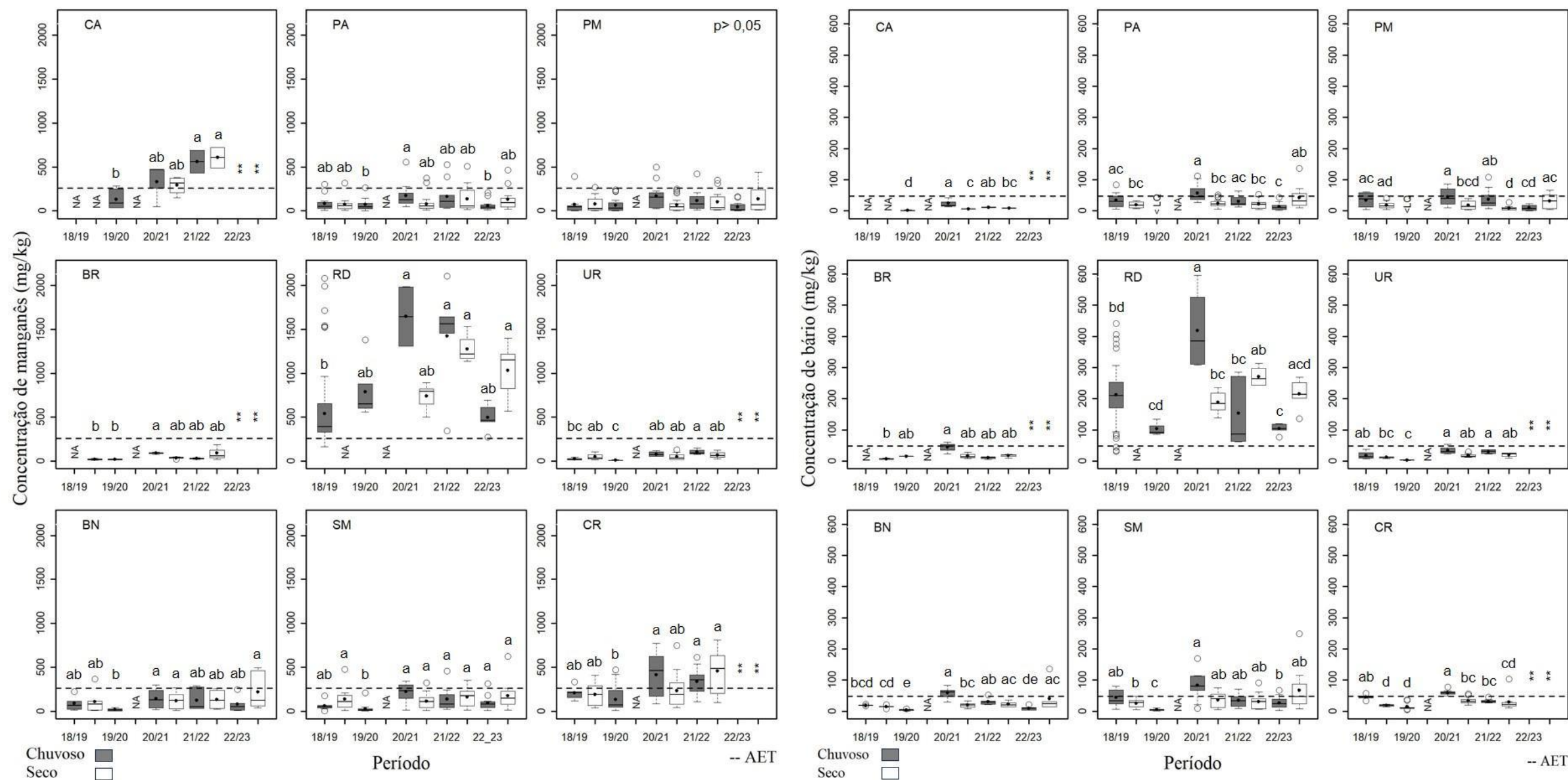
A Figura 3 exibe os teores de matéria orgânica (MO) e CaCO_3 e a distribuição granulométrica (cascalhos, areias e lama) para os estuários dos compartimentos A, B e C. Os sedimentos de manguezal possuem grande importância ecológica, agindo como sumidouros de contaminação orgânica e inorgânica. Este atributo é devido a características físico-químicas dos sedimentos, que são propícias para a adsorção e complexação dos elementos metálicos (FARIAS, et al., 2007). A granulometria mais fina juntamente com teores elevados de matéria orgânica, tendem a favorecer estes processos, que limitam a biodisponibilidade dos metais. No entanto, fatores como o pH da água intersticial, potencial redox, comportamento dos óxidos de ferro e de manganês, além dos carbonatos, interferem na biodisponibilidade dos elementos metálicos (FARIAS, et al., 2007; MARQUES, et al., 2011). Em relação aos resultados de granulometria observados durante o monitoramento PMBA/Fest pode-se inferir que o compartimento A (CA, PA e PM) apresenta os maiores teores de areias e cascalhos, quando comparados com os estuários do compartimento C (UR, BN, SM). O compartimento A abriga também os maiores teores de matéria orgânica, que tem se mostrado essencial para a associação dos metais para esta área. As características oceanográficas do compartimento C (declividade da zona costeira e dinâmica da deriva litorânea) fornecem maior deposição de sedimentos com granulometria mais fina para esta área, o que favorece a maior adsorção de metais para a região.

Figura 4: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de cromo (esquerda) e chumbo (direita) nos sedimentos na profundidade de 0-5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3); chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. < LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação. (**): Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*). PEL: Nível de prováveis efeitos (*Probable Effect limit*) e AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



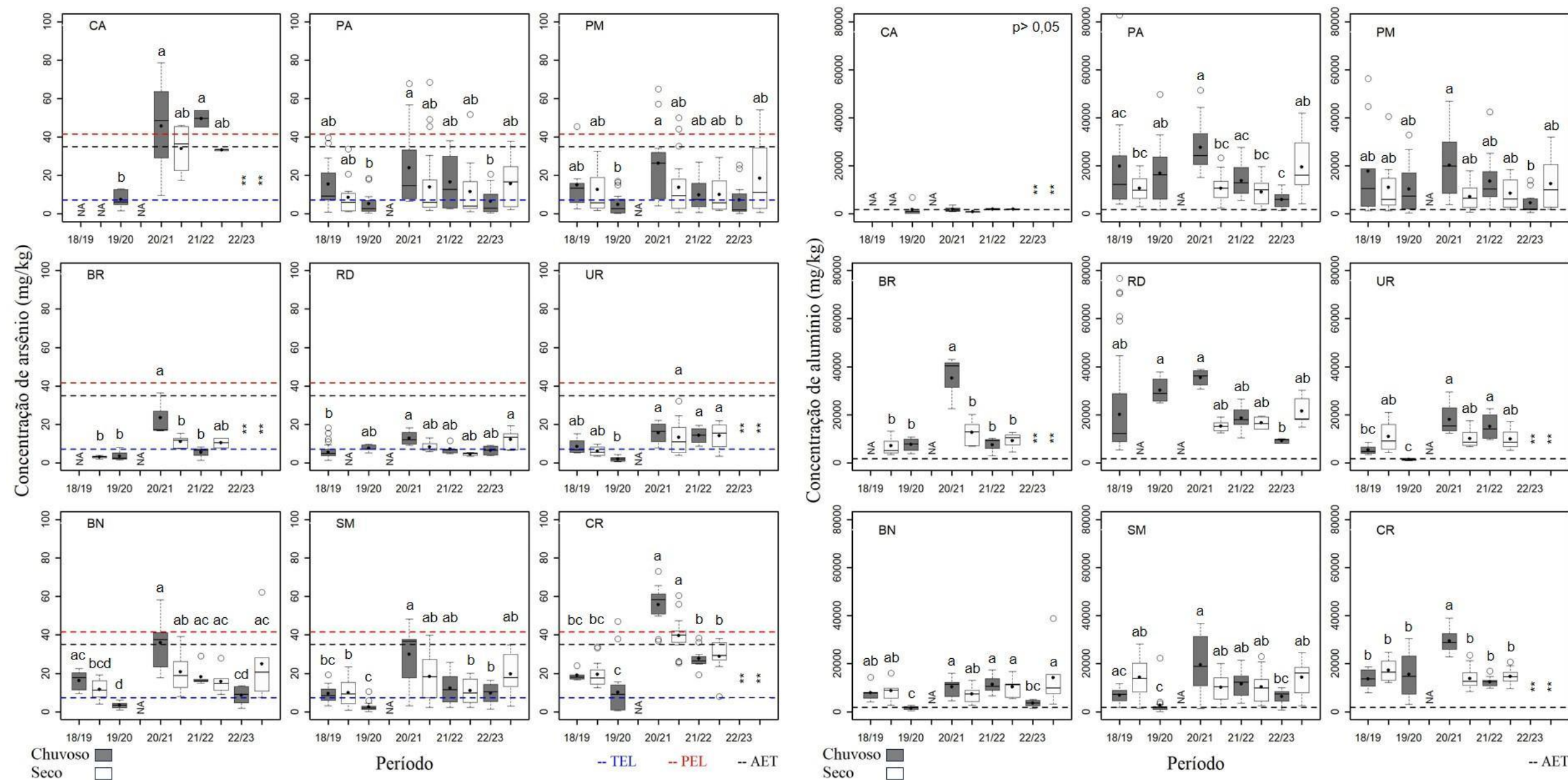
As concentrações dos metais cromo e chumbo indicavam tendência de diminuição nos estuários amostrados ao longo do monitoramento do PMBA/Fest, conforme observado no (FEST, 2023b). No entanto, o último período analisado (seco/23) apresentou aumento das concentrações para os dois elementos, com risco de impacto biológico na foz do Rio Doce (RD). Como RD é tido como área-fonte da contaminação por metais nas áreas adjacentes, também é possível observar um aumento da concentração destas áreas.

Figura 5: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de manganês (esquerda) e bário (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3); chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest.. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). O estuário será representado com 'p>0,05' quando não houver diferença estatística significativa entre os períodos. NA: Não amostrado. (**): Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



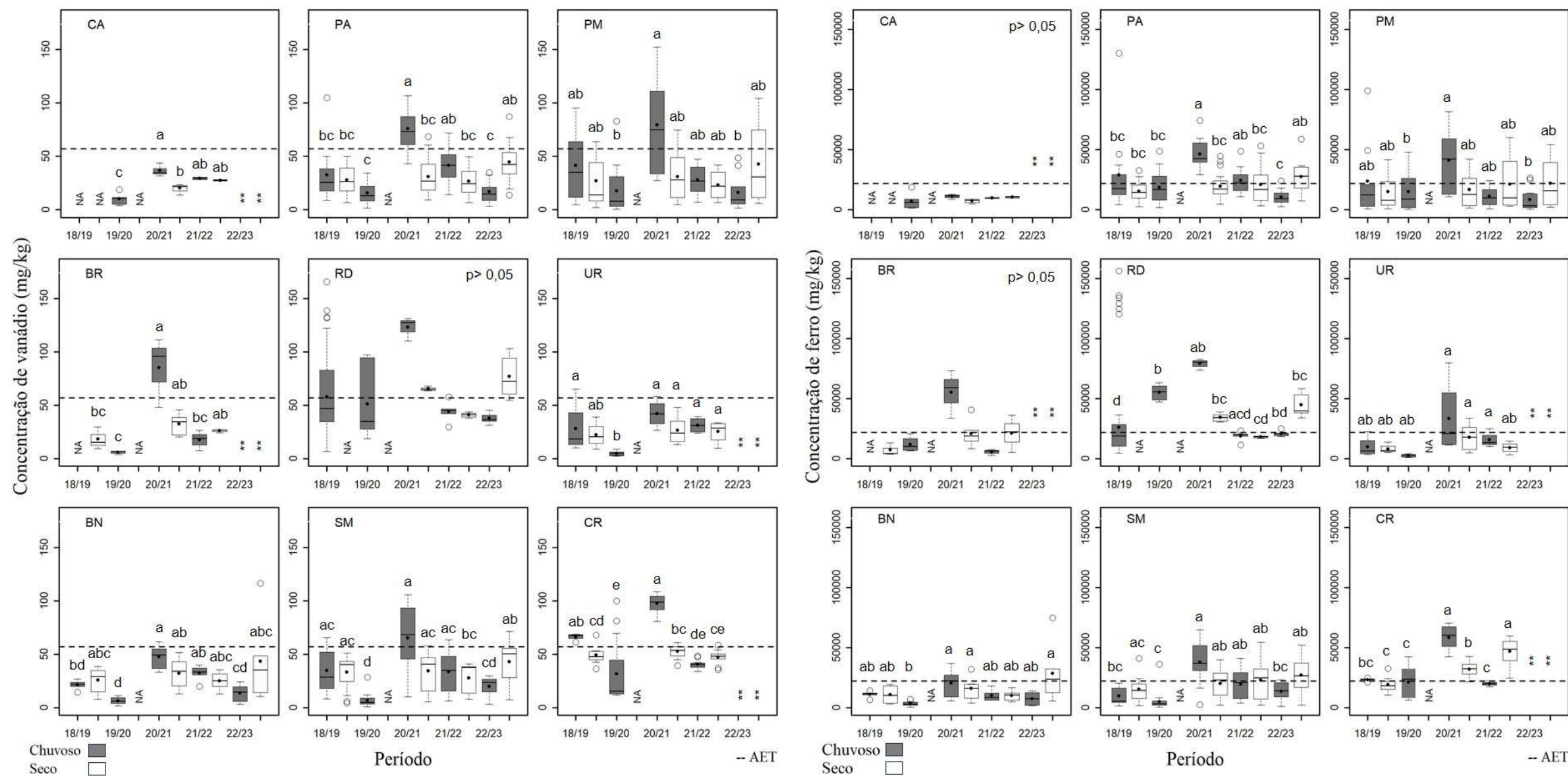
A foz do Rio Doce (RD) prossegue sendo a região com as maiores concentrações de manganês e bário, metais diretamente associados aos rejeitos da barragem de Fundão (SÁ et al., 2021). Os resultados destes metais no Rio Doce demonstram impactos biológicos durante todo o monitoramento PMBA/Fest, assim como ocorreu para o cromo e chumbo (Figura 4), as concentrações de manganês e bário aumentaram em todos os estuários no período seco/23, em relação ao período chuvoso 22/23. Os estuários tendem a acompanhar a dinâmica de aumento e diminuição das concentrações de metais observadas na foz Rio Doce, sendo este mais um indicativo da foz do Rio Doce atuando como área- fonte da contaminação para os manguezais analisados.

Figura 6: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de arsênio (esquerda) e alumínio (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest.. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). O estuário será representado com 'p>0,05' quando não houver diferença estatística significativa entre os períodos. NA: Não amostrado. (**): Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*). PEL: Nível de prováveis efeitos (*Probable Effect limit*) e AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



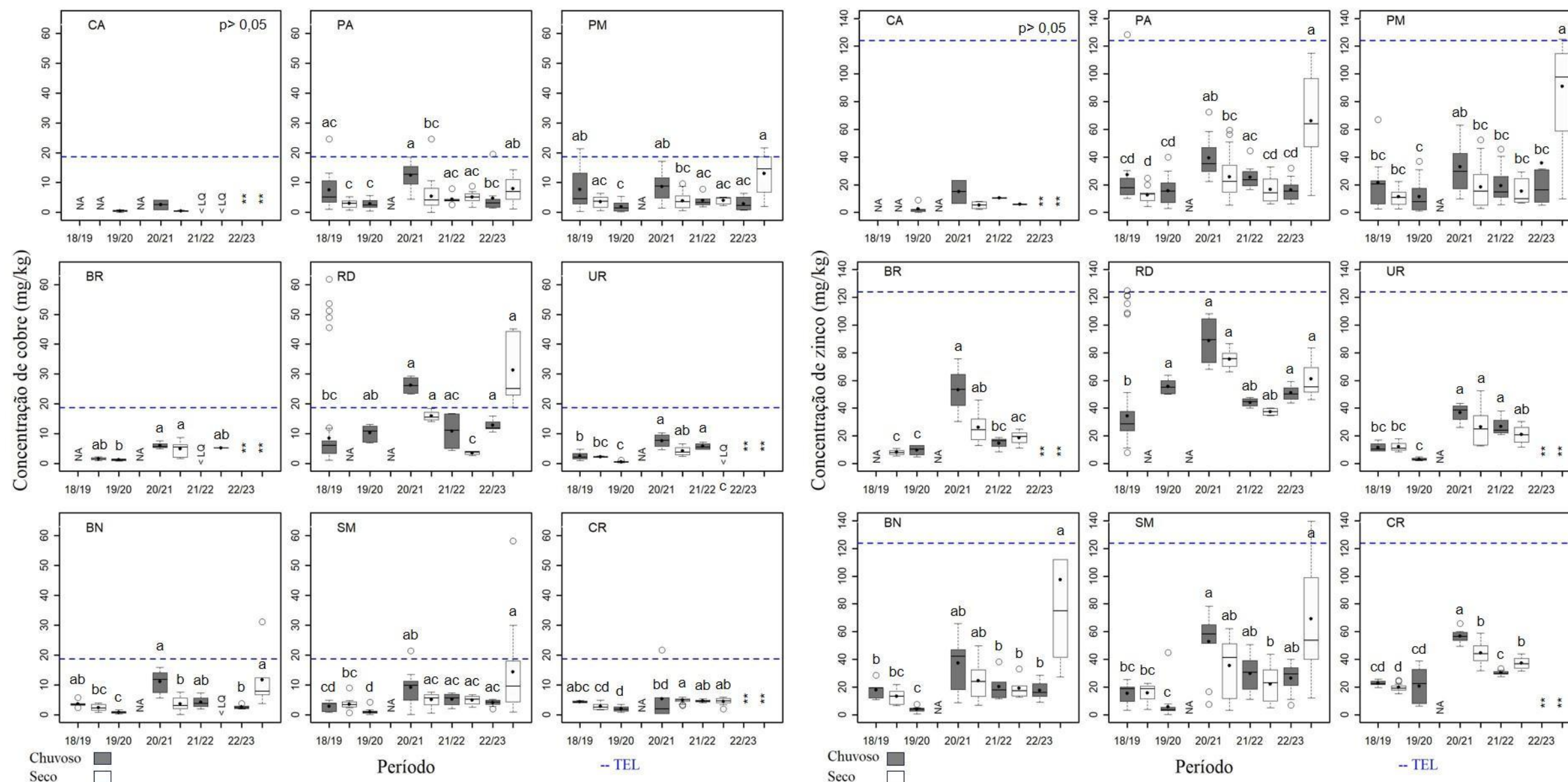
Os elementos arsênio e alumínio também apresentaram incremento em suas concentrações no período seco/23. Ao longo do monitoramento PMBA/Fest as maiores concentrações de arsênio são encontradas no compartimento A (CA, PA e PM). As concentrações observadas no compartimento C (UR, BN e SM) estão possivelmente associadas com atividades agrícolas e de mineração (BAIRD;CAIN, 2011). No entanto, ainda que a foz do Rio Doce não apresente as maiores concentrações deste metal, nota-se que os estuários dos compartimentos A e C possuem comportamento temporal de aumento e declínio de concentração similar ao observado no Rio Doce. Este padrão de distribuição também pode ser observado para o alumínio, ainda que todos os estuários contenham a presença natural deste elemento nos argilominerais, encontrados em abundância no sedimento de manguezal (SCHROPP et al., 1990), pode ocorrer um enriquecimento deste metal associado a fontes antrópicas (MORSE et al., 1993).

Figura 7: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de vanádio (esquerda) e ferro (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3); chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). O estuário será representado com 'p>0,05' quando não houver diferença estatística significativa entre os períodos. NA: Não amostrado. (**): Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



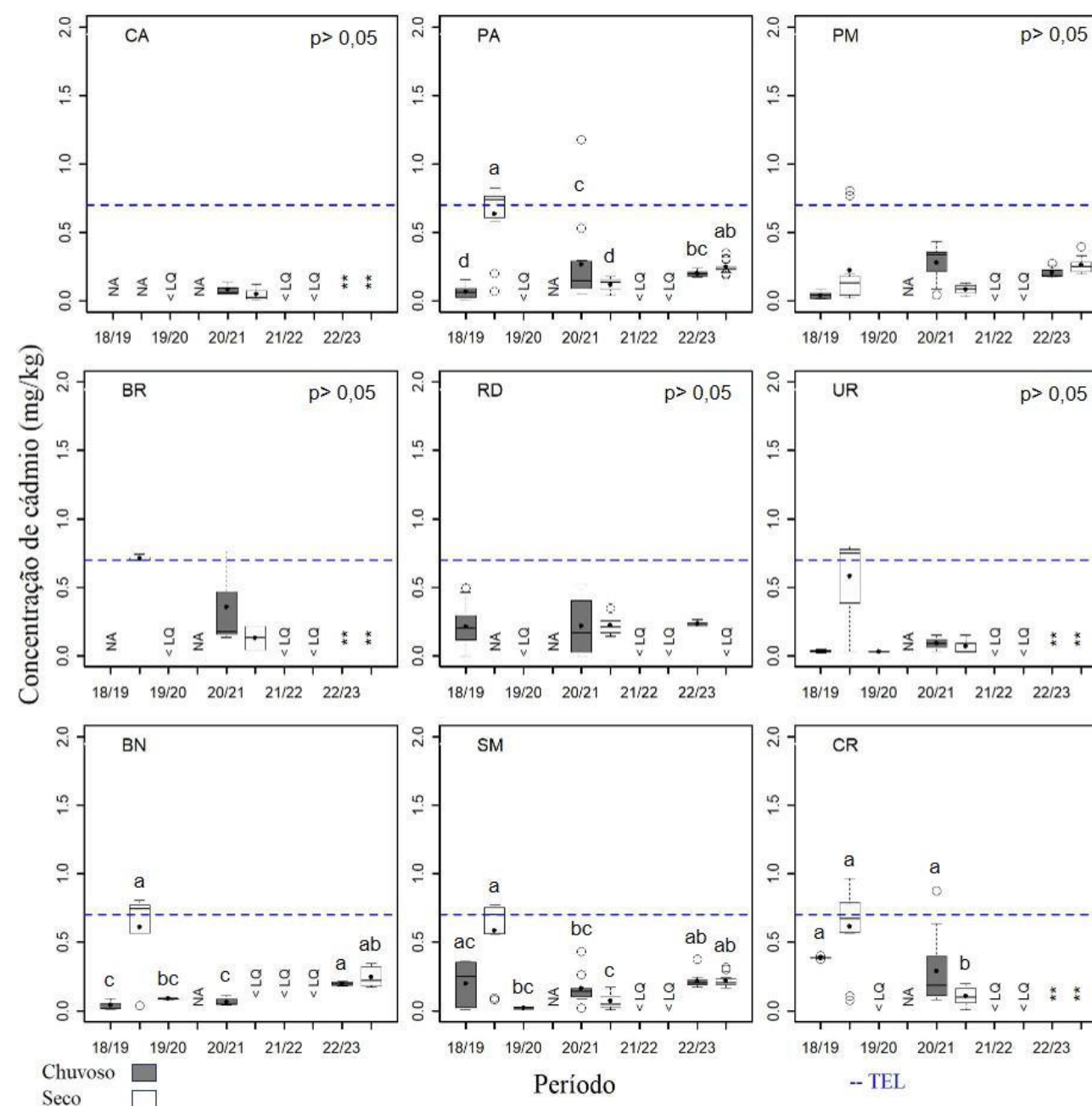
O elemento vanádio apresentava tendência de diminuição em suas concentrações desde o período chuvoso 20/21 em todos os estuários (FEST, 2023b). No entanto, assim como para os outros metais analisados, a concentração deste elemento aumentou no período seco/23. O elemento ferro também apresenta aumento em suas concentrações no período seco/23, sendo este período um dos momentos no qual todos os estuários demonstram impactos biológicos provenientes deste metal. Durante o monitoramento PMBA/Fest, o ferro apenas havia apresentado este comportamento espacial no período chuvoso 20/21. Vale ressaltar que estes dois metais (V e Fe) também estão diretamente associados aos rejeitos da barragem de Fundão (SÁ et al., 2021).

Figura 8: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de cobre (esquerda) e zinco (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). O estuário será representado com 'p>0,05' quando não houver diferença estatística significativa entre os períodos. <LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação do equipamento ICP-MS. NA: Não amostrado. (**): Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*).



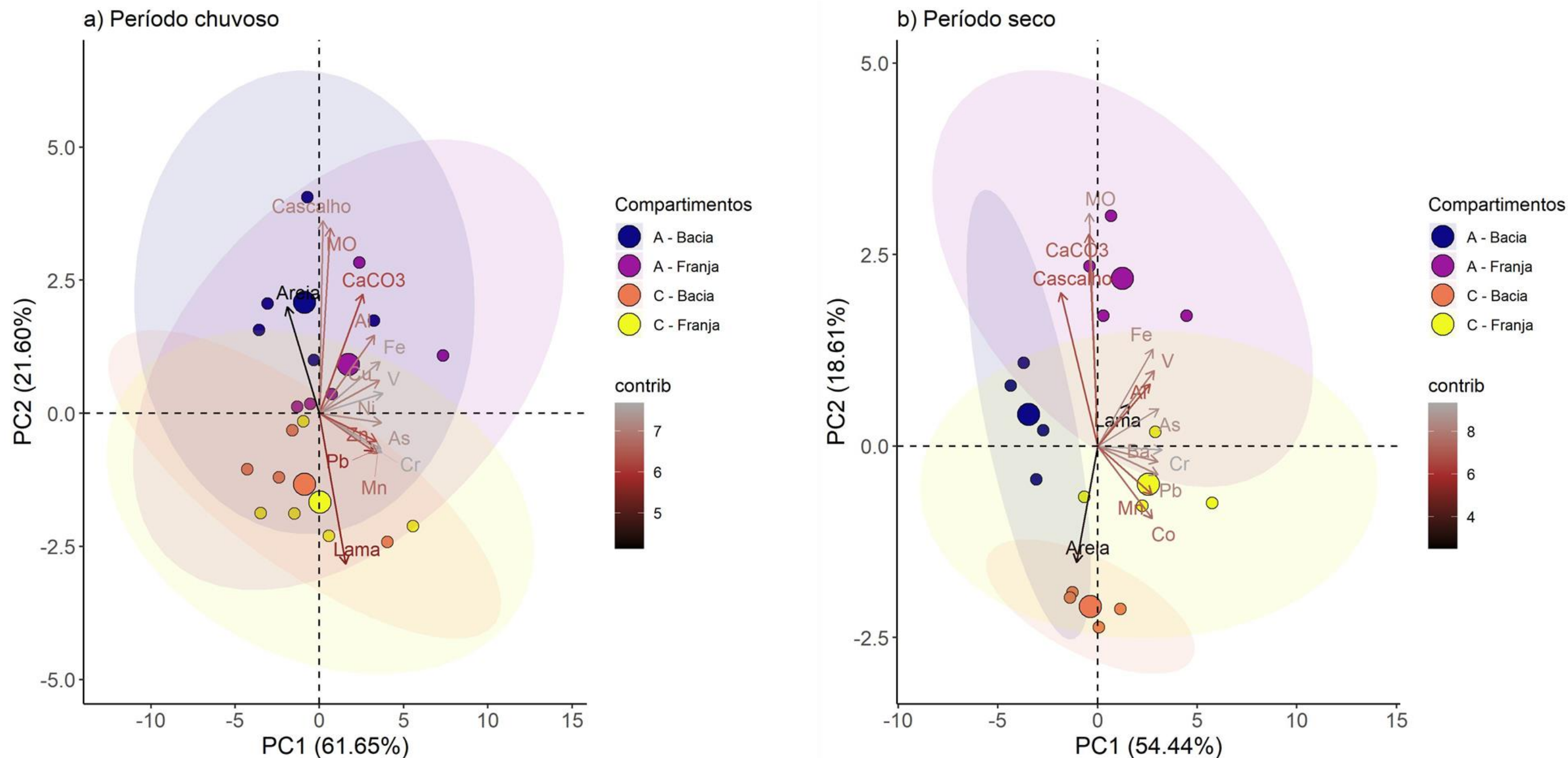
Os elementos cobre e zinco também apresentaram incremento em suas concentrações em todos os estuários amostrados durante o período seco/23. Além disso, este período compreende as maiores concentrações médias destes metais para todas as áreas analisadas, com exceção do Zn para o RD. Vale salientar que, ainda que sejam elementos essenciais para a comunidade biológica, o excesso de cobre pode danificar a estrutura das raízes, impactando no crescimento das plantas (YRUELLA, 2005) enquanto o excesso de zinco gera alteração no transporte de elétron da fotossíntese e fotoinibição (WANG et al., 2009). Durante o monitoramento do PMBA/Fest, impactos oriundos destes metais são raramente esperados para áreas amostradas, ainda que algumas parcelas de PM e SM tenham exibido concentrações acima do limite TEL para Cu e Zn no período seco/23. A foz do Rio Doce (RD) apresentou concentrações acima do limite TEL para os períodos chuvoso 20/21 e seco/23.

Figura 9: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de cádmio nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5)) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) nos manguezais da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (CA), Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Barra do Riacho (BR), Rio Doce (RD), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) durante o monitoramento do PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). O estuário será representado com ' $p > 0,05$ ' quando não houver diferença estatística significativa entre os períodos. NA: Não amostrado. <LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação do equipamento ICP-MS. (**): Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*).



Durante o monitoramento PMBA/Fest, as concentrações médias de cádmio não representaram risco de impactos biológicos, ainda que o período seco/19 tenha demonstrado concentrações elevadas para PA, BR, UR, BN, SM e CR. Nos períodos subsequentes, as concentrações diminuíram, estando em alguns momentos muito baixas para a quantificação (<LQ). No entanto, os estuários dos compartimentos A (PA e PM) e C (BN e SM) tem demonstrado um aumento nos resultados de cádmio a partir do período chuvoso 22/23.

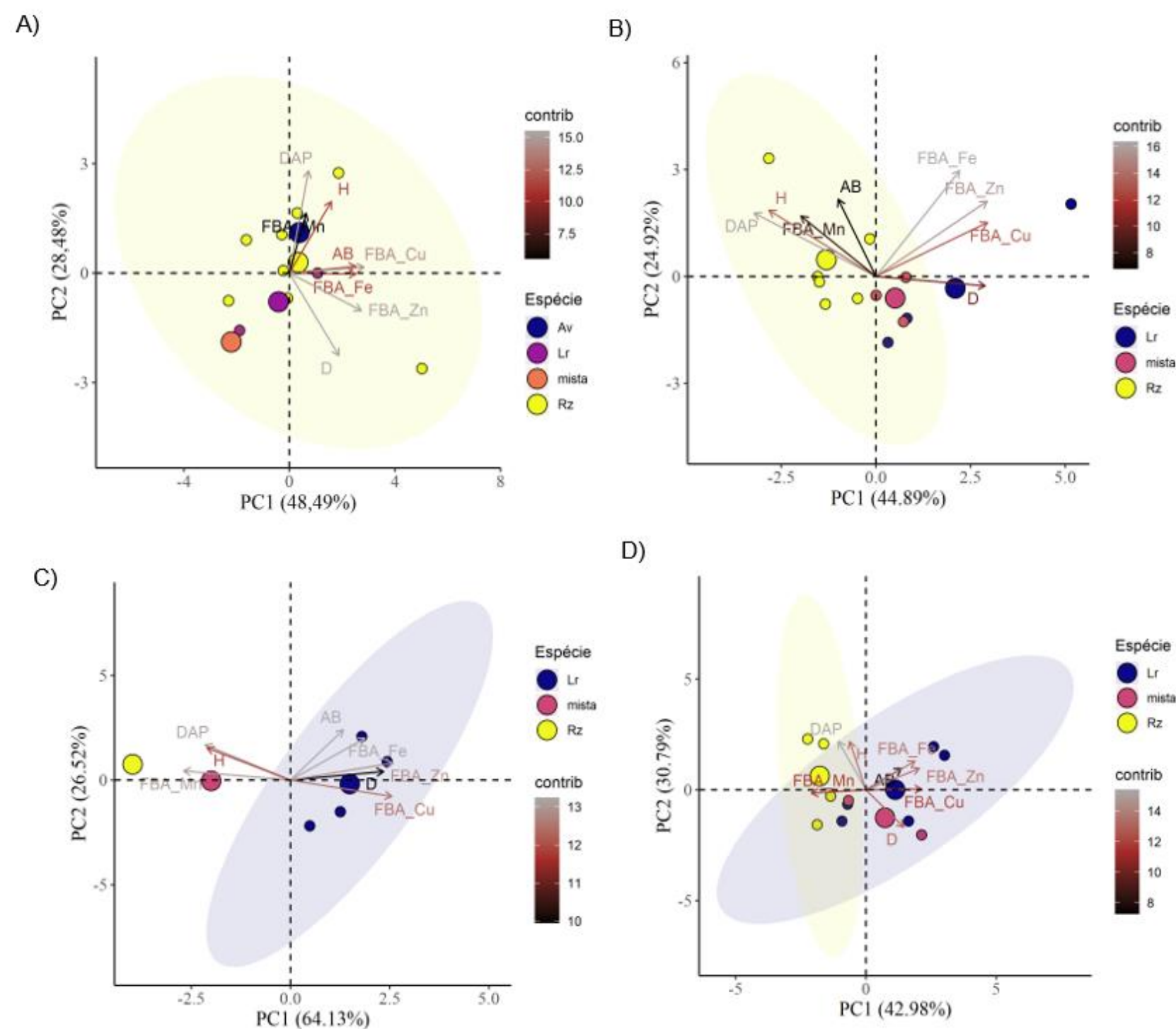
Figura 10: Indicador Abiótico Sedimentos – Análise de componente principal (PCA) levando em consideração os tipos fisiográficos de franja e bacia nos compartimentos A e C, através da função biplot com a contribuição de cada variável, utilizando as concentrações de metais nos sedimentos (mg kg^{-1}), teor de matéria orgânica (MO), teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e granulometria (cascalho (%), areia (%) e lama (%)); considerando os períodos chuvosos (chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5)) (a) e os períodos secos (seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – julho/2023/Ano 5)) (b) nos manguezais de Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A) e Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Al: alumínio; As: arsênio; Ba: bário; Co: cobalto; Cr: cromo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Hg: mercúrio; V: Vanádio; e Zn: zinco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



Os bosques dos manguezais podem ser divididos em dois tipos fisiográficos distintos, denominados franja e bacia. Os bosques de franja estão localizados na parte mais externa do manguezal, e, portanto, apresentam um fluxo de água intenso que propicia alto desenvolvimento estrutural da vegetação. Os bosques de bacia, por sua vez, apresentam renovação de água mais lenta, implicando em menor desenvolvimento estrutural devido a maior salinidade estocada no sedimento (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). Devido a menor influência da maré e os cordões arenosos oriundos das variações pretéritas do nível médio do mar, as bacias tendem a ter granulometria mais arenosa e sedimento mais compactado do que as áreas de franja (WOODROFFE, 1992). As PCAs acima demonstram o comportamento das franjas e bacias dos compartimentos A (PA e PM) e C (BN e SM) durante os períodos chuvosos (Figura 10a) e secos (Figura 10b). Nos dois períodos analisados é possível observar a predileção de metais pelas áreas de franja, definindo este tipo fisiográfico como a entrada principal da contaminação para os manguezais. De maneira mais específica, no período chuvoso, as características do sedimento e a concentração de metais são influenciadas pela localização geográfica regional (compartimentos) ao invés do tipo fisiográfico, esse padrão é observado principalmente para o compartimento C, visto a proximidade dos centroides da franja e da bacia. Essa similaridade entre os tipos fisiográficos é justificada pela maior vazão dos rios no período chuvoso. Ainda para este período, além do destaque das florestas de franja do compartimento A no acúmulo de metais, a coleta realizada no período chuvoso 20/21, para franja e bacia do compartimento C contribuem fortemente para a construção da componente 1 positiva da PCA e, conseqüentemente, também demonstra o acúmulo do compartimento C nesses anos e locais. Nos períodos secos, é possível observar melhor separação entre os tipos fisiográficos de cada compartimento. Ao contrário do período chuvoso, neste período as florestas de franja do compartimento C estão associadas com a maioria dos metais e contribuem intensamente na construção da componente 1 positiva da PCA. Em contrapartida, as franjas do compartimento A, apesar da sua associação com a matéria orgânica e a influência marinha (vide CaCO_3) no aporte dos rejeitos não foram correlacionados aos metais, exceto a coleta realizada no período seco/23.

3.2 FLORA

Figura 11: Indicador Ecológico Flora- Estrutura populacional das florestas de mangue. Análise de componentes principais (ACP) entre os parâmetros estruturais e fator de bioacumulação. Legenda: A - Piraquê-Açu 0-5 B - Piraquê-Mirim 0-5, C - Barra Nova 0-5, D - São Mateus 0-5. Parâmetros estruturais coletados em outubro-novembro 2023. Fator de bioacumulação realizada com dados de sedimento profundidade 0 a 5 cm nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5,) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Lr - *Laguncularia racemosa*, Rz - *Rhizophora mangle*, As - *Avicennia schaueriana*, mista – florestas sem dominância de uma única espécie, D- Densidade de indivíduos, H - altura média da floresta, AB - área basal total, DAP - diâmetro médio, BAF – fator de bioacumulação Fe/Pb/Cu/Zn/Mn ferro, chumbo, cobre, zinco e manganês. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



Os bosques de *R. mangle*, evidenciados pelos centróides amarelos nas Análises de Componentes Principais (ACPs), está correlacionada a parâmetros que denotam um desenvolvimento estrutural mais acentuado, tais como o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), altura e área basal. Este padrão é notório para as áreas de Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, São Mateus e Barra Nova. Em contrapartida, os agrupamentos relacionados a bosques mistos e dominados por *L. racemosa*, representados pelos centróides rosa/laranja e azul/roxo, respectivamente, estão vinculados a uma maior densidade de indivíduos, o que se reflete em um menor desenvolvimento estrutural (Tabela 1).

Bosques dominados por *R. mangle* e *A. schauerianna* apresentam um Fator de Bioacumulação (FBA) mais elevado para manganês, ao passo que bosques mistos e dominados por *L. racemosa* acumulam mais ferro, cobre, zinco e chumbo. Resultados análogos foram obtidos por Ocampo et al. (2023), os quais investigaram o potencial de bioacumulação de *R. mangle* para diversos metais traço. Durante o período de monitoramento, o manganês foi o metal que demonstrou a mais significativa bioacumulação. A maior propensão de *R. mangle* para acumular Mn, em comparação com *L. racemosa*, também foi constatada por Medina et al. (2015).

Figura 12: Indicador Ecológico Flora – Estrutura populacional das florestas de mangue. Análise comparativa entre densidade de indivíduos e diâmetro à altura do peito (DAP) com base na curva proposta por Jimenez et al. (1985). Legenda: A - Piraquê-Açu B - Piraquê-Mirim C - Barra Nova, D - São Mateus. Parâmetros estruturais coletados nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), e outubro-novembro 2023/Ano5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. PAF1- Piraquê-Açu franja ano1; PAB1- Piraquê-Açu bacia ano1; PAF3- Piraquê-Açu franja ano3; PAB3- Piraquê-Açu bacia ano3; PAF5- Piraquê-Açu franja ano5; PAB5- Piraquê-Açu bacia ano5; PMF1- Piraquê-Mirim franja ano1; PM1B- Piraquê-Mirim bacia ano1; PMF3- Piraquê-Mirim franja ano3; PMB3- Piraquê-Mirim bacia ano3; PMF5- Piraquê-Mirim franja ano5; PM5- Piraquê-Mirim bacia ano5; BNF1- Barra Nova franja ano1; BNB1- Barra Nova bacia ano1; BNF3- Barra Nova franja ano3; BNB3- Barra Nova bacia ano3;BN5F- Barra Nova franja ano5; BN3B Barra Nova bacia ano5; SMF1- São Mateus franja ano1; SMB1- São Mateus bacia ano1; SMF3- São Mateus franja ano3; SMB3- São Mateus bacia ano3; SMF5- São Mateus franja ano5; SMB5- São Mateus bacia ano5.

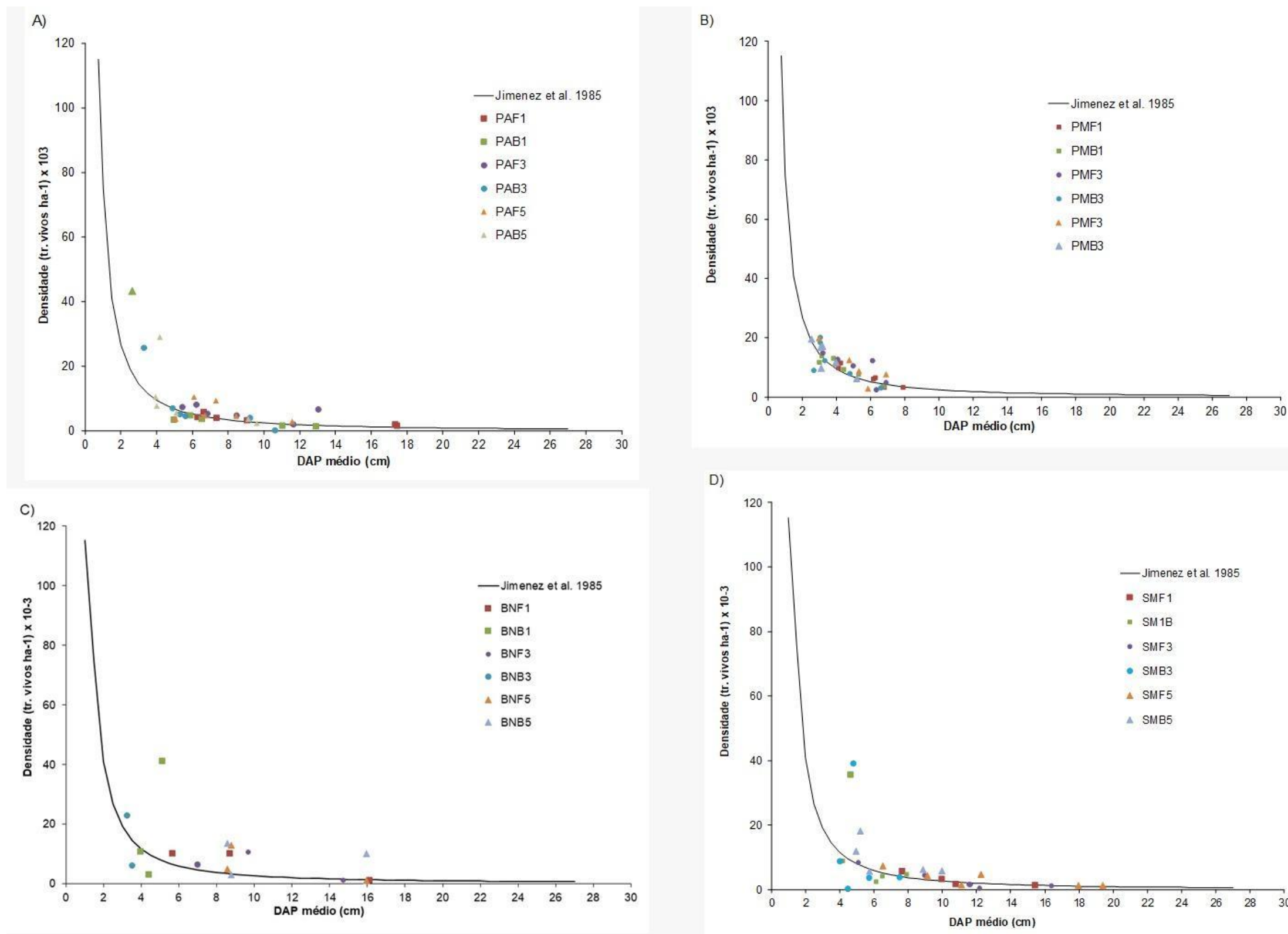


Figura 13: Indicador ecológico Flora - Estrutura populacional das florestas de mangue. Análise de agrupamento Tanglegram, considerando os parâmetros estruturais: densidade de indivíduos, altura média da floresta, área basal total, DAP (diâmetro médio). Parâmetros coletados nos períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1) e outubro-novembro 2023/Ano 5, durante o monitoramento do PMBA/Fest. Legenda: PA-Piraquê-Açu; PM- Piraquê-Mirim; SM- São Mateus; BN- Barra Nova.

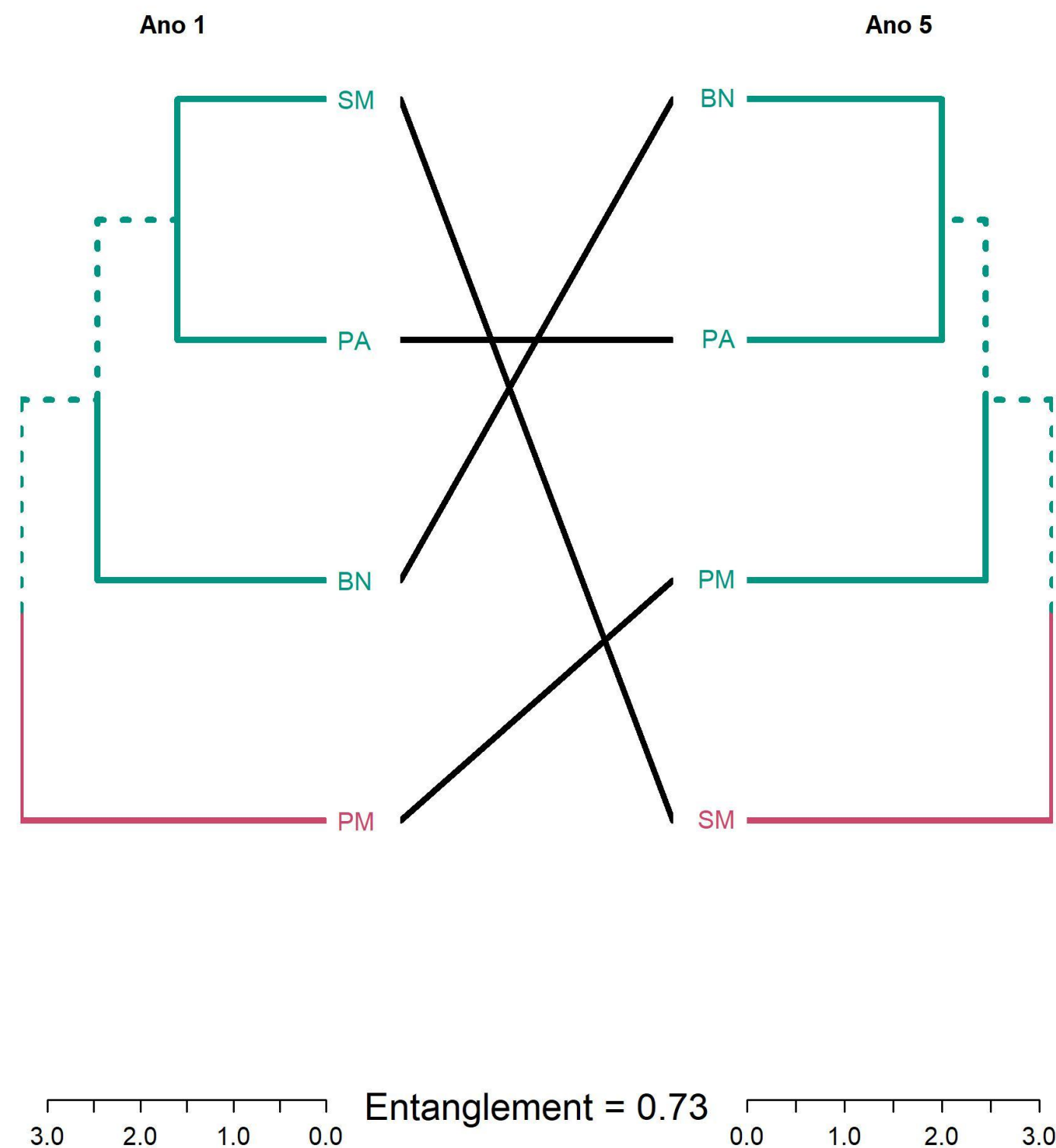


Tabela 1: Indicador Ecológico Flora- Estrutura populacional das florestas de mangue. Parâmetros coletados em outubro-novembro 2023(Ano 5). Legenda: Av = *Avicennia* spp., Lr – *Laguncularia racemosa*; Rz- *Rhizophora mangle*.

Estuário	Tipo fisiográfico		Densidade (tr. vivos ha ⁻¹)	DAP médio (cm)	Altura (m)	Área Basal (m ² ha ⁻¹)	Contribuição em área basal (%)						Tronco / Indivíduo
							Av viva	Av morta	Lr viva	Lr morta	Rz viva	Rz morta	
Piraquê-Açu	Franja	Média	8645	7.0	5.00	25.00	5.0	2.0	19.9	5.1	66.0	2.0	1.2
		Máximo	9091	11,58	8,01	19,42	15,7	8,66	94,74	21,55	90,98	10,17	1.8
		Mínimo	2781	5,08	2,88	43,29	0.0	0.0	0.0	0.0	9,54	0.0	1.1
	Bacia	Média	8024	7.0	5.00	25.00	11,01	0.3	26,17	7,52	51,79	2,6	1,22
		Máximo	28889	9.6	6,06	42,22	66,02	1.7	80,8	9,62	91,64	8,36	1.6
		Mínimo	2262	4.0	2,76	10,37	0.0	0.0	0,56	0.0	0.0	0.0	1.0
Piraquê-Mirim	Franja	Média	10497	5.0	4.00	20.00	11,05	1,77	8,09	8,80	66,71	3,58	1,18
		Máximo	20000	6,87	6,07	28,39	28,63	10,64	43,21	32,20	99,38	11,25	1,52
		Mínimo	2867	2,52	2,52	10.00	0.0	0.0	0.0	0.0	11,68	0,10	1,02
	Bacia	Média	13528	3.0	3.00	16.00	0,16	0,15	40,52	26,24	31,89	0,80	1,7
		Máximo	19592	5,17	4,21	20,09	0,97	0,89	60,41	40,21	98,06	11,25	2,23
		Mínimo	6222	2,52	2,11	12,24	0.0	0.0	0,04	0,03	1,91	0.0	1,07
Barra Nova	Franja	Média	6200	11.0	7.00	47.00	3.0	0.0	44.0	11.0	41.0	1.0	1.0
		Máximo	12800	15,96	8,47	85,74	10,39	0.0	90,21	22,13	99,45	2,15	1,15
		Mínimo	1000	8,57	4,68	20,12	0.0	0.0	55,57	0.0	0.0	0.0	1,07
	Bacia	Média	17797	4.0	3.00	29.00	10.0	1.0	75.0	12.0	2.0	0.0	2.0
		Máximo	30000	5,02	4,88	64,03	28,05	4,03	92,84	21,63	5,43	0.0	2,89
		Mínimo	9938	2,43	1,78	5,16	0.0	0.0	55,57	6,93	0.0	0.0	1,45
São Mateus	Franja	Média	3374	13.0	9.00	34.00	0.0	0.0	37.0	4.0	58.0	1.0	1.0
		Máximo	7333	19,39	13,17	56,68	0.0	0.0	96,79	16,85	97,04	3,24	1,93
		Mínimo	1233	6,53	3,96	15,14	0.0	0.0	0,05	0,5	1,89	0.0	1,21
	Bacia	Média	9513	7.0	6.00	36.00	7.0*	0.0	55.0	13.0	23.0	2.0	1.0
		Máximo	18125	8,87	9,90	45,69	34,84*	0.0	98,96	35,26	58,84	8,08	1,68
		Mínimo	5508	4,24	4,24	22,12	0.0	0.0	26,26	1,04	0.0	0.0	1,15

**Avicennia germinans*

No estuário do rio Piraquê-Açu, é possível observar um aumento na densidade de indivíduos e uma redução do Diâmetro à Altura do Peito (DAP) médio em relação ao primeiro ano nas florestas de franja (Figura 12a). Os valores de densidade são superiores ao esperado para o modelo, sugerindo um possível padrão de sucessão secundária.

As parcelas ao longo do rio Piraquê-Mirim exibiram uma distribuição próxima aos valores encontrados por Jimenez et al. (1985) para florestas com desenvolvimento saudável (Figura 12). Conforme destacado por Jimenez et al. (1985), a maturidade e a idade da floresta influenciam a densidade dos troncos. À medida que a floresta amadurece, o número de indivíduos diminui devido à competição por espaço e ao desenvolvimento das raízes.

Ao analisar a Figura 12C e Figura 12D, nota-se que os dados deste estudo para bosques de bacia, apresentam valores que se distanciam da curva proposta por Jimenez et al. (1985) até o terceiro ano de monitoramento. Isso pode indicar, assim como no caso dos manguezais do rio Piraquê-Açu, algum tipo de alteração natural ou antrópica no desenvolvimento da floresta. Este distanciamento da curva é explicado pela redução do DAP indicando a mudança na estrutura do bosque e no sequestro de carbono. Cavalcanti et al. (2009) sugerem que, quando a densidade dos troncos é muito menor do que a esperada para uma determinada classe de DAP, é possível que os espaços disponíveis não estejam preenchidos por espécies de mangue, indicando possíveis áreas alteradas.

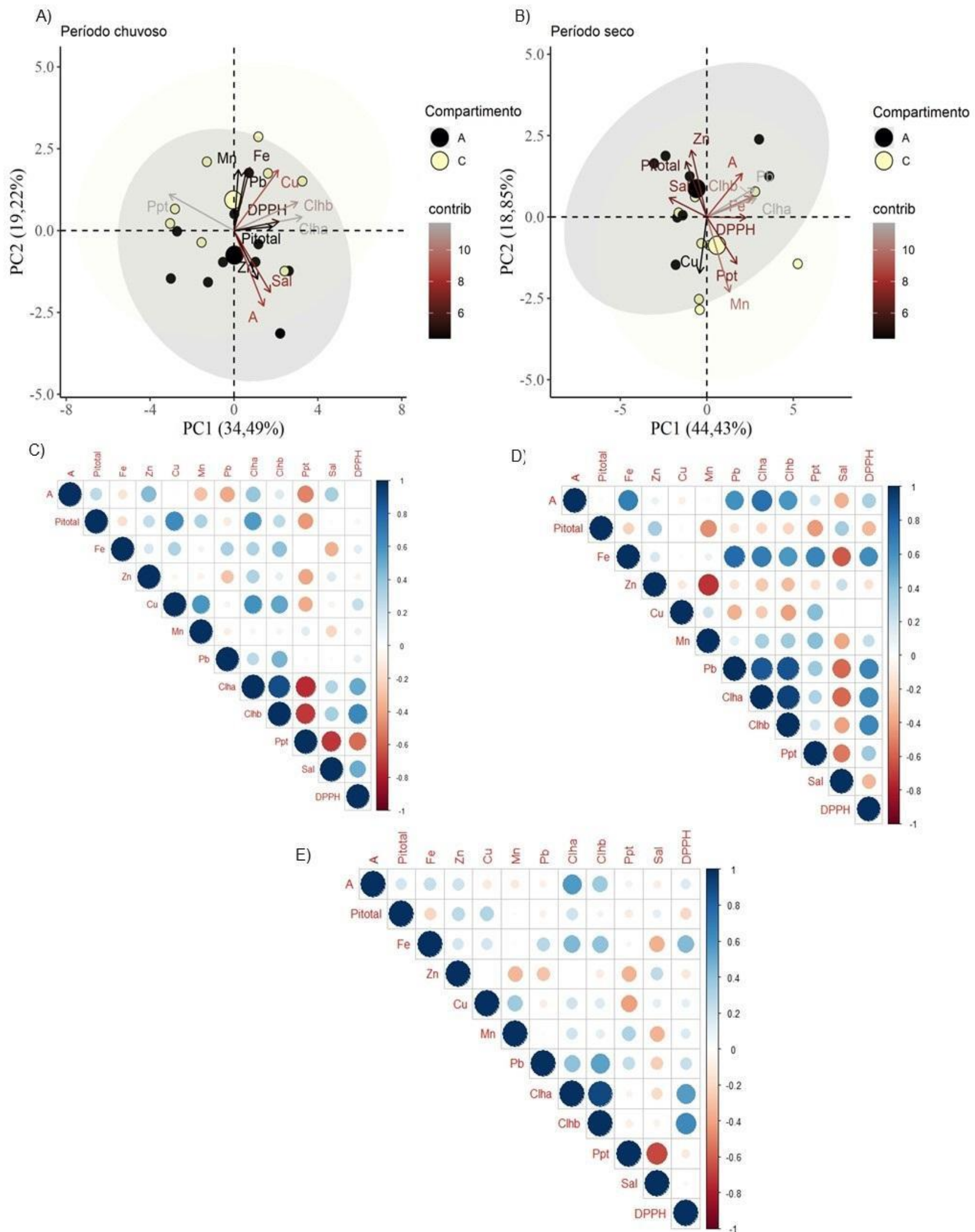
A comparação entre os agrupamentos nos anos 1 e 5 revela mudanças na estrutura das florestas de mangue ao longo do monitoramento (Figura 13).

No ano 1, São Mateus (SM) e Piraquê-Açu (PA) formavam um agrupamento conjunto, sugerindo similaridades estruturais. Comparando aos dados pretéritos, no Ano 5, essas duas áreas foram agrupadas separadamente. Para o Piraquê-Açu em relação ao ano 1 houve aumento na densidade atual (RRDM, 2019 RT 21, Anexo 5 Manguezal) fato que pode ser responsável pela mudança no agrupamento descrito neste relatório, uma vez que os bosques de Barra Nova apresentam características de florestas jovens e desta forma alterando a relação do Piraquê-Açu com as florestas mais maduras como observado no início do monitoramento (Tabela 1) (LOPES et al. 2020).

Os bosques Piraquê-Mirim (PM) mantiveram um agrupamento distinto nos anos 1 e 5, sugerindo uma relativa estabilidade em suas características estruturais, esta estabilidade pode ser observada na Figura 12b onde não são observadas mudanças na composição estrutural das florestas de franja e bacia ao longo do monitoramento.

O estuário do rio São Mateus (SM), por sua vez, trocou de agrupamento entre os anos 1 e 5. Esse movimento pode indicar mudanças na estrutura da floresta nessa área ao longo do tempo.

Figura 14: Indicador Ecológico Flora – *Rhizophora mangle*. Análise de componentes principais (ACP) (A e B) e correlação de Spearman (C, D e E) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Nos manguezais do Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C). Legenda: PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar). A e C: Período chuvoso; B e D: Período seco; E: Período chuvoso e seco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.

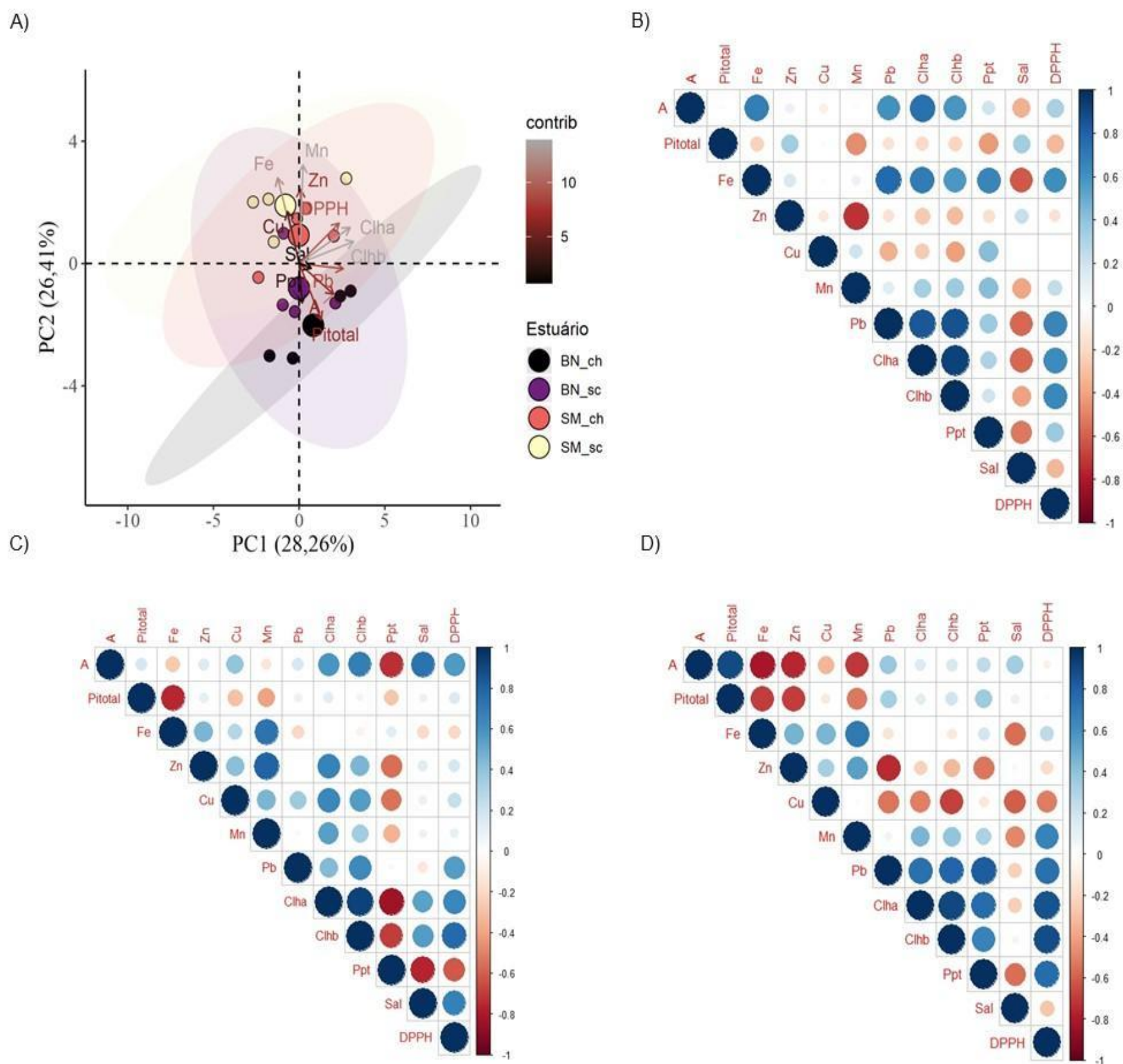


Os parâmetros fisiológicos e a concentração de metais em folhas de *R. mangle* são avaliados considerando os períodos chuvoso e seco, ao longo de todo o monitoramento, separadamente a fim de identificar padrões sazonais no desempenho fotossintético e na absorção de metais para a espécie nos compartimentos A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim) e C (Barra Nova e São Mateus). Os resultados reportados em (FEST, 2023b), evidenciaram, para o período chuvoso, efeito prejudicial da concentração dos metais Mn, Fe e Pb sobre o desempenho fotossintético e do Cu sobre a atividade antirradicalar para a espécie no compartimento C. O oposto foi registrado para o compartimento A que apresenta melhor desempenho fotossintético e maior concentração de Zn. Apesar da necessidade nutricional do Mn, Fe e Cu para crescimento e manutenção da vegetação, registros de comprometimento na síntese de clorofila, redução da assimilação de carbono e, consequentemente, prejuízos no acúmulo de biomassa em função de elevadas concentrações desses metais são identificados para diferentes espécies de mangue (CHENG et al., 2012; HUANG et al., 2019; DEPOLO et al., 2022). Informações mais detalhadas acerca das tendências obtidas para o período chuvoso estão contidas em (FEST, 2023b). A ACP construída para o período seco ao longo de todo o monitoramento, indica que os indivíduos de *R. mangle* monitorados nos estuários do Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, ambos no compartimento A, apresentam melhor desempenho fotossintético (A e PI_{Total}) associado à maior concentração de Zn no tecido foliar e maior salinidade intersticial. A presença do Zn no agrupamento é consequência das funções nas quais este oligoelemento está envolvido, como, por exemplo: estrutura da membrana, fotossíntese, síntese de proteínas e proteção contra seca (NOULAS et al., 2018). Esses resultados evidenciam o papel do elemento em atenuar os efeitos da salinidade sobre o sistema fotossintético (SHAO et al., 2023), principalmente no Piraquê-Mirim, onde a salinidade intersticial pode alcançar, em média, 35. Contudo, apesar do sistema protetivo, a salinidade foi correlacionada com a redução da concentração de clorofila *a* ($r_{salinidade \times clorofila\ a} = -0,61$; $p < 0,05$). Ao contrário do período chuvoso, no período seco, o Fe foi associado ao melhor desempenho fotossintético, visto a correlação positiva entre o elemento e assimilação de carbono ($r_{Fe \times A} = 0,50$; $p < 0,05$), reforçando o papel do Fe como micronutriente essencial para a fotossíntese. Ainda assim, o aumento do elemento foi associado ao aumento do estresse oxidativo ($r_{Fe \times DPPH} = 0,72$; $p < 0,01$) e o padrão descrito aqui foi anteriormente identificado em (FEST, 2023b). Somado a isso tem-se o aumento do estresse oxidativo associado à redução no PI_{Total} ($r_{DPPH \times PI_{Total}} = -0,57$; $p < 0,05$). A análise de correlação para o período seco realça a interação da concentração de pigmentos com o aumento na assimilação de carbono ($r_{clorofila\ a \times A} = 0,73$; $p < 0,01$; $r_{clorofila\ b \times A} = 0,6$; $p < 0,05$), uma vez que essas moléculas são responsáveis pela absorção de luz que é direcionada à fotossíntese. Na ACP do período seco ao longo de todo o monitoramento, oposto ao centróide do compartimento A, encontra-se o compartimento C (Barra Nova e São Mateus) para o qual registra-se maior precipitação no período, mas menor desempenho fotossintético em função da maior concentração de Cu e Mn, indicando que o sistema fotossintético apresenta problemas crônicos neste compartimento, o que compromete sua produção primária. Perpendicular a este padrão, é evidenciado a associação entre DPPH e Pb na ACP, indicando que, além do Fe estar associado ao aumento do estresse oxidativo, o Pb, em menor proporção, também pode afetar a atividade antirradicalar. Neste conjunto de dados, a correlação obtida entre ambos foi positiva, mas não significativa ($r_{Pb \times DPPH} = 0,47$; $p > 0,05$). Em (FEST, 2023b) pela

primeira vez, foi detectado efeito do Pb sobre o estresse oxidativo no período seco de 2022. Portanto, o monitoramento dessas relações é importante para determinar a extensão do efeito do metal sobre *R. mangle*, pois se trata de um metal tóxico com efeitos relevantes apontados na literatura, como, por exemplo, redução na produção primária (HUANG and WANG, 2010; HUIHUI et al., 2020). Uma análise de correlação geral foi feita considerando todos os períodos do monitoramento e integrando parâmetros fotossintéticos e de metais em folhas para *R. mangle*. Esta análise reforça o efeito da concentração de clorofila *a* e *b* sobre a assimilação de carbono ($r_{\text{clorofila a} \times \text{DPPH}} = 0,54$; $p < 0,01$; $r_{\text{clorofila b} \times \text{DPPH}} = 0,39$; $p < 0,05$). A concentração foliar de Fe e Pb foi correlacionada ao aumento do estresse oxidativo ($r_{\text{Fe} \times \text{DPPH}} = 0,47$; $p > 0,01$; $r_{\text{Pb} \times \text{DPPH}} = 0,34$; $p > 0,05$). Outro ponto relevante observado é o aumento da concentração de clorofila *a* e *b* com o aumento do estresse oxidativo ($r_{\text{DPPH} \times \text{clorofila a}} = 0,55$ $p < 0,01$; $r_{\text{DPPH} \times \text{clorofila b}} = 0,61$; $p < 0,01$). Na literatura, o papel fisiológico da clorofila tem sido investigado e tem sido observado que, em baixos níveis de estresse, há estímulo na síntese de clorofila e, à medida que o estresse aumenta, ocorre redução na concentração da molécula nos tecidos vegetais (AGATHOKLEOUS et al., 2020)

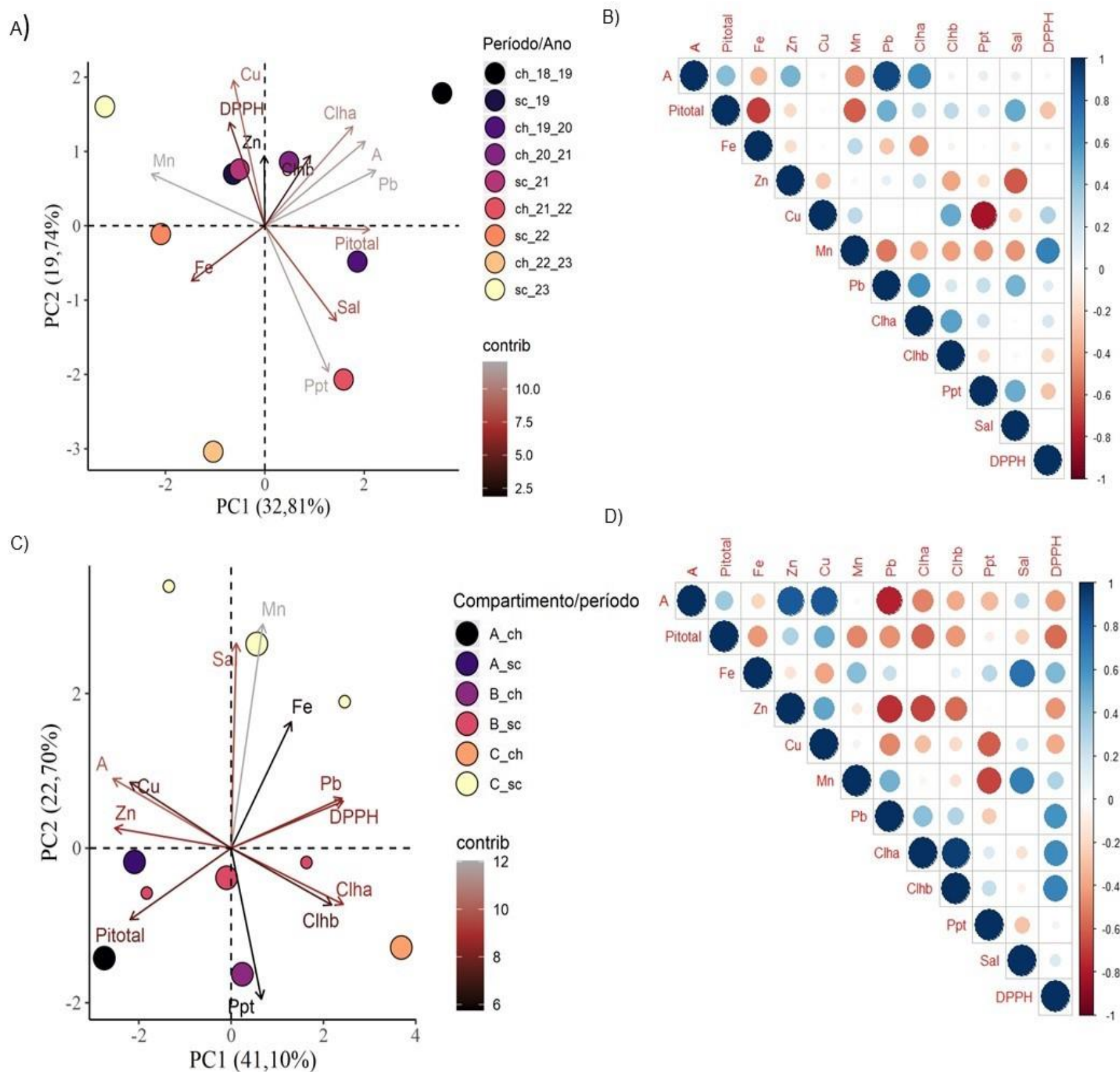
.

Figura 15: Indicador Ecológico Flora – *Laguncularia racemosa*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B, C e D) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) nos manguezais de Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Legenda: PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar). A: Período chuvoso e seco; B: Período chuvoso e seco C: Período chuvoso; D: Período seco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



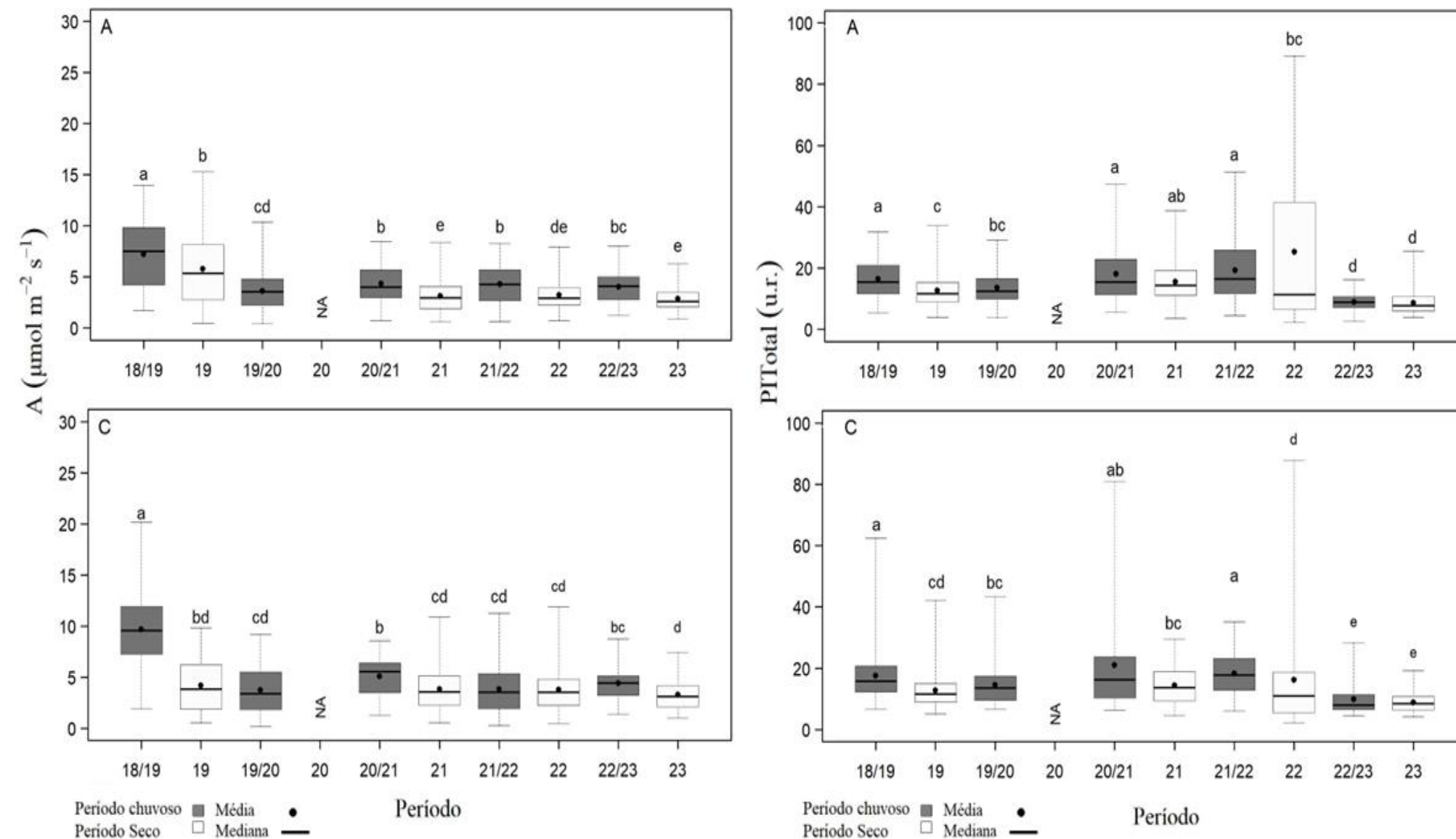
Dentro do monitoramento, os indivíduos de *Laguncularia racemosa* são avaliados em menor extensão do que *R. mangle*, sendo, atualmente, monitorada em Barra Nova e São Mateus, dentro do compartimento C, quanto aos parâmetros fisiológicos e de metais foliares. A integração dos dados é obtida por meio de uma ACP que contempla os períodos chuvoso e seco e por análise de correlação de Spearman. A análise de correlação é obtida para todo o monitoramento e separada por período. Em (FEST, 2023b) foram apresentados e discutidos os resultados da correlação do período chuvoso, e de maneira geral, o efeito dos metais foi atenuado no período de maior precipitação, mas, ainda assim, o efeito do Fe sobre o desempenho fotoquímico e do Pb sobre o estresse oxidativo foram detectados. A ACP indica que *L. racemosa* apresenta melhor desempenho fotossintético no manguezal de Barra Nova, independente da sazonalidade. Neste agrupamento, destaca-se a presença do Pb nas folhas e, consequentemente, o efeito do Pb sobre a fotossíntese não é identificado, mas o elemento continua associado ao estresse oxidativo, conforme registrado na análise de correlação geral obtida para a espécie ($r_{Pb \times DPPH} = 0,55$; $p > 0,05$). Cabañas–Mendoza et al. (2023) consideram *L. racemosa* uma espécie tolerante ao acúmulo de Pb em detrimento à *A. germinans*, uma vez que a espécie acumula mais prolina nos tecidos e aumenta a capacidade antioxidante com o aumento do Pb. Estes mecanismos auxiliam na quelatação, sequestro de metais e na eliminação de radicais livres. Os prejuízos da presença de Fe, Mn, Zn e Cu na folha sobre a produtividade primária continuam a ser identificados em São Mateus e são evidenciadas nas correlações negativas para o período seco entre a concentração desses metais e parâmetros fisiológicos ($r_{Fe \times A} = -0,83$; $p < 0,05$; $r_{Fe \times PITotal} = -0,76$; $p < 0,05$; $r_{Mn \times A} = -0,73$; $p < 0,05$; $r_{Zn \times PITotal} = -0,80$; $p < 0,05$; $r_{Cu \times clorofila\ b} = -0,83$; $p < 0,05$). No período seco também é registrado correlação significativa entre A e PI_{Total} , indicando que, apesar da ação negativa dos metais, a espécie, em algum grau, consegue manter equilibrada as fases fotoquímica e bioquímica da fotossíntese ($r_{PI_{Total} \times A} = 0,90$; $p < 0,01$). Os dados de todo o monitoramento apontam que a redução do PI_{Total} está ligada ao aumento do Fe no tecido foliar ($r_{Fe \times PITotal} = -0,67$; $p < 0,01$), confirmando as correlações obtidas para cada período. Da mesma maneira que *R. mangle*, *L. racemosa* exibe aumento na concentração de clorofila com o aumento no estresse oxidativo ($r_{DPPH \times clorofila\ a} = 0,55$; $p < 0,05$; $r_{DPPH \times clorofila\ b} = 0,60$; $p < 0,01$). Os resultados registrados para *L. racemosa*, no âmbito do PMBA/Fest, mostram que os indivíduos da espécie exibem alterações em sua produção primária e na sua atividade antirradicalar, associada ao aumento dos metais nas folhas, principalmente no período seco, o que confirma a importância da espécie como biomonitora de substâncias tóxicas em estuários (SOUZA et al., 2014).

Figura 16: Indicador Ecológico Flora – *Talipariti pernambucense*. Análise de componentes principais (ACP) (A e C) e Correlação de Spearman (B e D) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre foliar, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, ppt – precipitação, sal – salinidade intersticial, DPPH• - 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (atividade antirradicalar). A e B: ACP e correlação de Spearman contemplam os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) no Rio Doce; C e D: contempla o período chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. No Piraquê-Açu (Compartimento A), Rio Doce (Compartimento B), São Mateus (Compartimento C). A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



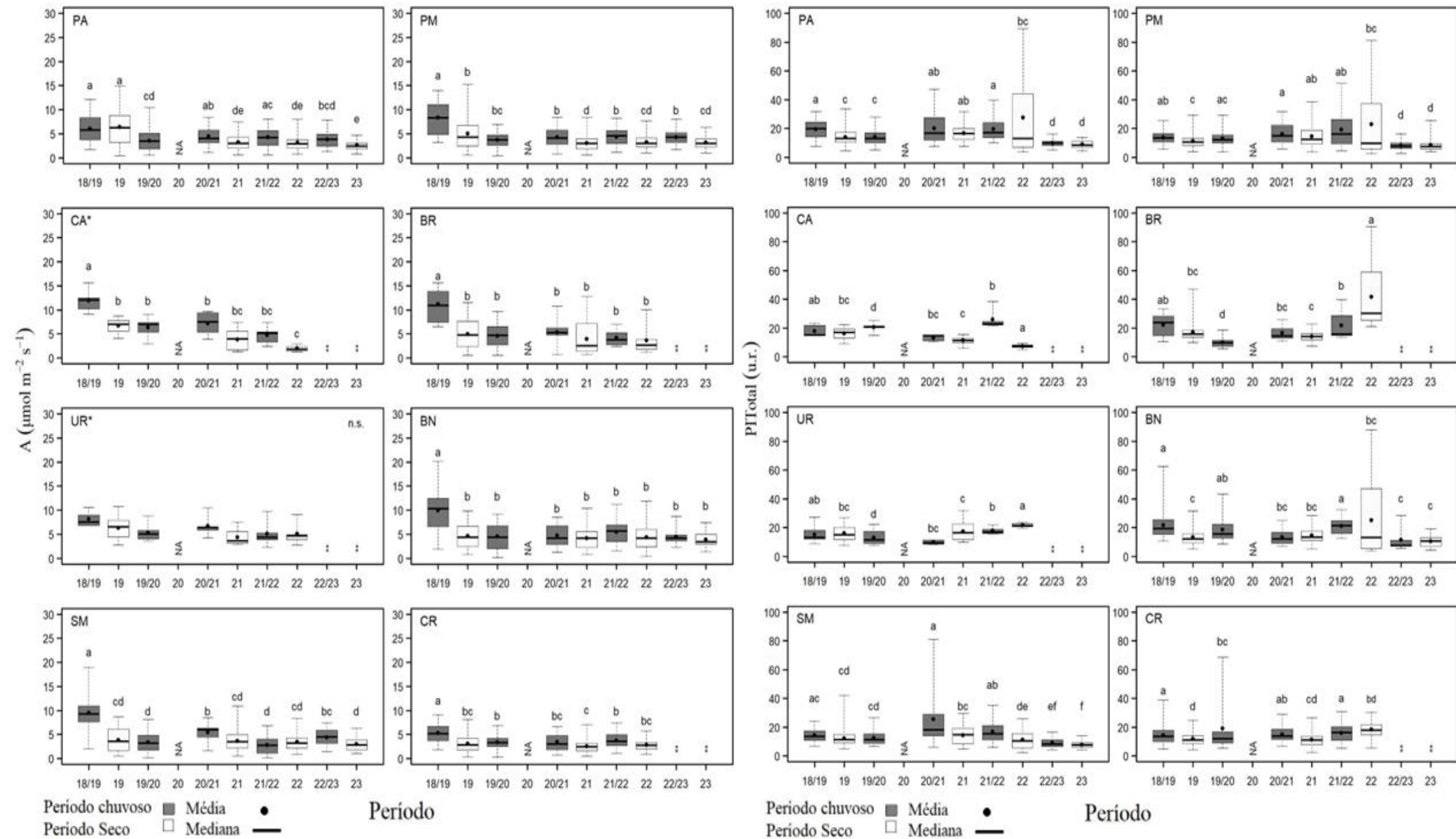
Talipariti pernambucense é acompanhada na foz do Rio Doce desde o início do PMBA/Fest e a integração dos seus parâmetros fisiológicos e de metas em folhas foi realizada por meio da ACP e correlação de Spearman para todos os períodos amostrados. A ACP obtida para a espécie no Rio Doce agrupa os períodos chuvosos 2018/2019 e 2019/2020 em função da maior eficiência fotossintética (A, PI_{Total} e clorofila *a*) e maior concentração de Pb, indicando que a espécie possui mecanismos capazes de dirimir os efeitos tóxicos do Pb no processo fotossintético, visto a correlação entre o elemento e assimilação de carbono ($r_{Pb \times A} = 0,78$; $p > 0,05$). A compartimentação vacuolar é um mecanismo registrado na literatura (SHARMA et al., 2016), estratégia que restringe a ação do metal no citoplasma e no acesso às estruturas fotossintetizantes. Ao contrário desse agrupamento, os períodos secos de 2022 e 2023 são associados ao Fe e Mn na folha e esses elementos causam prejuízo ao sistema fotossintético, haja visto suas posições na ACP e a correlação negativa entre Mn e o desempenho fotoquímico ($r_{Mn \times PI_{Total}} = -0,70$; $p > 0,05$). Os períodos secos de 2019 e 2021 foram associados ao estresse oxidativo e, juntamente com o período chuvoso 2020/2021, são agrupados em função da concentração de Zn, Cu e clorofila *b* na folha. Para os períodos chuvosos 2021/2022 e 2022/2023, registrou-se a maior precipitação durante o monitoramento e, por isso, foram agrupados. Concomitantemente à elevada precipitação ocorrida no período chuvoso 2022/2023, houve aumento de 60% do Fe foliar em relação ao período anterior (seco 2022) e redução no desempenho fotossintético (A e PI_{Total}). No período posterior (seco 2023), não foi registrada recuperação do desempenho do sistema fotossintético. Novas áreas de *T. pernambucense* foram adicionadas no novo ciclo do PMBA/Fest, o que permite comparar o desempenho da espécie nos três compartimentos (A – Piraquê-Açu, B – Rio Doce e C – São Mateus). A ACP construída para a espécie evidencia o compartimento A, independente do período sazonal, com maior desempenho fotossintético (A e PI_{Total}) e associado à concentração de Zn e Cu ($r_{Zn \times A} = 0,83$; $p > 0,05$; $r_{Cu \times A} = 0,78$; $p > 0,05$). Em oposição a este agrupamento, tem-se o centróide do compartimento C para o período chuvoso e a amostragem realizada no período seco 2023 para o compartimento B, com menor desempenho fotossintético e agrupados em função da concentração de clorofila, Pb e o estresse oxidativo. Além disso, o efeito do Pb sobre a assimilação de carbono e estresse oxidativo são registradas na análise de correlação ($r_{Pb \times A} = -0,73$; $p > 0,05$; $r_{Pb \times DPPH} = 0,71$; $p > 0,05$). O padrão de resposta fisiológica de *T. pernambucense* ao Pb para a análise dos compartimentos foi diferente do observado utilizando apenas os dados do Rio Doce, mas a eficiência em neutralização do Pb pela espécie não está tão eficaz para os níveis obtidos. A ACP evidencia novamente o efeito da elevada precipitação e, consequentemente, da vazão do Rio Doce sobre a espécie, conforme reportado pelo Tema Bacia Integração (FEST, 2023b).

Figura 17: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal da assimilação de carbono (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (C) Compartimento C – Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



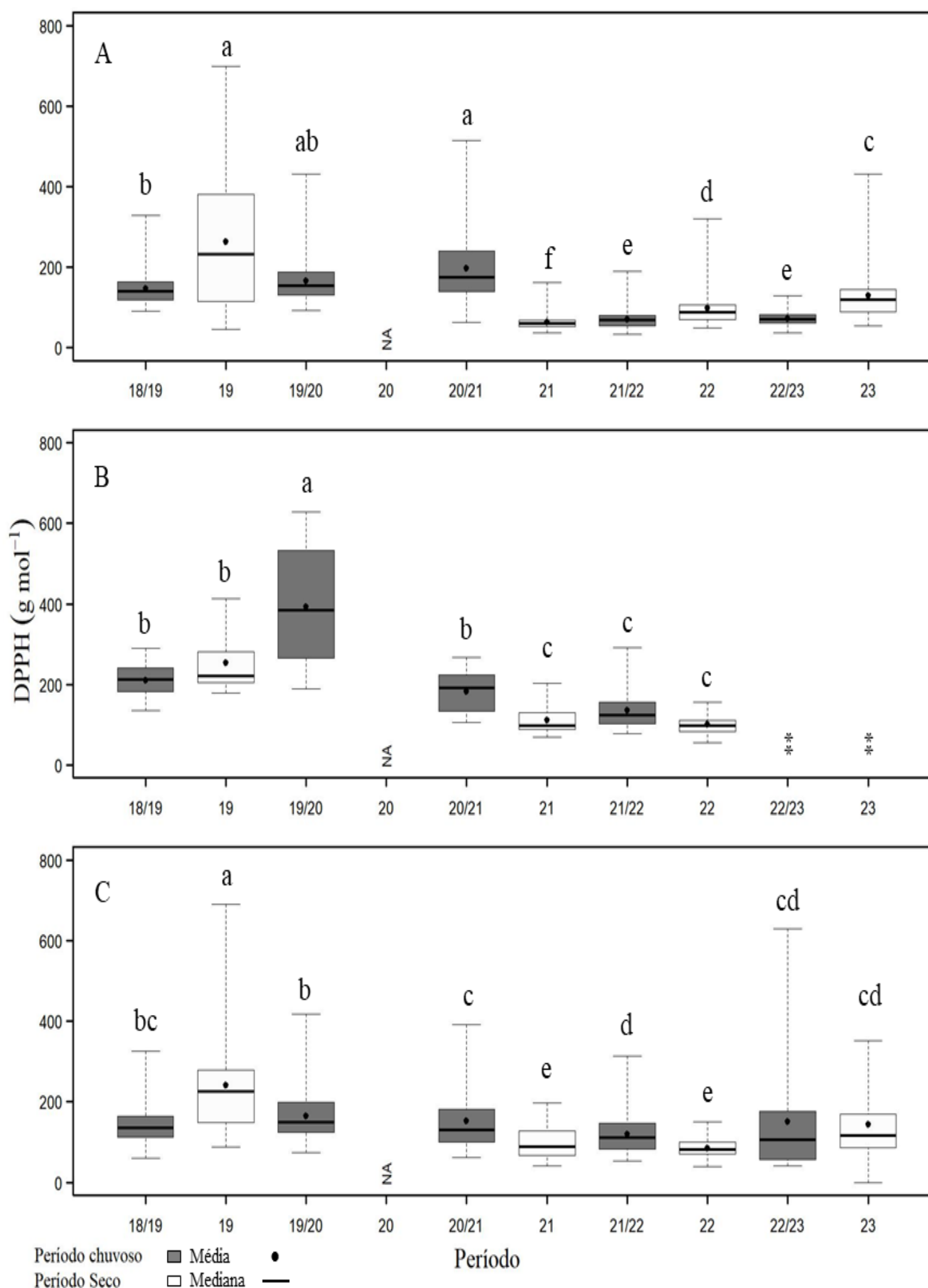
A análise temporal dos parâmetros fotossintéticos de assimilação de carbono (A) e índice de conservação de energia (PI_{Total}) por compartimentos (A e C), indicam continuação da tendência de redução da eficiência fotossintética na espécie *R. mangle*. No compartimento A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), esta redução da atividade fotossintética, representada pelo parâmetro A , vem sendo observada desde o período Seco 2021. No compartimento C (Barra Nova e São Mateus), a redução da atividade fotossintética na espécie foi mais perceptível no último monitoramento (Seco 2023) principalmente relacionado à atividade fotoquímica (PI_{Total}). Neste compartimento, ao longo do monitoramento, foi observada uma grande variação dos valores obtidos em campo, representado pelo alto desvio padrão principalmente para os dados de PI_{Total} , mas esses valores médios sempre foram menores comparativamente àqueles registrados no primeiro monitoramento (Chuvoso 2018_2019), exceto Chuvoso 2020_2021 e Chuvoso 2021_2022 para PI_{Total} , evidenciando a tendência de redução. No período chuvoso, também é destacada redução da atividade fotossintética (mais detalhado em FEST, 2023a) em relação ao primeiro ano de monitoramento (Chuvoso 2018_2019). Porém, os valores médios sempre foram maiores quando comparados ao período seco do mesmo ano monitorado.

Figura 18: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal da assimilação de carbono (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



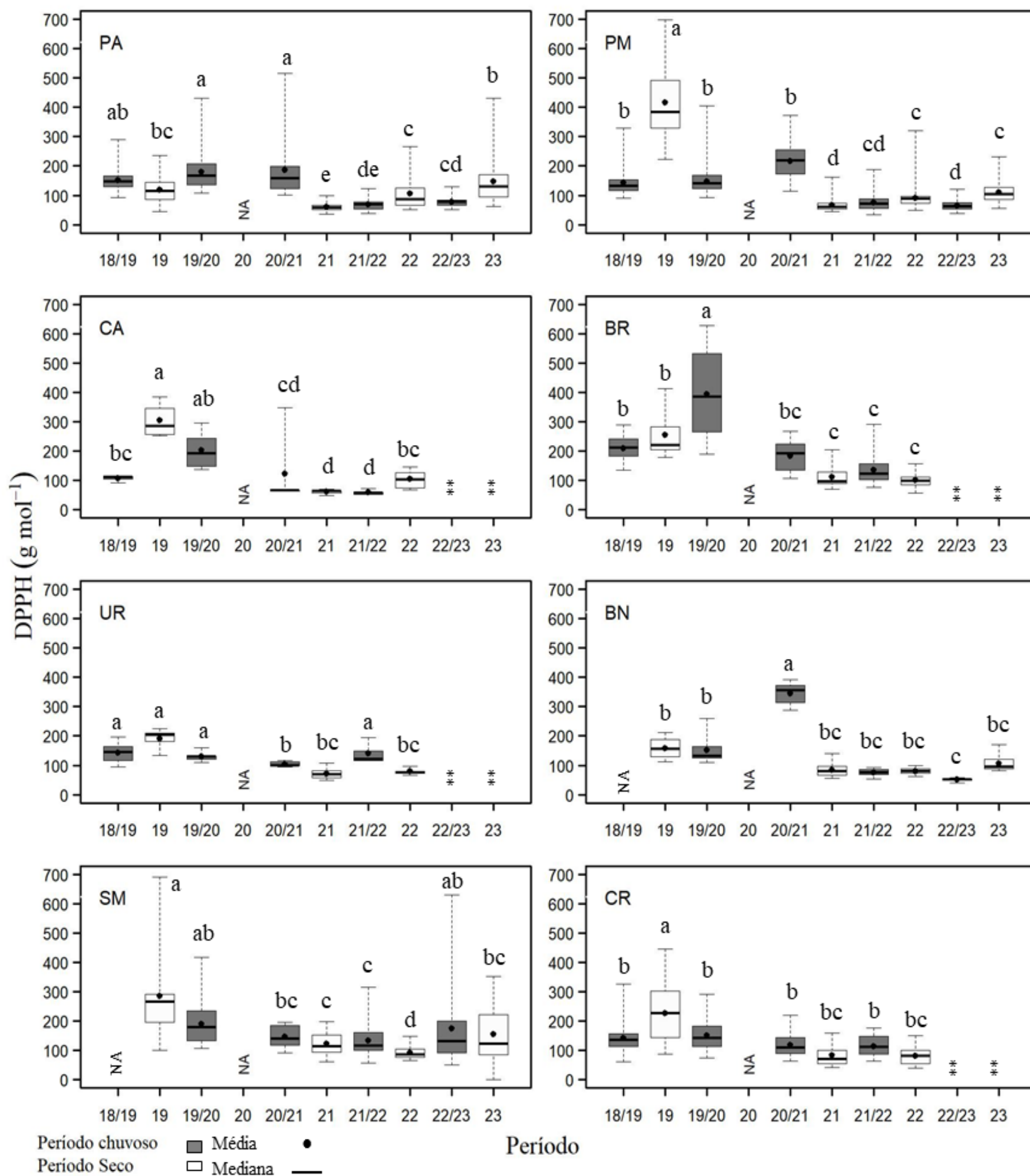
A análise temporal da assimilação de carbono (A) em *R. mangle*, por estuários, mantém-se baixa ao longo de todo o monitoramento, exceto em Piraquê-Açu no período Seco 2019, onde foi observado valor médio comparável ao de chuvoso_2018_2019. Em Barra Nova, uma baixa, porém constante, assimilação de carbono vem sendo observada desde Seco 2019 até Seco 2023 em ambos os períodos, não havendo diferença estatística ao longo de todo o monitoramento. Os estuários Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e São Mateus não têm apresentado diferenças significativas entre os períodos secos ao longo do monitoramento a partir de Seco 2021 (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim) e a partir de Seco 2019 (São Mateus). Houve redução do índice de desempenho fotoquímico no período Seco 2023 em Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e São Mateus. Contudo, em todos os estuários manteve-se uma tendência de redução da atividade fotoquímica em todo o monitoramento no período seco. Ainda podemos destacar a redução acentuada de PI_{Total} registrada em Seco 2023, quando comparados os valores médios observados nos monitoramentos anteriores. Nesta análise temporal por estuário, também são destacados os maiores valores médios de assimilação de carbono no período chuvoso quando comparados ao período seco no mesmo ano, exceto Chuvoso 2018_2019xSeco 2019 em Piraquê-Açu e Chuvoso 2021_2022xSeco 2022 em São Mateus.

Figura 19: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH'. Análise temporal da atividade antirradicalar – DPPH (g mol^{-1}) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (B) Compartimento B - Barra do Riacho; (C) Compartimento C - Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a setembro de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



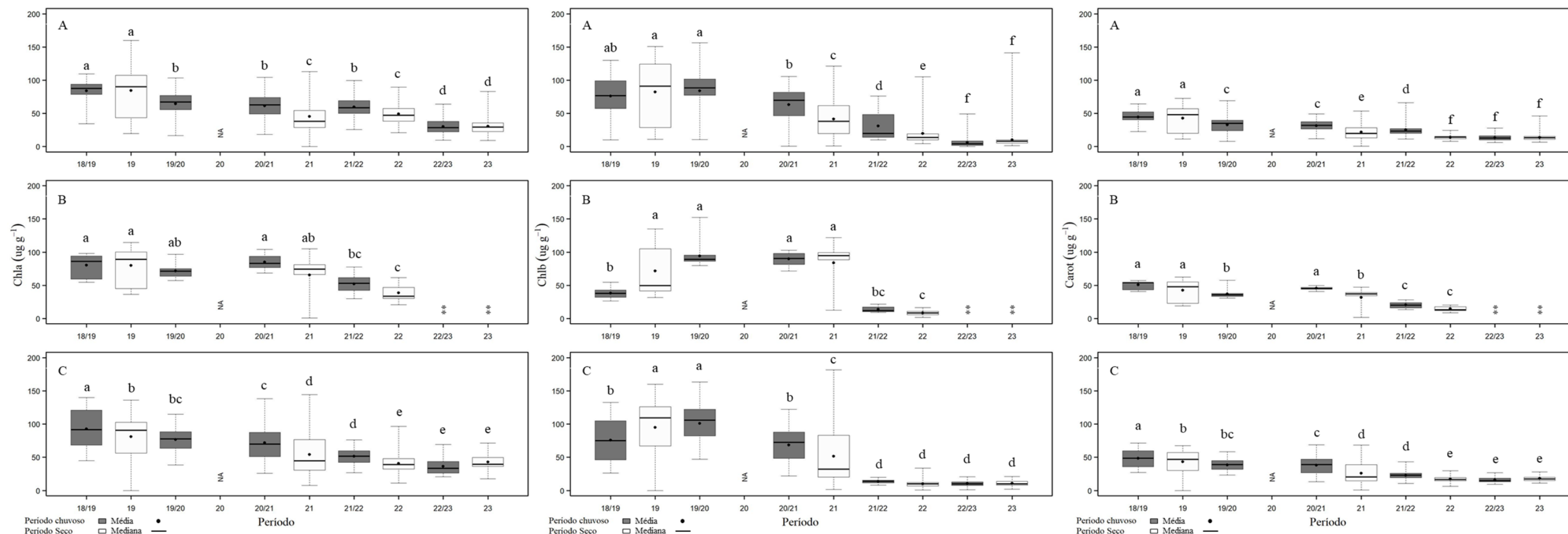
Os dados de DPPH aqui apresentados são expressos como IC50 que representa a concentração mínima necessária de uma amostra/extrato com os compostos bioativos de interesse para conduzir a uma redução de 50% dos radicais DPPH' presentes na matriz analisada (Prado, 2009), ou seja, colunas maiores nos gráficos representam menor capacidade oxidativa. Na análise temporal do estresse oxidativo de *R. mangle* realizada nos três compartimentos, observou-se aumento nos valores da atividade antirradicalar (DPPH) no compartimento A no período Seco_23, comparativamente ao período seco anterior (Seco_22). As maiores médias de DPPH no compartimento A ocorreram no início do monitoramento, principalmente nos períodos Seco_19 e Chuvoso 20_21. No compartimento C, também houve aumento de DPPH no período Seco_23, comparativamente aos períodos Seco_21 e Seco_22. Não houve diferença significativa dessa variável em relação ao último período chuvoso (Chuvoso 22_23). O monitoramento no compartimento B foi descontinuado, portanto possui série histórica menor.

Figura 20: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH'. Análise temporal da atividade antirradicalar DPPH (g mol^{-1}) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Na análise temporal envolvendo cada estuário separadamente, observa-se aumento nos valores de DPPH no período Seco_23 no estuário do Piraquê-Açú, sendo o maior valor encontrado quando comparado aos demais períodos secos. Ao longo da série temporal, no entanto, maior atividade antirradicalar pode ser observada nos períodos Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21 para este estuário. No Piraquê-Mirim e em Barra Nova não houve diferença significativa nos valores de DPPH no período Seco_23 em relação ao Seco_22. Entretanto, quando se compara com o último período chuvoso (Chuvoso 22_23), observou-se um leve aumento na atividade antirradicalar de *R. mangle*. Nota-se que em Barra Nova, há uma tendência de estabilidade nos valores de DPPH desde o período Seco_21. Em São Mateus, houve diminuição de DPPH no período Seco_23, comparativamente ao último período analisado (Chuvoso 22_23). Em comparação ao período Seco_22, os valores de DPPH aumentaram no período Seco_23. Os menores valores registrados nos estuários não excluem a possibilidade de estresse oxidativo, uma vez que tal variável deve ser considerada em associação com as demais variáveis analisadas na flora. O monitoramento nos estuários de Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas foi descontinuado, portanto possuem série histórica menor.

Figura 21: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila a (Chla), clorofila b (Chlb) e carotenoides (Carot) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (B) Compartimento B - Barra do Riacho; (C) Compartimento C – Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Não houve diferença significativa na concentração de clorofila-a nos dois últimos períodos analisados (Chuvoso 22_23 e Seco_23) nos compartimentos A e C. Observa-se tendência de queda nos valores do pigmento a partir dos períodos Seco_22 e Seco_21 nos compartimentos A e C, respectivamente. Comportamento semelhante pode ser observado em relação à concentração de clorofila-b e carotenóides, com redução de valores a partir do Ano 4 do monitoramento (Out/2021 a Set/22) em todos os compartimentos analisados. Decréscimo nos valores de clorofila podem comprometer a eficiência de captura de energia do PSII e reduzir o transporte de elétrons (KOCHEVA et al., 2004). O monitoramento no compartimento B foi descontinuado, portanto possui série histórica menor.

Figura 22: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila a (Chla) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

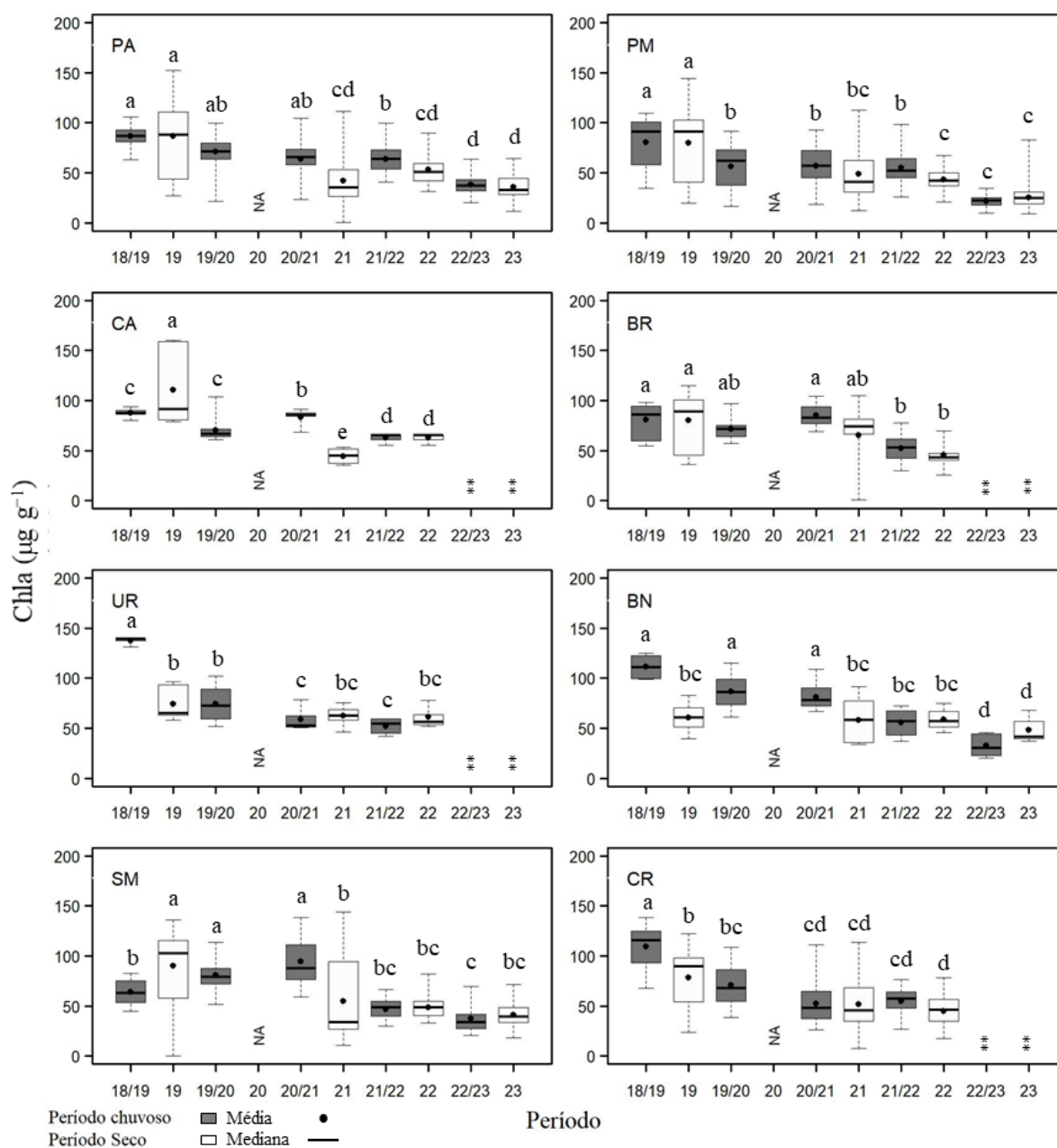


Figura 23: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila b (Chlb) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

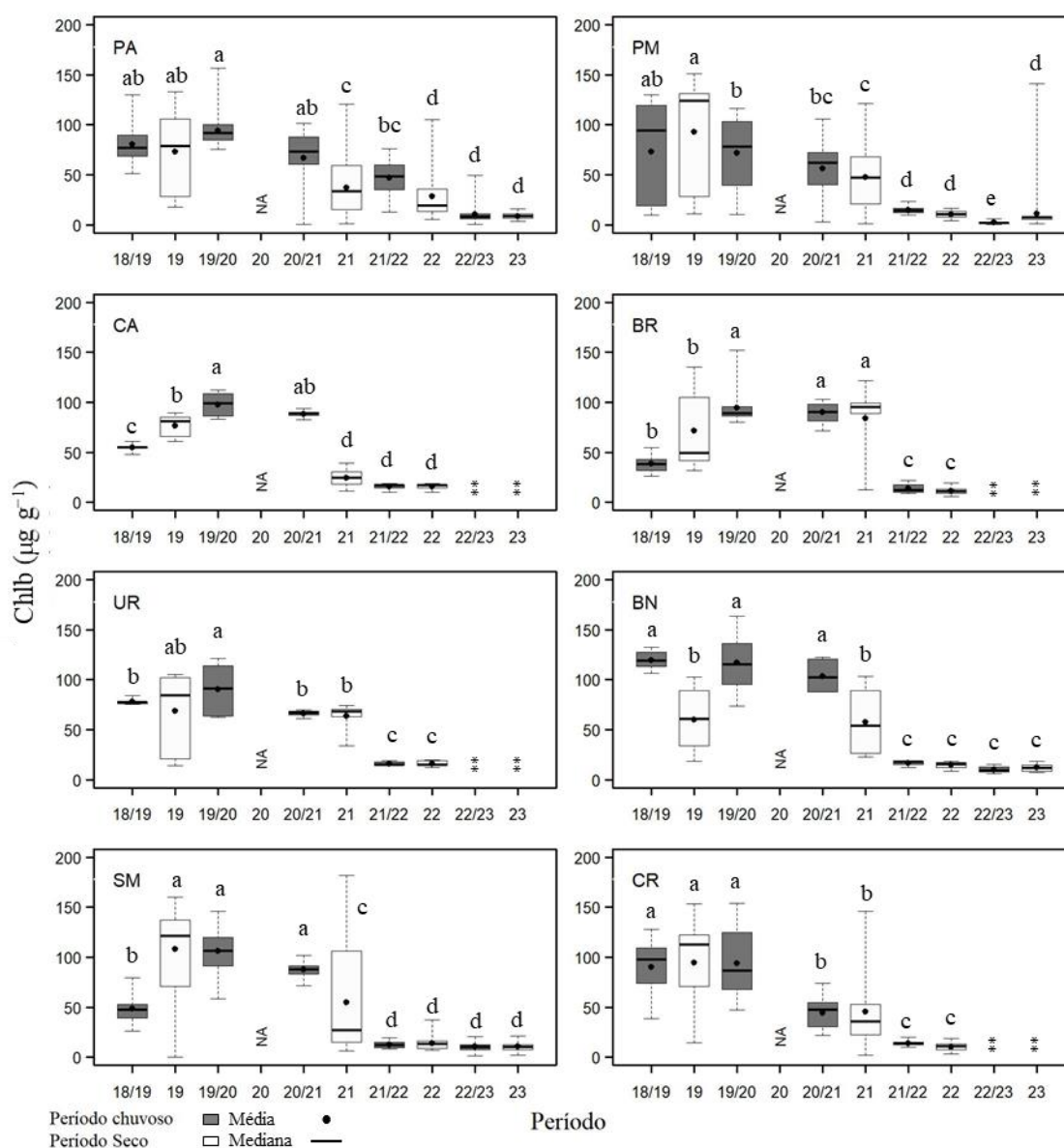
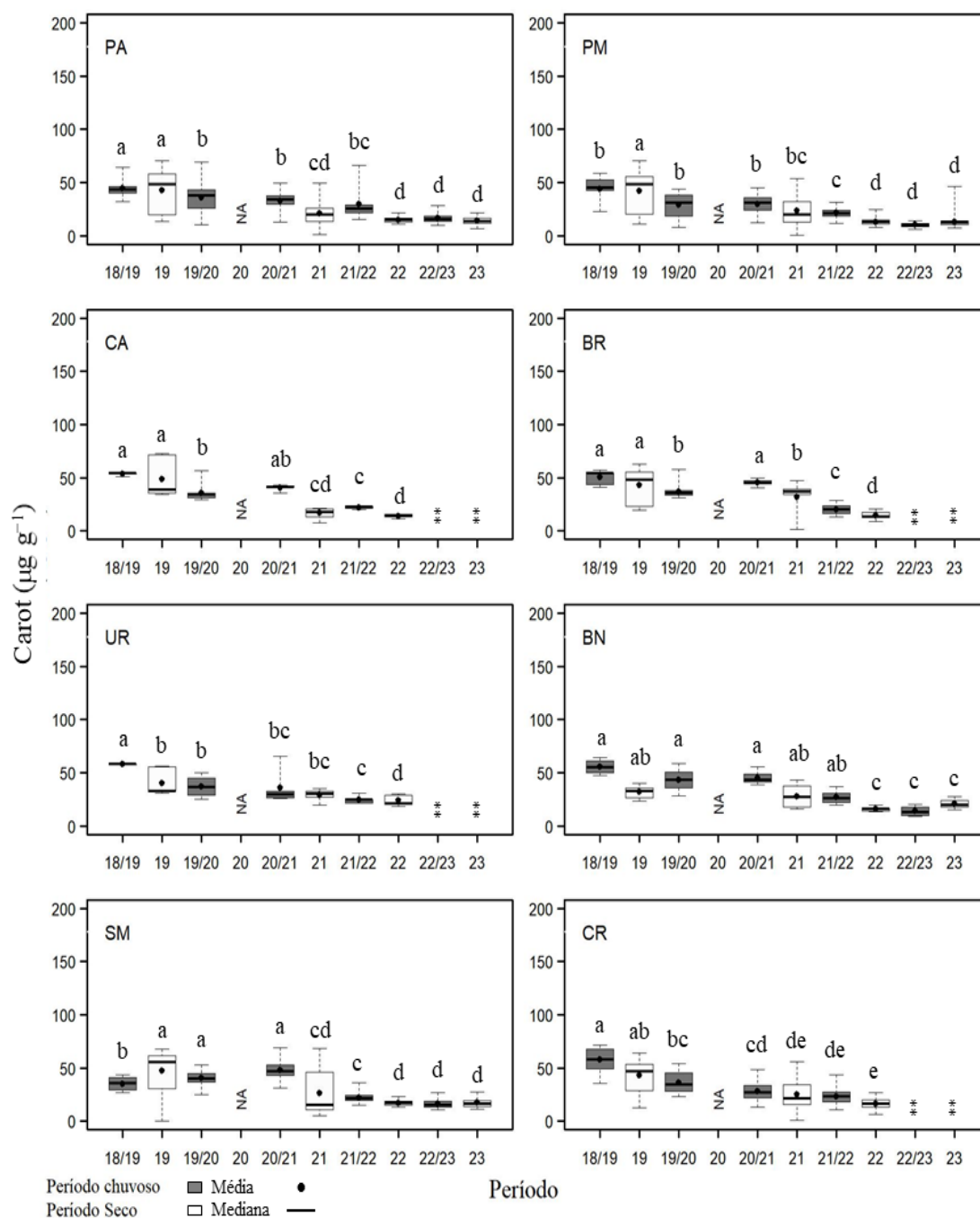
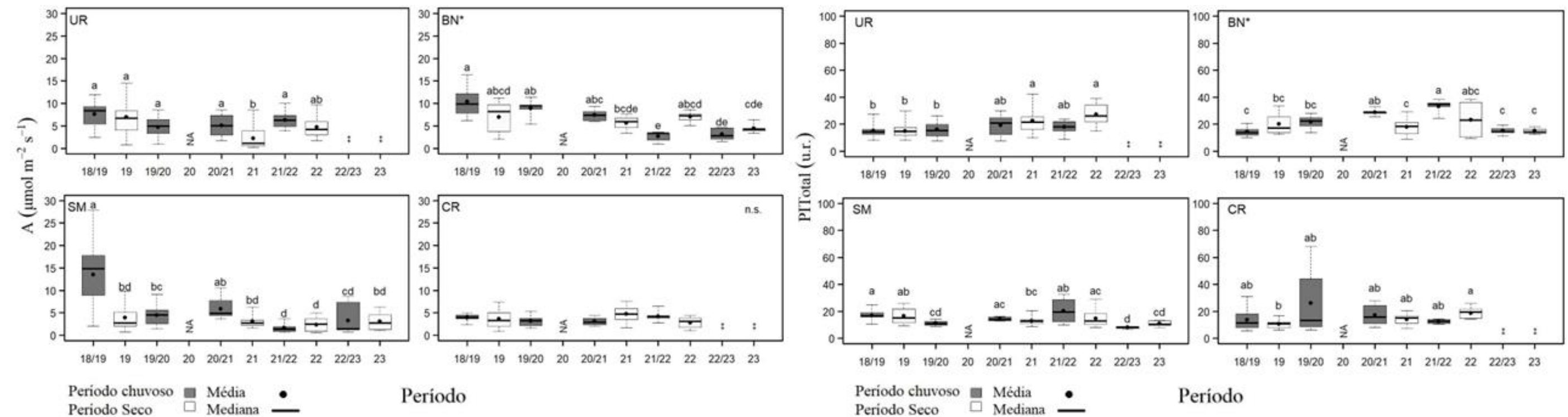


Figura 24: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de carotenoide (Carot) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



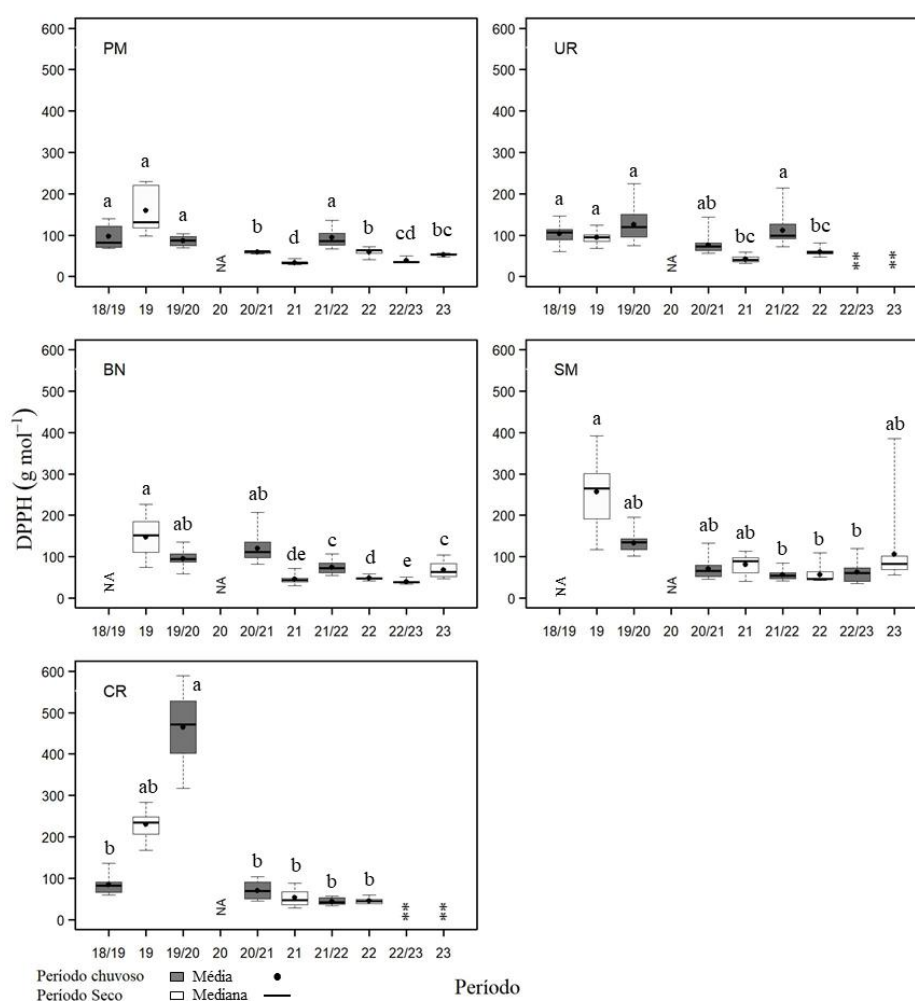
No geral, não houve diferença estatística significativa na concentração de clorofila-a, clorofila-b e carotenoide (Figura 22, Figura 23 e Figura 24) nos dois últimos períodos analisados (Chuvoso 22_23 e Seco_23) para os estuários do Piraquê-Açú, Piraquê-Mirim, Barra nova e São Mateus. Para clorofila-a em São Mateus e clorofila-b no Piraquê-Mirim observa-se um leve aumento nos valores registrados no período Seco_23, comparativamente ao Chuvoso 22_23, mas sem diferença quando comparado ao Seco_22.

Figura 25: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Análise temporal da assimilação de carbono (A) e índice de conservação de energia (PI_{Total}) da espécie *L. racemosa* presente nos estuários de Barra Nova e São Mateus mostrou pouca diferença entre os períodos secos ao longo do monitoramento. Porém, nota-se tendência de redução da atividade fotossintética e vitalidade da planta a partir do período Seco 2021. Além disso, ainda não é verificada uma tendência entre os períodos chuvosos e secos, devido às grandes variações observadas entre esses períodos, nem mesmo diferenças estatísticas. As exceções foram observadas pontualmente, em Barra Nova, onde a assimilação de carbono foi maior no período Seco 2022, quando comparado a Chuvoso 2021_2022, e em São Mateus, onde a maior atividade fotossintética foi verificada em Chuvoso 2018_2019 quando comparada a Seco 2019. Maior atividade fotoquímica foi observada apenas no período Chuvoso 2020_2021 comparada ao Seco 2021 em Barra Nova.

Figura 26: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH'. Análise temporal da atividade antirradicalar – DPPH (g mol^{-1}) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Para *L. racemosa*, houve aumento nos valores de DPPH nos estuários do Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus no período Seco_23, em relação ao último período analisado (Chuvoso 22_23). Entretanto, no Piraquê-Mirim, os maiores valores de DPPH ao longo da série histórica foram observados em todo o Ano 1 e nos períodos chuvosos do Ano 2 (Chuvoso 19_20) e Ano 4 (Chuvoso 21_22). No estuário de Barra Nova, os períodos Seco_19, Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21 apresentaram altos valores de DPPH, considerando todo o monitoramento. Em São Mateus, os dados de atividade antirradicalar mais elevados no período Seco_23 foram semelhantes aos observados nos três primeiros anos de monitoramento.

Figura 27: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila a (Chla) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

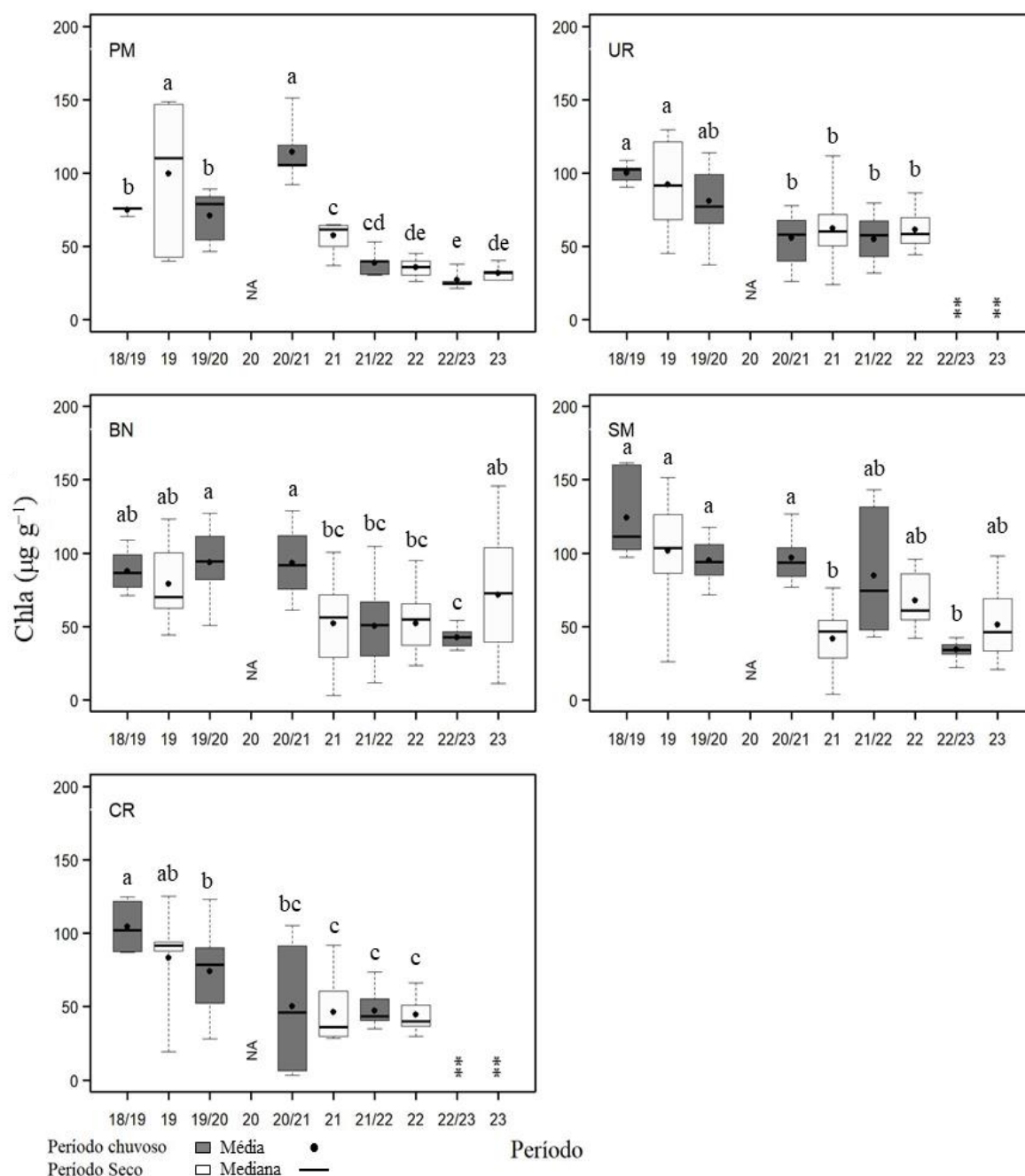


Figura 28: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila b (Chlb) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

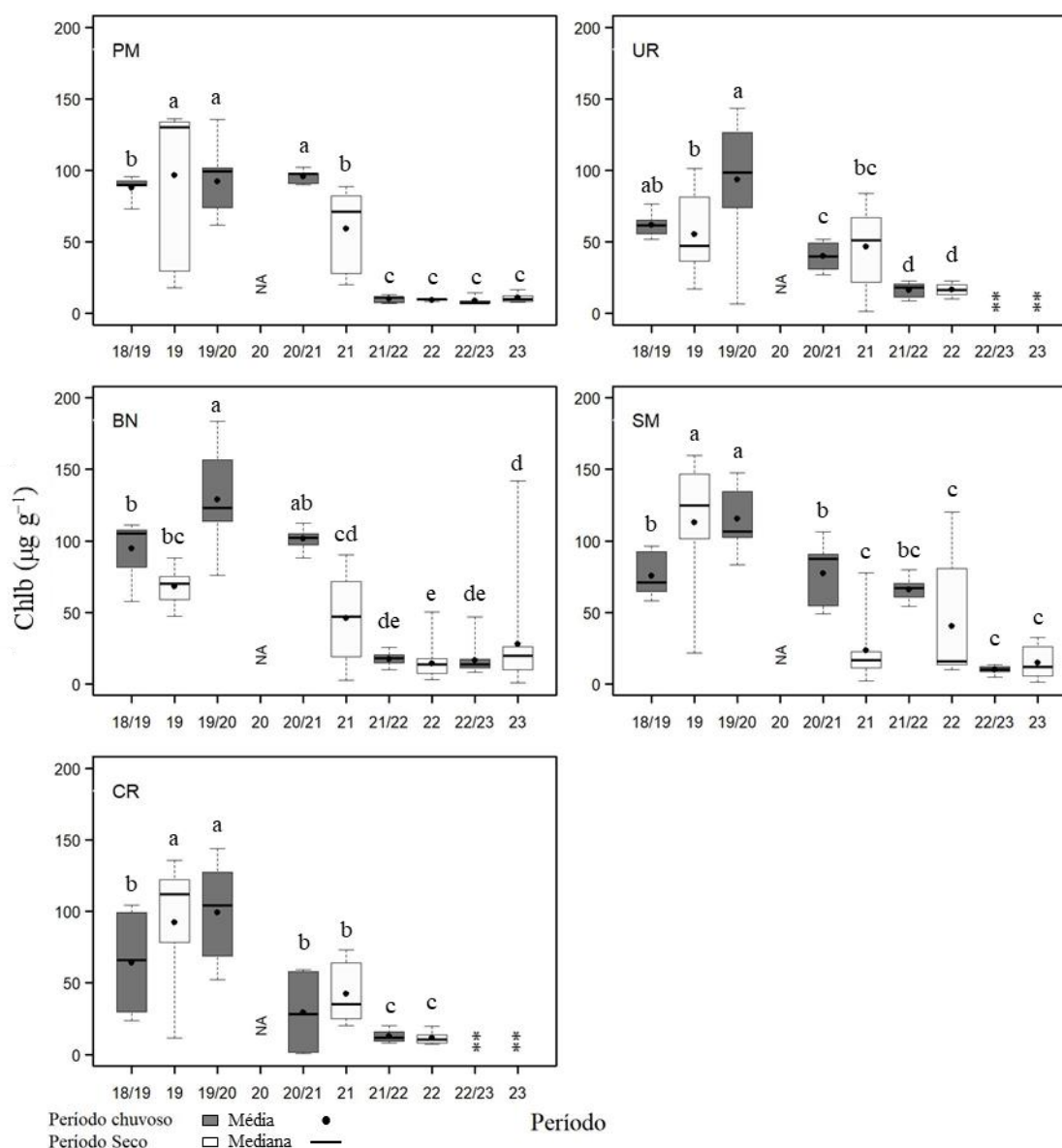
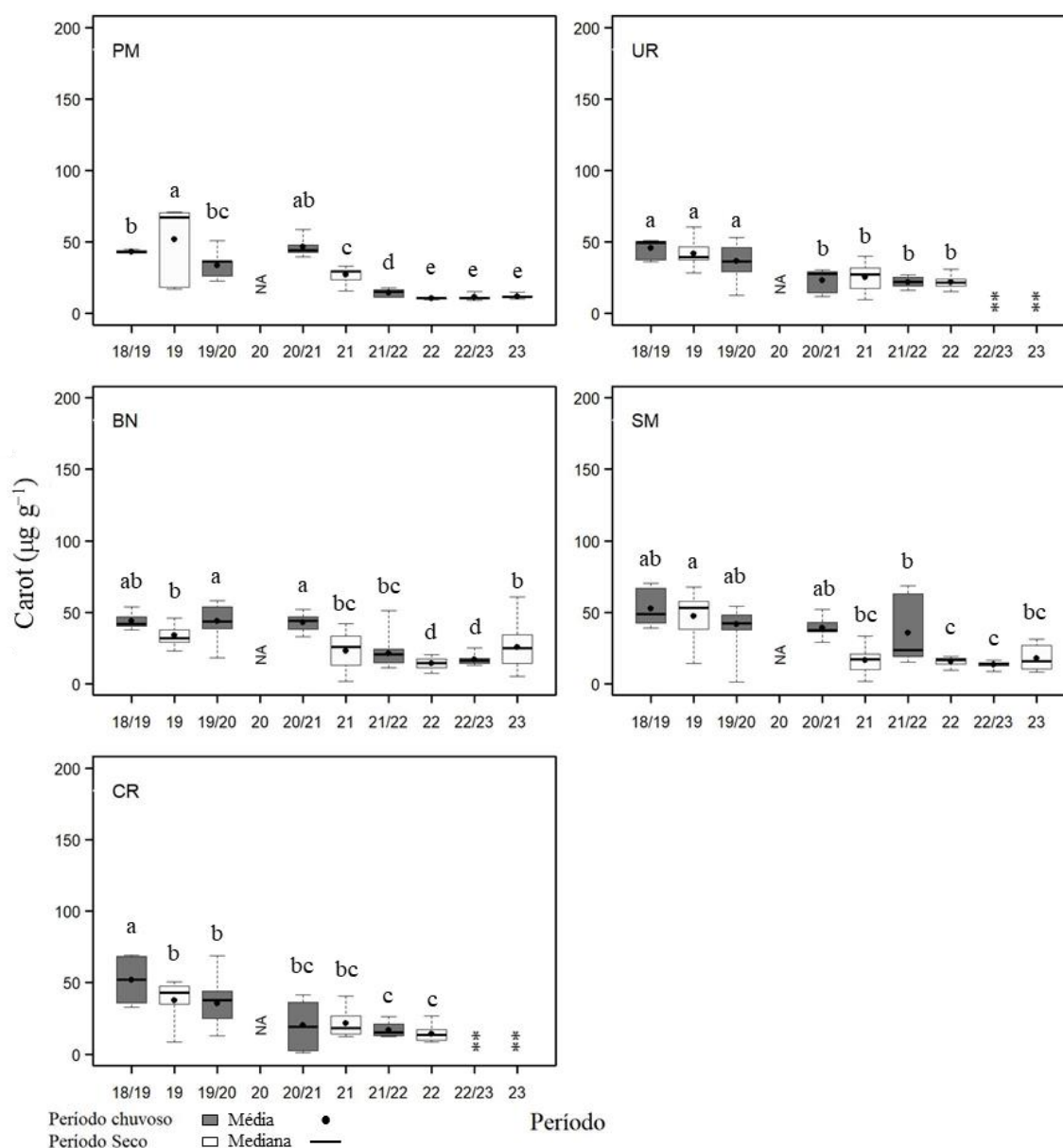
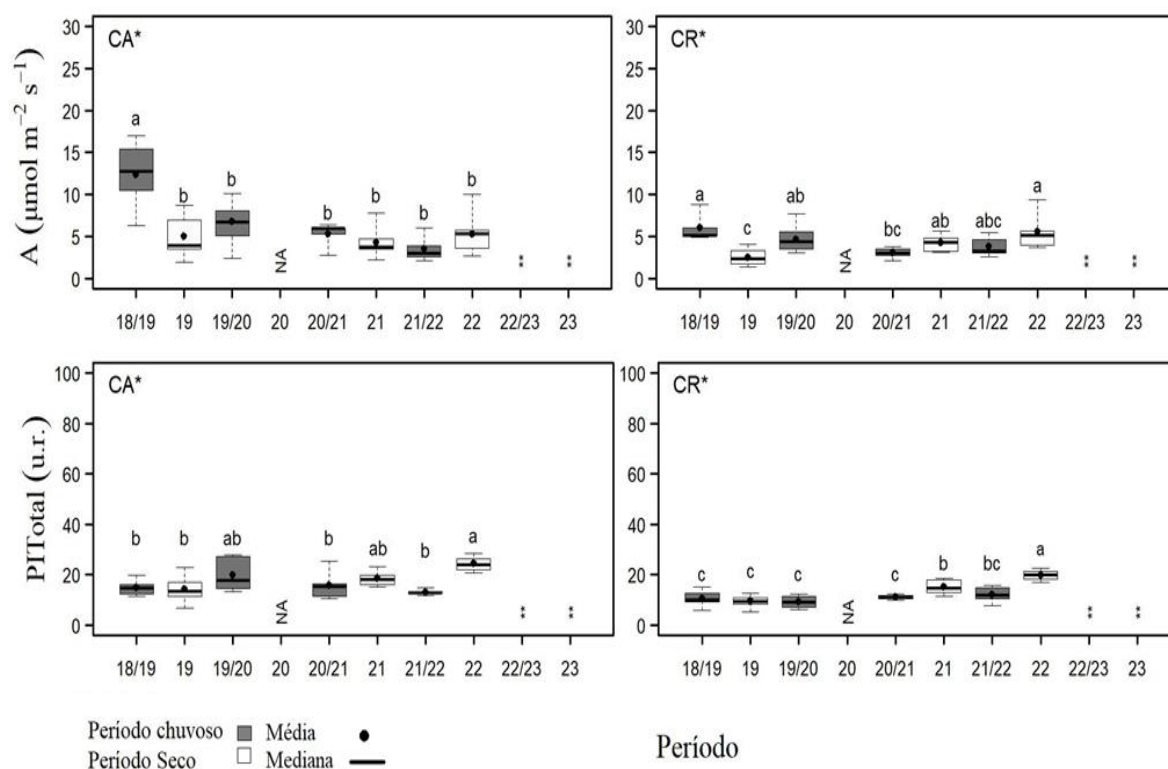


Figura 29: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de carotenoides (Carot) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



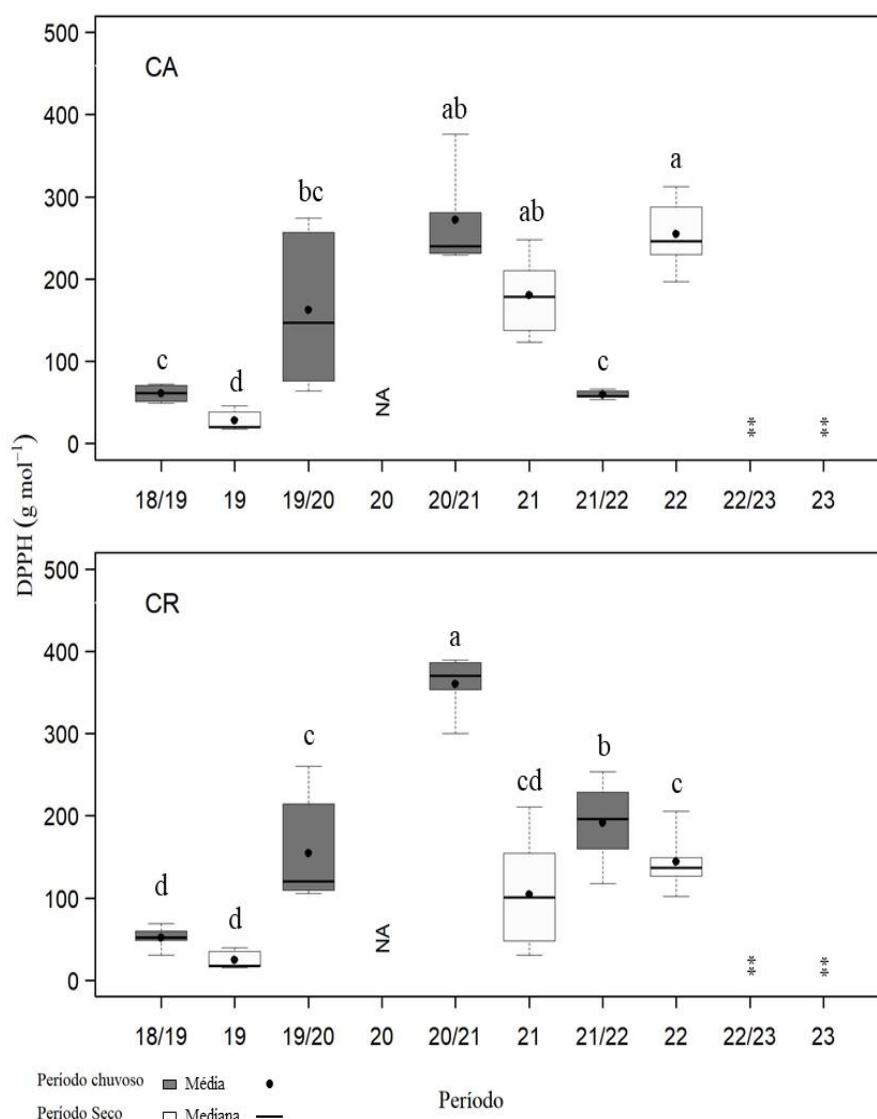
Maiores valores de clorofila-a em *L. racemosa* foram observados nos estuários do Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus (Figura 27). Em Barra Nova, a concentração do pigmento no período Seco_23 foi semelhante à encontrada os períodos Chuvoso 19_19 e Seco_19. Em São Mateus, apesar dos menores valores nos períodos Seco_21 e Chuvoso 22_23, observa-se tendência de estabilidade na concentração do pigmento durante todo o monitoramento. Para clorofila-b (Figura 28), observa-se estabilidade de valores a partir do período Chuvoso 21_22 no estuário do Piraquê-Mirim, com as menores concentrações de clorofila-b analisadas na série histórica. Comportamento semelhante pode ser observado nos estuários de Barra Nova e São Mateus, com valores muito próximos a partir do período Seco_21. Houve queda na concentração de carotenóides (Figura 29) nos estuários analisados também a partir do período Seco_21, com tendência de estabilidade no Piraquê-Mirim e oscilação de valores nos estuários de Barra Nova e São Mateus.

Figura 30: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (CA) Costa das Algas; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



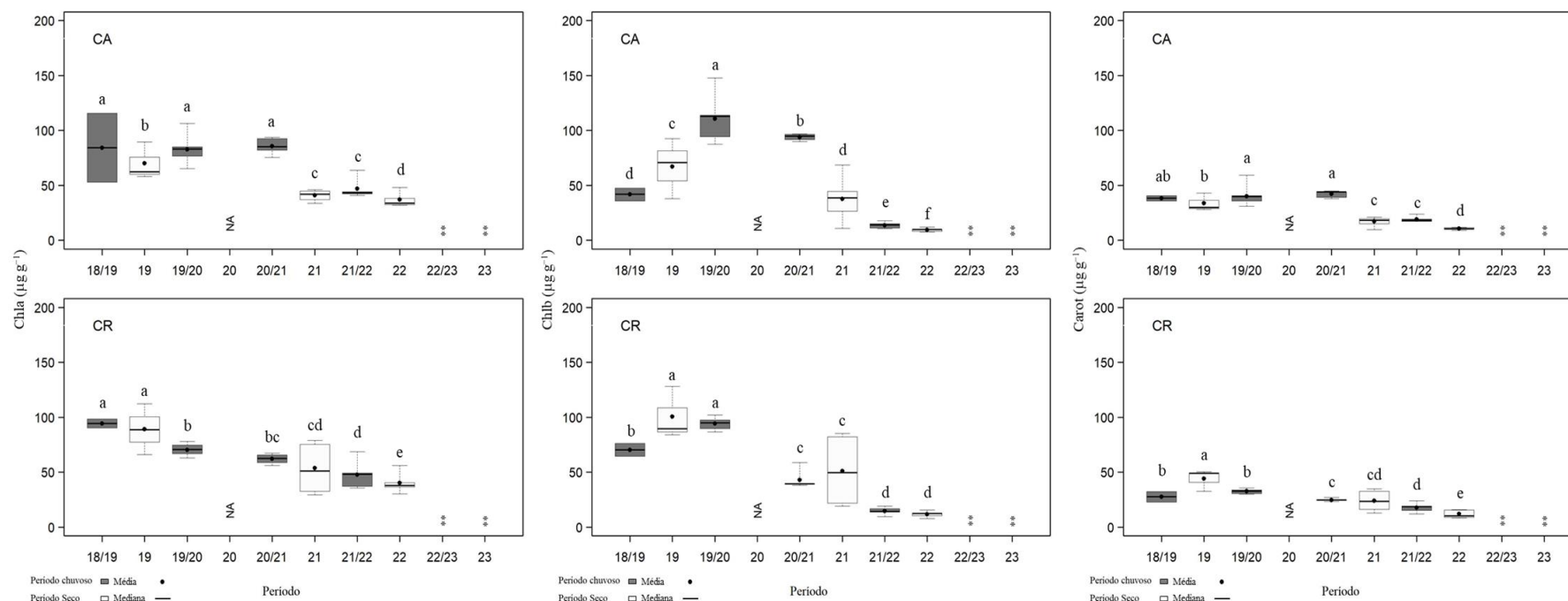
Não foi realizada amostragem no período Seco 2023 para a espécie *A. schaueriana*. Conforme apresentado em relatórios anteriores a avaliação temporal das plantas de *A. schaueriana* na área da APA de Costa das Algas mostra redução da assimilação de carbono (A) ao longo de todo o monitoramento, e, no manguezal de Caravelas, é observado recuperação da atividade fotossintética no período seco a partir de Seco 2021. Além disso, no manguezal de Caravelas e Costa das Algas foi observado tendência de recuperação do índice de desempenho fotoquímico nos períodos secos. Contudo, em Costa das Algas indício de melhoria do desempenho fotoquímico foi observado no período Chuvoso 2019_2020, porém não refletindo nos períodos chuvosos seguintes.

Figura 31: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH*. Análise temporal da atividade antirradicalar – DPPH (g mol^{-1}) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (CA) Costa das Algas; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



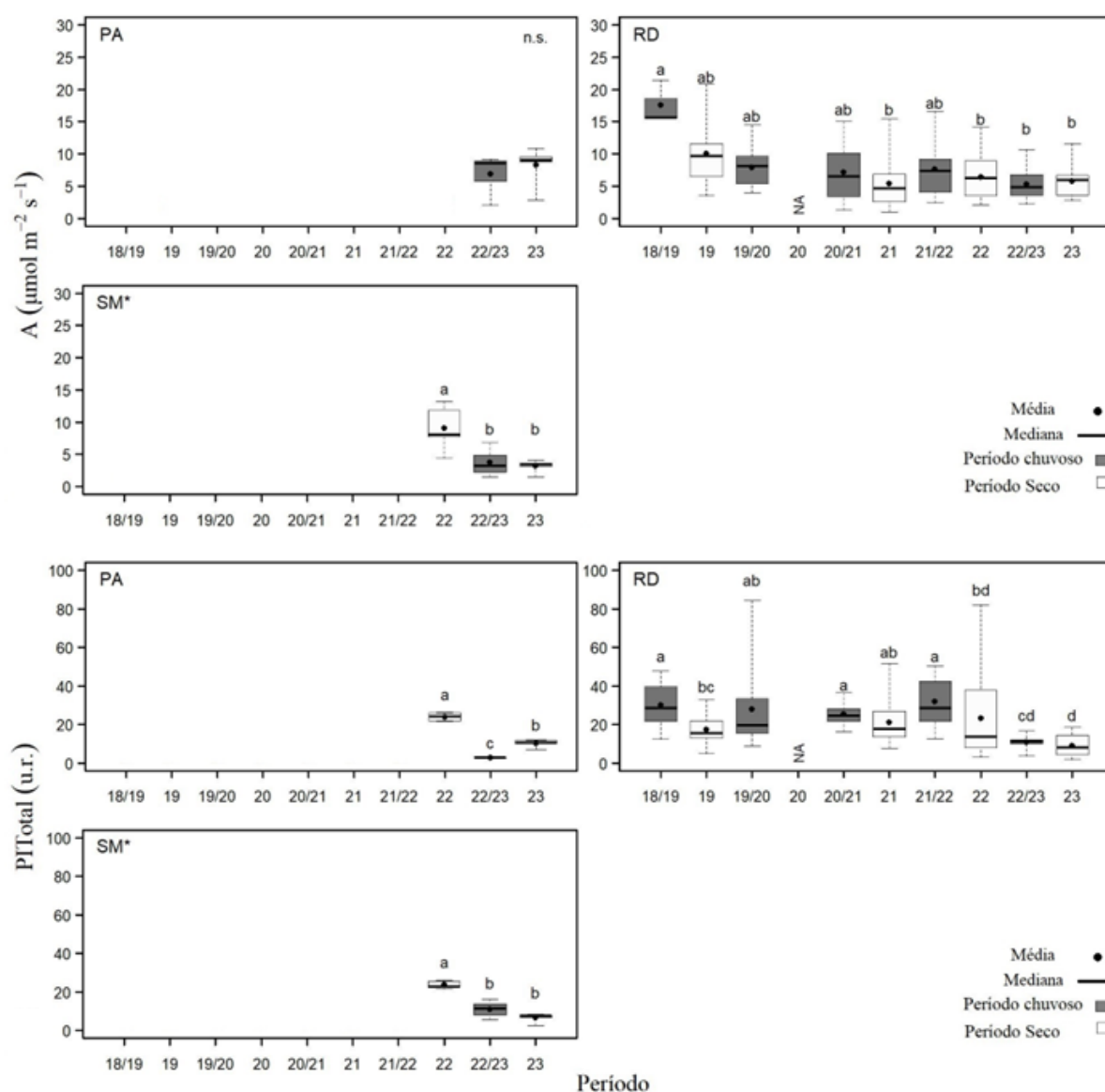
Houve aumento de DPPH de *A. schaueriana* em Costa das Algas no período Seco_22, com os maiores valores registrados em todo o monitoramento. Em Caravelas, houve redução de DPPH em relação ao período anterior (Chuvoso 21_22), mas seguindo a tendência dos demais períodos com valores reduzidos da variável, exceto no período Chuvoso 20_21. O aumento de DPPH pode estar relacionado ao acúmulo de Mn, Zn e Cu neste período.

Figura 32: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila a (Chla), Concentração de clorofila b (Chlb) e Concentração de carotenoide (Carot) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (CA) Costa das Algas; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Para clorofila-a, clorofila-b e carotenoide da espécie *A. schaueriana*, observou-se uma tendência de redução na concentração dos pigmentos a partir do período Chuvoso 20_21 em Costa das Algas (CA) e Caravelas (CR), corroborando os resultados do estresse oxidativo e dos maiores valores de Fe, Mn, Zn e Cu foliar neste período.

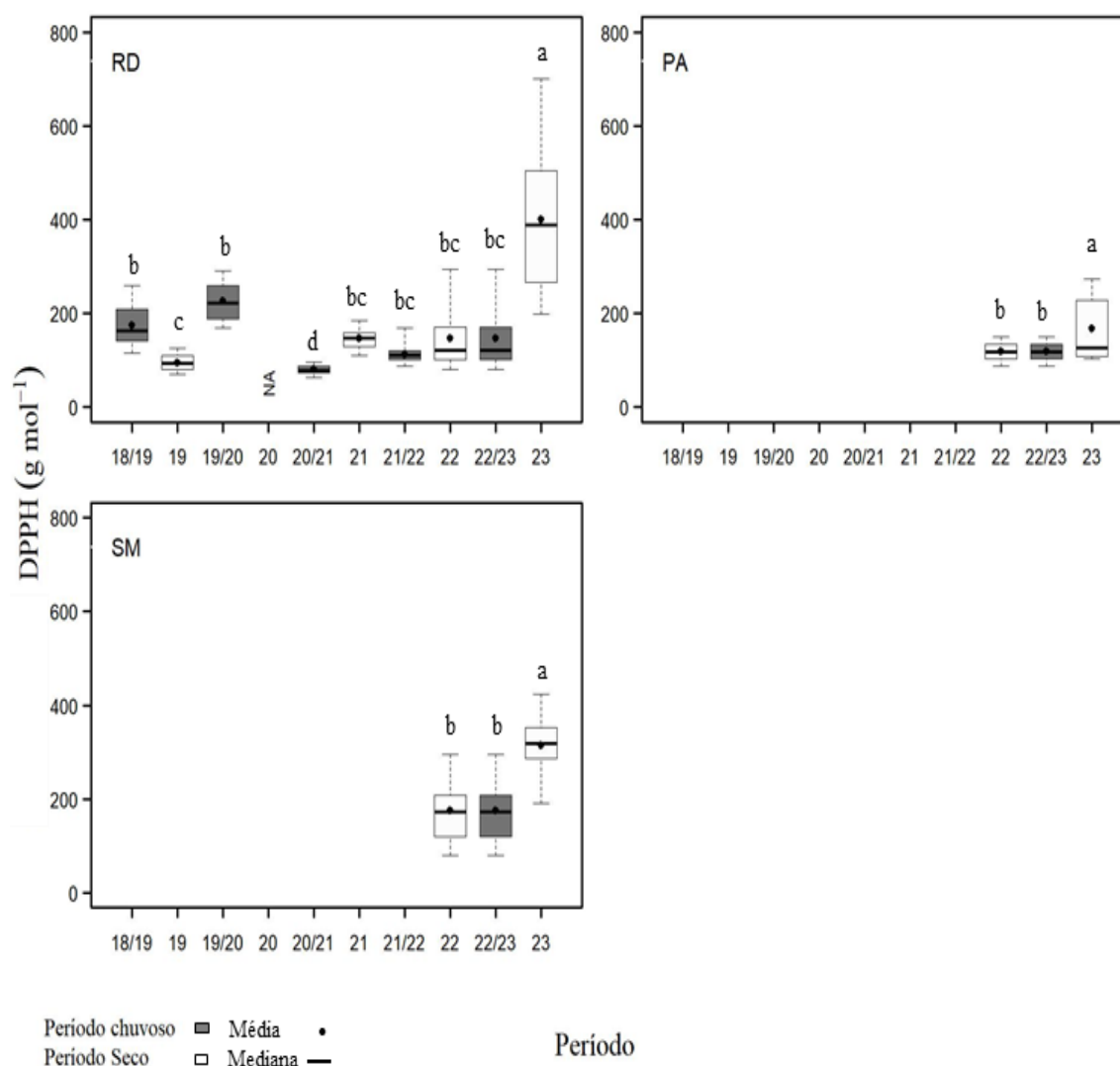
Figura 33: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal de assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Na espécie *T. pernambucense*, a análise temporal mostrou redução acentuada da assimilação de carbono (A) no período Seco 2021 em São Mateus, quando comparada ao período Seco 2022. Em Rio Doce, nas áreas próximas à foz do Rio Doce, a atividade fotossintética manteve-se estável desde o período Seco 2021, porém os valores médios são menores que os registrados no período chuvoso até período Chuvoso 2021_2022. Neste último ano de monitoramento, em ambos os períodos (chuvoso e

seco), os valores médios não diferiram estatisticamente, mas com uma tendência de redução da atividade fotossintética, a qual também foi observada em São Mateus. Em Piraquê-Açu não foi possível realizar medições de trocas gasosas no período Seco 2022 e, além disso, não foi registrada diferença entre os períodos chuvoso e seco no Ano 5. Com relação à eficiência fotoquímica (PI_{Total}), redução foi observada em Piraquê-Açu e São Mateus no período Seco 2023. Estatisticamente, o Rio Doce não diferiu entre os períodos secos ao longo do monitoramento, no entanto, pode-se verificar uma tendência de redução da performance fotossintética a partir dos resultados obtidos em Seco 2023. Uma tendência de redução da atividade fotoquímica também foi verificada no último período chuvoso (Chuvoso 2022_2023).

Figura 34: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH'. Análise temporal da atividade antirradicalar – DPPH (g mol^{-1}) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). O monitoramento nos estuários do PA e SM foi iniciado no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Na série temporal, observa-se aumento do estresse oxidativo em *T. pernambucense* analisado no Rio Doce, Piraquê-Açu e São Mateus, no período Seco_23. No Rio Doce, os valores de DPPH são os maiores já encontrados durante toda a série histórica. Também no Piraquê-Açu e São Mateus, desde o início do monitoramento destes estuários, o período Seco_23 apresentou maiores valores do radical DPPH, sugerindo aumento do estresse oxidativo nessas plantas.

Figura 35: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila a (Chla) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). O monitoramento nos estuários do PA e SM foi iniciado no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

19.

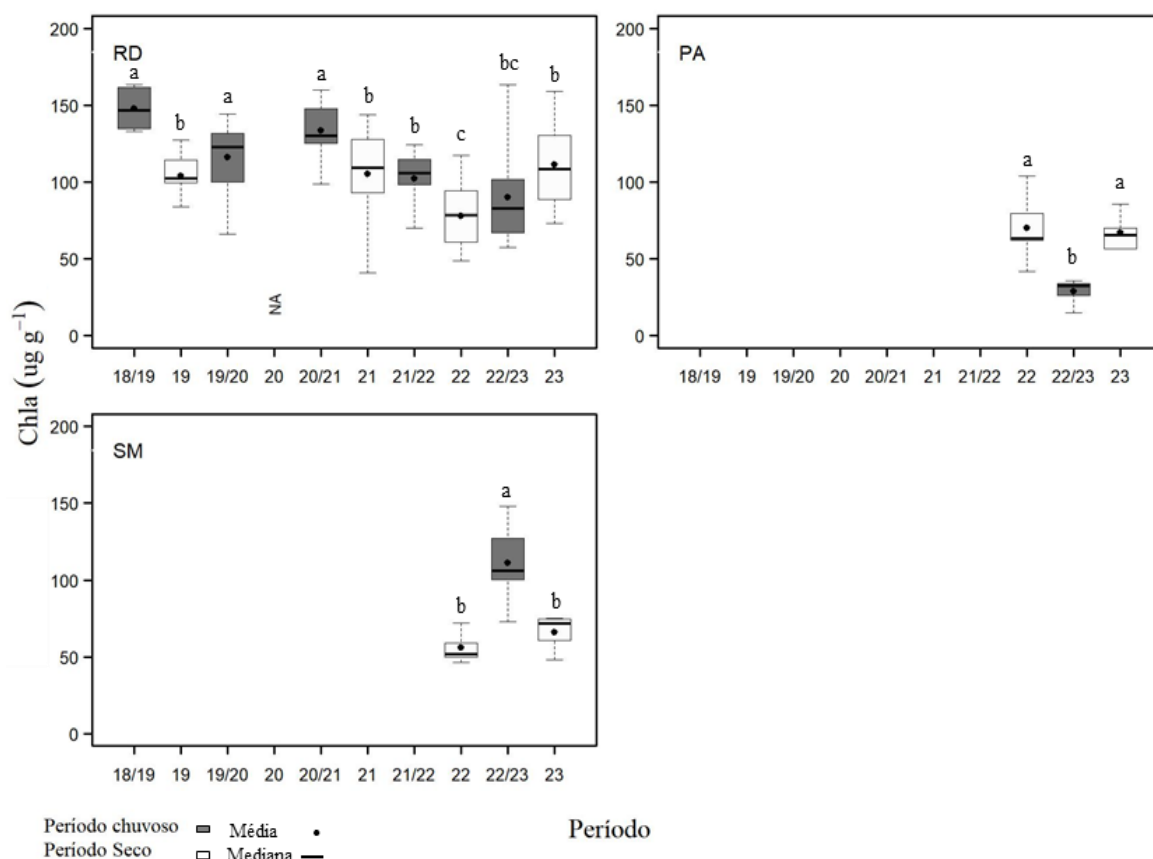
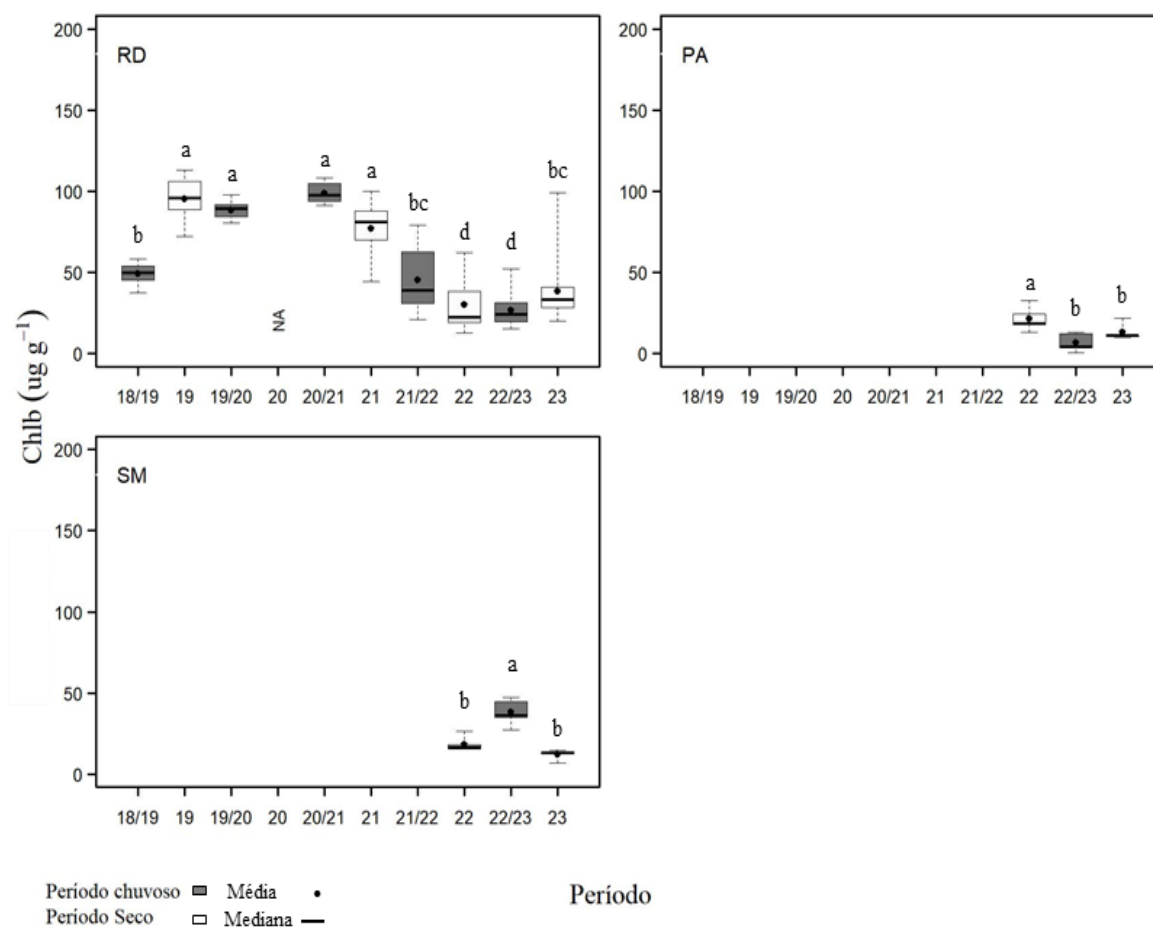
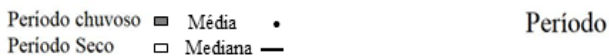


Figura 36: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Análise temporal da concentração de clorofila b (Chlb) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). O monitoramento nos estuários do PA e SM foi iniciado no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



73

Figura 38: Indicador Ecológico Flora – Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média até o Ano 4 do monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados. As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023).

Assimilação e PI_{Total} para *Rhizophora*

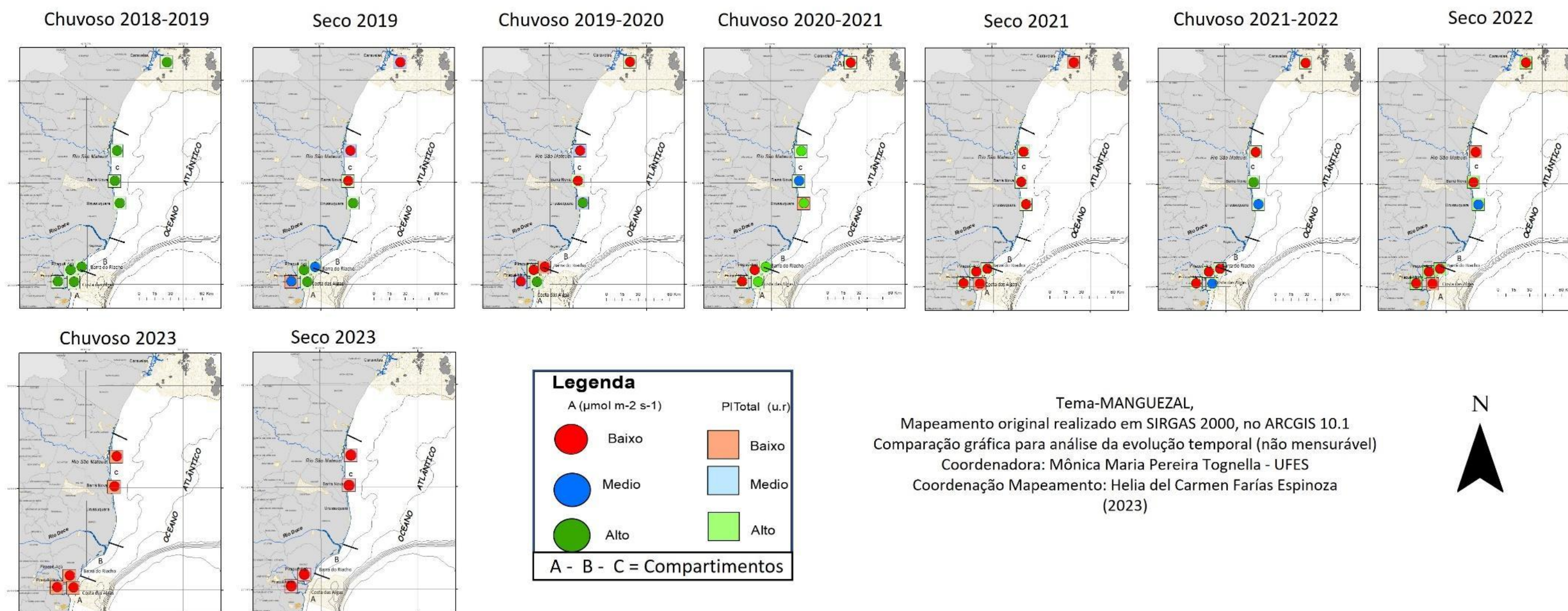


Figura 39: Indicador Ecológico Flora – Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média até o Ano 4 do monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados. As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023).

Assimilação e PI_{Total} para *Laguncularia*

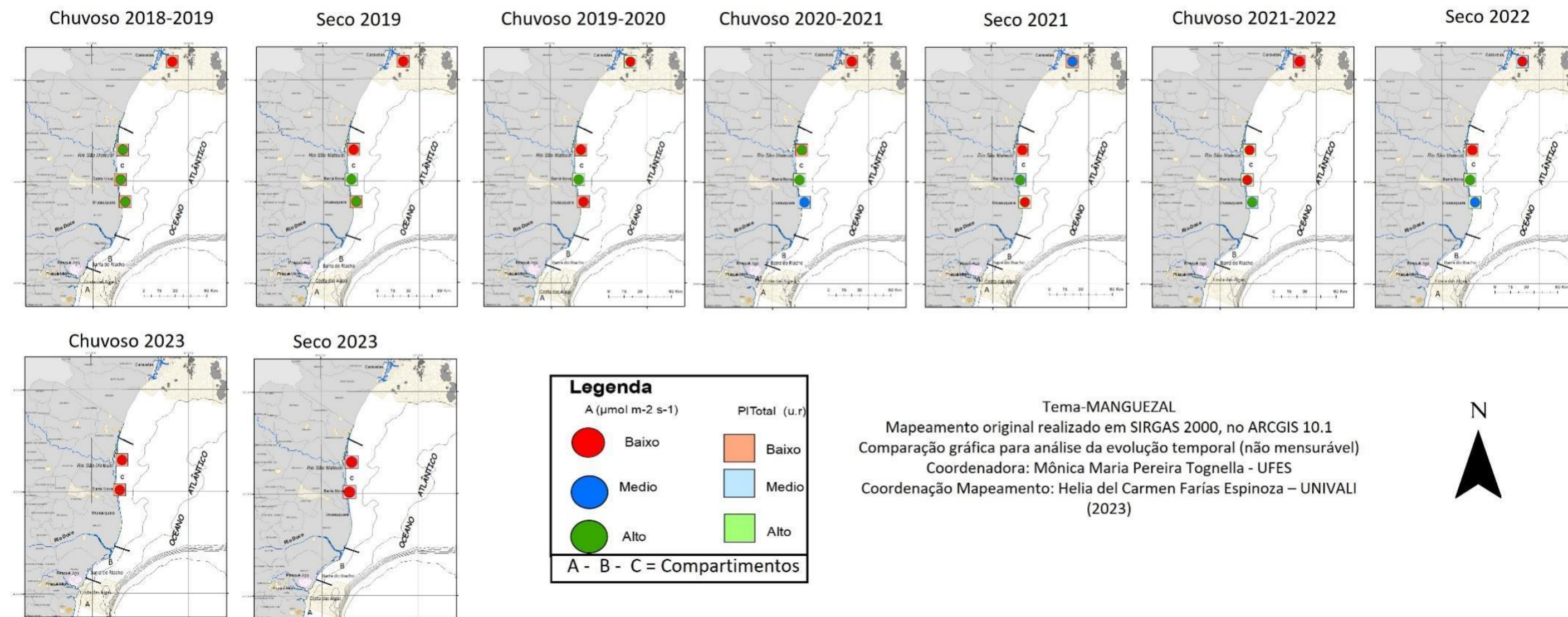
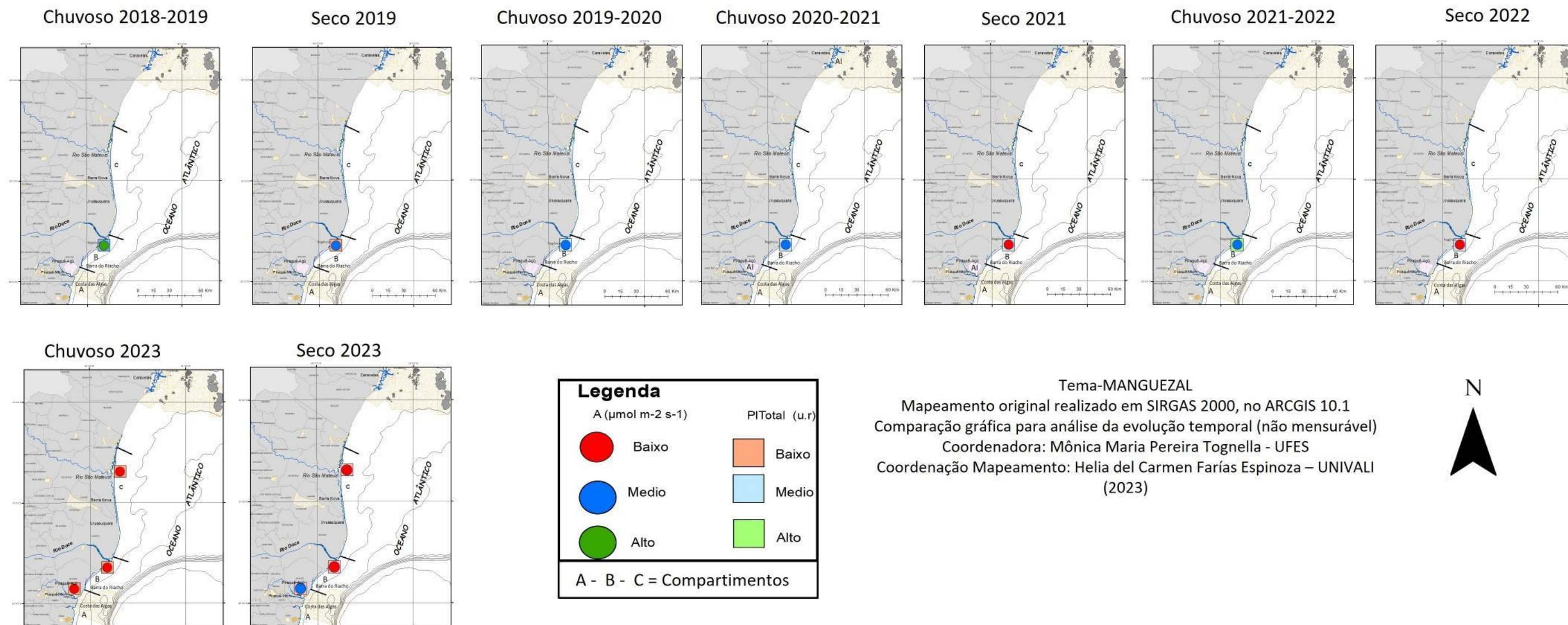


Figura 40: Indicador Ecológico Flora – Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Valores abaixo ou acima da média são classificados como Baixo ou Alto, respectivamente. O valor Médio foi calculado utilizando a média até o Ano 4 do monitoramento para o respectivo parâmetro, juntamente com o erro padrão dos dados. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023).

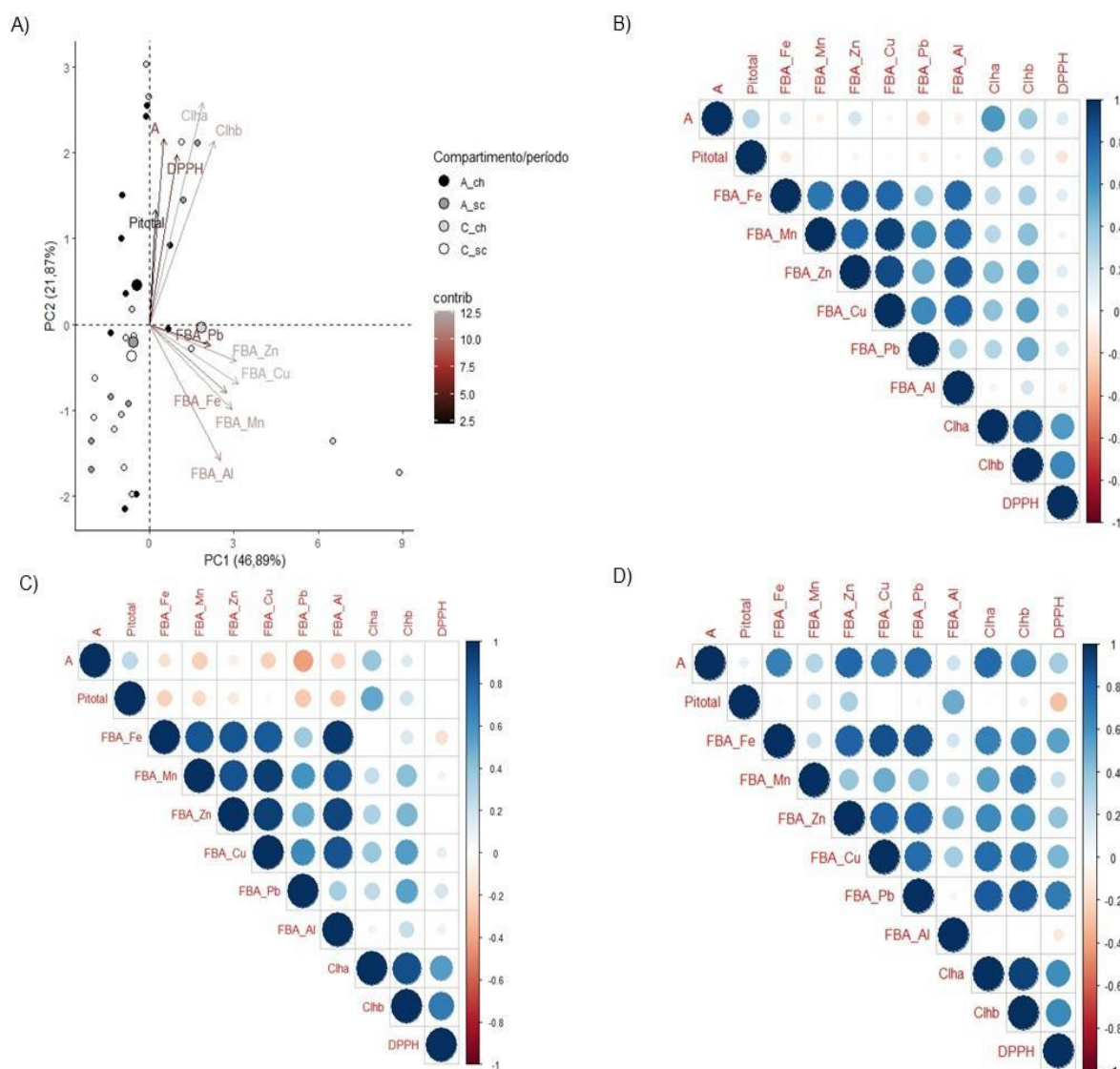
Assimilação e PI_{Total} para *Talipariti*



Para o período seco 2023, o mapeamento temático dos parâmetros assimilação de carbono (A) e índice de conservação de energia (PI_{Total}) continuam indicando valores abaixo da média calculada para o PMBA/Fest, assim como observado no período anterior (Chuvoso 2023). Esse padrão foi observado para *R. mangle*, *L. racemosa* e *T. pernambucense* (Figura 38, Figura 39 e Figura 40). Contudo, possível melhoria na atividade fotossintética, representado por valores de A , dentro da média calculada para o PMBA/Fest, foi observado na espécie *T. pernambucense* na área do Piraquê-Açu (Figura 40).

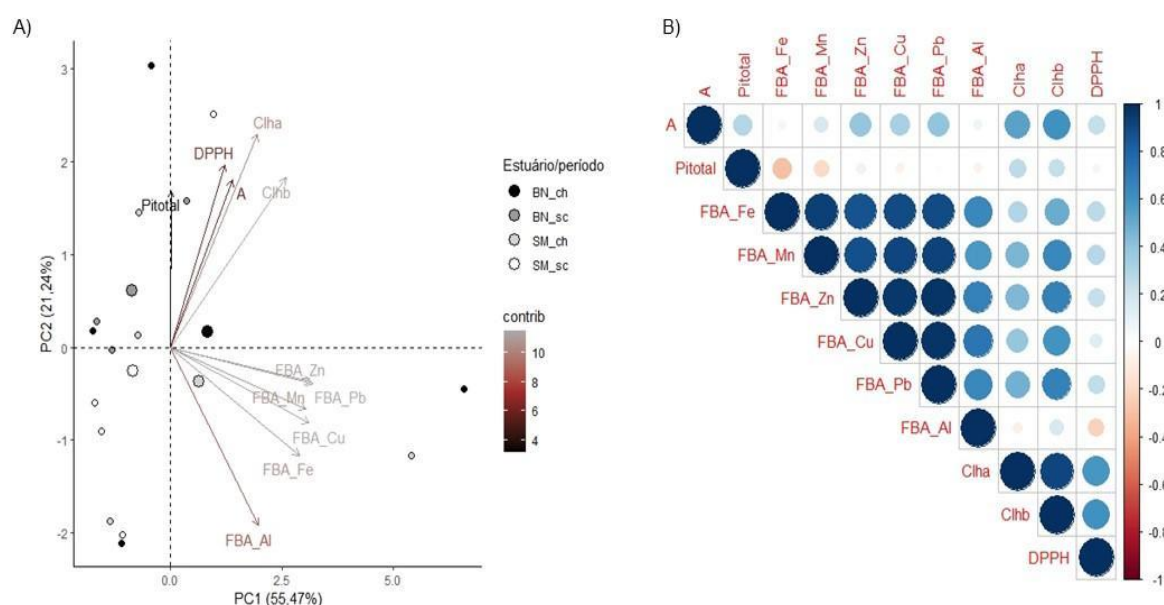
3.3 BIORREMEDIAÇÃO

Figura 41: Indicador Ecológico Biorremediação - *Rhizophora mangle*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B, C e D) entre o Fator de bioacumulação (FBA) para Mn, Fe, Zn, Pb, Cu e Al e parâmetros fisiológicos considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest, nos manguezais do Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C). Legenda: PI_{Total}: índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO₂, Mn/Fe/Zn/Pb/Cu/Al – manganês, ferro, zinco, chumbo, cobre e alumínio, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar) - Profundidade do sedimento analisado: 0-5 cm. A e B: Período chuvoso e seco; C: Período chuvoso; D: Período seco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



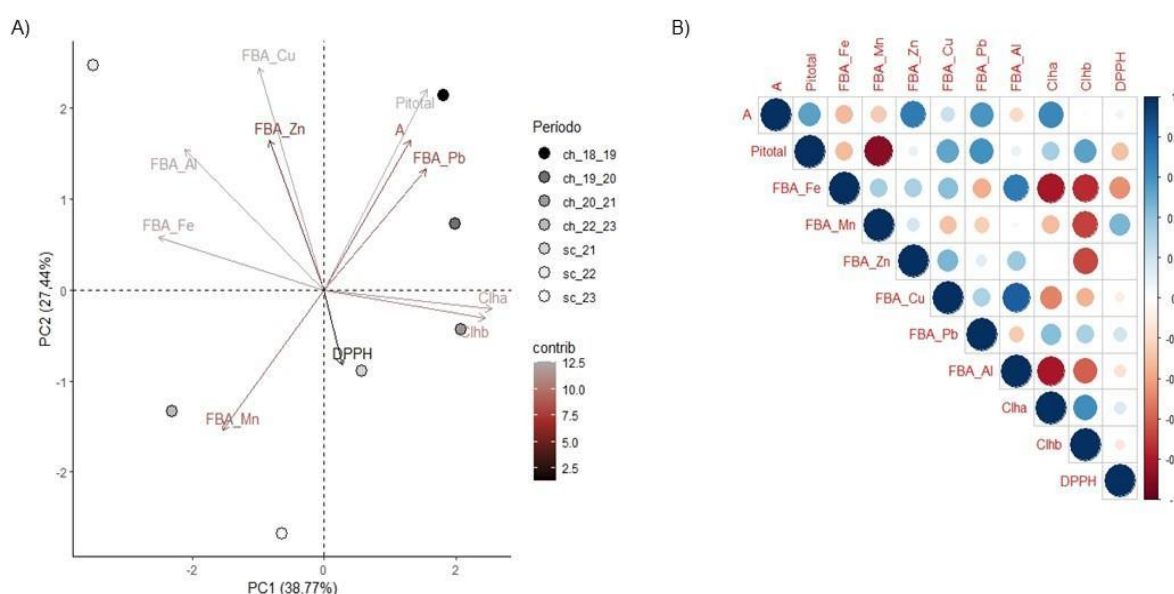
O efeito da bioacumulação de metais nas folhas sobre os parâmetros fotossintéticos e atividade antirradicalar foram avaliadas para *R. mangle*, por meio da ACP e análise de correlação de Spearman. A ACP construída considerou os compartimentos e os períodos sazonais e foi registrado o centroide do compartimento C para o período chuvoso no lado direito da ACP, o qual foi associado à maior bioacumulação de metais (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb e Al) e clorofila *b*. Em contrapartida, o compartimento C no período seco e o compartimento A, independente do período, são opostos a este padrão e, portanto, bioacumulam menos metais no tecido foliar. Além disso, a ACP permite observar o compartimento A, no período chuvoso, com melhor desempenho fotossintético (A, PI_{Total} e clorofila *a*) do que os demais. Apesar do agrupamento estar associado ao DPPH•, correlações estabelecidas entre assimilação de carbono, índice de desempenho fotoquímico e concentração de clorofilas demonstram a funcionalidade do sistema fotossintético na absorção e incorporação de carbono ($r_{A \times Chla} = 0,58$; $p < 0,01$; $r_{A \times Chlb} = 0,43$; $p < 0,05$; $r_{PI_{Total} \times Chla} = 0,37$; $p < 0,05$). Esse padrão perpendicular do desempenho fotossintético em relação à bioacumulação de metais foi registrado em (FEST, 2023b) e é justificado pelo fato da maioria destes metais serem considerados nutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn), o que é reforçado nas correlações entre eles e os parâmetros fotossintéticos ($r_{Zn \times Chla} = 0,38$; $p < 0,05$; $r_{Zn \times Chlb} = 0,40$; $p < 0,05$; $r_{Cu \times Chlb} = 0,37$; $p < 0,05$). As correlações negativas entre FBA_Fe, FBA_Mn e FBA_Al e PI_{Total} obtidas em (FEST, 2023b), com o atual conjunto de dados não foram observadas. As correlações separadas por período são apresentadas e, no presente relatório, a análise de correlação para o período chuvoso reportada em (FEST, 2023b) foi mantida e destaca o efeito negativo da bioacumulação de Fe e Mn sobre o desempenho fotossintético. Na correlação para o período seco, a bioacumulação de Fe é novamente associada ao aumento no estresse oxidativo ($r_{Fe \times DPPH} = 0,69$; $p < 0,01$).

Figura 42: Indicador Ecológico Biorremediação – *Laguncularia racemosa*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B) entre o Fator de bioacumulação (FBA) para Mn, Fe, Zn, Pb, Cu e Al e parâmetros fisiológicos considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest, nos manguezais de Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C).
Legenda: PI_{Total}: índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO₂, Mn/Fe/Zn/Pb/Cu/Al – manganês, ferro, zinco, chumbo, cobre e alumínio, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, DPPH• - 2,2-difenil-1- picrilhidrazila (atividade antirradicalar) - Profundidade do sedimento analisado: 0-5 cm. A e B: Período chuvoso e seco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



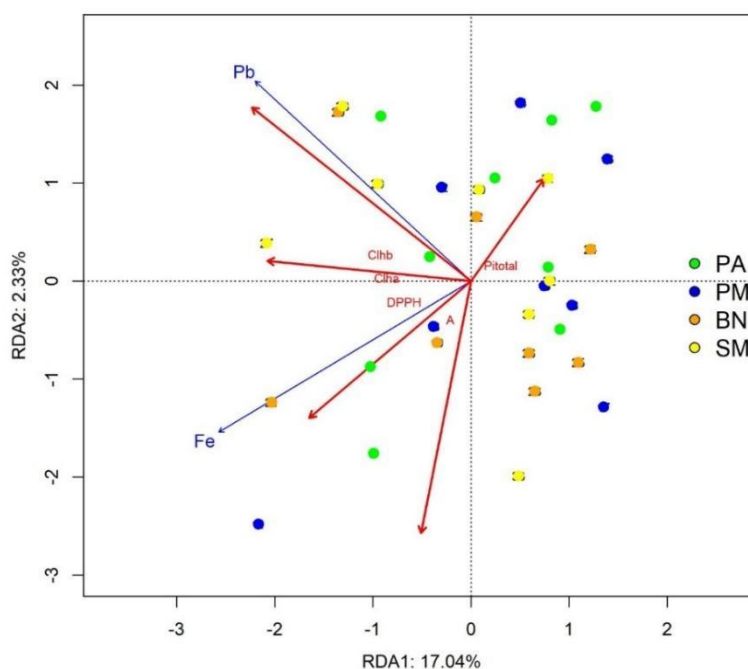
O efeito da bioacumulação de metais sobre a fisiologia de *L. racemosa* no compartimento C foi avaliada por meio da ACP e análise de correlação de Spearman considerando os períodos secos e chuvosos. A análise indica que São Mateus e Barra Nova, no período chuvoso, têm maior bioacumulação de metais (Fe, Mn, Cu e Zn) e menor desempenho fotossintético. Ao contrário, no lado superior da ACP encontra-se Barra Nova no período seco apresentando menor bioacumulação e maior desempenho fotossintético.

Figura 43: Indicador Ecológico Biorremediação – *Talipariti pernambucense*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B) entre o Fator de bioacumulação (FBA) para Mn, Fe, Zn, Pb, Cu e Al e parâmetros fisiológicos considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) na foz do Rio Doce (Compartimento B) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Legenda: PI_{Total}: índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO₂, Mn/Fe/Zn/Pb/Cu/Al – manganês, ferro, zinco, chumbo, cobre e alumínio, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, DPPH• - 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (atividade antirradicalar) - Profundidade do sedimento analisado: 0-5 cm. A e B: Período chuvoso e seco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



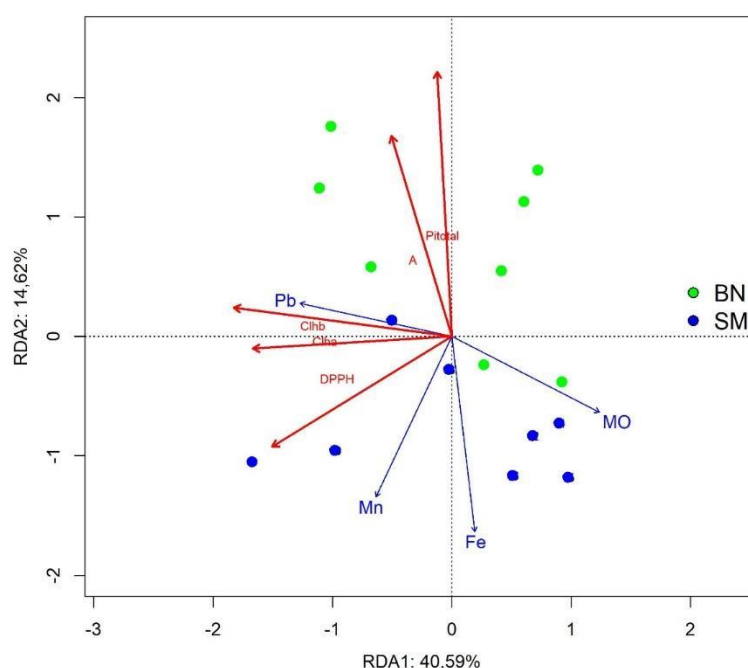
O efeito da bioacumulação de metais sobre os parâmetros fisiológicos de *T. pernambucense* é observado na ACP e na análise de correlação de Spearman, principalmente sobre os períodos secos de 2022 e 2023 e o período chuvoso 2022/2023. Nota-se padrão oposto entre o FBA de Fe, Mn e Al e os parâmetros fotossintéticos, o que é refletido na análise de correlação entre eles ($r_{Mn \times PI_{Total}} = -0,81$; $p < 0,05$; $r_{Fe \times Chla} = -0,79$; $p < 0,05$; $r_{Fe \times Chlb} = -0,79$; $p < 0,05$; $r_{Al \times Chla} = -0,95$; $p < 0,05$; $r_{Al \times Chlb} = -0,77$; $p < 0,05$). Nessa análise, a bioacumulação de Cu parece não causar prejuízos na fisiologia, já o bioacúmulo de Zn foi negativamente correlacionado à concentração de clorofila b ($r_{Zn \times Chlb} = -0,77$; $p < 0,05$).

Figura 44: Indicador Ecológico Biorremediação - *Rhizophora mangle*. Análise de Redundância (RDA) entre metais no tecido foliar (Mn, Fe, Zn, Pb, Cu) e parâmetros fisiológicos considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 – março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março/2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Nos manguezais do Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C). PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, DPPH• - 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (atividade antirradicalar).



A influência da precipitação, salinidade intersticial e concentração de metais nas folhas como variáveis explicativas (vetores azuis) para o desempenho fotossintético e atividade antirradicalar (variáveis resposta – vetores vermelhos) foram analisadas por meio da Análise de Redundância (RDA). Os metais Fe e Pb no tecido foliar foram significantes para a construção do modelo, explicando 19,37% da variabilidade dos dados de produção primária e estresse oxidativo. Teste de permutação foi obtido para o modelo com as variáveis selecionadas e mostrou-se significativo (999 iterações, $p = 0,002$). A construção do eixo X foi influenciado pelos metais Fe e Pb e das variáveis resposta, clorofila a e b, DPPH• e PI_{Total} . A análise destaca a correlação positiva entre Pb e clorofila b, realçando o papel das clorofilas na fisiologia do estresse. A RDA evidencia também a correlação positiva entre o Fe e o estresse oxidativo, além da correlação negativa com PI_{Total} , reforçando o efeito negativo da concentração de Fe sobre o desempenho fotoquímico e aumento no estresse oxidativo. Em relação ao eixo y, a assimilação de carbono teve grande importância na sua construção. Nesta análise, a separação de estuários, compartimentos e períodos não foi evidente, mas ela indica efeito crônico de metais (Fe e Pb na folha) sobre a fisiologia de *R. mangle*.

Figura 45: Indicador Ecológico Biorremediação – *Laguncularia racemosa*. Análise de Redundância (RDA) entre metais no tecido foliar (Mn, Fe, Zn, Pb, Cu), matéria orgânica no sedimento e parâmetros fisiológicos considerando os períodos chuvoso_18/19 (outubro/2018 – março/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20_21 (outubro/2020 – março /2021/Ano 3), chuvoso_21/22 (outubro/2021 – março/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/ Ano 5) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3), seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e seco_23 (abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest, nos manguezais de Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C). PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos pelo fotossistema II para a redução dos aceptores finais do fotossistema I, A - assimilação de CO_2 , Mn/Fe/Zn/Pb/Cu – manganês, ferro, zinco, chumbo e cobre, Chla – clorofila a, Chlb – clorofila b, DPPH• - 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (atividade antirradicalar), MO – matéria orgânica.



Análise de Redundância (RDA) também foi construída para *L. racemosa* utilizando como variáveis explicativas de metais no tecido foliar (Mn, Fe, Zn, Pb, Cu) e características do sedimento (teor de matéria orgânica e fração de areia e lama) e parâmetros fisiológicos como variáveis resposta. Durante a construção do modelo as variáveis explicativas foram reduzidas para Fe, Mn e Pb no tecido foliar e teor de matéria orgânica no sedimento, explicando 55,21% da variabilidade dos dados (999 iterações, $p = 0,001$). Diferença entre os estuários observa-se pela distância entre os pontos, com São Mateus associado a sedimentos com maior teor de matéria orgânica e maior concentração de Mn e Fe na folha. A correlação negativa entre esses metais e os parâmetros fotossintéticos (PI_{Total} e A) indica influência na redução do desempenho fotossintético da espécie. Além disso, Fe e Mn tiveram contribuição na variabilidade dos dados de DPPH•, portando pode-se assumir que o aumento na concentração destes metais induz aumento no estresse oxidativo para a espécie em questão. Da mesma maneira que em *R. mangle*, o aumento em Pb na folha em *L. racemosa* exibe controle sobre a variabilidade dos dados de concentração das clorofilas a e b. Ao contrário de São Mateus, os indivíduos de Barra Nova foram associados ao maior desempenho fotossintético, evidenciado por meio da correlação entre PI_{Total} e A, o que demonstra equilíbrio do processo fotossintético no estuário.

Figura 46: Indicador Ecológico Biorremediação – Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Rhizophora mangle*, coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Fe *Rhizophora* (0-5 cm)

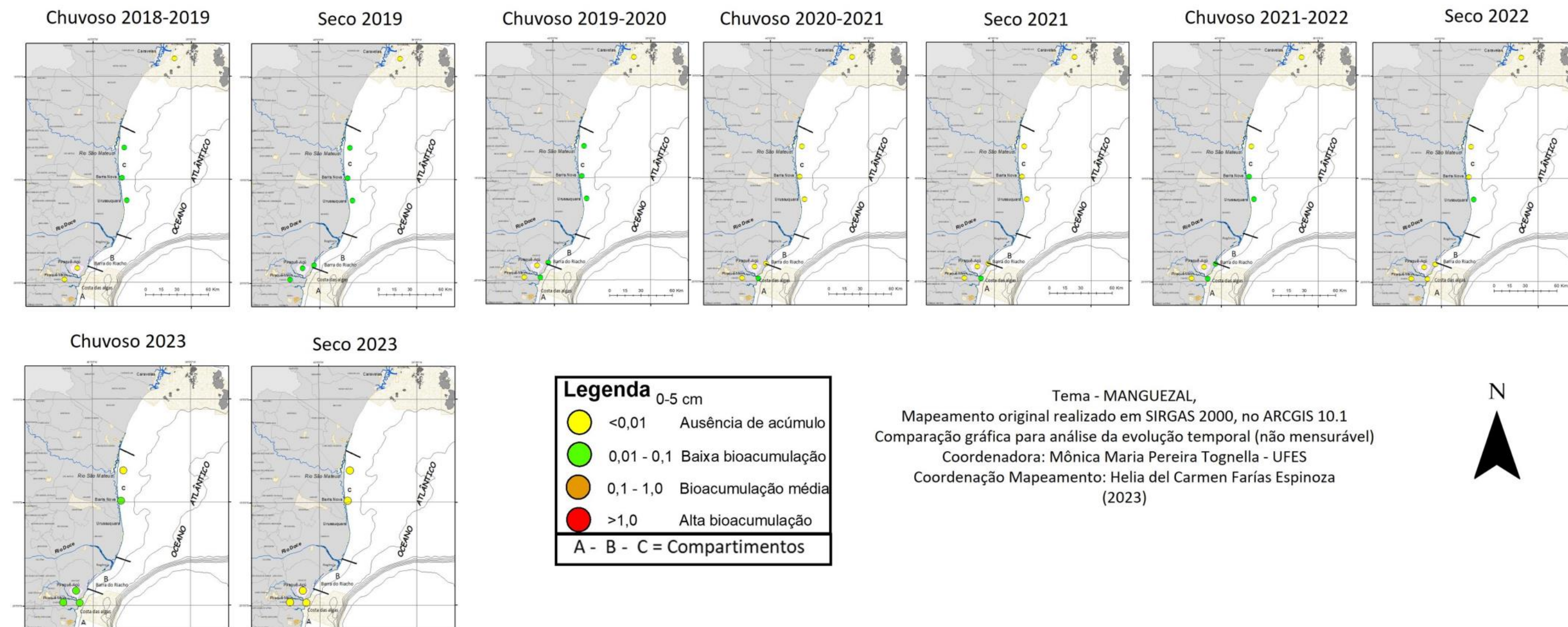


Figura 47: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Rhizophora mangle*. coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Fe *Rhizophora* (5-15 cm)

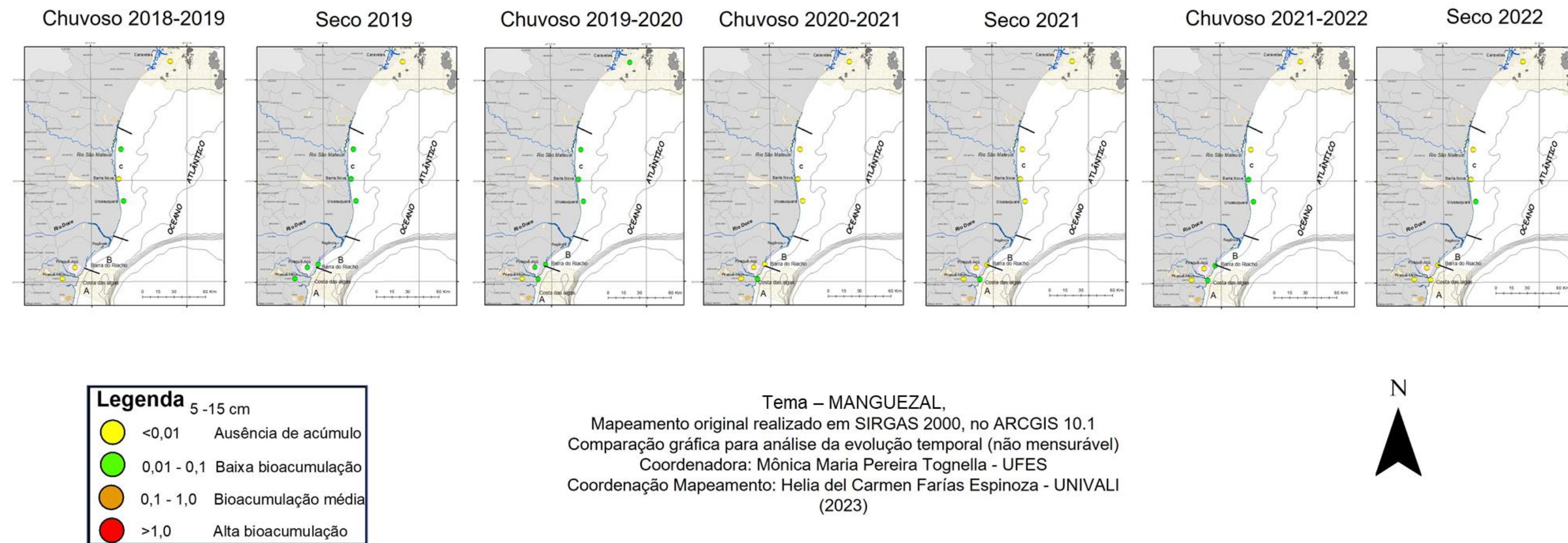


Figura 48: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Rhizophora mangle*, coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn *Rhizophora* (0-5 cm)

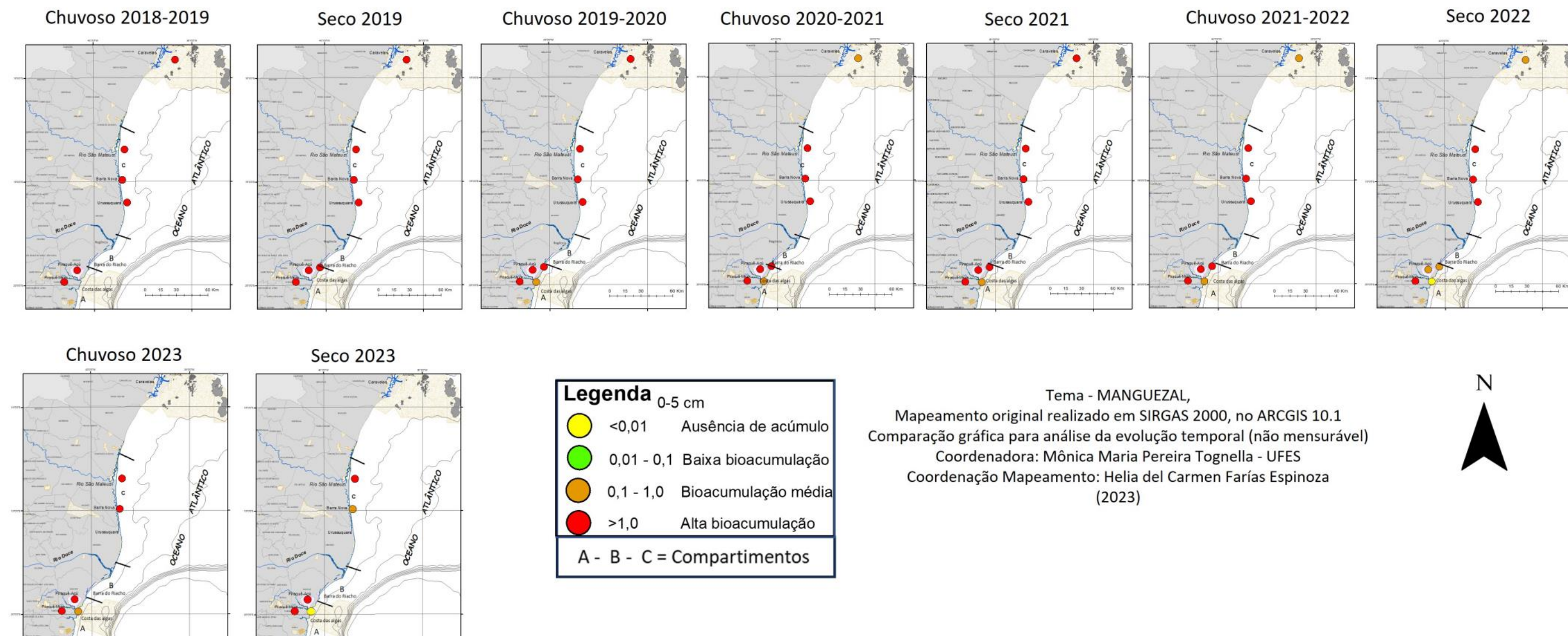


Figura 49: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Rhizophora mangle*, coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Mn *Rhizophora* (5-15 cm)

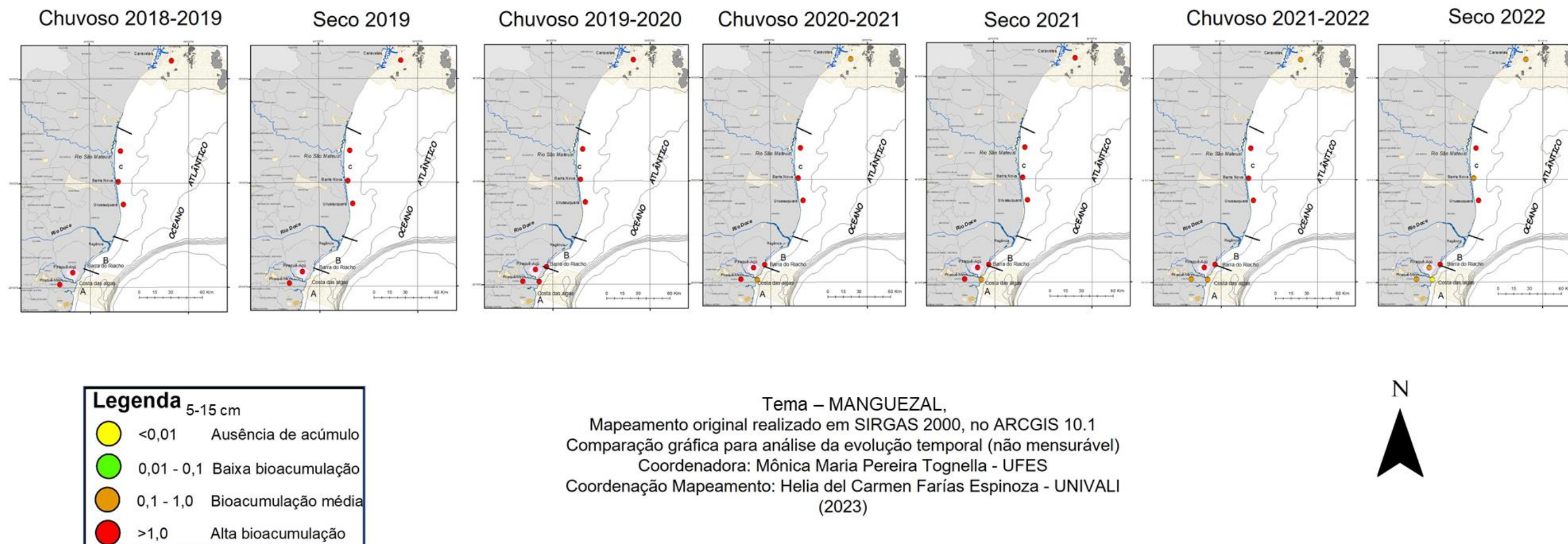


Figura 50: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Rhizophora mangle*, coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

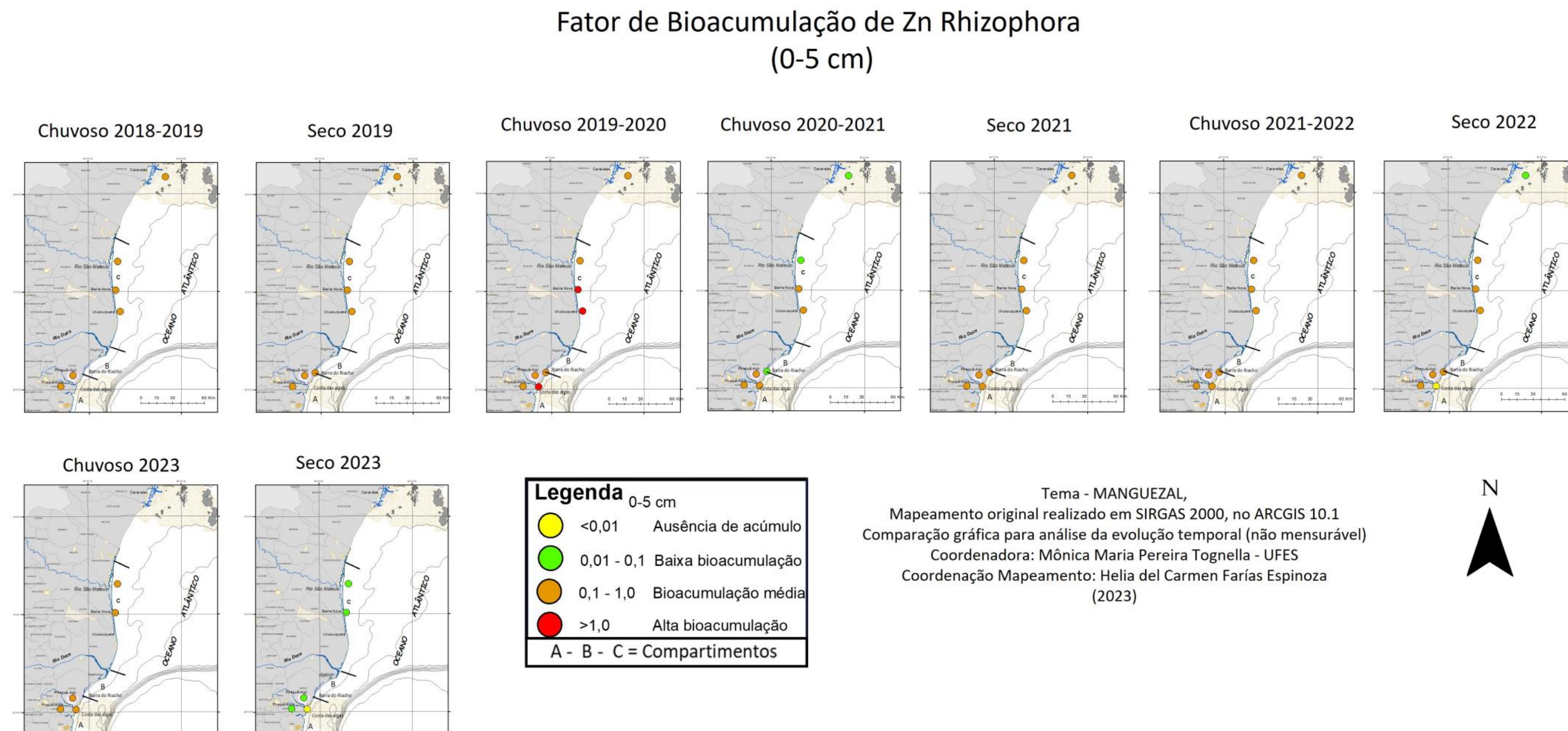


Figura 51: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Rhizophora mangle*. coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Zn *Rhizophora* (5-15 cm)

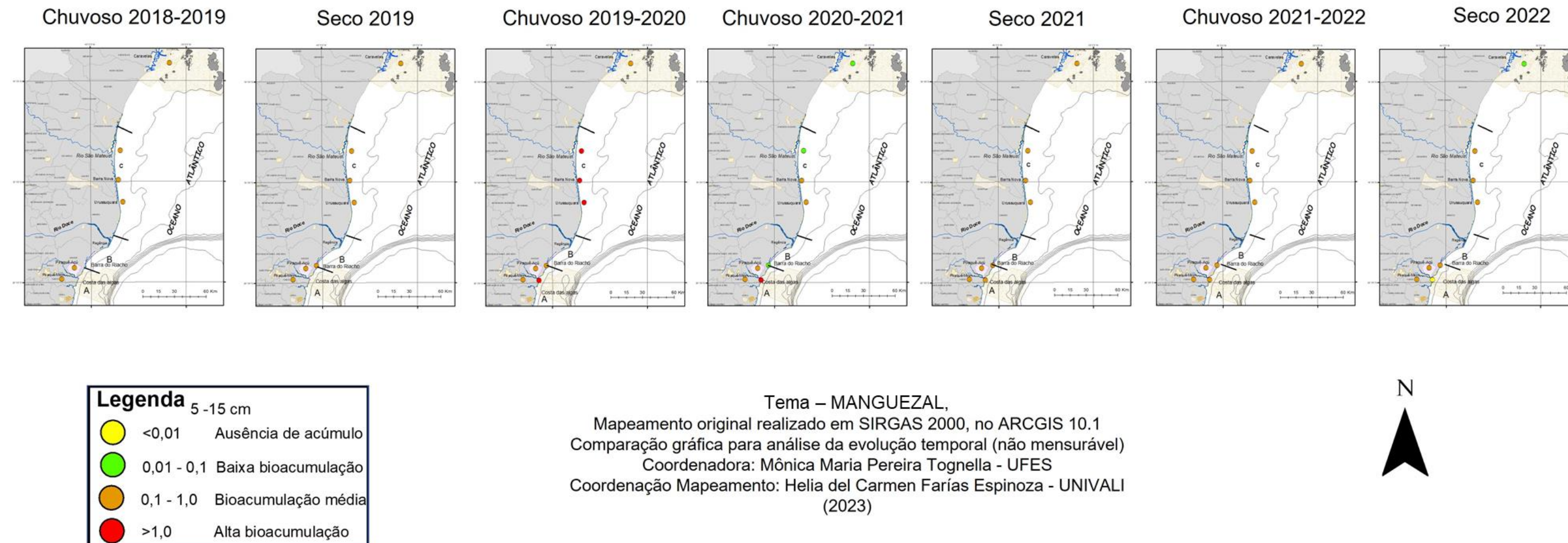


Figura 52: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Rhizophora mangle*, coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Cobre (Cu) *Rhizophora* (0-5 cm)

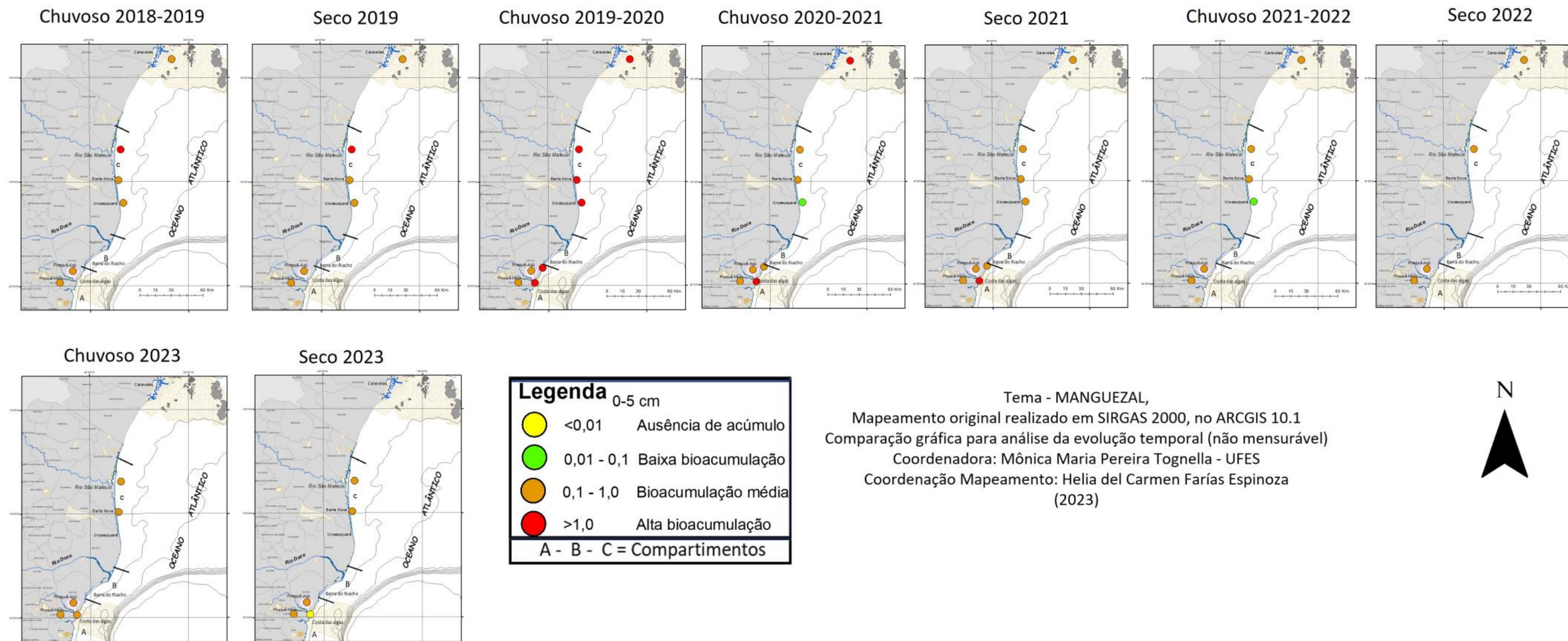


Figura 53: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Rhizophora mangle*. coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a)

Fator de Bioacumulação de Cobre (Cu) *Rhizophora* (5-15 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

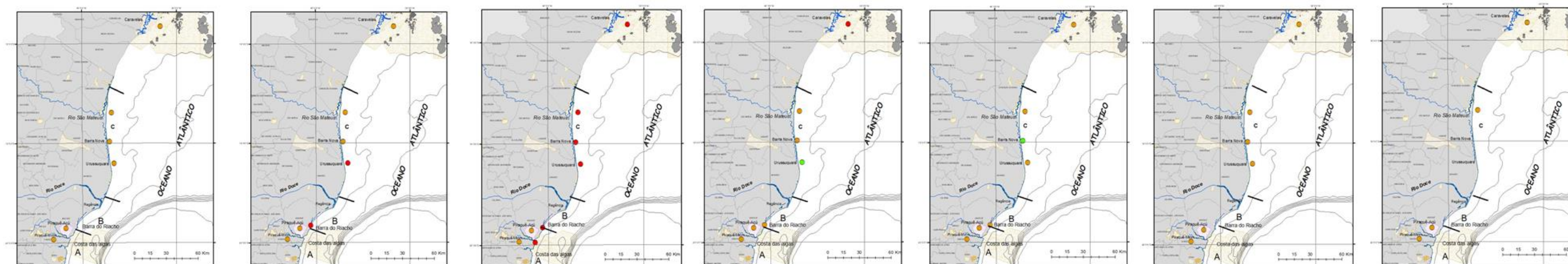
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 5 - 15 cm		
●	<0,01	Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1	Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0	Bioacumulação média
●	>1,0	Alta bioacumulação

Tema – MANGUEZAL,
Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 54: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Rhizophora mangle*. coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Chumbo (Pb) *Rhizophora* (0-5 cm)

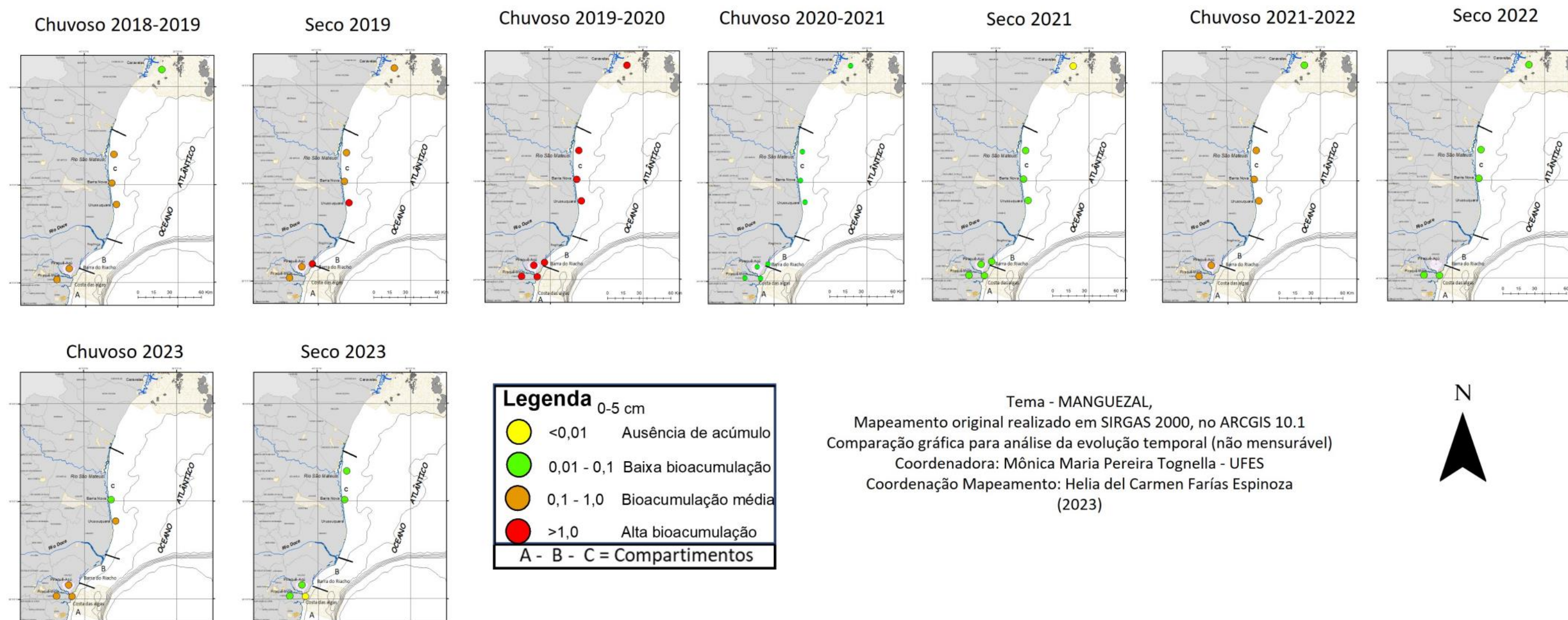
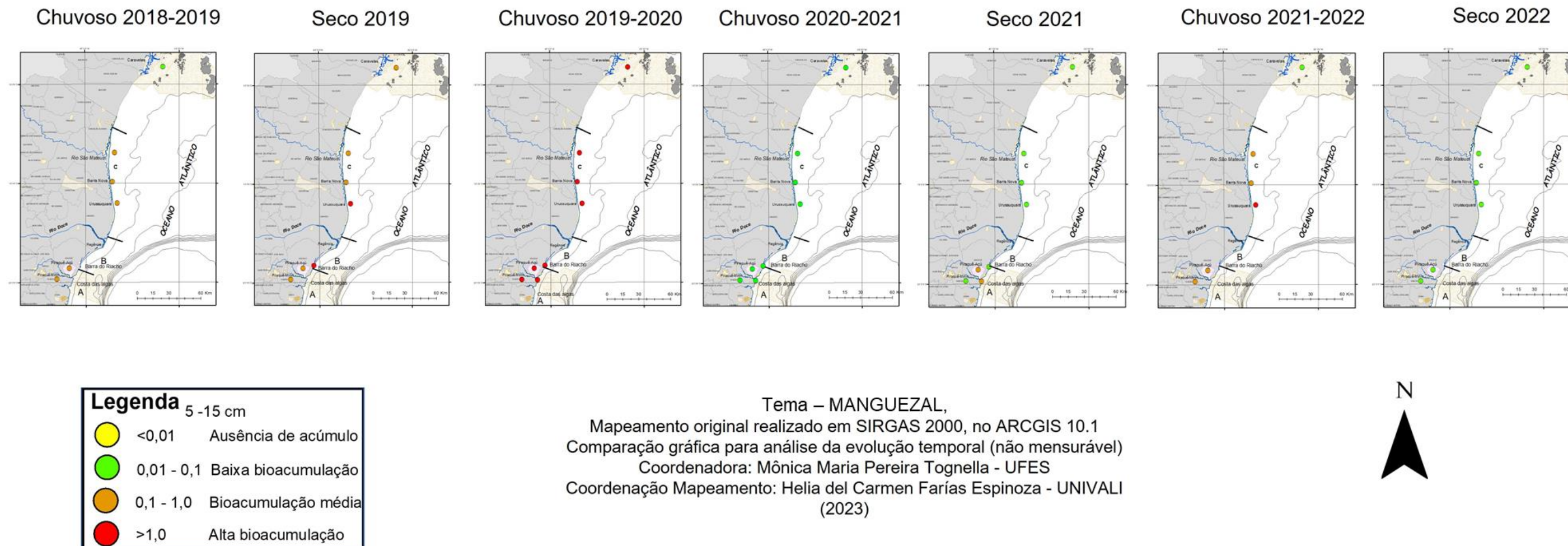


Figura 55: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Rhizophora mangle*. coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas (Compartimento A), Barra do Riacho (Compartimento B), Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Pb *Rhizophora* (5-15 cm)



O fator de bioacumulação (FBA), calculado como a razão entre o metal total no tecido foliar e a concentração de metal no sedimento, pode estimar o potencial de bioacumulação de metais foliares e a interação planta-sedimento. Os FBAs apresentaram padrões diferentes entre metais e espécies, como mostrados neste documento. Em geral, essas diferenças estão relacionadas aos metais, mas as características físico-químicas dos sedimentos também podem ter implicações para determinar se os metais se acumulam nos tecidos vegetais (BAKSHI et al., 2018). O fator de bioacumulação descrito neste parágrafo refere-se àquele analisado com valores de metais em sedimentos coletados na profundidade de 0-5 cm. Para *R. mangle*, no geral, não houve acúmulo de Fe em todos os estuários avaliados no período Seco_23 (Figura 46). Para Mn, considerando a série histórica, observa-se alta bioacumulação em *R. mangle* presente nos estuários do Piraquê-Açu (exceção para o período Seco_22 com médio FBA), Piraquê-Mirim, Barra Nova (exceto no período Seco_23 com média bioacumulação) e São Mateus (Figura 48). Para os metais Zn (Figura 50) e Pb (Figura 54) houve baixa bioacumulação em todos os estuários (PA, PM, BN e SM) analisados no período Seco_23. Entretanto, analisando-se o zinco somente nos períodos secos, percebe-se pela primeira vez que o elemento apresenta baixa bioacumulação. Já o Pb analisado no Seco_23 pode ser comparado aos períodos Chuvoso 20_21, Seco_21 e Seco_22. Em relação ao Cu (Figura 52) no período Seco_23, observa-se bioacumulação média do metal nos estuários do Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus, semelhantemente à encontrada nos períodos Chuvoso 20_21, Seco_21, Chuvoso 21_22, Seco_22 e Chuvoso 22_23.

Figura 56: Indicador Ecológico Biorremediação Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

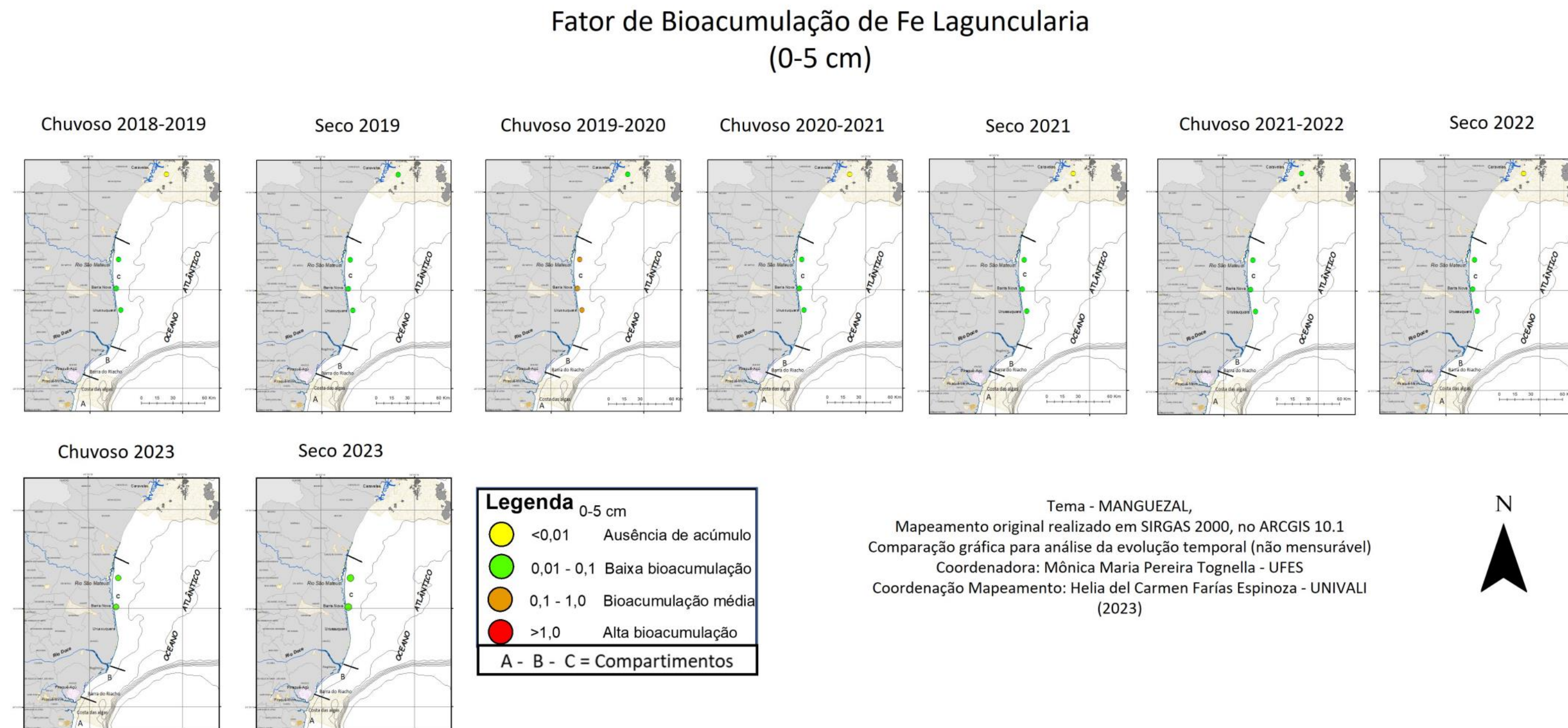


Figura 57: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos no RA2022.

Fator de Bioacumulação de Fe Laguncularia (5-15 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

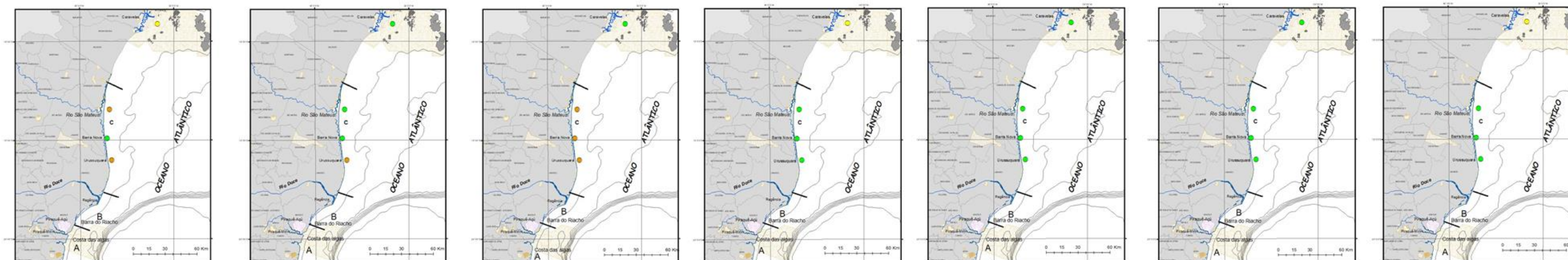
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 5-15 cm		
●	<0,01	Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1	Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0	Bioacumulação média
●	>1,0	Alta bioacumulação

Tema – MANGUEZAL,
Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 58: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn Laguncularia (0-5 cm)

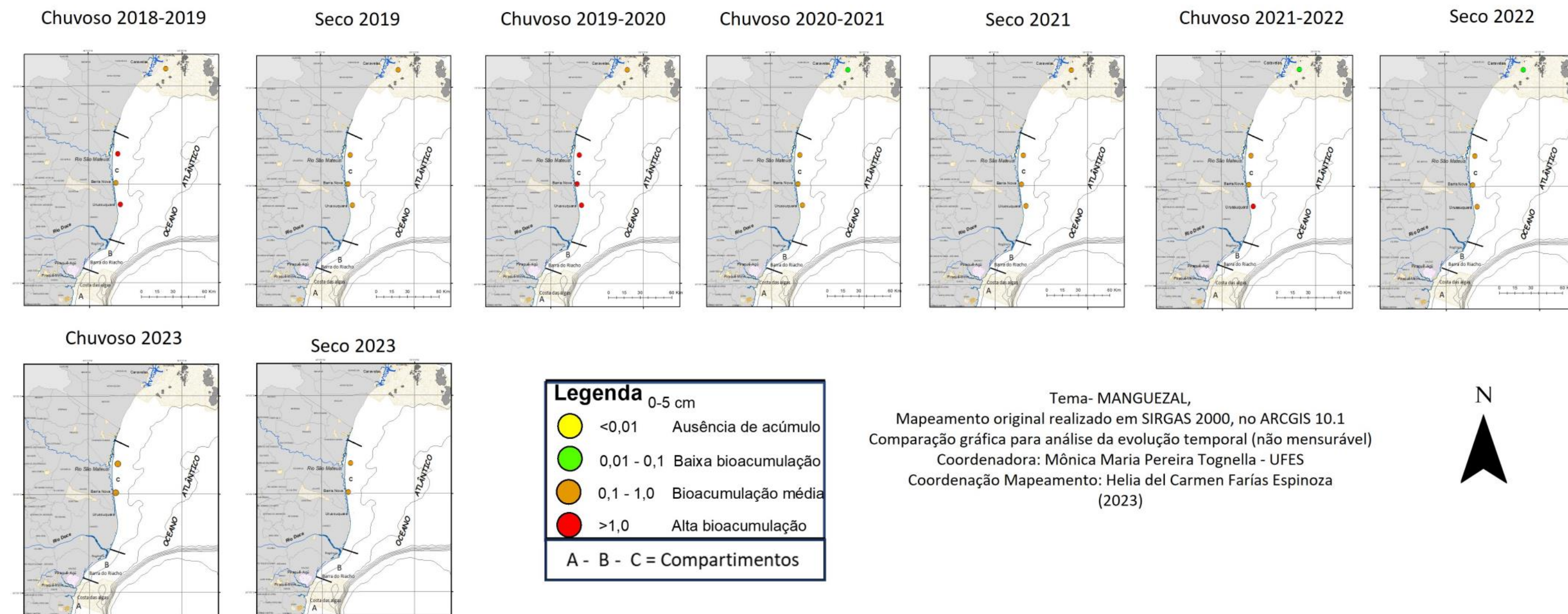


Figura 59: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvas 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos no (FEST,2023a).

Fator de Bioacumulação de Mn Laguncularia (5-15 cm)

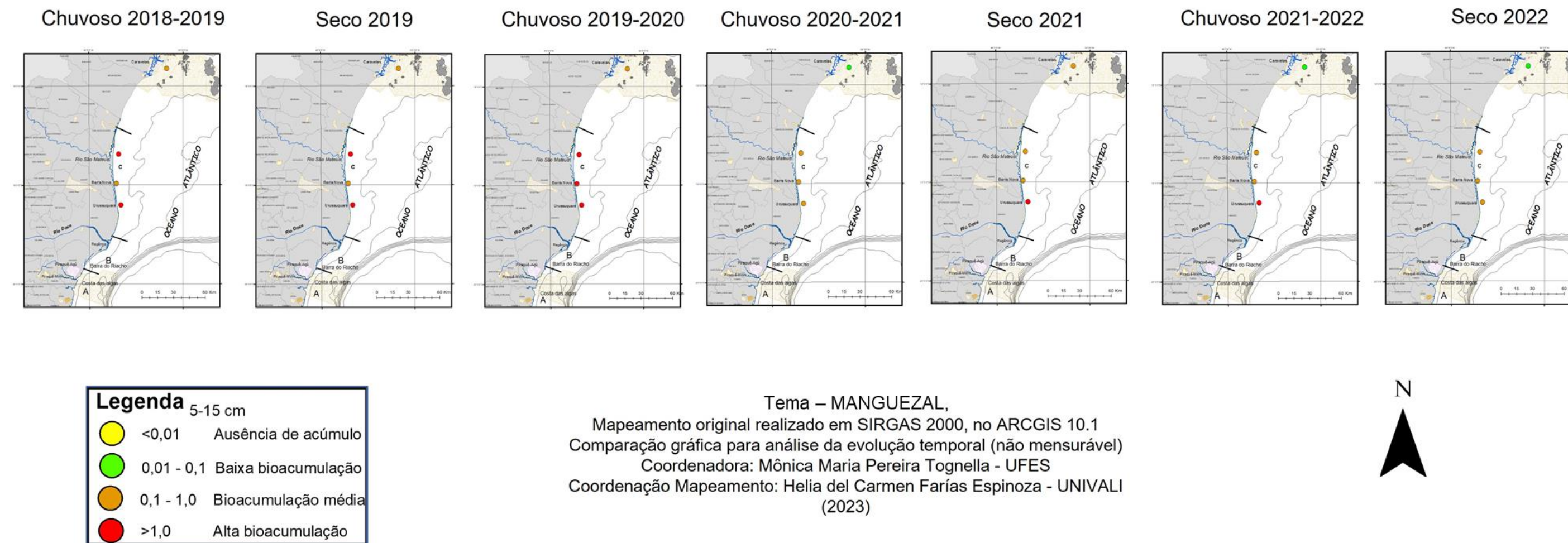


Figura 60: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Laguncularia (0-5 cm)

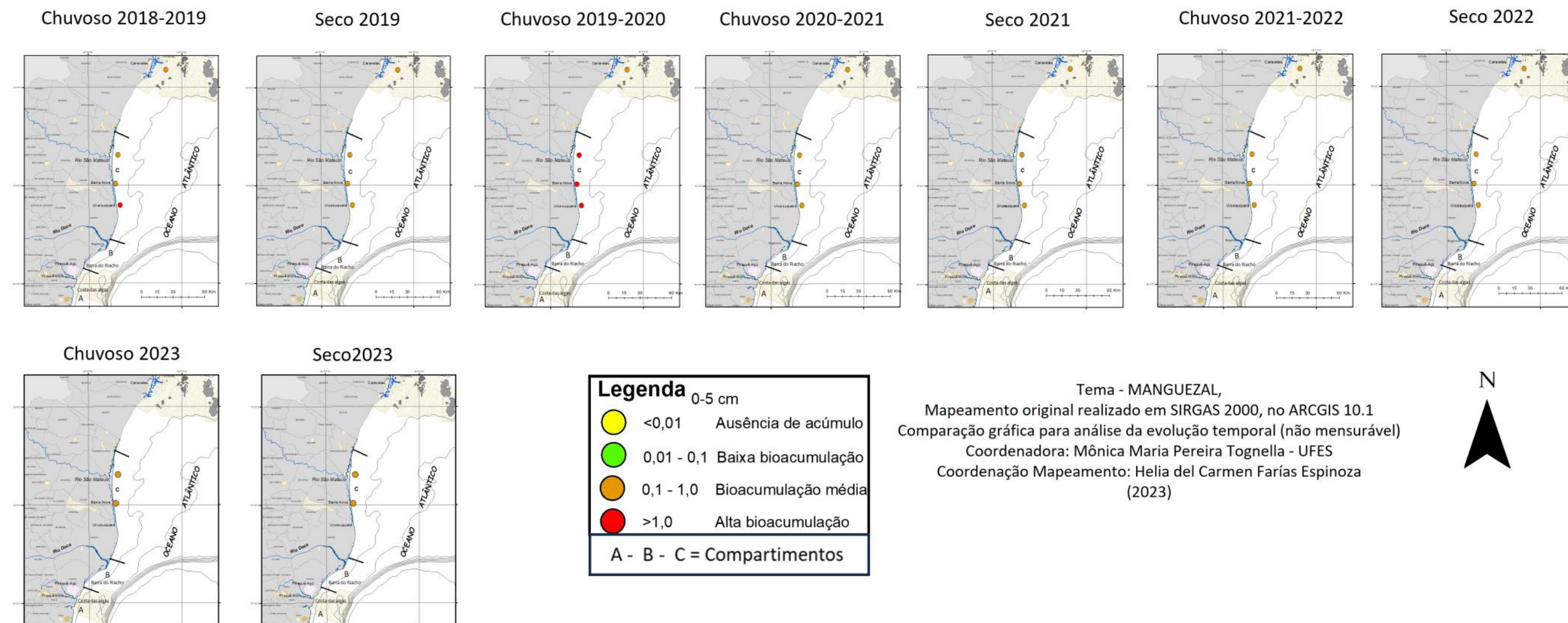


Figura 61: Indicador Ecológico Biorremediação Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, Caravelas). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Zn Laguncularia (5-15 cm)

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

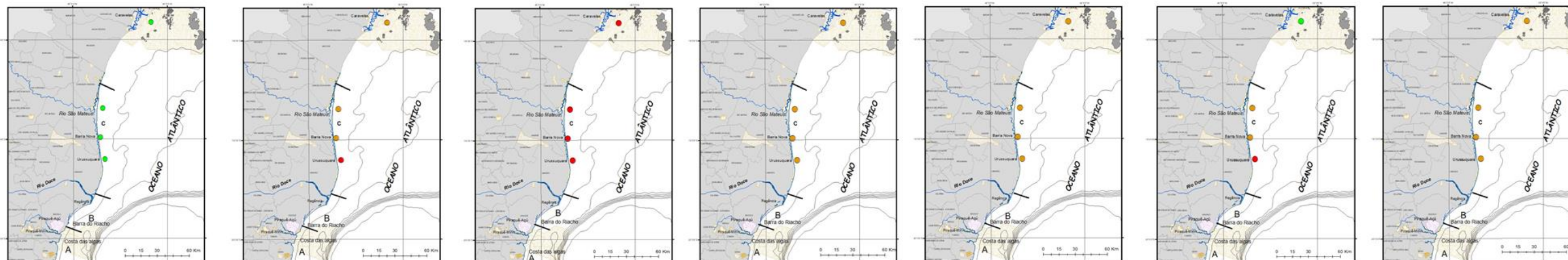
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 5-15 cm		
●	<0,01	Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1	Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0	Bioacumulação média
●	>1,0	Alta bioacumulação

Tema – MANGUEZAL,
Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 62: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Cu Laguncularia (0-5 cm)

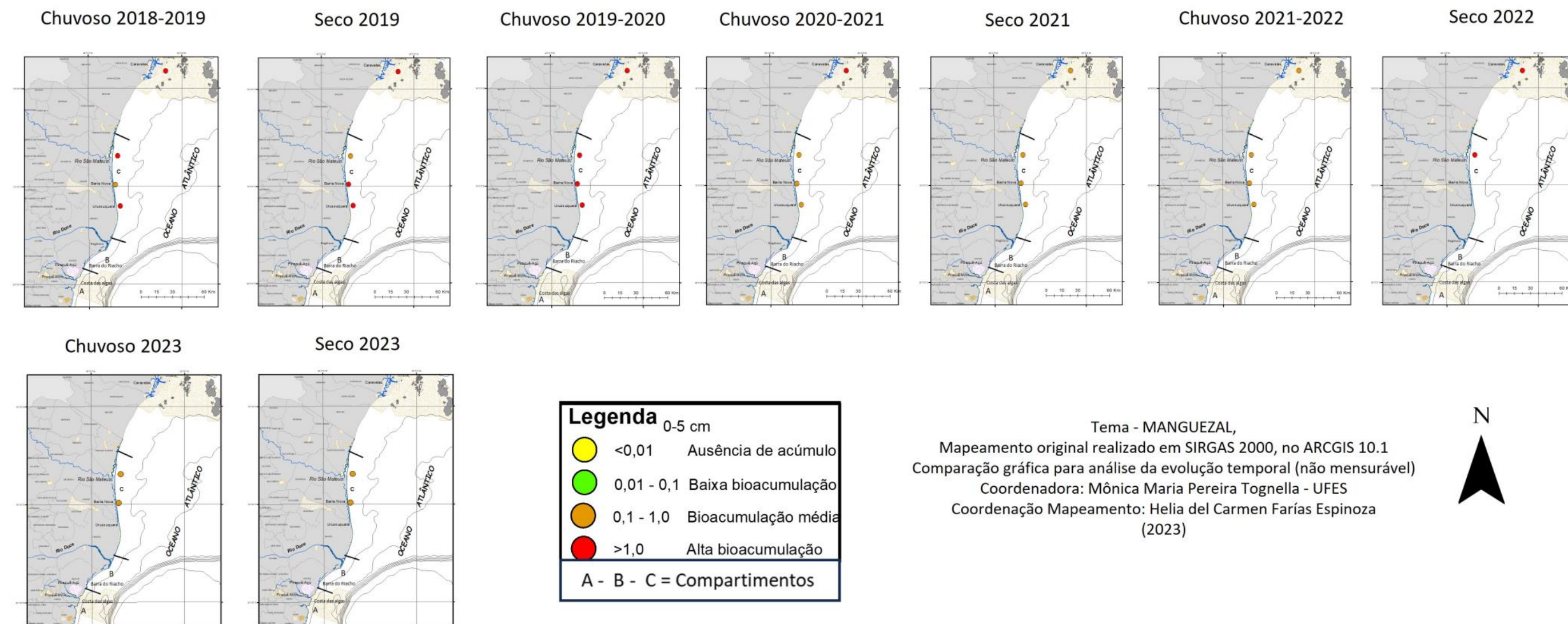


Figura 63: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Cu Laguncularia (5-15 cm)

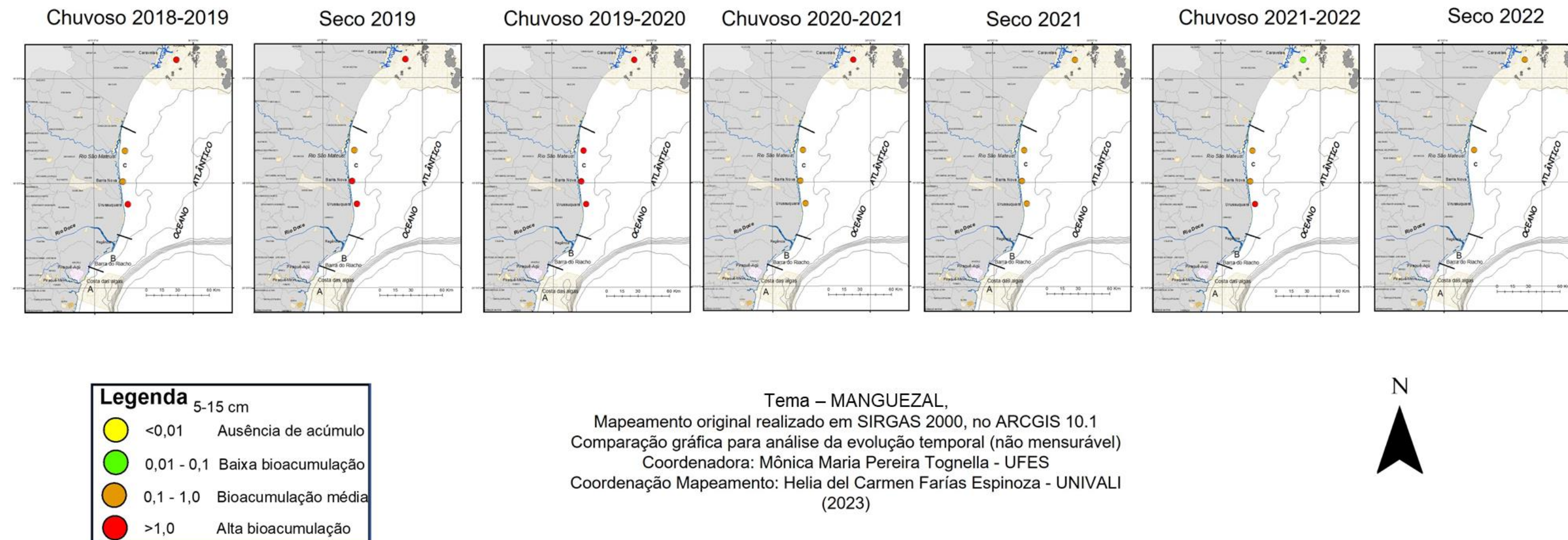


Figura 64: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

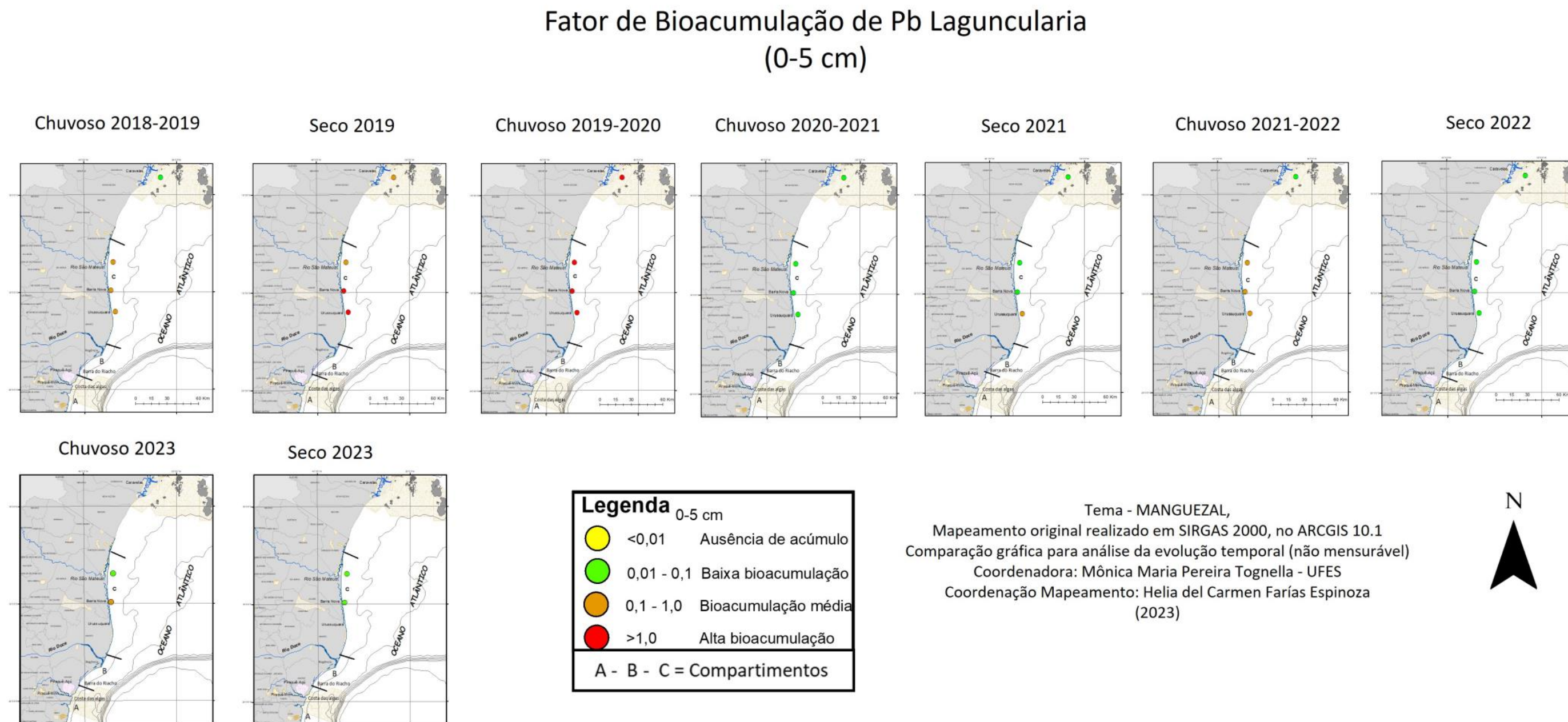
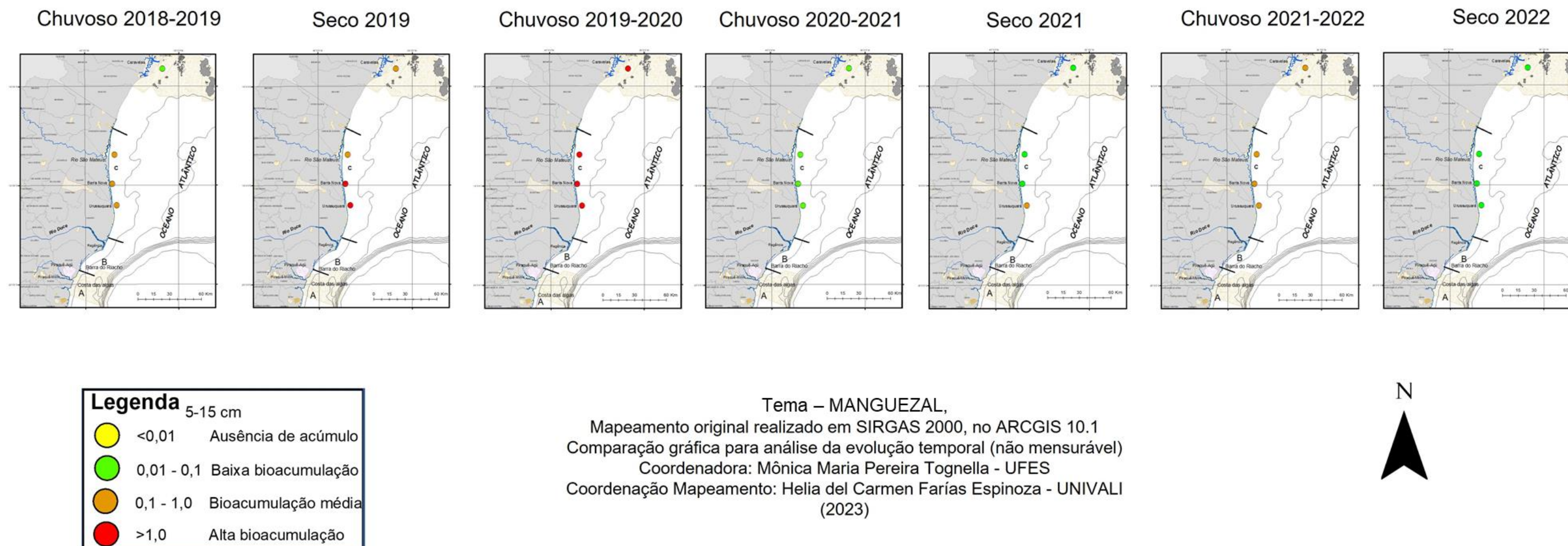


Figura 65: Indicador Ecológico Biorremediação- Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a agosto de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Pb *Laguncularia* (5-15 cm)



Observa-se baixo fator de bioacumulação (FBA) de Fe para *L. racemosa* em todos os períodos e estuários analisados, exceto no período Chuvoso 19_20, com média bioacumulação para a espécie nos estuários de Barra Nova e São Mateus (Figura 56). Com relação ao Mn, registrou-se média bioacumulação no período Seco_23 nos estuários analisados. Com base na série temporal, também houve médio FBA em todos os períodos, com exceção para o Chuvoso 18_19 em São Mateus e Chuvoso 19_20 em Barra Nova e São Mateus, para os quais alto FBA foi registrado (Figura 58). Assim como registrado para o Mn, o Zn também mostrou média bioacumulação ao longo do monitoramento, exceto para o período Chuvoso 19_20 em Barra Nova e São Mateus, com alta bioacumulação do metal (Figura 60). O FBA para Cu no período Seco_23 (Figura 62) seguiu o mesmo comportamento observado nos períodos Chuvoso 20_21, Seco_21, Chuvoso 21_22 e Chuvoso 22_23, com média bioacumulação para os estuários de Barra Nova e São Mateus. Ademais, houve alto FBA nos períodos Chuvoso 18_19 (São Mateus), Seco_2019 (Barra Nova), Chuvoso 19_20 (Barra Nova e São Mateus) e Seco_22 (São Mateus). O acúmulo de Pb por *L. racemosa* variou durante a série temporal (Figura 64). Observa-se média a alta bioacumulação em Barra Nova e São Mateus no Ano 1 e no período Chuvoso 19_20 do Ano 2 e no período Chuvoso 21_22 do Ano 4. Por outro lado, nos dois últimos períodos analisados do Ano 5 houve alternância de bioacumulação em Barra Nova (médio e baixo FBA), diferentemente de São Mateus, onde baixo acúmulo de Pb pode ser observado (Figura 64). A amostragem de sedimentos na profundidade 5-15 cm e o monitoramento nos estuários de Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

Figura 66: Indicador Ecológico Biorremediação – Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Fe *Avicennia* (0-5 cm)

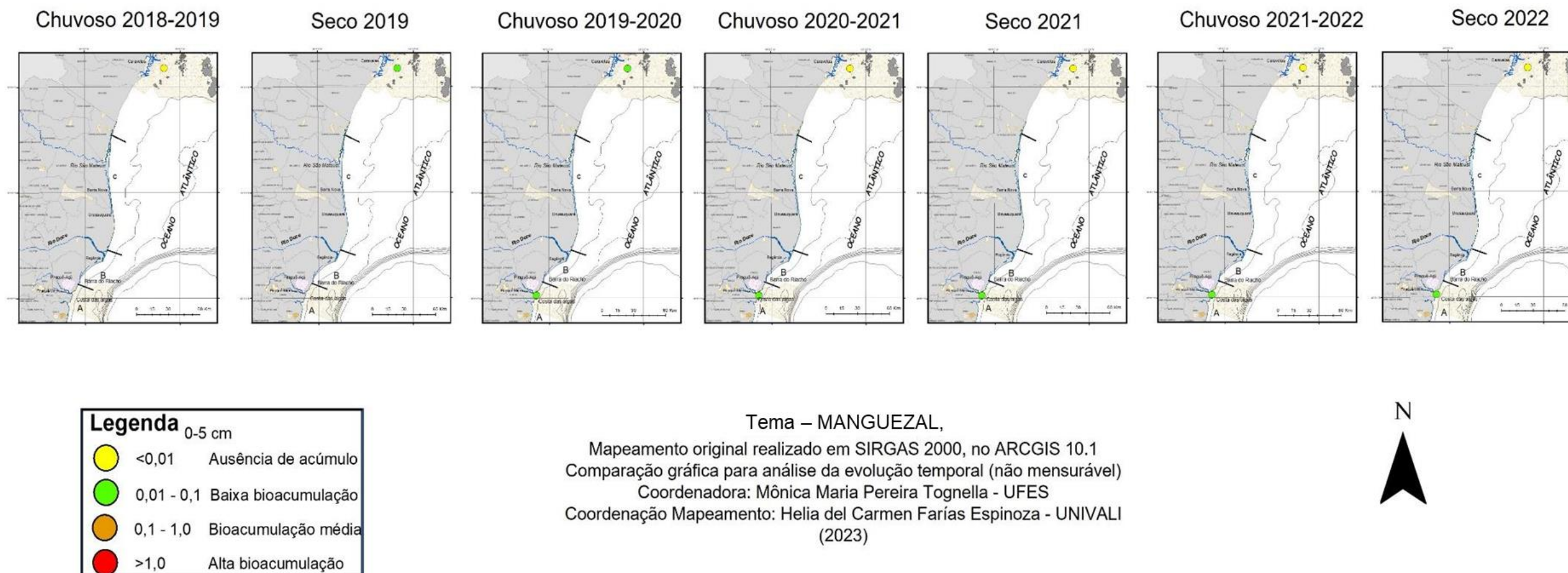


Figura 67: Indicador Ecológico Biorremediação – Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Fe *Avicennia* (5-15 cm)

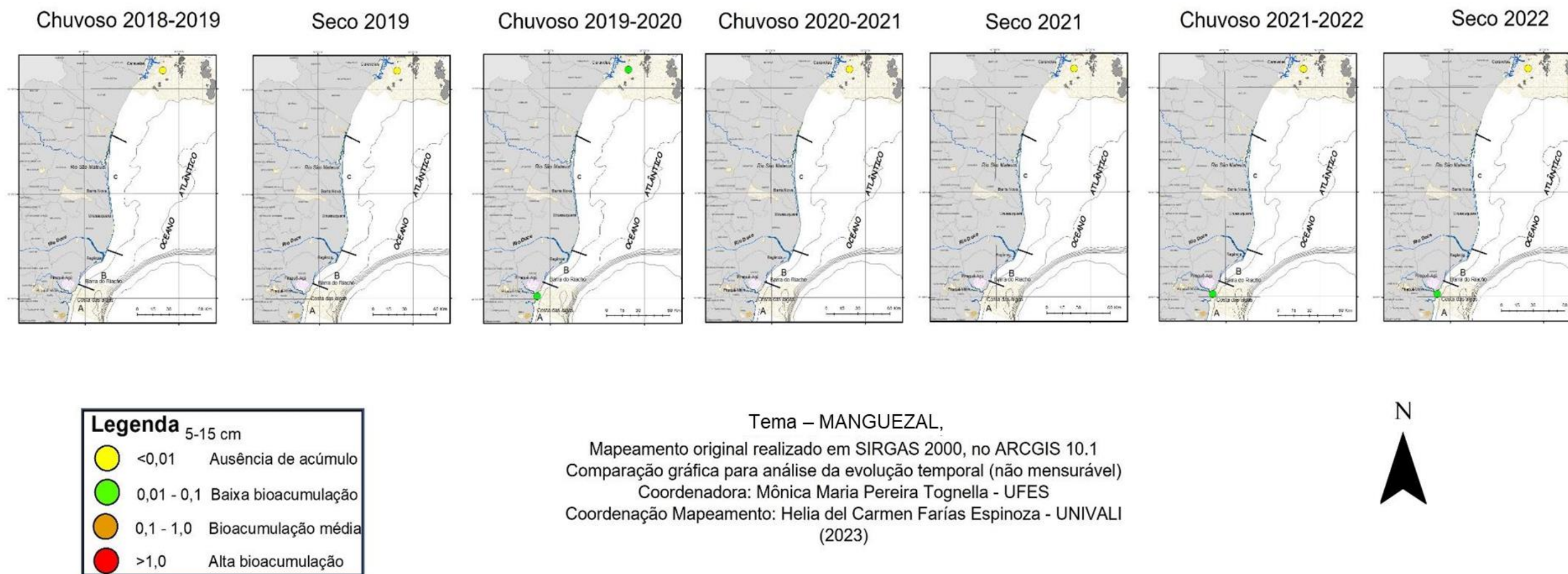


Figura 68: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Mn *Avicennia* (0-5 cm)

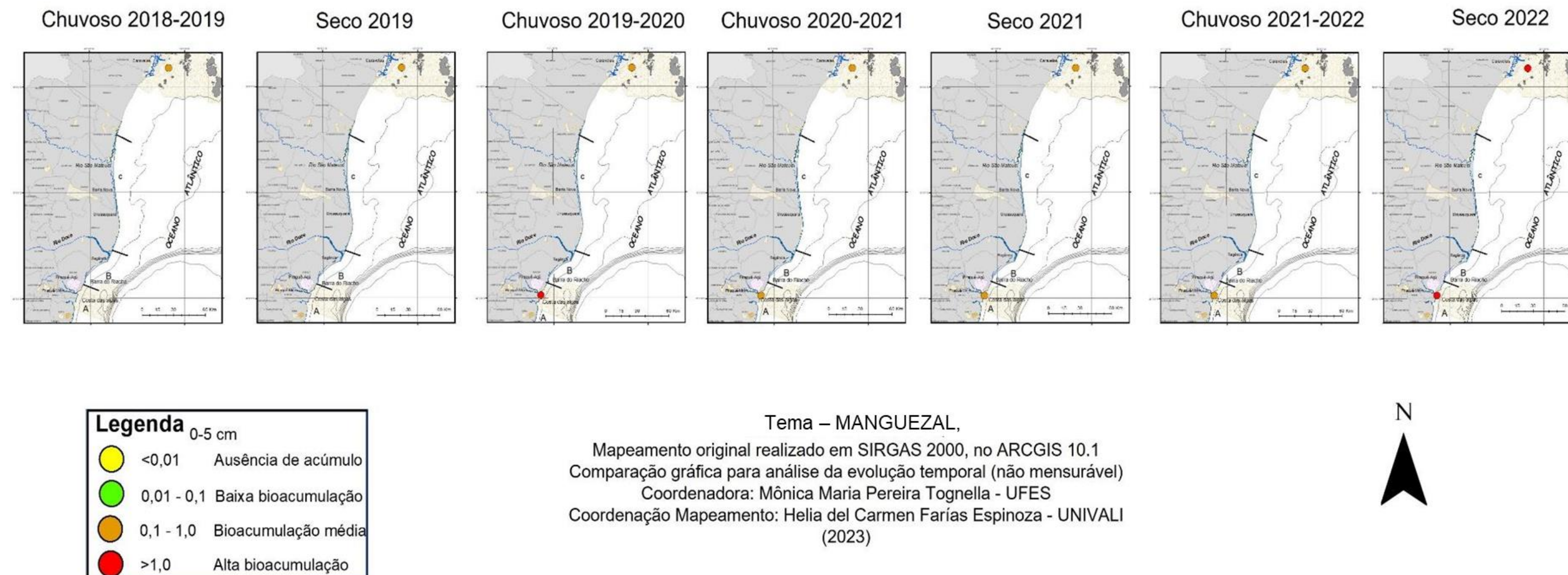


Figura 69: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Mn *Avicennia* (5-15 cm)

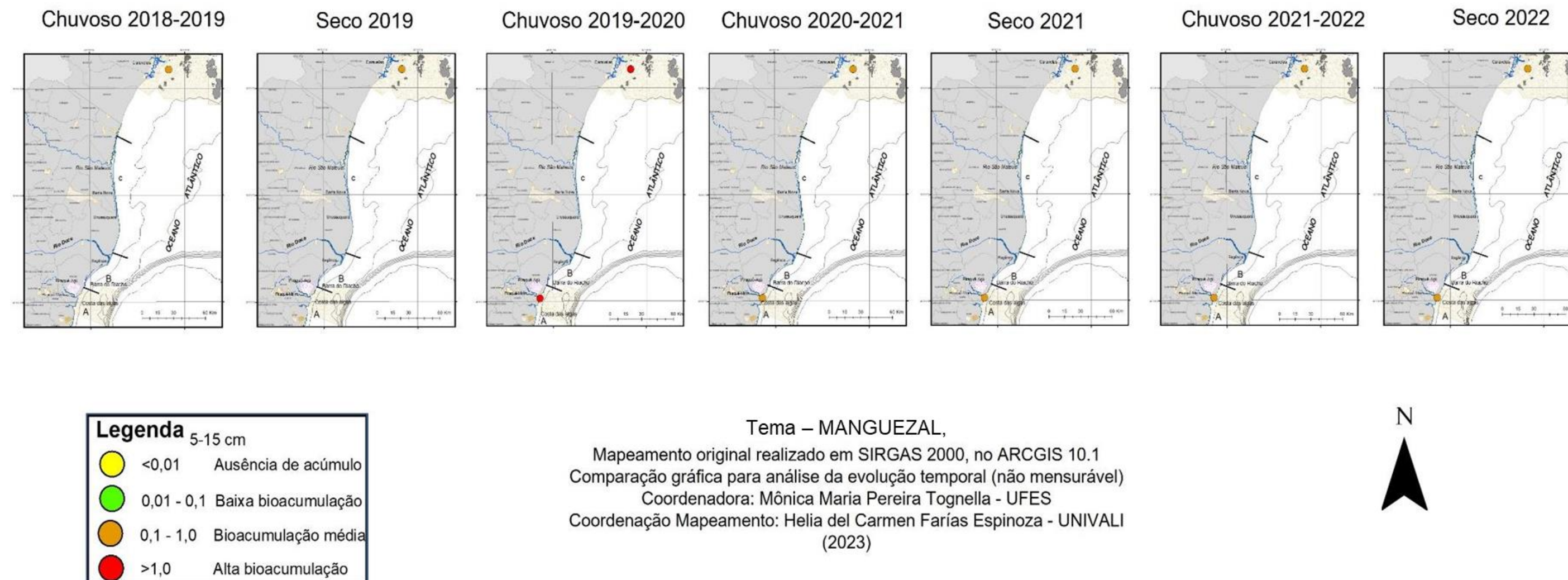


Figura 70: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

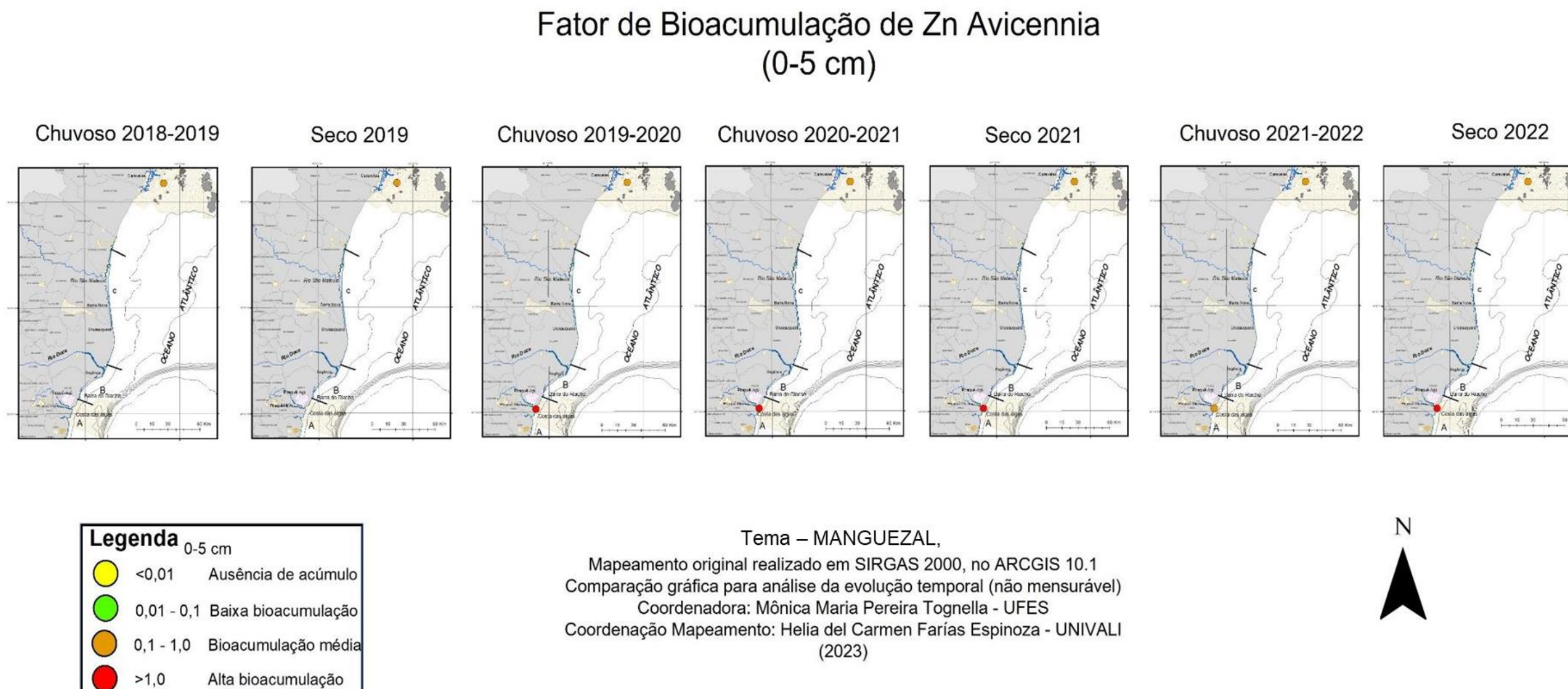
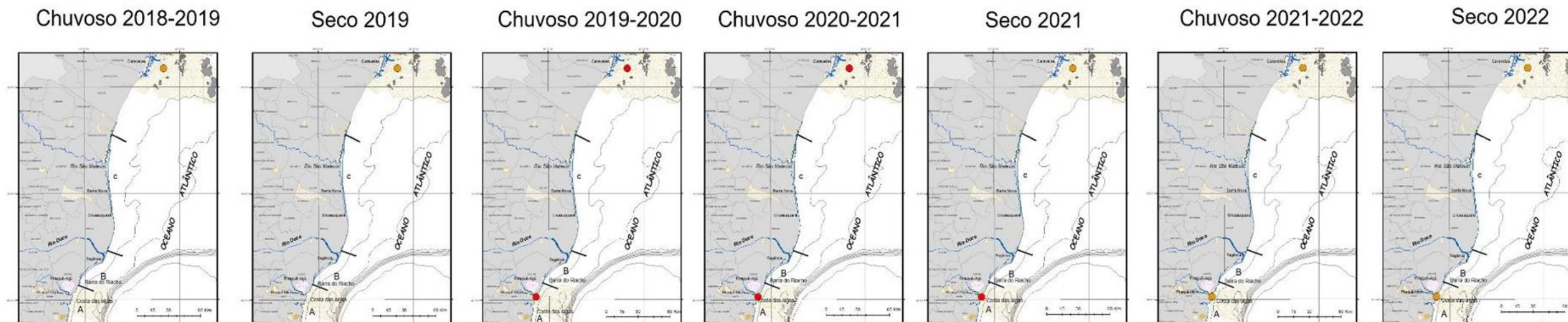


Figura 71: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Zn *Avicennia* (5-15 cm)



Legenda 5-15 cm		
●	<0,01	Ausência de acúmulo
●	0,01 - 0,1	Baixa bioacumulação
●	0,1 - 1,0	Bioacumulação média
●	>1,0	Alta bioacumulação

Tema – MANGUEZAL,
Mapeamento original realizado em SIRGAS 2000, no ARCGIS 10.1
Comparação gráfica para análise da evolução temporal (não mensurável)
Coordenadora: Mônica Maria Pereira Tognella - UFES
Coordenação Mapeamento: Helia del Carmen Farias Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 72: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Cu *Avicennia* (0-5 cm)

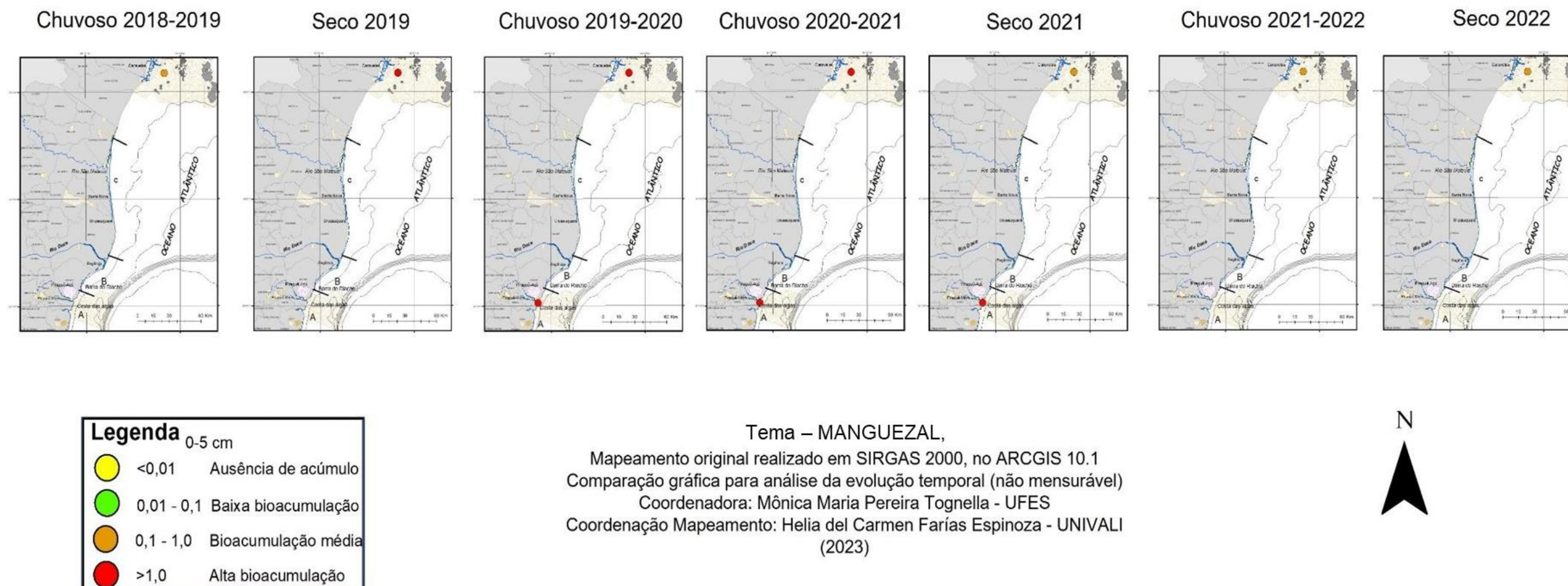


Figura 73: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Cu *Avicennia* (5-15 cm)

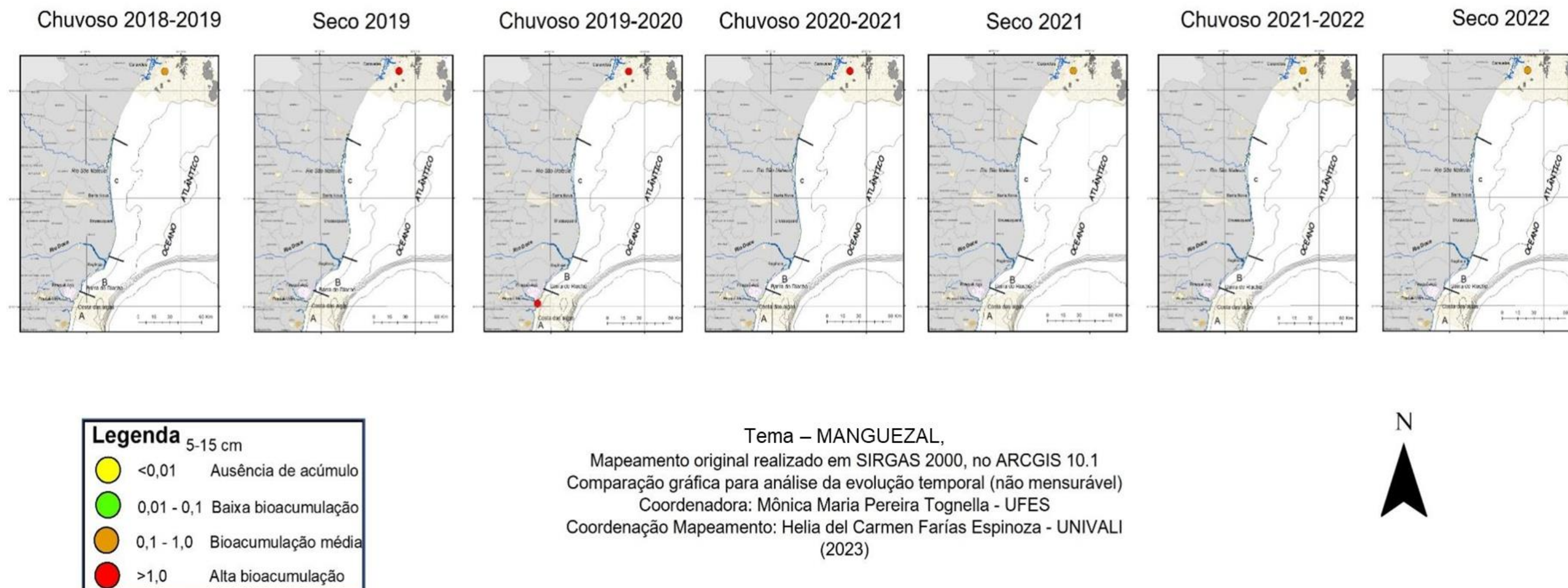


Figura 74: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Pb *Avicennia* (0-5 cm)

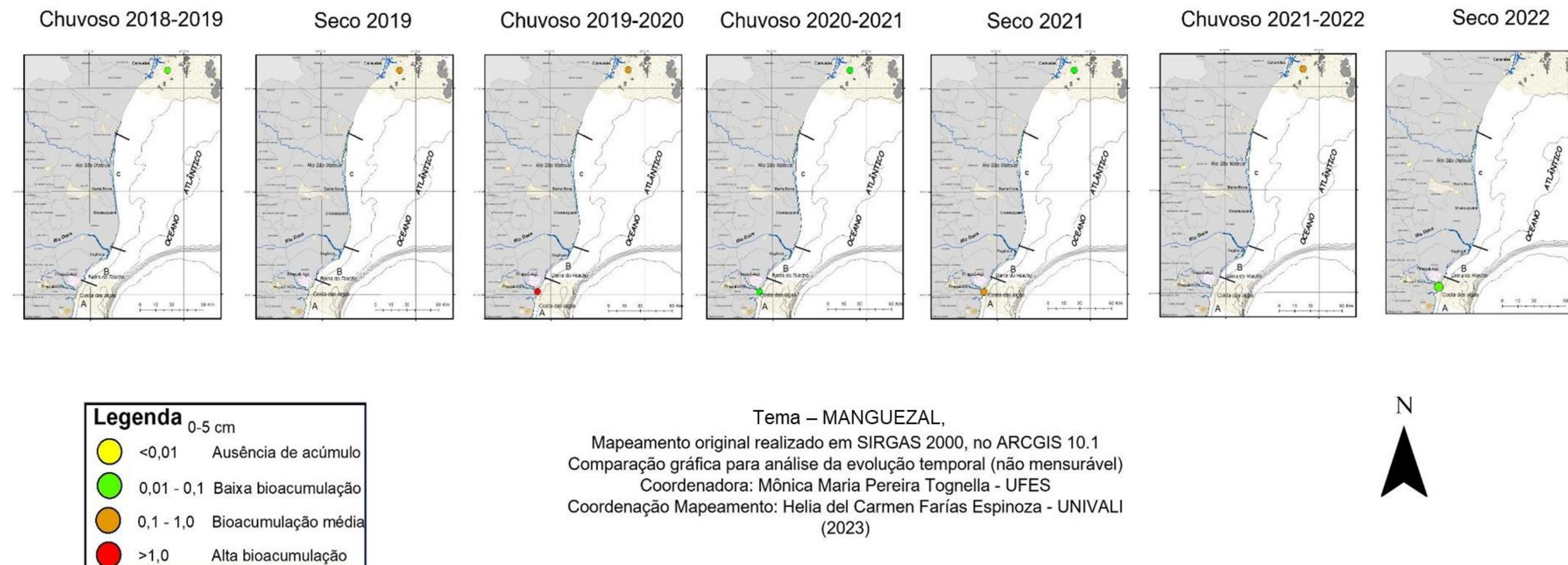


Figura 75: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas (Compartimento A) e Caravelas (Compartimento C). Essas áreas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Pb *Avicennia* (5-15 cm)

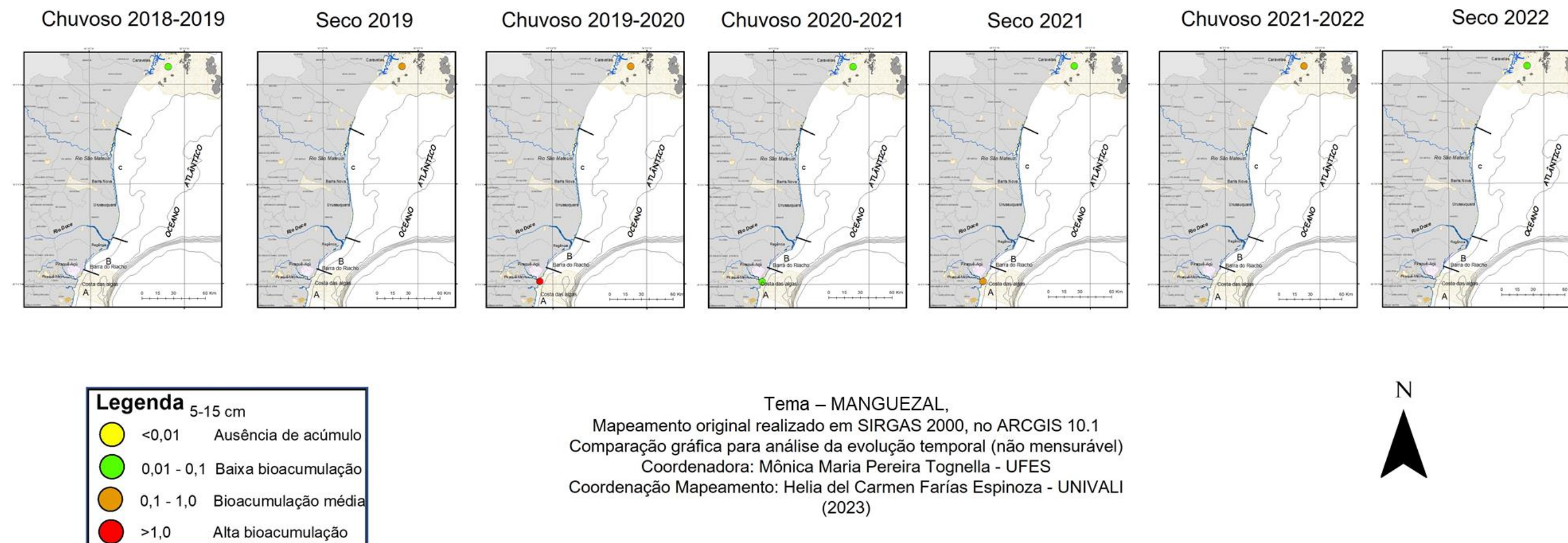


Figura 76: Indicador Ecológico Biorremediação – Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Fe Talipariti (0-5 cm)

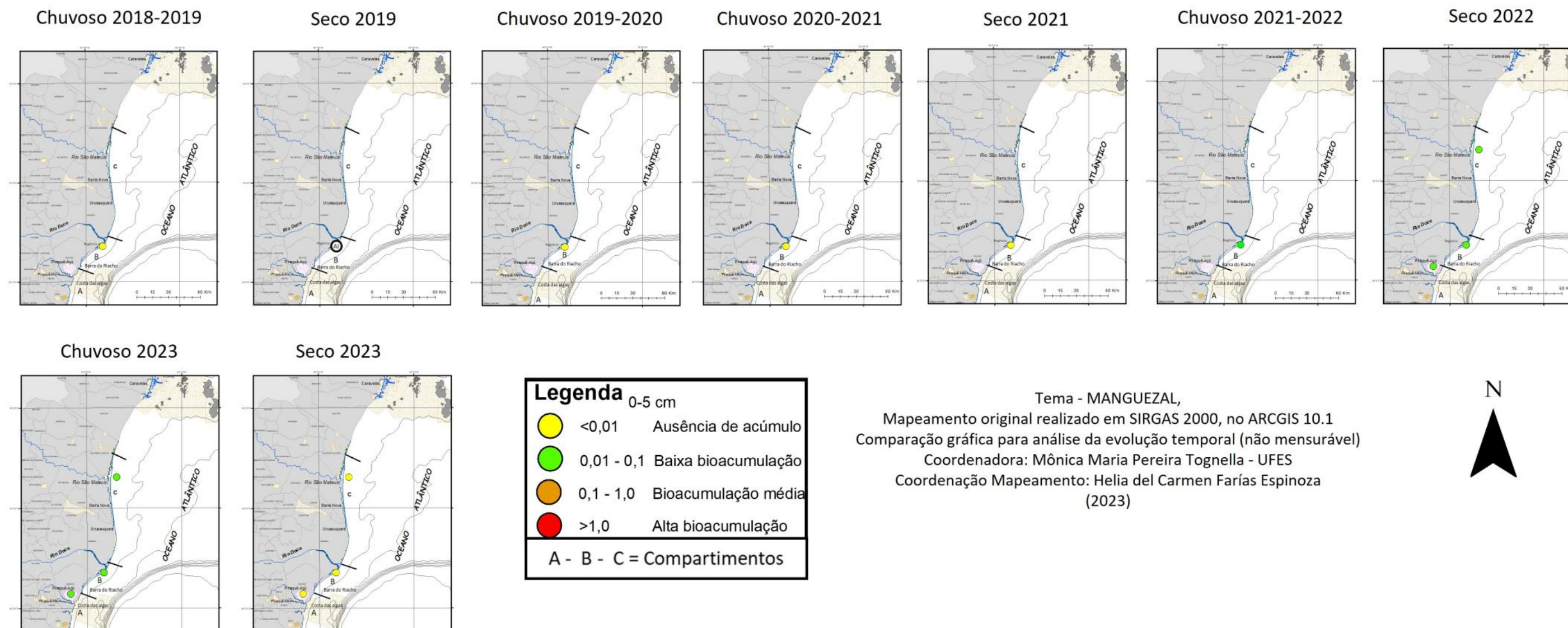


Figura 77: Indicador Ecológico Biorremediação – Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Fe Talipariti (5-15 cm)

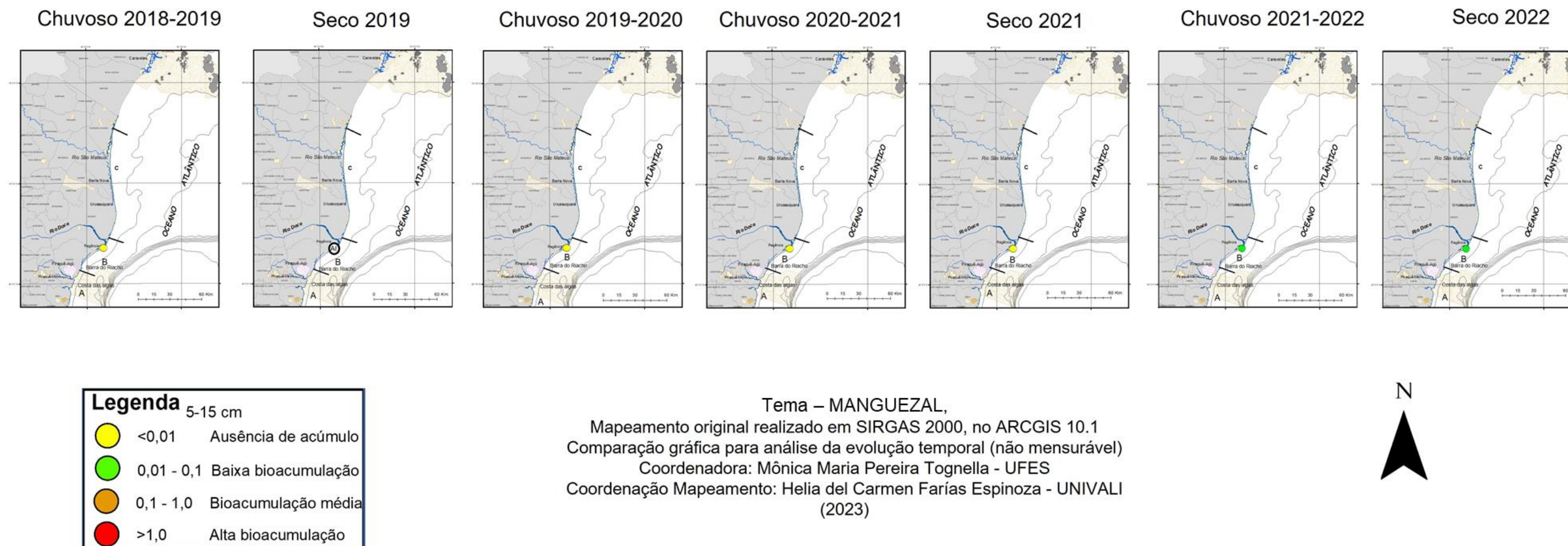


Figura 78: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Mn *Talipariti* (0-5 cm)

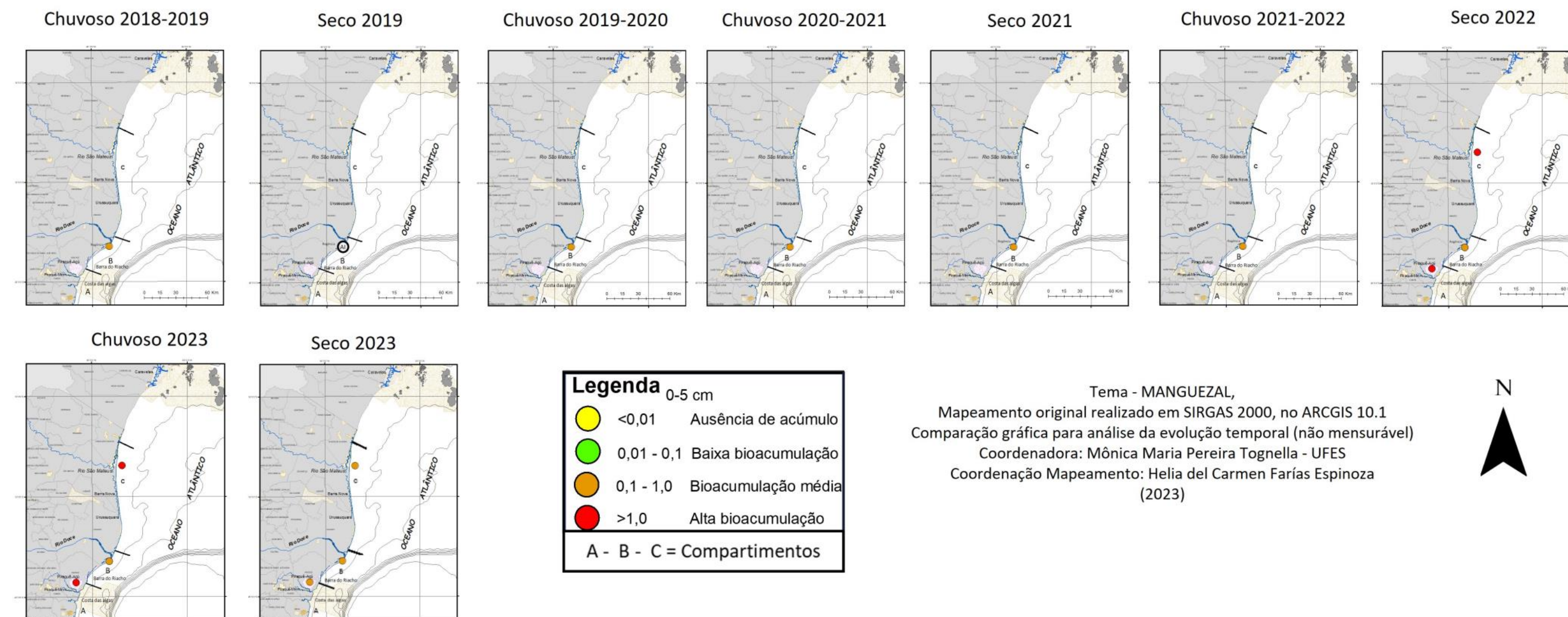


Figura 79: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Mn Talipariti (5-15 cm)

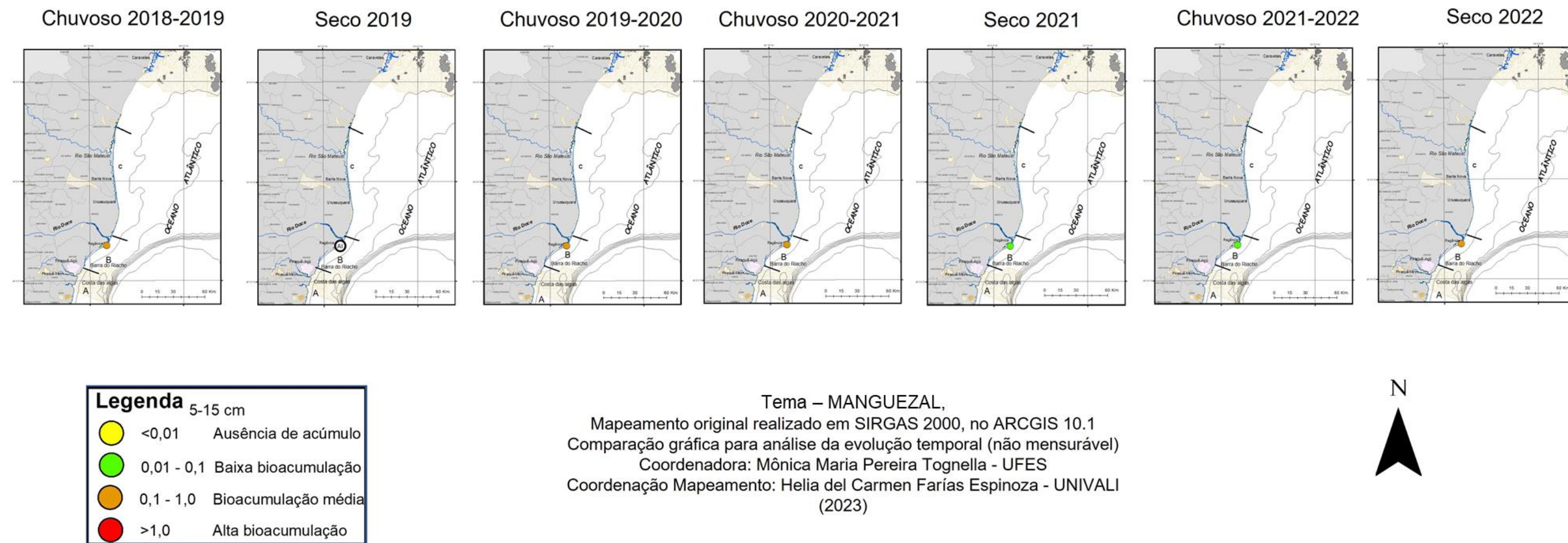


Figura 80: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Zn Talipariti (0-5 cm)

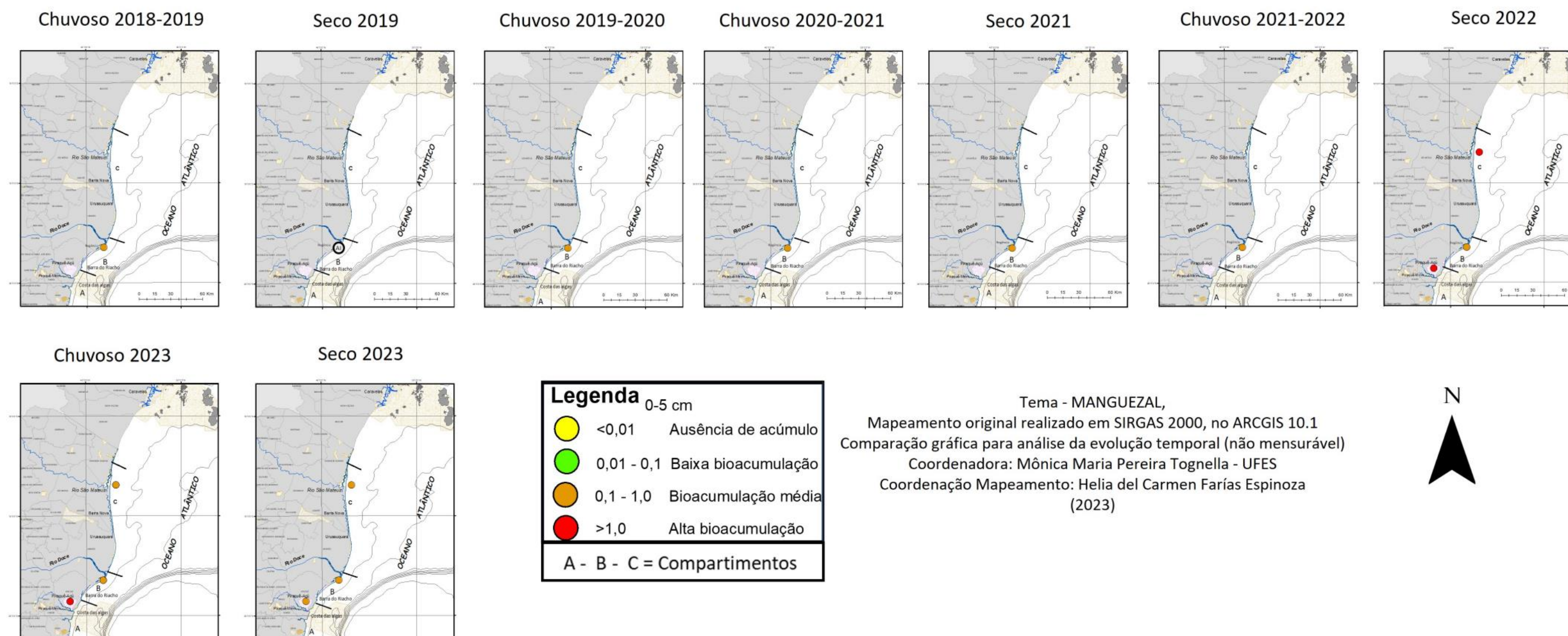


Figura 81: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Zn *Talipariti* (5-15 cm)

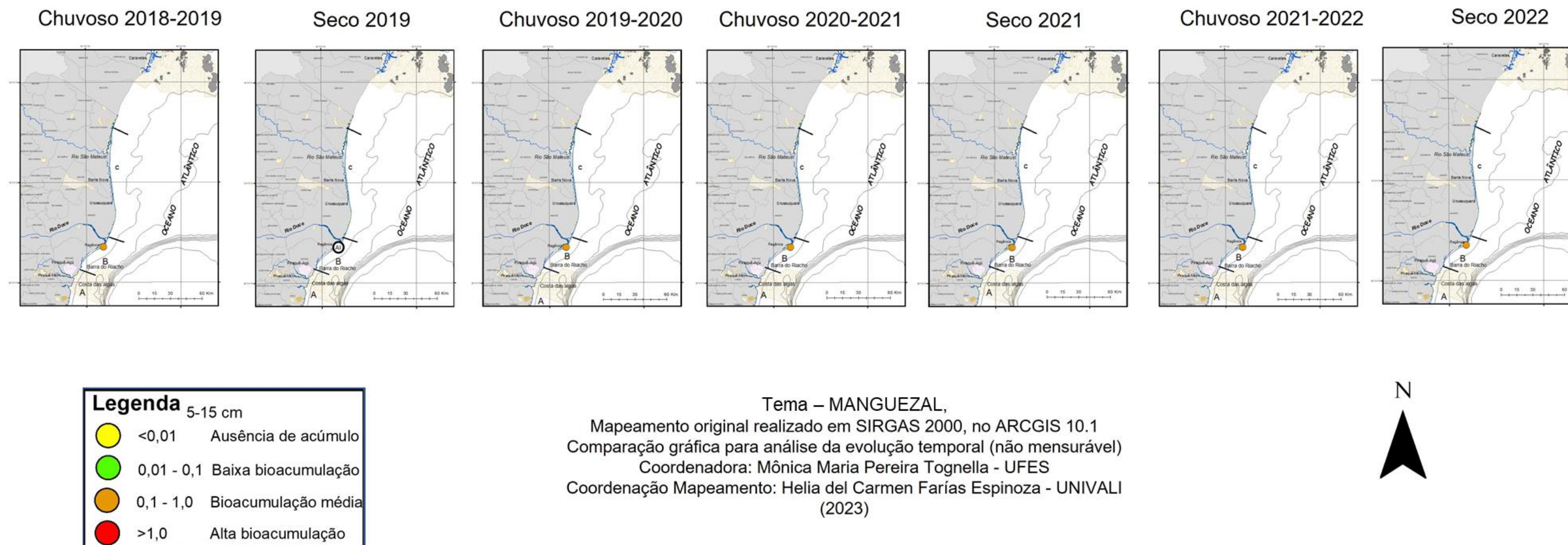


Figura 82: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Cu *Talipariti* (0-5 cm)

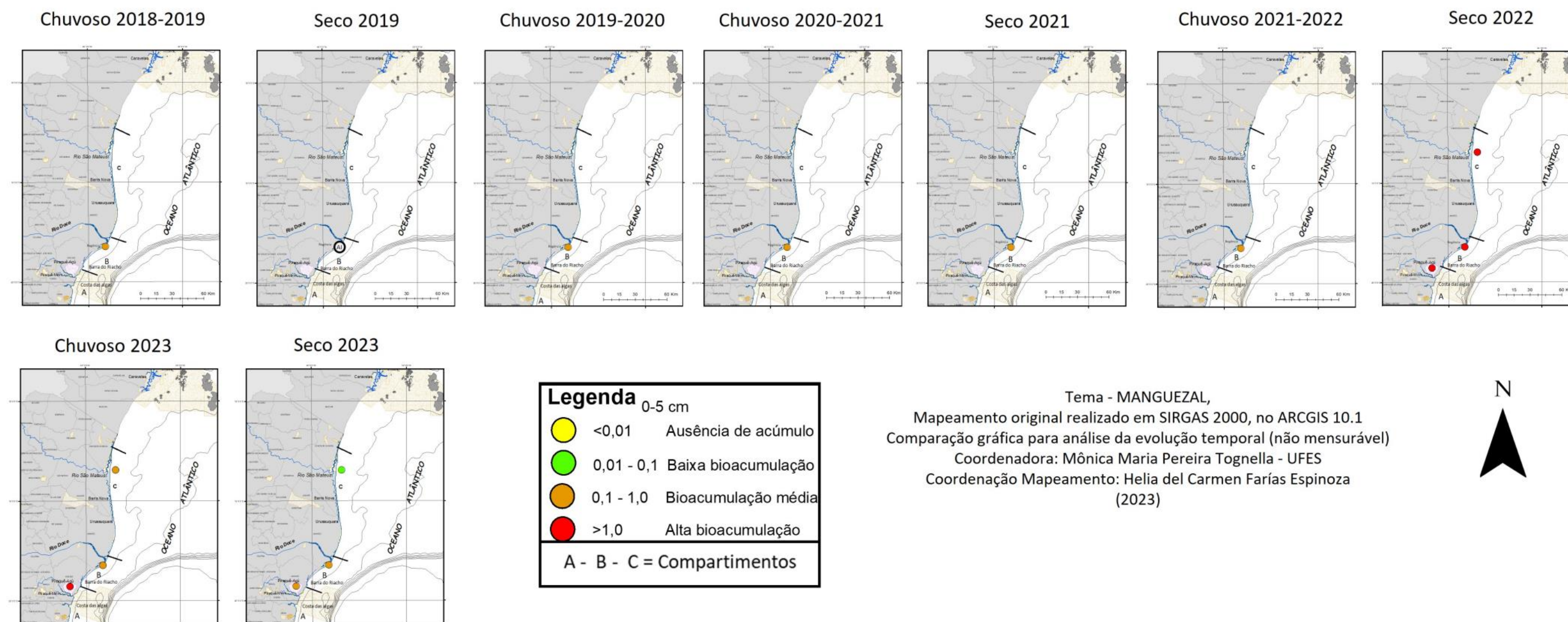


Figura 83: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Cu *Talipariti* (5-15 cm)

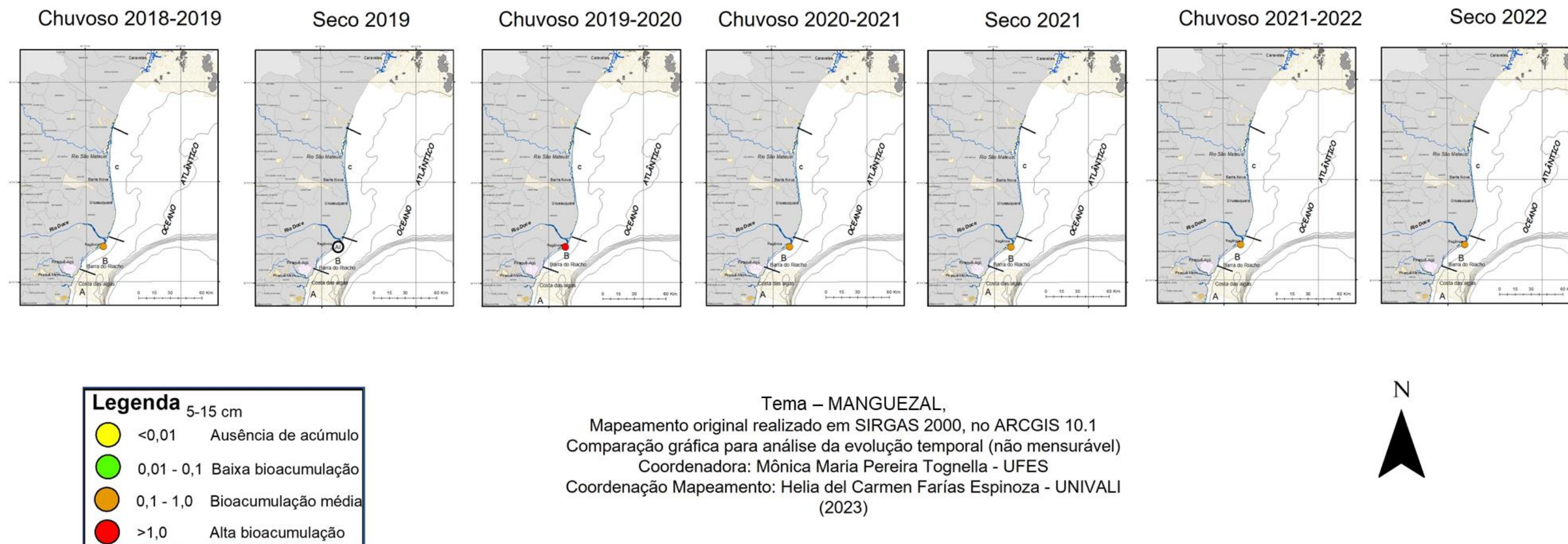


Figura 84: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

Fator de Bioacumulação de Pb Talipariti (0 - 5 cm)

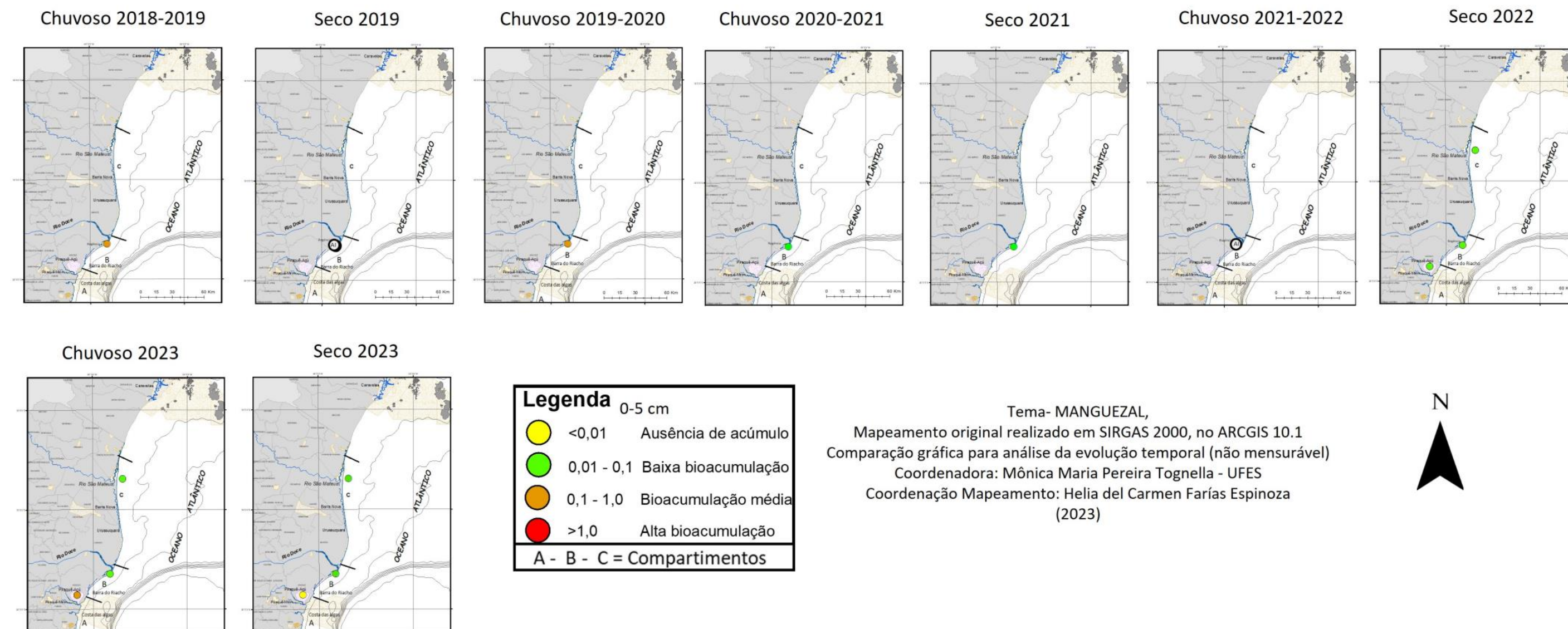
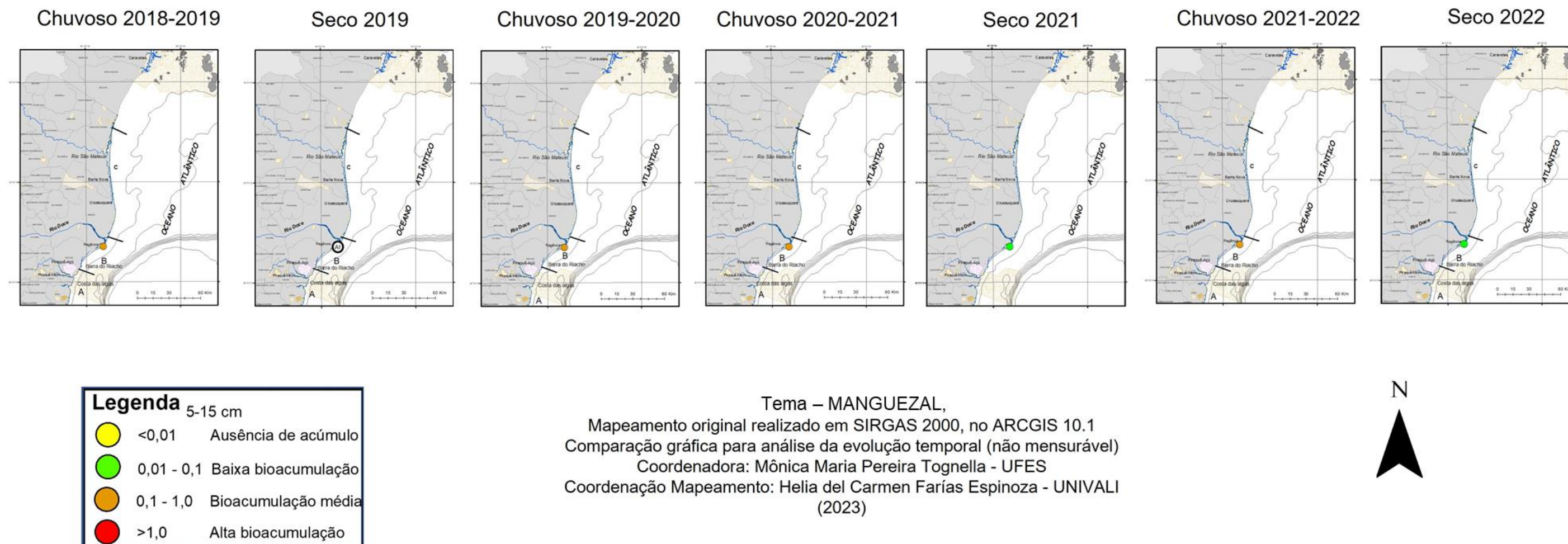


Figura 85: Indicador Ecológico Biorremediação - Mapeamento temático do Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a agosto de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023). Rio Doce (Compartimento B), Piraquê-Açu (Compartimento A) e São Mateus (Compartimento C). Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm*. *Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco 2022 foram discutidos em (FEST, 2023a).

Fator de Bioacumulação de Pb *Talipariti* (5-15 cm)



Para *T. pernambucense* presente no Rio Doce, houve ausência de acúmulo de Fe durante os Anos 1, 2 e 3 e também no período seco do Ano 5 (Seco_23). Nos demais períodos, observa-se baixo acúmulo do metal para a espécie (Figura 76). Em relação ao Fe analisado na *T. pernambucense* localizada no Piraquê-Açu e em São Mateus, houve baixo FBA nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 e nenhum acúmulo no período Seco_23. Para Mn, Zn e Cu provenientes das análises do Rio Doce, houve média bioacumulação em todos os períodos, exceto no período Seco_22 para Cu, com alto FBA (Figura 78, Figura 80 e Figura 82). Em relação aos estuários Piraquê-Açu e São Mateus, observa-se alto FBA para Mn nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 e médio FBA no período atual (Seco_23) (Figura 78). Para Zn e Cu, houve alta bioacumulação em *T. pernambucense* no estuário do Piraquê-Açu nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 e médio FBA no período Seco_23 (Figura 80 e Figura 82). O mesmo resultado não é observado em São Mateus, no qual FBA variou de alto para baixo no período Seco_23 (Figura 80 e Figura 82). A bioacumulação de Pb no Rio doce foi média nos períodos Chuvoso 18_19 e Chuvoso 19_20, havendo um decréscimo no acúmulo do metal a partir do período Chuvoso 20_21 (Figura 84). Baixo FBA pode ser observado para Pb no Piraquê-Açu e São Mateus nos três períodos analisados (Seco_22, Chuvoso 22_2 e Seco_23), com exceção para o período Chuvoso 22_23, no Piraquê-Açu, que apresentou média bioacumulação (Figura 84).

Figura 86: Indicador Ecológico Biorremediação – Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de ferro (Fe) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (B) Compartimento B - Barra do Riacho; (C) Compartimento C – Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

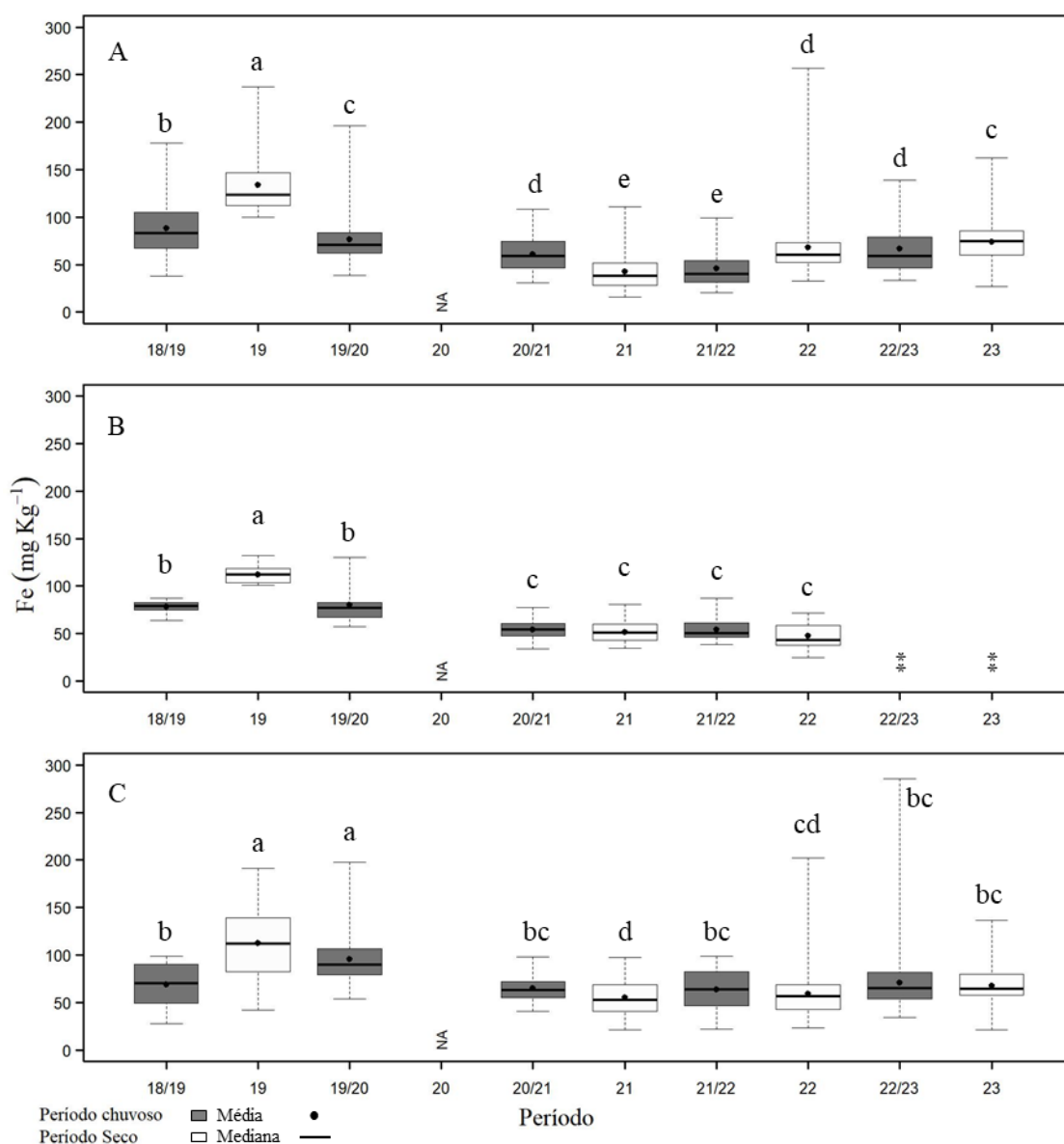


Figura 87: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de manganês (Mn) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (B) Compartimento B - Barra do Riacho; (C) Compartimento C – Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

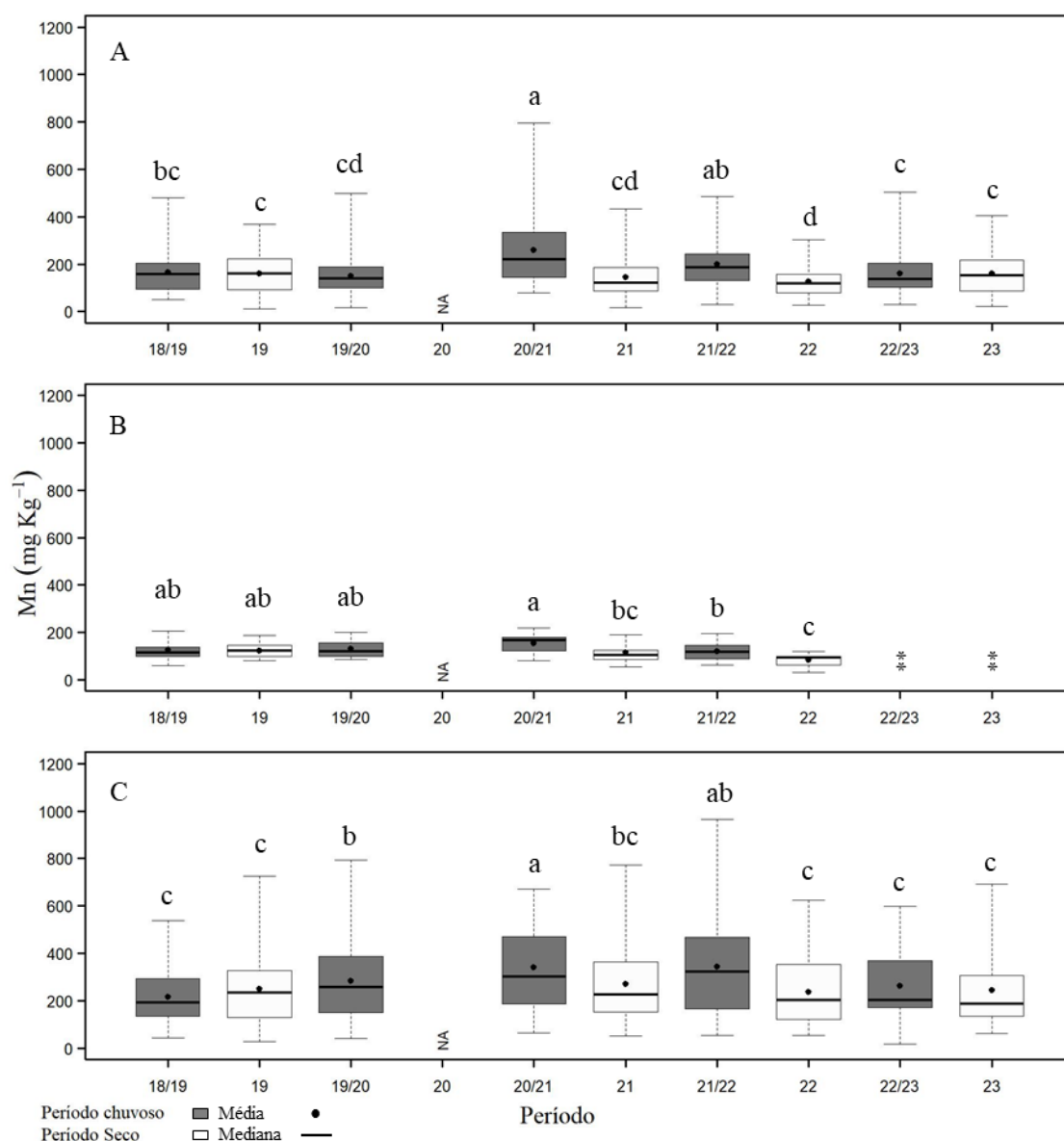


Figura 88: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de zinco (Zn) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (B) Compartimento B - Barra do Riacho; (C) Compartimento C – Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

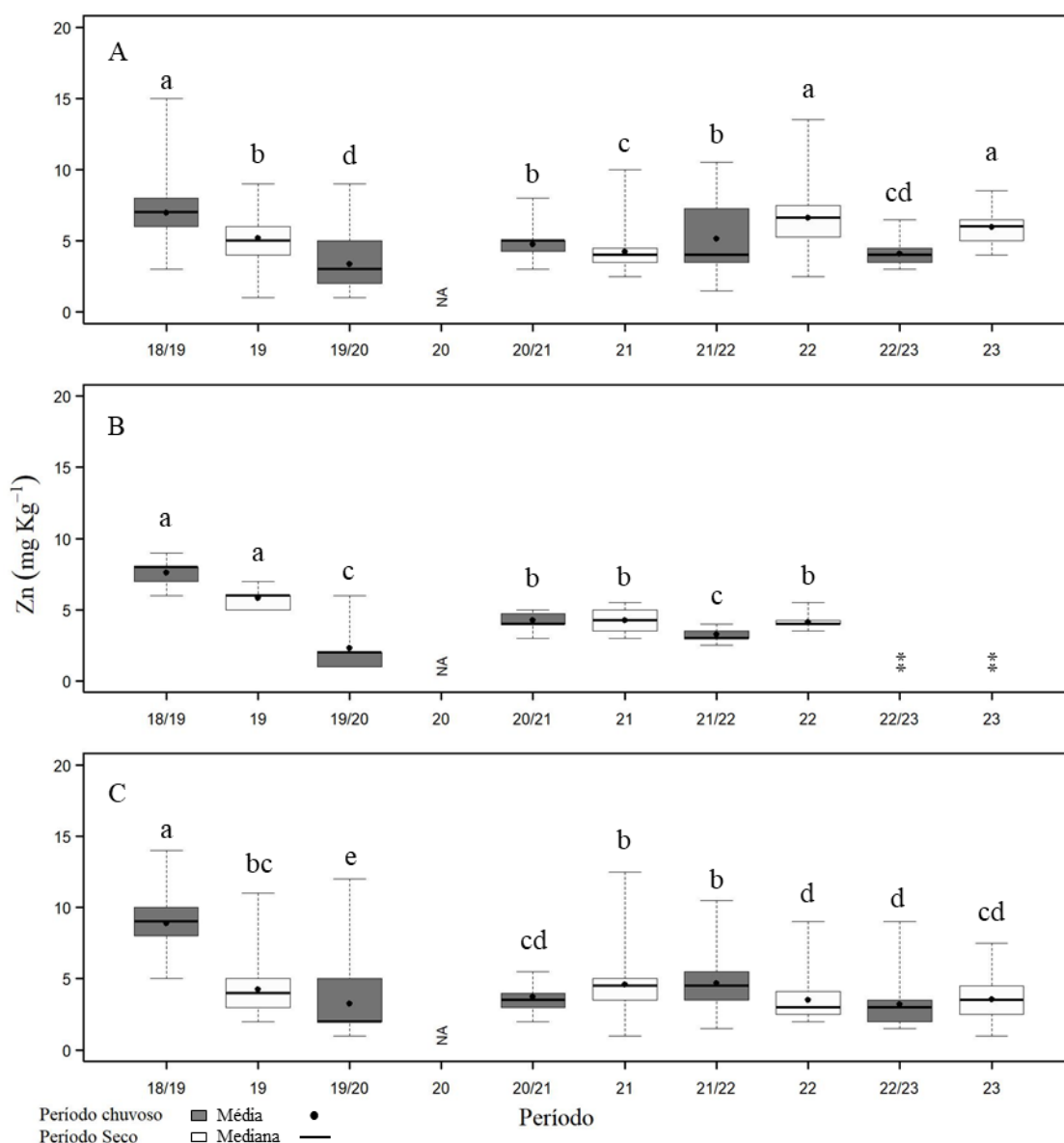
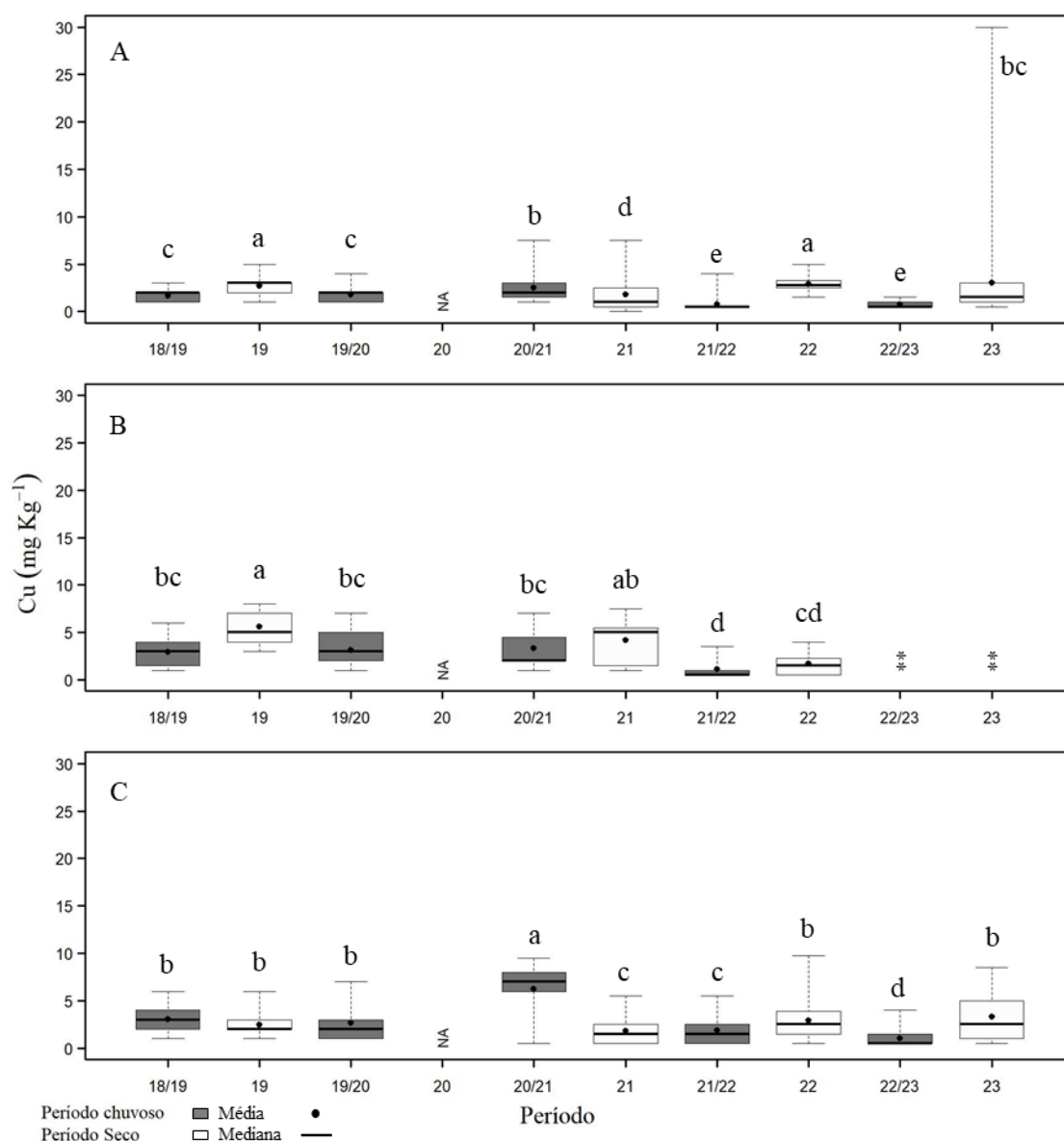
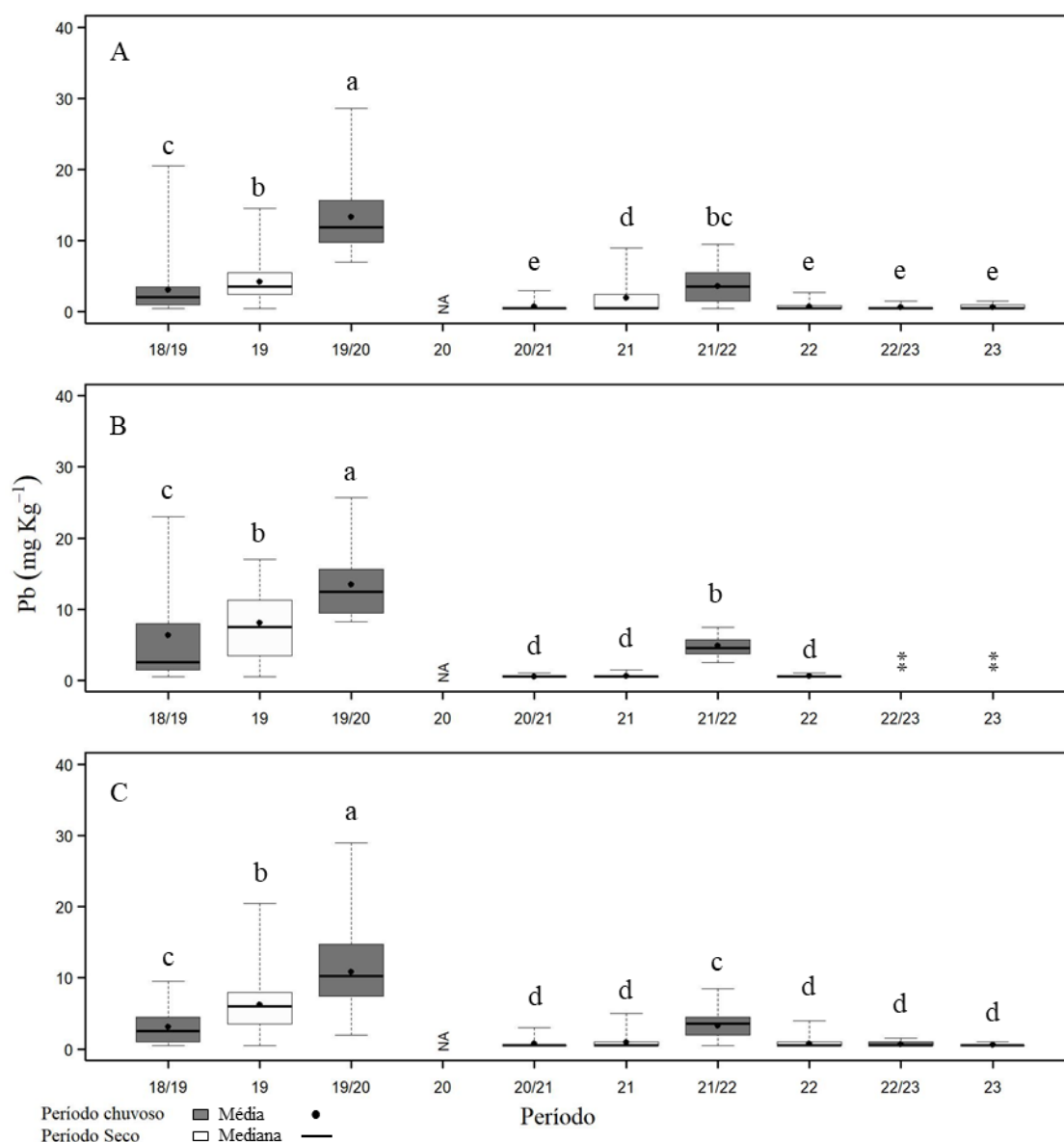


Figura 89: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de cobre (Cu) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (A) Compartimento A - Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; (B) Compartimento B - Barra do Riacho; (C) Compartimento C – Barra Nova e São Mateus. As áreas de coletas abrangem o norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



No compartimento A, houve aumento nas concentrações de Fe foliar de *R. mangle* do período Seco_23, sendo o segundo maior valor encontrado para os períodos secos desde o início do monitoramento. Essa concentração também pode ser comparada à observada no período Chuvoso 19_20. No compartimento C, houve manutenção na concentração de Fe no período Seco_23, comparativamente ao Chuvoso 22_23. Entretanto, em relação aos demais períodos secos, assim como no compartimento A, é o segundo maior valor observado para a série histórica (Figura 86). Com relação ao Mn, no compartimento A, houve aumento na concentração do metal em relação ao período Seco_22, mas sem diferença estatística em relação aos períodos Seco_19 e Chuvoso 22_23. No compartimento C, a concentração de Mn manteve-se estável nos últimos três períodos analisados (Seco_22, Chuvoso 22_23 e Seco_23), sendo iguais estatisticamente aos valores encontrados no primeiro mano do monitoramento (Figura 87). Houve aumento na concentração de Zn foliar no compartimento A no período Seco_23, igualando-se ao Seco_22. No compartimento C, observa-se discreto aumento na concentração de Zn no período Seco_23 (Figura 88). A concentração de Cu aumentou significativamente no período Seco_23 em relação ao Chuvoso 22_23 no compartimento A, mas reduziu quando comparada ao período seco anterior (Seco_22). Por outro lado, no compartimento C, a concentração de Cu não diferiu estatisticamente entre os períodos Seco_19, Seco_22 e Seco_23. Em relação ao Chuvoso 22_23, houve aumento nos valores do metal (Figura 89). Tendência de redução na concentração de Pb pode ser observada a partir do período Chuvoso 20_21 em ambos os compartimentos (Figura 90), com estabilidade nos três últimos períodos analisados (Seco_22, Chuvoso 22_23 e Seco_23).

Figura 91: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de ferro (Fe) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

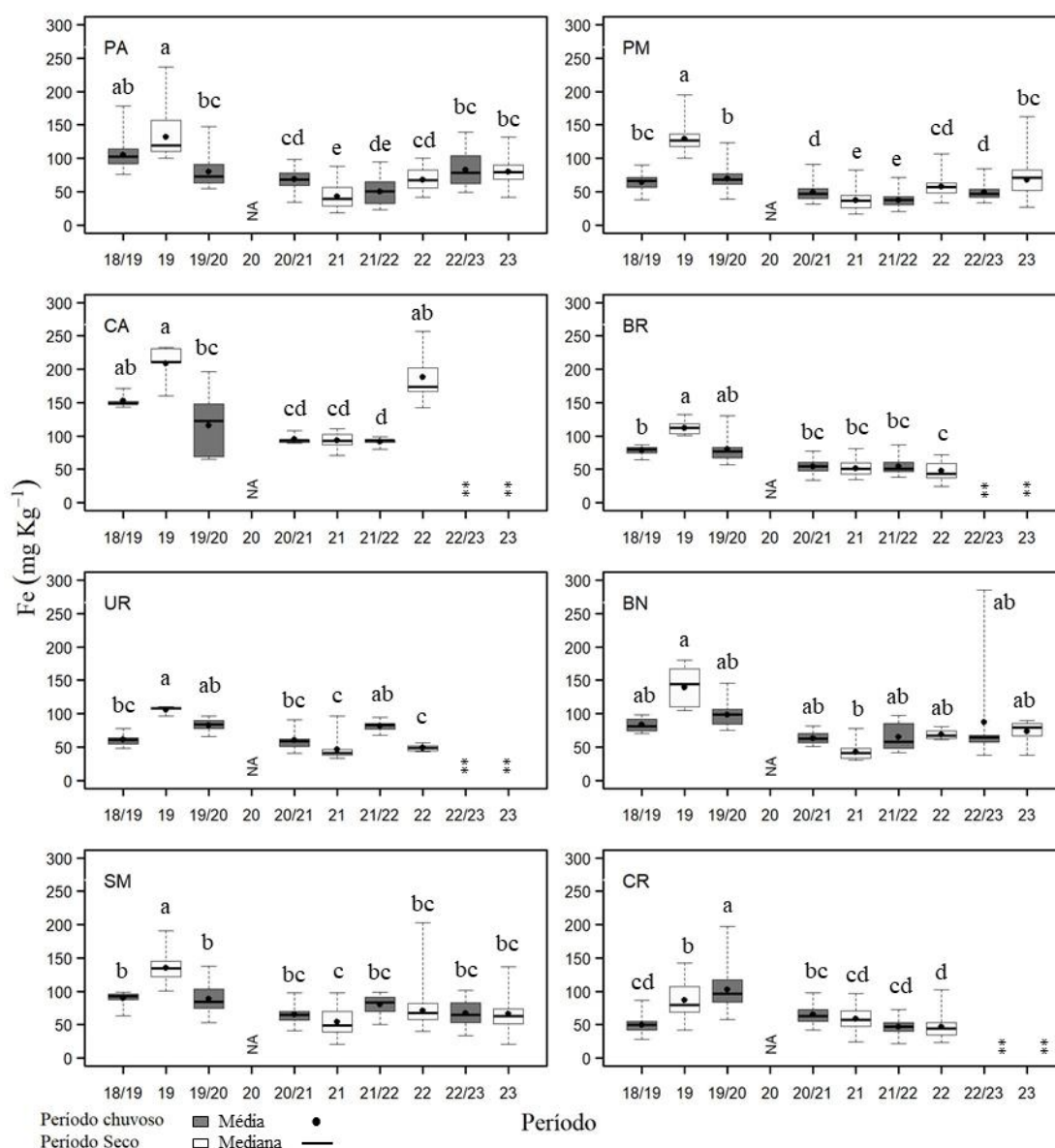


Figura 92: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de manganês (Mn) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

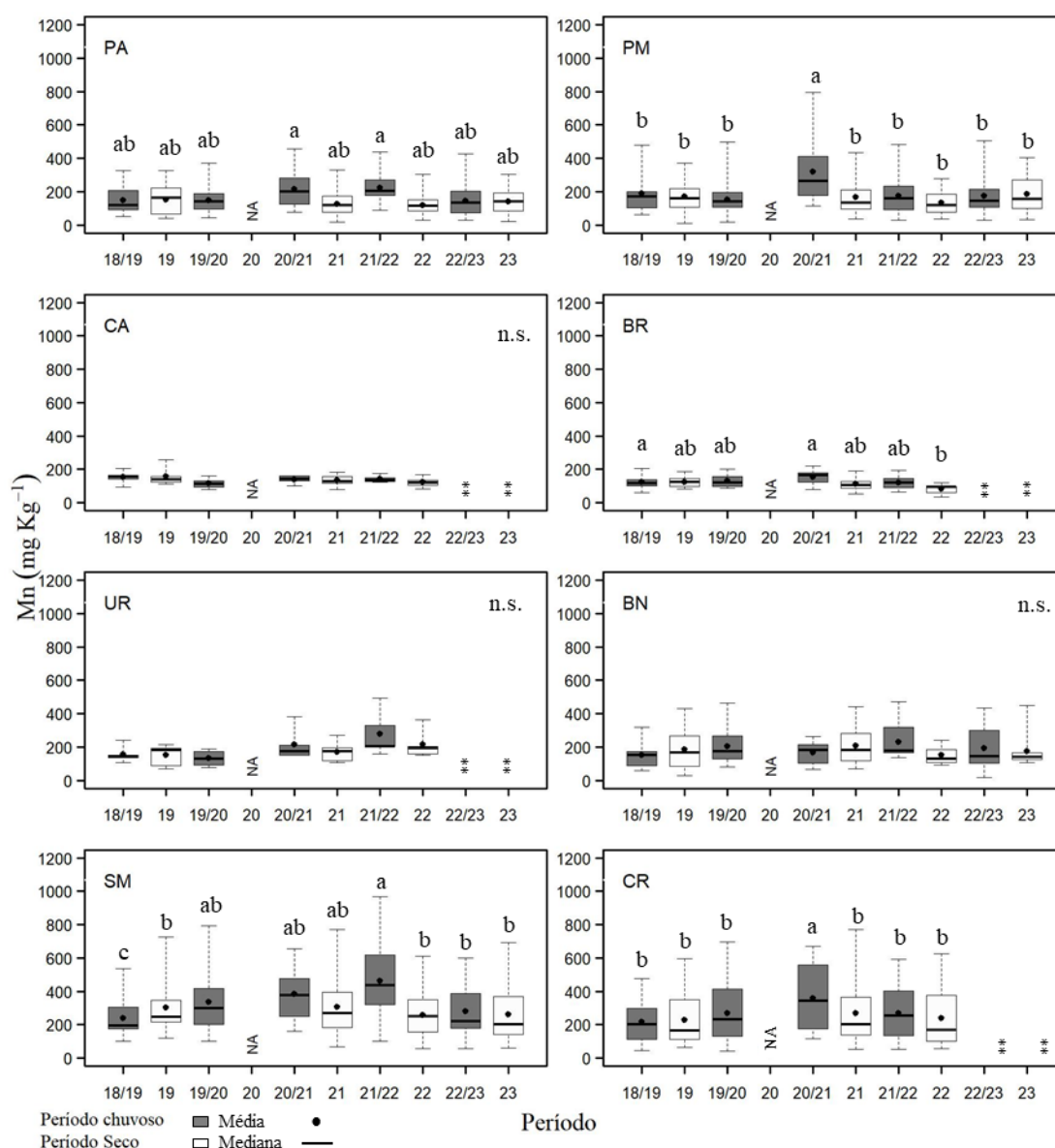


Figura 93: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de zinco (Zn) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

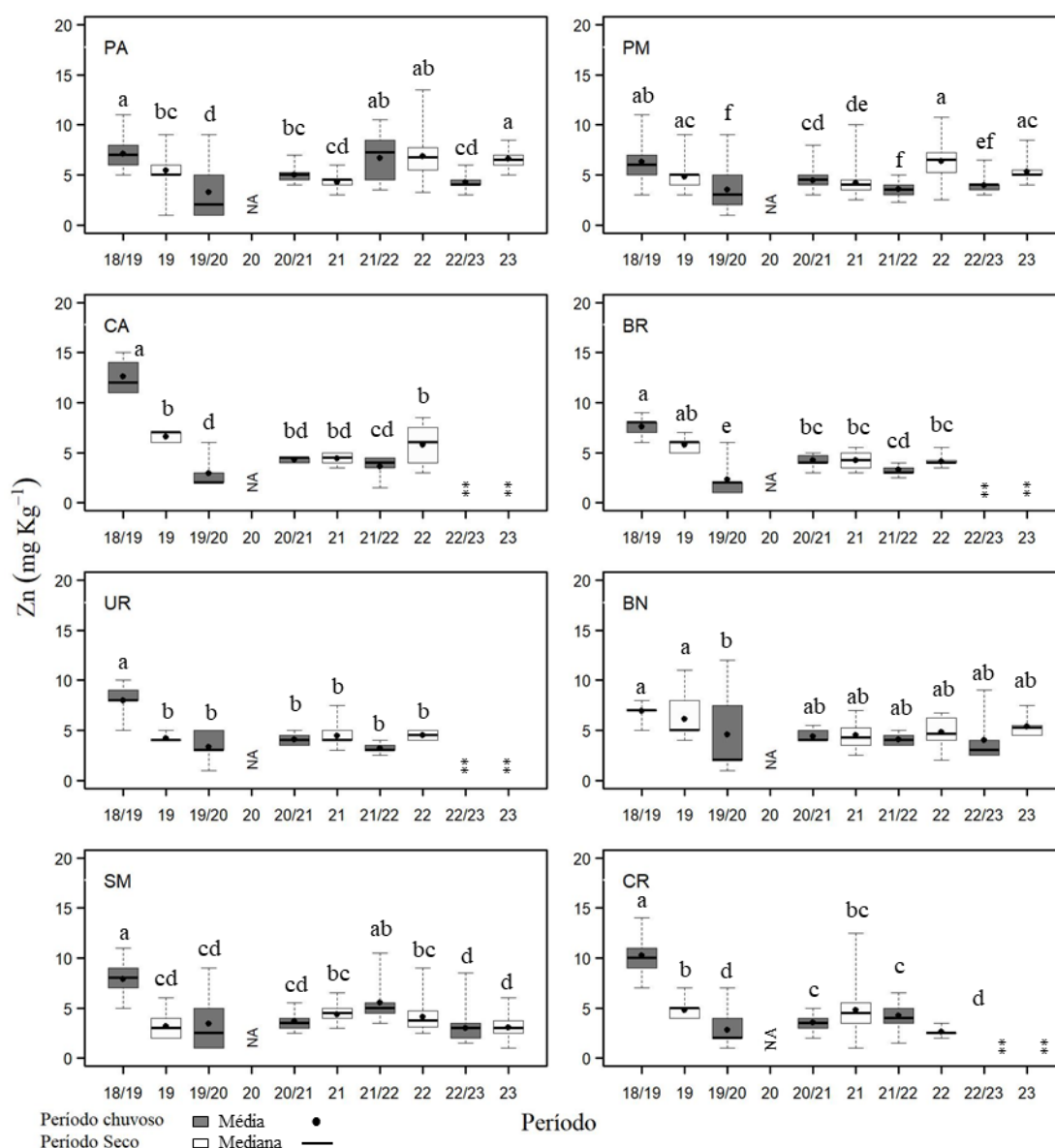


Figura 94: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de cobre (Cu) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

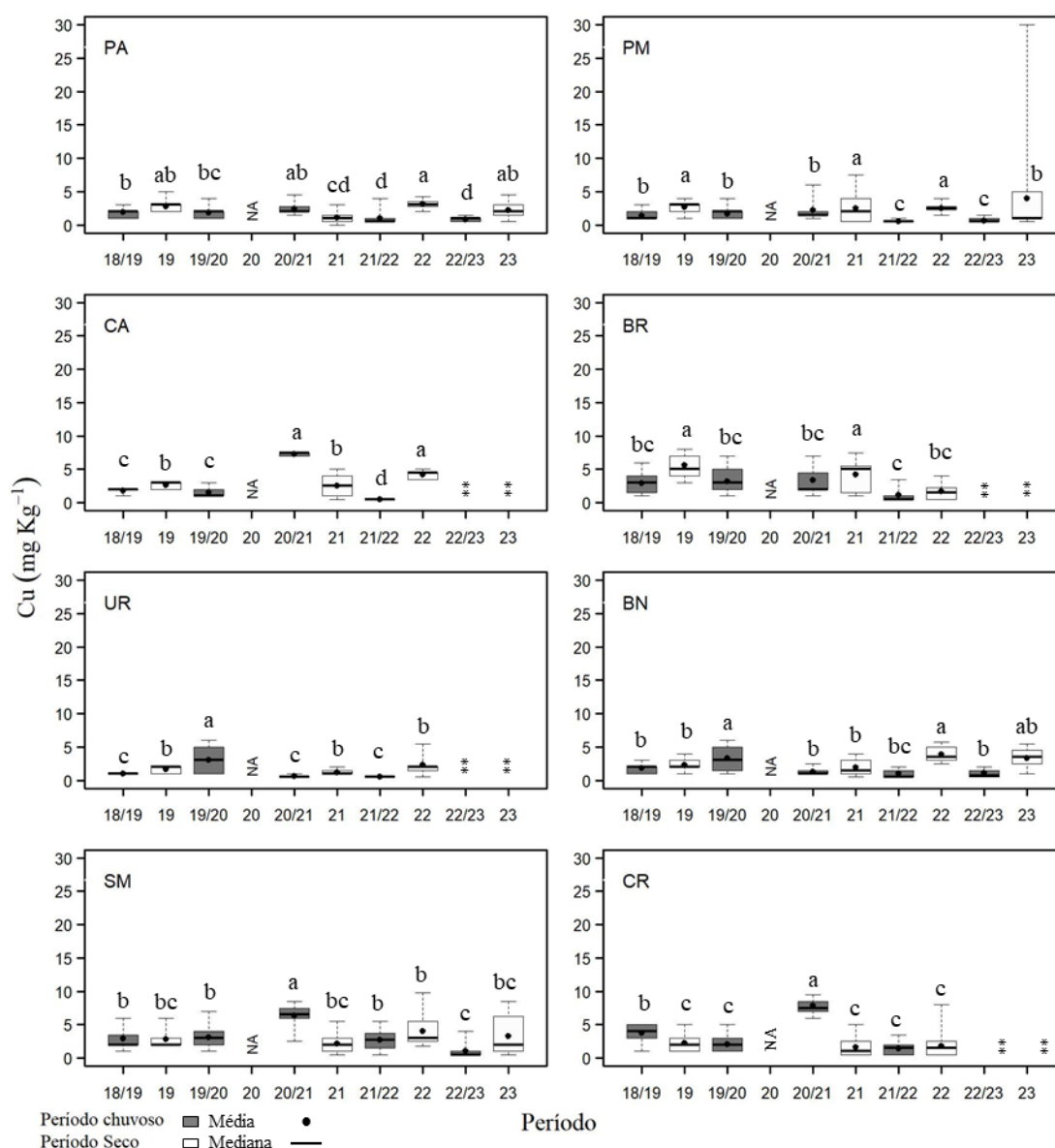
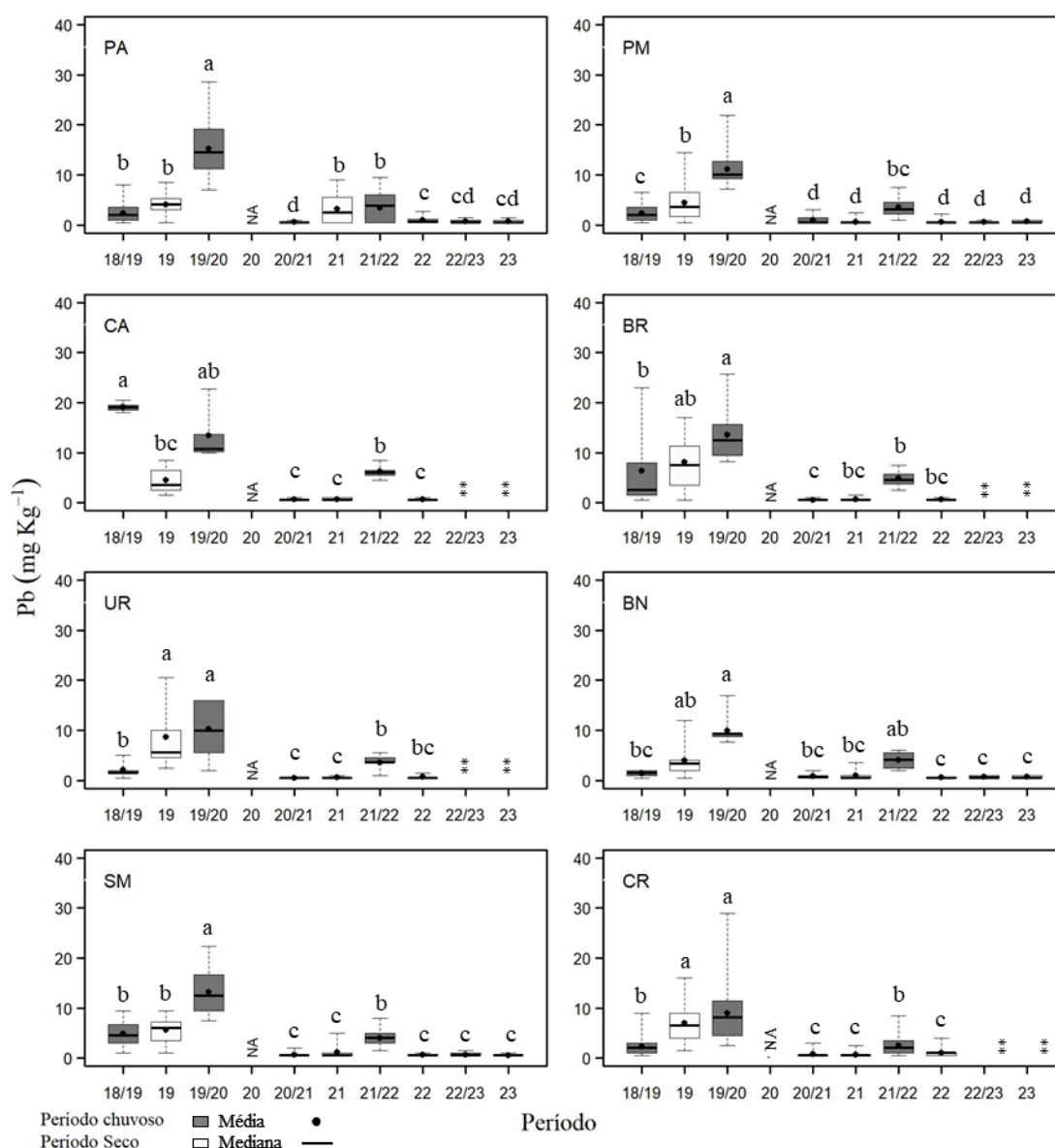


Figura 95: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de chumbo (Pb) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (PM) Piraquê-Mirim; (CA) Costa das Algas; (BR) Barra do Riacho; (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco 2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Observou-se manutenção na concentração de Fe foliar de *R. mangle* no estuário do Piraquê-Açu no período Seco_23, com valores semelhantes aos registrados nos períodos Chuvoso 19_20 e Chuvoso 22_23. No Piraquê-Mirim, houve aumento nos valores de Fe no período Seco_23, comparativamente aos dois últimos períodos secos (Seco_21 e Seco_22). Entretanto, se comparado ao período Seco_19, a concentração do metal reduziu. Em Barra Nova e São Mateus, observa-se tendência de manutenção na concentração de Fe a partir do período Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21, respectivamente (Figura 91). No geral, houve tendência de padronização na concentração de Mn foliar nos estuários do Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim em todos os períodos, exceto para os períodos Chuvoso 20_21 e Chuvoso 21_22, caracterizados pelo maior acúmulo de Mn nos tecidos foliares. Não houve diferença estatística significativa na concentração de Mn para o estuário de Barra Nova. Em São Mateus, houve manutenção nos valores de Mn nos três últimos períodos analisados (Seco_22, Chuvoso 22_23 e Seco_23) (Figura 92). Observou-se aumento na concentração de Zn foliar no período Seco_23 no Piraquê-Açu e no Piraquê-Mirim, com valores comparados aos registrados no Ano 1 do monitoramento. Em Barra Nova, continua a tendência de manutenção nos valores de Zn a partir do Chuvoso 20_21. Em São Mateus, também houve manutenção de Zn foliar nos períodos Chuvoso 22_23 e Seco_23, sem diferença estatística significativa entre eles (Figura 93). Aumento na concentração de Cu ocorreu no estuário do Piraquê-Açu no período Seco_23, comparáveis aos registrados no período Seco_19 e Chuvoso 20_21. Também houve aumento de Cu foliar no Piraquê-Mirim em relação ao último período analisado (Chuvoso 22_23), mas, quando comparado aos períodos secos da série histórica, houve redução do metal no período Seco_23. Em Barra Nova, observa-se aumento na concentração de Cu no período Seco_23, mas ainda abaixo do apresentado no período Seco_22. Em São Mateus, o período Seco_23 foi caracterizado por uma maior concentração de Cu foliar (Figura 94), significativamente igual às encontradas nos períodos Seco_19 e Seco_21. Em relação ao Pb foliar do Piraquê-Açu, houve manutenção na concentração do metal nos períodos Chuvoso 22_23 e Seco_23. Já no Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus não houve diferença significativa de Pb analisado nos três últimos períodos (Seco_22, Chuvoso 22_23 e Seco_23) (Figura 95).

Figura 96: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de ferro (Fe) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor.

NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

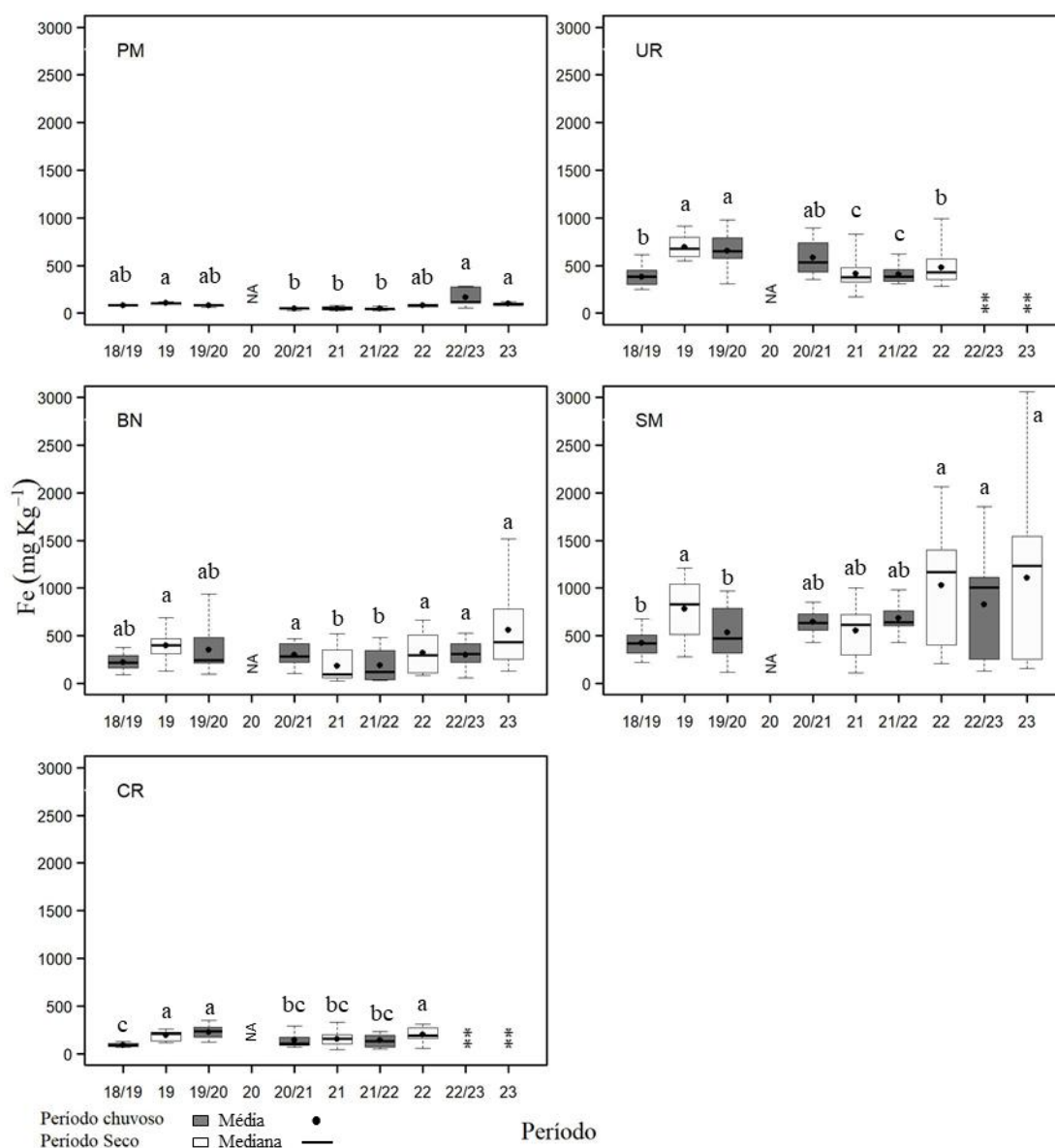


Figura 97: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de manganês (Mn) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

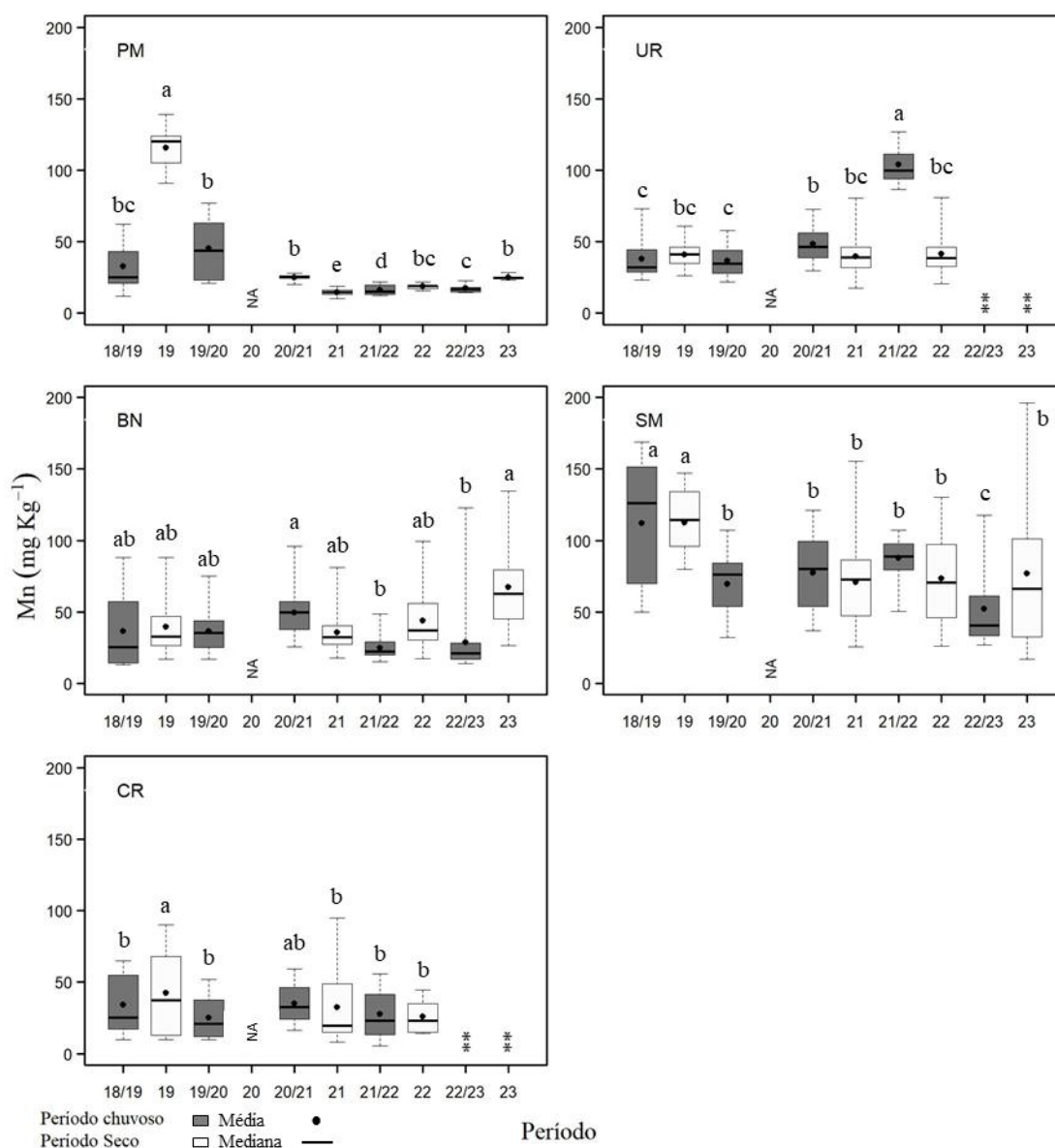


Figura 98: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de zinco (Zn) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

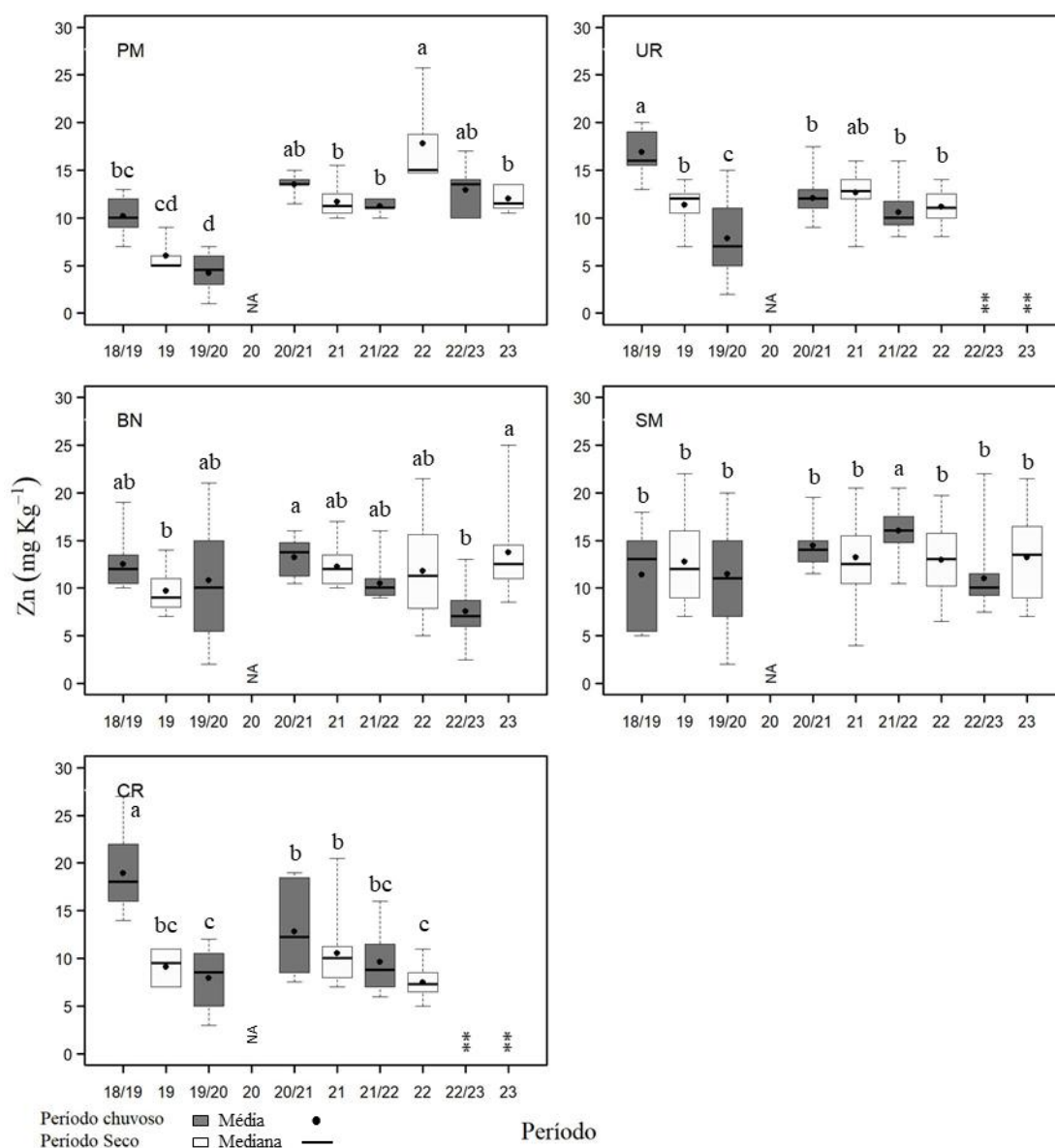


Figura 99: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de cobre (Cu) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

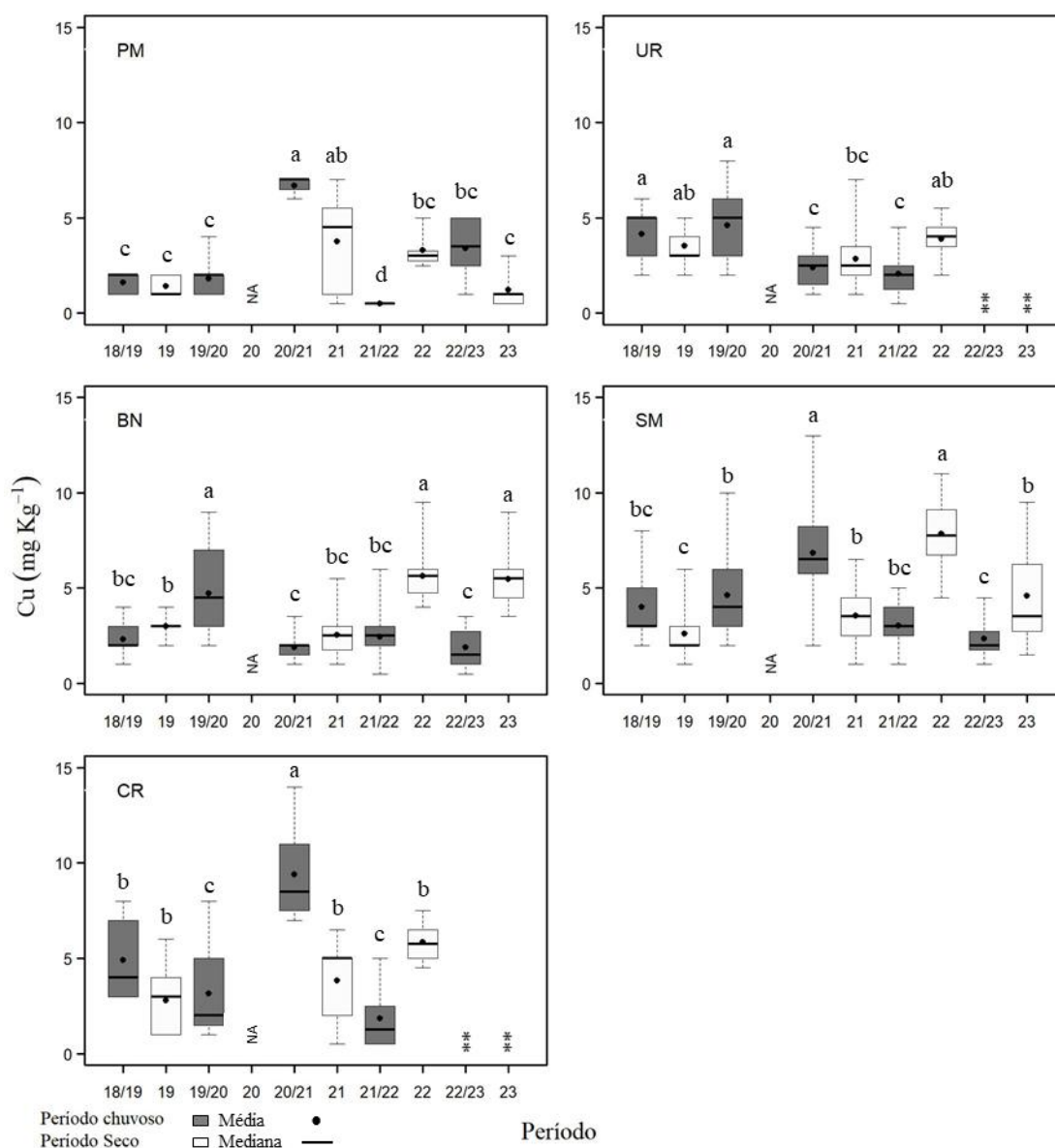
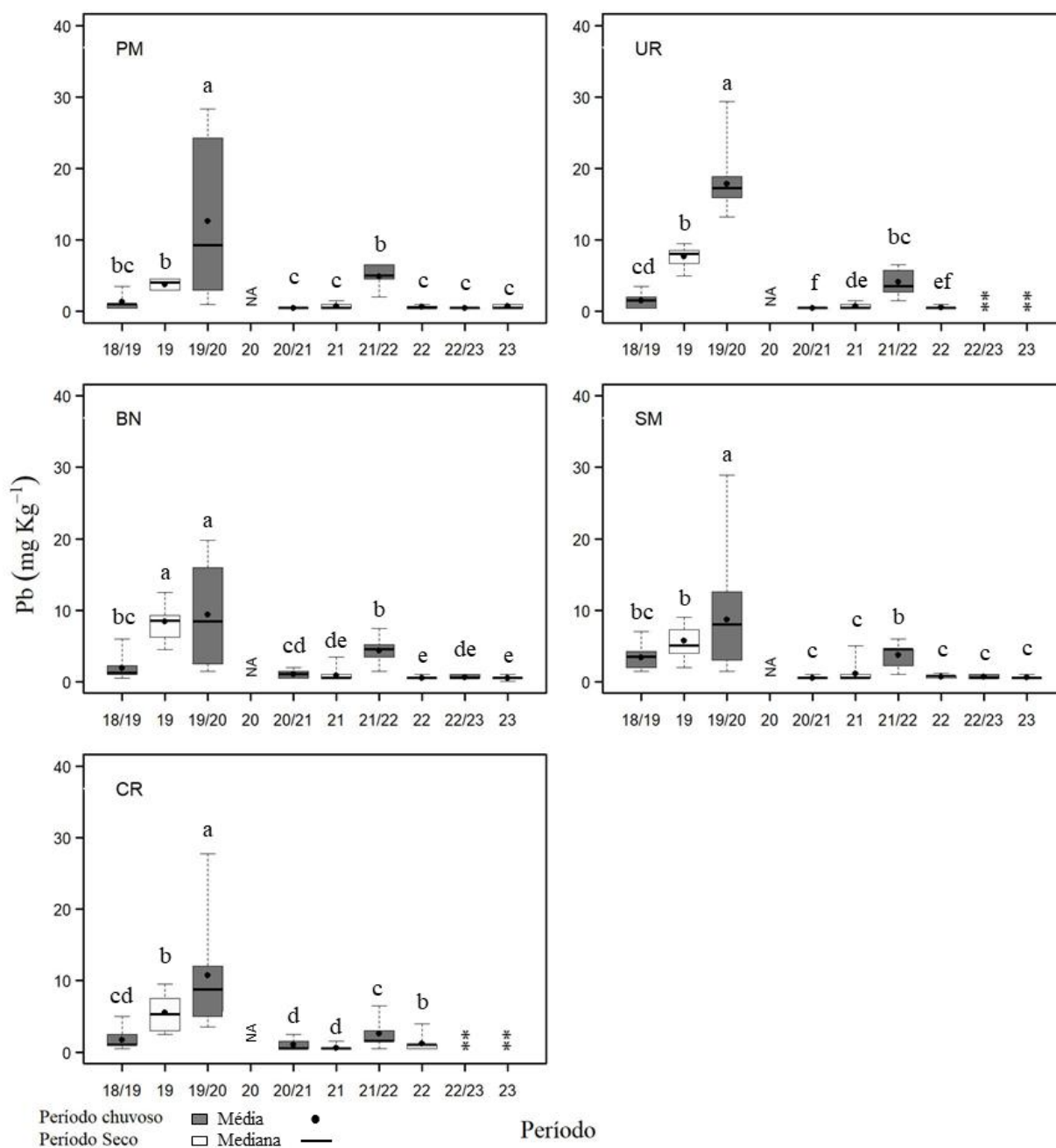


Figura 100: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de chumbo (Pb) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (UR) Urussuquara; (BN) Barra Nova; (SM) São Mateus; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Para *L. racemosa* localizada no Piraquê-Mirim, não houve diferença estatística significativa na concentração de Fe foliar entre os dois últimos períodos (Chuvoso 22_23 e Seco_23), sendo estes os maiores valores de Fe encontrados desde o período Seco_19 (Figura 96). Em Barra Nova e São Mateus, observou-se o mesmo comportamento em relação à concentração de Fe nos três últimos períodos analisados (Seco_22, Chuvoso 22_23 e Seco_23). Em Barra Nova, os últimos valores encontrados para Fe são iguais estatisticamente aos valores obtidos nos períodos Seco_19 e Chuvoso 20_21. Em São Mateus, a semelhança dos atuais registros é observada com aqueles do período Seco_19. Aumento na concentração de Mn foliar foi observado nos estuários de Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus no período Seco_23. Ressalta-se o estuário de Barra Nova, com a maior concentração de Mn (Seco_23) encontrada em toda a série histórica (Figura 97). No Piraquê-Mirim, a concentração de Zn diminuiu no último período analisado (Seco_23) e se assemelha à encontrada nos períodos Seco_21 e Chuvoso 21_22. Durante todo o monitoramento, período Seco_22 destaca-se pelos altos valores do metal. No geral, em Barra Nova e São Mateus, observa-se uma tendência de manutenção da concentração de Zn ao longo do monitoramento. Em Barra Nova observa-se aumento de Zn no período Seco_23, com valores comparáveis aos do Chuvoso 20_21. Em São Mateus, no período Chuvoso 21_22, foram registrados os maiores valores do metal (Figura 98). Os valores de Cu registrados no período Seco_23 para o estuário do Piraquê-Mirim diminuíram em relação ao Chuvoso 22_23, mas foram semelhantes aos encontrados no início do monitoramento (Chuvoso 18_19, Seco_19 e Chuvoso 19_20). Em Barra Nova, houve aumento na concentração de Cu no período Seco_23, sendo um dos períodos com maior valor registrado, juntamente com o Seco_19 e o Seco_22. Em São Mateus, observa-se semelhança na concentração de Zn nos períodos Chuvoso 19_20, Seco_21 e Seco_23. Apesar do aumento nos valores do metal no período Seco_23, comparativamente ao último período analisado (chuvoso 22_23), não ultrapassou aos observados no Chuvoso 20_21 e Seco_22 (Figura 99). Não há grandes variações no acúmulo de Pb foliar nos períodos analisados no Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus, com exceção do período Chuvoso 19_20, que apresentou elevada concentração do metal nos tecidos foliares (Figura 100). Os três últimos períodos analisados (Seco_22, Chuvoso 22_23 e Seco_23) foram os de menor concentração do metal nos estuários monitorados.

Figura 101: Indicador Ecológico Biorremediação – Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (CA) Costa das Algas; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 (Seco_2022) – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

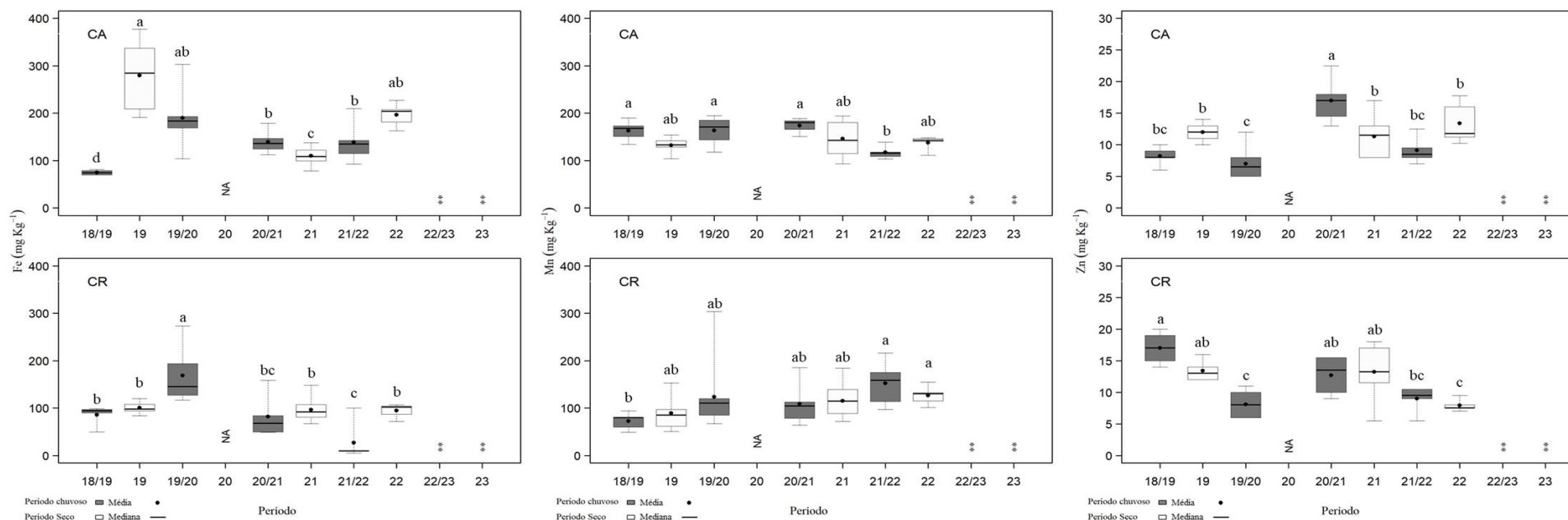
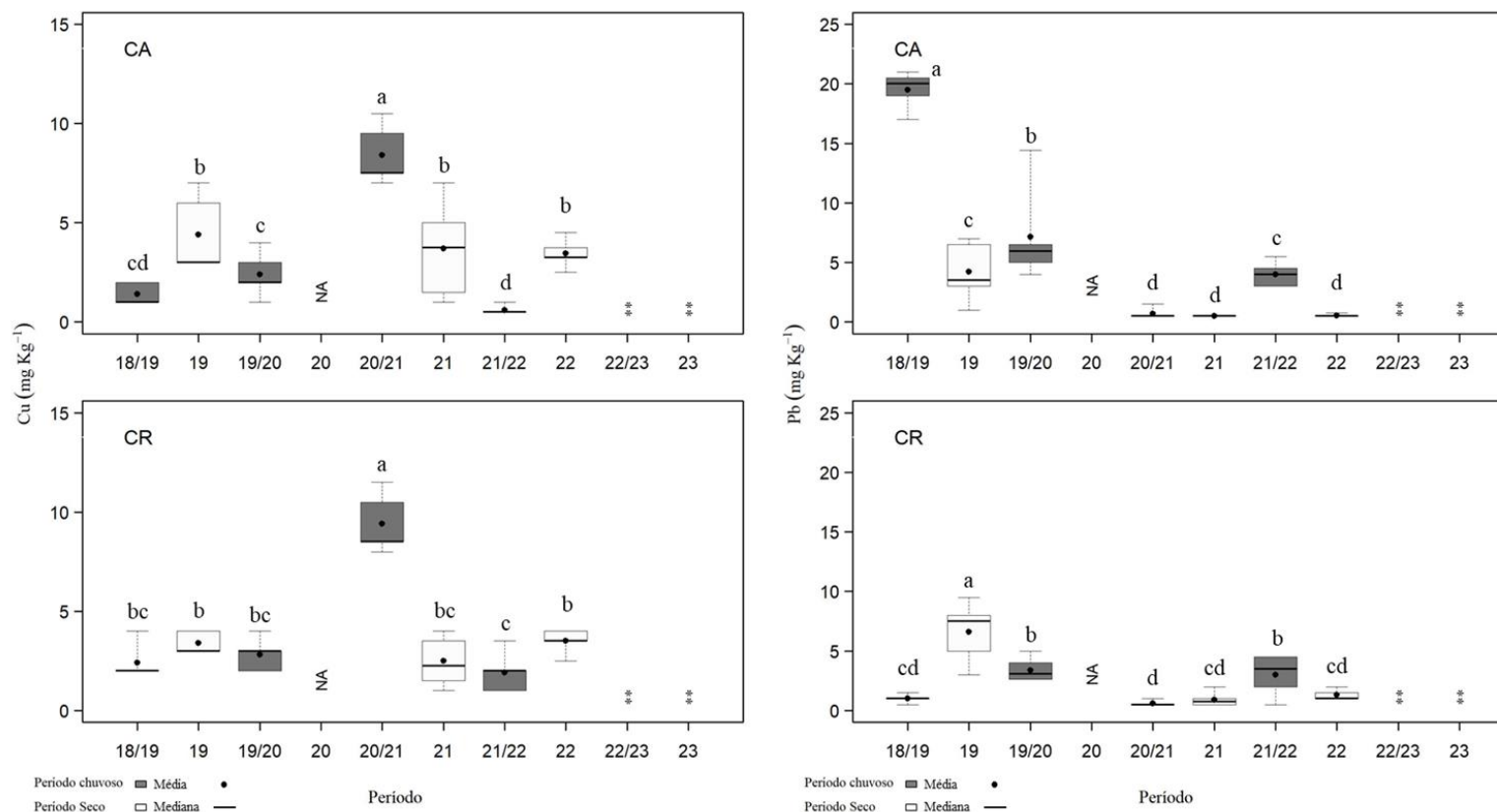


Figura 102: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de cobre (Cu) e chumbo (Pb) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (CA) Costa das Algas; (CR) Caravelas. Áreas de coletas abrangem manguezais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 (Seco_2022) – Ano 4. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Nas plantas de *A. schaueriana*, houve aumento de Fe foliar no período Seco_22 em Costa das Algas com valores comparáveis aos do período Chuvoso 19_20, mas sem atingir a maior concentração encontrada no período Seco_19. Em Caravelas, o período Seco_22 pode ser comparado aos demais períodos secos do monitoramento. Em relação ao último período analisado (Chuvoso 21_22) houve aumento na concentração de Fe (Figura 101 e Figura 102). Para Mn, Zn e Cu foliar analisados em Costa das Algas, houve similaridade entre os períodos Seco_19, Seco_21 e Seco_22. Em relação ao último período analisado (Chuvoso 21_22) houve aumento nos valores dos três metais (Figura 95 e Figura 96). Em Caravelas, houve manutenção de Mn nos períodos Chuvoso 21_22 e Seco_22, com os maiores valores do metal encontrado durante todo o monitoramento. Houve redução nos valores de Zn e Pb no período Seco_22 comparados ao último período analisado e aumento nos valores de Cu em Seco_22 (Figura 101 e Figura 102).

Figura 103: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de ferro (Fe) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). O monitoramento nos estuários do PA e SM foi iniciado no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.

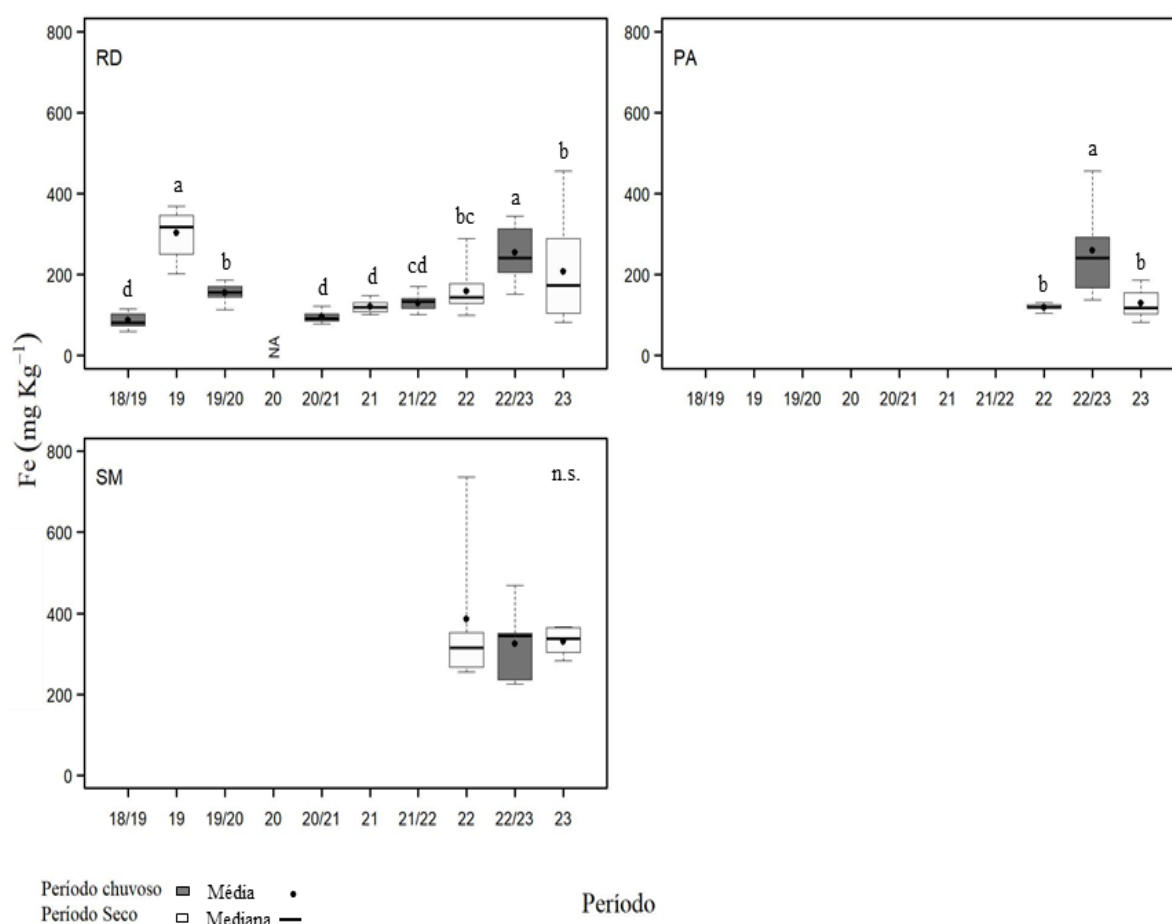


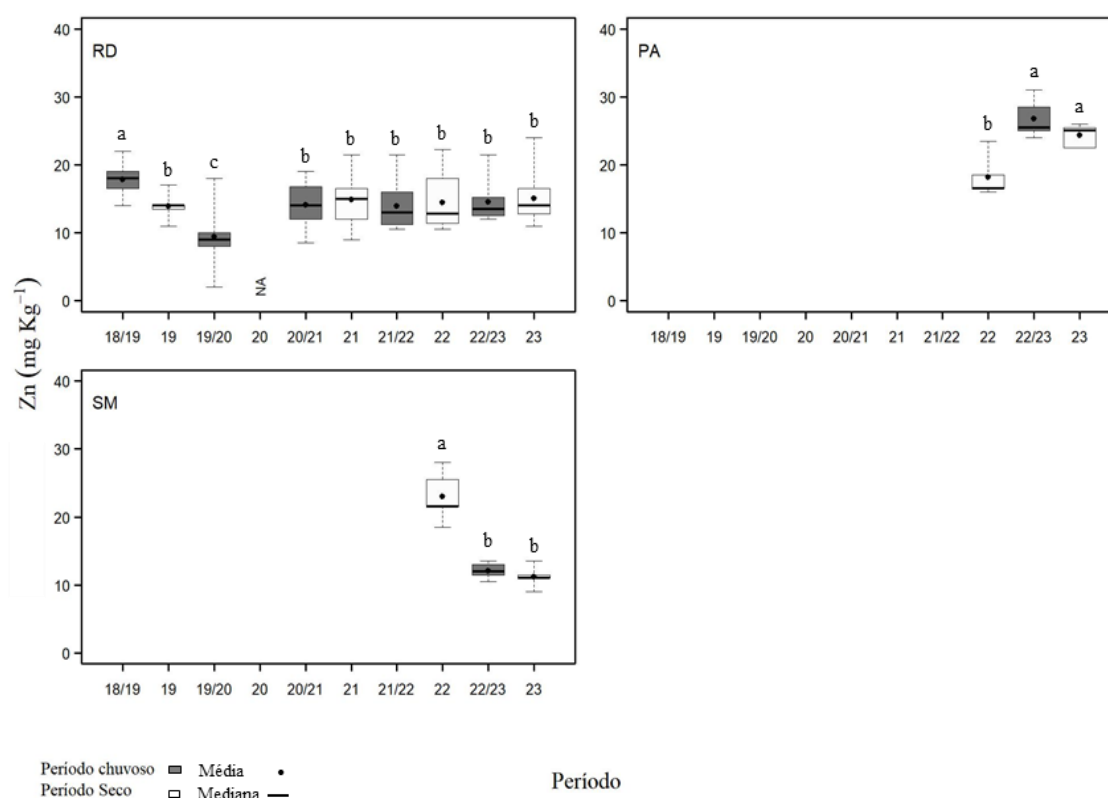
Figure 1 displays three box plots showing the concentration of Manganese (Mn) in soil (mg Kg⁻¹) across different periods (18/19 to 23) for three treatments: RD (Rainfed), PA (Partial Irrigation), and SM (Subsoiling). The y-axis represents Mn concentration (mg Kg⁻¹), ranging from 0 to 800. The x-axis represents the Periodo (18/19, 19, 19/20, 20, 20/21, 21, 21/22, 22, 22/23, 23). The legend indicates that solid boxes represent the rainy period (Período chuvoso) and open boxes represent the dry period (Período seco). Black dots represent the mean (Média) and horizontal lines represent the median (Mediana). Letters above the boxes indicate statistical significance groups.

RD (Rainfed): Shows Mn concentration across periods 18/19 to 23. The concentration generally increases over time, with the highest values observed in period 23 (dry period, group 'a').

PA (Partial Irrigation): Shows Mn concentration across periods 18/19 to 23. The concentration generally increases over time, with the highest values observed in period 23 (dry period, group 'a').

SM (Subsoiling): Shows Mn concentration across periods 18/19 to 23. The concentration generally increases over time, with the highest values observed in period 23 (dry period, group 'a').

Figura 105: Indicador Ecológico Biorremediação – Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de zinco (Zn) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). O monitoramento nos estuários do PA e SM foi iniciado no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



19.

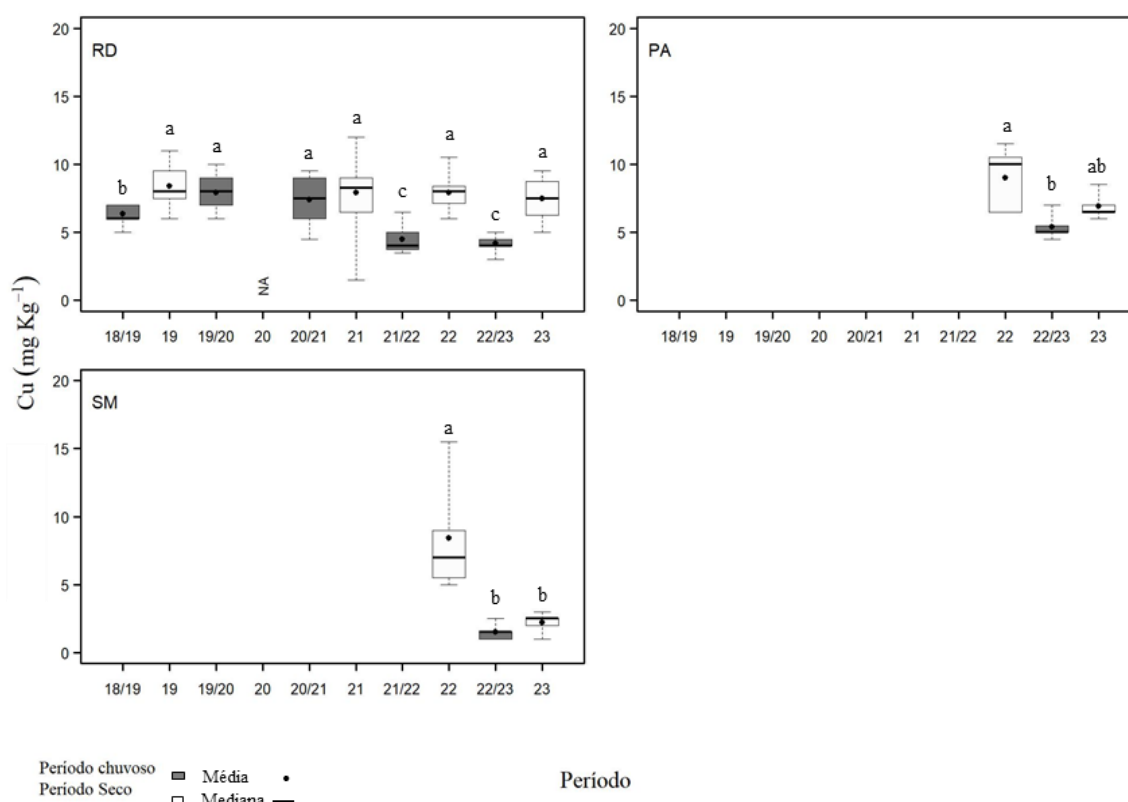
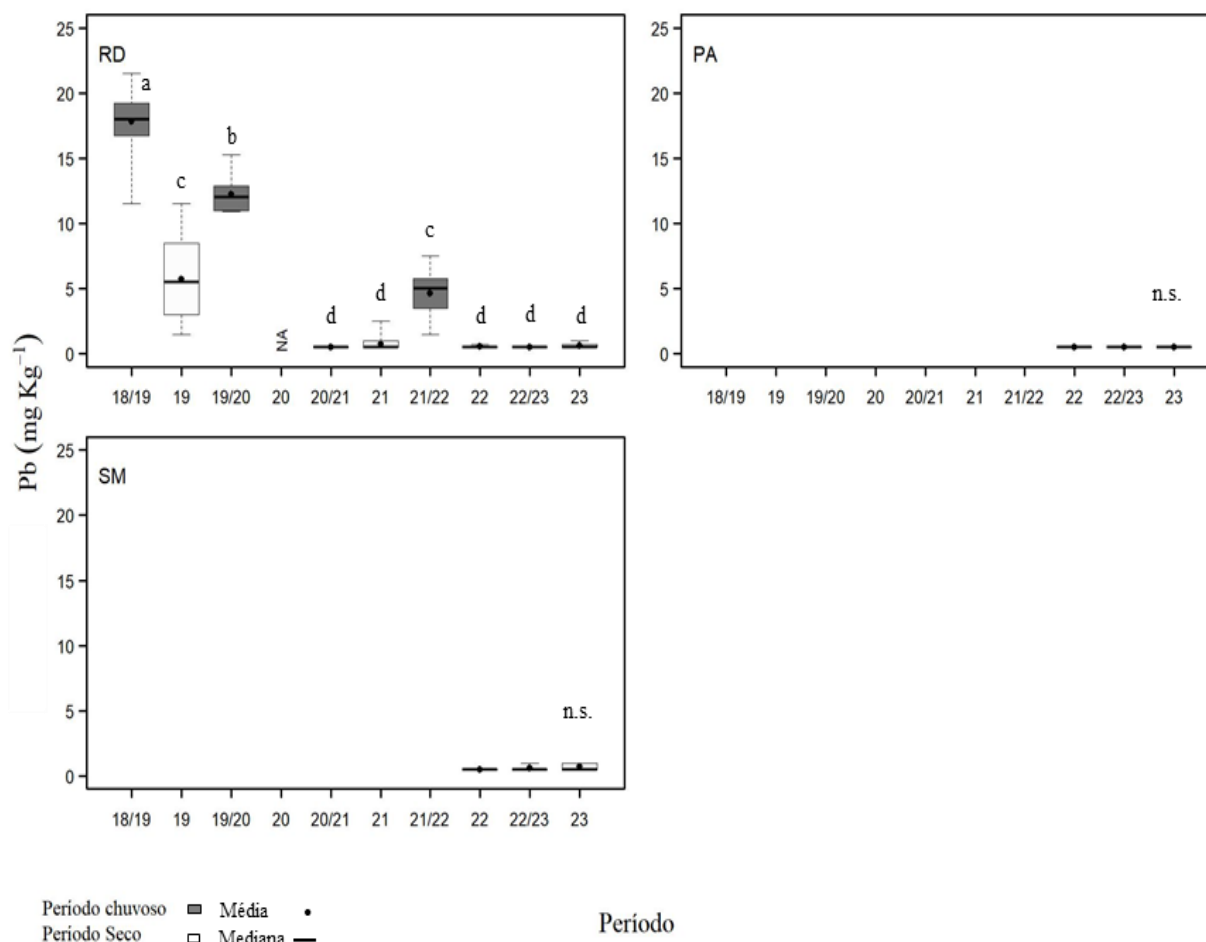


Figura 107: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de metais foliares. Análise temporal da concentração de chumbo (Pb) para a espécie *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de dezembro de 2018 a setembro de 2023. Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018_2019), abril a setembro de 2019 (Seco_2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019_2020) – Ano 2; janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020_2021), abril a setembro 2021 (Seco 2021) – Ano 3; outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril a setembro de 2022 (Seco_2022) – Ano 4; janeiro de 2023 a março de 2023 (Chuvoso 2022_2023), abril a agosto de 2023 (Seco 2023) – Ano 5 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). O monitoramento nos estuários do PA e SM foi iniciado no período Seco/2022. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



No Rio Doce, houve diminuição na concentração de Fe em *T. pernambucense* no período Seco_23. Os maiores valores encontrados na série histórica ocorreram nos períodos Seco_19 e Chuvoso 22_23. Para a respectiva espécie analisada no estuário do Piraquê-Açu, observou-se redução na concentração de Fe (Seco_23), sendo significativamente igual à encontrada no período Seco_22. No estuário de São Mateus, porém, não houve diferença significativa entre os períodos analisados (Figura 103). Em relação ao Mn foliar, observa-se aumento na concentração do metal em todos os estuários analisados no período Seco_23. No Rio Doce, neste mesmo período observou-se maiores valores do metal comparados com aqueles observados em todo o monitoramento. No Piraquê-Açu, também se destaca o período Seco_23 e em São Mateus, os períodos secos, dentre os já analisados, apresentaram as maiores concentrações de Mn (Figura 104). Para o Zn foliar, houve tendência de estabilidade nos valores do metal a partir do período Chuvoso 20_21 no Rio Doce (Figura 105). Observa-se que a maior concentração de Zn neste estuário ocorreu no início da série histórica (Chuvoso 18_19). Não houve diferença estatística significativa entre os períodos Chuvoso 22_23 e Seco_23 no que diz respeito à concentração de Zn nos estuários do Piraquê-Açu e São Mateus. Aumento e redução dos valores podem ser observados comparativamente ao período Seco_22, no Piraquê-Açu e em São Mateus, respectivamente (Figura 105). Para Cu foliar, observa-se que, na maioria dos períodos amostrados no Rio Doce, houve elevada concentração do metal, com destaque para os Anos 4 (Chuvoso 21_22 e Seco_22) e 5 (Chuvoso 22_23 e Seco_23) com comportamento semelhante entre os períodos secos e chuvosos. Para *T. pernambucense* analisada no estuário do Piraquê-Açu houve aumento de Cu em relação ao Chuvoso 22_23 e redução quando comparado ao período Seco_22. Em São Mateus, menores valores de Cu foram observados nos períodos Chuvoso 22_23 e Seco_23, comparativamente ao Seco_22 (Figura 106). Para Pb foliar no Rio Doce, há tendência de redução e manutenção na concentração do metal a partir do período Chuvoso 20_21. Não houve diferença estatística significativa nos valores de Pb para *T. pernambucense* analisada nos estuários do Piraquê-Açu e São Mateus (Figura 107).

Figura 108: Indicador Ecológico Biorremediação- Taxa de crescimento (TC) (mm ao dia⁻¹) e taxa de crescimento relativo (TCR) das plântulas de *Rhizophora mangle* cultivadas *ex situ* em diferentes concentrações de ferro e manganês. Dados coletados de março a dezembro 2023 (Ano 5). A)- taxa de crescimento plântulas cultivadas em diferentes concentrações de ferro; B)- taxa de crescimento relativo plântulas cultivadas em diferentes concentrações de ferro; C)- taxa de crescimento das plântulas cultivadas em diferentes concentrações de manganês; D)- taxa de crescimento relativo plântulas cultivadas em diferentes concentrações de manganês. Letras indicam diferenças entre os tratamentos (p < 0,05).

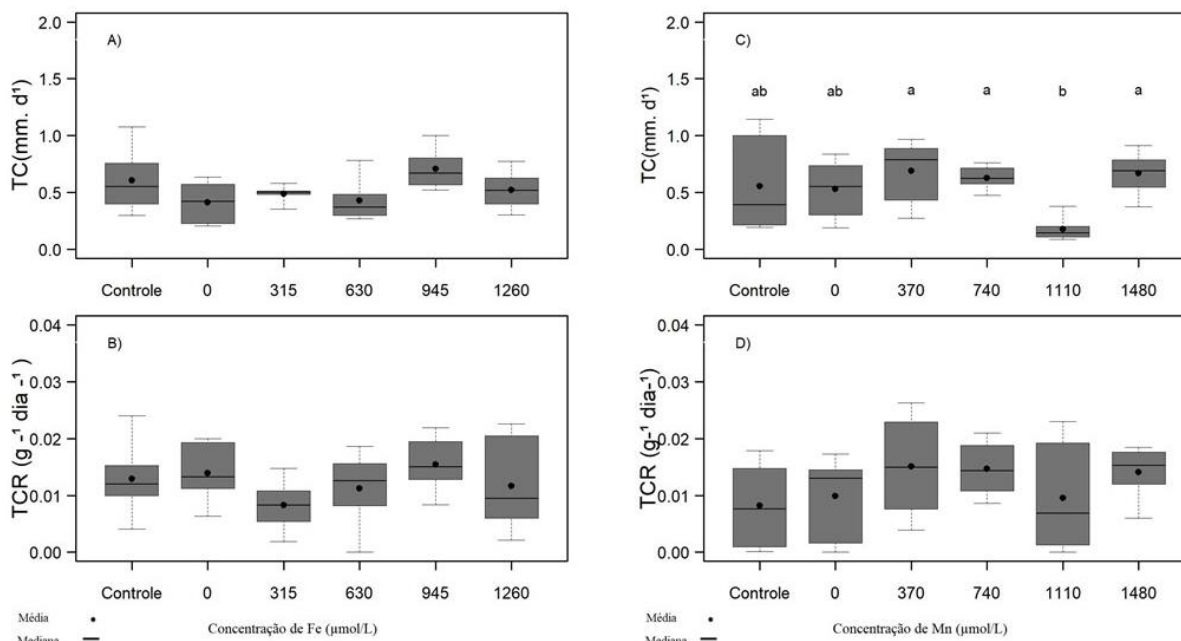


Tabela 2: Número médio de folhas das plântulas de *Rhizophora mangle* cultivadas *ex situ* em diferentes concentrações de ferro e manganês. Número de folhas obtido março a dezembro 2023 ano 5. Letras indicam diferenças entre os tratamentos (p < 0,05).

Número médio de folhas						
Ferro µmol L	0	controle	315	630	945	1260
	7.5±2.8	16.79 ± 7,1	9.65 ±1,7	9.36 ± 4,5	13.05 ± 3.63	10.45 ± 5.2
Manganês µmol L	0	controle	370	740	1110	1480
	10.51±4,4 a	14,65 ± 3.1 a	14,62 ±8.2 a	11,81± 5.3a	3 ± 1.79 c	11 ± 4.08 a

Figura 109: Indicador Ecológico Biorremediação- Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Análise da assimilação de carbono das plântulas de *Rhizophora mangle* cultivadas *ex situ* em diferentes concentrações de ferro e manganês. Dados coletados dezembro 2023- Ano 5. Legenda: A- assimilação de carbono plântulas cultivadas em diferentes concentrações de ferro; B- assimilação de carbono plântulas cultivadas em diferentes concentrações de manganês. Letras indicam diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$).

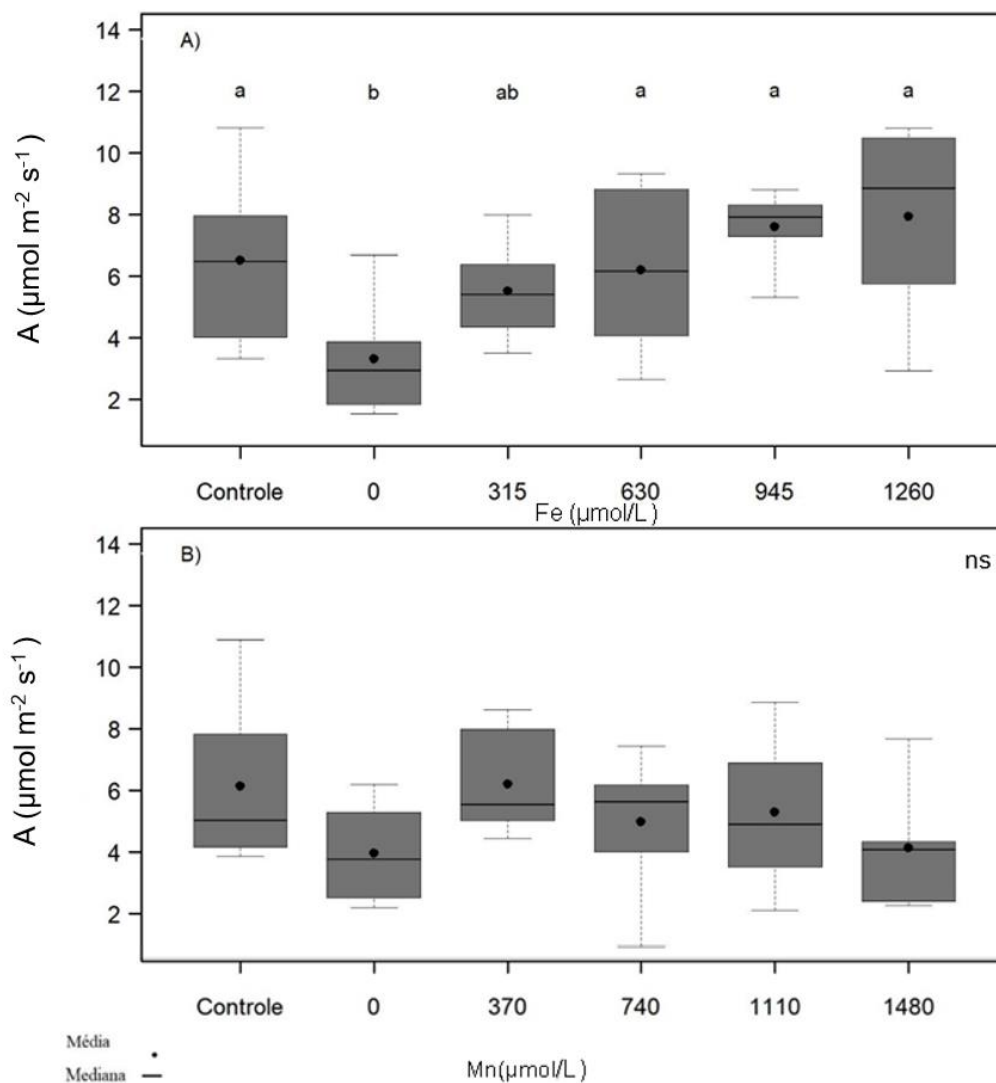


Figura 110: Indicador Ecológico Biorremediação- Análise dos parâmetros fluorescência modulada plântulas de *Rhizophora mangle* cultivadas *ex situ* diferentes concentrações de ferro e manganês. quenching não fotoquímico (qN- unidade relativa); quenching fotoquímico (qP- unidade relativa); transporte de elétrons (ETR-unidade relativa). Dados coletados em dezembro 2023 ano 5. A) quenching não fotoquímico plântulas cultivadas em diferentes concentrações de ferro; B)- quenching fotoquímico plântulas cultivadas em diferentes concentrações de ferro; C)- transporte de elétrons plântulas cultivadas em diferentes concentrações de ferro ;D)- quenching não fotoquímico plântulas cultivadas em diferentes concentrações de manganês ; E)- quenching fotoquímico plântulas cultivadas em diferentes concentrações de manganês; F)- transporte de elétrons plântulas cultivadas em diferentes concentrações de manganês. Letras indicam diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$).

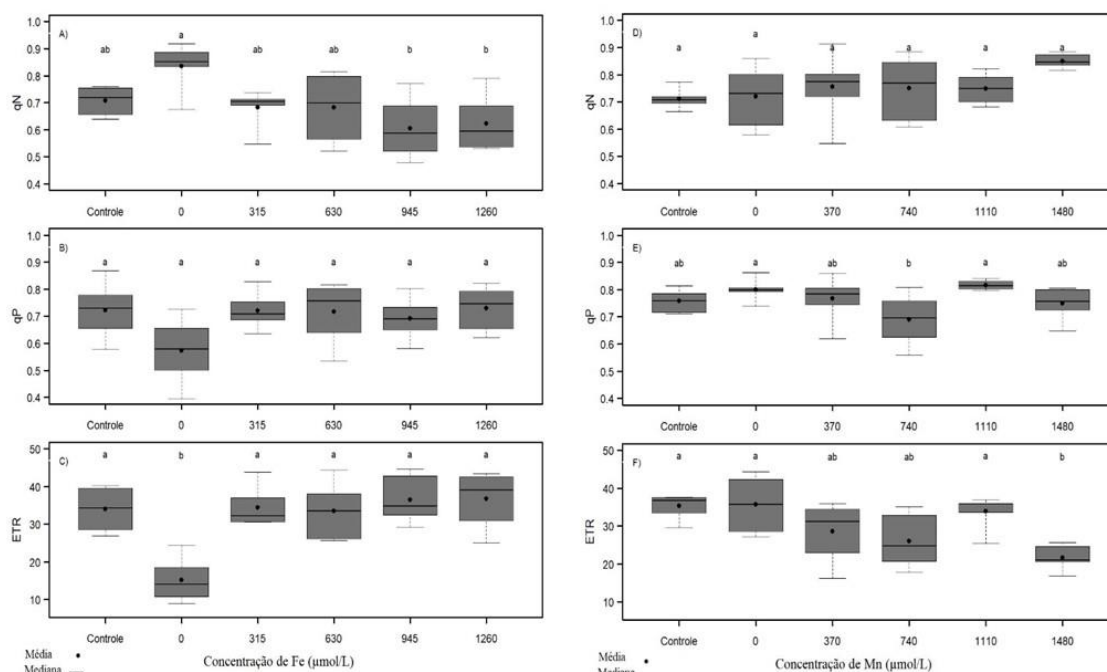


Figura 111: Indicador Ecológico Biorremediação- Análise dos parâmetros fluorescência transientes das plântulas de *Rhizophora mangle* cultivadas *ex situ* em diferentes concentrações de ferro e manganês. Eficiência quântica do fotossistema II (PSII) ($\Phi P0$ - unidade relativa); Índice de conservação de energia (PI_{Total} - unidade relativa); Índice de conservação de energia (PI_{ABS} – unidade relativa). Dados coletados dezembro 2023 ano 5. Legenda: A- $\Phi P0$ plântulas cultivadas diferentes concentrações de ferro; B- PI_{Total} plântulas cultivadas diferentes concentrações de ferro; C- PI_{ABS} plântulas cultivadas diferentes concentrações de ferro; D- $\Phi P0$ plântulas cultivadas diferentes concentrações de manganês; E- PI_{Total} plântulas cultivadas diferentes concentrações de ferro; F- PI_{ABS} plântulas cultivadas diferentes concentrações de manganês. Letras indicam diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$).

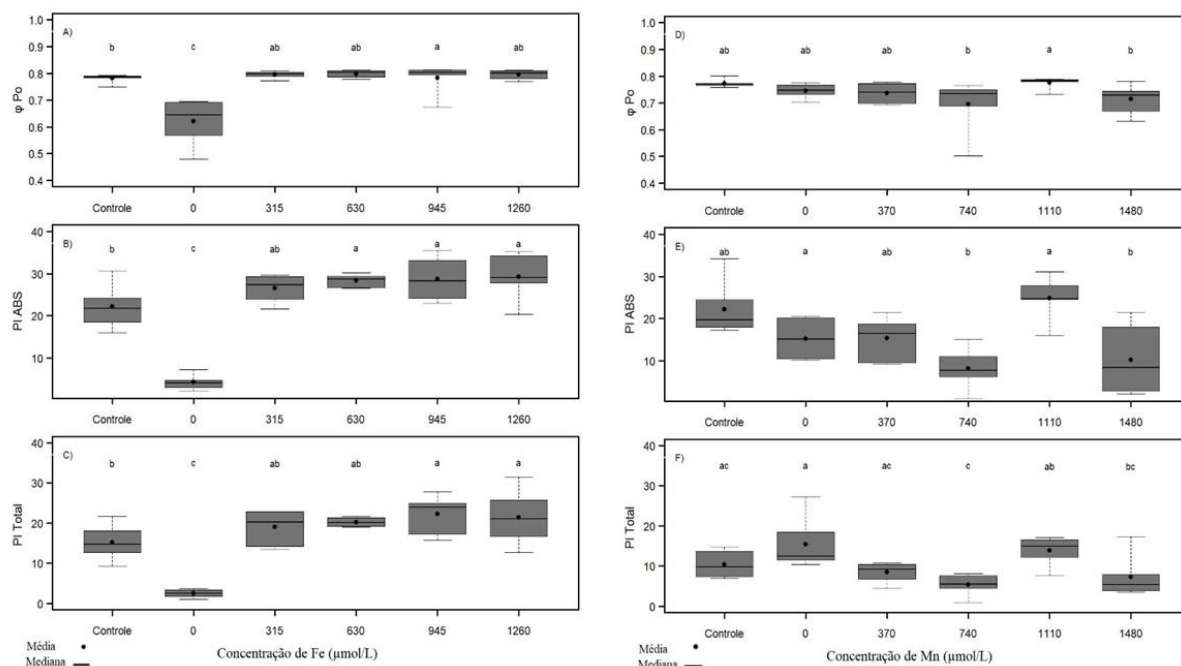
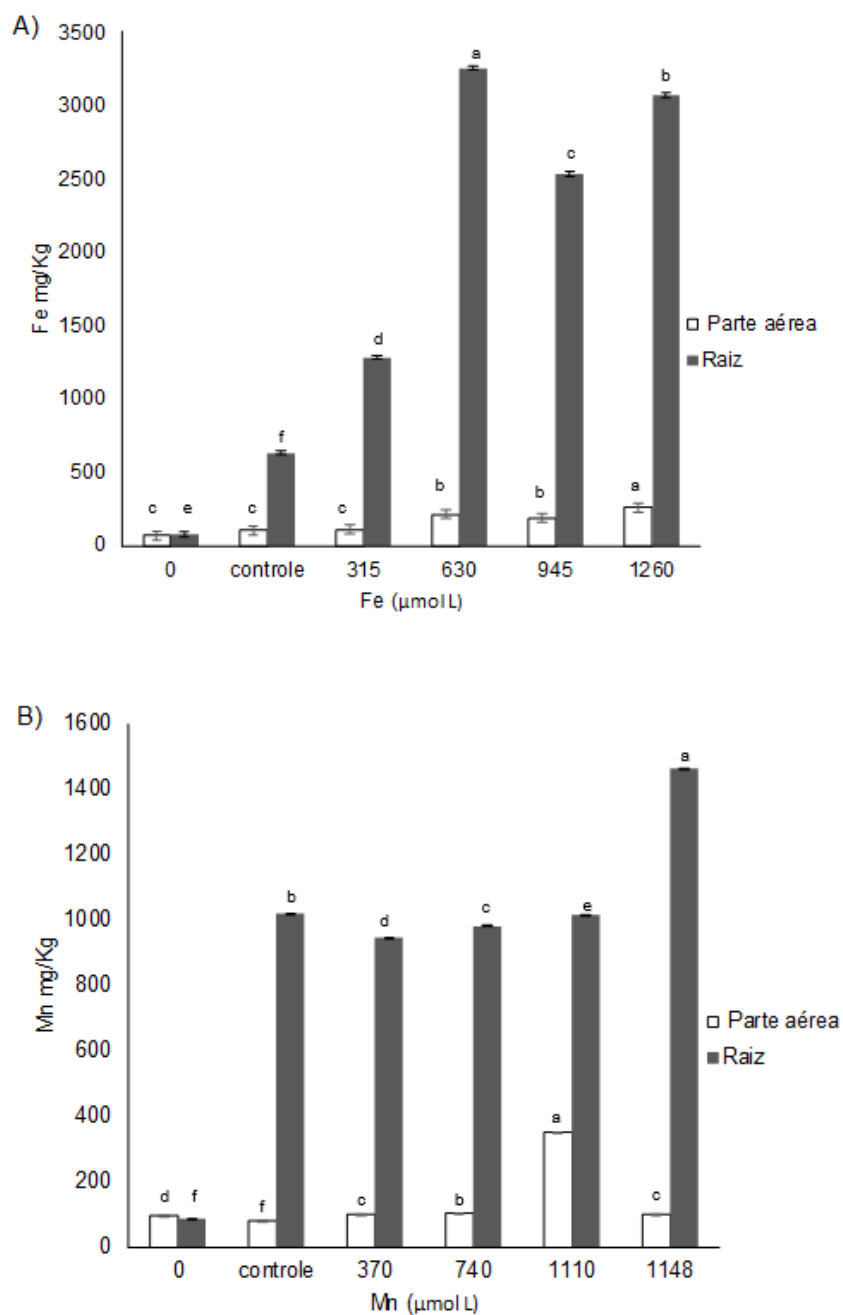


Figura 112: Indicador Ecológico Biorremediação- Concentração de metais (mg/Kg) parte aérea (folhas, epicótilo e hipocótilo) e raiz nas plântulas de *Rhizophora mangle* cultivadas *ex situ*. Análise da concentração de ferro (Fe) e manganês (Mn) coletadas em dezembro de 2023 ano 5. A)- Concentração de Fe nos diferentes tratamentos B)- concentração de Mn nos diferentes tratamentos. Letras indicam diferenças entre os tratamentos ($p < 0,05$).

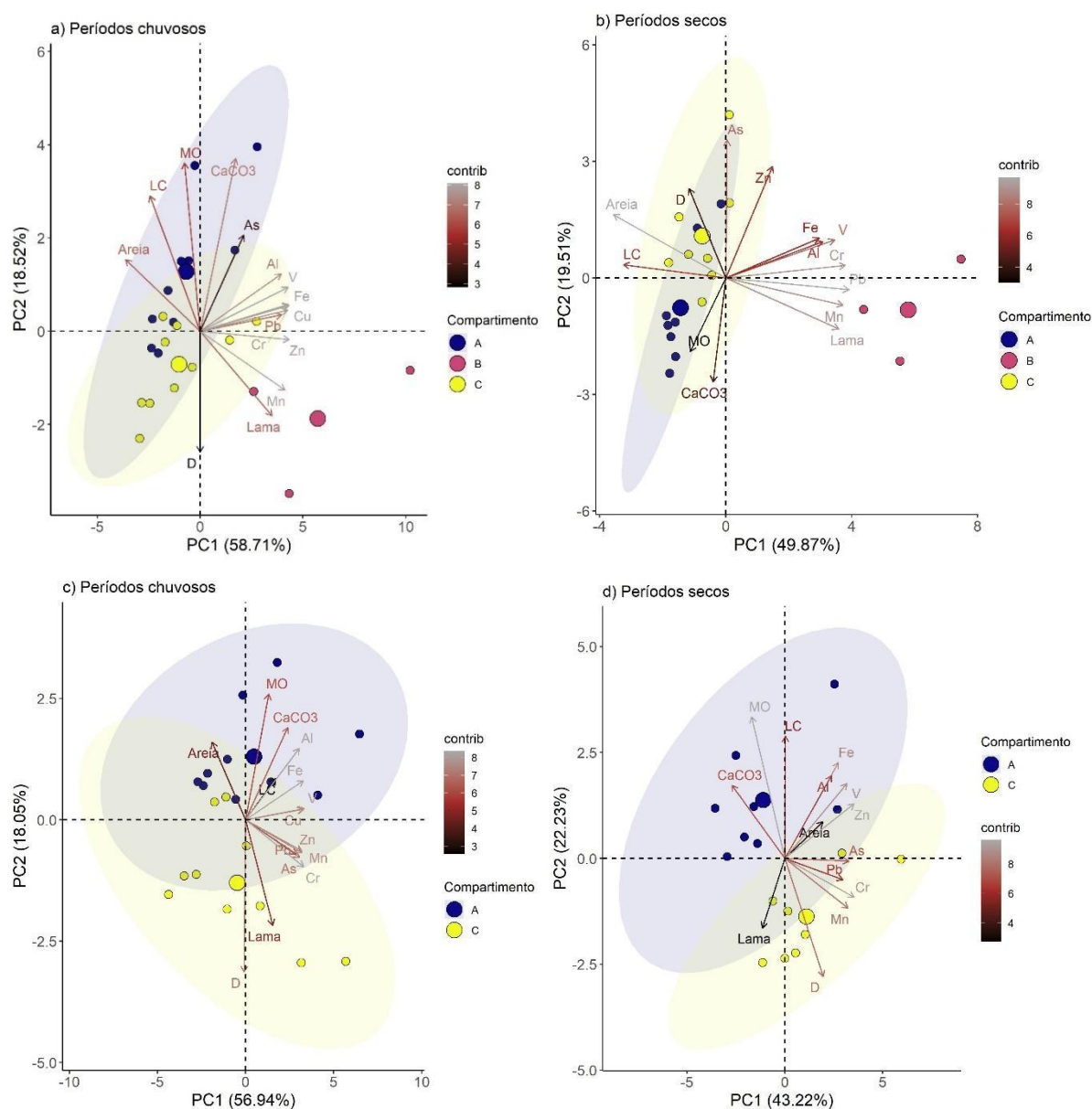


Plântulas de *R. mangle* foram expostas por 106 dias a diferentes concentrações de ferro e manganês. Para o Fe, as plântulas não apresentaram diferença significativa na taxa de crescimento (Figura 108a e Figura 108b). Entretanto, para o Mn, houve uma redução significativa na taxa de crescimento nas maiores concentrações do metal (Figura 108c). Apesar de não ser estatisticamente significativa, a ausência e o excesso de Fe na solução levaram a uma redução no número de folhas em comparação ao controle. Para o Mn, o aumento do metal na solução resultou em uma redução na produção foliar das plântulas cultivadas em 1110 $\mu\text{mol L}$ (Tabela 2).

Analisando os parâmetros fisiológicos, a ausência de Fe na solução levou à redução na assimilação de carbono (A) (Figura 109a), no "quenching" fotoquímico (qP) e na taxa de transporte de elétrons através do fotossistema II (ETR) (Figura 110a, Figura 110b e Figura 110c), assim como nos índices de desempenho PI_{ABS} e PI_{TOTAL} (Figura 111a, Figura 111b e Figura 111c). Em contrapartida, o aumento do Fe aumentou o desempenho fotoquímico. Além disso, o aumento na concentração de Mn acarretou uma redução em ETR (Figura 110f). A resposta mais rápida dos parâmetros fisiológicos, em contrapartida com os de crescimento e desenvolvimento, também foi observada por Depolo et al. (2022). Muito embora o Fe e Mn sejam micronutrientes essenciais para as plantas (TAIZ et al., 2012), com o aumento na concentração do Mn, surge uma competição intensificada pelos mesmos sítios de ligação ocupados pelo Fe, resultando em impactos significativos na disponibilidade do Fe para processos biológicos e químicos (OLDHAM et al., 2019), o que explica a similaridade nos resultados do desempenho fotoquímico nas plântulas cultivadas com excesso de Mn e ausência de Fe. A concentração dos metais acumulada nos tecidos vegetais foi proporcional à sua disponibilidade na solução de cultivo. As raízes compartimentaram os metais, protegendo, assim, o aparato fotoquímico. A maior concentração de elementos tóxicos nas raízes de *R. mangle* é relatada na literatura (SOUZA et al., 2014; ARRIVEBENE et al., 2016) para manguezais em áreas poluídas por efluentes domésticos, agrícolas e industriais.

3.4 DECAPODA

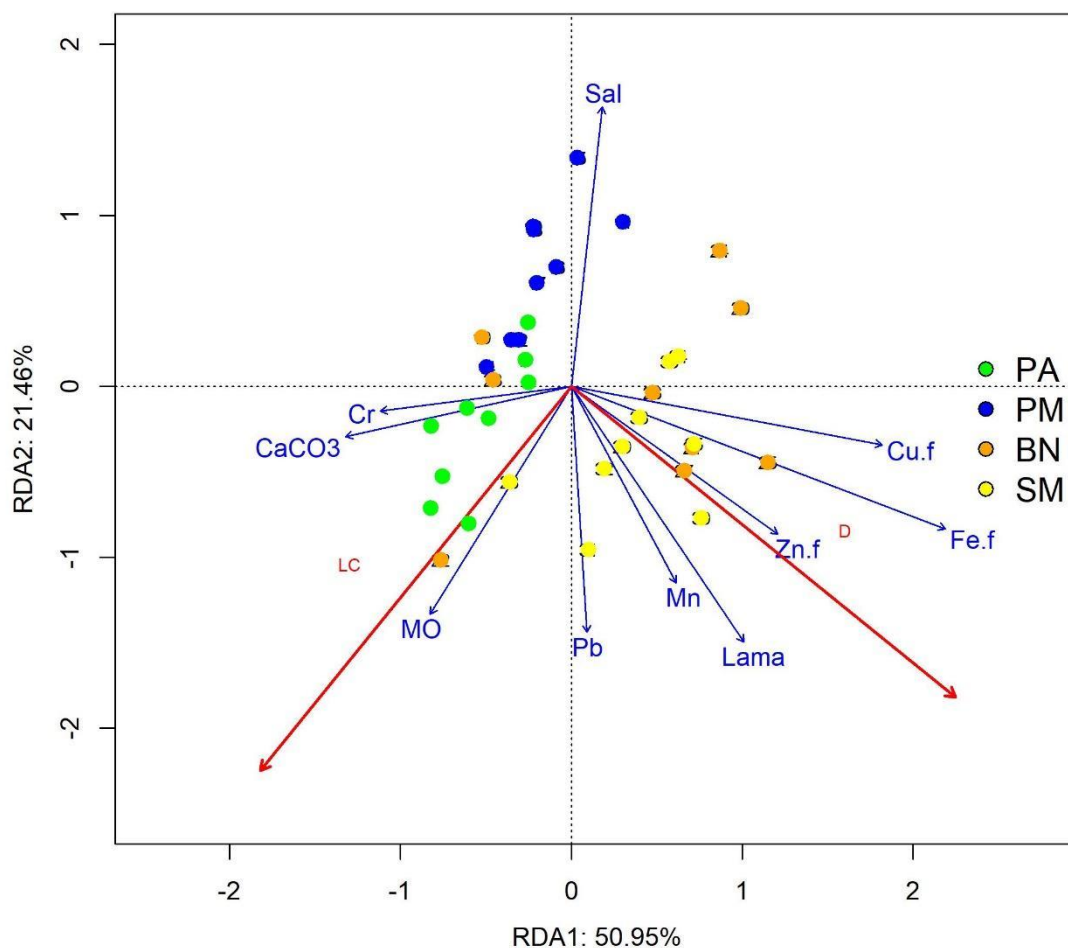
Figura 113: Indicador Ecológico Decapoda – Análise de componente principal (ACP), usando a função *biplot* com a contribuição de cada variável, utilizando os parâmetros populacionais (Densidade (ind./m²) e Largura do cefalotórax (mm)) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), as concentrações (mg kg⁻¹) de metais no sedimento, teor de matéria orgânica (MO), teor de carbonato de cálcio (CaCO₃), areia (%), lama (%) e matéria orgânica (MO %) considerando os períodos (a) chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 - março/2020/Ano2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março /2021/Ano3; chuvoso_21/22; outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2022/ Ano 5) dos compartimentos A, B e C, (b) secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano5) nos manguezais dos estuários dos rios Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Regência (RD) (Compartimento B), Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C) durante o monitoramento do PMBA/Fest, (c) chuvosos e (d) secos isolando os efeitos das concentrações dos metais do Rio Doce. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA. As: arsênio; Cu: cobre; Cr: cromo; Fe: ferro; Mn: manganês; Pb: chumbo; V: vanádio; Zn: zinco. O Cobre foi retirado da PCA da letra b, pois em determinados períodos o valor deste metal foi abaixo do LQ (limite de quantificação).



A Análise de Componentes Principais (ACP) explicou 77.23% e 69.38% da variância dos parâmetros estudados nos períodos chuvosos e secos, respectivamente, considerando os estuários dos compartimentos A, B e C. A sazonalidade dos parâmetros agrupou (nos períodos chuvosos) ou separou (nos períodos secos) os compartimentos A e C. O Teor de lama e as concentrações de metais no sedimento separou o compartimento B dos demais, ficando evidente a sua associação especialmente com a lama e Mn. Ressalta-se a forte relação entre os metais e o compartimento B e parte em alguns bosques do C destacando a persistência da contaminação como discutido em (FEST, 2023b). No período chuvoso, houve sobreposição parcial dos compartimentos, podendo indicar o aumento da concentração destes elementos no corpo hídrico para todos os estuários, demonstrando uma forte influência da concentração dos metais no sedimento. Resultado também corroborado no Tema Praias, onde observaram maiores concentrações de lama e metais associados aos períodos chuvosos, durante o aumento significativo da vazão fluvial do Rio Doce (FEST, 2023b). As populações com maior LC e menos densas foram registradas ao sul do Rio Doce, constatado pela relação inversa entre D e LC, e com maior influência marinha como demonstrado pela associação do compartimento às maiores concentrações de areia e CaCO_3 . Estas variáveis contribuíram de forma significativa para a construção da PC 2, entretanto, o eixo y negativo foi fortemente associado com D e os compartimentos B e C possuem as populações mais densas e menores valores de LC. No geral, a separação dos 3 compartimentos foi observada nos períodos secos ao longo de todo o monitoramento. O compartimento A possui associação com o CaCO_3 e MO e populações menos densas. Por outro lado, o compartimento C apresentou as populações mais densas e foi associado as concentrações de As e Zn. No período seco, as maiores concentrações de metais estão altamente relacionadas e associadas ao compartimento B descrevendo a persistência destes metais na calha do Rio Doce, sendo transportado ao norte, no compartimento C, por meio das correntes de deriva. A soma dos dois primeiros eixos (PC1 e PC2), sem considerar a influência do Rio Doce, explicou 74.99% e 66.93% da variância total nos períodos chuvosos e secos, respectivamente. No período chuvoso houve leve sobreposição dos dois compartimentos, A e C. Destaca-se que os bosques mais arenosos, com maior concentração de areia, MO, CaCO_3 , Al e Fe foram associados ao compartimento A, enquanto o compartimento C teve notável presença de concentração de As, Cr, Mn, Zn e Pb no sedimento, além de bosques mais lamosos e populações mais densas. Os estuários dos compartimentos A e C apresentam-se mais dissociados no período seco, o padrão descrito anteriormente permanece, onde as variáveis bióticas e abióticas isolaram o compartimento A do C, indicando que nesses períodos as forçantes locais (e.g. vazão fluvial, frequência de inundação, salinidade) se sobressaem e atuam de forma distinta em cada estuário, por isso se dissociam. O compartimento C está associado aos estuários ao norte da foz do Rio Doce com bosques mais lamosos e concentrações marcantes de As, Cr e Mn no sedimento e populações mais densas com maiores frequências relativas de indivíduos jovens, em dois dos parâmetros mais importantes (densidade e tamanho médio da carapaça) para avaliar a população. As populações com menor densidade e com maiores frequências relativas de adultos associaram-se notavelmente aos estuários do compartimento A. D, LC e MO contribuíram substancialmente para a construção do eixo y, areia e lama apresentaram baixa contribuição para a construção dos eixos. Os metais V, Cu, Cr, Fe, Mn e Zn colaboraram para a construção da PC 1. Estes resultados reforçam a interpretação de que as

populações mais densas estão associadas aos estuários localizados ao norte do Rio Doce e sujeitos às maiores concentrações de metais.

Figura 114: Indicador Ecológico Decapoda – *Biplot* produzido a partir da Análise de Redundância (RDA) entre os parâmetros populacionais (Densidade (ind./m²) e Largura do cefalotórax (mm)) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), teor de lama (%), matéria orgânica (MO %), carbonato de cálcio (CaCO₃ %), salinidade e concentração (mg/kg) de metais no sedimento e nas folhas considerando todos os períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 - março/2020/Ano2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março /2021/Ano3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2022/ Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano5) nos manguezais dos estuários dos rios Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (Compartimento A); Barra Nova (BN) e São Mateus (SM) (Compartimento C) durante o monitoramento do PMBA/Fest, isolando os efeitos das concentrações dos metais do Rio Doce (RD). Mn: manganês; Pb: chumbo; Cu.f: cobre foliar; Fe.f: ferro foliar; Zn.f: zinco foliar; Sal: salinidade. As variáveis abióticas são representadas pelas setas azuis e a bióticas pelas setas vermelhas. Diferenças entre os locais foram identificadas a partir das distâncias relativamente grandes entre os pontos de amostragem. Correlações lineares entre os parâmetros podem ser observadas a partir dos cossenos dos ângulos entre as setas que representam as propriedades do sedimento, salinidade, concentração de metais, D e LC. Os efeitos das variáveis abióticas nas bióticas foram indicadas pelos comprimentos das setas.



A RDA elucidou relações significativas entre as propriedades do sedimento (teor de CaCO_3 , lama e matéria orgânica), salinidade, concentração de Cr, Mn e Pb no sedimento, Cu, Fe e Zn nas folhas e os parâmetros populacionais (D e LC), mas os fatores de influência dominante nos estuários não foram os mesmos. Esta análise mostrou que até 72.41% da variação dos parâmetros populacionais poderia ser explicada pela variação das variáveis ambientais selecionadas para a construção do modelo, indicando que essas variáveis afetaram significativamente a variabilidade espacial da D e LC de *U. cordatus*. Destaca-se maior influência da salinidade, CaCO_3 e Cr nos estuários ao sul do Rio Doce. Diferenças entre as áreas foram identificadas a partir das distâncias entre os pontos, onde, no geral, observa-se o agrupamento do Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) (estuários ao sul do Rio Doce) separados daqueles situados ao norte (BN e SM) evidenciando que os bosques nesses estuários com níveis mais elevados de Mn e Pb no sedimento e Cu, Fe e Zn nas folhas estão associados as populações mais densas e que apresentam predomínio relativo de jovens. A matéria orgânica foi altamente correlacionada com LC, destacando a sua forte influência sobre LC médio demonstrando que a concentração de MO no sedimento desempenha um papel fundamental no tamanho médio da carapaça juntamente com CaCO_3 nos estuários ao sul do Rio Doce. Mn, lama e Zn foram positivamente correlacionados com D mostrando a influência dessas variáveis na variabilidade da densidade nos estuários ao norte do Rio Doce. Os resultados novamente descrevem a forte relação entre lama e Mn explicando porque os bosques do compartimento C por serem mais lamosos, apresentam maiores concentrações de Mn no sedimento. Cu, Fe e Zn são metais essenciais em uma variedade de processos químicos, tais como atividades enzimáticas e proteínas estruturais sendo tóxicos acima de determinada concentração (ODOBAŠIĆ et al., 2019). As setas que representam a concentração desses metais nas folhas e D apontam para a mesma direção e estão próximas umas das outras, indicando que esses metais tiveram controle dominante sobre a variabilidade da densidade nos estuários situados ao norte da foz do Rio Doce. O Pb no sedimento também apresentou contribuição significativa na variabilidade da D e LC, sendo considerado não essencial e têm pouco envolvimento em atividades fisiológicas, cuja função biológica é desconhecida, porém é altamente tóxico mesmo em baixas concentrações inibindo atividades enzimáticas essenciais e causando danos às membranas celulares derivados do estresse oxidativo (JEONG et al., 2023), além de acumular-se em diferentes tecidos, como brânquias, músculos, gônadas e glândulas digestivas em invertebrados aquáticos (DE ALMEIDA DUARTE et al., 2020). Os resultados da análise destacam a relação deste metal com os parâmetros populacionais de *U. cordatus* e é considerada um fator alarmante no que diz respeito ao impacto, em longo prazo, causado sobre a população em escala regional, especialmente populações com predomínio de jovens. Estes resultados trazem um panorama da relação entre D, LC, salinidade, propriedades do sedimento e concentração de metais, especialmente por esta análise ser mais abrangente espacial e temporalmente, integrando populações distintas que ocupam diferentes tipos de bosques ao longo de um gradiente latitudinal e considerando 5 anos de monitoramento. Ressaltamos que dentre os processos para evitar o aumento da concentração de metais nos tecidos levam à redução na capacidade de hiporregulação em salinidades acima de 34 psu (HARRIS e SANTOS, 2000). Deste modo, a amplitude da salinidade observada nos estuários torna as populações mais susceptíveis.

Tabela 3: Indicador Ecológico Decapoda – Resultado da correlação significativa e respectivo *p*-valor entre os parâmetros populacionais densidade (D (ind./m²)) e largura do cefalotórax (LC (mm)) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), e a concentração (mg/kg) de metais no sedimento (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e nas folhas (Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) considerando todos os períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 - março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março /2021/Ano 3; chuvoso_21/22; outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2022/ Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. PA: Piraquê-Açu; PM: Piraquê-Mirim; RD: Rio Doce; BN: Barra Nova; SM: São Mateus. RD não apresentou relações significativas.

Estuário	Variáveis	r	p
PA	D x LC	-0.30	< 0.01
	D x Mn.f	0.39	< 0.01
	LC x Zn.f	0.31	< 0.01
	D x Mn	0.44	< 0.01
	D x Pb	-0.19	0.03
	LC x V	0.35	< 0.01
	LC x Co	0.51	< 0.01
	LC x Cu	0.56	< 0.01
	LC x Ba	0.58	< 0.01
	LC x Pb	0.50	< 0.01
	LC x Cr	0.33	< 0.01
	LC x Fe	0.43	< 0.01
	LC x Al	0.48	< 0.01
	LC x Zn	0.47	< 0.01
PM	D x Zn.f	-0.20	0.03
	D x Co	-0.23	0.02
	D x Cu	-0.27	0.01
	D x Zn	-0.20	0.03
	LC x Mn.f	0.46	< 0.01
	LC x V	0.65	< 0.01
	LC x Co	0.58	< 0.01
	LC x Cu	0.46	< 0.01
	LC x As	0.66	< 0.01
	LC x Ba	0.56	< 0.01

Estuário	Variáveis	r	p
	LC x Pb	0.66	< 0.01
	LC x Cr	0.65	< 0.01
	LC x Fe	0.64	< 0.01
	LC x Al	0.64	< 0.01
	LC x Mn	0.67	< 0.01
	LC x Zn	0.54	< 0.01
BN	D x LC	-0.33	0.01
	D x Fe.f	0.28	0.04
	D x Cu.f	0.28	0.03
	D x Co	-0.40	< 0.01
	D x Ba	-0.34	0.01
	D x Pb	-0.35	0.01
	D x Mn	-0.45	< 0.01
	LC x Fe.f	-0.55	< 0.01
	LC x Zn.f	-0.65	< 0.01
	LC x Cu.f	-0.47	< 0.01
	LC x Mn.f	0.76	< 0.01
	LC x V	0.56	< 0.01
	LC x Co	0.54	< 0.01
	LC x Cu	0.53	< 0.01
	LC x As	0.59	< 0.01
	LC x Ba	0.56	< 0.01
	LC x Pb	0.62	< 0.01
BN	LC x Cr	0.52	< 0.01
	LC x Fe	0.54	< 0.01
	LC x Al	0.50	< 0.01
	LC x Mn	0.38	< 0.01
	LC x Zn	0.52	< 0.01
	D x Al.f	0.25	0.01

Estuário	Variáveis	r	p
SM	D x Fe.f	0.24	0.01
	D x V	0.23	0.02
	D x As	0.21	0.04
	D x Ba	0.28	< 0.01
	D x Pb	0.22	0.02
	D x Cr	0.27	< 0.01
	D x Fe	0.24	0.01
	D x Al	0.32	< 0.01
	D x Zn	0.21	0.04
	LC x Fe.f	0.49	< 0.01
	LC x Zn.f	0.52	< 0.01
	LC x Mn.f	-0.24	0.01
	LC x Cu.f	0.24	0.01
	LC x V	0.46	< 0.01
	LC x Co	0.47	< 0.01
	LC x Cu	0.38	< 0.01
	LC x As	0.37	< 0.01
	LC x Ba	0.51	< 0.01
	LC x Pb	0.55	< 0.01
	LC x Cr	0.46	< 0.01
	LC x Fe	0.39	< 0.01
	LC x Al	0.40	< 0.01
	LC x Mn	0.39	< 0.01
	LC x Zn	0.40	< 0.01

As populações mais densas nos manguezais do Piraquê-Açu (PA) e Barra Nova (BN) são formadas por indivíduos nas menores classes de tamanho como reportado pelo resultado da correlação significativa e negativa entre D e LC. Os parâmetros populacionais de *U. cordatus*, independente do período chuvoso ou seco, em cada estuário apresentaram relações significativas com a concentração de metais nas folhas e grande parte dos metais no sedimento dos bosques dos manguezais. Estes resultados reforçam o diagnóstico realizado através da Análise de Componentes Principais (ACP) apresentado anteriormente, onde destacamos a preocupação em relação aos indivíduos maiores ocuparem bosques que apresentaram maior concentração de metais nos compartimentos (folhas e sedimento) e reportado no (FEST, 2023a). A população em idade reprodutiva é formada por adultos que apresentam maior potencial reprodutivo, como demonstrado pelo parâmetro biológico fecundidade (FERNANDES et al., 2010; PORTO et al., 2021). Desse modo, a presença de indivíduos, nas maiores classes de tamanho, nas áreas mais impactadas pelos metais pode comprometer o estoque populacional, refletindo consequentemente no potencial de extração imediato (IEP), definido por Mota et al. (2023) como sendo a porcentagem de indivíduos com LC ≥ 60 mm na população em curto prazo (menos de uma década). As interpretações dos resultados das correlações atuais e da RDA continuam reforçando o diagnóstico de impactos na população por contaminação do ambiente marinho e dos manguezais como já discutido em relatórios anteriores (FEST, 2023a; FEST, 2023b). Populações mais densas foram registradas em bosques com elevadas concentrações de Mn no sedimento e nas folhas do Piraquê-Açu (PA). Neste estuário, as populações mais densas apresentaram predominância de indivíduos juvenis. Este estágio exibe relativamente maior frequência de ecdise (troca de carapaça) induzindo fisiologicamente ao maior acúmulo de metais em seus tecidos. Diferentes concentrações de metais nos compartimentos podem ser um dreno de energia da população, causando impacto econômico e social em longo prazo. Esse tensor, juntamente com o funcionamento ecológico dos manguezais, particular para cada estuário, induzem respostas e comportamentos distintos nas populações de caranguejos. Cabe lembrar que os estuários monitorados possuem diferenças entre as suas forças geológicas e oceanográficas, consequentemente interferindo na intensidade das variáveis abióticas sobre essas populações (TOGNELLA et al., 2022). A variabilidade e a dinâmica na concentração de metais nas folhas e no sedimento dos bosques tornam-se disponíveis para os indivíduos por tempo indeterminado. Relações significativas também foram verificadas entre parâmetros ecológicos da meiofauna e macrofauna de praias reportado em (FEST, 2023a).

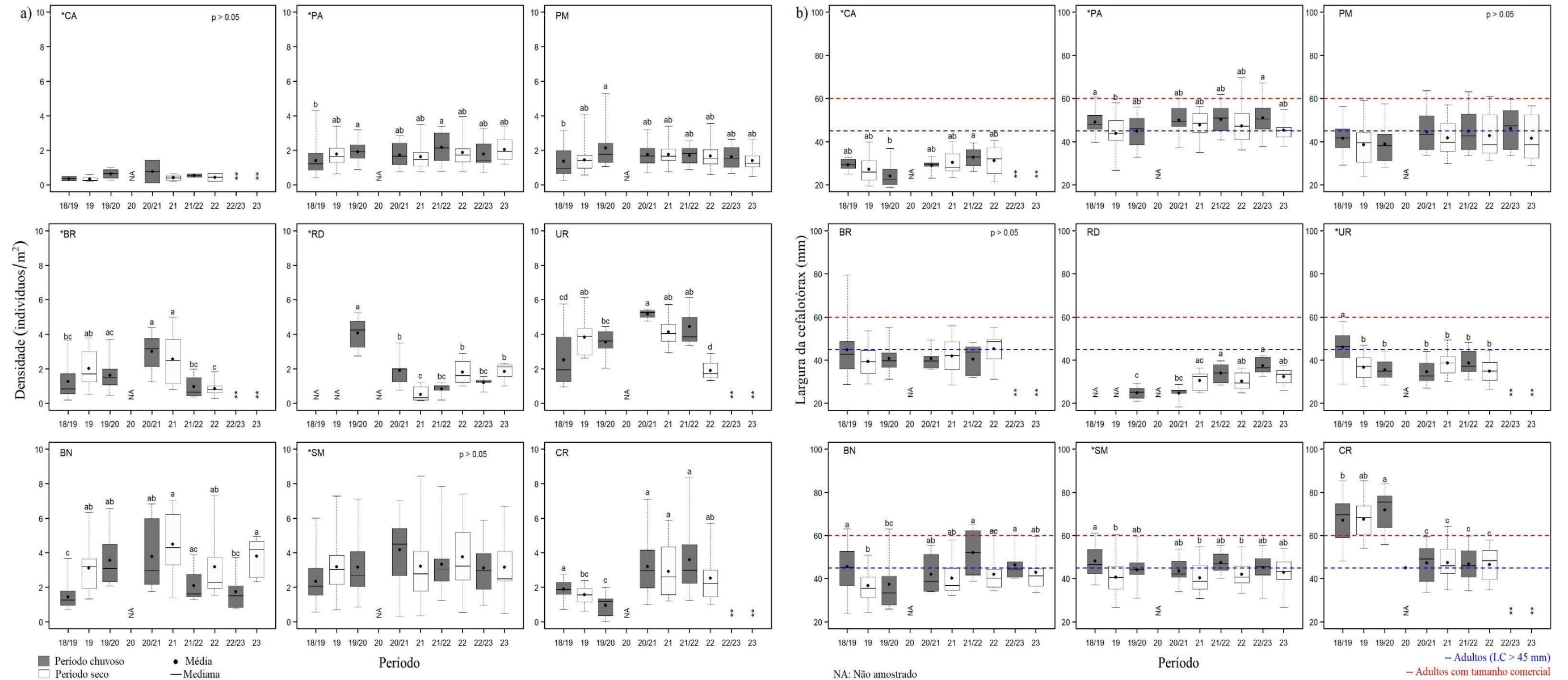
Tabela 4: Indicador Ecológico Decapoda – Resultado da correlação e *p*-valor entre os parâmetros populacionais densidade (D) e largura do cefalotórax (LC) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), e concentração (mg/kg) de metais no sedimento (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e nas folhas (Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) considerando todos os períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 - março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março /2021/Ano 3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2022/ Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest.

Período	Variáveis	r	p
Chuvoso	D x LC	-0.19	< 0.01
	D x Fe.f	0.25	< 0.01
	D x Cu.f	0.31	< 0.01
	D x Cu	-0.17	0.02
	D x Hg	-0.38	< 0.01
	LC x Cu.f	-0.14	0.03
	LC x Mn.f	0.26	< 0.01
	LC x Pb.f	-0.13	0.04
	LC x Al.f	0.17	0.01
	LC x V	0.49	< 0.01
	LC x Co	0.47	< 0.01
	LC x Cu	0.47	< 0.01
	LC x As	0.39	< 0.01
	LC x Cd	0.25	< 0.01
	LC x Ba	0.51	< 0.01
	LC x Pb	0.57	< 0.01
	LC x Cr	0.52	< 0.01
	LC x Fe	0.51	< 0.01
	LC x Al	0.51	< 0.01
	LC x Mn	0.40	< 0.01
	LC x Zn	0.54	< 0.01
Seco	D x Fe.f	0.24	< 0.01
	D x Cu.f	0.19	0.01

Período	Variáveis	r	p
Seco	D x Co	0.21	< 0.01
	D x As	0.20	< 0.01
	D x Ba	0.22	< 0.01
	D x Pb	0.21	< 0.01
	D x Cr	0.18	0.01
	D x Mn	0.15	0.04
	LC x Mn.f	0.20	0.01
	LC x V	0.52	< 0.01
	LC x Co	0.41	< 0.01
	LC x Cu	0.45	< 0.01
	LC x As	0.36	< 0.01
	LC x Ba	0.49	< 0.01
	LC x Pb	0.49	< 0.01
	LC x Cr	0.47	< 0.01
	LC x Fe	0.55	< 0.01
	LC x Al	0.58	< 0.01
	LC x Mn	0.36	< 0.01
	LC x Zn	0.39	< 0.01

Ao verificar o efeito da sazonalidade sobre a contaminação dos bosques de mangue, independente dos estuários monitorados, relações significativas entre os parâmetros populacionais de *U. cordatus* e a concentração de metais no sedimento e nas folhas foram observadas. As correlações foram realizadas considerando todos os estuários e diferenciando os períodos chuvosos e secos. As populações mais densas continuaram sendo observadas em bosques com maiores concentrações de cobre e ferro foliar nos períodos chuvosos e secos, ou seja, sem distinção sazonal. Aquelas com maior tamanho médio de carapaça situam-se nos bosques com maior concentração de manganês foliar. Relações significativas e positivas entre concentrações de metais nos compartimentos (sedimento e folhas) e tamanho médio da carapaça foram observadas considerando todos os períodos secos e todos os chuvosos reforçando os resultados analisados por estuários onde se observa que as populações adultas ocupam bosques onde os sedimentos apresentaram relativamente elevadas concentrações de metais. O diagnóstico para essas análises é similar ao discutido nos produtos anteriores do PMBA/Fest indicando a constância do impacto na população de *U. cordatus* refletindo no Potencial de Extração Imediato (IEP) e Potencial de Extração Futuro (FEP), conceitos bem definidos por Mota et al. (2023), e, consequentemente, nas comunidades ribeirinhas, como reportado também nos resultados da Tabela 3. Essas comunidades utilizam o caranguejo-uçá como umas das principais fontes de renda que movimentam a economia local, que envolve a compra e venda entre catadores, intermediários, comerciantes e consumidores (NASCIMENTO et al., 2017; LIMA et al., 2018). Neste contexto, essa pesquisa preocupa não somente a comunidade científica e *stakeholders*, como também a própria comunidade local em função da sua estreita relação e participação na cadeia produtiva do caranguejo-uçá. Este importante recurso pesqueiro é fonte de segurança alimentar para as comunidades de baixa renda ao redor dos manguezais.

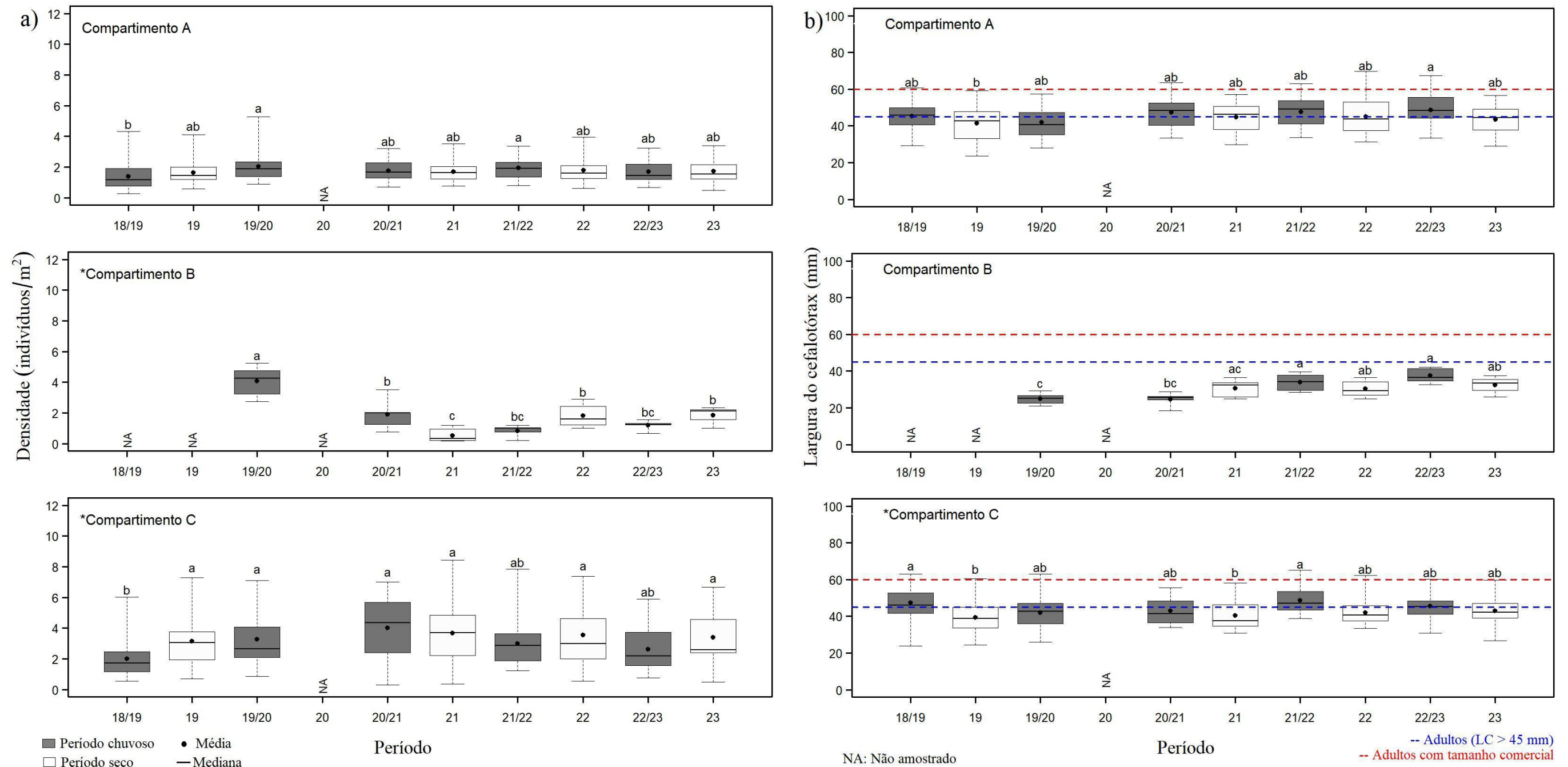
Figura 115: Indicador Ecológico Decapoda – (a) Densidade (indivíduos/m²) e (b) largura do cefalotórax (mm) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), por estuários em função dos períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 – março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março/2021/Ano 3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2023/Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21: abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. PA: Piraquê-Açu; PM: Piraquê-Mirim; RD: Rio Doce; BN: Barra Nova; SM: São Mateus. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (5% de probabilidade). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



Variações sazonais na densidade populacional de *U. cordatus* foram registradas em todas as áreas de estudo, exceto na APA Costa das Algas (CA) e no estuário do rio São Mateus (SM). O manguezal deste estuário apresentou a população mais densa em relação aos demais, no qual o período chuvoso 2020/2021 exibiu o maior número médio de indivíduos por m² (4.2 ± 2.1 indivíduos/m²) e o chuvoso 2018/2019, a menor média (2.3 ± 1.2 indivíduos/m²). O tamanho médio dos indivíduos nessa população variou sazonalmente, mas permaneceu dentro do intervalo esperado nos 5 anos de monitoramento, oscilando entre 40 e 48 mm de LC, indicando que esses indivíduos estão permanentemente se ajustando aos tensores induzidos pela contaminação de metais. Os períodos chuvosos apresentaram relativamente as maiores médias e valores acima do limite 4.5 cm considerado como estágio adulto (CONTI e NALESSO, 2010) nos períodos chuvosos de 2018/2019, 2021/2022 e 2022/2023 (48.2, 47.4, 45.1 mm, respectivamente). Ao longo do monitoramento, houve predomínio de jovens nas populações e os períodos secos foram aqueles que apresentaram os menores tamanhos médios. A densidade nas populações do Sistema Estuarino Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim foi inferior ou próxima a 2 indivíduos/m² e apesar da variabilidade sazonal observada, não houve aumento ou declínio acentuado ao longo dos 5 anos do PMBA/Fest. Estima-se que a população do Piraquê-Açu (PA) seja constituída por indivíduos adultos, com médias acima de 45 mm em todos os períodos, exceto seco 2019 (43.9 mm) e chuvoso 2019/2020 (44.8 mm). As menores médias foram observadas nos períodos secos, logo após os reprodutivos. Ao avaliar o último ano, a média passou de 51.1 mm para 45.3 mm do período chuvoso para o seco. Diferente do observado na população desse estuário, a do Piraquê-Mirim (PM) apresentou tamanho médio inferior a 45 mm em todos os períodos, exceto chuvoso 2022/2023 e não houve diferenças significativas deste parâmetro ao longo do PMBA/Fest. O número de indivíduos por m² na população do Rio Doce declinou significativamente a partir do chuvoso 2020/2021 (1.9 indivíduo/m²), com aproximadamente metade da densidade observada no primeiro período (4.1 indivíduos/m²). Como discutido nos relatórios anteriores, esse declínio também é reflexo da ampliação do habitat da espécie, sobrepondo-se ao de *C. guanhumi* (RRDM, 2019 RT21, Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2020 RT36C, Ambiente Costeiro) comportamento não observado nas primeiras amostragens. Essas análises permitem inferir a disputa por território e alimento entre as duas espécies, isto é, condições e recursos. Este declínio foi acompanhado pelo aumento no tamanho médio da carapaça, com menor valor registrado nos períodos chuvosos 2019/2020 (24.9 mm) e 2020/2021 (24.7 mm) e a maior no chuvoso 2023 (37.4 mm). Isto significa que houve recrutamento para as maiores classes de tamanho e indivíduos adultos na população a partir do período chuvoso 2021/2022. As menores densidades em Barra Nova (BN) foram registradas nos períodos chuvosos 2018/2019 (1.4 ± 0.7 indivíduo/m²) e 2022/2023 (1.7 ± 1.1 indivíduo/m²). Em geral, as maiores densidades foram observadas nos períodos secos, logo após os períodos reprodutivos. Ao verificar o último ano (Ano 5), a densidade no período seco (3.8 ± 1.1 indivíduo/m²) foi superior à do chuvoso do mesmo ano (1.7 ± 1.0 indivíduo/m²) e do primeiro ano (1.4 ± 0.7 indivíduo/m²). Apesar do tamanho médio não apresentar diferenças significativas entre os dois últimos períodos avaliados, o seco registrou a menor média (43.5 mm) demonstrando diminuição no LC indicando populações mais jovens, o que significa a presença de mais indivíduos trocando de carapaça e com maior probabilidade de assimilação dos metais. Esses resultados demonstram que os períodos secos apresentam as menores médias em relação aos chuvosos e

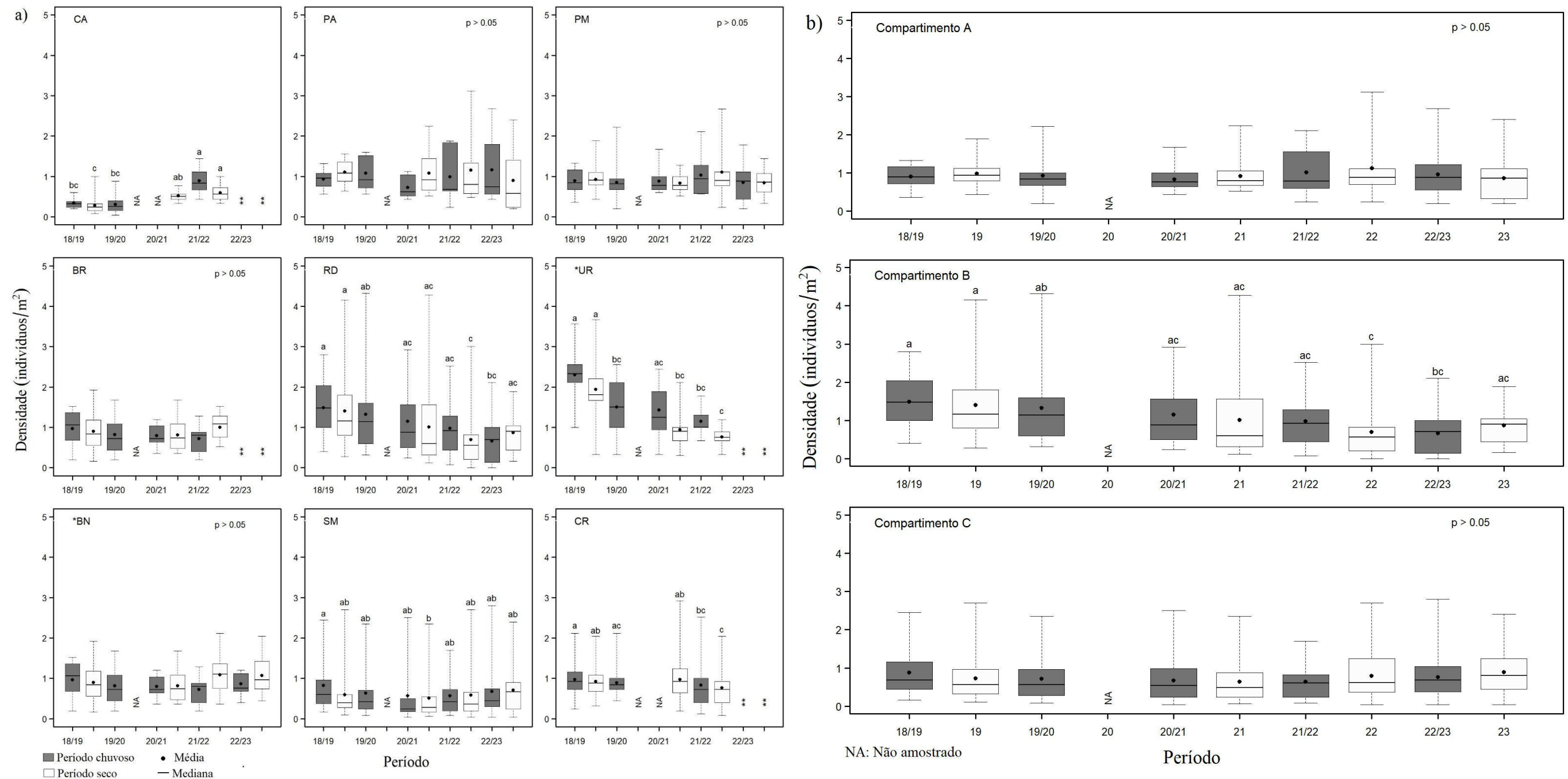
relativamente maior frequência de jovens na população. Verifica-se que as alterações nos parâmetros podem estar relacionadas com a resposta da população frente a variabilidade das condições ambientais e sazonais (CONTI e NALESSO, 2010; AFFONSO, 2014; BROMENSCHENKEL, 2016).

Figura 116: Indicador Ecológico Decapoda – (a) Densidade (indivíduos/m²) e (b) largura do cefalotórax (mm) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), por compartimento em função dos períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 – março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março/2021/Ano 3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2023/Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Compartimento A: Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; B: Rio Doce; C: Barra Nova e São Mateus. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (5% de probabilidade). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



A densidade média populacional ao sul da foz do Rio Doce (compartimento A) variou sazonalmente, mas no geral a média ficou inferior a 2 indivíduos/m², exceto no período chuvoso 2019/2020 (2 indivíduos/m²). O menor valor médio foi registrado no primeiro período (chuvoso 2018/2019), onde a densidade foi 1.4 indivíduo/m². A menor média de LC foi verificada no período seco 2019 (41.5 mm) e a maior no chuvoso 2023 (48.6 mm). Os maiores valores foram observados nos períodos chuvosos em relação aos secos, padrão também verificado ao avaliar separadamente as populações. O declínio na densidade no compartimento B (Rio Doce) foi seguido pelo aumento no tamanho médio da carapaça, comportamento esperado em função da maturidade da população. A partir do período chuvoso 2020/2021 a densidade ficou inferior a 2 indivíduos/m². Todos os estuários, exceto Piraquê-Açu (PA), apresentaram baixa frequência relativa de indivíduos nas classes de LC superiores a 45 mm (adultos) e 60 mm (tamanho comercial), isto significa que as populações são predominantemente jovens e com baixo estoque comercial. Diferenças significativas sazonais também foram observadas no número de indivíduos por m² no compartimento ao norte do Rio Doce (compartimento C) com densidade variando entre 2 e 4 indivíduos/m². As menores densidades médias foram registradas nos períodos chuvosos 2018/2019 e 2022/2023, com 2.1 e 2.6 indivíduos/m², respectivamente, indicando a influência do extrativismo sobre a população de adultos como também discutido em (FEST, 2023a; FEST, 2023b), porém a maior densidade ocorreu no chuvoso 2020/2021 (4.0 indivíduos/m²). Ao avaliar apenas o último ano de monitoramento (Ano 5), embora o período seco (3.4 indivíduos/m²) apresente maior média em relação ao chuvoso (2.6 indivíduos/m²) ambos são estatisticamente similares. Apesar da variabilidade também observada no tamanho médio da carapaça no compartimento C, diferenças significativas foram registradas somente entre os períodos no primeiro ano de monitoramento, no qual o chuvoso 2018/2019 teve o maior valor (47.3 mm) em relação ao seco (39.2 mm). Os períodos secos também apresentaram as menores médias para o LC, a população jovem realiza a ecdise em diversos períodos ao longo do ano, diluindo o efeito do entocamento nas primeiras classes de tamanho. A densidade populacional no compartimento A sempre foi inferior àquela registrada nos estuários do C e, em geral, o tamanho médio populacional foi superior. A comparação entre os diferentes compartimentos indicou que as populações do compartimento C são relativamente mais vulneráveis às concentrações de metais foliares e sedimentares. Indivíduos, majoritariamente, das classes jovens predominam nestas populações e a sua exposição aos metais, tanto de forma aguda quanto crônica, causam efeitos adversos na biota como já reportado na literatura (PINHEIRO et al., 2012; DUARTE et al., 2020; JESUS, et al., 2021; PINHEIRO et al., 2022; RAMOS e LEITE, 2022), bem como induzem a biomagnificação dos contaminantes em diferentes tecidos do organismo. As populações de *U. cordatus* podem responder, espacial e temporalmente, de forma distinta à influência dos rejeitos de minério em cada compartimento do ambiente, isto é, sedimento e vegetação. O tempo de residência desses contaminantes e a forma de contaminação quando associado aos tensores maiores (e. g. salinidade, amplitude de maré, vazão fluvial entre outros) e à sobreexploração levam a respostas distintas na estrutura populacional quando se compara os estuários. Destaca-se que, as populações com predomínio de indivíduos jovens apresentam relativamente maior frequência de troca de carapaça, estando os estes mais susceptíveis à assimilação dos metais no ambiente.

Figura 117: Indicador Ecológico Decapoda – Densidade (indivíduos/m²) do caranguejo guaiamum, *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1825), (a) por estuários e (b) compartimentos (A: Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim; B: Rio Doce; C: Barra Nova e São Mateus) em função dos períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 - março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março/2021/Ano 3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2023/Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. PA: Piraquê-Açu; PM: Piraquê-Mirim; RD: Rio Doce; BN: Barra Nova; SM: São Mateus. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (5% de probabilidade). (*) Análises de Variância (ANOVA) paramétrica. (**) Estuários que deixaram de ser monitorados no Novo Ciclo do PMBA/Fest e, portanto, possuem série histórica menor. NA: dados não amostrados por causa da COVID-19.



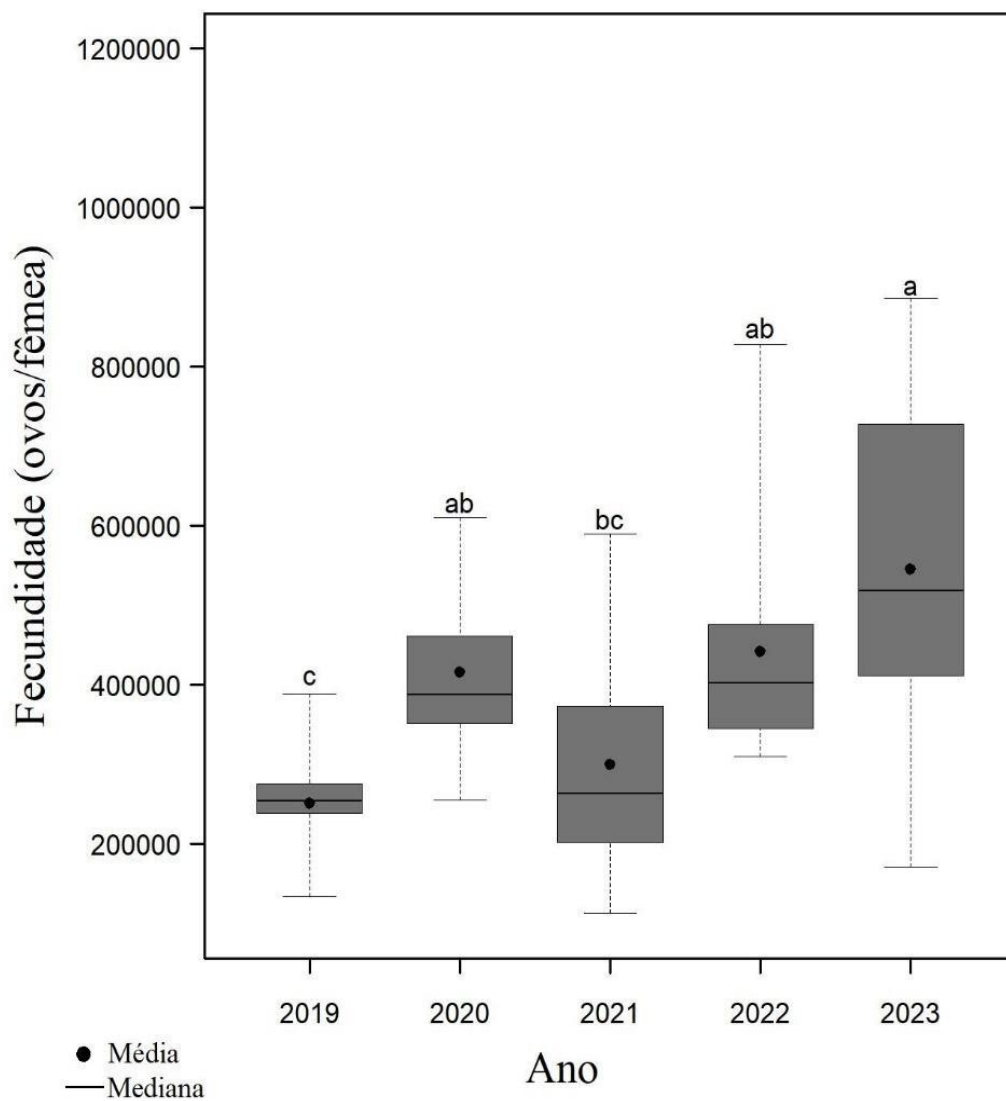
A análise sazonal (em todo o período monitorado) da densidade populacional de *C. guanhumi* em todos os estuários foi inferior ou próximo a 1 indivíduo/m². Ao considerar os diferentes compartimentos, diferenças significativas foram observadas somente no C, com declínio ao longo dos 5 anos de monitoramento. Como reportado em relatórios anteriores, a sua baixa densidade nas áreas está relacionada com a limitação na disponibilidade de habitat na planície costeira do litoral norte do Espírito Santo para ocupação das populações. Esta configuração populacional é reconhecida nos últimos anos, onde a espécie foi incluída na Lista Oficial Nacional de Espécies Ameaçadas e classificada como espécie “ criticamente em Perigo de Extinção ” (CR) (BRASIL, 2014), onde passou a ser protegida de modo integral. No entanto, a Portaria Interministerial SEAP/MMA nº 38/2018 estabeleceu regras que permitem o uso sustentável e para a recuperação dos estoques da espécie (BRASIL, 2018). Além de ser considerada espécie crítica, suas populações tornam-se mais vulneráveis aos impactos ocasionados pela concentração elevada de metais ou concentrações mínimas dos metais tóxicos, como o chumbo e o ferro, no seu habitat. As concentrações de metais nos diferentes tecidos dos organismos apresentam estreita relação com os processos fisiológicos e reprodutivos de crustáceos como já discutido na literatura para *U. cordatus* (CORRÊA JR. et al., 2005; GIBSON et al., 2006; PINHEIRO et al., 2010; ALMEIDA et al., 2016; DUARTE et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2017; COSTA et al. 2018; DUARTE et al., 2020). Além dessa espécie, o guaiamum também é influenciado, direta e/ou indiretamente, nesses processos por compartilharem comportamentos e características similares. A dinâmica temporal da população de guaiamum no Piraquê-Açu (PA) e Piraquê-Mirim (PM) não mostrou diferenças sazonais significativas na densidade. Por outro lado, revelou variabilidade em São Mateus (SM) e no Rio Doce. Esta área era considerada como a de maior densidade populacional da espécie no estado em relatos pretéritos. As estações amostrais no Rio Doce estão localizadas nas áreas com maior influência da pluma de rejeitos de minério tanto no evento inicial quanto em função dos períodos sazonais de vazão fluvial. Deste modo, há contaminação persistente no ambiente com a inundação dos habitats da espécie através do revolvimento do sedimento. Os resultados do IBR bioacumulação indicaram elevadas concentrações de Mn, Cd, Cu e Fe nos tecidos dos caranguejos coletados nas estações amostrais localizadas no Rio Doce ou ao sul de sua foz (FEST, 2023a). Isto significa que a contaminação desta espécie não está restrita a foz do Rio Doce. Neste contexto, a estreita relação entre indivíduos, sedimento e folhas (PINHEIRO et al., 2012) com elevadas concentrações de metais pode refletir diretamente na variabilidade estrutural (frequência relativa de jovens e adultos) e dinâmica (ingresso e mortalidade) populacional como observado para *U. cordatus*. Os metais tóxicos exibem potenciais efeitos deletérios, em longo prazo, para a espécie (PINHEIRO et al., 2012; BANCÍ et al., 2017) considerando que eles são bioacumulativos em organismos bentônicos (ALMEIDA et al., 2016). A resposta da população é variável em função do grau de interação entre metais e atividades metabólicas, frequência e período de exposição dos indivíduos frente a disponibilidade desses elementos no ambiente. Há indícios de captura de adultos, de forma ilegal, podendo também influenciar no declínio da densidade populacional em longo prazo.

falhas/erros durante as fases de processamento e/ou análise.



Reafirmamos que os resultados permaneceram os mesmos, pois não houve coleta no período seco/2023. A reprodução da espécie ocorre no período chuvoso e esses já foram discutidos no (FEST, 2023b). *U. cordatus* no rio Piraquê-Açu (PA) apresentou fecundidade (F) média de 147.173 (± 6.214), 153.905 (± 10.310), 191.215 (± 9.834), 63.968 (± 12.443), 254.027 (± 10.162) ovos/fêmea entre 2019 e 2023, respectivamente. Enquanto no Piraquê-Mirim (PM) variou entre 97.736 (± 21.444), 149.279 (± 20.469), 201.760 (± 12.705) e 117.858 (± 18.428) ovos/fêmea entre 2019 e 2022, respectivamente. No compartimento C, o estuário do rio Mariricu (BN), registrou fecundidade média, entre os anos de 2021 e 2023 de 216.193 (± 14.535), 131.579 (± 10.793) e 226.355 (± 25.088) ovos/fêmea, respectivamente. São Mateus (SM) exibiu médias de 110.868 (± 10.179), 157.620 (± 12.583), 115.013 (± 17.797) e 184.264 (± 20.817) ovos/fêmea em 2019, 2021, 2022 e 2023, respectivamente. Este estuário é o único que apresenta dados pretéritos, com registros de 2015 com F de 168.645 (± 10.837 ovos/fêmea) e em 2016 (154.656 ± 6.792 ovos/fêmea). A média do período pré-rompimento (2015) foi inserida no gráfico como indicativo de referência para os demais estuários, sinalizada pela linha tracejada em vermelho. Em relação aos metais (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn) e metalóides (As) presentes nos rejeitos da barragem de Fundão (COSTA et al., 2022), o Tema Manguezal e Ecotoxicologia observaram concentrações elevadas no sedimento, nas folhas do mangue e nas brânquias, hepatopâncreas e músculos dos caranguejos entre setembro/2018 e março/2023 (FEST, 2023a). Nos estuários do compartimento C foram encontrados Al, Ba, Fe, Cr, Pb, V e As no sedimento, Mn nos tecidos foliares, e Pb, Cr, Mn, Fe, Cd, Hg e As nos tecidos dos caranguejos desta espécie. No compartimento A, os metais Al, Fe, Ba, Fe, Cr, V e As foram identificados no sedimento, Zn, Fe, Pb e Cu nos tecidos foliares, e Cr, Mn, Pb, Zn, Fe, Cd, Hg e As nos tecidos-alvo de *U. cordatus* (FEST, 2023a). Os resultados evidenciaram variação da F nos dois compartimentos. As menores médias ocorreram em 2019 e 2022, situadas abaixo da fecundidade usada como referência. Os resultados encontrados pelo Tema Ecotoxicologia indicaram que o índice de bioacumulação de metais no tecido dos caranguejos aumentou em 2022 quando comparado com os anos anteriores (FEST, 2023a). Os eventos estocásticos (Tempestade Iba) e as precipitações que resultaram em elevada descarga fluvial no Rio Doce podem ser responsáveis para os registros de 2022. A elevada concentração de Hg, um dos metais identificados pelo Tema Ecotoxicologia, causa toxicidade e diminuição na taxa de sobrevivência em larvas de crustáceos (VERNBERG et al., 1973; SHEALY e SANDIFER, 1975), mesmo estando em baixas concentrações nas amostras requer cuidado em longo prazo. O declínio na F pode ser reflexo da necessidade de fêmeas reprodutoras em direcionar o gasto energético para desintoxicação (HARRIS e SANTOS, 2000; MARSDEN e RAINBOW, 2004) e, por consequência, comprometendo a produção de ovos. Ainda que a presença de alguns desses metais seja essencial para o metabolismo dos organismos (como Cu, Cr, Mn), o contato crônico induz a toxicidade (MARINO-BALSA et al., 2000; VERSLYCKE et al., 2003) por bioacumulação. Desta forma, afetando, entre outras consequências adversas, o ciclo reprodutivo e a conservação da espécie (ALMEIDA et al., 2016), bem como a biomagnificação destes elementos tóxicos.

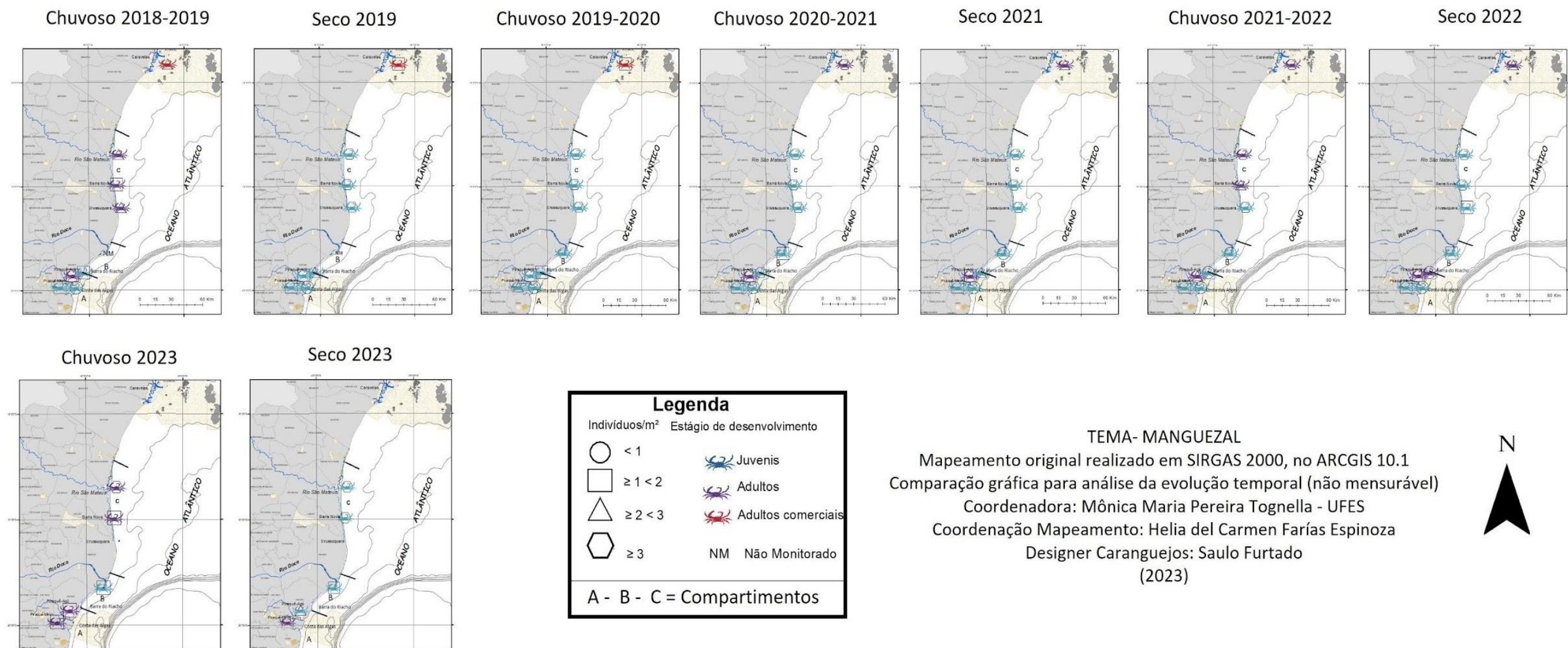
Figura 119: Indicador Ecológico Decapoda – Fecundidade média (ovos/fêmea) do caranguejo guaiamum, *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1825), coletados na foz do Rio Doce, Regência (Espírito Santo) em maio/2019, março/2020, fevereiro/março/2021, março/2022 e fevereiro/março/2023 durante o monitoramento do PMBA/Fest. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (5% de probabilidade). Não houve coleta no período correspondendo ao seco para esta variável.



Conforme mencionando anteriormente para *U. cordatus*, os resultados para *C. guanhumi* permanecem os mesmos reportados em (FEST, 2023b). A fecundidade (F) média dos exemplares capturados na foz do Rio Doce (RD) evidenciou flutuação no número de ovos produzidos. As menores médias registradas ocorreram em 2019 (251.539 ± 24.098 ovos/fêmea) e 2021 (300.210 ± 43.244 ovos/fêmea) quando comparadas com 2020, 2022 e 2023 (415.834 ± 34.823 , 441.488 ± 49.155 e 545.895 ± 75.666 ovos/fêmea, respectivamente). A foz, que vem sofrendo com a contaminação desde o rompimento da barragem, apresentou dois eventos estocásticos (TOGNELLA et al., 2022) que coincide com as menores médias de F registradas na área. O primeiro ocorreu no período seco de 2019, anterior a coletas das fêmeas ovígeras, onde a ação das correntes frias e da tempestade tropical Iba promoveu a ressuspensão de sedimento, provocando o aumento da contaminação de metais no ambiente (TOGNELLA et al., 2022). Enquanto o segundo, que antecedeu a coleta das fêmeas observado no período chuvoso de 2020/2021, elevou a vazão do Rio Doce resultando em maior aporte de metais na foz (Al, Ba, Pb, Fe, Cr, Mn, V e As) (RRDM, 2020 RT36C, Ambiente Costeiro). Somado a isso, a concentração de metais nos tecidos foliares da espécie *T. pernambucense*, umas das fontes de alimento da espécie, apresentou acúmulo de Pb, Cu, Mn, enquanto o índice de bioacumulação de metais nos tecidos do caranguejo *C. guanhumi* destacou os elementos Pb, Cr, Cd, Cu, Mn, Hg (FEST, 2023a). Mudanças ambientais em ambiente que já vem sofrendo com a presença de contaminantes, pode comprometer a F (HARRIS e SANTOS, 2000; ANGER, 2001; VERÍSIMO et al., 2010; ALMEIDA et al., 2016; BEMBE et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2017). As estratégias reprodutivas adotadas pelos crustáceos envolvem mecanismos de tolerância contra contaminantes (HARRIS e SANTOS, 2000; AHEARN et al., 2004; ORTEGA et al., 2016) que podem acarretar impactos de origem qualitativa ou quantitativa resultando na produção de pequena quantidade de ovos grandes ou maior número de ovos pequenos (VERÍSIMO et al., 2010). Como a largura do cefalotórax (LC) está intimamente relacionada à F (SILVA e OSHIRO, 2002), esperava-se que a F aumentasse ao longo dos anos monitorados, pois houve incremento em LC das fêmeas coletadas de 2019 a 2023 (62.70 ± 2.53 , 72.12 ± 2.93 , $72.64 (\pm 1.77)$, $74.78 (\pm 1.81)$ e $76.88 (\pm 2.63)$ mm, respectivamente). Entretanto, é necessário cautela para afirmar melhoria na F em 2023 (após eventos estocásticos), uma vez que a contaminação ambiental refletirá no número de ovos produzidos nos próximos ciclos reprodutivos (CAZAN e KLERKS, 2015). Além dos fatores ambientais, o peso da fêmea, ninhada subsequente e estágio do desenvolvimento embrionário também podem influenciar na F (GIFFORD, 1962; TAISSOUN 1974; MANTELATTO e FRANSOZO, 1997; SILVA e OSHIRO, 2002). Devido à ausência de dados pretéritos de F para a foz do RD para comparação, o monitoramento a longo prazo evidenciará as respostas para tais afirmativas, uma vez que, fêmeas coletadas a partir de 2019 recrutaram no ambiente próximo ao período em que os rejeitos de minério atingiram a foz. Desta forma, as análises populacionais no presente refletem os efeitos deletérios do impacto causado em 2015 sobre esta espécie, impossibilitando nas condições atuais uma análise mais aprofundada das consequências dos metais sobre o futuro da população.

Figura 120: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da densidade média (indivíduos/m²) e Largura do cefalotórax (mm) do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), nos períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 – março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março/2021/Ano 3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2022/Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest durante o monitoramento do PMBA/Fest. Compartimento A: Costa das Algas, Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; Compartimento B: Barra do Riacho e Rio Doce; Compartimento C: Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas.

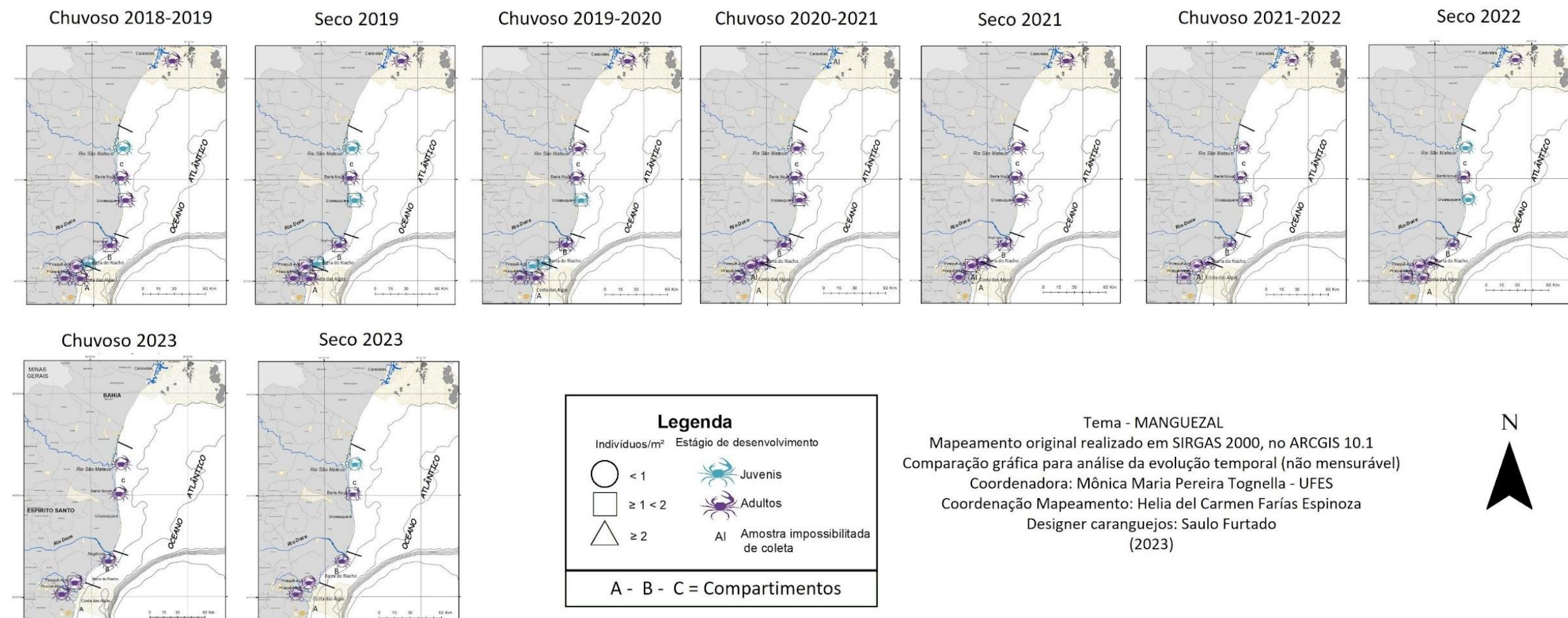
Densidade e Estágio de Desenvolvimento *Ucides cordatus*



A densidade média de *U. cordatus* nos estuários do compartimento A apresentaram relativamente poucas alterações no âmbito do PMBA/Fest. Houve predomínio de populações de juvenis nas populações no Piraquê-Mirim (PM), exceto no último ano do monitoramento. No Piraquê-Açu (PA) houve variação sazonal em relação à média do LC. A população no Rio Doce foi predominantemente jovem em todos os períodos analisados e a densidade variou entre 1.2 e 1.8 indivíduo/m² nos dois últimos períodos. A densidade em Barra Nova aumentou significativamente no período seco/2023 em relação ao chuvoso/2023 passando de 1.8 para 3.8 indivíduos/m². O LC médio nas populações ao norte do Rio Doce também variou sazonalmente. Em São Mateus, a densidade média permaneceu superior a 3 indivíduos/m², como registrado nos últimos anos. Os relatórios anteriores (RRDM, 2022 RT39C Ambiente Costeiro; FEST, 2023a) abordam a variação dos parâmetros na descrição dos mapas para os estuários que foram descontinuados no novo ciclo do PMBA/Fest e as Figura 115 e Figura 116 discute com mais detalhes a variabilidade da D e LC em cada estuário (PA, PM, RD, SM e BN).

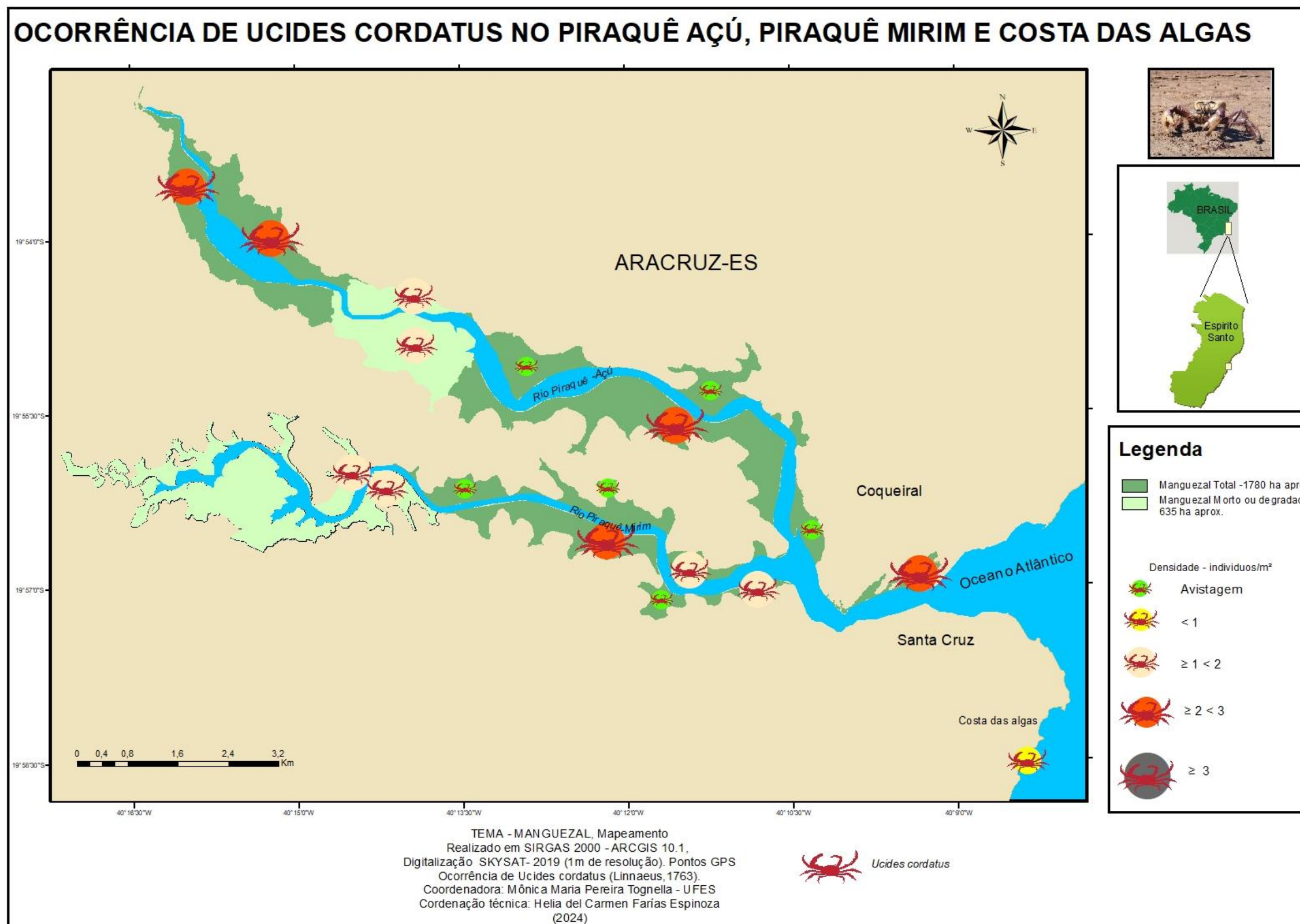
Figura 121: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da densidade média (indivíduos/m²) e Largura do cefalotórax (mm) do caranguejo-guaíamum, *Cardisoma guanhumi* (Linnaeus, 1763), nos períodos chuvosos (chuvoso_18/19: outubro/2018 – março/2019/Ano 1; chuvoso_19/20: outubro/2019 - março/2020/Ano 2; chuvoso_20_21: outubro/2020 – março/2021/Ano 3; chuvoso_21/22: outubro/2021 – março/2022/Ano 4; e chuvoso_22/23: outubro/2022 – março/2022/ Ano 5) e secos (seco_19: abril/2019 – setembro/2019/Ano 1; seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3; seco_22: abril/2022 – agosto/2022/Ano 4; e seco_23: abril/2023 – agosto/2023/Ano 5) durante o monitoramento do PMBA/Fest. Compartimento A: Costa das Algas, Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim; Compartimento B: Barra do Riacho e Rio Doce; Compartimento C: Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas.

Densidade e Estágio de Desenvolvimento *Cardisoma guanhumi*



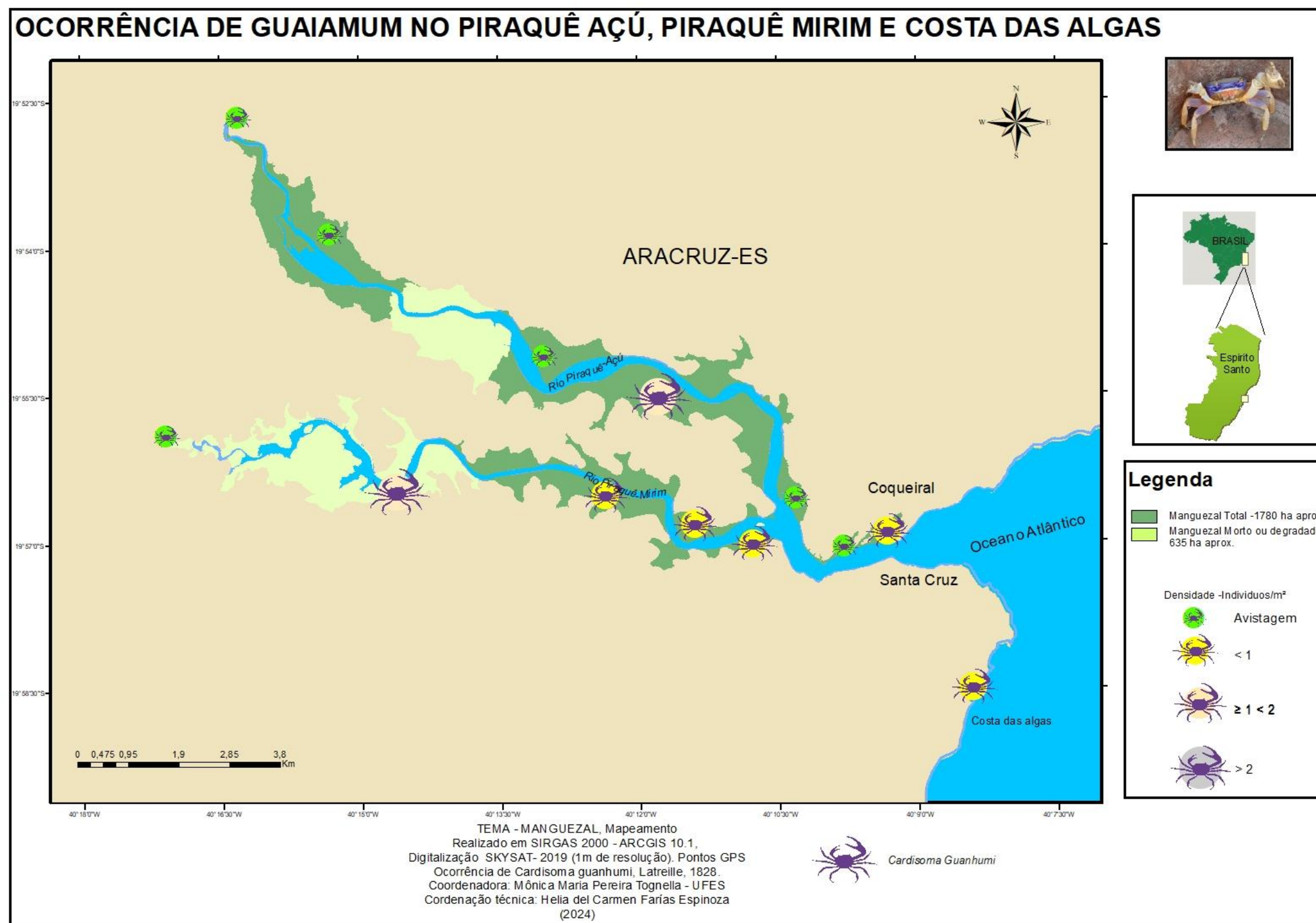
Houve predomínio de indivíduos adultos (LC > 55 mm) em todas as populações de *C. guanhumi* no último ano do monitoramento (períodos chuvosos e seco 2023), exceto em São Mateus no período seco, demonstrado pela distribuição de frequência nas classes de tamanho onde adultos apresentaram maior frequência relativa. Todas as populações apresentaram densidade média próxima a 1 indivíduo/m² no último ano como reportado nos relatórios anteriores. Destacamos novamente o declínio na densidade do Rio Doce e indícios de comprometimento desta espécie, já sob risco de extinção, em todas as áreas monitoradas como discutido e apresentado nos relatórios anteriores (RRDM, 2022 RT39C, Ambiente Costeiro; FEST, 2023a). Para maiores discussões vide Figura 117.

Figura 122: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da Ocorrência do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), densidade (indivíduos/m²), área de mangue (hectares) e avistagem (observação da espécie na formação vegetal). Compartimento A: Costa das Algas, Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim.



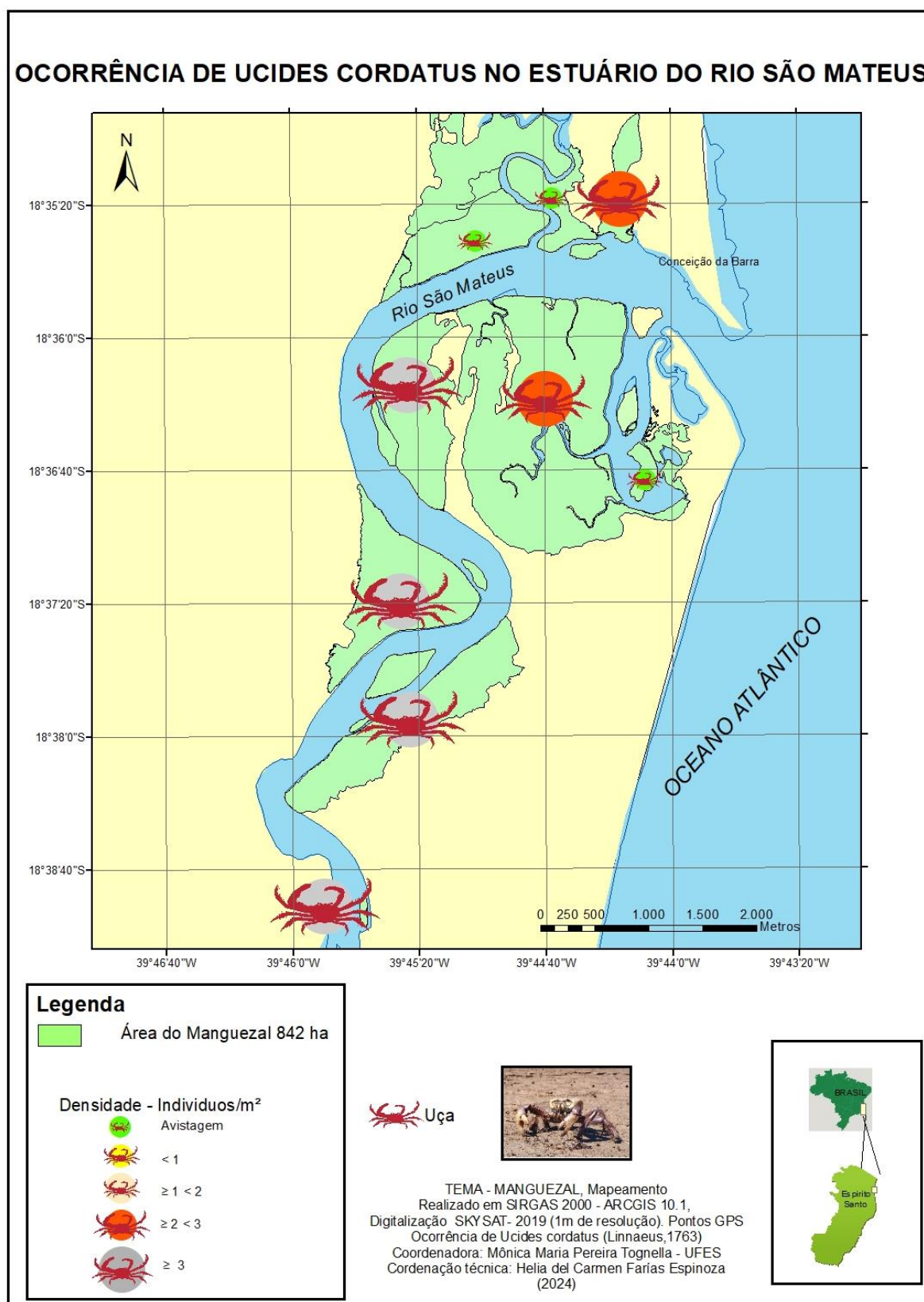
A maior densidade encontrada no estuário do Rio Piraquê-Açu e do Mirim foi de 2,56 indivíduos/m², considerando os cinco anos de monitoramento. Para Conti e Nalesso (2010) a maior densidade de uçá observada neste estuário foi de 3,9 indivíduos/m², sendo que a densidade média para o mesmo estudo esteve em 2.5 indivíduos/m², com maior ocorrência de jovens no estuário superior. Importante assinalar que a definição de habitat degradado (isto é, extensão do habitat composta por locais de manguezal degradado e de área morta) ocupa área em torno de 600 hectares (correspondendo a aproximadamente 35% do total de manguezal desta bacia hidrográfica). Ressalta-se que esta degradação ambiental, associada ao sinergismo dos metais no sedimento e na flora, pode comprometer o desenvolvimento destas espécies. A área de Costa das Algas, também no mapeamento da ocorrência, registra a espécie uçá com densidades abaixo de 1 indivíduo/m² (Figura 115). Esta particularidade da área deve-se ao tipo de manguezal, isto é, marinho e situado em substrato com granulometria mais arenosa e fragmentos rochosos. É possível observar no mapa que as ocorrências de indivíduos no intervalo de densidade $\geq 1 < 2$ indivíduos/m² se sobressai, seguido do intervalo $\geq 2 < 3$.

Figura 123: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da Ocorrência do caranguejo-guaiaumum, *Cardisoma guanhumi* (Linnaeus, 1763), densidade (indivíduos/m²), área de mangue (hectares) e avistagem (observação da espécie na formação vegetal). Compartimento A: Costa das Algas, Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim.



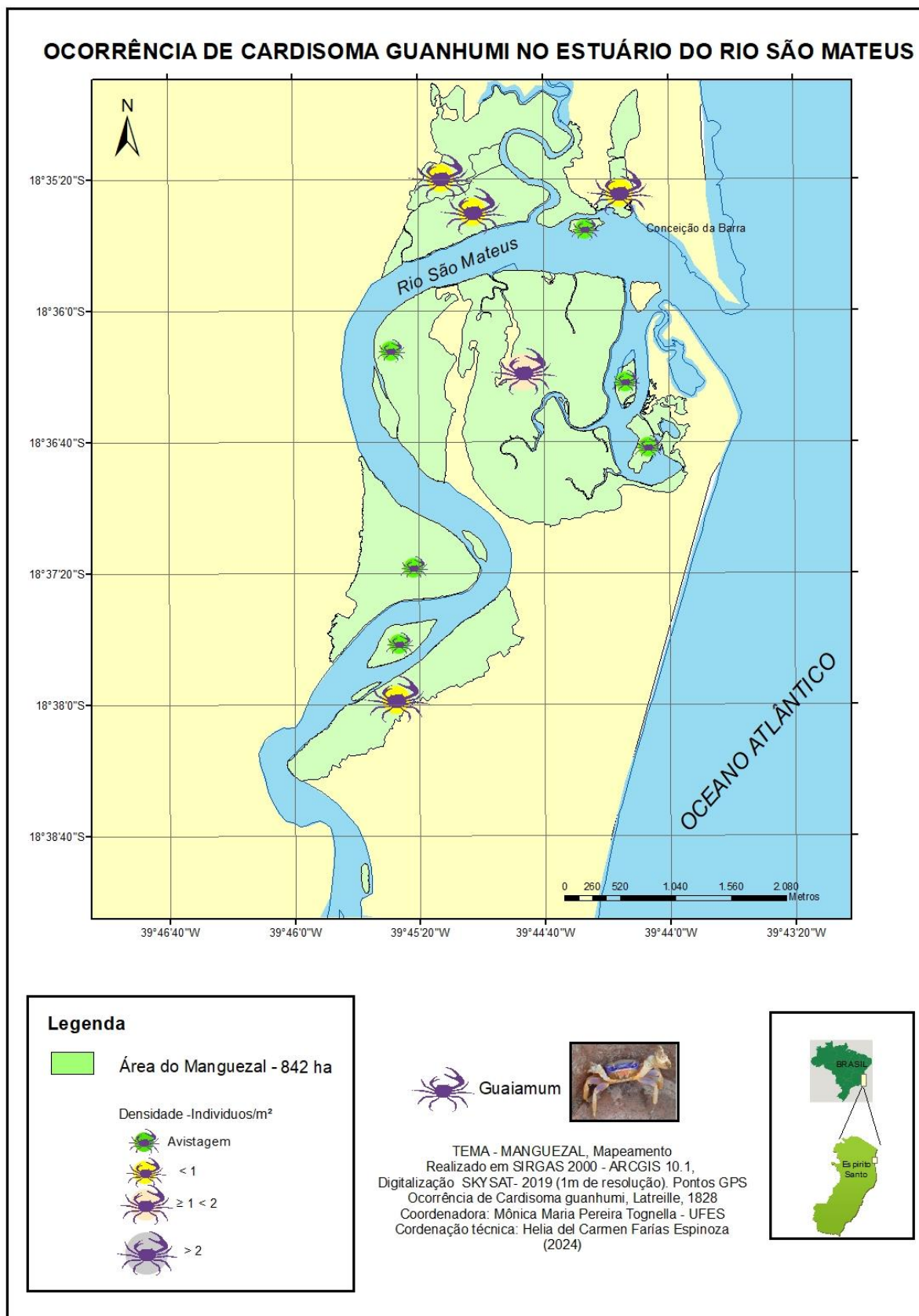
Desde o início deste monitoramento são encontradas espécies de guaiamum na fase adulta, com densidades inferiores a 2 indivíduos/m² (FEST, 2023a; FEST, 2023b). As manchas de vegetação foram digitalizadas, mas ao longo do tempo foi observado que as áreas degradadas foram aumentando no Piraquê-Mirim (SILVA, 2022). A área total que foi mapeada para o habitat do guaiamum correspondeu a 1780 hectares, aproximadamente, uma vez que este recurso está fortemente associado ao manguezal na sua extensão retroterra. Também é possível verificar no mapeamento que as áreas com densidades < 1 dominam no estuário do Piraquê-Mirim e no manguezal da Costa das Algas, sendo que foram avistados indivíduos da espécie guaiamum em regiões bem afastadas, no interior de ambos os estuários, relacionadas aos cordões arenosos pretéritos e as áreas de Restinga úmida. Tanto no rio Piraquê-Açu quanto no Piraquê-Mirim observa-se para cada um deles uma área com ocorrência no intervalo de $\geq 1 < 2$ indivíduos.

Figura 124: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da Ocorrência do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), densidade (indivíduos/m²), área de mangue (hectares) e avistagem (observação da espécie na formação vegetal).
Compartimento C: São Mateus.



A densidade encontrada nas áreas amostradas do *U. cordatus* variou entre 0,94 e 5,64 indivíduos/m². A ocorrência do indicador ecológico está dentro do esperado. Este mapeamento temático é complementar a análise da densidade e LC ao longo dos anos, mostrando que na média os caranguejos encontrados em São Mateus são juvenis (FEST, 2023a; FEST, 2023b). A distribuição do indicador foi observada ao longo de todo o habitat mapeado (polígonos de manguezal). Na porção sul do estuário há ocorrência de densidades acima de 3 indivíduos/m². Também foram observados (avistagem) caranguejos em outras 3 áreas referenciadas geograficamente. Duas delas estão ao norte no estuário, localizadas no município de Conceição da Barra, onde a equipe de monitoramento da fauna, cartografia e coordenação do tema identificam como sendo localidades de ampla influência antrópica, com canais de drenagem recebendo esgoto in natura, também observado no estudo de Fernandes (2007). Nesta região o Manguezal se encontra degradado, mas não foi mapeado, pois não foi possível navegar por esses canais, para realizar verdade de campo.

Figura 125: Indicador Ecológico Decapoda – Mapa temático da Ocorrência do caranguejo-guaíamum, *Cardisoma guanhumi* (Linnaeus, 1763), área de mangue (hectares) e avistagem (observação da espécie na formação vegetal). Compartimento C: São Mateus.



O mapa temático relativo a ocorrência deste indicador ecológico para o estuário do rio São Mateus descreve baixas densidades (menores a 1 indivíduo/m²) de *C. guanhumi* na maior parte do estuário. Entretanto, destaca-se a região da comunidade Meleiras onde a densidade ultrapassa este valor chegando a 1,71 indivíduo/m². Para complementar a ocorrência desta espécie foram verificados avistamentos em vários locais ao longo de todo o estuário. A digitalização da classe manguezal teve como resultado 842 ha. Áreas degradadas ao norte do estuário não foram mapeadas, pois não foi possível navegar por esses canais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS 5 ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO

Sedimentos

Os sedimentos refletem em suas propriedades e composição os processos decorrentes nos sistemas aquáticos. Além disto, sua capacidade de adsorção de contaminantes, reforça a importância dos sedimentos para a identificação do nível de contaminação dos ecossistemas. Nos manguezais, a presença de altas contribuições de lama e matéria orgânica auxilia ainda mais na retenção de compostos contaminantes, e tem se mostrado um risco para este ecossistema, visto que impactos na flora e fauna dos manguezais, oriundos das concentrações de metais associados aos rejeitos da barragem de Fundão, conforme observados durante o monitoramento PMBA/Fest.

O monitoramento PMBA/Fest permitiu a avaliação da variabilidade temporal dos sedimentos de importantes manguezais localizados entre o norte do Espírito Santo e o sul da Bahia. Os manguezais localizados no compartimento A (CA, PA e PM) possuem os maiores teores de areias, carbonato de cálcio e concentrações de arsênio quando comparados com as demais áreas estudadas. Este comportamento está relacionado aos terraços de abrasão encontrados na região e se tornam ainda mais evidentes em Costa das Algas. Isto ocorre, pois os manguezais lateríticos de Costa das Algas estão posicionados em áreas de forte influência marinha, enquanto os manguezais dos rios PA e PM estão sobre uma planície sedimentar associada a estes rios, sendo estuários de domínio de marés (Tognella et al. 2022). Isto contribui para um melhor desenvolvimento do ecossistema manguezal, denotando maiores teores de matéria orgânica, lama e concentração de metais (exceto para As e Mn) nos estuários PA e PM, estes com maiores concentrações do que aquelas observadas em CA. O compartimento A apresenta no geral, as concentrações relativamente mais baixas de metais do que os compartimentos B e C, ainda que demonstre em momentos do monitoramento concentrações que indicam contaminação simultânea para diversos metais, como pode ser observado nos períodos chuvoso 20/21 e seco/23. Isto reforça a influências das variáveis metereceanográficas sobre o transporte de sedimentos e metais para este compartimento em associação com as maiores vazões do rio Doce (Tognella et al. 2022).

A foz do Rio Doce, situada em Regência, (compartimento B) possui granulometria majoritariamente lamosa (acima de 70%) nas áreas monitoradas, e está diretamente ligada ao processo de descarga do

Rio Doce. No geral, esta área abriga as maiores concentrações de metais nos sedimentos e atua como área fonte crônica de diversos metais para os compartimentos A e C. Além de fornecer o aporte dos elementos metálicos, os estuários dos demais compartimentos seguem a dinâmica de aumento ou diminuição das concentrações observada na foz, expressando assim a mesma tendência temporal da foz, ainda que em concentrações menores. O período chuvoso 20/21, por exemplo, demonstra as maiores concentrações de V, Co, Ni, Cu, As, Ba, Pb, Cr, Fe, Al e Mn para todos os estuários amostrados. E com exceção do As, todos os elementos apresentaram as maiores concentrações no Rio Doce.

O compartimento C (UR, BN e SM) por sua vez, recebe maiores aportes das concentrações de metais e dos teores de lama do Rio Doce. Isto acontece devido ao sentido preferencial da deriva litorânea de sul para norte, que carrega a maior parte do material do Rio Doce para o compartimento C, fazendo com que esta área apresente maiores concentrações de metais quando comparadas com o compartimento A. Mesmo com teores de matéria orgânica relativamente mais baixos do que os observados no compartimento A, os estuários do compartimento C apresentam granulometria mais lamosa, o que contribui para a adsorção dos metais na matriz sedimentar.

É ainda importante ressaltar que a distribuição do material do Rio Doce, assim como o recebimento deste material pelos manguezais adjacentes está em função das variações dos padrões meteorológicos, hidrológicos e oceanográficos.

Rhizophora mangle

O monitoramento do estresse oxidativo na série temporal evidencia redução nos valores de DPPH em todos os compartimentos analisados para *R. mangle*. Pode-se citar os períodos Seco 2019 e Chuvoso 2020/2021 no compartimento A, Chuvoso 19/20 no compartimento B e Seco 2019 no compartimento C como os períodos de maior valor para o radical DPPH (menor capacidade antioxidante, maior estresse oxidativo). Também se observou redução na concentração dos pigmentos fotossintetizantes, principalmente carotenoides já a partir do Ano 1, nos compartimentos A e C. Para clorofila-a, o Ano 5 foi o que apresentou menor concentração, nos compartimentos A e C. No compartimento B, os valores do pigmento foram estáveis até o Seco 2021, com decréscimo após esse período. Comportamento semelhante pode ser observado para clorofila-b. Para os metais analisados ao longo do monitoramento, houve redução na concentração de Fe a partir do período Chuvoso 2020/2021. Maior concentração do metal ocorreu no período Seco 2019. Manganês manteve-se estável em todos os períodos e compartimentos. A maior concentração de Zn em todos os compartimentos foi no período Chuvoso 2018/2019, com decréscimo de valores nos demais períodos. Entretanto, destaca-se o compartimento A, com recuperação na concentração do metal nos períodos Seco 2022 e Seco 2023. Os maiores valores para Cu foram nos períodos Seco 2019 e Seco 2022 (compartimento A), Seco 2019 (compartimento B) e Chuvoso 2020/2021 (compartimento C), sem padrões definidos. Para Pb, o período Chuvoso 2019/2020 apresentou alta concentração do metal, comparativamente aos demais períodos, em todos os compartimentos.

Na análise temporal por estuário, houve redução de DPPH em todos os estuários, considerando o início do monitoramento (Ano 1 e 2). Exceção apenas para São Mateus, onde percebe-se aumento de DPPH no período Chuvoso 2022/2023, com valores comparáveis aos encontrados no Chuvoso 2019/2020. Em relação aos pigmentos, as maiores concentrações foram observadas nos dois primeiros anos do monitoramento em todos os estuários. Após isso, percebe-se redução de valores, principalmente nos estuários do PA, PM, CA, UR, SM e CR. Os estuários de BR e BN apresentaram recuperação nos valores dos pigmentos nos períodos Chuvoso 2020/2021 e Seco 2021. Na série temporal dos metais foliares, registrou-se maior concentração de Fe no período Seco do Ano 1, na maioria dos estuários. A partir daí, houve redução na concentração do metal, exceto em BN que manteve uma constante durante todo o monitoramento. Destaca-se, no estuário de CA, o período Seco 2022, com aumento dos valores de Fe. Para Mn, não houve variação nas concentrações do metal nos períodos e estuários analisados. Observa-se manutenção de Zn para *R. mangle* analisada em BR, UR e BN. Altos valores de Cu foram encontrados nos estuários de BR e SM, na maioria dos períodos analisados. Para Pb, os resultados mostram alta concentração no Ano 1 e Ano 2 em todos os estuários. Apesar da redução nos valores do metal nos demais períodos, ainda estão acima dos limites para Pb em folhas de *R. mangle* encontrados na literatura.

Ao longo dos cinco anos de monitoramento, observamos que os parâmetros fotossintéticos de *R. mangle* indicam que nos compartimentos (A, B e C) a atividade bioquímica apresenta uma redução bem perceptível, uma vez que o maior valor médio de assimilação de carbono foi observado apenas no primeiro monitoramento (Chuvoso 2018/2019), reduzindo nos anos seguintes, independente do período. Contudo, redução bastante acentuada no período seco 2021 manteve-se até o último período seco de monitoramento (Seco 2023). Diferente da fase bioquímica, a fase fotoquímica da fotossíntese não apresentou redução constante ao longo do monitoramento, uma vez que exibiu melhoria da eficiência fotoquímica nos períodos: Chuvoso 2020/2021, Seco 2021 e Chuvoso 2021/2022. Entretanto, manteve a tendência de redução, como observado no último ano de monitoramento, com redução bastante acentuada em ambos os períodos. Apesar disso, os menores valores médios foram registrados no período seco, quando comparado no mesmo ano de monitoramento, indicando um padrão sazonal da atividade fotossintética, por compartimento. Na análise temporal por estuário também houve redução dos processos bioquímicos e fotoquímicos ao longo de todo monitoramento, porém foi observado uma breve recuperação no Ano 3 e Ano 4, para ambos os períodos, nos estuários do Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, voltando a reduzir no ano seguinte.

A integração dos parâmetros fisiológicos e dos metais em folhas indicam que no período chuvoso, o compartimento A, apresentou melhor desempenho fotossintético sendo associado à maior concentração de Zn no tecido foliar e o compartimento C, com menor desempenho fotossintético, foi associado à maior concentração de Mn, Pb e Fe no tecido foliar. No compartimento C, apesar do efeito positivo do Cu sobre a desempenho fotoquímico e concentração de clorofila, o metal é correlacionado ao estresse oxidativo o que pode limitar a produtividade final neste compartimento. As análises para o período seco indicam que os indivíduos de *R. mangle* monitorados no compartimento A continuam apresentando melhor desempenho fotossintético associado à concentração de Zn e Fe no tecido foliar.

Entretanto, o Fe foi associado ao aumento do estresse oxidativo, da mesma maneira que o Pb. O compartimento C permanece com menor desempenho fotossintético em função da maior concentração de Cu e Mn, indicando que o sistema fotossintético apresenta problemas crônicos neste compartimento, o que compromete sua produção primária. Efeitos prejudiciais do Pb sobre o desempenho fotossintético e atividade antirradicalar só foram registrados nas análises a partir do Ano 4, além disso na construção de um modelo com os dados de metais foliares e parâmetros fisiológicos para a espécie foi verificado que Pb e Fe são responsáveis pela variabilidade dos dados fotossintéticos e de estresse oxidativo.

Laguncularia racemosa

Os maiores valores de DPPH (menor capacidade antioxidante, maior estresse oxidativo), observados para *L. racemosa* ocorreram nos Anos 1 e 2 em todos os estuários. Houve redução desses valores nos demais períodos, o que não minimiza sua relevância em termos de poder oxidativo. Ocorreu recuperação nos valores de DPPH no período Seco 2023 em SM. Uma possível razão para os sintomas de estresse oxidativo pode ser devido à redução da eficiência da defesa antioxidante causada pela concentração elevada de metais em algumas situações. Não há padrão definido para a concentração de pigmentos em folhas de *L. racemosa*. Apesar disso, destacam-se os Anos 1 e 2 com maiores valores. Em relação aos metais analisados na série temporal, observou-se aumento na concentração o Fe no último ano de monitoramento (Ano 5), principalmente nos estuários de BN e SM. Diferentemente, não existiu grande variação nas concentrações de Mn nos períodos analisados nos estuários de BN e SM. Destacam-se os períodos Seco 2019 para PM e CR e o Chuvoso 2021/2022 para UR com os maiores valores encontrados para estes estuários. Observa-se manutenção de Zn foliar em UR, BN e SM ao longo da série histórica. Não houve um padrão estabelecido para a concentração de Cu. Cada estuário apresentou um período específico de maior valor do metal. Ainda assim, pode-se destacar os períodos Chuvoso 2019/2020 (UR e BN), Chuvoso 2020/2021 (PM, SM e CR), Seco 2022 (BN e SM) e Seco 2023 (BN). A maior concentração e Pb ocorreu no período Chuvoso 2019/2020 em todos os estuários, semelhantemente à encontrada para a espécie *R. mangle*.

A análise temporal da atividade fotossintética pouco diferiu estatisticamente ao longo dos cinco anos, desta forma ainda não é possível inferir uma tendência, seja de aumento ou redução da eficiência fotossintética. Contudo, redução da atividade fotoquímica é destacado em Barra Nova no Ano 5 e no período chuvoso do Ano 5 em São Mateus. A integração de dados de metais foliares e parâmetros fisiológicos de *L. racemosa*, para os cinco anos de monitoramento, indica alterações na produção primária e na atividade antirradicalar da espécie associada ao aumento dos metais nas folhas (Fe, Mn, Zn e Cu), principalmente no período seco, tendo São Mateus menor desempenho fotossintético. No período chuvoso, destaca-se a ação do Fe na redução do desempenho fotoquímico. Efeito do Pb sobre a fotossíntese não é identificado com os dados dos cinco anos, entretanto o metal foi associado ao estresse oxidativo, assim como em *R. mangle*. O modelo construído para *L. racemosa* aponta Mn, Fe e Pb na folha como os principais responsáveis pela variabilidade dos dados biológicos, sendo o Fe e Mn atuando negativamente sobre a produção primária. Apesar desses resultados, a espécie, em algum grau, consegue manter equilibrada a fase fotoquímica e bioquímica da fotossíntese.

Avicennia schaueriana

Na série temporal para DPPH em *A. schaueriana*, destaca-se o estuário de CA, com altos valores atribuídos ao Ano 3 e período Seco do Ano 4. Em CR, não teve padrão definido para DPPH. Em relação aos pigmentos fotossintetizantes, observa-se redução nas concentrações a partir do período Seco 2021 em CA e Chuvoso 2019/2020 em CR. No geral, existiu recuperação na concentração de Fe em CA no último ano de monitoramento (Ano 4). Não houve variação na concentração de Mn nos estuários analisados, com tendência de manutenção durante a série temporal. Contrariamente, para Zn em CA, a maior concentração do metal foi encontrada no período Chuvoso 2020/2021, não sendo possível definir uma tendência para os demais períodos. Já em CR, o Ano 1 e Ano 4 foram semelhantes em relação aos maiores valores de Zn. Para Cu, ocorreu tendência de manutenção nos períodos do monitoramento, exceto no Chuvoso 2020/2021 com elevada concentração do metal. O comportamento de Pb foi semelhante ao das demais espécies, com maiores valores no Ano 1 do monitoramento. A partir daí, registra-se redução na concentração e tendência de manutenção.

Talipariti pernambucense

Na série temporal, observa-se aumento do estresse oxidativo em *T. pernambucense* analisada no Rio Doce no período Seco 2023. Os valores de DPPH são os maiores já encontrados durante toda a série histórica para este estuário. Observa-se manutenção na concentração de pigmentos fotossintetizantes, sem grandes alterações durante o monitoramento. Houve recuperação na concentração de Fe no último ano de monitoramento (Ano 5). Em relação ao Mn, destaca-se o período Seco 2023 com a maior concentração observada do metal desde o início da série temporal. Não existiu variação para Zn e Cu no Rio Doce. Já para Pb, assim como nas demais espécies, o Ano 1 foi o de maior concentração do metal.

A espécie *Talipariti pernambucense*, monitorada ao longo dos cinco anos na foz no Rio Doce (compartimento B) e, a partir do Ano 4, nos estuários do Piraquê-Açu (compartimento A) e São Mateus (compartimento C), apresentou tendência de redução da atividade fotossintética nos compartimentos B e C, com destaque para o Ano 5. A redução da produção primária da espécie foi associada à concentração de Fe e Mn na folha e, quando se considera todos os compartimentos na análise, o Pb também altera o metabolismo fotossintético e, além disso, age sobre a atividade antirradicalar, sendo correlacionado com o aumento do estresse oxidativo; Cu e Zn têm um papel menor sobre o estresse oxidativo, tendência identificada considerando apenas os dados do Rio Doce.

Fator de bioacumulação

Baixo FBA para Fe, comum a todas as espécies. Contrariamente, pode-se notar alto FBA para Mn em *R. mangle* durante todo o monitoramento. As demais espécies oscilam entre alta e média bioacumulação. Em relação ao Zn e Cu, teve médio FBA na maioria dos períodos analisados para todas as espécies. Para Pb, houve médio e baixo FBA ao longo da série temporal, exceto nos períodos Seco 2019 e Chuvoso 2019/2020 para todas as espécies.

Decapoda

Os resultados deste monitoramento esclareceram a variabilidade sazonal e temporal dos parâmetros populacionais (médias da densidade e tamanho médio da carapaça) de *U. cordatus* nos manguezais do norte do Espírito Santo. Em adição, verificamos a relação desses parâmetros com as concentrações de metais no sedimento e nas folhas e investigamos se ocorre influência significativa dos metais pesados sobre o comportamento da D e LC médio. Os resultados revelaram que os bosques de mangue situados nos estuários ao norte da foz do Rio Doce apresentaram populações mais densas e com predomínio relativo de indivíduos jovens, o que significa que houve maior frequência de indivíduos que realizam a ecdise (troca de carapaça). Desta forma, estes indivíduos ao longo do ano estão sujeitos a maior probabilidade de assimilação dos metais proveniente dos rejeitos afetando consequentemente o Potencial de Extração Futuro (FEP), uma vez que estão mais susceptíveis à absorção de metais durante os processos fisiológicos inerentes ao processo de ecdise. Ao sul da foz do Rio Doce, as populações foram relativamente menos densas, em torno de 2 indivíduos/m², e o Piraquê-Açu exibiu maior frequência relativa de adultos. Destaca-se que em todos os estuários avaliados a baixa frequência de indivíduos com tamanho comercial (LC > 60 mm) impactando diretamente o estoque comercial do caranguejo-uçá. As análises de correlações identificaram que indivíduos com maior tamanho médio foram registrados em bosques com elevada concentração de metais no sedimento e nas folhas, fator preocupante para a dinâmica populacional uma vez trata-se de indivíduos potencialmente reprodutivos. A influência desses metais sobre o tamanho e a densidade média foram esclarecidas usando RDA. Esta análise multivariada mostrou que as propriedades do sedimento (teor de lama, matéria orgânica e CaCO₃), salinidade e especialmente a concentração de Cr, Mn e Pb no sedimento e Cu, Fe e Zn nas folhas desempenharam um papel importante na variabilidade da densidade e LC médio das populações de *U. cordatus* nos bosques de mangue dos estuários localizados ao sul e ao norte da foz do Rio Doce considerando todos os períodos chuvosos e secos do PMBA/Fest, embora a contribuição de cada variável abiótica tenha variado entre os compartimentos A e C. Considerando a importância das concentrações dos metais nos diferentes compartimentos (sedimento e folhas) e sua interação com os parâmetros populacionais, demonstrada neste estudo, ressalta-se a variabilidade da resposta das populações frente ao impacto ao longo dos 5 anos, sendo perceptível ao avaliar toda a abrangência temporal do monitoramento indicando impacto crônico nesse nível organizacional. O número de indivíduos de *C. guanhumi* por m² manteve-se próximo a 1 indivíduo/m² nos estuários e com média inferior a 1 nos últimos 2 anos especialmente no Rio Doce, área potencialmente impactada, evidenciando a vulnerabilidade dessa população frente aos efeitos tóxicos associados aos metais presentes na água, sedimento e folhas. O comportamento e a variabilidade sazonal dos parâmetros populacionais de ambas as espécies avaliadas em escala regional fornecem informações básicas e altamente relevantes para compreender a estrutura e dinâmica populacional que são essenciais para avaliação do estoque pesqueiro e fornecem subsídios para a gestão pesqueira desses recursos econômicos.

5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

DECAPODA: Não houve coleta de dados (contagem e medição das galerias, captura e medição dos indivíduos) que permitam a estimativa dos parâmetros densidade e estrutura populacional, da espécie *Cardisoma guanhumi* no estuário de Caravelas no período chuvoso 2021 (março 2021). Esses dados estão associados com o indicador Decapoda, meta 2 (Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos) e submeta 2.1 (Avaliação da estrutura e dinâmica populacional dos decápodes das espécies *Ucides cordatus* e *Cardisoma guanhumi*). Os produtos previstos são densidade, largura e razão sexual das espécies. Houve dificuldades de deslocamento durante o período de amostragem para as coletas de informações a respeito desta espécie. Há ausência de dados para o período chuvoso 2021 tanto no relatório quanto na planilha de dados brutos uma vez que não houve atividades de campo. Entretanto, os dados pretéritos e aqueles obtidos posteriormente a este período permitiram o diagnóstico da população e consequentemente, considerando todo o período do PMBA/Fest, a meta foi cumprida. A justificativa foi reportada no RSE 2023 (FEST, 2023b).

Não foi possível a coleta das fêmeas ovígeras e estimativa da fecundidade de *U. cordatus* nos estuários em Barra Nova (Mariricu) e Caravelas durante o período reprodutivo em 2019 (janeiro a abril), e nos estuários em Urussuquara, São Mateus e Barra Nova (Mariricu) durante o período reprodutivo em 2020 (janeiro a abril) como reportado nos primeiros relatórios (RRDM, 2019 RT21, Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2020 RT36C, Ambiente Costeiro). Esses dados estão associados com o indicador Decapoda, meta 2 (Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos) e submeta 2.2 (Estimativa da fecundidade de *U. cordatus*). O produto previsto é a fecundidade média da espécie. A ausência desses dados foi justificada pela dificuldade na realização das coletas das fêmeas ovígeras pelos catadores que acompanhavam as atividades de campo. Durante o período de desenvolvimento embrionário dos ovos, as fêmeas da infraordem Brachyura permanecem entocadas em suas galerias até o momento da liberação de suas larvas (CASTIGLIONI e NEGREIROS-FRANSOZO, 2006) e as galerias podem atingir de 90 a 180 cm de profundidade (BRANCO, 1993). Os catadores locais, contratados pela equipe do Tema Manguezal, relataram dificuldades para a captura das fêmeas ovígeras de *U. cordatus*, pois as galerias são profundas e construídas no entorno das raízes de mangue dificultando o acesso pela técnica de braceamento, além disso, fixadas a estas raízes muitas vezes há presença de ostras limitando ainda mais a captura. Somado a esta justificativa, a pandemia Covid-19 impossibilitou as saídas de campo para novas tentativas de captura das fêmeas em março e abril de 2020 (últimos meses do período reprodutivo da espécie). Por se tratar de um período específico para a coleta do material (fêmeas ovígeras) a ser analisado, não foi possível novas tentativas de captura, uma vez que o período reprodutivo ocorre somente na estação chuvosa. Há ausência de dados para os períodos reprodutivos (chuvosos) 2019 e 2020 para os estuários mencionados acima tanto nos relatórios quanto na planilha de dados brutos. Entretanto, os dados coletados no período de abrangência do PMBA/Fest permitem estimar a fecundidade da espécie nos estuários e, consequentemente, a submeta foi cumprida não impactando na meta como um todo. A justificativa também foi reportada no RSE 2023 (FEST, 2023b).

No período reprodutivo de 2023 (dezembro/2022 a março/2023) houve dificuldade de coleta de fêmeas ovígeras para a análise e estimativa do parâmetro fecundidade de *U. cordatus* no estuário do rio Piraquê-Mirim. Os dados obtidos a partir da análise das fêmeas estão associados com o indicador Decapoda, meta 2 (Diagnóstico sobre a fauna do manguezal, compartimento caranguejos) e submeta 2.2 (Estimativa da fecundidade de *U. cordatus*). O produto previsto é a fecundidade média. Após as tentativas de captura das fêmeas ovígeras, foram obtidos alguns exemplares. Em laboratório, constatou-se que a massa ovígera não estava apta para separação e contagem dos ovos. Estes estavam em estágio próximo a eclosão (estágio de desenvolvimento embrionário final), estando a membrana que reveste os ovos fragilizada e sua conservação em baixa temperatura e, posterior, utilização de solução de hipoclorito de sódio (NaClO) para melhor manuseio da massa ovígera e álcool 70% para conservação inviabilizou o processamento e contagem dos ovos. Desta forma, os dados não foram apresentados, pois não refletem a realidade da espécie no momento para aquele estuário. Por se tratar de um período específico para a coleta do material (fêmeas ovígeras) a ser analisado não foi possível novas tentativas de captura a partir de abril, uma vez que o período reprodutivo ocorre somente na estação chuvosa. Há ausência de dados da fecundidade para o período reprodutivo (chuvoso) 2023 no estuário tanto no relatório quanto na planilha de dados brutos. Os valores dos parâmetros peso subamostra, número de ovos da subamostra e fecundidade constam na planilha de dados brutos com a sigla “ND” que significa “Resultados não determinados por falhas/erros durante as fases de processamento e/ou análise”. Entretanto, os dados obtidos antes deste período permitem a estimativa da fecundidade média da população, e consequentemente, a submeta foi cumprida não ocasionando impacto no alcance da meta considerando o período de abrangência do PMBA/Fest. A justificativa foi reportada no RSE 2023 (FEST, 2023b).

6 REFERÊNCIAS

- AFFONSO, J. C. M. **Estoque de captura comercial de *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ocypodidae)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2014.
- AHEARN, G. A.; MANDAL, P. K.; MANDAL, A. Mechanisms of heavy-metal sequestration and detoxification in crustaceans: a review. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 174, n. 6, p. 439-452, 2004.
- ALBINO, J.; CONTTI NETO, N.; OLIVEIRA, T. C. A. The Beaches of Espírito Santo. **Brazilian beach systems**, p. 333-361, 2016.
- ALMEIDA, E. V.; KÜTTER, V. T.; MARQUES, E. D.; DA SILVA-FILHO, E. V. First assessment of trace metal concentration in mangrove crab eggs and other tissues, SE Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 7, p. 1-14, 2016.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Série Histórica de estações – estação Linhares RD15.**
Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. 2023.

ANGER, K. **The biology of decapod crustacean larvae.** Lisse: AA Balkema Publishers, 2001.

AGATHOKLEOUS, E.; FENG, Z.; PEÑUELAS, J. Chlorophyll hormesis: Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants? *Science of The Total Environment*, v. 726, 138637, 2020.

ARAR, E. J. Method 447.0 - Determination of Chlorophylls a and b and Identification of Other Pigments of Interest in Marine and Freshwater Algae Using High Performance Liquid Chromatography with Visible Wavelength Detection. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.

ARNHOLD, E. ds: descriptive statistics. R package version 4.0. 2019.

ARNHOLD, E. easyanova: Analysis of Variance and Other Important Complementary Analyses. R package version 8. 2022.

ARRIVABENE, H. P., SOUZA, I., CÓ, W. L. O., RODELLA, R. A., WUNDERLIN, D. A., & MILANEZ, C. R. (2014). Functional traits of selected mangrove species in Brazil as biological indicators of different environmental conditions. *Science of the Total Environment*, 476, 496-504.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental.** 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BAKSHI, M.; GHOSH, S.; CHAKRABORTY, D.; HAZRA, S.; CHAUDHURI, P. Assessment of potentially toxic metal (PTM) pollution in mangrove habitats using biochemical markers: A case study on *Avicennia officinalis* L. in and around Sundarban, India. *Mar. Pollut. Bull.*, 133, 157–172, 2018.

BANCI, K. R., MORI, G. M., DE OLIVEIRA, M. A., PAGANELLI, F. L., PEREIRA, M. R., & PINHEIRO, M. A. A. Can environmental pollution by metals change genetic diversity? *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) as a study case in Southeastern Brazilian mangroves. **Marine Pollution Bulletin**, v. 116, n. 1-2, p. 440-447, 2017.

BEMBE, S.; LIANG, D.; CHUNG, J. S. Optimal temperature and photoperiod for the spawning of blue crab, *Callinectes sapidus*, in captivity. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 11, p. 5498-5505, 2017.

BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings Soil Science Society of America**, v.29. p. 71-72, 1965.

BRANCO, J. O. Aspectos bioecológicos do caranguejo *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Decapoda) do manguezal do Itacorubi, Santa Catarina, BR. **Arquivos de biologia e tecnologia**, v. 36, n. 1, p. 133-148, 1993.

BRASIL (2004), Instrução Normativa do Ministério de Meio Ambiente nº5, 21 de maio de 2004. Reconhece como espécies ameaçadas de extinção espécies sobre exploradas ou ameaçadas de sobre exploração, os invertebrados aquáticos e peixes constantes do anexo desta instrução. Diário oficial República Federativa do Brasil, Brasília, nº 102, 28 de maio de 2004.

BRASIL. MMA, 2014. Portaria MMA N° 445, de 17 de dezembro de 2014. Lista Nacional de Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Ministério do Meio Ambiente, in: Diário Oficial Da União, 2014.

BRASIL. MMA, 2018. Portaria Interministerial N° 38, de 26 de julho de 2018. Ministério do Meio Ambiente, in: Diário Oficial Da União, 2018.

BROMENSCHENKEL, V. C. S. **Estimativa da População de *Ucides cordatus* em Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS)**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2016.

BUCHMAN, M. F. NOAA Screening Quick Reference Tables. 1999. **Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration**. Seattle, WA, 12p, 1999.

CABAÑAS-MENDOZA, M. R.; ANDRADE, J. L.; SAURI-DUCH, E.; et al. Lead tolerance of *Laguncularia racemosa* is associated to high proline accumulation and high antioxidant capacities. **Biometals**, v. 36, p. 887–902, 2023.

CASTIGLIONI, D. D. S., & NEGREIROS-FRANSOZO, M. L. Ciclo reprodutivo do caranguejo violinista *Uca rapax* (Smith) (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae) habitante de um estuário degradado em Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, p. 331-339, 2006.

CAVALCANTI, V. F., SOARES, M. L. G., ESTRADA, G. C. D., & CHAVES, F. O. (2009). Evaluating mangrove conservation through the analysis of forest structure data. *Journal of Coastal Research*, 390-394.

CAZAN, A. M.; KLERKS, P. L. Effects from a short-term exposure to copper or cadmium in gravid females of the livebearer fish (*Gambusia affinis*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 118, p. 199-203, 2015.

CHENG, H.; TAM, N.F.; WANG, Y.; LI, S.; CHEN, G.; YE, Z. Effects of copper on growth, radial oxygen loss and root permeability of seedlings of the mangroves *Bruguiera gymnorhiza* and *Rhizophora stylosa*. **Plant Soil**, v. 359(1–2), 255–66, 2012.

CORRÊA JR, J. D.; DA SILVA, M. R.; DA SILVA, A. C. B.; DE LIMA, S. M. A.; MALM, O.; ALLODI, S. Tissue distribution, subcellular localization and endocrine disruption patterns induced by Cr and Mn in the crab *Ucides cordatus*. **Aquatic Toxicology**, v. 73, n. 2, 139-154, 2005.

COSTA, F. P. D.; BUARQUE, D. C., BRÊDA, J. P. L. F., & FÖEGER, L. B. Impact of climate change on the flow of the Doce River basin. **RBRH**, v. 27, 2022.

COSTA, R. G.; ARAÚJO, C. F. S.; BAH, A. H. F.; GOMES-JUNIOR, E. A.; RODRIGUES, Y. J. M.; MENEZES- FILHO, J. A. Lead in mangrove root crab (*Goniopsis cruentata*) and risk assessment due to exposure for estuarine villagers. **Food Additives and Contaminants**. B v. 11(4), 293e301, 2018. <https://doi.org/10.1080/19393210.2018.1504824>

CONTI, R. C.; NALESSO, R. C. Status of the population structure of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Decapoda: Ocypodidae) on the Piraquê-açu River estuary, Espírito Santo, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, p. 81-92, 2010.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Revista, Viçosa: UFV, 2 ed., v. 2, 585p, 2006.

DEPOLO, U. D.; GONTIJO, A. B. P.; ARAUJO, A. A.; FALQUETO, A. R.; PASCOALINI, S. S.; LOPES, D. M. S.; SCHMILDT, E. R.; LEITE, S.; TOGNELLA, M. M. P. The role of iron on the growth and development of the seedlings of *Rhizophora mangle* L. **Scientific Research and Essays**, v. 17, n. 3., p. 35-45, 2022.

DE SANTANA LOPES, Dielle Meire; DE OLIVEIRA CHAVES, Filipe; PEREIRA TOGNELLA, Monica Maria. Mangrove Mortality: analyses of natural and anthropic causes and their effects on forest dynamics. **Journal of Coastal Research**, v. 95, n. SI, p. 102-107, 2020.

DIAS, J. A. Análise textural. In: DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**. Ed. preliminar. Algarve, 2004.

DUARTE, L. F.; SOUZA, C. A.; PEREIRA, C. D. S.; PINHEIRO, M. A. A. Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: in situ case study integrating chemical and biomarkers analyses. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** V. 145, 367e376, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.051>.

DUARTE, L. F.; SOUZA, C. A.; PEREIRA, C. D. S.; PINHEIRO, M. A. A. Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: in situ case study integrating chemical and biomarkers analyses. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** V. 145, 367e376, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.051>.

DUARTE, L. F.; BLASCO, J.; CATHARINO, M. G. M.; MOREIRA, E. G.; TROMBINI, C.; NOBRE, C. R., & PEREIRA, C. D. S. Lead toxicity on a sentinel species subpopulation inhabiting mangroves with different status conservation. **Chemosphere**, v. 251, p. 126394, 2020.

DUARTE, M. S; MAIA-LIMA, F. A; MOLINA, W. F. Interpopulational morphological analyses and fluctuating asymmetry in the brackish crab *Cardisoma guanhumi* Latreille (Decapoda, Gecarcinidae), on the Brazilian Northeast coastline. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 3, n. 3, p. 294-303, 2008.

FALQUETO, A.R.; SILVA, D.M.; FONTES, R.V. Photosynthetic performance of mangroves *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* under field conditions. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, 577-582, 2008.

FARIAS, C. O; HAMACHER C.; WAGENER A. DE L. R.; CAMPOS C DE R.; GODOY J. M. Trace metal contamination in mangrove sediments, Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, n. 6, p.1194-1206, 2007.

FERNANDES, M.M.S. **Comunidades de pescadores artesanais de Meleiras e Barreiras, Conceição da Barra-ES**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo Estado de São Paulo. São Paulo, 2007.

FERNANDES, L. M. G.; DE OLIVEIRA BOTELHO, E. R.; DO VALE BARRETO, A. Fecundidade do caranguejo *Ucides cordatus* (LINNAEUS, 1763) (Decapoda, Brachyura) em Passo de Camaragibe, Alagoas, Brasil. **Boletim Técnico Científico CEPENE**, v. 18, n. 1, p. 9-15, 2010, 2010.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D.A. ExpDes. pt: pacote experimental designs (Portuguese). R package version 1.2.2. 2021.

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Relatório Anual do PMBA/Fest – RT-43, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia.193 pag.2023a.

FEST, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. Relatório Semestral de Evolução do PMBA/Fest – RT-44, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. 79 pag. 2023b.

FIELD, ANDY; MILES, JEREMY; FIELD, ZOË. **Discovering statistics using R**. Sage publications, 2012.

GALILI, T. dendextend: an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. *Bioinformatics*, 31(22), 3718-3720, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv428>

GIBSON, R. N.; ATKINSON, R. J. A.; GORDON, J. D. M. Role, routes and effects of manganese in crustaceans. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**, v. 44, p. 61- 83, 2006.

GIFFORD, C. A. Some observations on the general biology of the land crab, *Cardisoma guanhumi* (Latreille), in south Florida. **The Biological Bulletin**, v. 123, n. 1, p. 207-223, 1962.

GOES, P., BRANCO, J. O., PINHEIRO, M. A. A., Barbieri, E., Costa, D., & Fernandes, L. L. (2010). Bioecology of the uçá-crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), in Vitória Bay, Espírito Santo State, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 153-163.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.

GONZÁLEZ-OCAMPO, H. A., PARRA-OLIVAS, M. C., PÉREZ-GONZÁLEZ, E., & RODRÍGUEZ-MEZA, G. D. (2023). *Rhizophora mangle* as a Bioindicator of Environmental Exposure to Heavy Metals in the Navachiste Lagoon Complex, Sinaloa, Mexico.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **A primer of Ecological Statistics**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates. 579 p, 2013.

GROSS, M. G. Carbon determination. In: CARVER, R. E. (ed.) **Procedure in sedimentar petrology**. New York: Wiley-Interscience. Cap.25, p.573-596, 1971.

HARRIS, R. R.; SANTOS, M. C. F. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea:Decapoda). **Marine biology**, v. 137, n. 4, p. 691-703, 2000.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. Circular California Agricultural Experiment Station, 347, 1-32, 1950.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, v. 24, n. 6, p. 417, 1993. <https://doi.org/10.1037/h0071325>.

HUANG, G-Y.; WANG, Y-S. Physiological and biochemical responses in the leaves of two mangrove plant seedlings (*Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza*) exposed to multiple heavy metals. **Journal of Hazardous Materials**, v.182, 848–854, 2010.

HUANG, H.; ZHAO, Y.; XU, Z.; ZHANG, W.; JIANG, K. Physiological responses of *Broussonetia papyrifera* to manganese stress, a candidate plant for phytoremediation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v, 181, 18-25, 2019.

HUIHUI, Z.; XIN, L.; ZISONG, X.; YUE, W.; ZHIYUAN, T.; MEIJUN, A.; YUEHUI, Z.; WENXU, Z.; NAN, X.; GUANGYU, S. Toxic effects of heavy metals Pb and Cd on mulberry (*Morus alba* L.) seedling leaves: Photosynthetic function and reactive oxygen species (ROS) metabolism responses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.195, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110469>.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015.

JEONG, H.; BYEON, E.; KIM, D. H.; MASZCZYK, P.; LEE, J. S. Heavy metals and metalloid in aquatic invertebrates: A review of single/mixed forms, combination with other pollutants, and environmental factors. **Marine Pollution Bulletin**, v. 191, p. 114959, 2023.

JESUS D, W. B.; DE OLIVEIRA MOTA, T. D. S.; SOARES, S. H.; PINHEIRO-SOUSA, D. B.; DE OLIVEIRA, S. R. S.; TORRES, H. S., ... & NETA, R. N. F. C. Biomarkers and occurrences of heavy metals in sediment and the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on the Amazon coast, Brazil. **Chemosphere**, v. 271, p. 129444, 2021.

JIMENEZ, Jorge A.; LUGO, Ariel E.; CINTRON, Gilberto. Tree mortality in mangrove forests. **Biotropica**, p. 177-185, 1985.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses. *R package version*, 1(5), 337-354, 2017.

KOCHEVA, K.; LAMBREV, P.; GEORGIEV, G.; GOLTSEV, V.; KARABALIEV, M. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63, 121–124, 2004.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*, 25, 1-18, 2018.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. (1994) **Numerical ecology**. Elsevier, Amsterdam.

LIMA, C. D. M. D.; SILVA, H. R. C. D.; BERNARD, E. Efetividade Do Defeso Do Caranguejo-Uçá (*Ucides cordatus* L.): Análise De Percepção De Consumidores E Vendedores. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, p. e00463, 2018.

LUGO, A E.; SNEDAKER, S C. THE ECOLOGY OF MANGROVES. **ANNUAL REVIEW OF ECOLOGY AND SYSTEMATICS**, V. 5, N. 1, P. 39-64, 1974.

MALAVOLTA, R. W., Vitti, C.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Esalq - USP, Piracicaba. 1997

MANTELATTO, F.L.M.; FRANSOZO, A. Fecundity of the crab *Callinectes ornatus* Ordway, 1863 (Decapoda, Brachyura, Portunidae) from the Ubatuba region, São Paulo, Brazil. **Crustaceana**, v. 70, n. 2, p. 214-226, 1997.

MARINO-BALSA, J. C.; POZA, E.; VÁZQUEZ, E.; BEIRAS, R. Comparative toxicity of dissolved metals to early larval stages of *Palaemon serratus*, *Maja squinado*, and *Homarus gammarus* (Crustacea: Decapoda). **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 39, p. 345-351, 2000.

MARQUES J.S.J., RANGEL, T.P., BRITO, F.P., ALMEIDA, M.G., SALOMÃO, M.S.M.B., GOBO, A.A.R., SOUZA-SANTOS, L.P., ARAÚJO-CASTRO, C.M.V., COSTA, M.F., REZENDE, C.E. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. v. 11, n. 4, p. 379-387, 2011.

MARSDEN, I. D.; RAINBOW, P. S. Does the accumulation of trace metals in crustaceans affect their ecology—the amphipod example? **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 300, n. 1-2, p. 373-408, 2004.

MCKEE, K.L. Interspecific variation in growth, biomass partitioning, and defensive characteristics of neotropical mangrove seedlings: response to light and nutrient availability. *American Journal of Botany*, v.82, n.3, p.299-307, 1995.

MEDINA, E., FERNANDEZ, W., AND BARBOZA, F.: Element uptake, accumulation, and resorption in leaves of mangrove species with different mechanisms of salt regulation, *Web Ecol.*, 15, 3–13, <https://doi.org/10.5194/we-15-3-2015>, 2015.

MEJÍAS, C. L., MUSA, J. C., & OTERO, J. (2013). Exploratory evaluation of retranslocation and bioconcentration of heavy metals in three species of mangrove at Las Cucharillas marsh, Puerto Rico. *Journal of Tropical Life Science*, 3(1), 14-22.

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro**. Editora Plêiade; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1996.

MORAES, G. M.; MORTATTI, J; LOPES, R. A. Utilização de diferentes critérios para avaliação do potencial de biodisponibilidade de metais pesados em sedimentos de fundo do alto Tietê (São Paulo). **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, p. 463-471, 2011.

MORSE, J. W., PRESLEY, B. J., TAYLOR, R. J., BENOIT, G., & SANTSCH, P. Trace metal chemistry of Galveston Bay: water, sediments and biota. **Marine Environmental Research**, v. 36, n. 1, p. 1-37, 1993.

MOTA, T. A.; PINHEIRO, M. A. A.; EVANGELISTA-BARRETO, N. S.; DA ROCHA, S. S. Density and extractive potential of “uçá” - crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), in mangroves of the “Todos os Santos” Bay, Bahia, Brazil. **Fisheries Research**, v. 265, p. 106733, 2023.

NASCIMENTO, D. M.; ALVES, R. R. N.; BARBOZA, R. R. D.; SCHMIDT, A. J.; DIELE, K.; MOURÃO, J. S. Commercial relationships between intermediaries and harvesters of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) in the Mamanguape River estuary, Brazil, and their socio-ecological implications. **Ecological Economics**, v. 131, p. 44-51, 2017.

NÓBREGA, N.E.F., SILVA, J.G.F., RAMOS, H.E.A., PAGUNG, A.F.S., 2008. Balanço Hídrico Climatológico e Classificação Climática de Thornthwaite e Köppen para o Município de São Mateus – ES. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 18., 2018, São Mateus. O Equilíbrio do fluxo hídrico para a agricultura irrigada sustentável: anais. São Mateus: ABID, 2008. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/248/1/1569-sao-mateus.pdf>.

NOULAS, C.; TZIOUVALEKAS, M.; KARYOTIS, T. Zinc in soils, water and food crops. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 49, p. 252–260, 2018.

ODOBAŠIĆ, A.; SESTAN, I.; BEGIC, S. Biosensors for determination of heavy metals in waters. In: *Biosensors for Environmental Monitoring*. IntechOpen, 2019.

OGAWA, E. F., & ROCHA, C. A. S. Sobre a fecundidade de crustáceos decápodos marinhos do Estado do Ceará, Brasi, 1976.

ORTEGA, P.; VITORINO, H. A.; MOREIRA, R. G.; PINHEIRO, M. A. A.; ALMEIDA, A. A.; CUSTÓDIO, M. R.; ZANOTTO, F. P. Physiological differences in the crab *Ucides cordatus* from two populations inhabiting mangroves with different levels of cadmium contamination. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 36, n. 2, p. 361-371, 2016.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P., MCGLINN, D.; WEEDON, J. Package 'vegan'. Community ecology package, version, 2(9), 2022. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>

OLDHAM, V. E., SIEBECKER, M. G., JONES, M. R., MUCCI, A., TEBO, B. M., & LUTHER, G. W. (2019). The speciation and mobility of Mn and Fe in estuarine sediments. *Aquatic Geochemistry*, 25, 3-26.

PRADO, A. Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2009.

PINHEIRO, M. A. A., SOUZA, F. V. B. D., BOOS, H., & DUARTE, L. F. D. A. Cytotoxicity, genotoxicity, and impact on populations of the mangrove sentinel species, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae) after an environmental disaster at Cubatão, São Paulo, Brazil. **Nauplius**, v. 30, 2022.

PINHEIRO, M. A. A.; SILVA, P. P. G.; DUARTE, L. F. A.; ALMEIDA, A. A.; ZANOTO, F. F. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: rhizophoraceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 81, p. 114-121, 2012.

PINHEIRO, M. A.; SANTANA, W., RODRIGUES, E. S; IVO, C. T; SANTOS, L. C; TORRES, R. A; DIAS-NETO, J. Avaliação dos caranguejos gecarcinídeos (Decapoda: Gecarcinidae). **Livro Vermelho dos Crustáceos do Brasil: Avaliação**, v. 2014, p. 167-181, 2010.

PORTO, L., TOGNELLA, M., & LIMA, K. Fecundidade de *Ucides cordatus* (linnaeus, 1763) (crustacea: decapoda: brachyura) no norte do Espírito Santo, Brasil. **Enciclopedia Biosfera**, v. 18, n. 37, 2021.

POWELL, J. **Multivariate Statistics**. Western Sydney University, Hawkesbury Institute for the Environment, 52 pp., 2019.

R CORE TEAM. R: a Language and an Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10. jan. 2022.

RAMOS, R. J.; LEITE, G. R. Disposition of trace elements in the mangrove ecosystem and their effects on *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Decapoda). **BioMetals**, v. 35, n. 5, p. 853-873, 2022.

RIECKEN E BLAB (1989) in Lang, S.; Blaschke, T. 2009. Análise da Paisagem com SIG. Tradução: Kux, H. 1a ed., São Paulo, Oficina de Textos. 423p.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual – Anexo 1 Ecotoxicologia. RT-17, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 884 pag. 2019.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual – Anexo 5 Manguezal RT-21, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 600 pag. 2019.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Costeiro. RT-36C, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 422 pag. 2020.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Costeiro. RT-39C, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 349 pag. 2022.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Semestral – Seção 3 – Anexo 5 Manguezal. RT-42, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 205 pag. 2023.

SÁ, F., LONGHINI, C. M., COSTA, E. S., DA SILVA, C. A., CAGNIN, R. C., DE OLIVEIRA GOMES, L. E., LIMA, A. T., BERNARDINO, A. F., NETO, R. R. Time-sequence development of metal (loid) s following the 2015 dam failure in the Doce river estuary, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 769, p. 144532, 2021.

SHAO, Jinhua et al. How does zinc improve salinity tolerance? Mechanisms and future prospects. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3207, 2023.

SHARMA, S. S.; DIETZ, K-J., MIMURA, T. Vacuolar compartmentalization as indispensable component of heavy metal detoxification in plants. **Plant, Cell and Environment**, V. 39, p. 1112-1126, 2016.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; G. CINTRÓN. *Guia para estudos de áreas de manguezal: estrutura, função e flora*. São Paulo, **Caribbean Ecological Research**, 150p. + apêndices, 1986.

SCHERER M. (2013) Gestão de Praias no Brasil: Subsídios para uma Reflexão. RGCI 13(1)

SCHMIDT, A. J. SCHMIDT, Anders Jensen. Estudo da dinâmica populacional do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea-Decapoda-Brachyura), e dos efeitos de uma mortalidade em massa desta espécie em manguezais do Sul da Bahia. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.

SCHMIDT, A. J., OLIVEIRA, M. A., SOUZA, E. P., MAY, M., & ARAÚJO, S. M. B. Relação entre abertura de galeria e comprimento de cefalotórax do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea-Decapoda-Brachyura). **Bol. Técn. Cient. CEPENE**, v. 16, n. 1, p. 51-58, 2008.

SCHROPP, S. J., GRAHAM LEWIS, F., WINDOM, H. L., RYAN, J. D., CALDER, F. D.; BURNEY, L. C. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. **Estuaries**, v. 13, p. 227-235, 1990.

SHEALY JR, M. H.; SANDIFER, P. A. Effects of mercury on survival and development of the larval grass shrimp *Palaemonetes vulgaris*. **Marine Biology**, v. 33, n. 1, p. 7-16, 1975.

SILVA, R. D.; OSHIRO, L. M. Y. Aspectos da reprodução do caranguejo guaiamum, *Cardisoma guanhumi* Latreille (Crustácea, Decapoda, Gecarcinidae) da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, p. 71-78, 2002.

SILVA, M. A. S. Análise de impacto climático extremo, a partir de imagens de sensores remotos, nos manguezais da Reserva Municipal de Desenvolvimento Sustentável do Piraquê Açú-Mirim em Aracruz (ES). Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2022.

SMIT, M.F.; VAN HEERDEN, P.D.R.; PIENAAR, J.J.; WEISSFLOG, L.; STRASSER, R.J.; KRÜGER, G.H.J. Effect of trifluoroacetate, a persistent degradation product of fluorinated hydrocarbons, on *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, 623-634, 2009.

SOUZA, I.; BONOMO, M.M; MOROZESK, M.; ROCHA, L.D.; DUARTE, I.D.; FURLAN, L.M.; ARRIVABENE, H.P.; MONFERRÁN, M.V.; MATSUMOTO, S.T.; MILANEZ, C.R.D.; WUNDERLIN, D.A.; FERNANDES, M.N. Adaptive plasticity of *Laguncularia racemosa* in response to different environmental conditions: integrating chemical and biological data by chemometrics. **Ecotoxicology**, v. 23, 335–348, 2014. DOI:org/10.1007/s10646-014-1191-0

STIRBET, A.; GOVINDJEE. 2011. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll *a* fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and PhotoBiology**, v. 104, n. 1–2, jul–ago, 2011.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL M.; SRIVASTAVA A. Analysis of the Chlorophyll *a* Fluorescence Transient. – In: Papageorgiou GC, Govindjee (ed.): **Chlorophyll *a* Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration**. Springer, Dordrecht, pp 321-362, 2004.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blüncher, EDUSP, 318 p. 1973.

TAISSOUN, E. El cangrejo de tierra *Cardisoma guanhumi* (Latreille) en Venezuela. I Parte. **Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas**, n. 10, 1974.

TAIYUN WEI e VILIAM SIMKO (2021). R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.92). <https://github.com/taiyun/corrplot>.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. (2021). **Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6**. Artmed Editora.

TEIXEIRA, G. M.; FRANSOZO, V.; GÓES, J. M.; FERNANDES-GÓES, L. C.; HIROSE, G. L.; ALMEIDA, A. C.; FRANSOZO, A. Reproductive investment and multiple spawning evidence in the redfinger rubble crab *Eriphia gonagra* (Brachyura, Eriphioidea). **Nauplius**, v. 25, 2017.

THULEAU, S.; HUSSON, F. **FactoInvestigate: Automatic Description of Factorial Analysis**. R package version 1.7 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=FactoInvestigate>.

TOGNETTA, M. P. P.; GONTIJO, A.B.P.L.; BARCELOS, U.D. Protocolo para cultivo de espécies de manguezal. In: RODRIGUES, T.A.; NETO, J.L.; GALVÃO, D.O. (org.). *As Ciências do Mar em todos os seus Aspectos*. ed. Atena, 2019. P. 144-157. DOI: [10.22533/at.ed.481190907411](https://doi.org/10.22533/at.ed.481190907411)

TOGNETTA, M. P. P.; FALQUETO, A. R.; ESPINOZA, H. C. F.; et al. Mangroves as traps for environmental damage to metals: the case study of the Fundão dam. **Science of The Total Environment**, v. 806(4), 2022.

US EPA. 2013. Revisions to the Unregulated Contaminant Monitoring Regulation (UCMR 3) for public water systems. EPA OW-2009-0090. US EPA, Washington, DC.

VERÍSIMO, P.; BERNÁRDEZ, C.; GONZÁLEZ-GURRIARÁN, E.; FREIRE, J.; MUIÑO, R.; FERNÁNDEZ, L. Changes between consecutive broods in the fecundity of the spider crab, *Maja brachydactyla*. **ICES Journal of Marine Science**, v. 68, n. 3, p. 472-478, 2010.

VERNBERG, W. B.; DECOURSEY, P. J.; PADGETT, W. J. Synergistic effects of environmental variables on larvae of *Uca pugilator*. **Marine Biology**, v. 22, p. 307-312, 1973.

VERSLYCKE, T.; VANGHELUWE, M.; HEIJERICK, D.; De SCHAMPHELAERE, K.; VAN SPRANG, P.; JANSSEN, C. R. The toxicity of metal mixtures to the estuarine mysid *Neomysis integer* (Crustacea: Mysidacea) under changing salinity. **Aquatic Toxicology**, v. 64, n. 3, p. 307-315, 2003.

WELLBURN, A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, 144:307-313, 1994.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The journal of geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental Health Criteria 135, IPCS, Geneva. 1992.

WICKHAM, H. (2011). ggplot2. **Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics**, 3(2), 180-185.

WICKHAM, H.; BRYAN, J.; POSIT, P. B. C.; KALICINSKI, M.; VALERY, K.; LEITIENNE, C.; COLBERT, B.; HOERL, D.; MILLER, E. Package 'readxl': read Excel files. R package version 1.4. 2. 2023.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D.; POSIT, P. B. C. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.1.0. 2023.

WOODROFFE, C. Mangrove sediments and geomorphology. **Tropical mangrove ecosystems**, v. 41, p. 7-41, 1992.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. Prentice Hall, 3 ed., University of Michigan, 662 pp., 1996.