

**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- 44/ NOV 23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	3
2.1	SEDIMENTOS.....	4
2.2	FLORA.....	16
2.3	BIORREMEDIAÇÃO.....	54
2.4	DECAPODA	127
3	REFERÊNCIAS	151

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender 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 coletadas 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 coletadas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

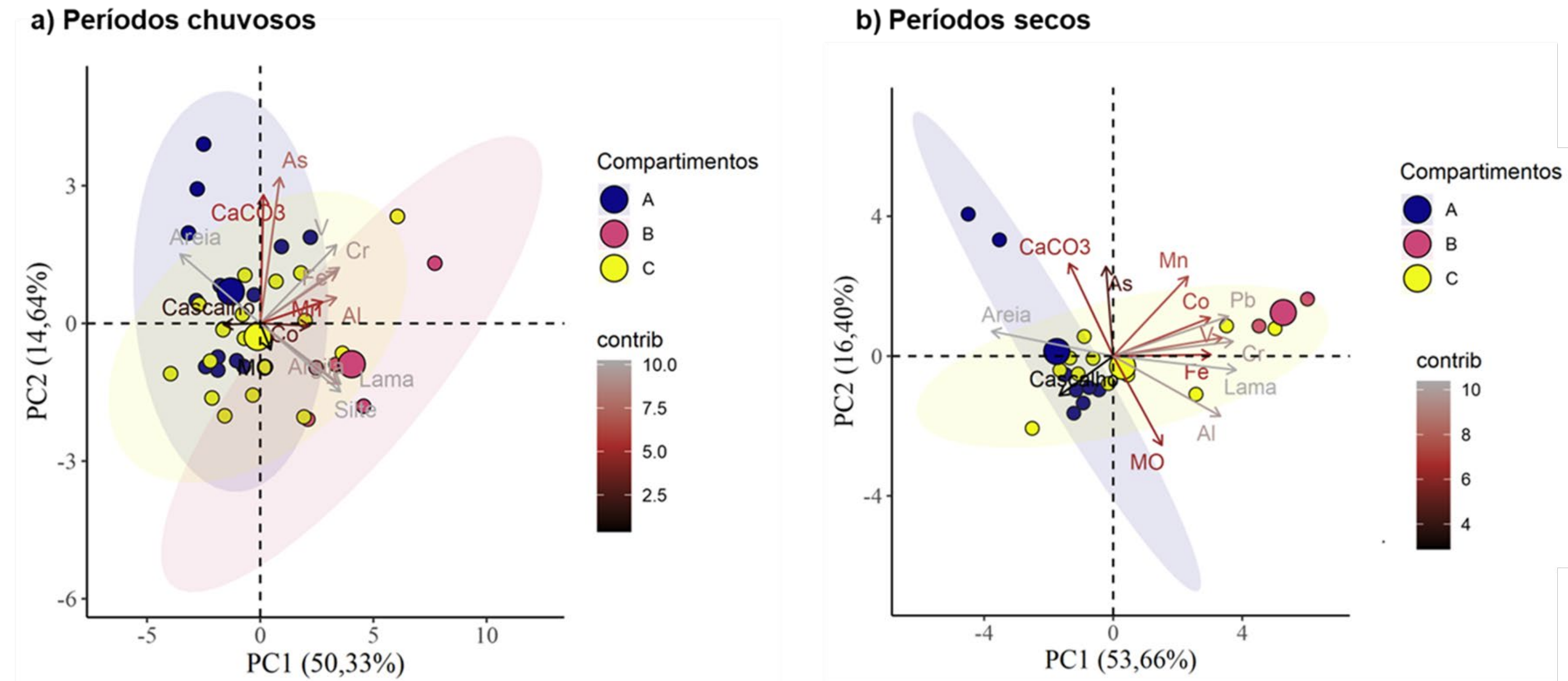
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

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:

2.1 SEDIMENTOS

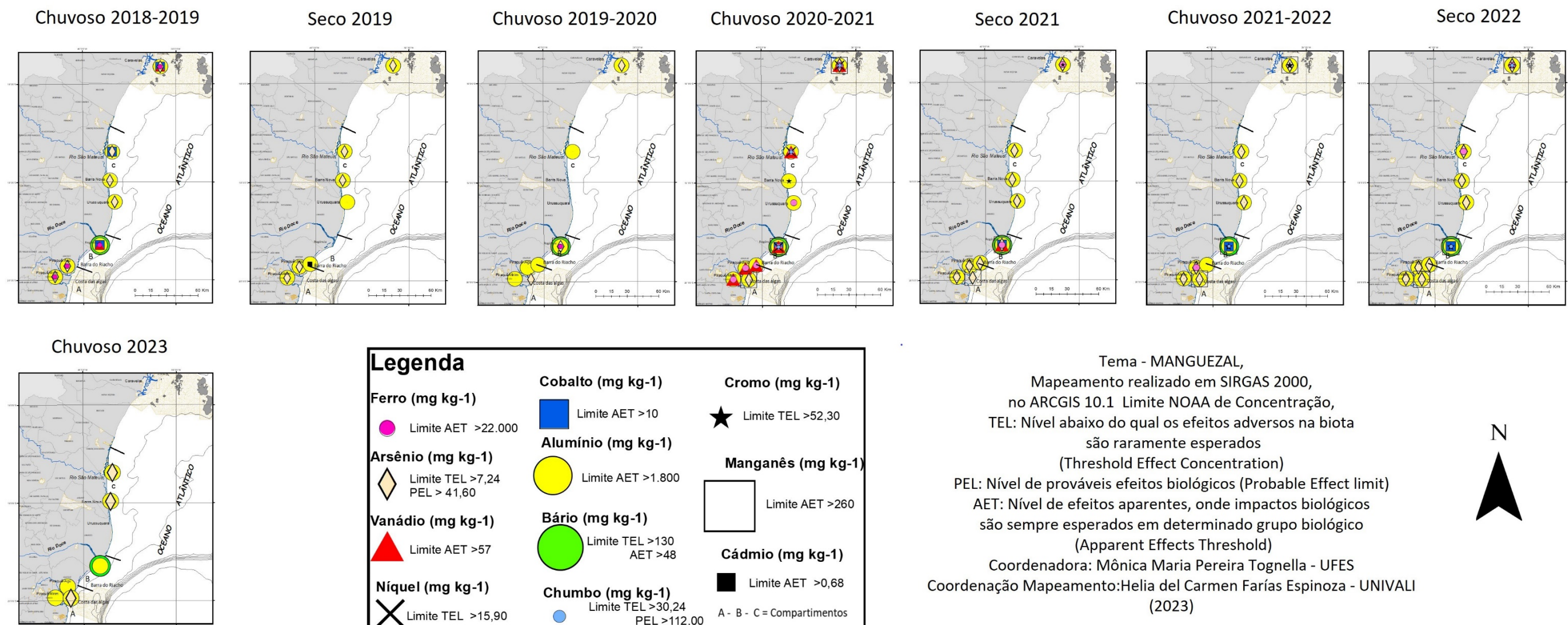
Figura 1: Indicador Abiótico Sedimentos - Análise de componente principal (PCA), usando a função biplot com a contribuição de cada variável, utilizando as concentrações de metais nos sedimentos (mg kg^{-1}), teor de matéria orgânica (MO), teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e granulometria (cascalho (%), areia (%), lama (%)); considerando os períodos: 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/2023/ Ano 5) (fig. 1a) e os períodos seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e seco 22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) (fig. 1b) 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 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.



A interação da granulometria e concentração de metais dos sedimentos de manguezal dos setores A, B e C ao longo do monitoramento do PMBA estão expostos nas PCAs acima, separados em períodos chuvosos (a) e secos (b), de acordo com as coletas descritas na legenda. Os dois componentes destas representações (eixo 1 e 2) explicam 64,97% (fig. 1a) e 70,06% (fig. 1b) da variância total dos dados, dando robustez as análises. Os períodos chuvosos, caracterizados por maior aporte fluvial, demonstram o compartimento B (fz do Rio Doce – Regência) com maior afinidade com a concentração de metais e granulometria lamosa (silte + argila). Sendo assim é possível observar que esta região atua como fonte de metais para os compartimentos adjacentes durante os períodos chuvosos (RRDM, 2022 - RT-39C - Ambiente Costeiro). O sentido da deriva litorânea propicia maior aporte e depósito dos teores lamosos e de metais provenientes do Rio Doce para o compartimento C (BITTENCOURT et al., 2007), enquanto a geomorfologia de terraços de abrasão proporciona aos sedimentos do setor A maiores concentrações de arsênio, teores de CaCO_3 e de areias (ALBINO et al., 2016). A associação do carbonato com o arsênio no período chuvoso descreve a influência dos terraços sobre os sistemas costeiros no compartimento A. Por sua vez, o Fe está associado aos estuários do compartimento C dissociando a fonte deste contaminante dos terraços de abrasão e falésias da Formação Barreiras. No período seco, com menor vazão dos rios, a intensidade do aporte proveniente do Rio Doce nos estuários adjacentes diminui, facilitando a separação entre os compartimentos A e C. O arsênio e o carbonato de cálcio permanecem relacionados ao compartimento A.

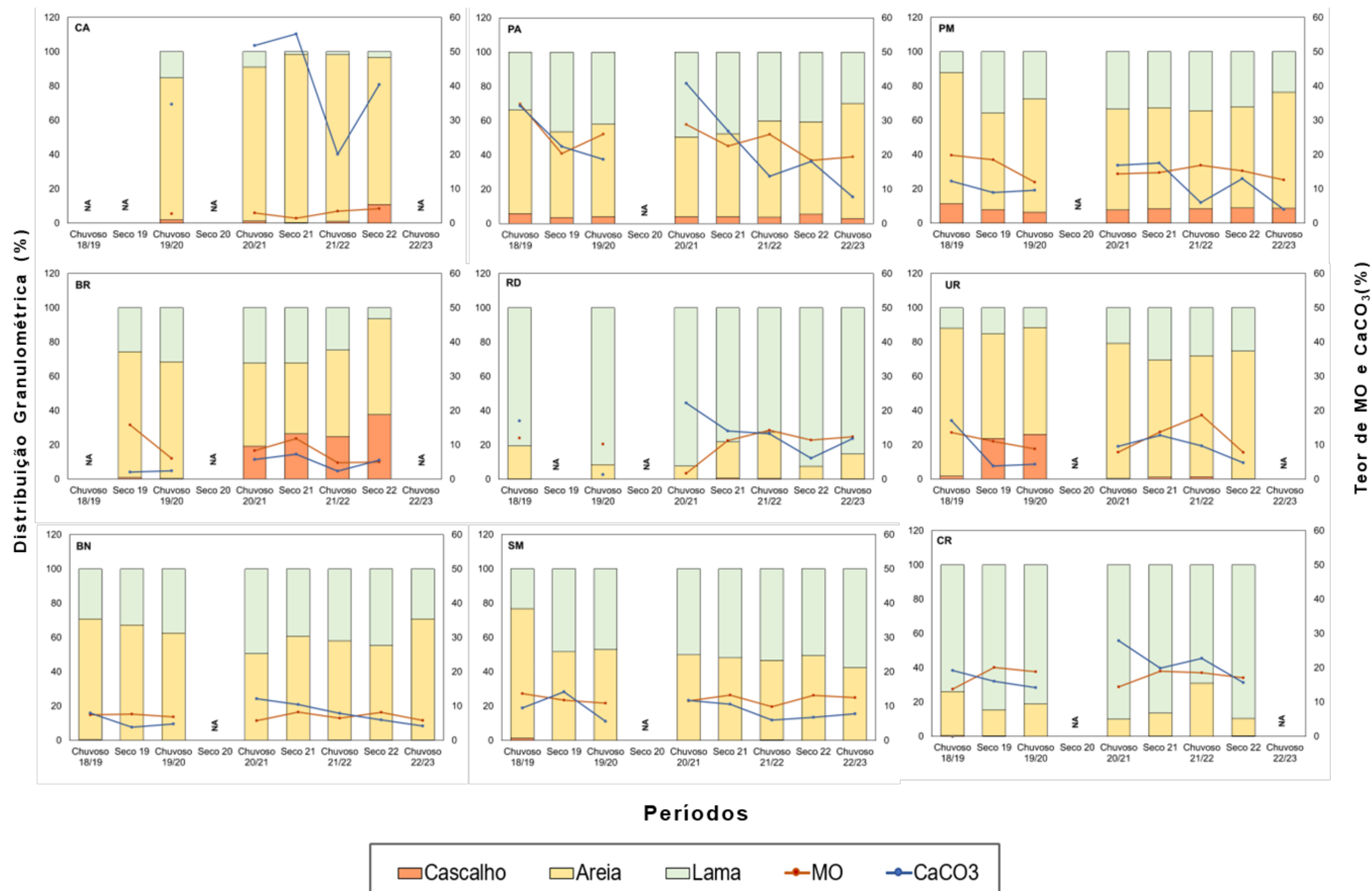
Figura 2: Indicador Abiótico Sedimentos - Mapa temático dos metais ferro, arsênio, vanádio, níquel, cobalto, alumínio, bário, chumbo, cromo, manganês e cádmio (mg kg^{-1}) no sedimento na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_21 (janeiro-Fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3); chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4); seco 22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022– março/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 PMBA/Fest. 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*).

Comparações metais no sedimento (0-5 cm)



A toxicidade em comunidades biológicas proveniente da concentração de metais nos sedimentos pode ser avaliada por meio da aplicação dos limites NOAA (BUCHMAN, 1999). Quando as concentrações estão abaixo do limite TEL (*Threshold Effect Concentration*), os efeitos adversos são raramente esperados. O limite PEL (*Probable Effect Limit*) indica a concentração onde efeitos negativos na biota são usualmente esperados e o limite AET (*Apparent Effects Threshold*) apresenta o nível onde os efeitos adversos são evidentes e sempre esperados em determinado grupo biológico. No entanto, vale ressaltar que estes limites são aplicados individualmente a cada metal e os efeitos de sinergismo das concentrações não são avaliados ou mensurados. Os mapas temáticos indicam os períodos onde as concentrações de metais ultrapassaram os limites NOAA. No geral, os períodos chuvosos indicam os momentos que possuem maior risco para a comunidade biológica, devido a maior intensidade da vazão dos rios e consequente aumento na concentração dos elementos. Este risco pode ser denotado tanto pela concentração do metal em si, que tende a ser maior nestes momentos, quanto pela quantidade de elementos que ultrapassam simultaneamente algum dos limites NOAA, potencializando os efeitos do sinergismo em cada região estudada (MORAES et al., 2011). O mapeamento permite uma avaliação espacial e temporal destes elementos ao longo da linha de costa no litoral norte do Espírito Santo e em Caravelas. Há contaminação persistente para alguns elementos como o Alumínio e Arsênio durante todo período amostral e contaminações em pulsos nos períodos chuvosos com maior ou menor intensidade a depender dos eventos climáticos estocásticos sobre a região impactada. Isto indica contaminação crônica na zona costeira e os manguezais funcionando como ambientes de mitigação do impacto. A foz do rio Doce pode ser definida como uma fonte contínua de contaminantes para a zona costeira após 8 anos do desastre.

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 nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018–março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano 2); chuvoso_20/21 (janeiro-Fevereiro /2021/Ano 3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano 3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano 4), seco 22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano 4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/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 PMBA/Fest.. NA: período não amostrado.

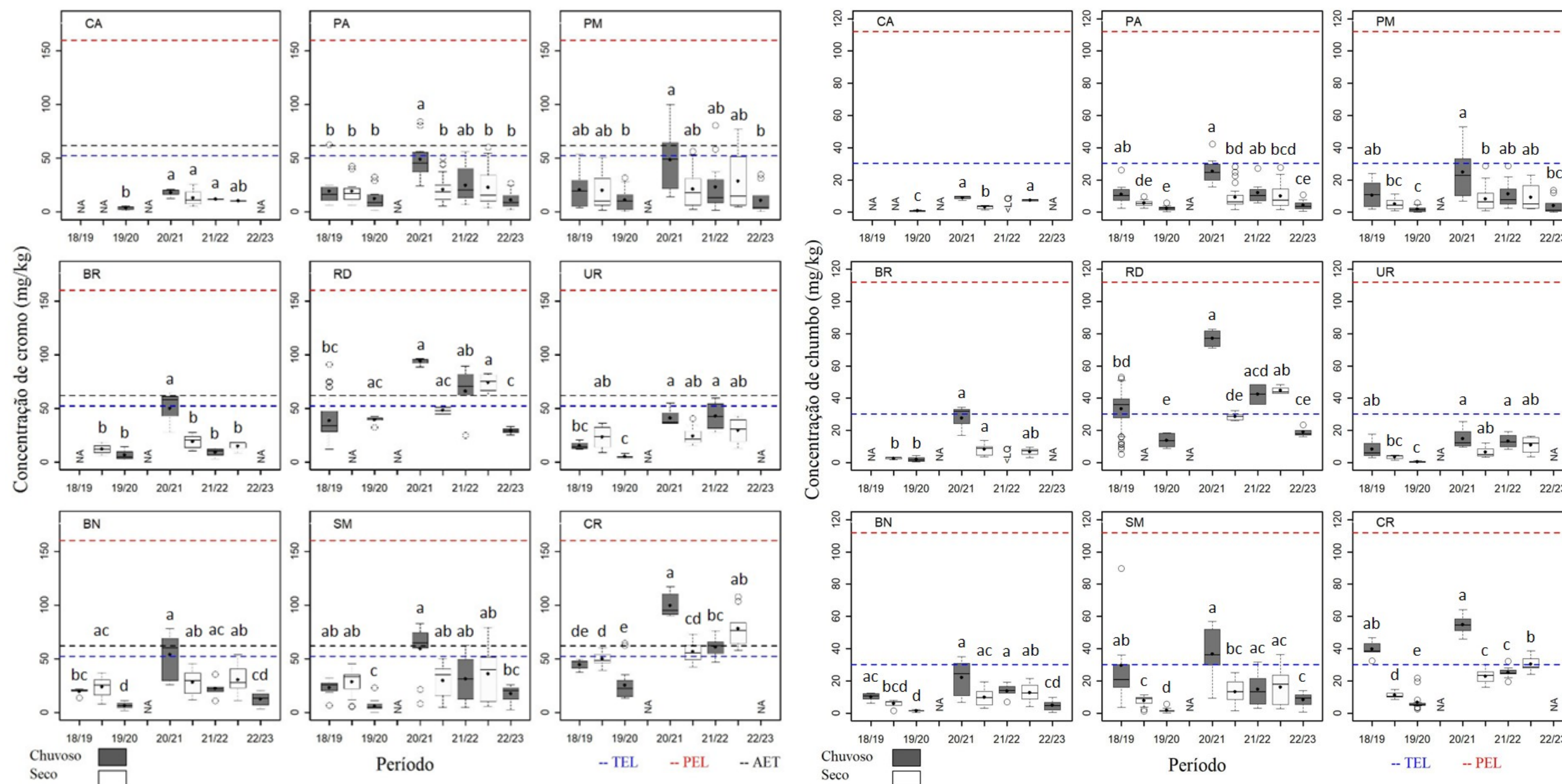


Os metais são incorporados aos sedimentos por meio dos processos de adsorção e complexação. Estes processos são mais efetivos em sedimentos de granulometria fina e com teores elevados de matéria orgânica (BRUGNARA, 1977; PERIN, 1997). No geral, os sedimentos dos manguezais tendem a apresentar tais características, ressaltando a importância deste compartimento abiótico para a retenção dos elementos metálicos. Nos manguezais, estes elementos podem permanecer inertes em longo prazo ou biodisponíveis dependendo do comportamento dos carbonatos, óxidos de ferro e de manganês, matéria orgânica e características físico-químicas dos sedimentos (FARIAS et al., 2007; MARQUES, et al., 2011)

As análises de granulometria, teor de matéria orgânica e carbonato de cálcio (CaCO_3) estão expressas na Figura 3. O teor de carbonato de cálcio nos manguezais pode ser utilizado para inferir a influência marinha: quanto maior a sedimentação de origem marinha, maior será o teor de carbonatos nos sedimentos (ROCHA; MARTIN, 1998; VITAL et al., 2005). Ao longo do monitoramento do PMBA/Fest os manguezais do setor A (CA, PA e PM) apresentaram as maiores contribuições de CaCO_3 e de areias, salientando a similaridade observada por Albino et al. (2016) para o ambiente praial da região.

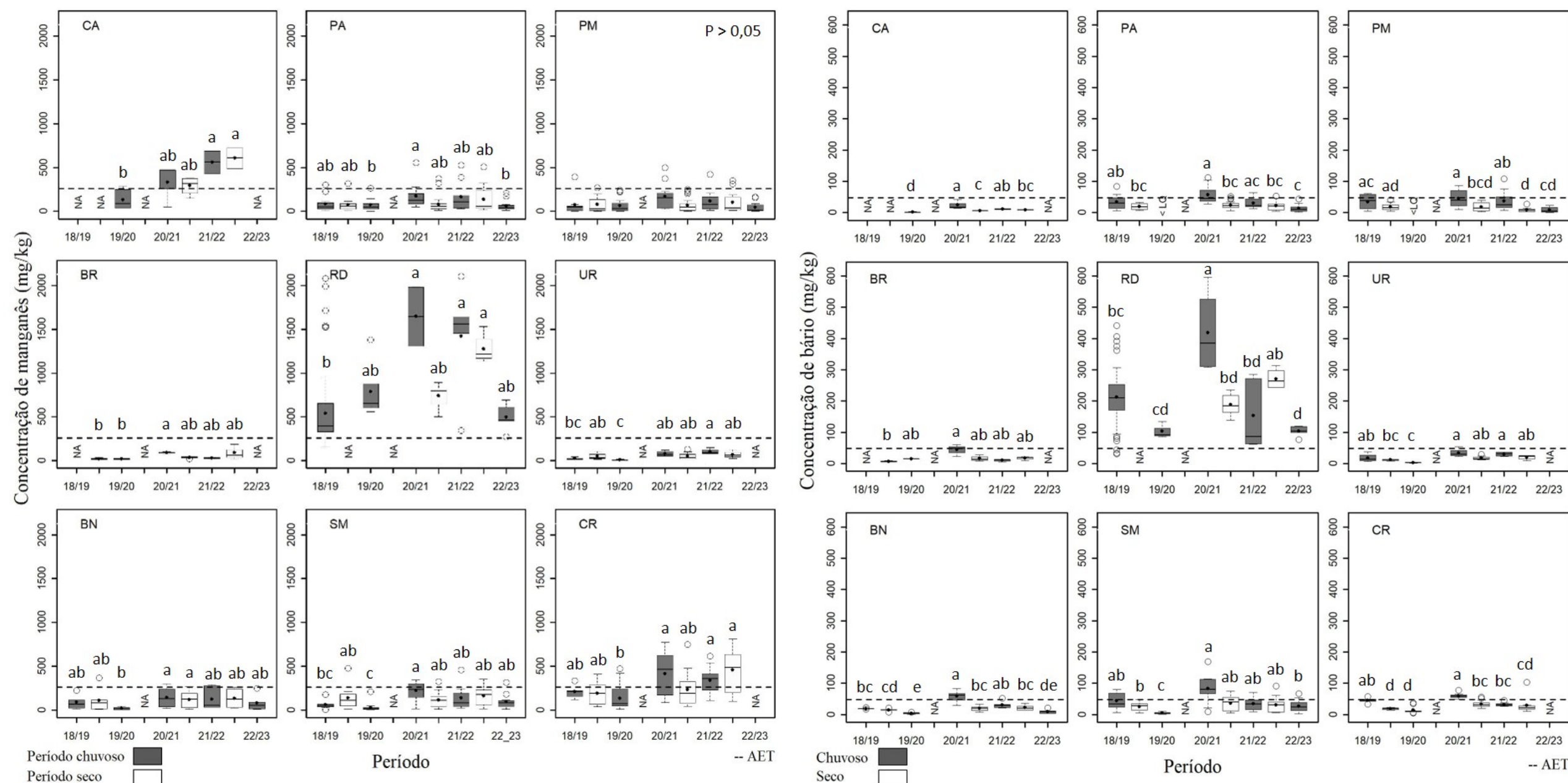
A desembocadura do Rio Doce proporciona maior contribuição das areias grossas para o sentido sul do rio, por isso, o manguezal de Barra do Riacho apresenta granulometria mais grossa, com relevante presença de cascalhos. O Rio Doce indica granulometria majoritariamente lamosa (silte + argila). Os manguezais do compartimento C (UR, BN e SM) possuem teores de sedimentos finos relativamente maiores do que os do compartimento A (Figura 3). Este fato, juntamente com a dinâmica da deriva litorânea e declividade da zona costeira, contribui para que o compartimento C seja o receptor da maior carga de metais proveniente do Rio Doce

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 nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano5) 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 PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos (p<0,05). NA: Não amostrado. < LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação. 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*).



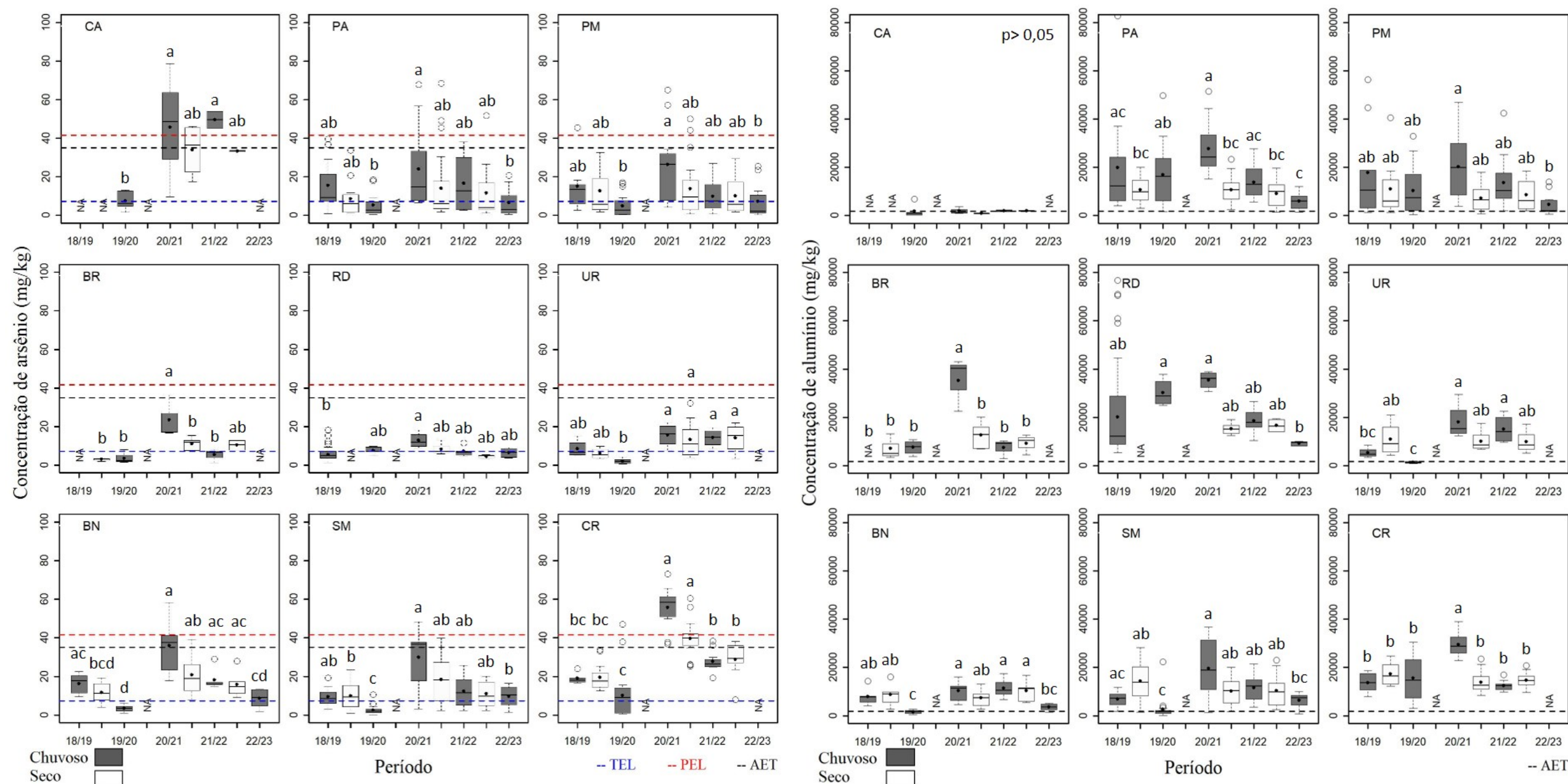
Os metais cromo e chumbo apresentam tendência de diminuição das concentrações nos estuários analisados ao longo do monitoramento PMBA/Fest. Este padrão é um reflexo do observado para Regência (RD), mostrando a influência da contaminação do Rio Doce para as áreas adjacentes. É possível notar um aumento das concentrações dos metais cromo e chumbo no período chuvoso 20/21 em todos os estuários analisados. Este comportamento pode estar associado ao aumento da vazão do Rio Doce no Ano 3 (outubro/2020 – setembro/2021) e Ano 4 (outubro/2021 – setembro/2022) em comparação aos anos anteriores (ANA, 2023). Vale salientar que o período chuvoso 2020/2021 representa as maiores concentrações de cromo e chumbo para todas as áreas analisadas.

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 nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano5) 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 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. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



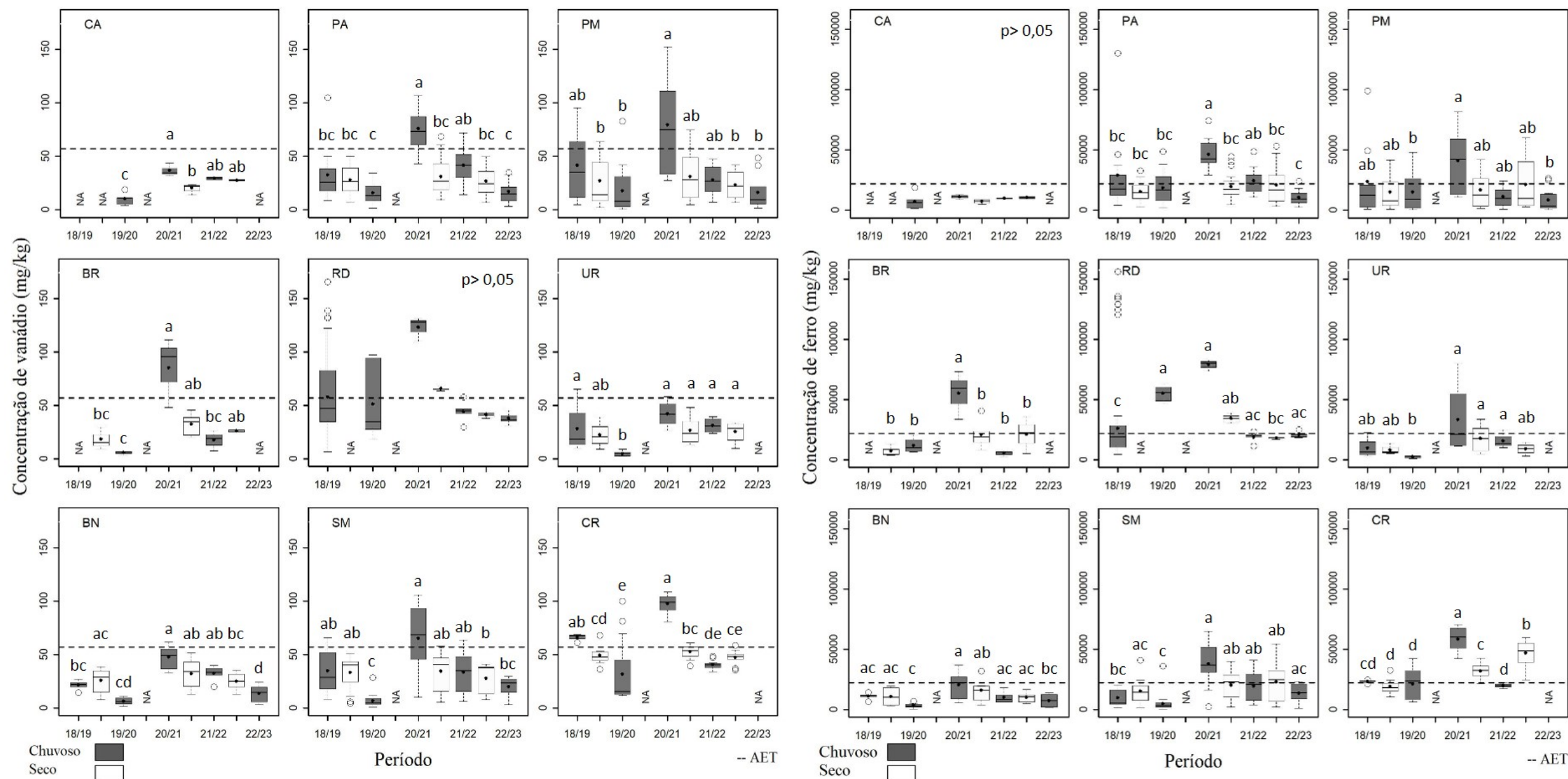
Os elementos manganês e bário estão diretamente relacionados aos rejeitos da barragem de Fundão (SÁ et al., 2021), o que justifica as maiores concentrações destes metais serem observadas em Regência (RD). O manganês apresenta tendência de estabilidade nos estuários do compartimento C (UR, BN, SM) a partir do período chuvoso 20/21. Devido a sua origem, o elemento bário é utilizado como um geomarcador para fonte dulcícola em sedimentos estuarinos e marinhos (COFFEY et al., 1997). Suas concentrações no Rio Doce aumentaram após o rompimento da barragem, demonstrando a alteração da dinâmica geoquímica da foz do Rio Doce (OLIVEIRA GOMES et al., 2017). As concentrações mais baixas dos demais estuários indicam a importância da influência marinha nestes locais, atuando também como fonte de entrada para a contaminação proveniente do Rio Doce. Os metais manganês e bário apresentam maiores concentrações na foz do Rio Doce, ultrapassando a concentração limite para impactos biológicos. Em relação ao manganês, é observado uma tendência de aumento nas concentrações a partir do período chuvoso 20/21 nas APAs de Costa das Algas (CA) e de Caravelas (CR). Em relação aos demais estuários, nota-se o aumento das concentrações de manganês ao longo dos períodos secos.

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 nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4) ; seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano5) 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 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. 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*).



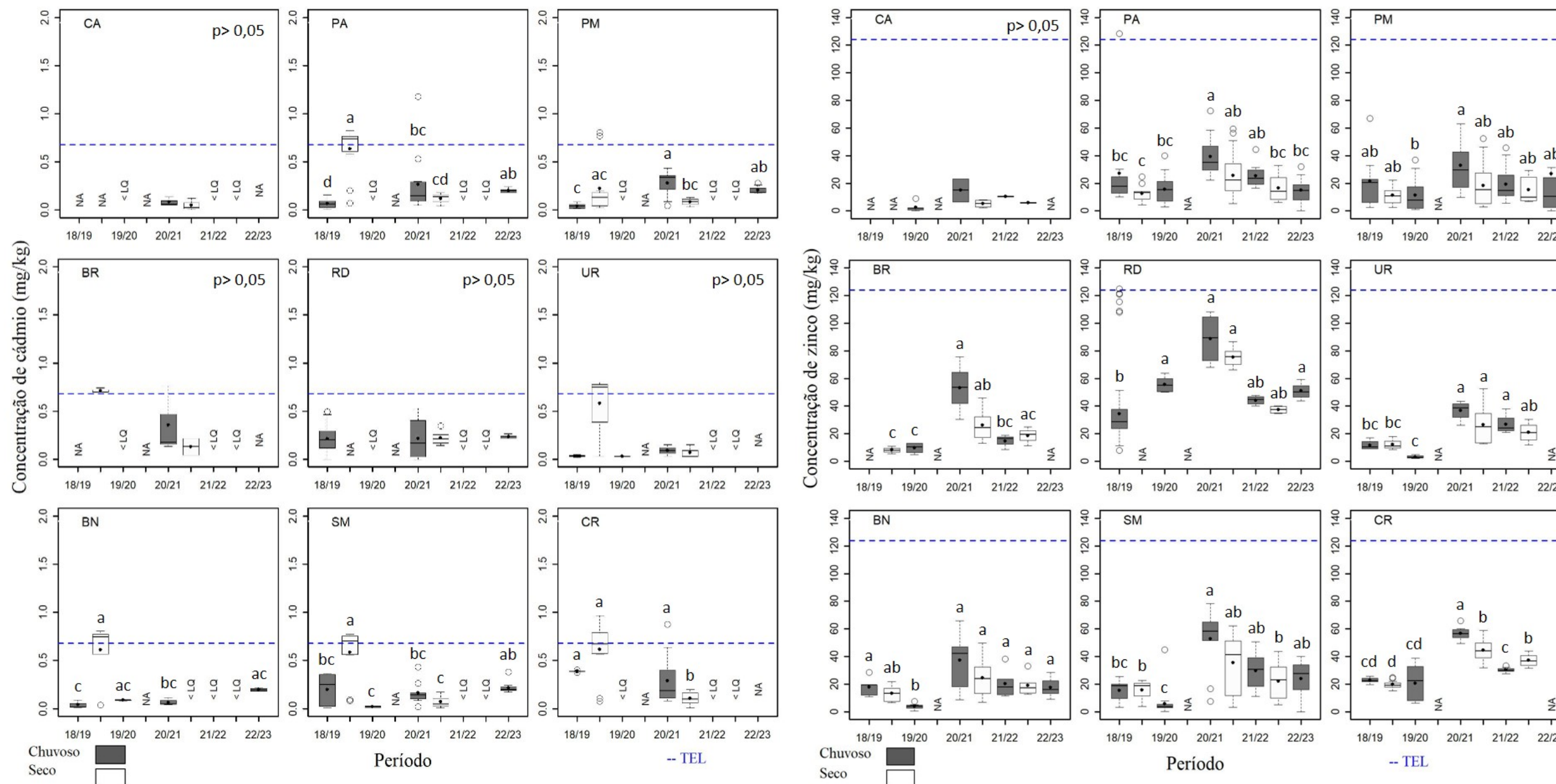
Ao longo do monitoramento do PMBA/Fest as concentrações de arsênio e alumínio ultrapassaram os limites NOAA nos estuários analisados, indicando impactos biológicos nestas áreas. No entanto, é importante também observar as fontes autóctones destes metais. Os estuários do compartimento A (CA, PA e PM) são naturalmente enriquecidos em arsênio devido aos terraços de abrasão encontrados em sua região. Dentre os estuários do compartimento A, Costa das Algas apresenta maior influência marinha, justificando suas concentrações mais elevadas. O arsênio pode ser notado também em concentrações expressivas nos estuários do compartimento C (UR, BN e SM), e sua fonte pode ter origem antropogênica, visto que este elemento é amplamente utilizado em atividades agrícolas e de mineração (BAIRD; CAIN, 2011). O alumínio é um dos principais constituintes dos argilominerais, que possuem relevante presença nos sedimentos finos, como observado nos manguezais (SCHROOP et al., 1990). Porém, o sedimento também pode ser enriquecido com alumínio por fontes antrópicas (MORSE et al., 1993). Ainda que até o presente momento, as concentrações de alumínio provavelmente estejam causando impactos biológicos em todas as áreas analisadas, é possível observar tendência de diminuição destas concentrações a partir do período chuvoso 20/21.

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 nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4) e chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano5) 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 PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. AET: Nível de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados em determinado grupo biológico (*Apparent Effects Threshold*).



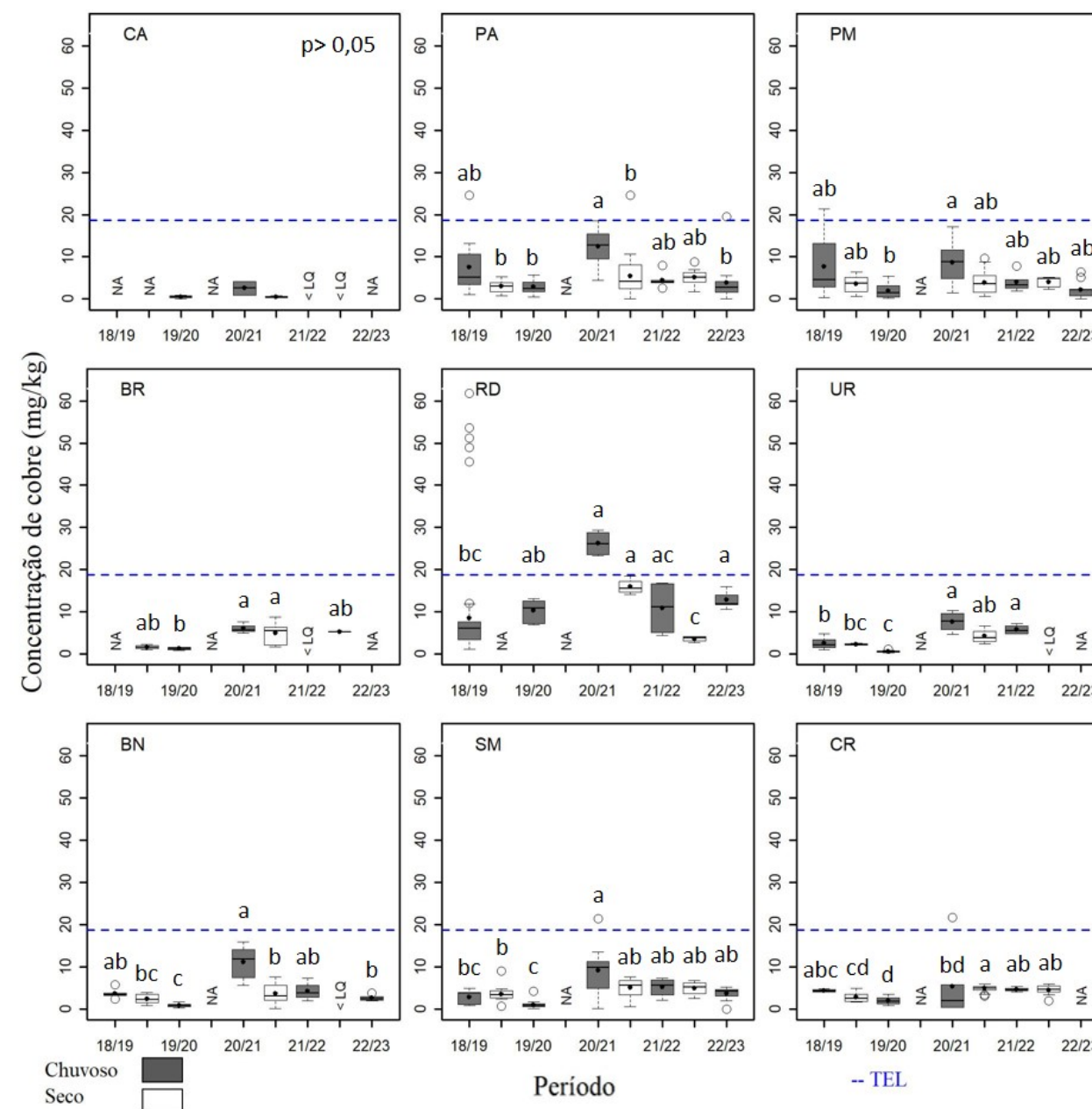
Os metais vanádio e ferro estão diretamente associados aos rejeitos da barragem de Fundão. Ainda que Regência (RD) tenha apresentado um comportamento estável ($p > 0,05$) ao longo do monitoramento PMBA/Fest para o metal vanádio, suas concentrações diminuíram após o período chuvoso 20/21. Esta diminuição pode ser notada em todos os estuários após o mesmo período. Apesar da estabilidade observada para o vanádio no rio Doce, nas coletas mais recentes, este ambiente sempre apresentou concentrações mais elevadas que os demais estuários. Isto e o comportamento do vanádio em todos os estuários no período chuvoso de 20/21 indicam o rio Doce como a origem da contaminação. O mesmo padrão pode ser observado para o elemento ferro, que apresenta impactos biológicos também nos estuários PA, PM, SM e CR.

Figura 8: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de cádmio (esquerda) e zinco (direita) nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano3) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4), chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano5) 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 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. Devido as baixas concentrações de cádmio durante o monitoramento PMBA/Fest, adotou-se utilizar o limite NOAA TEL neste relatório, diferentemente do apresentado no RA2022 onde foi aplicado o limite NOAA AET do elemento, que é mais alto. Este ajuste foi implementado para que a distribuição espaço-temporal das concentrações de cádmio fosse observada com mais clareza, pois possibilitou a amplificação do eixo y. NA: Não amostrado. <LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação do equipamento. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*).



O cádmio apresenta impactos na comunidade biótica ainda que em pequenas concentrações (WHO, 1992). No geral, ao longo do monitoramento PMBA/Fest, quando presente, este metal apresentou concentrações onde impactos biológicos são raramente esperados. Porém nos sedimentos de manguezal, o cádmio tende a ser encontrado sob forma adsorvida, seja em superfícies minerais ou orgânicas. Neste caso, mudanças físico-químicas no meio podem liberá-lo com maior facilidade para o ambiente (VIANA et al., 2008). Ainda que o zinco seja um elemento essencial para o metabolismo dos seres vivos, quando se apresenta em altas concentrações pode trazer danos (RODRIGUEZ, 1998). Durante o monitoramento PMBA/Fest, nenhum estuário indicou concentrações de Zn que gerem impactos na biota. Este elemento também está diretamente relacionado aos rejeitos da barragem e é possível que por isso suas maiores concentrações estejam em Regência (RD).

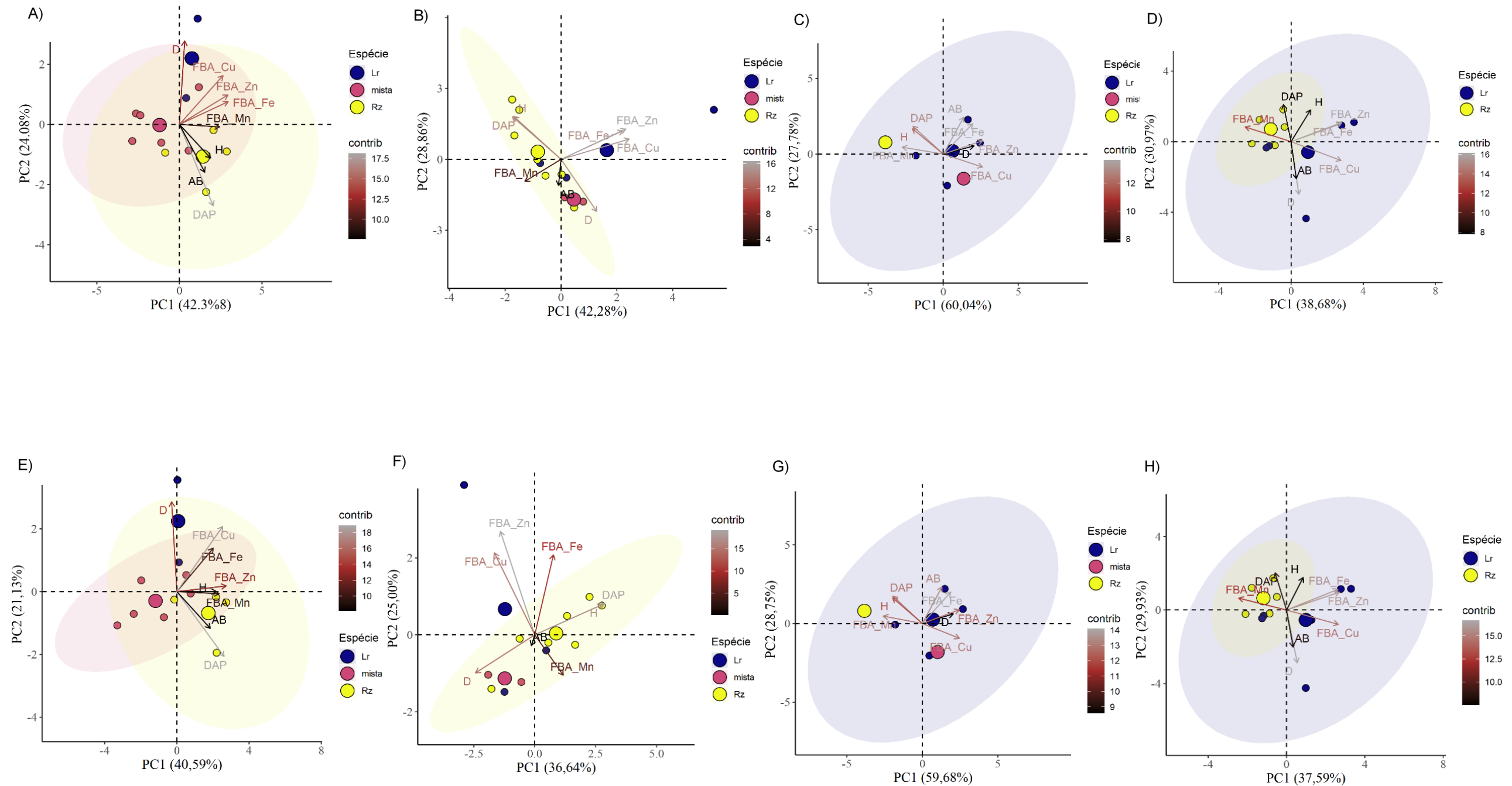
Figura 9: Indicador Abiótico Sedimentos - Distribuição da concentração (mg kg^{-1}) de cobre nos sedimentos na profundidade de 0 a 5 cm nos períodos: chuvoso_18/19 (outubro/2018– março/2019/Ano 1); seco_19 (abril/2019 – setembro/2019/Ano 1); chuvoso_19/20 (outubro/2019 - março/2020/Ano2); chuvoso_20/21 (janeiro - fevereiro /2021/Ano3); seco_21 (abril/2021 – agosto/2021/Ano4) e chuvoso_21/22 (dezembro/2021 – fevereiro/2022/Ano4); seco_22 (abril/2022 – agosto/2022/Ano4); chuvoso_22/23 (outubro/2022 – março/2023/Ano5) 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 PMBA/Fest. As letras indicam diferentes grupos estatísticos ($p < 0,05$). NA: Não amostrado. <LQ: Concentração abaixo do limite de quantificação do equipamento. TEL: Nível abaixo do qual os efeitos adversos são raramente esperados (*Threshold Effect Concentration*);



A distribuição espaço-temporal da concentração de cobre indica que os impactos provenientes deste metal na comunidade biológica são raramente esperados nos manguezais analisados. Apenas RD apresentou concentração acima do limite TEL no período chuvoso 20/21.

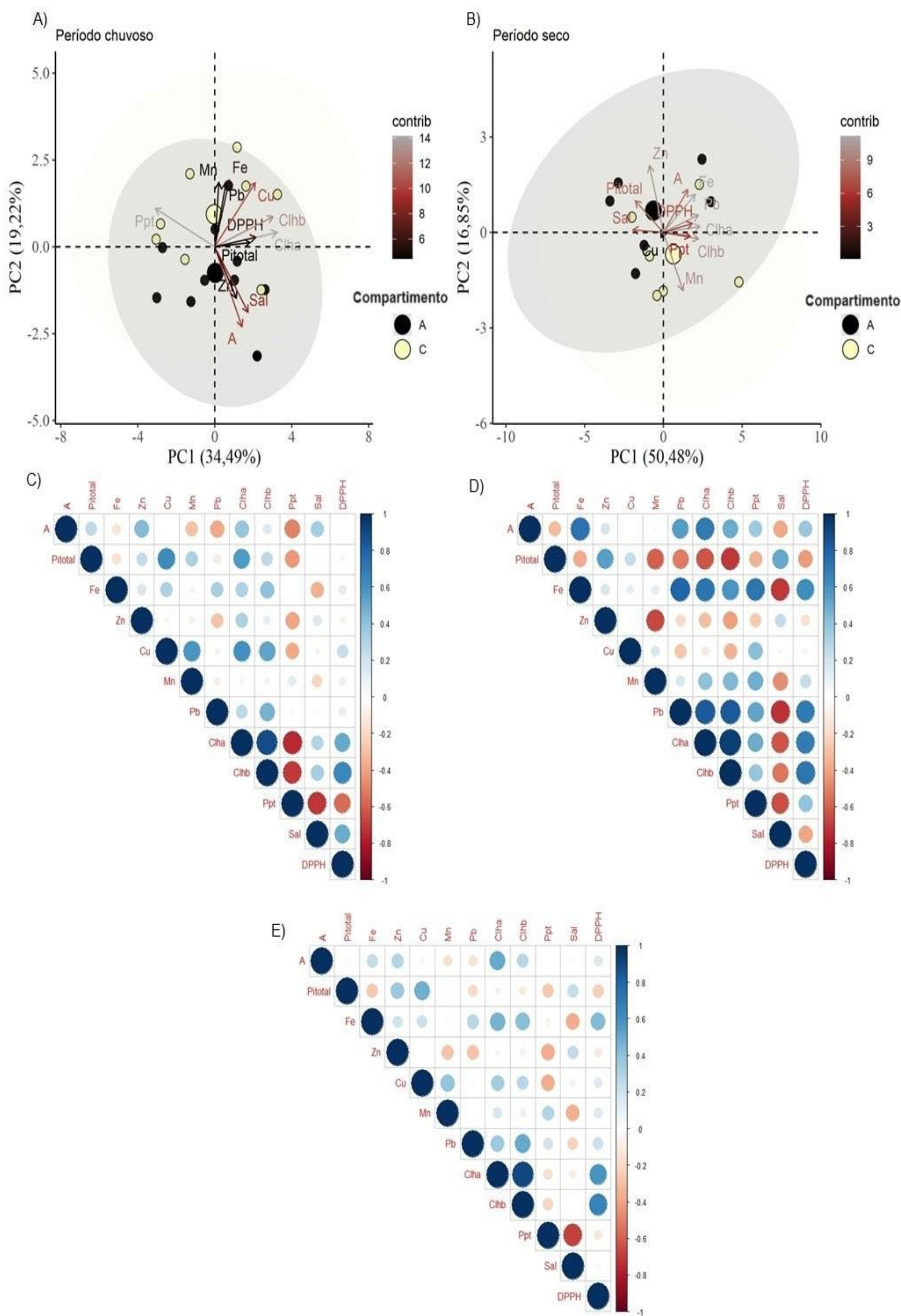
2.2 FLORA

Figura 10: 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, E - Piraquê-Açu 5-15 F - Piraquê-Mirim 5-15, G - Barra Nova 5-15, H - São Mateus 5-15. Parâmetros estruturais coletados em maio 2021. Fator de bioacumulação realizada com dados de sedimento profundidade 0 a 5 cm de outubro de 2018 a janeiro de 2023, profundidade 5 a 15 cm outubro 2018 a agosto 2022. 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, FAB- 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.



As florestas com dominância de *R. mangle*, representadas pelos centróides amarelos nas ACPs, estão associadas aos parâmetros que representam maior desenvolvimento estrutural (DAP médio, altura e área basal), como observado no lado direito da ACP para o Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, São Mateus e Barra Nova. Os agrupamentos formados para bosques mistos e dominados por *L. racemosa* representados pelos centróides rosa e azul, respectivamente, estão associados à maior densidade de indivíduos e reflete menor desenvolvimento estrutural. Para ambas as profundidades, a dominância da espécie reflete na bioacumulação dos metais. Bosques dominados por *R. mangle* possuem um maior FBA para manganês enquanto bosques mistos e dominados por *L. racemosa* apresentam um maior acúmulo de ferro, cobre, zinco e chumbo. Resultados similares foram obtidos por Ocampo et al. (2023). Os pesquisadores avaliaram o potencial de bioacumulação de *R. mangle* para os seguintes metais traço: ferro, chumbo, cobre, manganês, cromo, níquel e cádmio. Dos metais avaliados, Mn apresentou a maior bioacumulação durante o período do monitoramento. A maior bioacumulação de Mn por *R. mangle* em relação a *L. racemosa* também foi observada por Medina et al. (2015). Mejías et al. (2013) avaliaram o potencial de bioacumulação e translocação de dez metais traço (Hg, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mg, Zn) no sedimento do manguezal em Porto Rico para as espécies *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. germinans* e, similarmente ao padrão observado neste monitoramento, concluíram que a taxa de translocação e acúmulo desses metais nos tecidos vegetais (raízes e folhas) difere entre as espécies, sendo o acúmulo relacionado com o tipo de sedimento e a concentração de metais.

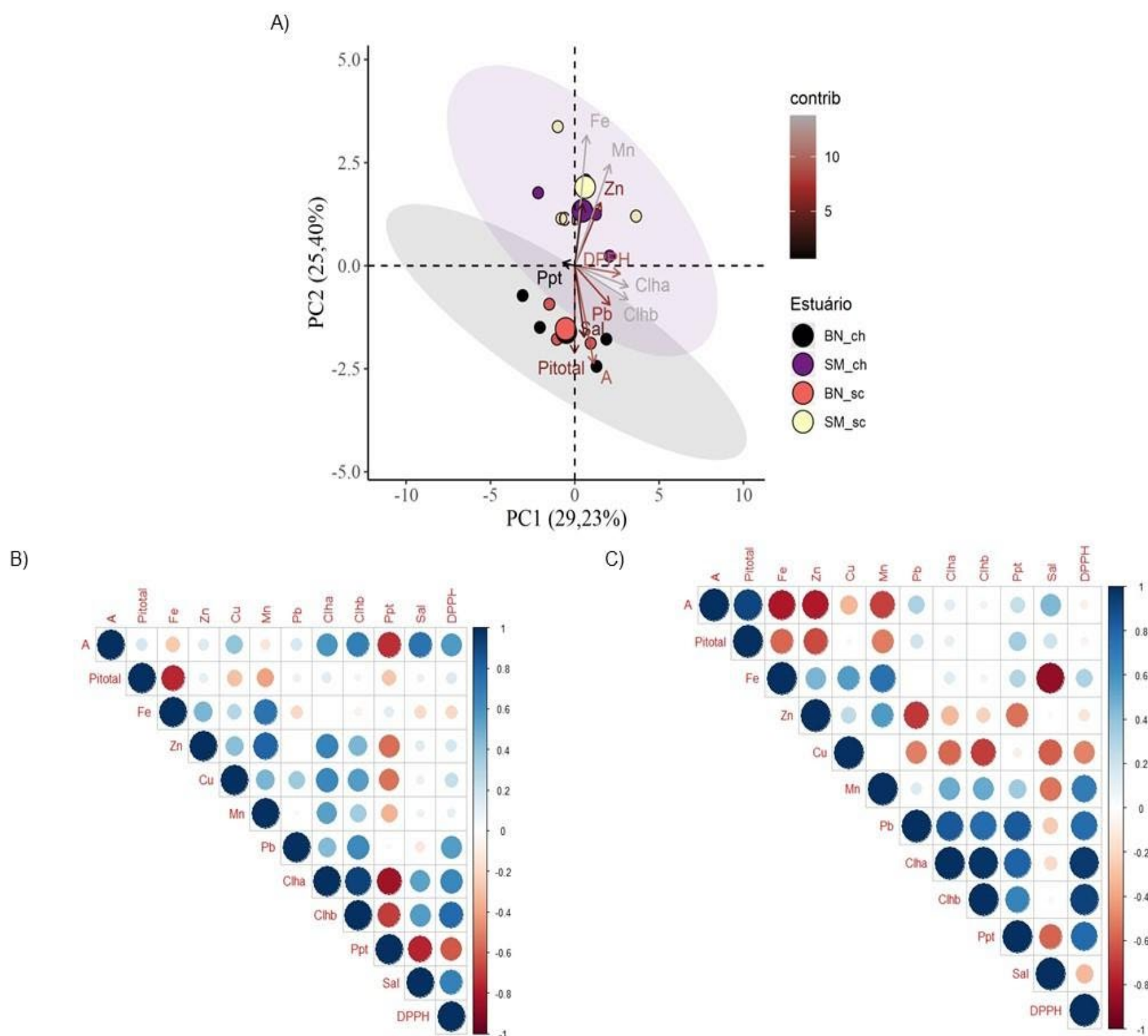
Figura 11: Indicador Ecológico Flora – *Rhizophora mangle*. Análise de componentes principais (ACP) (A e B) e correlação de Spearman (C, D e E) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: Compartimento A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim) e C (Barra Nova e São Mateus) - Áreas de coleta de dados distribuídas no norte do Espírito Santo, coletados de outubro de 2018 a março de 2023. 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.



O monitoramento dos parâmetros fisiológicos e dos metais em folhas de *R. mangle* foram integrados por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) e de correlações de Spearman e avaliados separadamente para o período chuvoso e seco. Para o período chuvoso, o centróide representando os estuários do compartimento A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim) foi identificado no lado inferior da ACP e seus estuários foram associados à maior assimilação de carbono e maior concentração de Zn no tecido foliar. Este padrão já havia sido identificado anteriormente pelo Tema Manguezal (FEST, 2023), uma vez que o Zn é um oligoelemento necessário para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Dentre os manguezais avaliados, o manguezal do rio Piraquê-Mirim apresenta maior salinidade, justificando a presença do vetor salinidade no agrupamento. Contudo, com este conjunto de dados (período chuvoso), não foi observado comprometimento do aparato fotossintético resultante do aumento da salinidade intersticial, mas, em contrapartida, no período seco, a salinidade foi correlacionada negativamente com a concentração de clorofila *a* ($r_{\text{salinidade} \times \text{clorofila } a} = -0,64$; $p < 0,05$). Ao contrário do compartimento A, o centróide do compartimento C (Barra Nova e São Mateus) encontra-se no lado superior da ACP e, como reportado anteriormente (FEST, 2023), evidencia menor desempenho fotossintético associado à maior concentração de Mn, Pb e Fe no tecido foliar. Embora seja um elemento essencial, auxiliando na manutenção da estrutura dos cloroplastos, o excesso de Mn pode danificar o sistema fotossintético e interferir na biossíntese da clorofila, comprometendo o acúmulo de biomassa da planta (HUANG et al., 2019). Huihui et al. (2020) reportaram que *Morus alba* (espécie altamente resistente à seca, ao frio e à salinidade) reduziram a eficiência de utilização de CO₂ quando expostas a altas concentrações de Pb. Em *Kandelia candel* e *Bruguiera gymnorhiza* (Rhizophoraceae), Huang and Wang (2010) verificaram que o aumento do teor de Pb nas folhas alterou a produtividade fotossintética. Perpendicular a estes padrões, o efeito do Cu foliar sobre a concentração de clorofila ($r_{\text{Cu} \times \text{clorofila } a} = 0,63$; $p < 0,01$; $r_{\text{Cu} \times \text{clorofila } b} = 0,65$; $p < 0,01$) e, consequentemente, sobre o desempenho fotoquímico ($r_{\text{PI}_{\text{Total}} \times \text{clorofila } a} = 0,52$; $p < 0,05$) é destacado no eixo x positivo da ACP, embora seja indicada a ocorrência de estresse oxidativo resultante da presença do metal ($r_{\text{Cu} \times \text{DPPH}} = 0,60$; $p < 0,01$). O crescimento resultante da produtividade fotossintética de plântulas de *Bruguiera gymnorhiza* e *Rhizophora stylosa* ocorre em doses de até 400 mg kg⁻¹ de Cu, mas é observado um crescimento lento (Cheng et al., 2012). No período seco, as tendências observadas para o período chuvoso permanecem e se apresentam mais acentuadas. O compartimento A apresenta maior desempenho fotossintético associado ao Zn foliar e o compartimento C, por sua vez, menor desempenho fotossintético associado à maior concentração de Mn na folha. O efeito negativo da concentração do Mn foliar no aparato fotossintético é corroborado pela correlação negativa com o PI_{Total} ($r_{\text{Mn} \times \text{PI}_{\text{Total}}} = -0,67$; $p < 0,05$), além da redução do desempenho fotoquímico à medida que o estresse oxidativo aumenta ($r_{\text{DPPH} \times \text{PI}_{\text{Total}}} = -0,59$; $p < 0,05$). Apesar da correlação positiva entre o Fe foliar e assimilação de carbono ($r_{\text{Fe} \times A} = 0,69$; $p < 0,05$), o aumento do metal no tecido foliar é acompanhado pelo aumento do estresse oxidativo ($r_{\text{Fe} \times \text{DPPH}} = 0,77$; $p < 0,01$). Nas análises anteriores (FEST, 2023, RT43, Tema Manguezal), não foi detectado efeito negativo da concentração do Pb no tecido foliar sobre os parâmetros analisados para *R. mangle*. Entretanto, com este conjunto de dados, identificou-se aumento do estresse oxidativo acompanhado de maior concentração do metal na folha ($r_{\text{Pb} \times \text{DPPH}} = 0,69$; $p < 0,05$). A partir dos resultados destacados aqui, é possível inferir que indivíduos de *R. mangle*

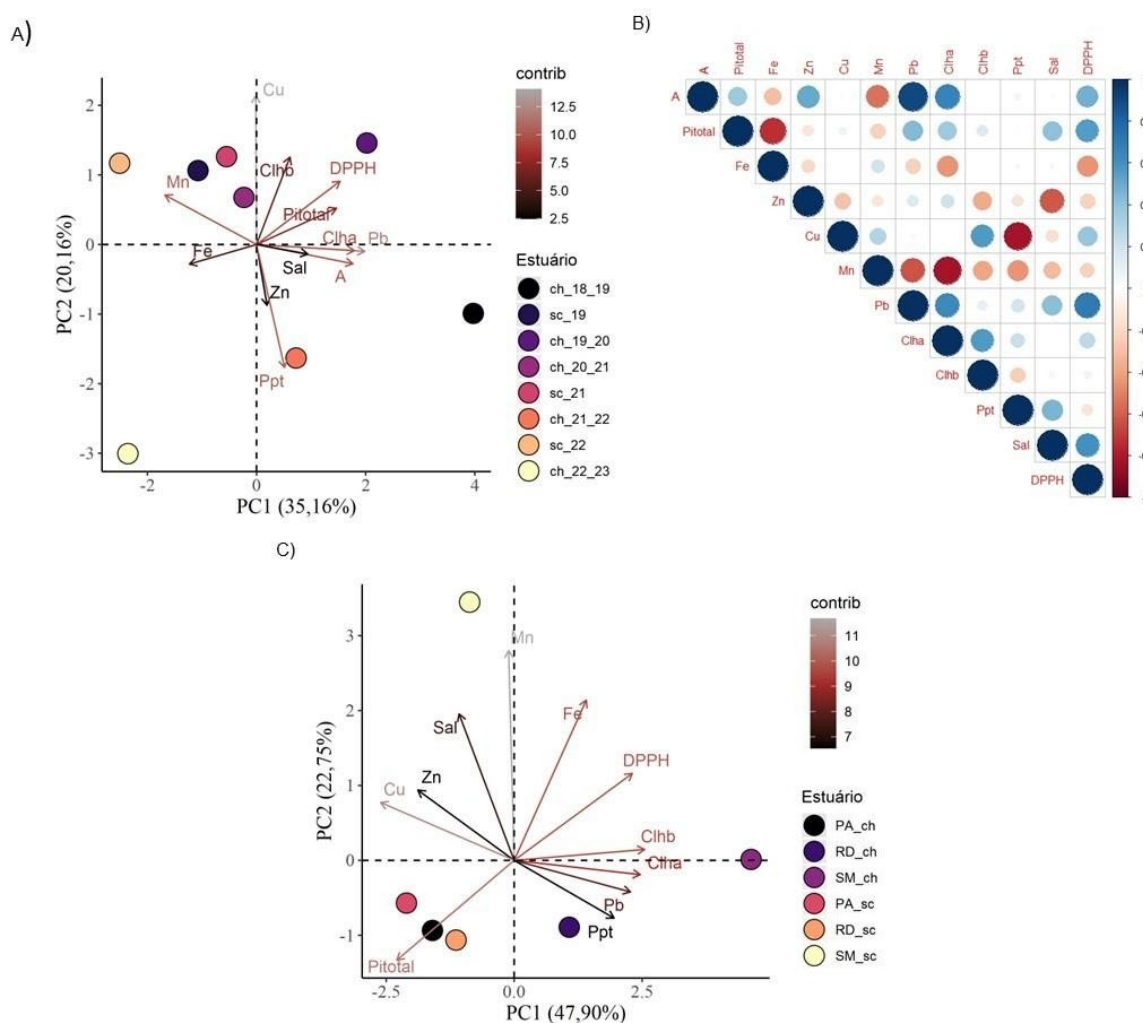
expostos a períodos prolongados de seca são mais susceptíveis aos efeitos oxidativos resultantes da exposição aos metais. Visando integrar os dados fisiológicos e dos metais em folhas para todo o monitoramento de *R. mangle*, uma correlação geral foi conduzida e aponta ação positiva do Zn sobre o índice de desempenho fotoquímico ($r_{Zn \times PI_{Total}} = 0,42$; $p < 0,05$). Efeito positivo do Fe sobre a concentração de clorofila ($r_{Fe \times clorofila\ a} = 0,38$; $p < 0,05$; $r_{Fe \times clorofila\ b} = 0,38$; $p < 0,05$) e a estreita relação da concentração de clorofila *a* com a assimilação de carbono ($r_{clorofila\ a \times A} = 0,46$; $p < 0,01$) também foram registrados. No entanto, o acúmulo de Fe, assim como Cu e Pb no tecido foliar, são associados ao aumento do estresse oxidativo ($r_{Fe \times DPPH} = 0,51$; $p < 0,01$; $r_{Cu \times DPPH} = 0,39$; $p < 0,05$; $r_{Pb \times DPPH} = 0,37$; $p < 0,05$).

Figura 12: Indicador Ecológico Flora – *Laguncularia racemosa*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B e C) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: BN: Barra Nova e SM: São Mateus - Áreas de coleta de dados distribuídas no norte do Espírito Santo, coletados de outubro de 2018 a março de 2023. 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; C: Período seco. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



A espécie *Laguncularia racemosa* é avaliada em menor extensão dentro do PMBA/Fest, tendo os parâmetros fisiológicos e de metais foliares obtidos apenas nos estuários do compartimento C (Barra Nova e São Mateus). Por isso, a ACP foi elaborada considerando os dados tanto do período chuvoso quanto do período seco. Nota-se separação dos estuários na ACP, com Barra Nova, independente do período, apresentando melhor desempenho fotossintético associado a menor concentração de metais no tecido foliar e maior salinidade. A participação da salinidade neste agrupamento aparenta não causar prejuízos fotossintéticos, como visto pela correlação entre salinidade e assimilação de carbono ($r_{\text{salinidade} \times A} = 0,61$; $p < 0,05$). Em contrapartida, no manguezal do rio São Mateus, menor desempenho fotossintético e maior concentração de Fe, Mn e Zn no tecido foliar de *L. racemosa* é observado. O efeito negativo do Fe sobre a produção primária é confirmado pela correlação negativa entre Fe e PI_{Total} ($r_{Fe \times PI_{Total}} = -0,61$; $p < 0,05$). Dentre os metais avaliados, apenas o Pb foi associado ao estresse oxidativo ($r_{Pb \times DPPH} = 0,70$; $p < 0,01$). Uma análise de correlação também foi conduzida para cada período a fim de verificar padrões sazonais. Na análise para o período chuvoso foi registrado novamente o efeito negativo do Fe sobre o PI_{Total} ($r_{Fe \times PI_{Total}} = -0,78$; $p < 0,05$) e positivo da salinidade sobre a assimilação de carbono ($r_{\text{salinidade} \times A} = 0,80$; $p < 0,05$); neste período ainda se destaca a correlação positiva entre Cu foliar e concentração de clorofila a ($r_{Cu \times \text{clorofila a}} = 0,75$; $p < 0,05$). O Cu é um metal de transição redox-ativo essencial para as plantas, participando de vários processos fisiológicos (YRUELA, 2009). Além disso, Souza et al. (2014) observaram uma correlação positiva entre a concentração de Cu nas folhas em *L. racemosa* e a concentração de Cu nos sedimentos, alegando que esta translocação pode ocorrer para fornecer o nível de cobre necessário para o processos fotossintéticos. Ao contrário de *R. mangle*, indivíduos de *L. racemosa* têm seu desempenho fotossintético reduzido com o aumento do Zn do tecido foliar no período seco, como observado pelas correlações entre o metal e a assimilação de carbono e PI_{Total} ($r_{Zn \times A} = -0,88$; $p < 0,05$; $r_{Zn \times PI_{Total}} = -0,94$; $p < 0,05$). Para esse mesmo período, registrou-se correlação positiva entre assimilação de carbono e PI_{Total} ($r_{A \times PI_{Total}} = 0,94$; $p < 0,05$).

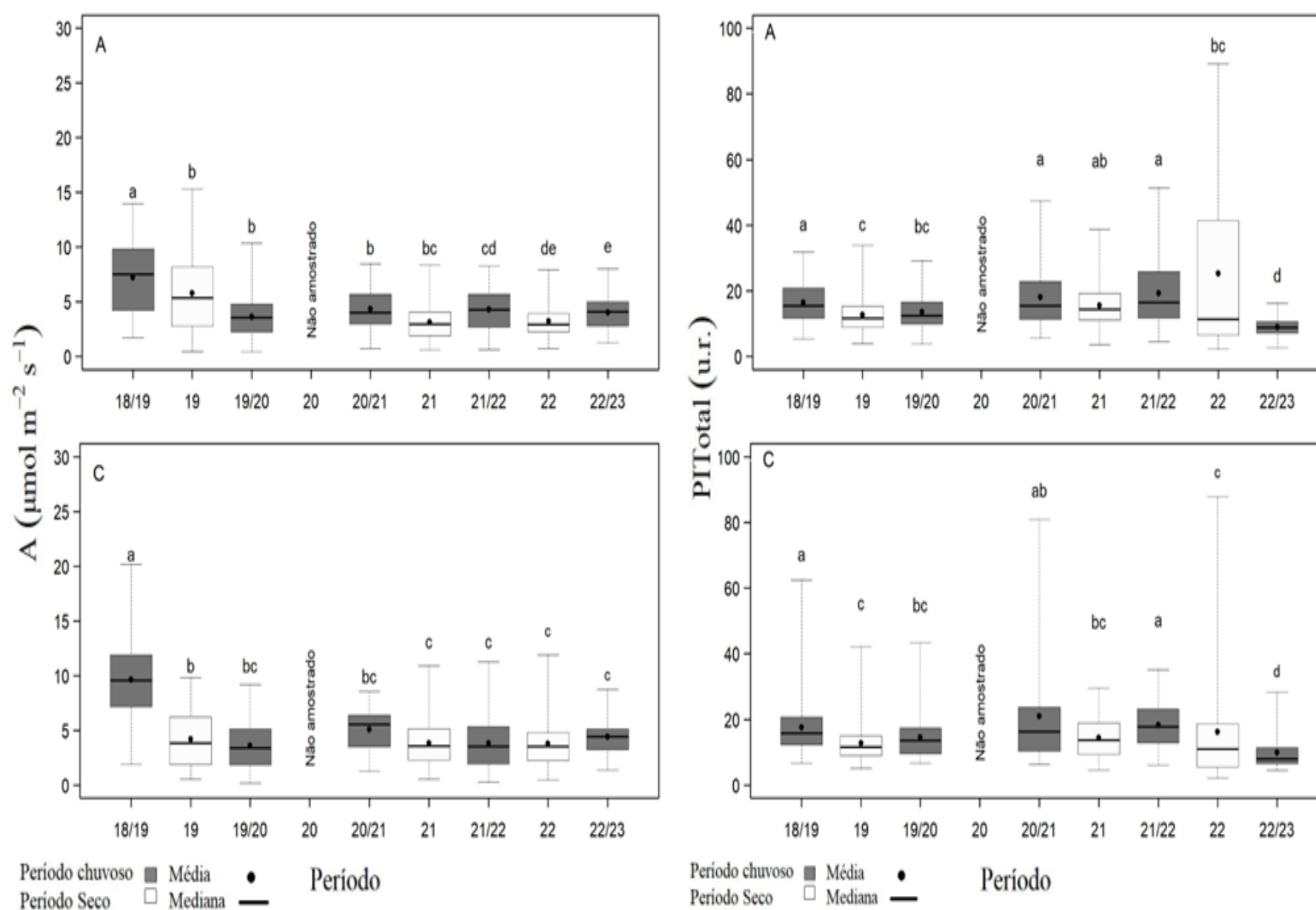
Figura 13: Indicador Ecológico Flora – *Talipariti pernambucense*. Análise de componentes principais (ACP) (A e C) e Correlação de Spearman (B) entre parâmetros fisiológicos, precipitação, salinidade e metais no tecido foliar. Legenda: PI_{Total} : índice de conservação de energia dos fótons absorvidos 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), PA: Piraquê-Açu, RD: Rio Doce; SM: São Mateus - Áreas de coleta de dados distribuídas no norte do Espírito Santo. A e B: ACP e correlação de Spearman contemplam dados coletados de outubro de 2018 a março de 2023 no Rio Doce; C: contempla dados coletados entre abril de 2022 a março de 2023 para Rio Doce, São Mateus e Piraquê-Açu. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



Talipariti pernambucense é avaliada na foz do Rio Doce desde o início do PMBA/Fest e, na construção e análise da ACP, todos os períodos do monitoramento são considerados. Os períodos secos (2019, 2021 e 2022) e o período chuvoso 2020/2021 são agrupados em função do menor desempenho fotossintético e das maiores concentrações de Mn e Fe no tecido foliar, reforçado pela correlação negativa entre Fe e clorofila a ($r_{Fe \times \text{clorofila a}} = -0,73$; $p < 0,05$). Os períodos chuvosos 2018/2019 e 2019/2020 encontram-se opostos ao este agrupamento e são associados ao Pb no tecido foliar e ao estresse oxidativo ($r_{Pb \times DPPH} = 0,75$; $p < 0,05$), embora a espécie mantenha bom desempenho

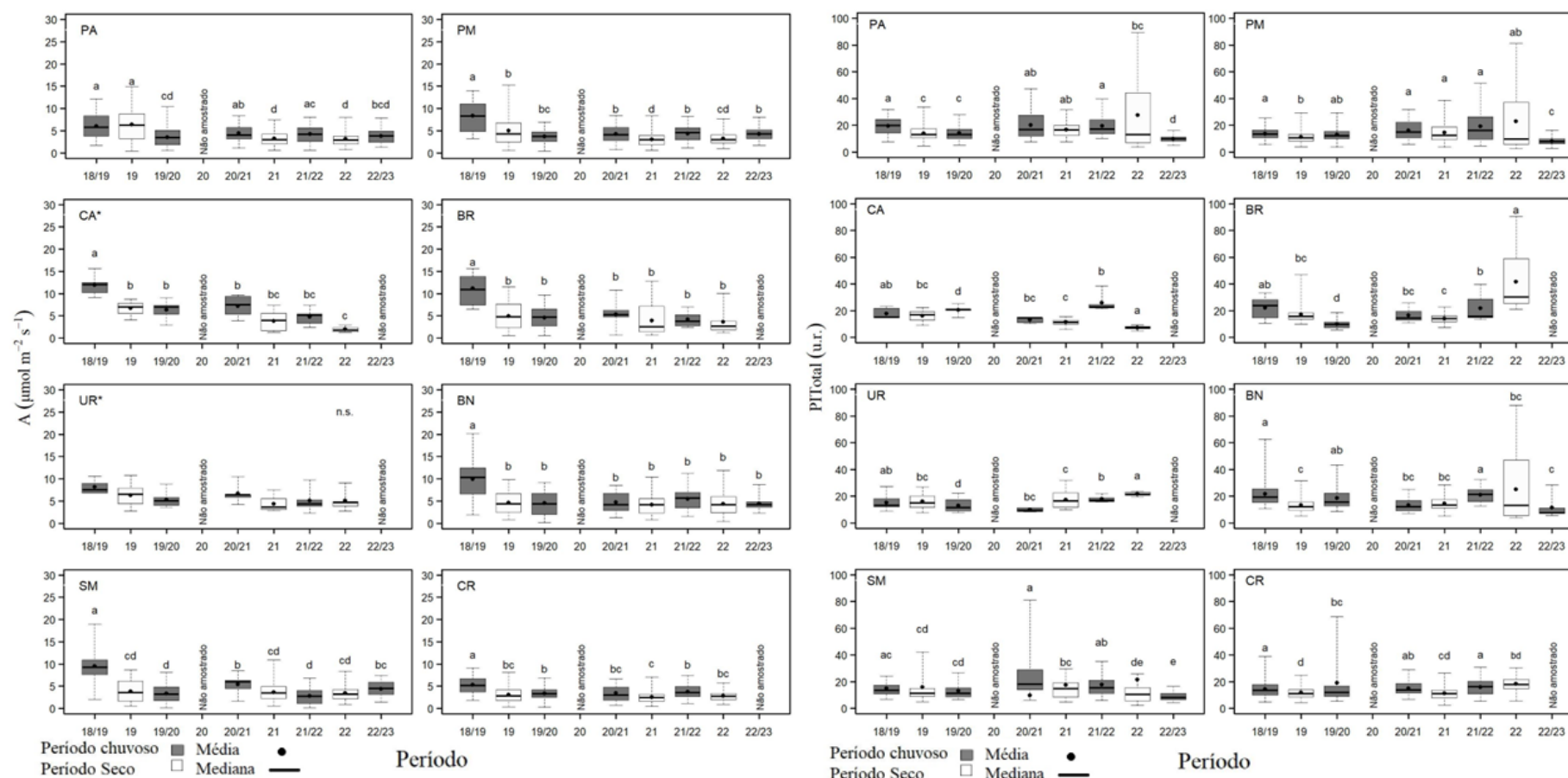
fotossintético nestes períodos em relação aos demais, como observado por sua associação com A , PI_{Total} e clorofila a . Perpendicular a esses padrões, os períodos chuvosos 2021/2022 e 2022/2023 foram associados à maior precipitação e zinco no tecido foliar. No novo ciclo do PMBA/Fest, novas áreas de *T. pernambucense* foram adicionadas (Piraquê-Açu e São Mateus) e para comparar o desempenho da espécie entre as áreas, uma ACP foi construída e nota-se que Rio Doce e São Mateus, no período chuvoso, estão agrupados em função da concentração de clorofilas, da precipitação e da concentração de Pb no tecido foliar. O estresse oxidativo destaca-se neste agrupamento. Em oposição a este agrupamento, tem-se o Piraquê-Açu (representado por ambos os períodos) e Rio Doce (no período seco) mostrando melhor desempenho fotoquímico associado à concentração de Zn e Cu no tecido foliar. No eixo y positivo, o desempenho de *T. pernambucense* no Rio São Mateus durante o período seco, foi associado com salinidade, Fe e Mn. Destaca-se que a coleta realizada no período seco 2022 resultou em valores elevados de salinidade para a espécie, aferindo-se 2,1 e 2,0 para São Mateus e Piraquê-Açu, respectivamente, enquanto a salinidade para o Rio Doce permaneceu dentro da média do PMBA/Fest. Portanto, assume-se que o menor desempenho fotoquímico registrado para São Mateus está relacionado à salinidade e à concentração de Fe e Mn no tecido foliar e indícios de redução da atividade fotossintética em função da concentração desses metais já foram apontados em FEST, 2023, RT43, Tema Manguezal. A análise dos resultados das novas áreas de *T. pernambucense*, comparadas com o Rio Doce, permite deduzir, de forma preliminar, que a espécie em São Mateus e Rio Doce têm seu desempenho fotossintético reduzido e aumento no estresse oxidativo em resposta à concentração de metais, principalmente Fe, Mn e Pb e ao aumento na salinidade.

Figura 14: 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 março 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) – Ano 5. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Nos compartimentos A e C, a análise temporal da assimilação de carbono (A) na espécie *R. mangle*, destaca redução da atividade fotossintética no período Chuvoso 2022/2023. Tendência de redução desse parâmetro no compartimento A tem sido registrado após o primeiro monitoramento (Chuvoso 2018_2019) e persiste ao longo de todo o monitoramento independente do período. No compartimento C também é observado redução da atividade fotossintética após o período chuvoso 2018/2019, com baixa assimilação de carbono mantendo-se estável ao longo de todo o monitoramento. O índice de conservação de energia (PI_{Total}) foi menor no último monitoramento (Chuvoso 2022/2023) nos dois compartimentos, contrariando a tendência de recuperação do desempenho fotoquímico a partir do período Chuvoso 2020/2021 observado nos períodos chuvosos. Tendência de recuperação da vitalidade da planta pode estar ocorrendo no compartimento A no período seco. No compartimento C ainda não é possível verificar tendências no período seco.

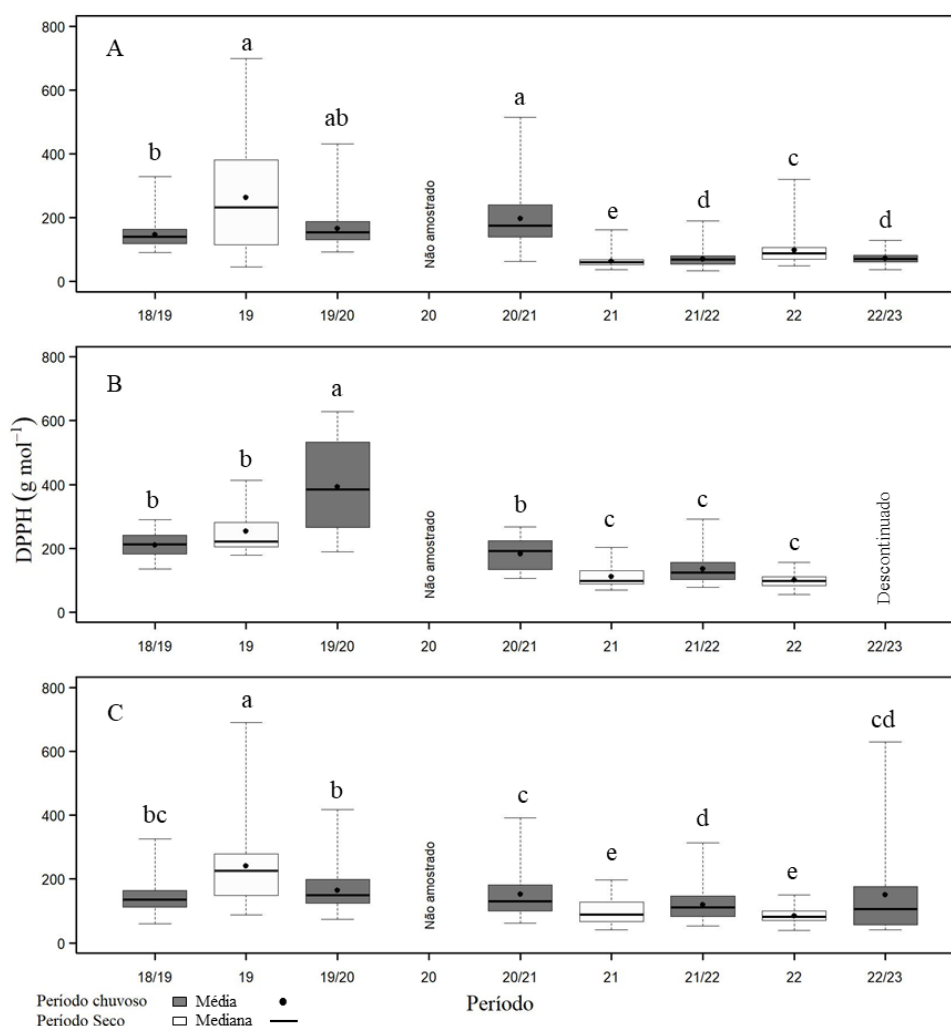
Figura 15: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal da assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Rhizophora mangle* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a março 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) – Ano 5. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). *ANOVA seguido do teste t. ** As áreas Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023).



A atividade fotossintética, representada pela assimilação de carbono em *R. mangle*, manteve-se constante ao longo de todo o monitoramento com reduções observadas após o primeiro monitoramento (Chuvoso 2018/2019), exceto em Piraquê-Açu, no qual foi observado redução da atividade fotossintética após Seco 2019. A possível recuperação no período chuvoso para a espécie no Piraquê-Açu, observação apontada em FEST, 2023, não foi confirmada nos registros dos dados coletados no período Chuvoso 2022/2023. Em Barra Nova, a assimilação de carbono mantém-se baixa e estável ao longo de todo o monitoramento em ambos os períodos, comparadas à primeira coleta. Houve redução de PI_{Total} em todas as estações no último período analisado (Chuvoso 2022/2023). O estuário do Piraquê-Mirim mantinha uma eficiência fotoquímica estável ao longo de todo o monitoramento, mas registrou uma redução acentuada desse parâmetro em Chuvoso 2022/2023. O mesmo padrão observado no Piraquê-Mirim também foi verificado no Piraquê-Açu e em Barra Nova, uma vez que a tendência de recuperação do desempenho fotoquímico observado após o Chuvoso 2020/2022 e o Chuvoso 2021/2022 não foi registrado no último período chuvoso (Chuvoso 2022/2023).

Figura 16: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH* de *Rhizophora mangle* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

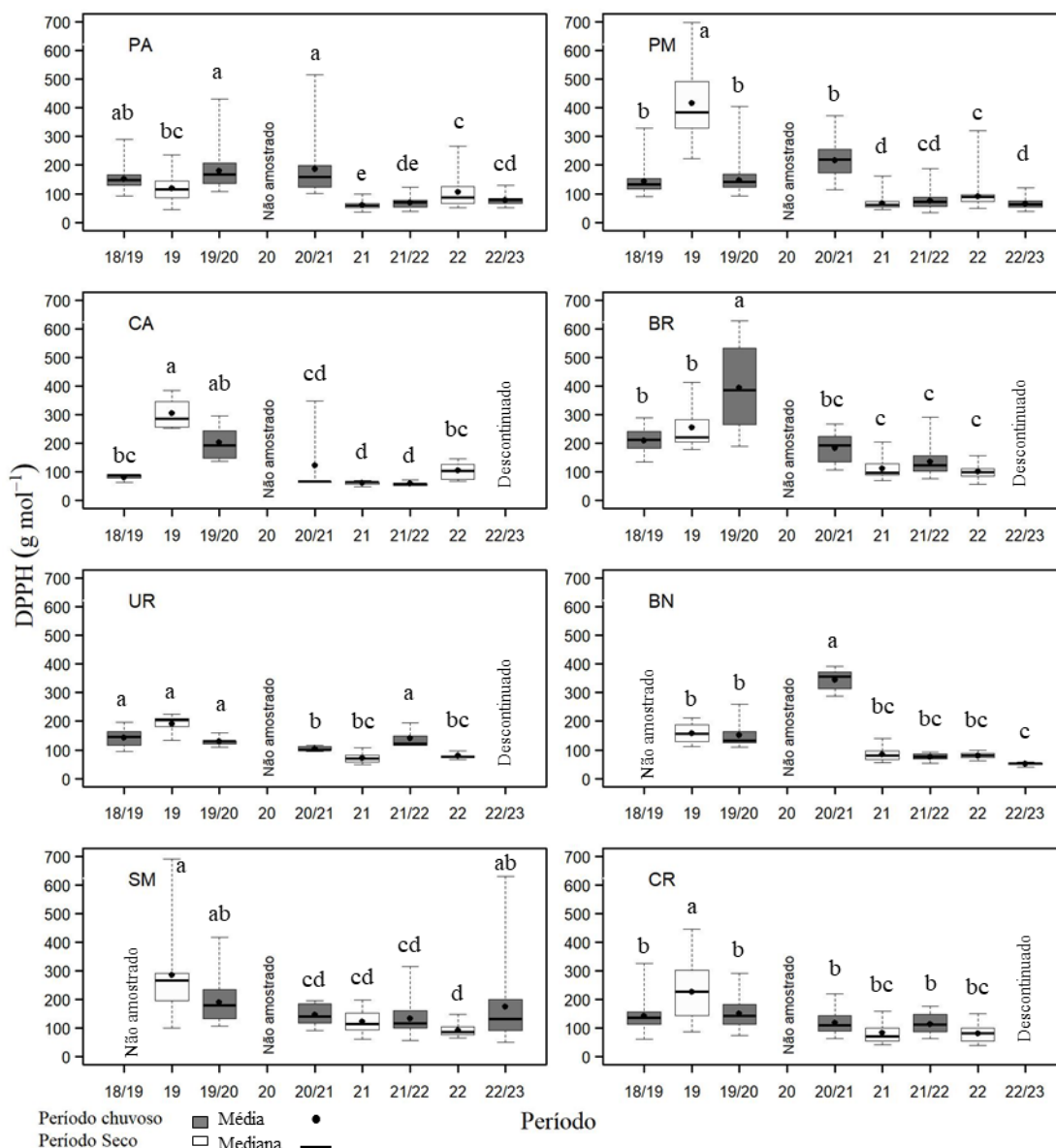
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



Na análise temporal do estresse oxidativo realizada nos três compartimentos, observou-se redução nos valores da atividade antirradicalar (DPPH) no compartimento A no período Chuvoso 22_23 (outubro de 2022 a março de 2023), comparativamente ao período anterior (Seco_22). Em relação ao período Chuvoso 21_22, não houve diferença estatística significativa. No compartimento C, houve aumento de DPPH no período Chuvoso 22_23 em relação ao Seco_22, mas com tendência de estabilidade quando comparado aos períodos Chuvoso 20_21 e Chuvoso 21_22. A redução de valores não conclui, exclusivamente, ausência de estresse oxidativo, uma vez que essa variável precisa ser analisada em associação com as demais variáveis. O monitoramento no compartimento B foi descontinuado.

Figura 17: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH* de *Rhizophora mangle* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM) e Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

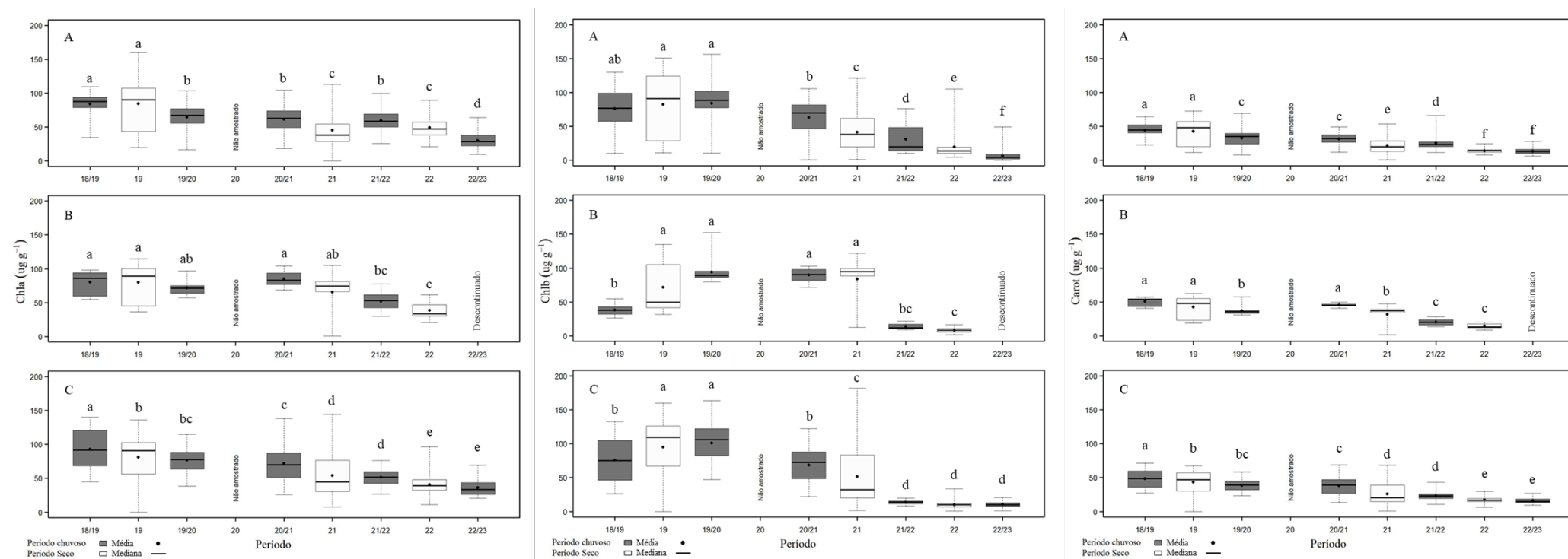


A partir do período Seco 21, houve tendência de queda nos valores de DPPH no Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Barra Nova. Os menores valores registrados nesses estuários não excluem a possibilidade de estresse oxidativo, uma vez que, como já salientado, tal variável deve ser considerada em associação com as demais variáveis analisadas na flora. Em São Mateus, houve aumento de DPPH no período Chuvoso 22_23, com valores similares àqueles descritos nos períodos Seco_19 e Chuvoso 19_20,

indicando possível estresse oxidativo. O monitoramento nos estuários de Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

Figura 18: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla), clorofila b (Chlb) e carotenoides (Carot) de *Rhizophora mangle* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



Nos compartimentos A e C houve redução na concentração de Chla em *R. mangle* a partir do período Chuvoso 19_20 (outubro de 2019 a março de 2020). No compartimento A, o período Chuvoso 22_23 foi o que apresentou os menores valores de Chla, considerando todo o período do monitoramento. No compartimento C, a concentração de Chla foi similar no período Chuvoso 22_23 e Seco_22. Houve redução na concentração de Chlb a partir do período Chuvoso 20_21 nos compartimentos A e C. No compartimento A, os menores valores de Chlb em todo o monitoramento foram observados no período Chuvoso 22_23. No compartimento C, há uma tendência de estabilidade na concentração do pigmento a partir do Chuvoso 21_22. A redução na concentração de carotenóides ocorreu a partir do período Chuvoso 19_20 nos compartimentos A e C. Observou-se, também, menores valores de pigmentos carotenóides nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 comparativamente aos demais períodos. O monitoramento no compartimento B foi descontinuado.

*Monitoramento encerrado a partir do período Chuvoso 22 23.



Figura 20: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila b (Chlb) de *Rhizophora mangle* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM) e Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

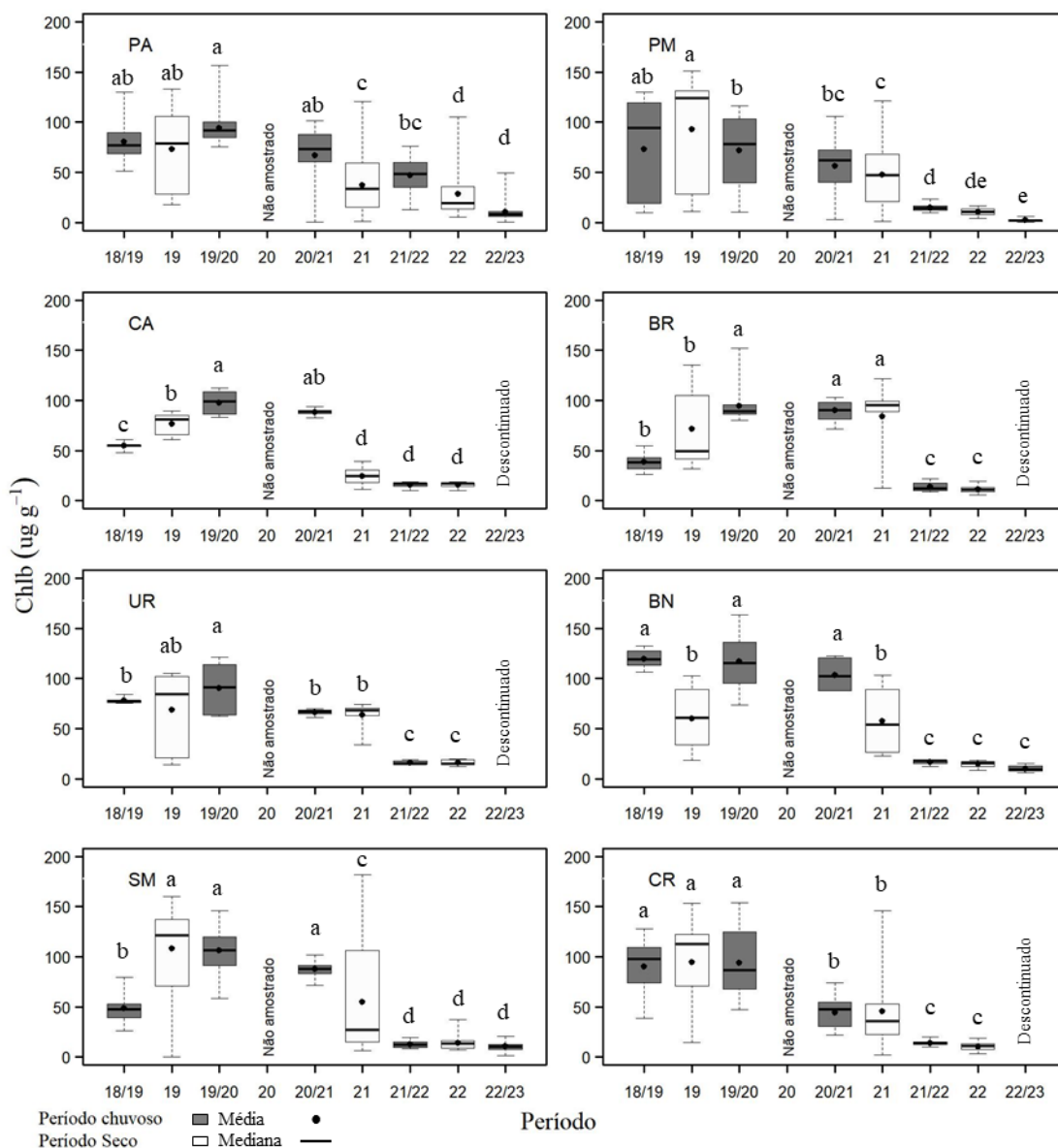
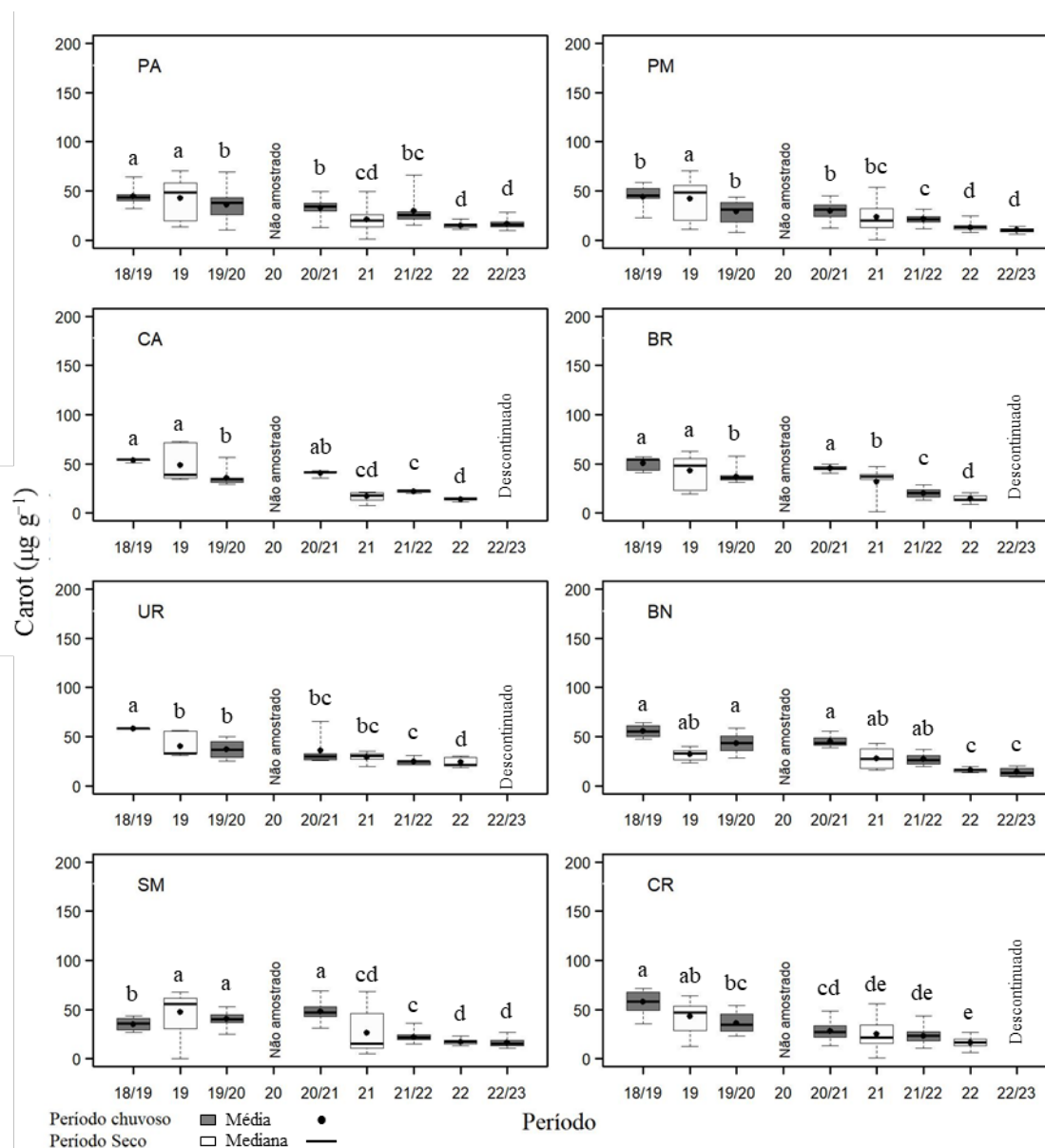


Figura 21: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de carotenoide (Carot) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM) e Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

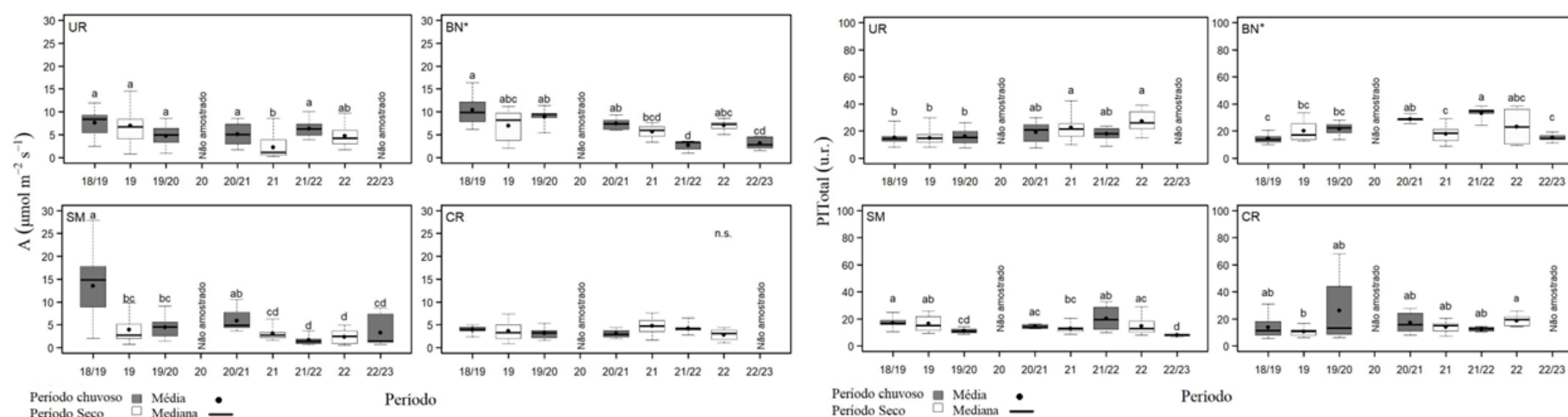
*Monitoramento encerrado a partir do período Chuvoso_22_23.



A concentração de pigmentos fotossintéticos em *R. mangle* analisada por estuário mostrou redução de Chla, Chlb e de carotenóides a partir do período Seco_21 nos estuários ainda monitorados (Figura 19, Figura 20 e Figura 21). Percebe-se que os períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 mostraram resultados similares, com os menores valores, particularmente de Chlb e carotenóides. Tais resultados podem estar associados ao alto fator de bioacumulação (FBA) observado para Mn (Figura 40). O

monitoramento nos estuários de Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

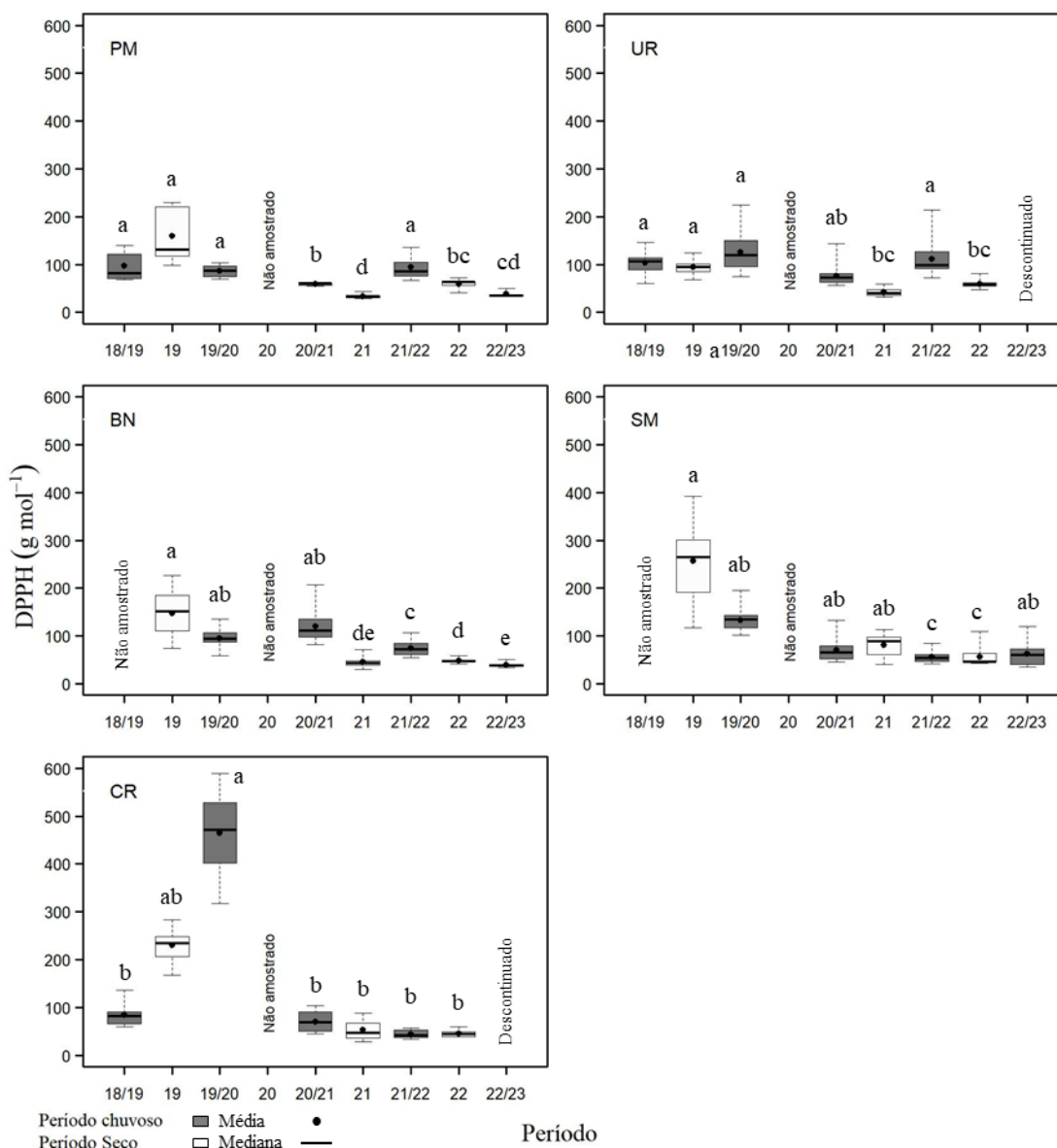
Figura 22: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal da assimilação de carbono (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a março 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). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). *ANOVA seguido do teste t. ** As áreas Urussuquara e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023)



A análise temporal da assimilação de carbono para a espécie *L. racemosa* revela tendência de redução da atividade fotossintética em São Mateus e Barra Nova. No manguezal de São Mateus, apesar do aumento do valor médio deste parâmetro no período Chuvoso 2022/2023, não houve diferença estatística em relação ao período chuvoso 2021/2022. Redução da eficiência fotoquímica foi observada no último período Chuvoso 2022/2023. A tendência de recuperação da performance fotossintética da espécie não é confirmada, uma vez que nos dois estuários foi observado aumento do índice de desempenho fotossintético no período Chuvoso 2021/2022.

Figura 23: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH* de *Laguncularia racemosa* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



Em *L. racemosa*, menores valores de DPPH foram observados nos estuários do Piraquê_Mirim e Barra Nova no período Chuvoso 22_23. O contrário ocorre em São Mateus, com dados de atividade antirradicalar mais elevados, semelhantes aos observados nos períodos Chuvoso 19_20, Chuvoso 20_21 e Seco_21. Entretanto, para se afirmar que a planta está sob estresse oxidativo, deve-se considerar outras variáveis analisadas. O monitoramento nos estuários de Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

Figura 24: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla) de *Laguncularia racemosa* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

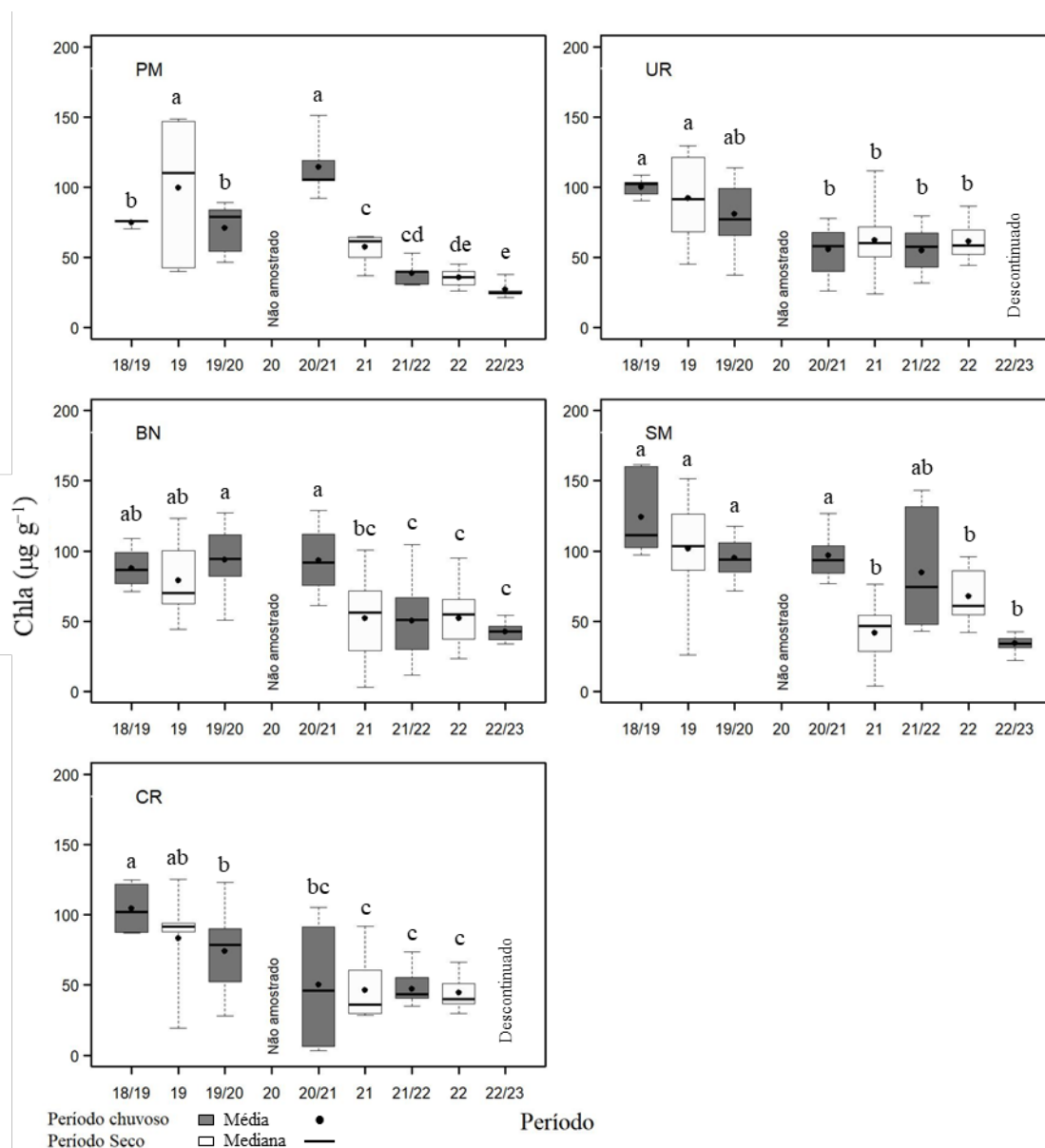


Figura 25: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila b (Chlb) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

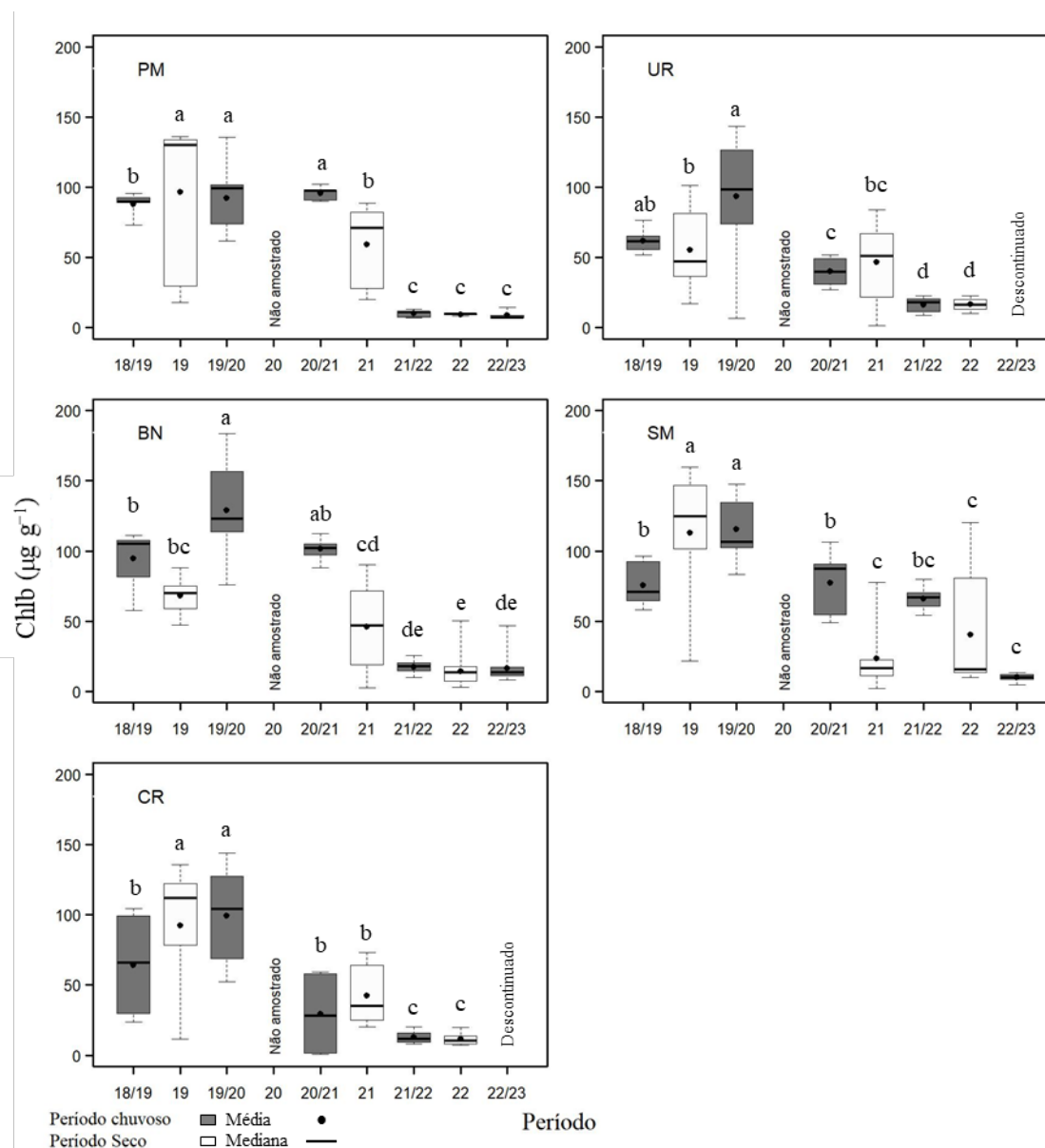
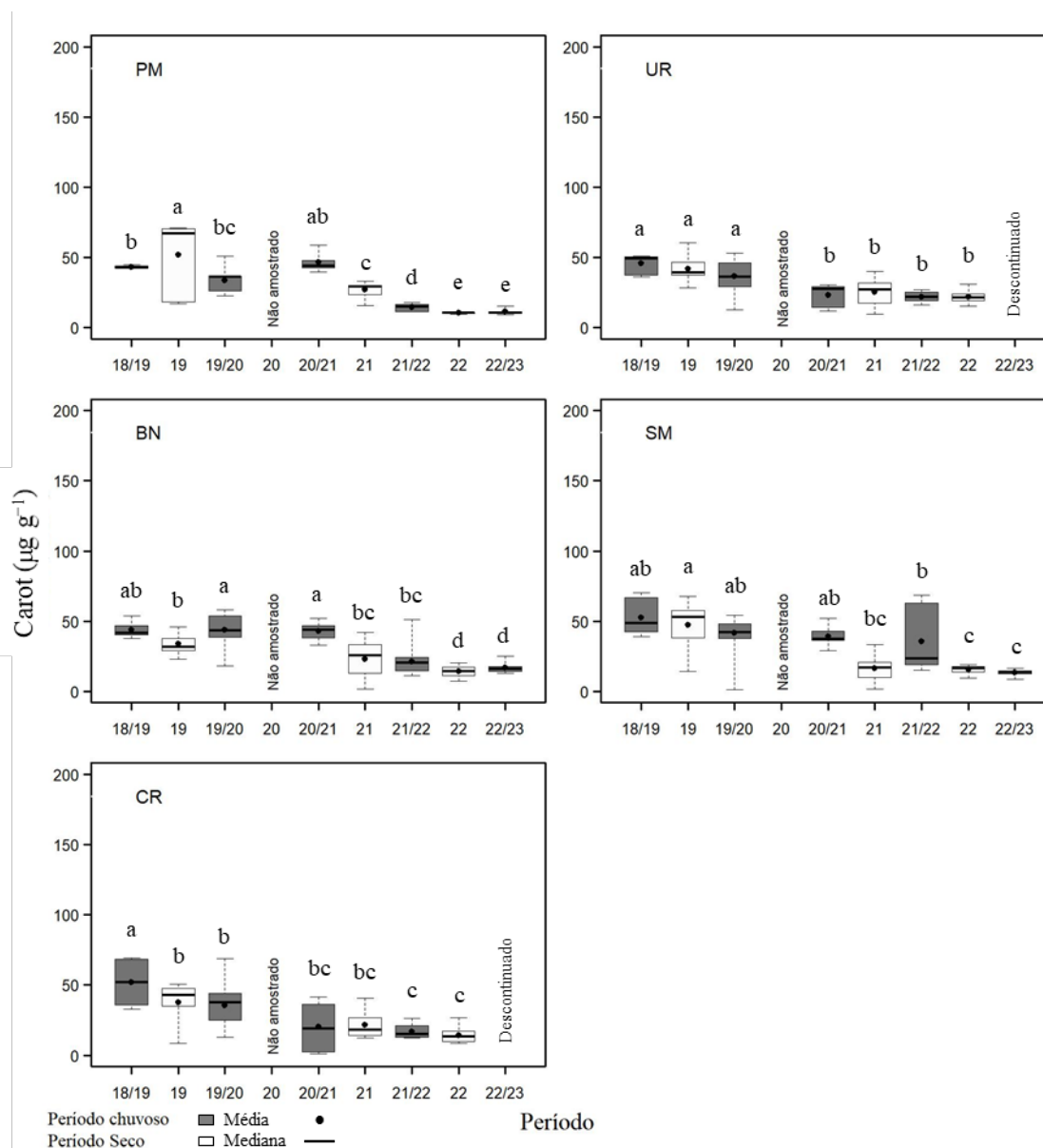


Figura 26: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de carotenóide (Carot) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

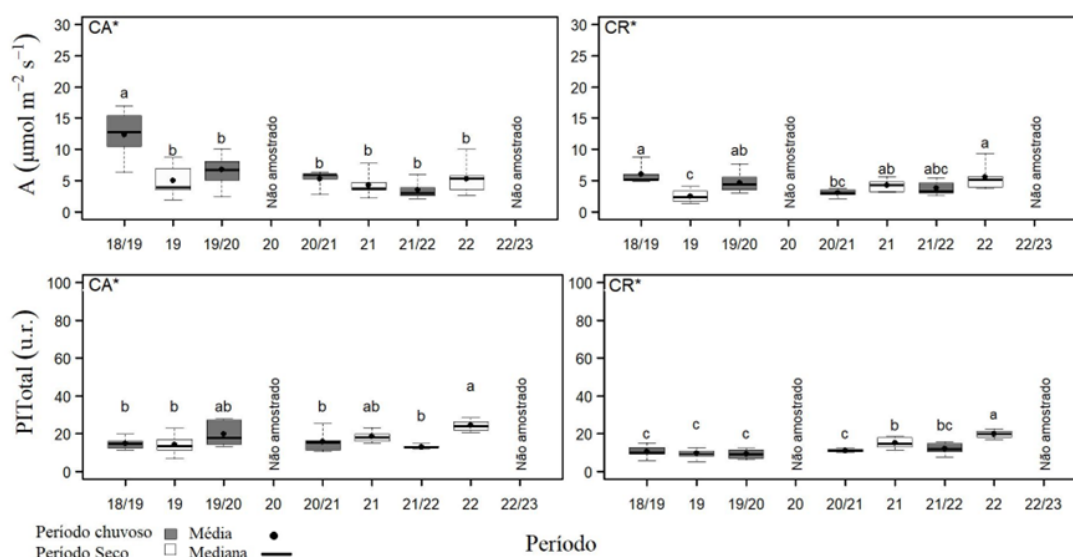
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



A concentração de Chla, Chlb e carotenóides reduziu em *L. racemosa* nos estuários do Piraquê-Mirim e Barra nova a partir do período Seco_21, com tendência de estabilidade até o período Chuvoso 22_23 (Figura 24, Figura 25 e Figura 26). Em São Mateus, houve comportamento semelhante, exceto no período Chuvoso 21_22, onde observou-se recuperação na concentração dos pigmentos analisados. Essas alterações na síntese dos pigmentos podem estar associadas aos maiores valores de Fe e Cu

foliar (Figura 90 e Figura 93, respectivamente) presentes no período Seco_22 e Chuvoso 22_23 em todos os estuários com domínio de *L. racemosa*.

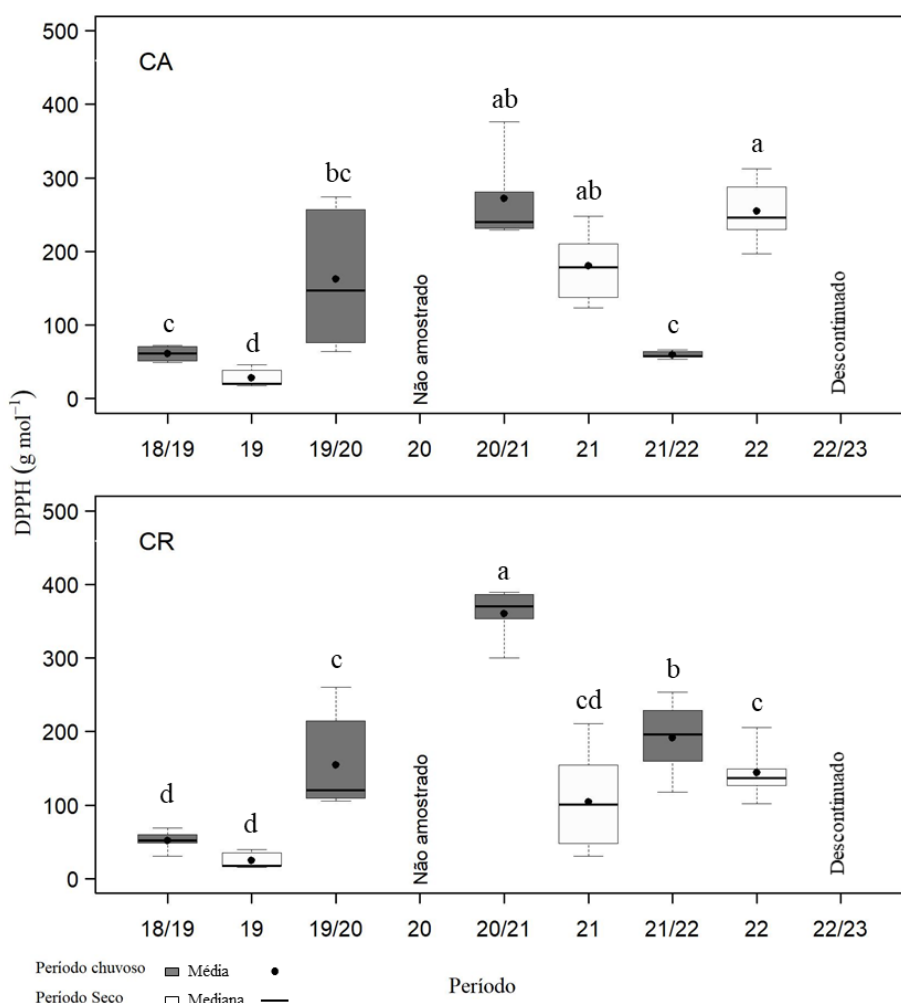
Figura 27: Indicador Ecológico Flora - Assimilação de carbono (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e Índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa). Análise temporal da assimilação de carbono (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) para a espécie *Avicennia schaueriana* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a março 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). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). *ANOVA seguido do teste t. As áreas Costa das Algas e Caravelas deixaram de ser monitoradas a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023).



Não foi realizada amostragem no período Chuvoso 2022/2023 para a espécie *A. schaueriana*. As áreas de Costa das Algas e Caravelas foram descontinuadas no novo Plano de Trabalho Avaliação temporal das plantas de *Avicennia 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 28: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH' de *Avicennia schaueriana* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas (CA)* e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

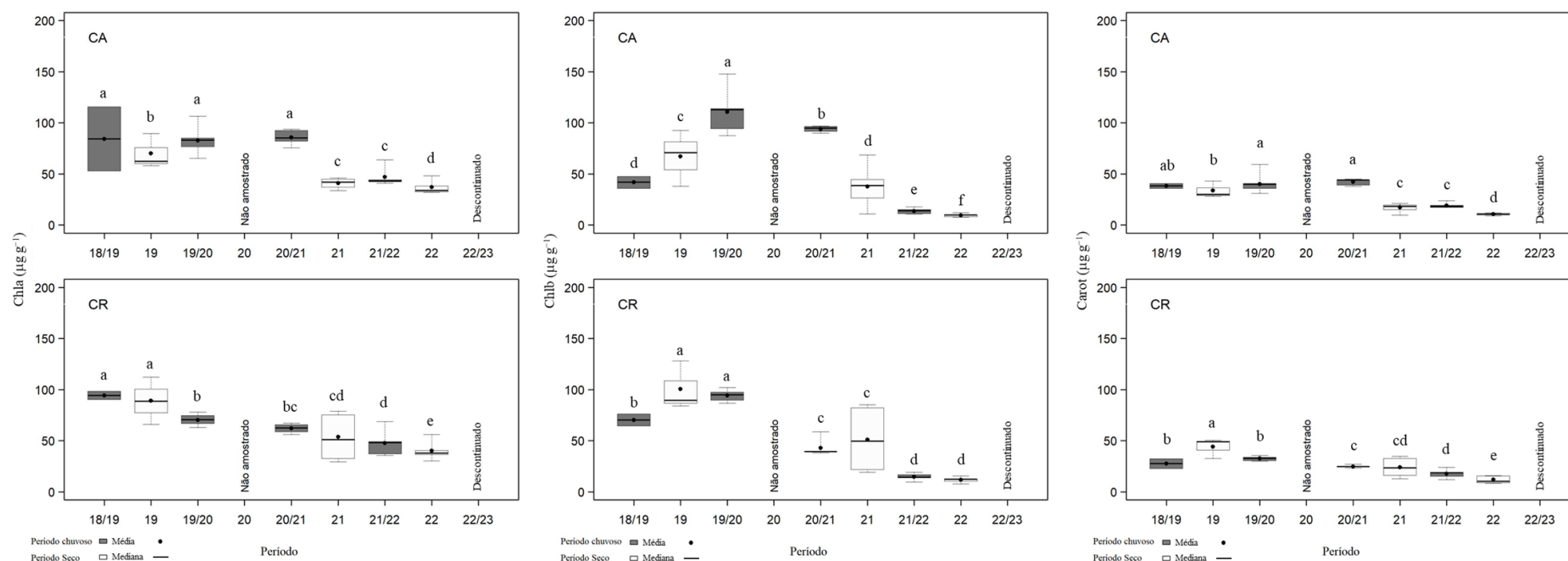
*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.



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. Não foi realizada a amostragem no período Chuvoso 2022/2023 para a espécie *A. schaueriana*. As áreas de Costa das Algas e Caravelas foram descontinuadas no novo Plano de Trabalho.

Figura 29: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila a (Chla), Concentração de clorofila b (Chlb) e Concentração de carotenoide (Carot) de *Avicennia schaueriana* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3 e outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas (CA)* e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

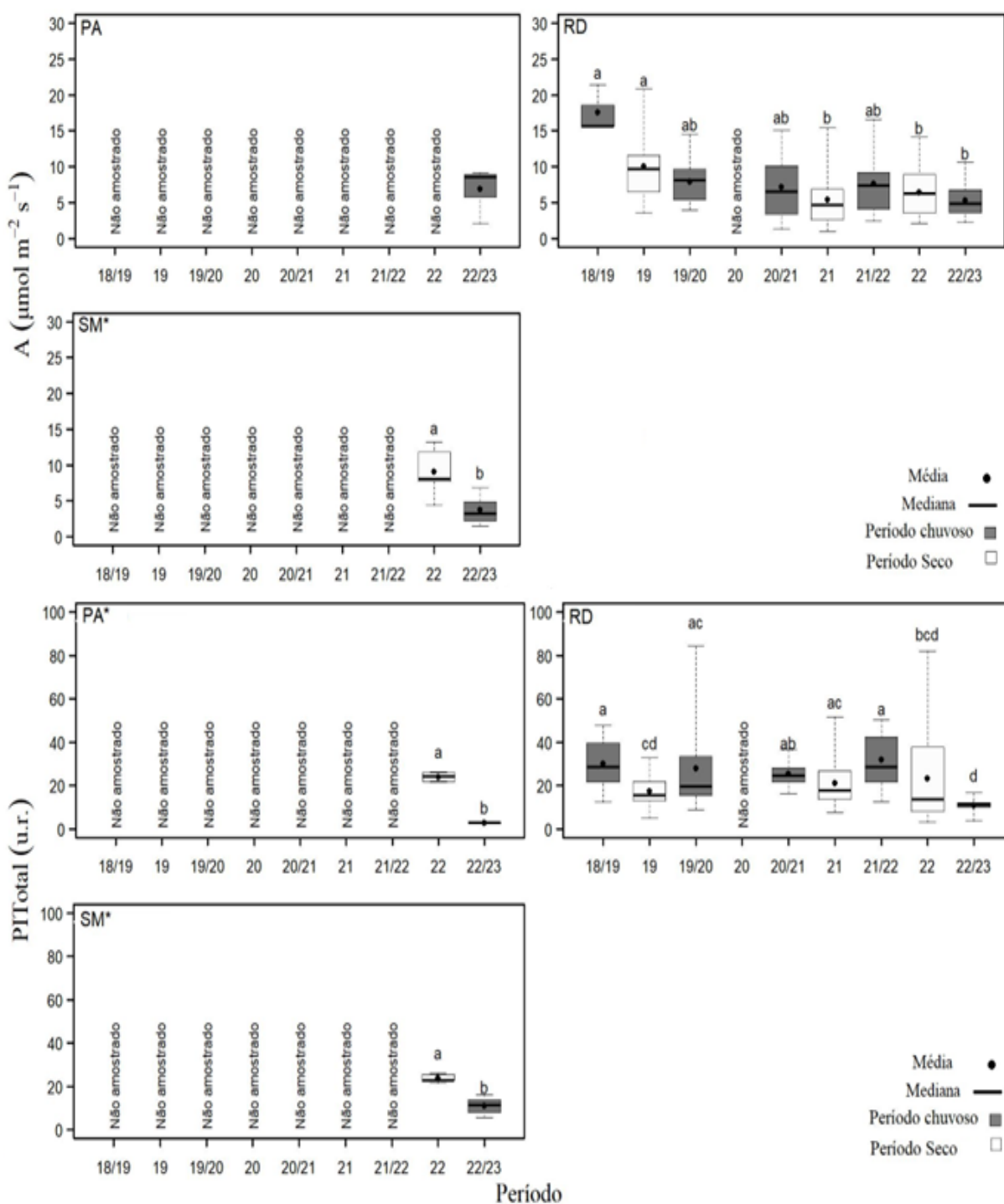
*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.



Para clorofila-a, clorofila-b e carotenoide da espécie *A. schaueriana*, observou-se uma tendência de queda/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. Não foi realizada a amostragem no período Chuvoso 2022/2023 para a espécie *A. schaueriana*. As áreas de Costa das Algas e Caravelas foram descontinuadas no novo Plano de Trabalho.

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 *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a março de 2023.

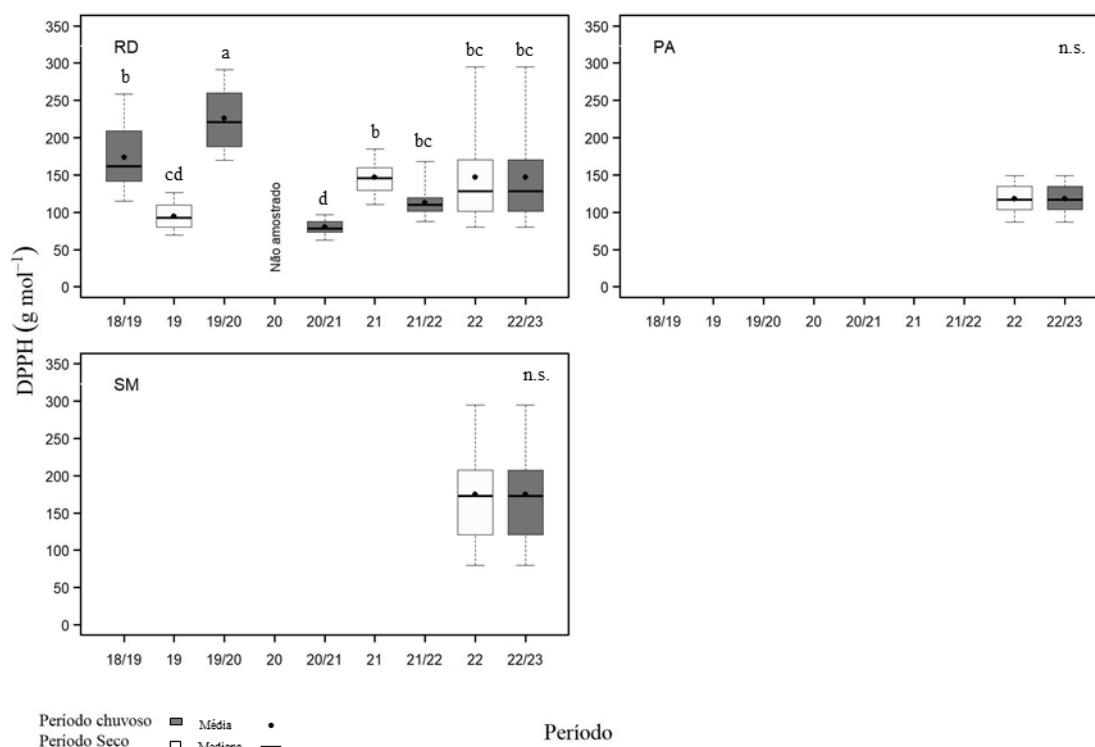
Legenda: (PA) Piraquê-Açu; (RD) Rio Doce e (SM) São Mateus. Áreas de coletas abrangem a foz do Rio Doce no norte do Espírito Santo. Dados foram coletados nos períodos de outubro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco 2019) – Ano 1; outubro de 2019 a março de 2020 (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) – Ano 5. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$). *ANOVA seguido do teste t. ** As áreas Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridas no monitoramento a partir do Ano 5 (Chuvoso 2023).



A partir das análises temporal da assimilação de carbono, podemos observar uma tendência de redução da atividade fotossintética ao longo do monitoramento, uma vez que no último período chuvoso (2022/2023) houve redução de A , a qual foi também observada no período seco desde a amostragem do período Seco 2021. Ao longo do monitoramento, melhor performance fotossintética foi registrada no período chuvoso nas plantas de *T. pernambucense* próximo à foz do Rio Doce. Porém, no último período chuvoso avaliado, a performance fotossintética dessas plantas foi acentuadamente reduzida. Porém, no período seco, ainda não é possível verificar nenhuma tendência no comportamento fotossintético da espécie. Os dados obtidos para a espécie *T. pernambucense* nos estuários de Piraquê-Açu e São Mateus foram inseridos nas análises a partir do novo plano de trabalho. Assim, após dois períodos de coleta de dados, uma melhor eficiência fotoquímica no período seco em ambos os estuários foi verificada. Além disso, menor performance fotossintética no período Chuvoso 2022/2023, como observado no Rio Doce, pode vir a ser uma tendência de redução deste parâmetro.

Figura 31: Indicador Ecológico Flora - Estresse oxidativo representado pela atividade do radical DPPH* de *Talipariti pernambucense* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários Inseridos no monitoramento a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Em relação ao estresse oxidativo em *T. pernambucense* no Rio Doce, houve tendência de estabilidade a partir do período Chuvoso 21_22, com valores de DPPH semelhantes aos descritos nos períodos Chuvoso 18_19 e Seco_21. Não houve diferença estatística significativa nos valores de DPPH entre os períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 para *T. pernambucense* nos estuários do Piraquê-Açú e São Mateus.

*Estuários inseridos no monitoramento a partir do período Seco 22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

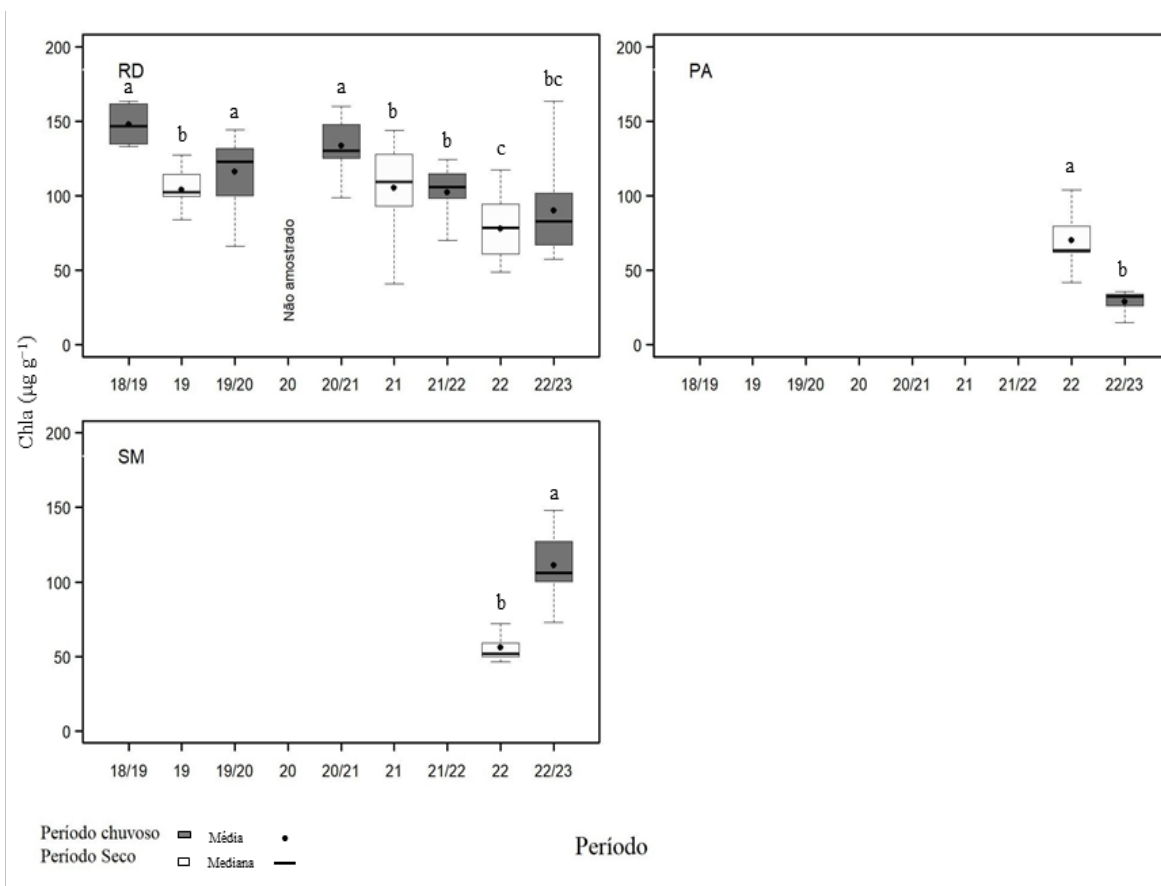


Figura 33: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de clorofila b (Chlb) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos no monitoramento a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

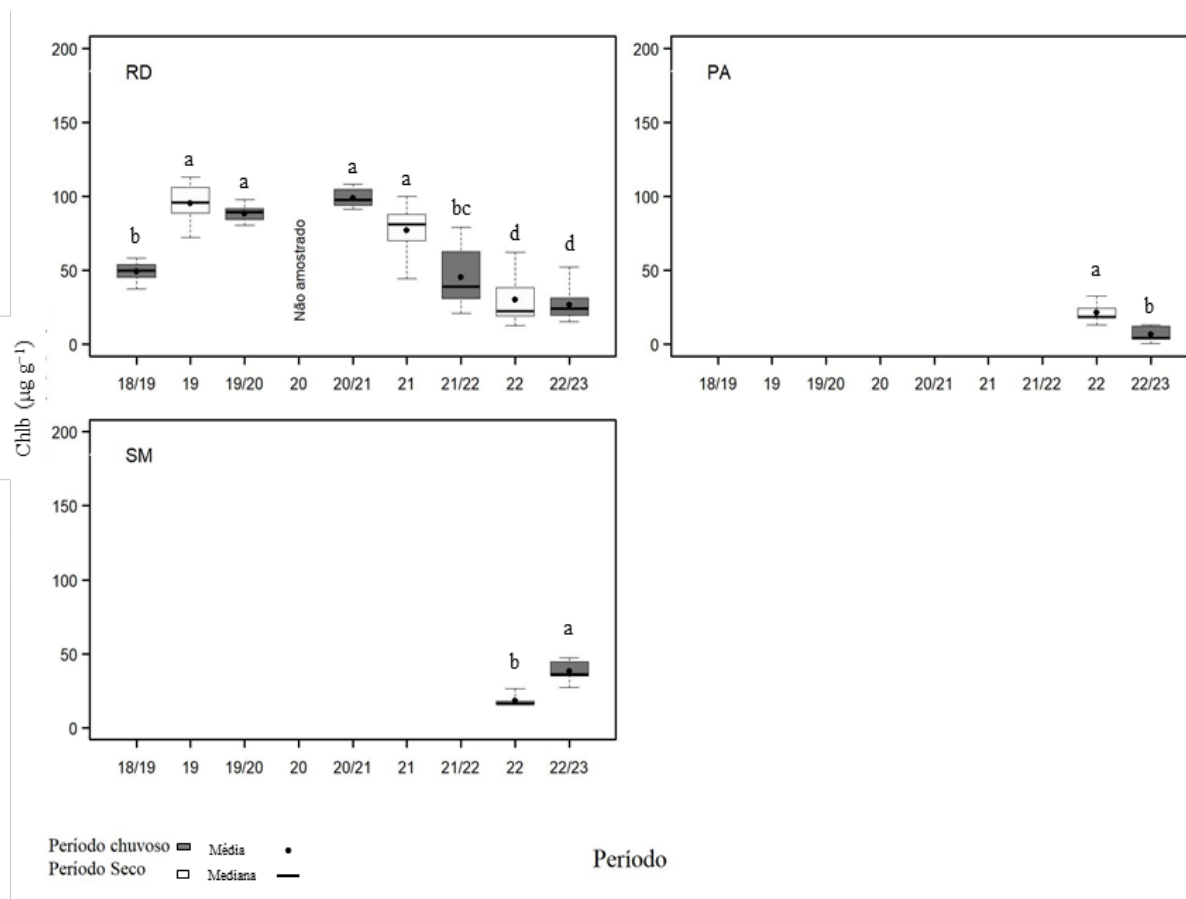
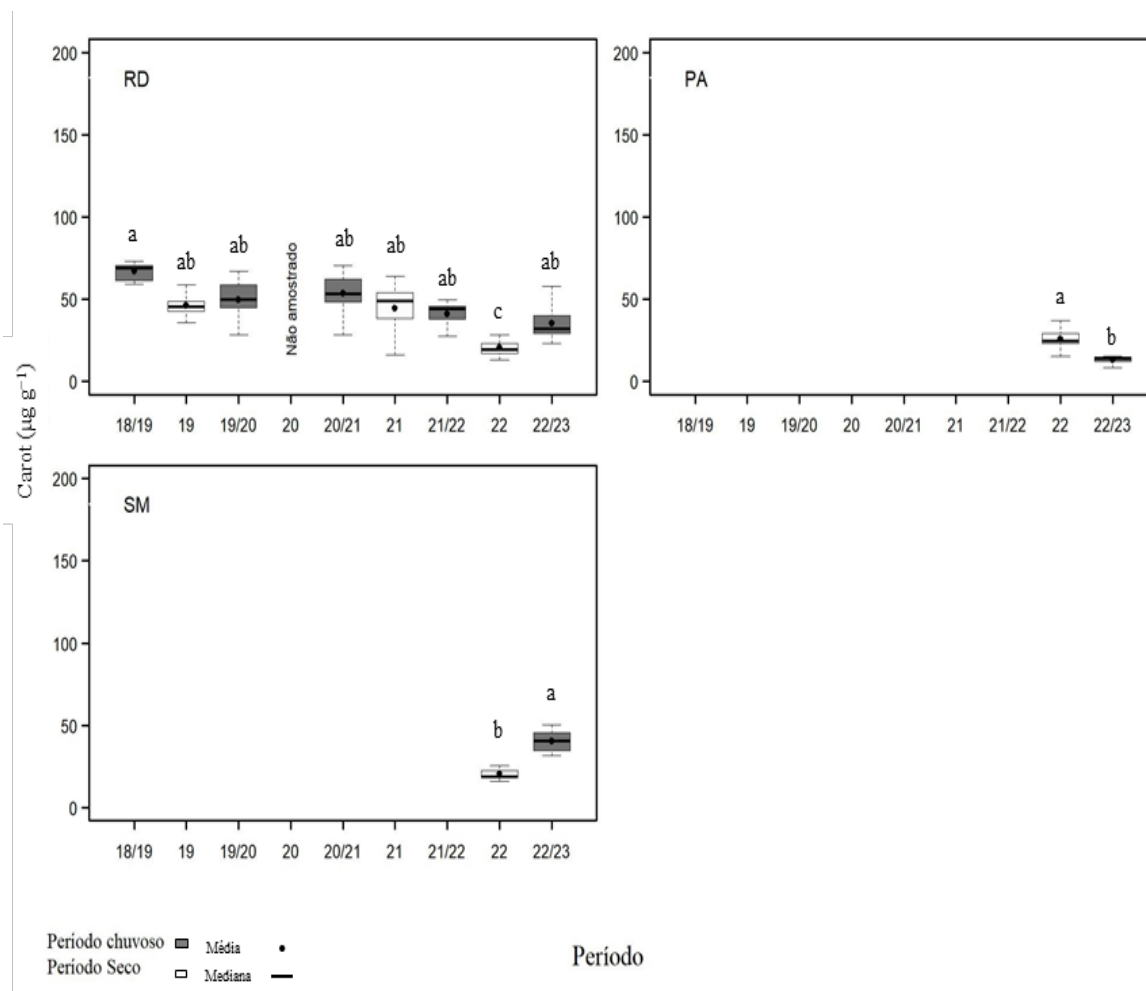


Figura 34: Indicador Ecológico Flora - Pigmentos fotossintetizantes. Concentração de carotenoides (Carot) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos no monitoramento a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



Para *T. pernambucense* (Figura 32, Figura 33 e Figura 34) monitorada no Rio Doce, houve redução na concentração de Chla e Chlb a partir do período Seco_21. Nos dois últimos períodos analisados (Seco_22 e Chuvoso 22_23) foram observados os menores valores da concentração de Chlb em relação aos demais períodos do monitoramento. Esses valores podem estar associados à maior concentração de Fe foliar no Rio Doce. O contrário ocorre para carotenóides, com recuperação dos valores no período Chuvoso 22_23. No Piraquê-Açú, houve redução na síntese de Chla, Chlb e carotenóides no período Chuvoso 22_23, comparativamente ao Seco_22, único período anteriormente analisado para este estuário e para São Mateus. Como salientado anteriormente, a maior concentração de Fe e Zn no Piraquê-Açú pode estar contribuindo para alterar a síntese e/ou a degradação dos pigmentos em *T. pernambucense* no Rio Doce. Por outro lado, em São Mateus, houve aumento na concentração de Chla, Chlb e carotenóides no período Chuvoso 22_23, sugerindo ausência de interferência na síntese dos pigmentos fotossintéticos como observado no período Seco_22.

Figura 35: 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 março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, Caravelas. 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*

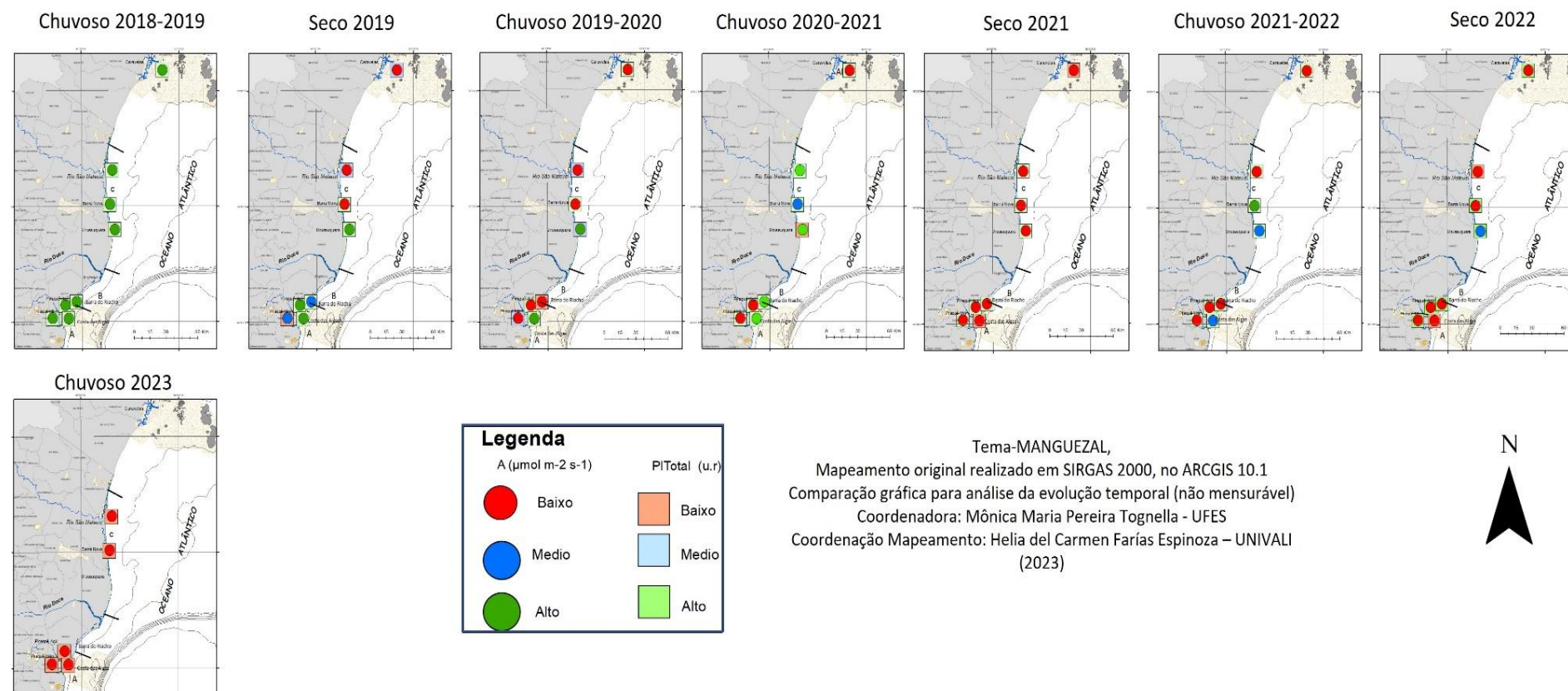


Figura 36: Indicador Ecológico Flora – Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Laguncularia racemosa* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus, Caravelas).

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*

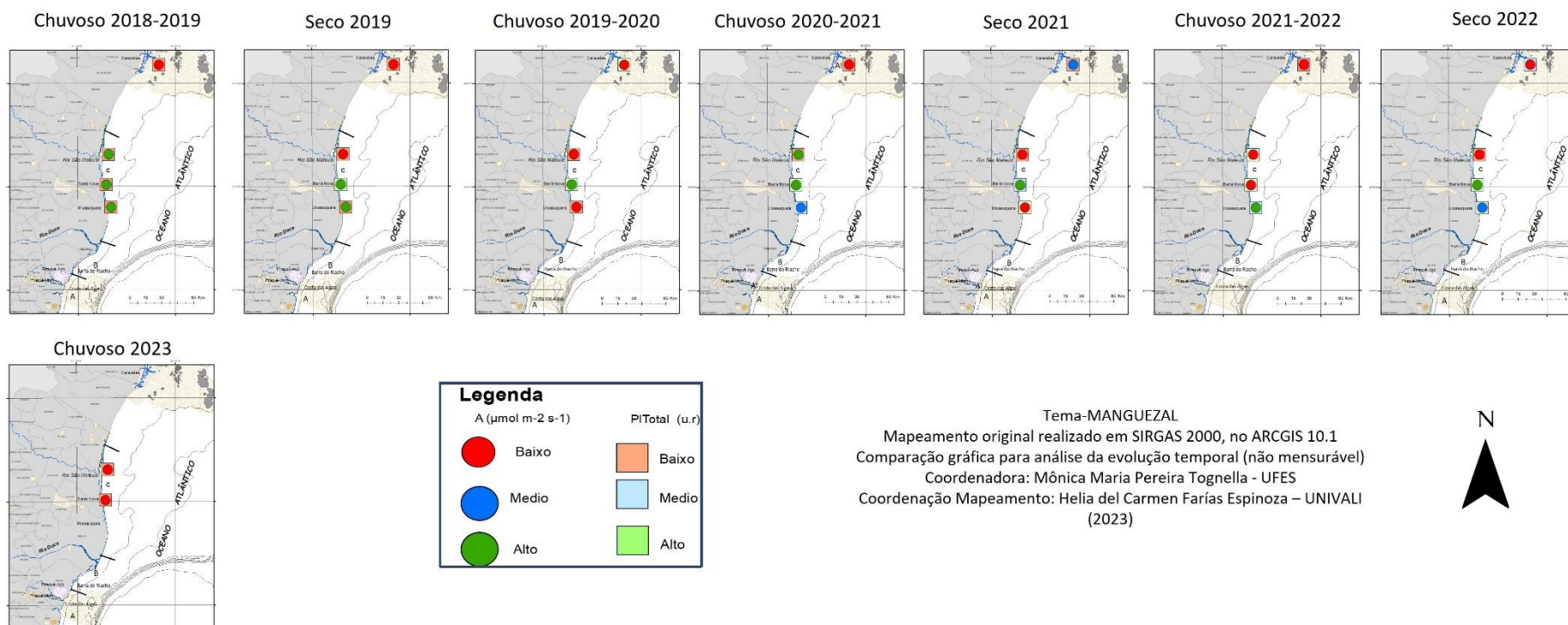
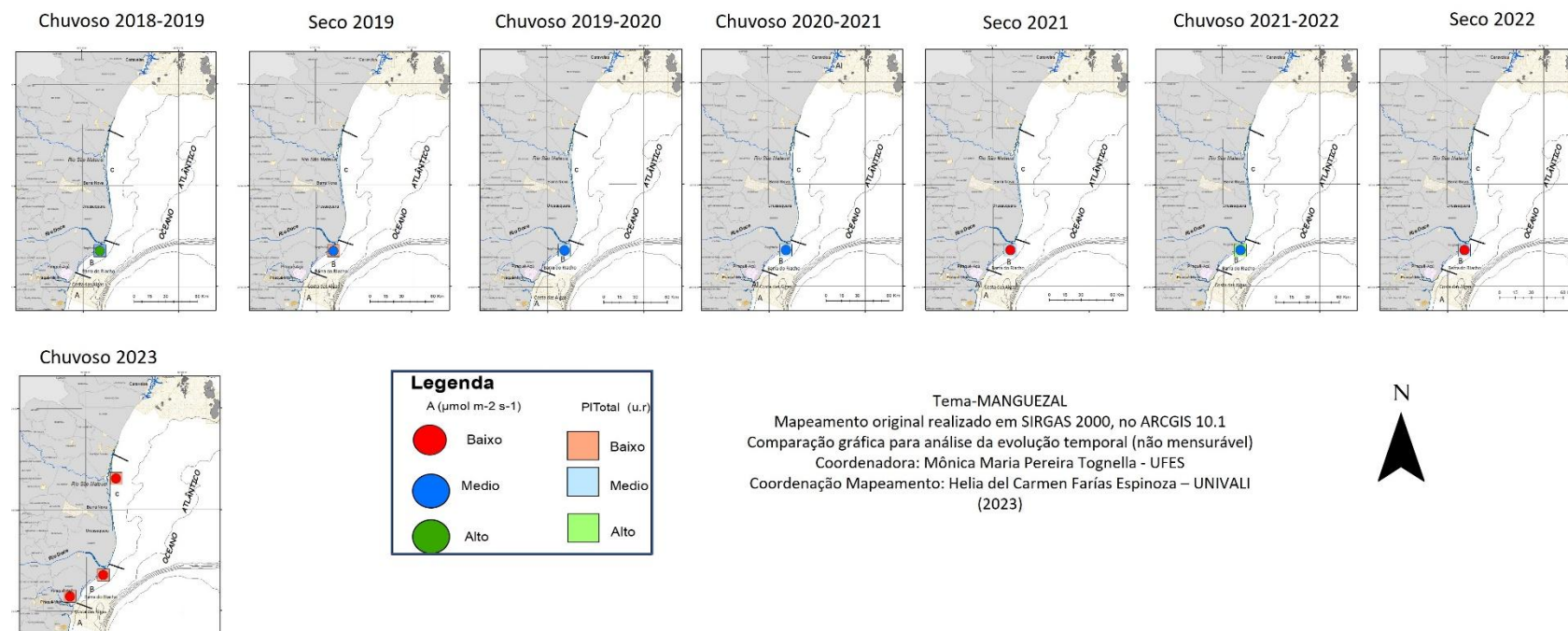


Figura 37: Indicador Ecológico Flora – Mapeamento temático da assimilação de carbono ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do índice de conservação de energia (PI_{Total} – unidade relativa) de *Talipariti pernambucense* coletadas nos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Piraquê-Açu, Rio Doce e São Mateus. 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*



O mapeamento temático dos parâmetros assimilação de carbono (A) e índice de conservação de energia (PI_{Total}) para o período Chuvoso 2023 indicam valores abaixo da média calculada para o PMBA para ambos os parâmetros. Esse padrão foi observado para *R. mangle*, *L. racemosa* e *T. pernambucense* (Figura 35, Figura 36 e Figura 37).

2.3 BIORREMEDIAÇÃO

Figura 38: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas*, Barra do Riacho*, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm. *Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

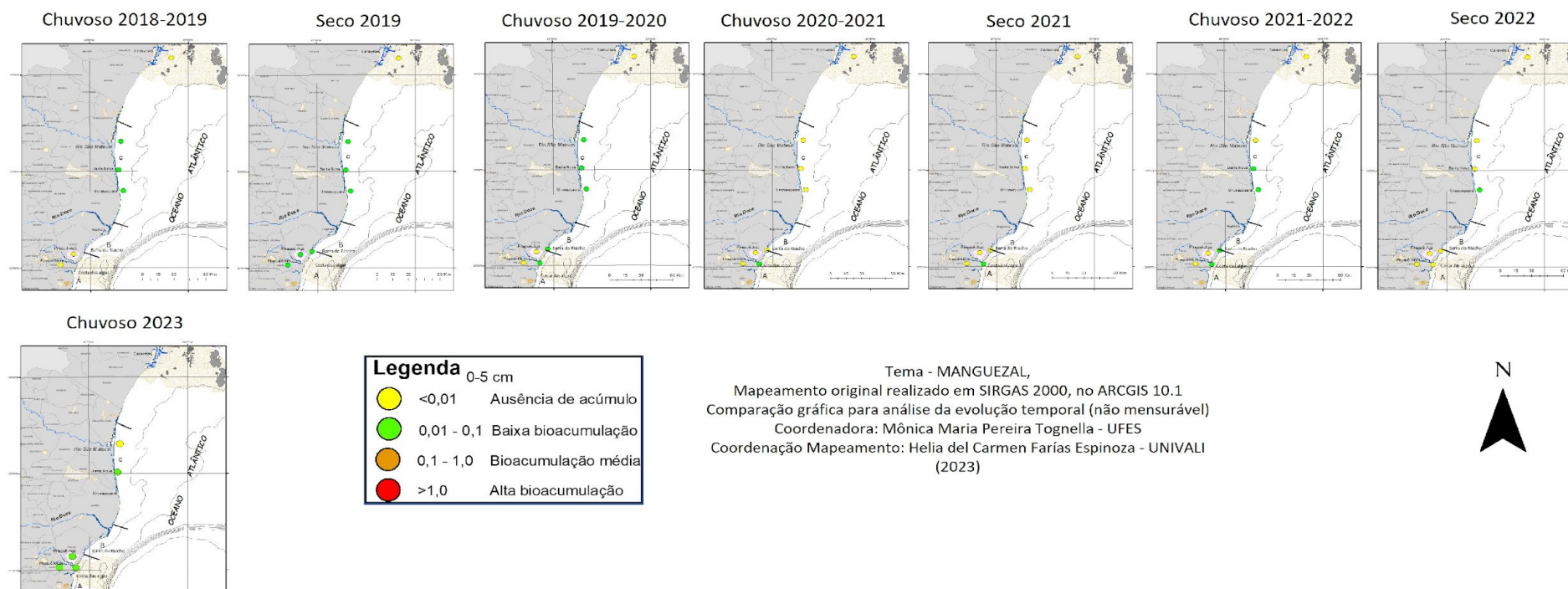


Figura 39: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

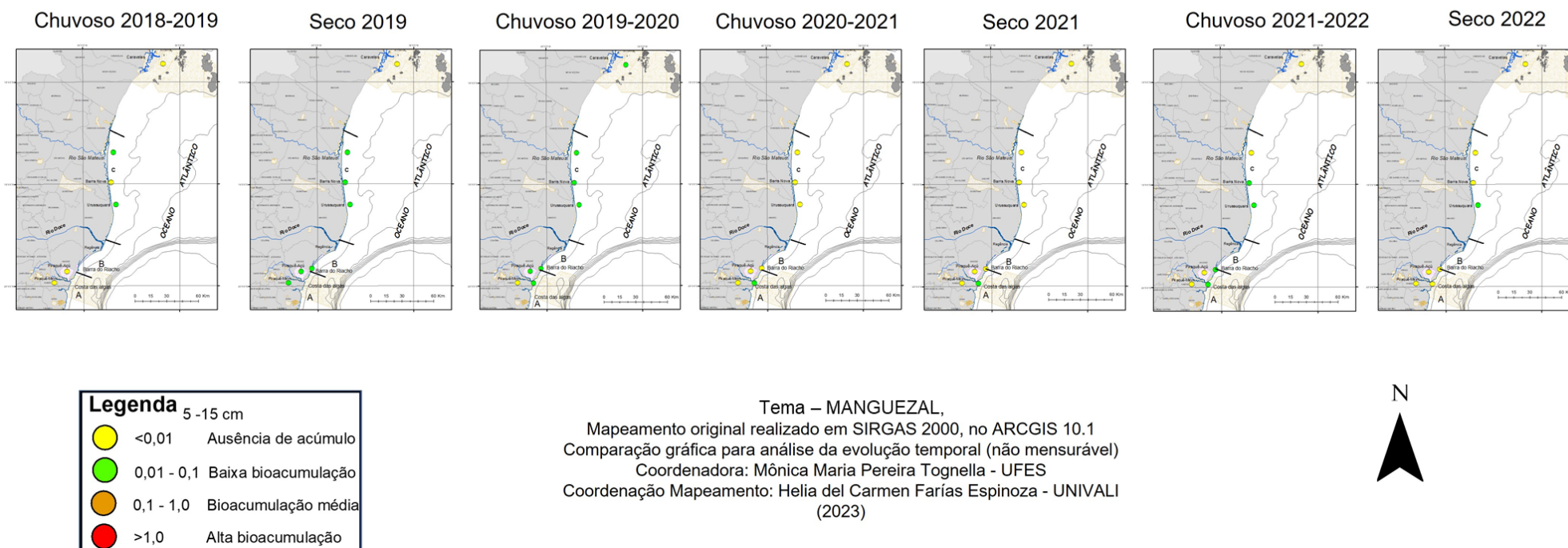


Figura 40: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas*, Barra do Riacho*, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

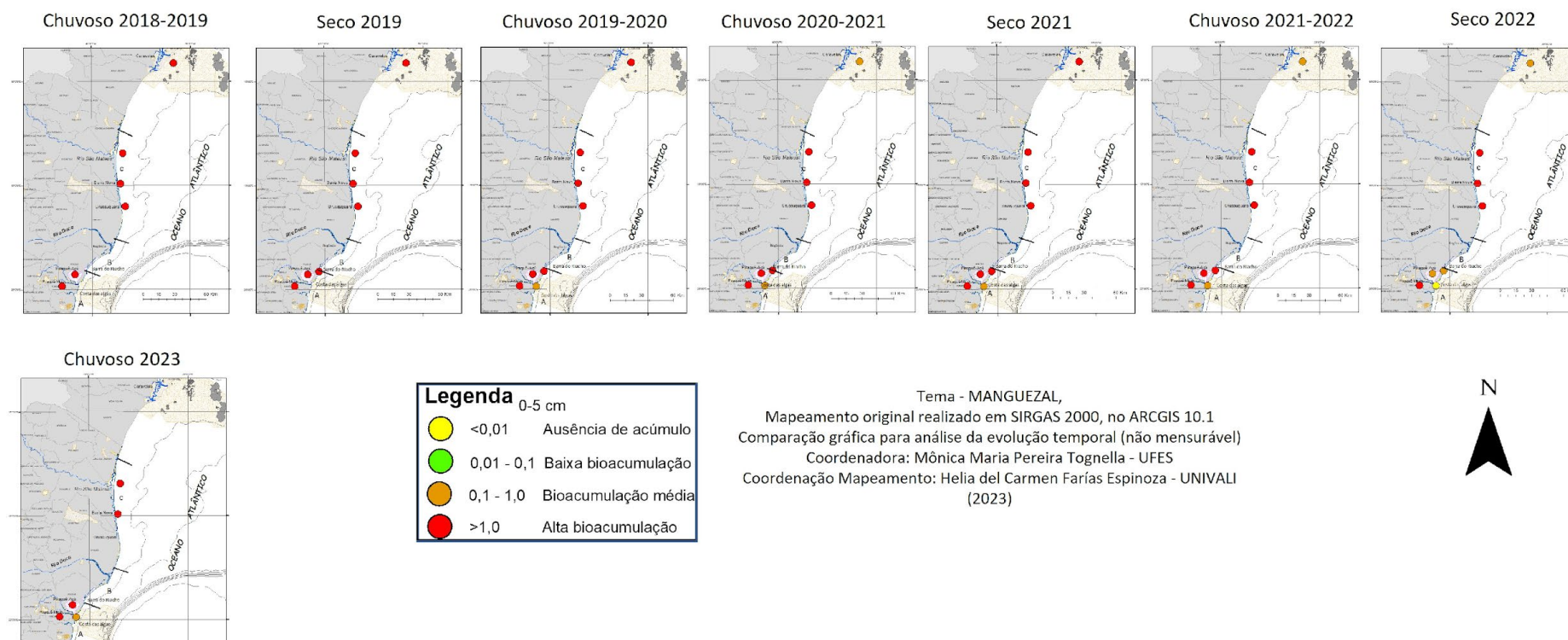


Figura 41: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

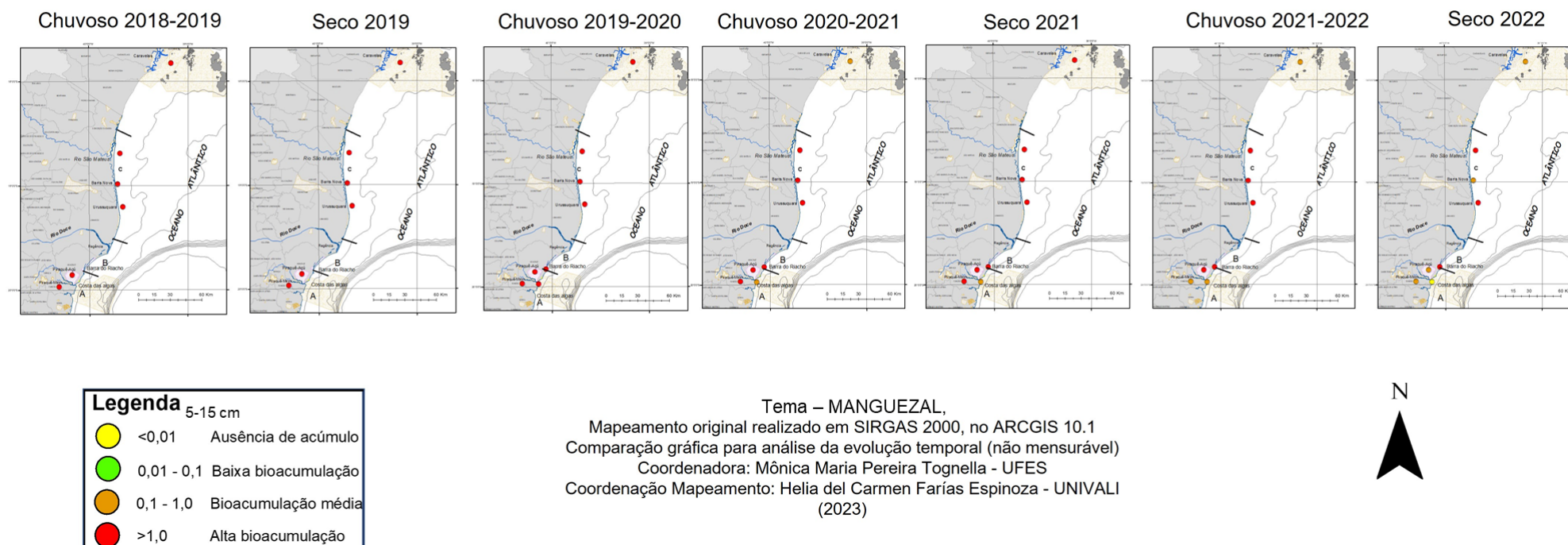


Figura 42: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas*, Barra do Riacho*, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvaso_22_23.

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

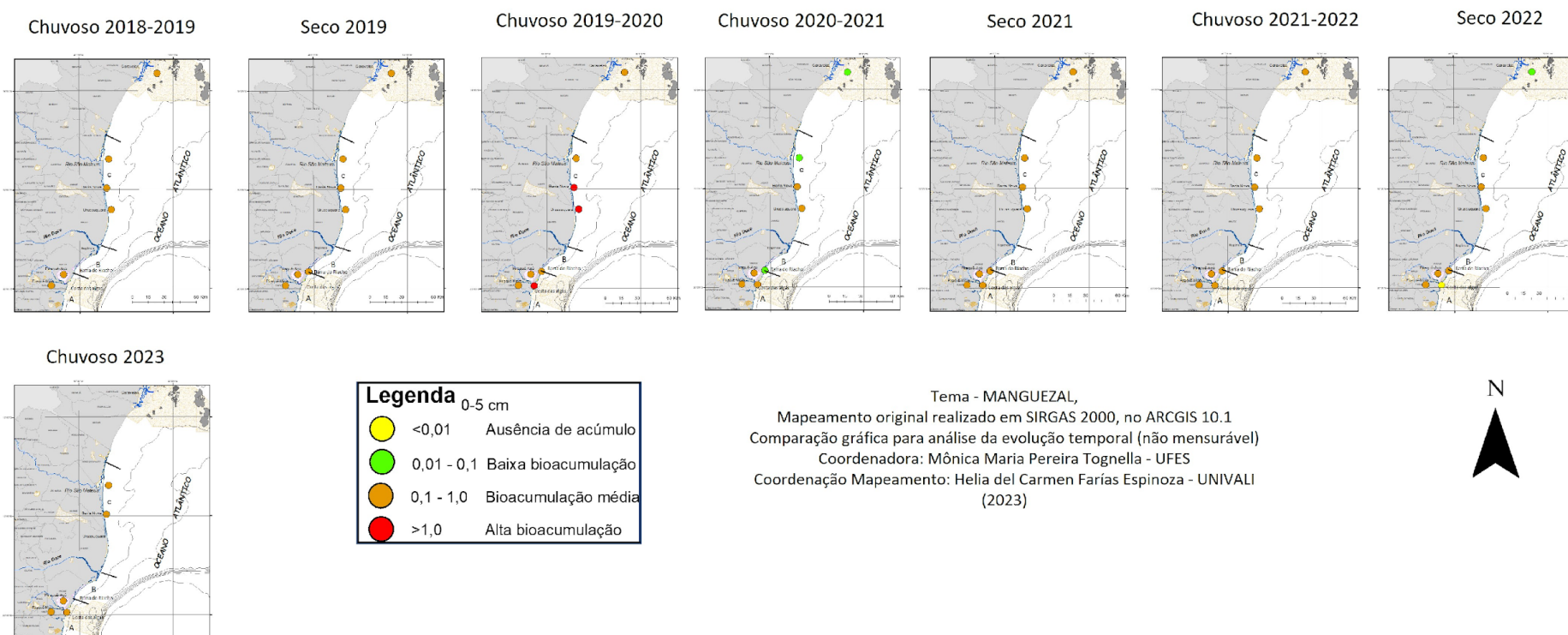


Figura 43: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia .Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022

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

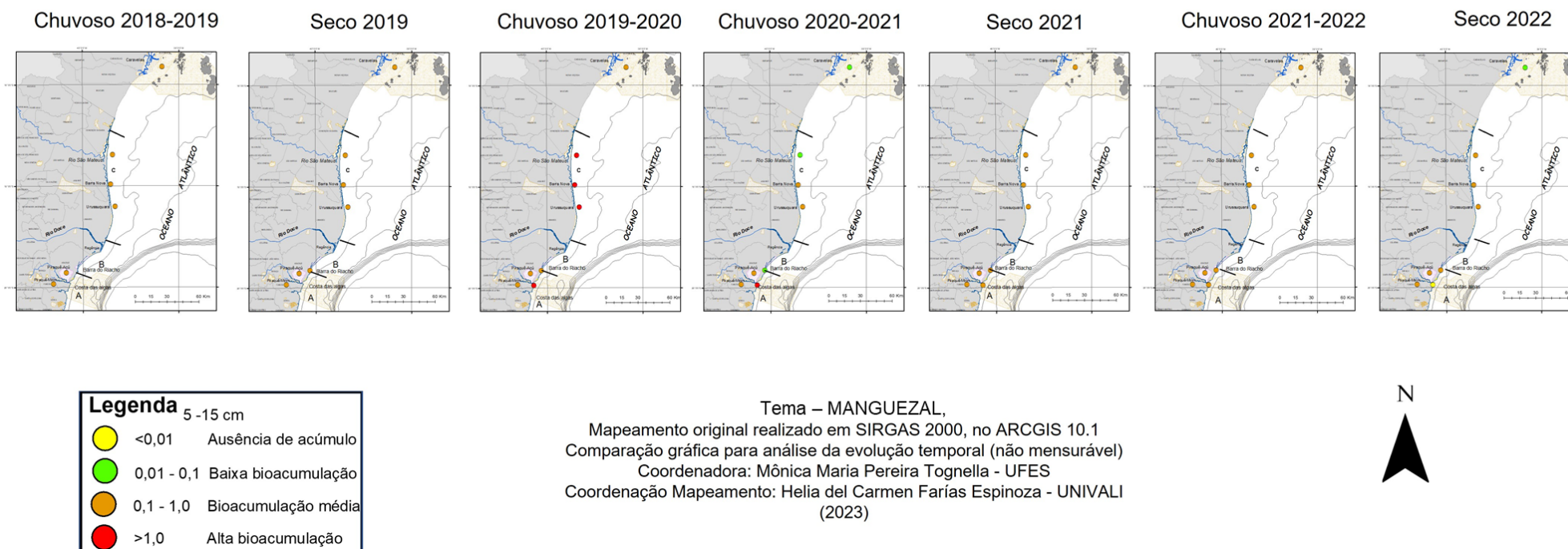


Figura 44: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas*, Barra do Riacho*, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvas_22_23.

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

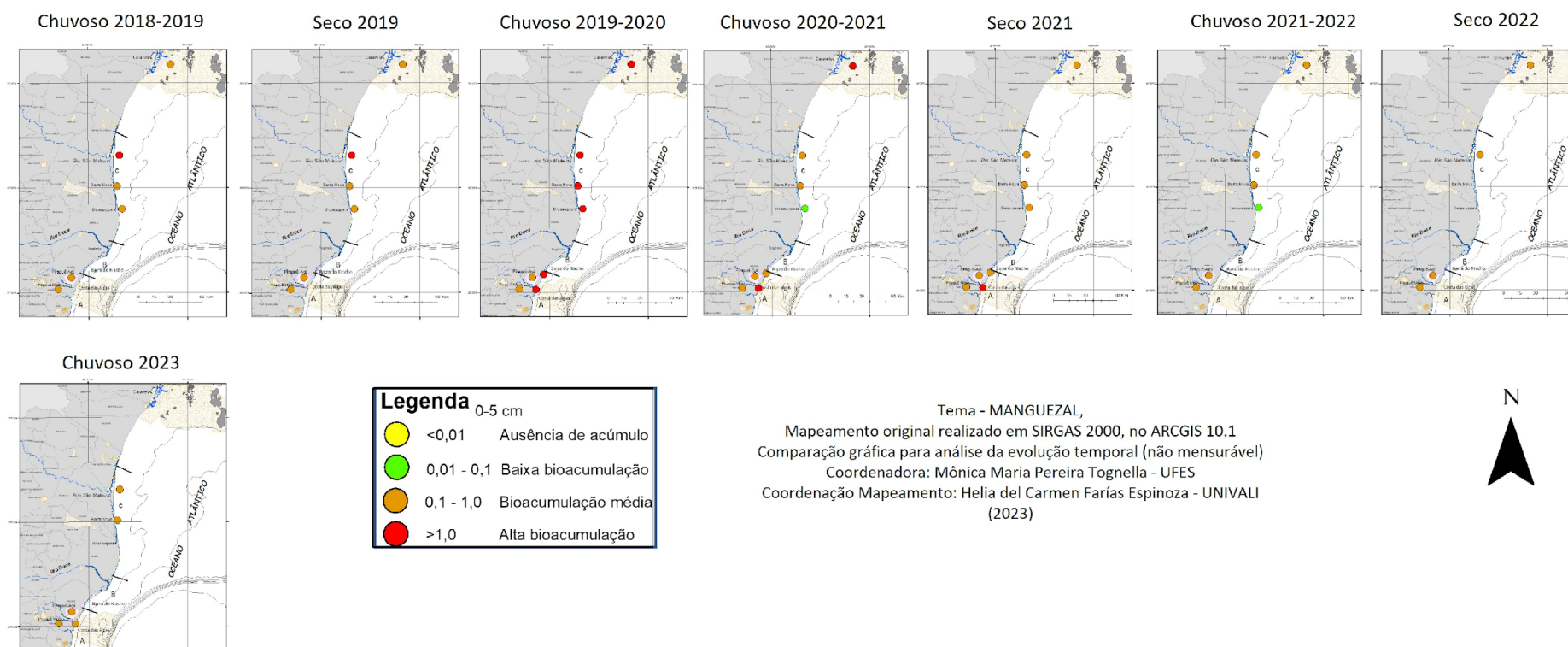


Figura 45: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

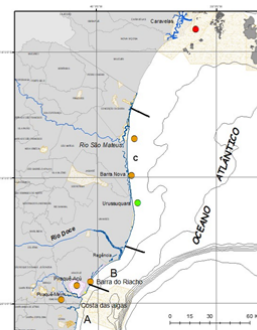
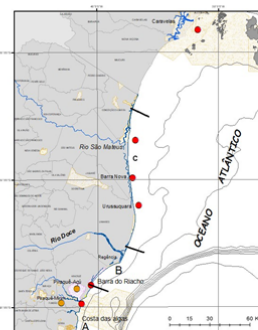
Chuvoso 2019-2020

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 46: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas*, Barra do Riacho*, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

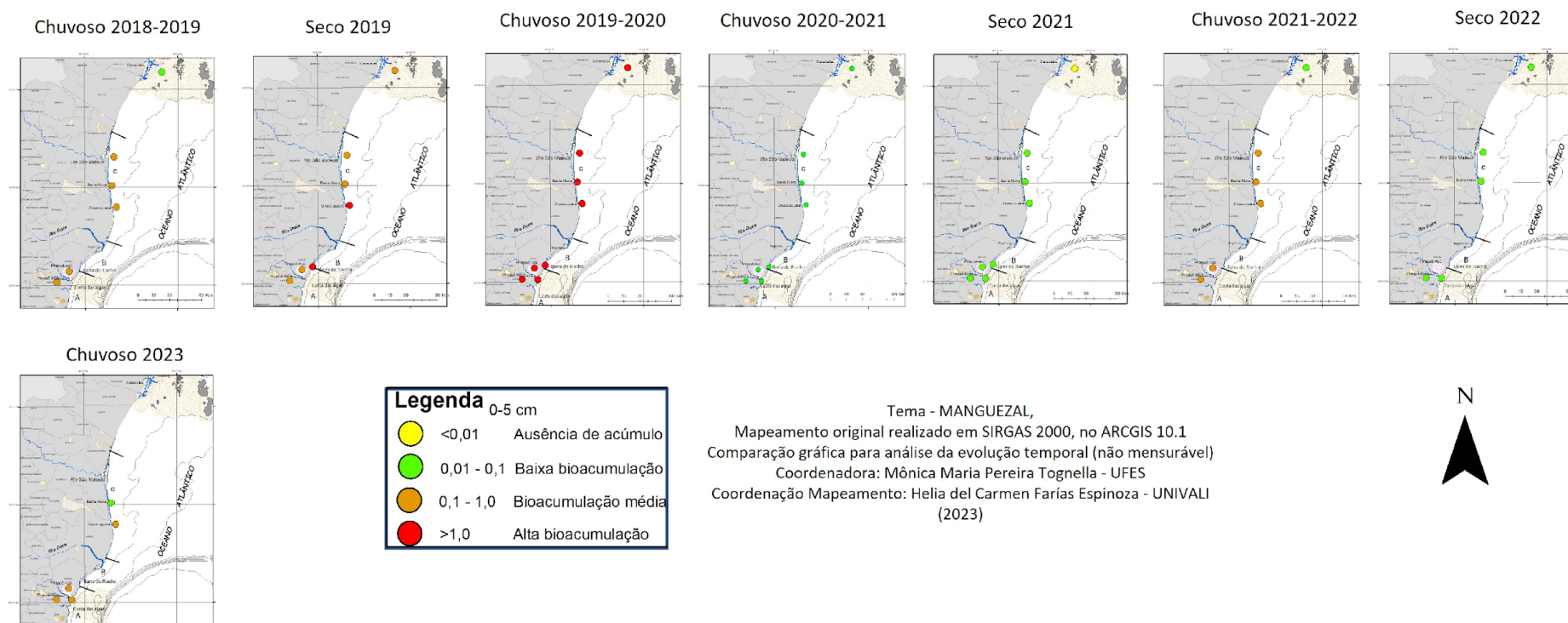
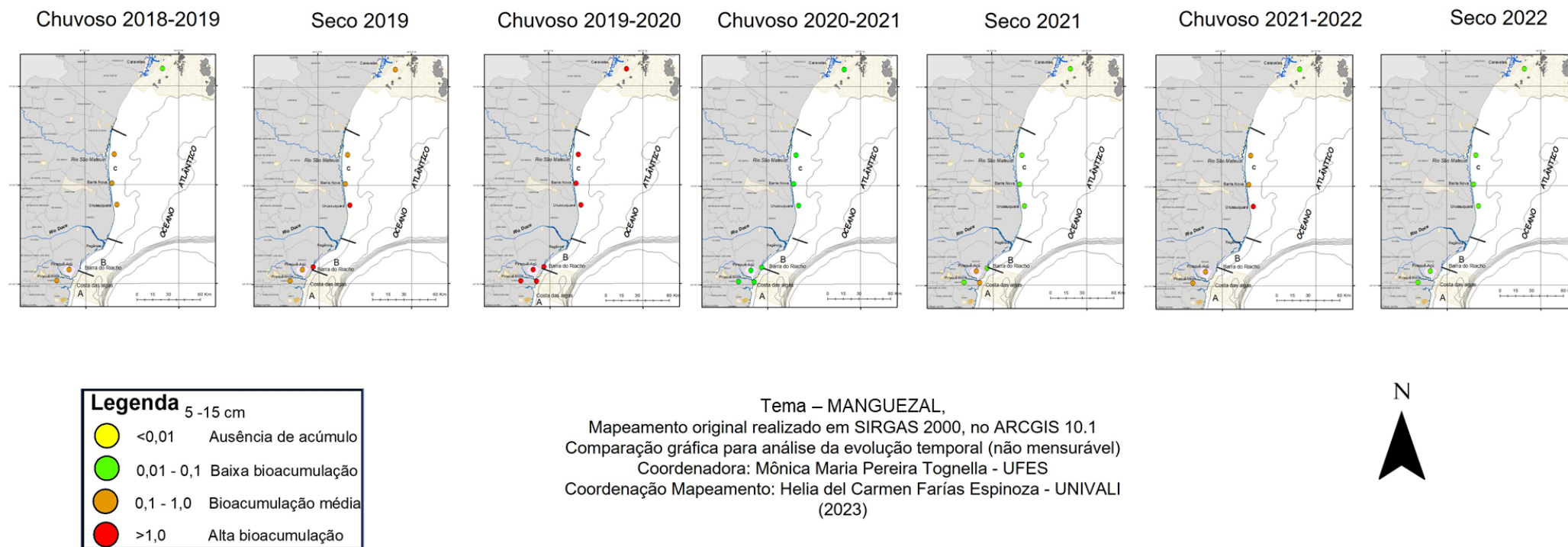


Figura 47: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Rhizophora mangle*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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



O fator de bioacumulação (FBA) de *R. mangle* pode ser observado nos mapas acima. No geral, houve baixo acúmulo de Fe para a espécie em todos os estuários avaliados, com sedimento analisado na profundidade de 0-5 cm (Figura 38), exceto em São Mateus no qual não houve acúmulo de Fe no período Chuvoso 22_23. Para Mn, desde o início do monitoramento, percebe-se alta bioacumulação em *R. mangle* nos estuários do Piraquê-Açú (exceção para o período Seco_22 com média bioacumulação), Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus (Figura 40). No geral, para os metais Zn, Cu e Pb houve média bioacumulação em todos os períodos e estuários, exceto para o período Chuvoso 2019_2020 com alto FBA para Zn e Cu em Barra Nova e São Mateus e alto FBA para Pb no Piraquê-Açú, Piraquê-Mirim, Barra Nova e São Mateus (Figura 42, Figura 44 e Figura 46). A amostragem de sedimentos na profundidade 5-15 cm foi descontinuada a partir do período Chuvoso 2022_2023. O monitoramento nos estuários de Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas foi descontinuado a partir do período Chuvoso 2022_2023.

Figura 48: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

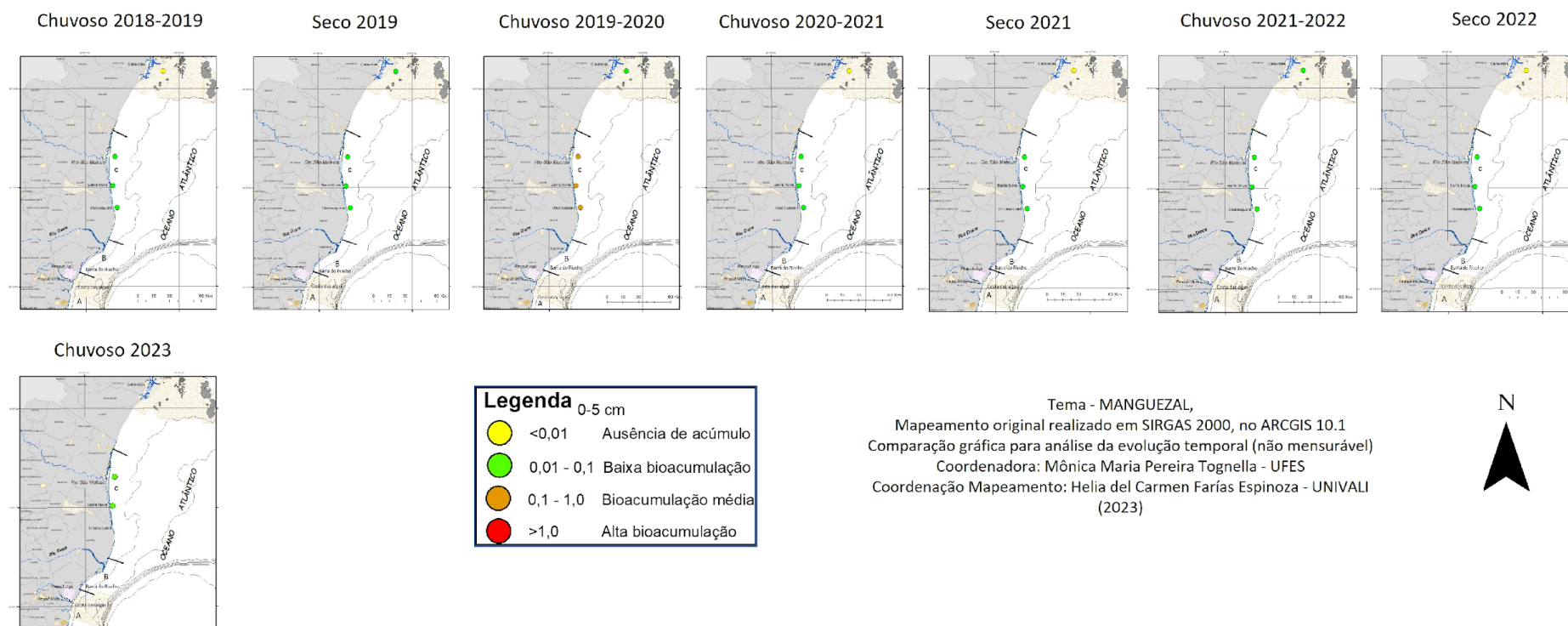


Figura 49: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

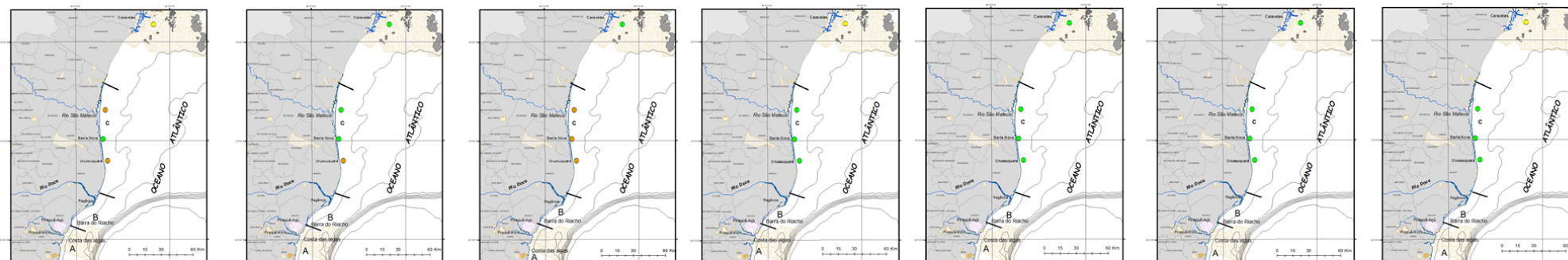
Chuvoso 2019-2020

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 Farías Espinoza - UNIVALI
(2023)

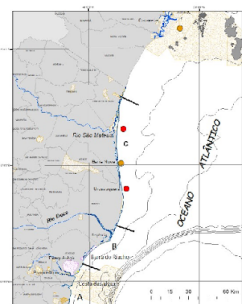


Figura 50: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

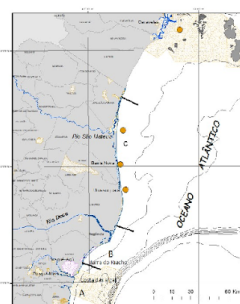
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

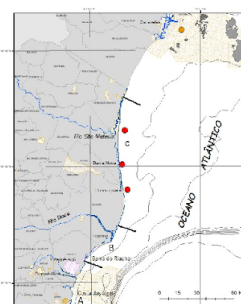
Chuvoso 2018-2019



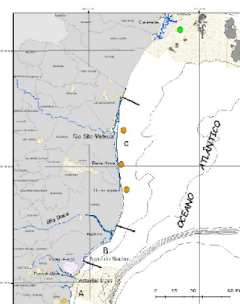
Seco 2019



Chuvoso 2019-2020



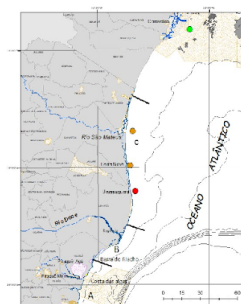
Chuvoso 2020-2021



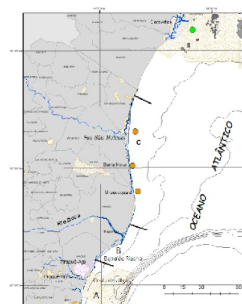
Seco 2021



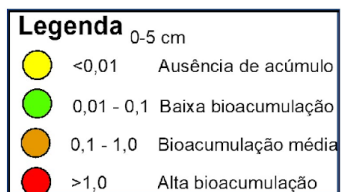
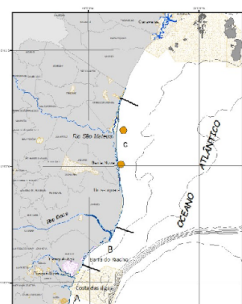
Chuvoso 2021-2022



Seco 2022



Chuvoso 2023



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 51: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

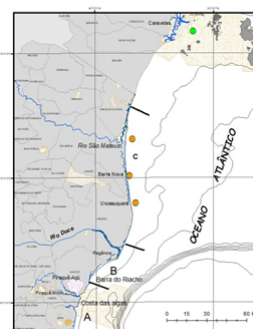
Chuvoso 2019-2020

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 52: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

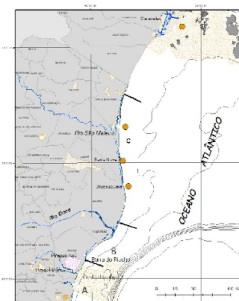
*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

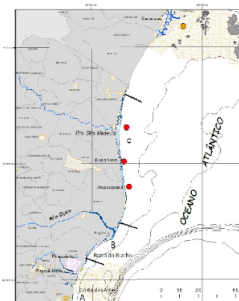
Chuvoso 2018-2019



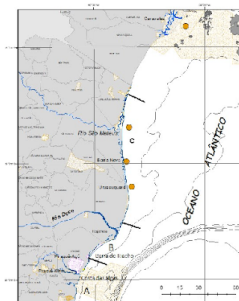
Seco 2019



Chuvoso 2019-2020



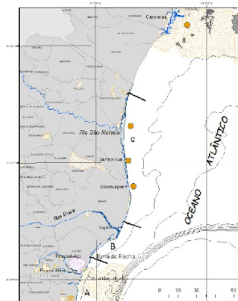
Chuvoso 2020-2021



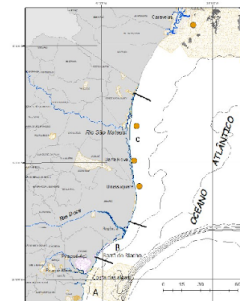
Seco 2021



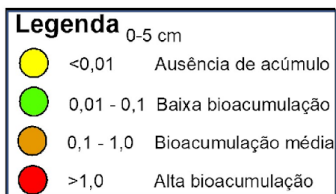
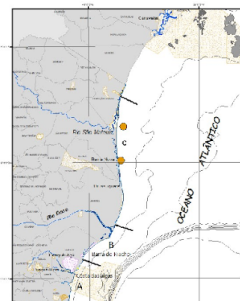
Chuvoso 2021-2022



Seco 2022



Chuvoso 2023



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 53: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

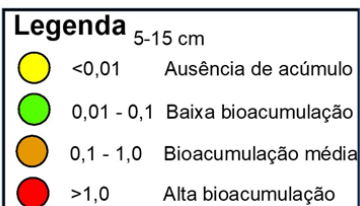
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



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 - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

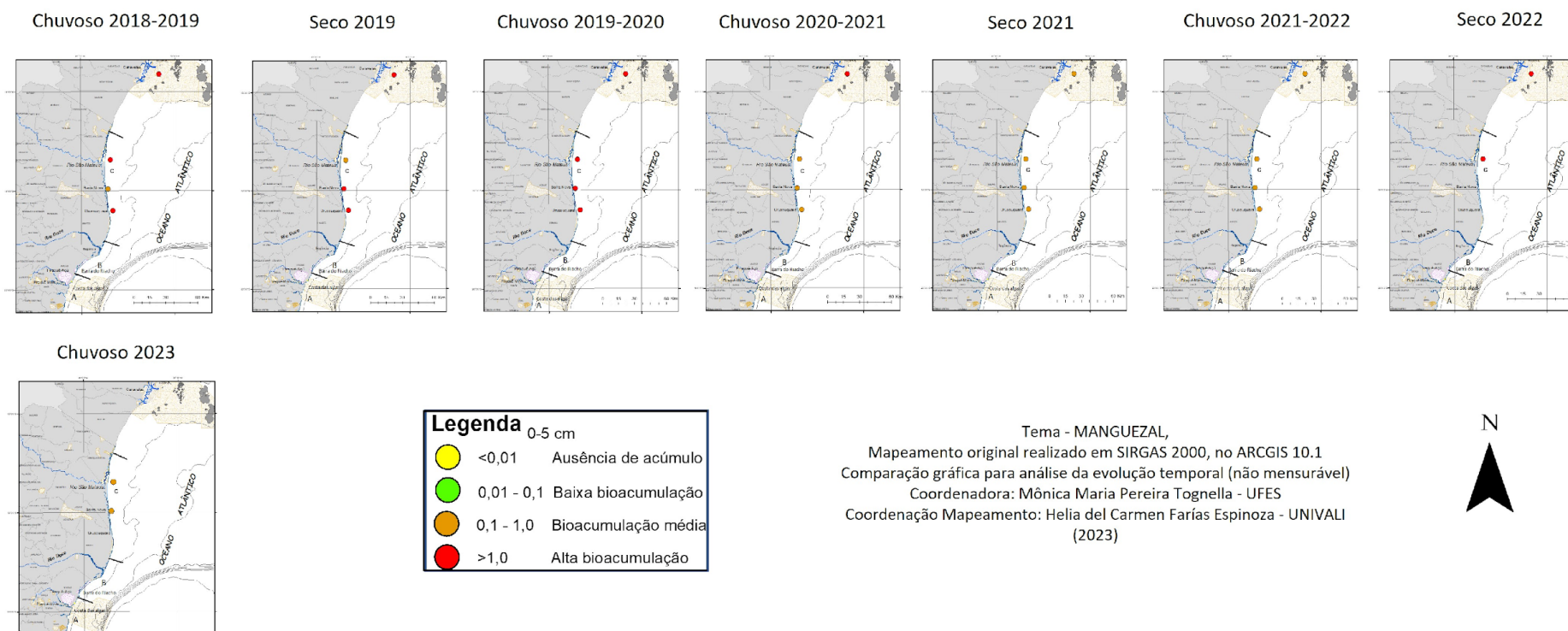


Figura 55: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022

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

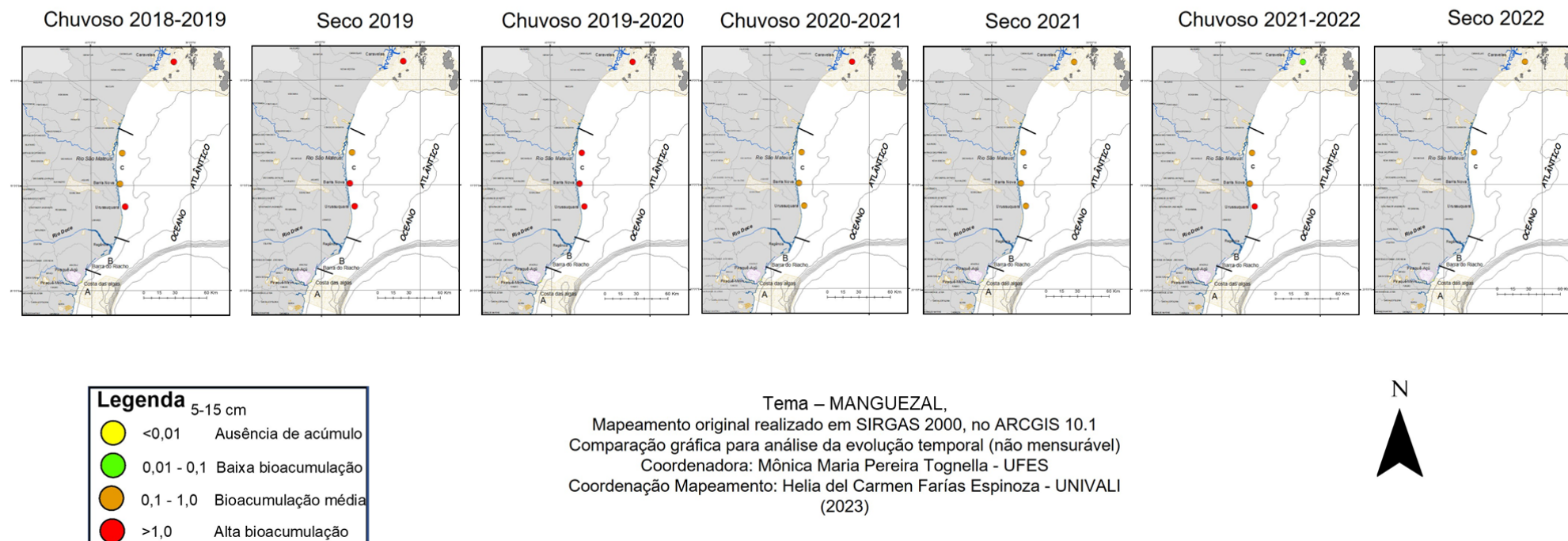


Figura 56: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

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

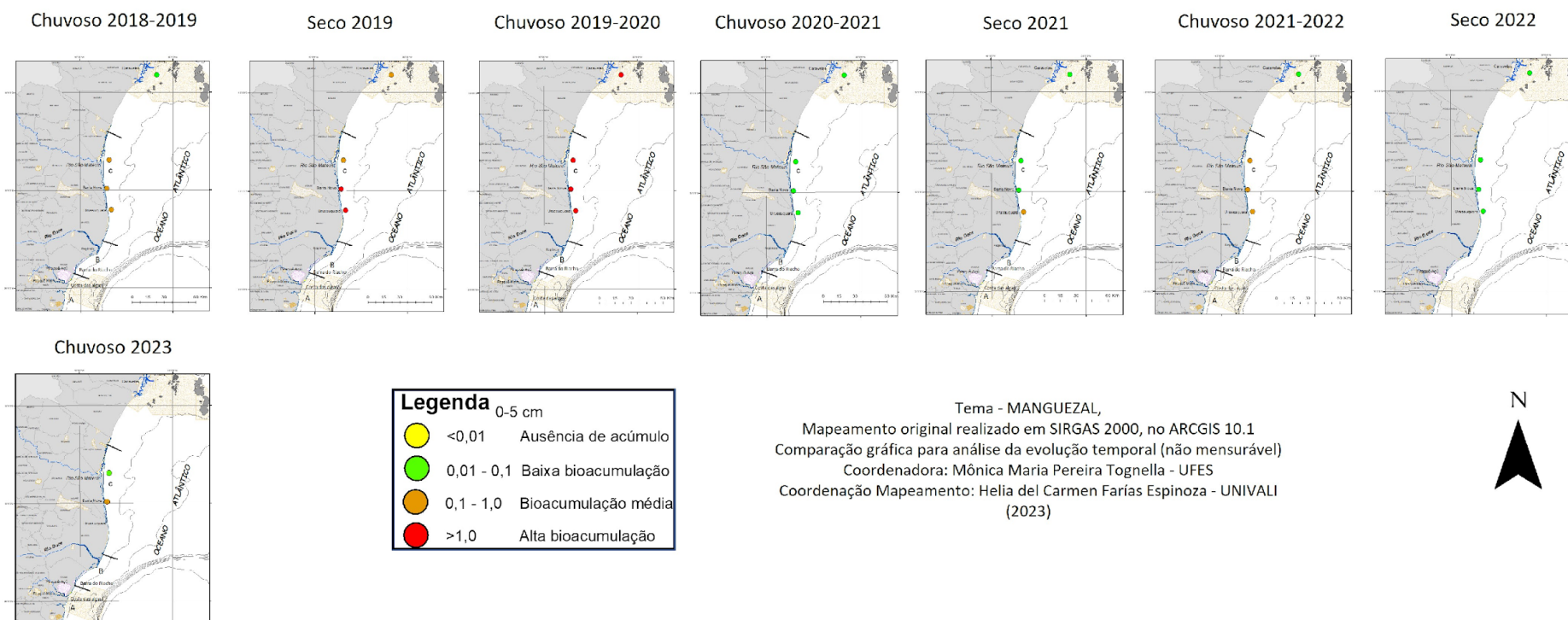
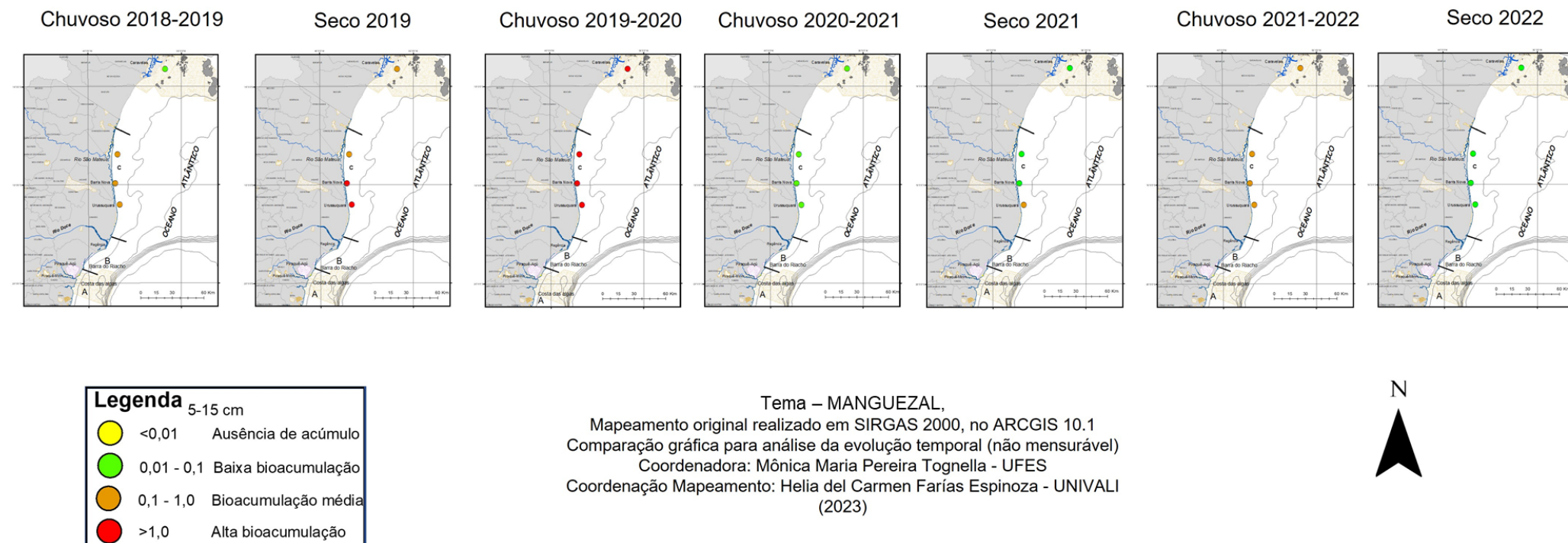


Figura 57: Indicador Ecológico Biorremediação- Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Laguncularia racemosa*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Piraquê-Mirim, Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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



No geral, houve baixo fator de bioacumulação (FBA) de Fe para a espécie *L. racemosa* em todos os períodos e estuários analisados, exceto no período Chuvoso 2019_2020, com médio FBA para a espécie nos estuários de Barra Nova e São Mateus (Figura 48). Com relação ao Mn, registrou-se média bioacumulação nos estuários analisados em todos os períodos, com exceção para o Chuvoso 2018_2019 em São Mateus e Chuvoso 2019_2020 em Barra Nova e São Mateus, para os quais alto FBA foi registrado (Figura 50). Assim como o Mn, o Zn também mostrou média bioacumulação ao longo do monitoramento, exceto para o período Chuvoso 2019_2020 em Barra Nova e São Mateus, com alta bioacumulação do metal (Figura 52). Para o Cu, houve alto FBA nos períodos Chuvoso 2018_2019 (São Mateus), Seco_2019 (Barra Nova), Chuvoso 2029_2020 (Barra Nova e São Mateus) e Seco_22 (São Mateus). Nos demais períodos, houve média bioacumulação nesses estuários (Figura 54). O acúmulo de Pb por *L. racemosa* variou durante o monitoramento (Figura 56). Nos três primeiros períodos (Chuvoso 2018_2019, Seco_19 e Chuvoso 2019_2020) houve média a alta bioacumulação em Barra Nova e São Mateus. Resultados similares ocorreram no período Chuvoso 2021_2022, com médio FBA nesses estuários. Houve baixo FBA nos períodos Seco_2021 e Seco_2022. Por outro lado, no último período analisado (Chuvoso 2022_2023), houve baixa bioacumulação de Pb em São Mateus e média em Barra Nova. A amostragem de sedimentos na profundidade 5-15 cm foi descontinuada. O monitoramento nos estuários de Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

Figura 58: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado nestes estuários espécie a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

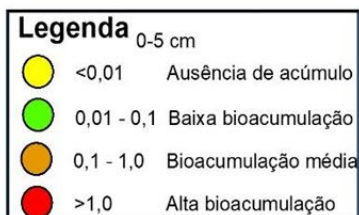
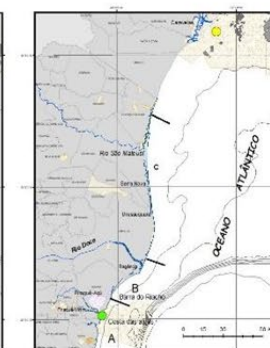
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



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 59: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**. *Monitoramento encerrado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

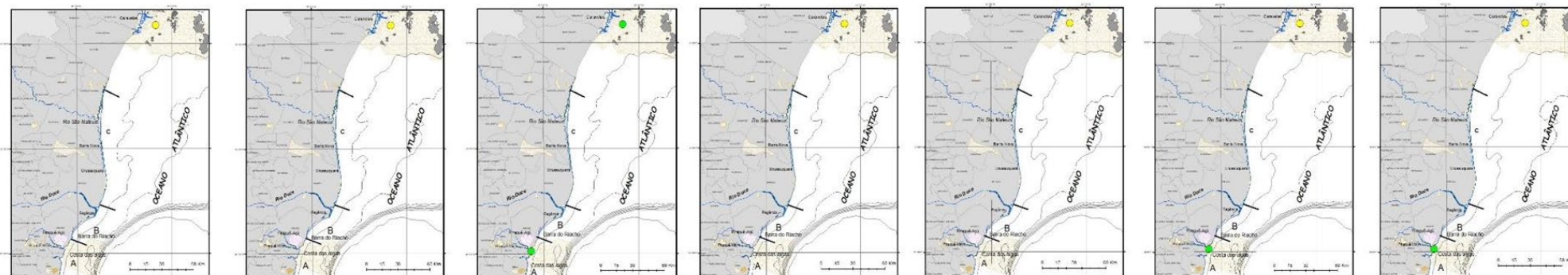
Chuvoso 2019-2020

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 60: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

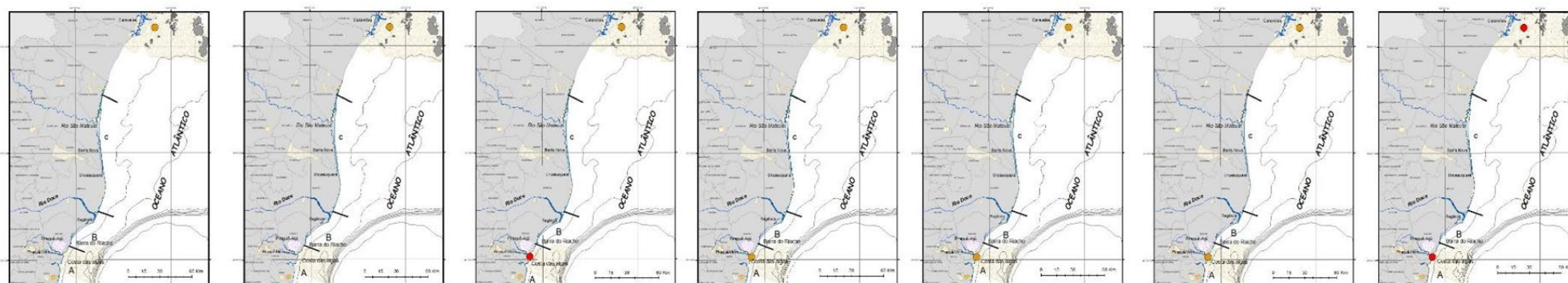
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



Legenda 0-5 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 61: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023.

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

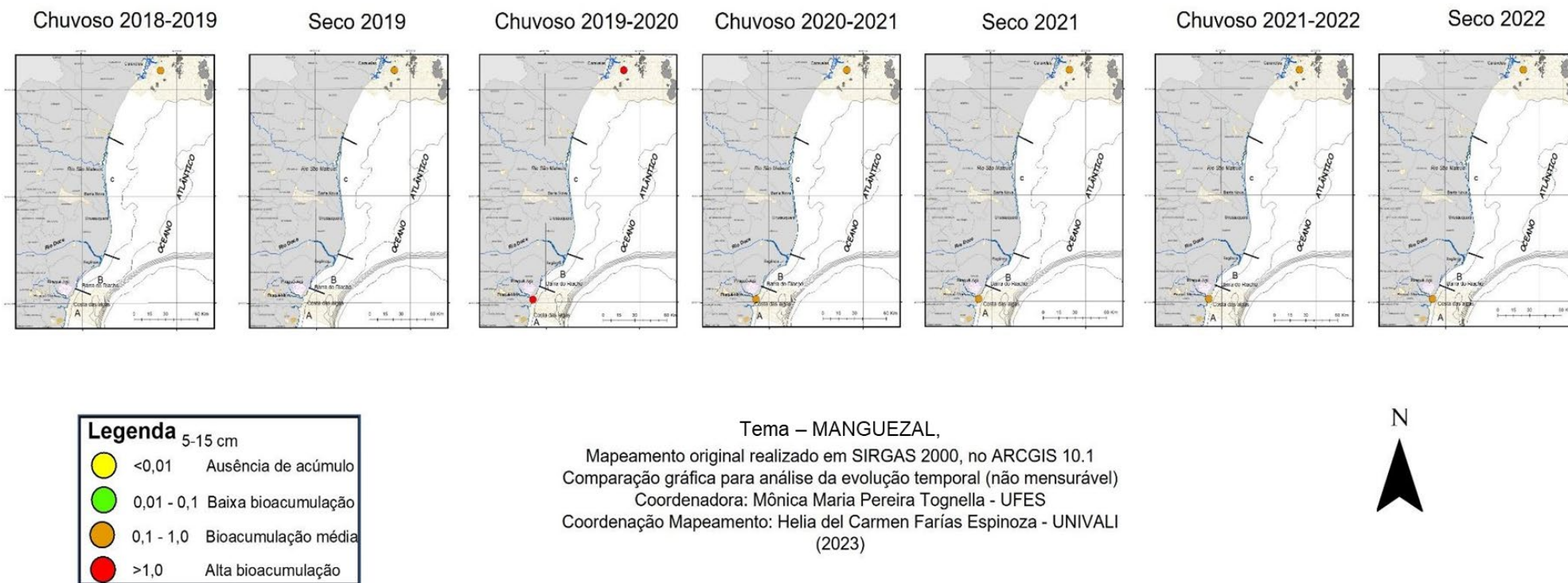


Figura 62: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

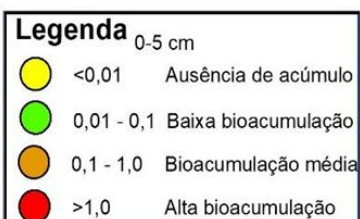
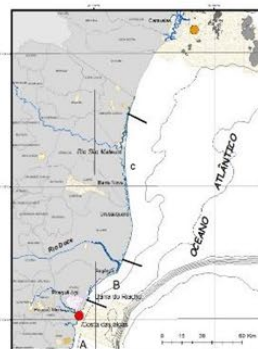
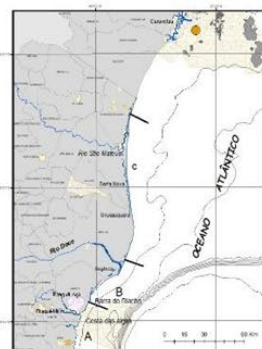
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



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 Fariás Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 63: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**. *Monitoramento encerrado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.
**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

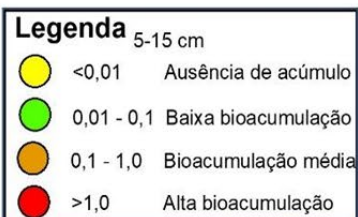
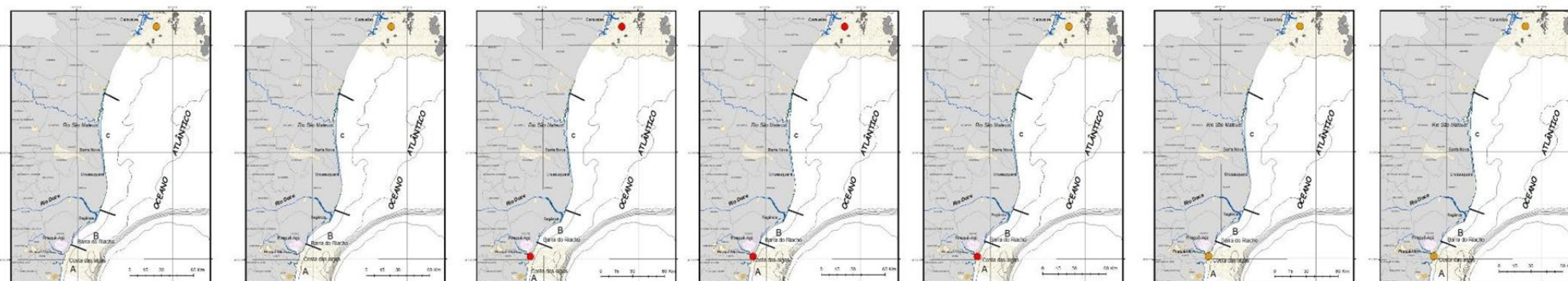
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



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 64: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.

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

Chuvoso 2018-2019

Seco 2019

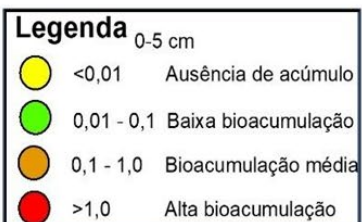
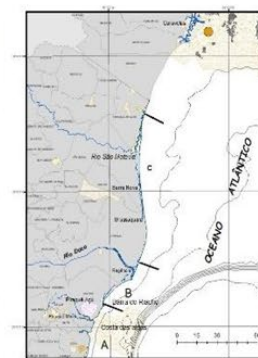
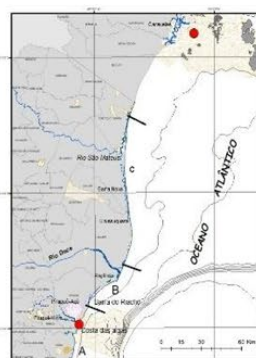
Chuvoso 2019-2020

Chuvoso 2020-2021

Seco 2021

Chuvoso 2021-2022

Seco 2022



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 Farías Espinoza - UNIVALI
(2023)



Figura 65: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Alga*s e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**. *Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvaso 22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.
**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvaso 2022_2023.

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

Chuvaso 2018-2019

Seco 2019

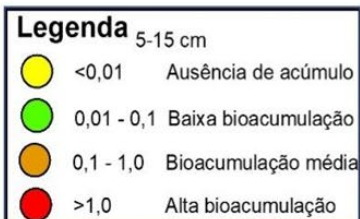
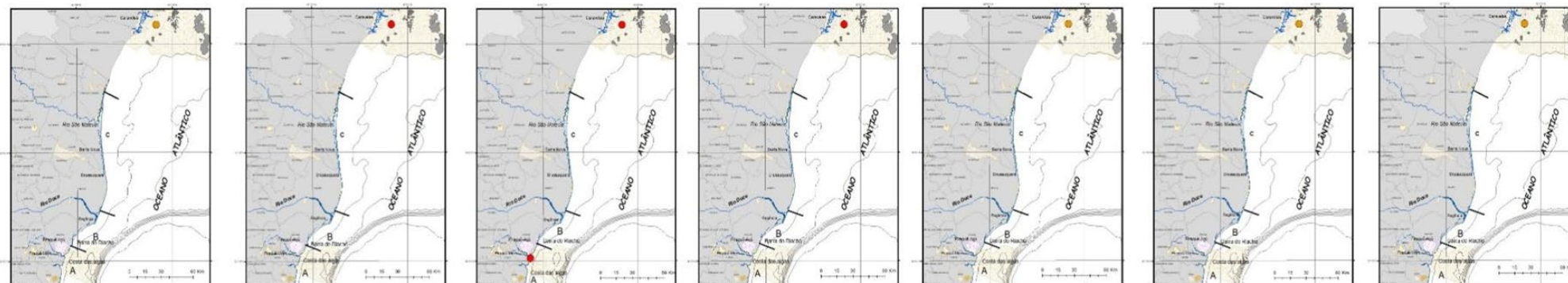
Chuvaso 2019-2020

Chuvaso 2020-2021

Seco 2021

Chuvaso 2021-2022

Seco 2022



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 66: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco 22 foram discutidos no RA2022.

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

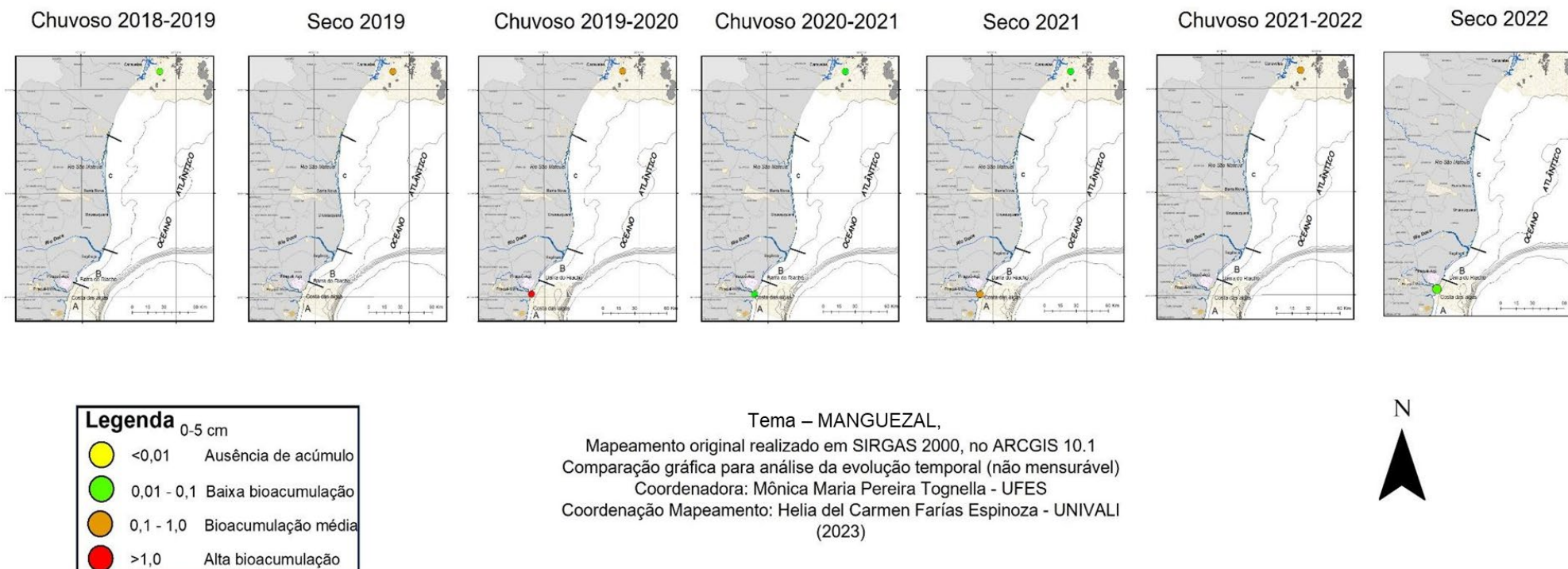


Figura 67: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Avicennia schaueriana*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a março de 2023 nas áreas de coleta que abrangem o norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Costa das Algas* e Caravelas*. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

*Monitoramento encerrado nestes estuários a partir do período Chuvoso 22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023.

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

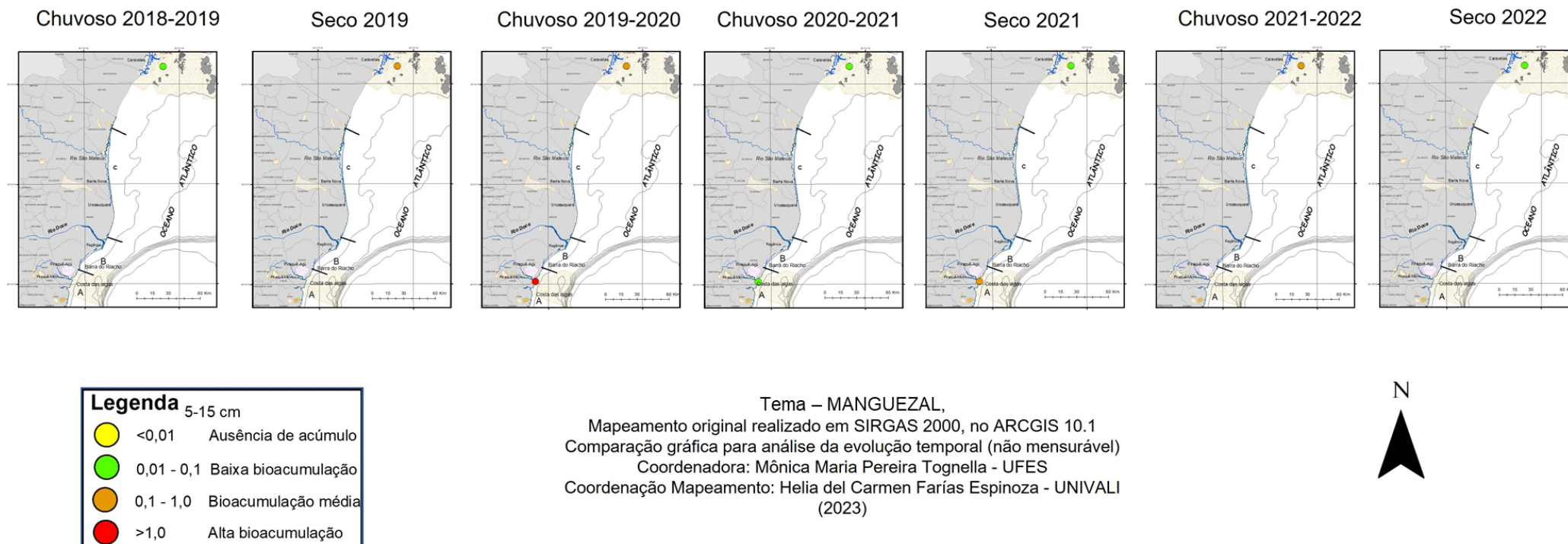


Figura 68: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce, Piraquê-Açú* e São Mateus*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

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

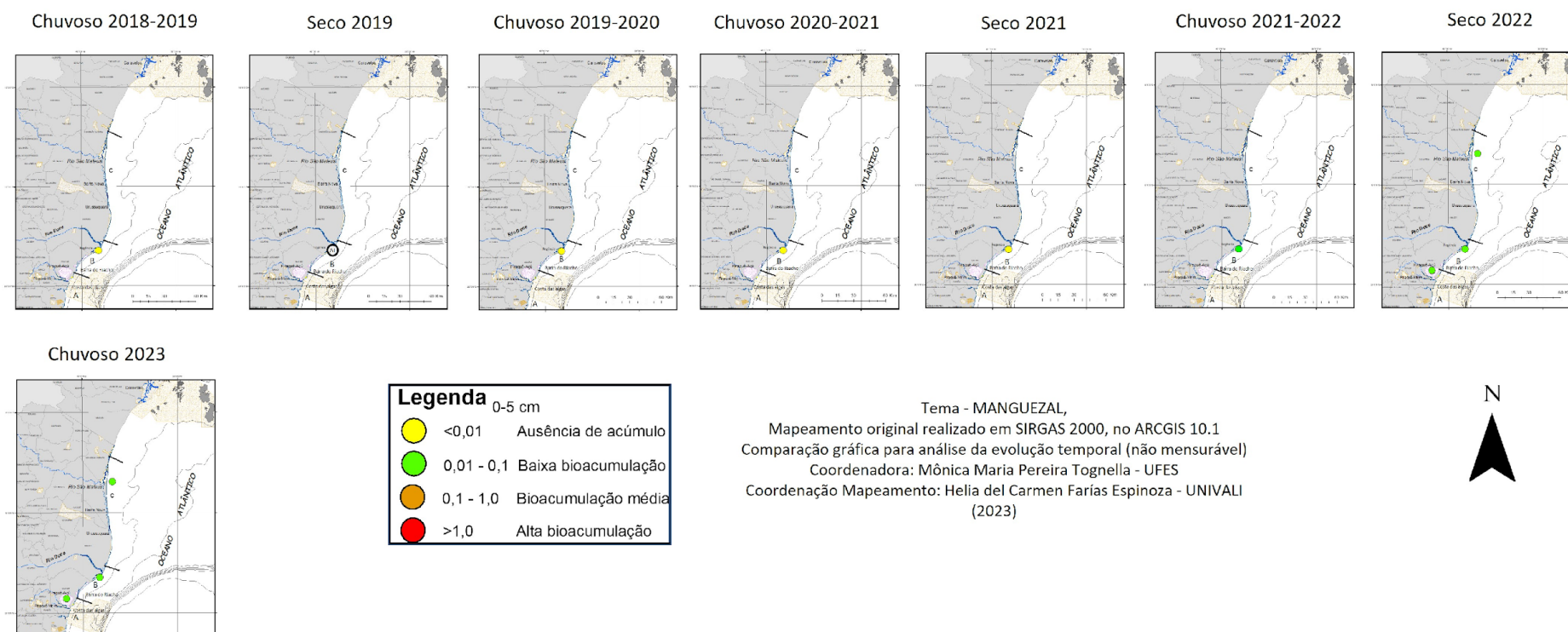


Figura 69: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para ferro (Fe) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

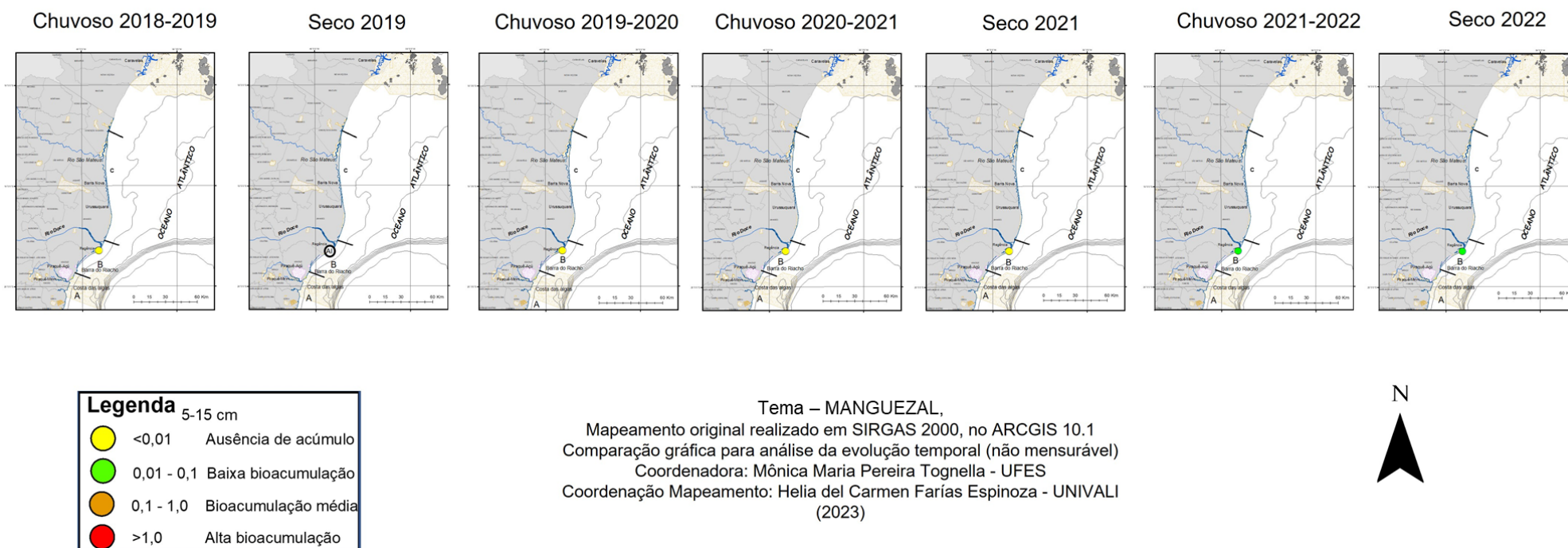


Figura 70: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce, Piraquê-Açú* e São Mateus*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

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

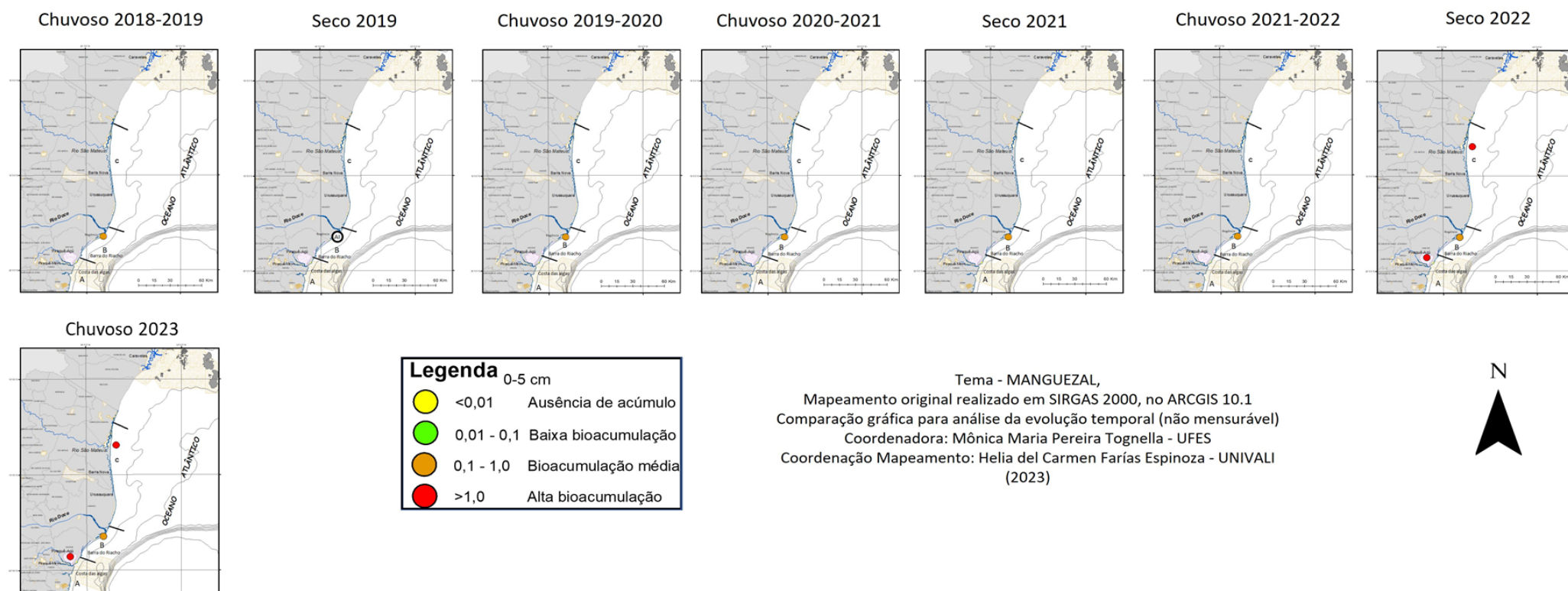


Figura 71: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para manganês (Mn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

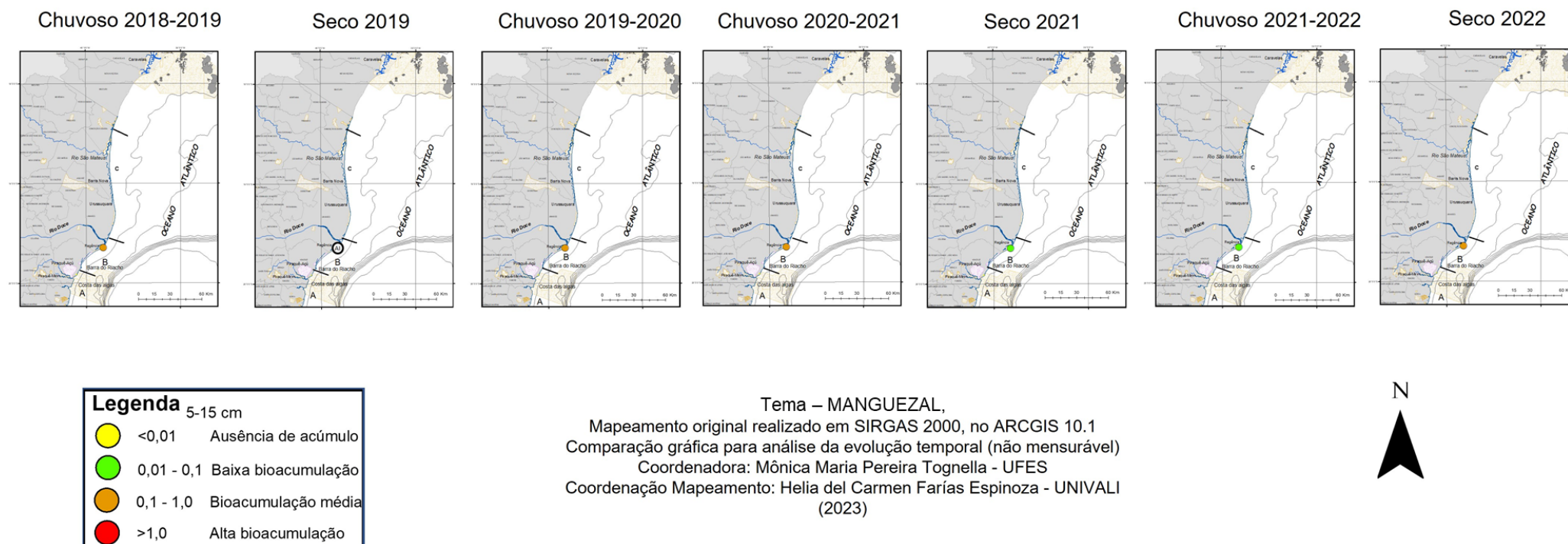


Figura 72: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce, Piraquê-Açú* e São Mateus*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

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

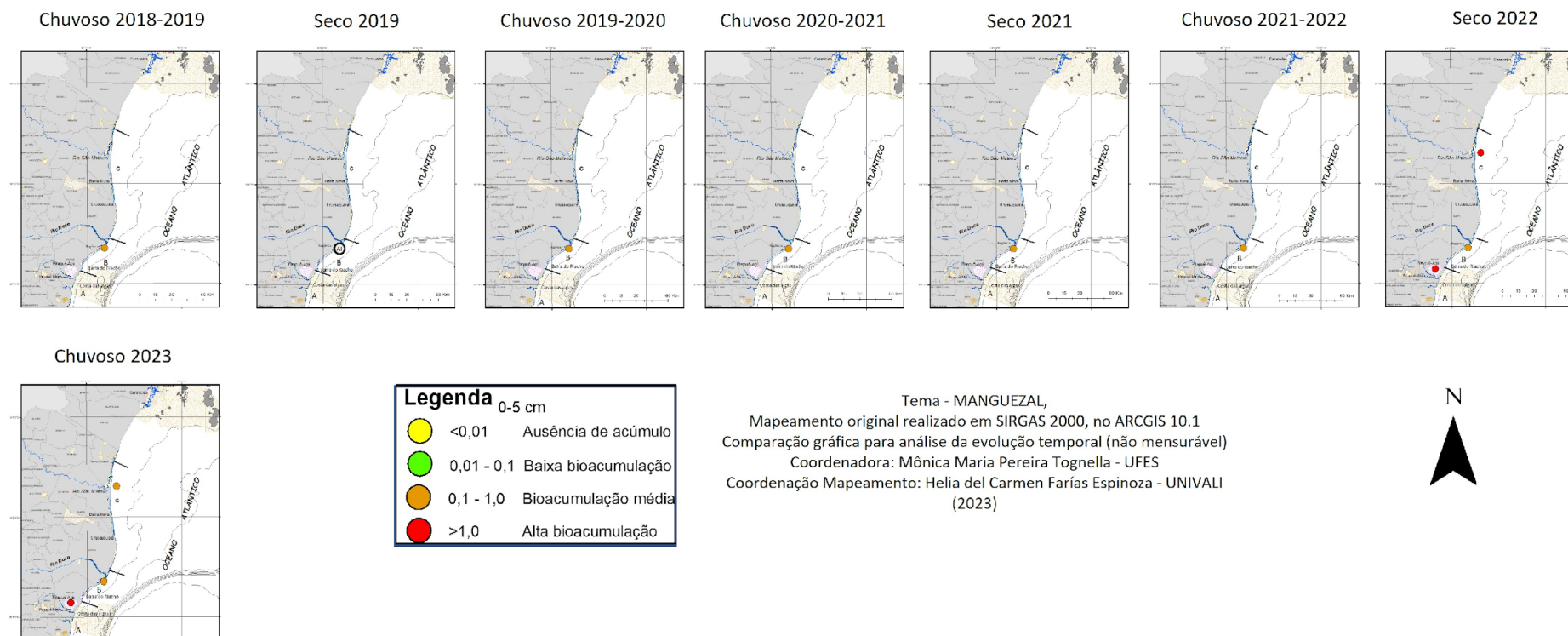


Figura 73: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para zinco (Zn) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

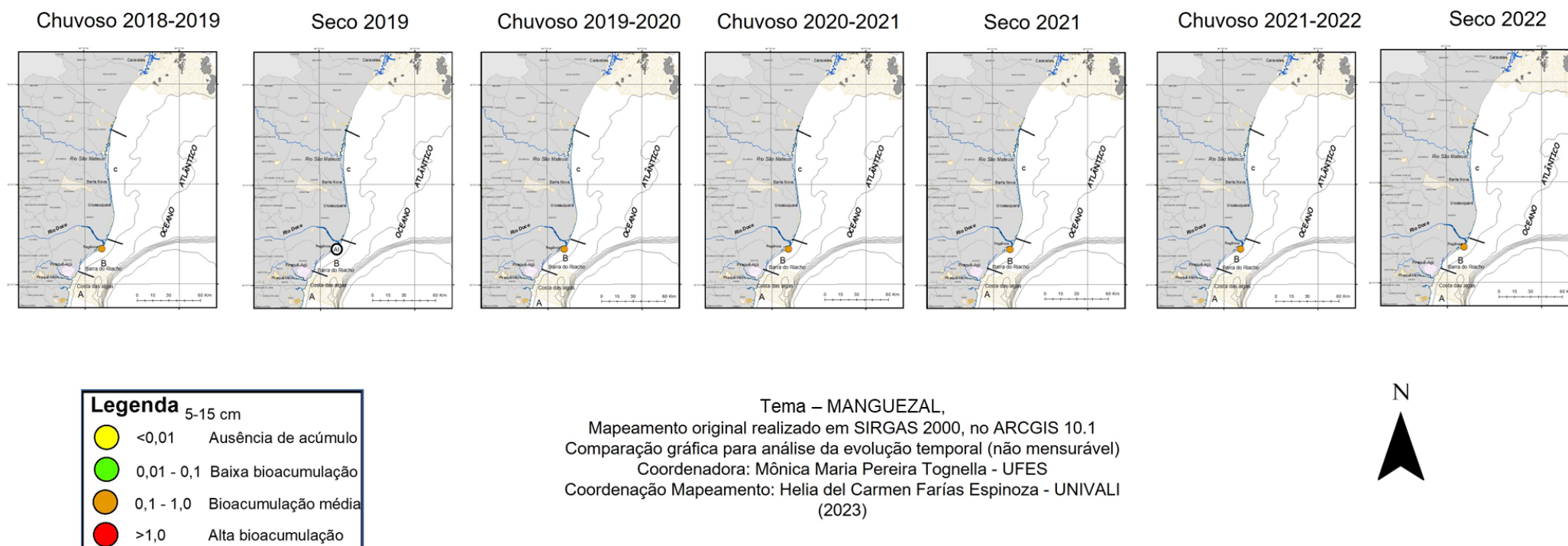


Figura 74: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce, Piraquê-Açú* e São Mateus*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

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

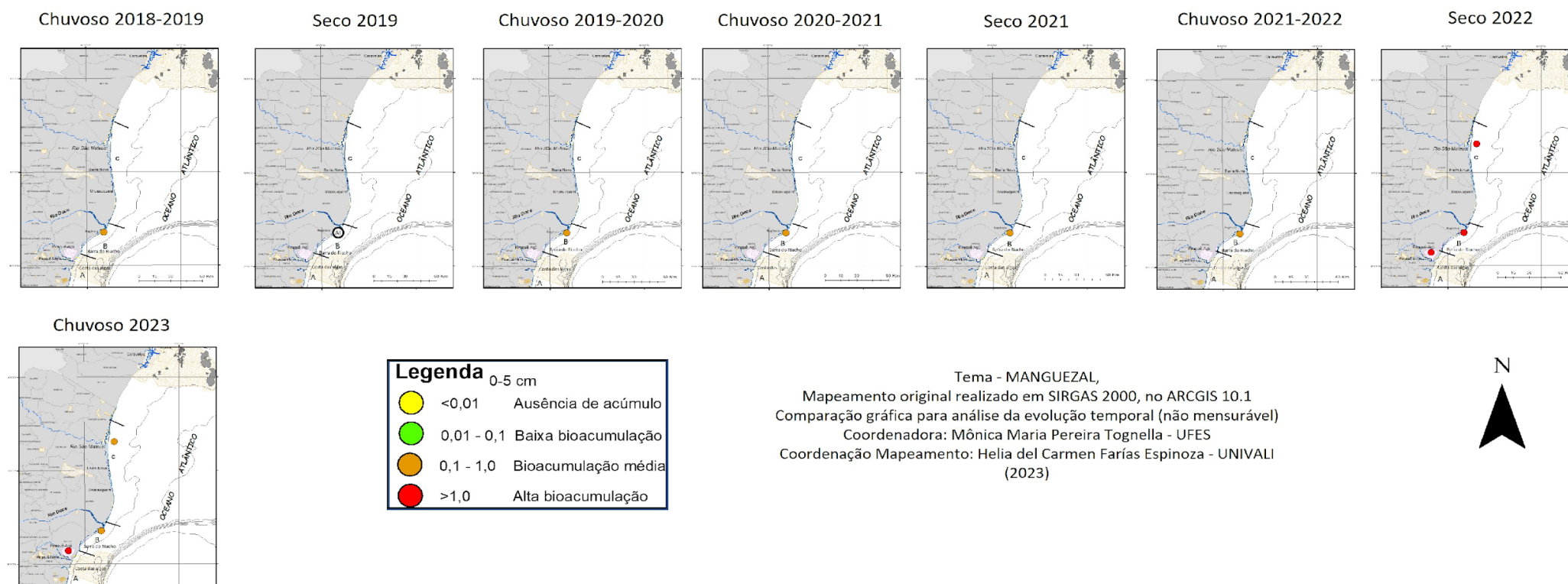


Figura 75: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para cobre (Cu) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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

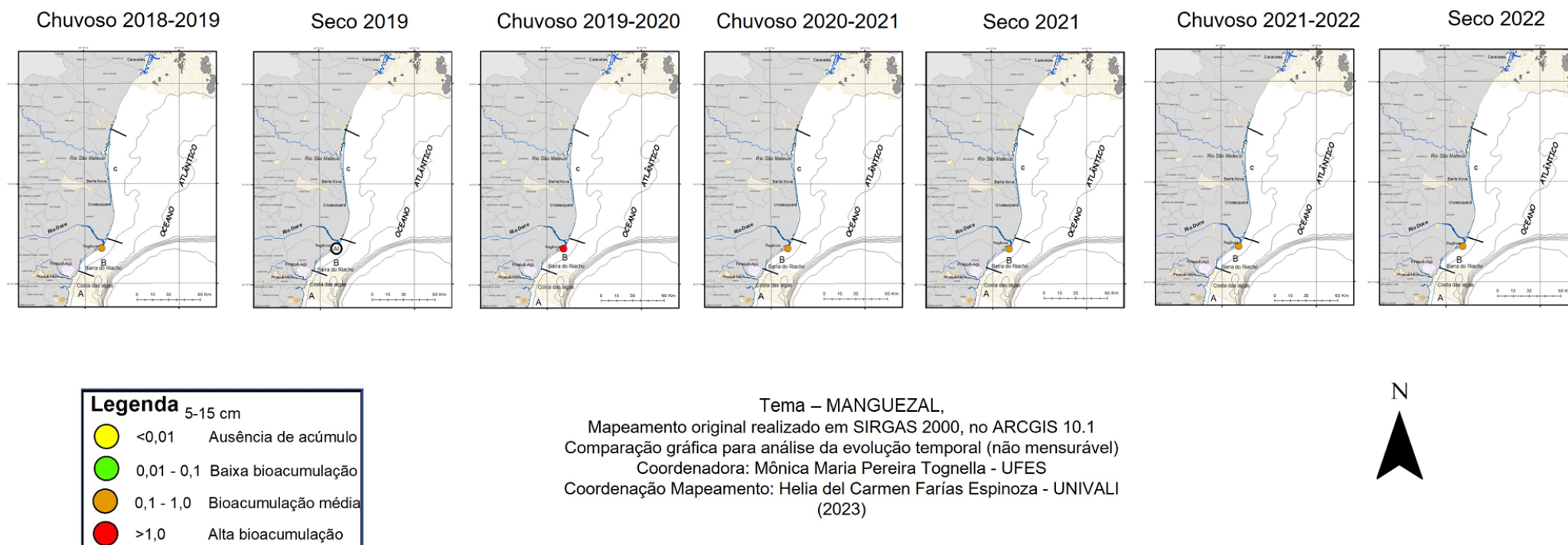


Figura 76: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce, Piraquê-Açú* e São Mateus*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Profundidade do sedimento analisado: 0-5cm.

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

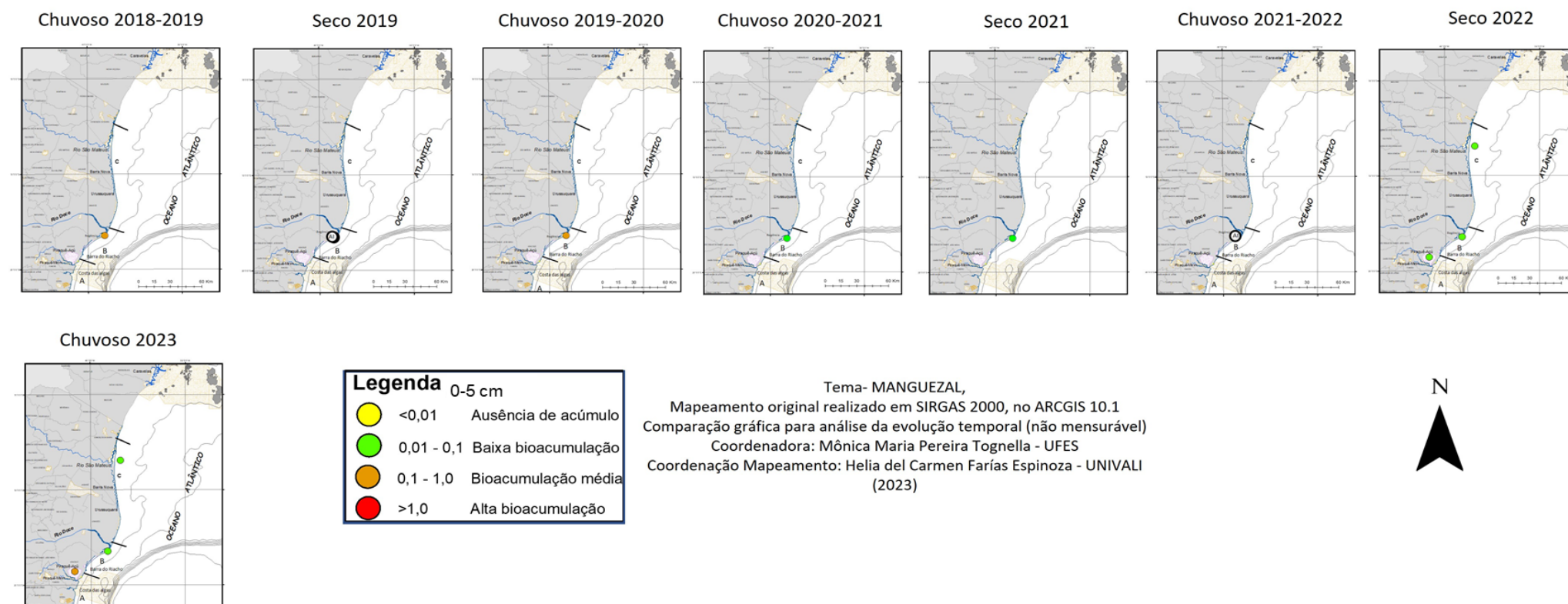
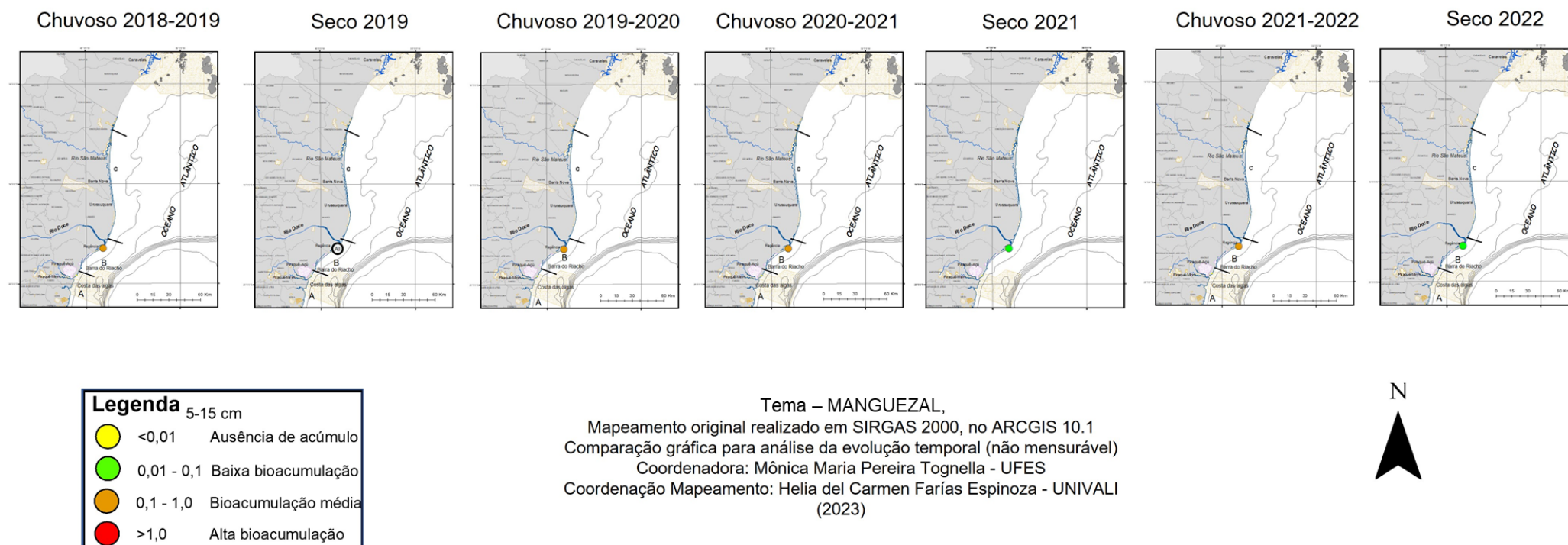


Figura 77: Indicador Ecológico Biorremediação - Fator de bioacumulação (FBA) para chumbo (Pb) em *Talipariti pernambucense*. Razão realizada com dados referentes aos períodos de outubro de 2018 a setembro de 2022 no Rio Doce e no período de janeiro a março de 2023 no Rio Doce. Profundidade do sedimento analisado: 5-15cm**.

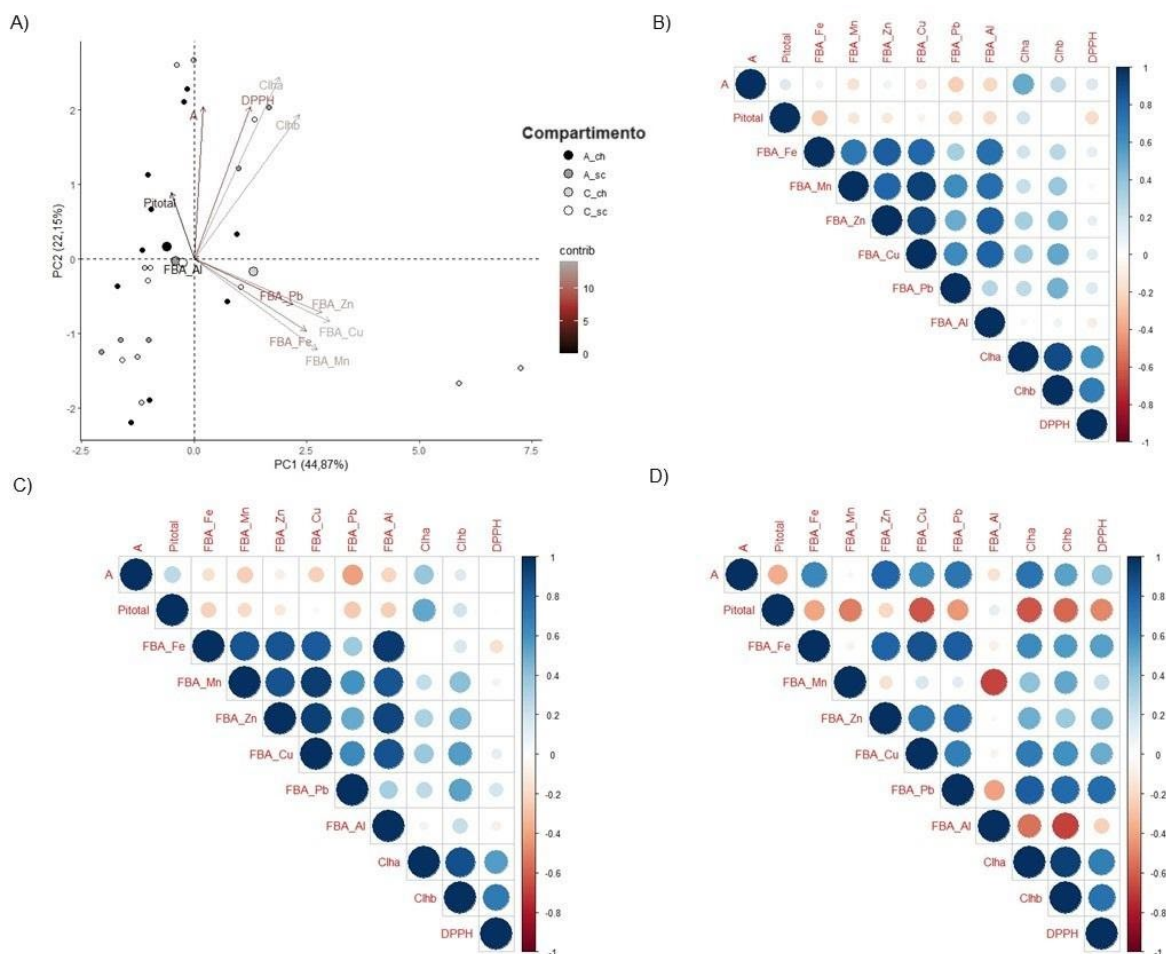
**Monitoramento descontinuado nesta profundidade a partir do período Chuvoso 2022_2023. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

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



Para *T. pernambucense* houve baixa bioacumulação de Fe durante todo o período de monitoramento no Rio Doce. O mesmo FBA também pode ser encontrado para a espécie nos estuários do Piraquê-Açú e São Mateus, nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 (Figura 76). Para Mn, Zn e Cu houve média bioacumulação em todos os períodos no Rio Doce (Figura 70, Figura 72 e Figura 74). Houve médio FBA para Pb nos períodos Chuvoso 2018_2019 e Chuvoso 219_2020. Os demais períodos apresentaram baixa bioacumulação do metal (Figura 76). Em relação aos estuários Piraquê-Açú e São Mateus, houve alto FBA para Mn nos dois períodos analisados (Figura 70) e para Zn e Cu, houve alta bioacumulação em *T. pernambucense* no estuário do Piraquê-Açú nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23 (Figura 72 e Figura 74). O mesmo resultado não é observado em São Mateus, no qual FBA variou de alto para médio no período Chuvoso 22_23. Baixo FBA pode ser observado para Pb nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23, exceto em Piraquê-Açú que apresentou média bioacumulação no Chuvoso 22_23 (Figura 76).

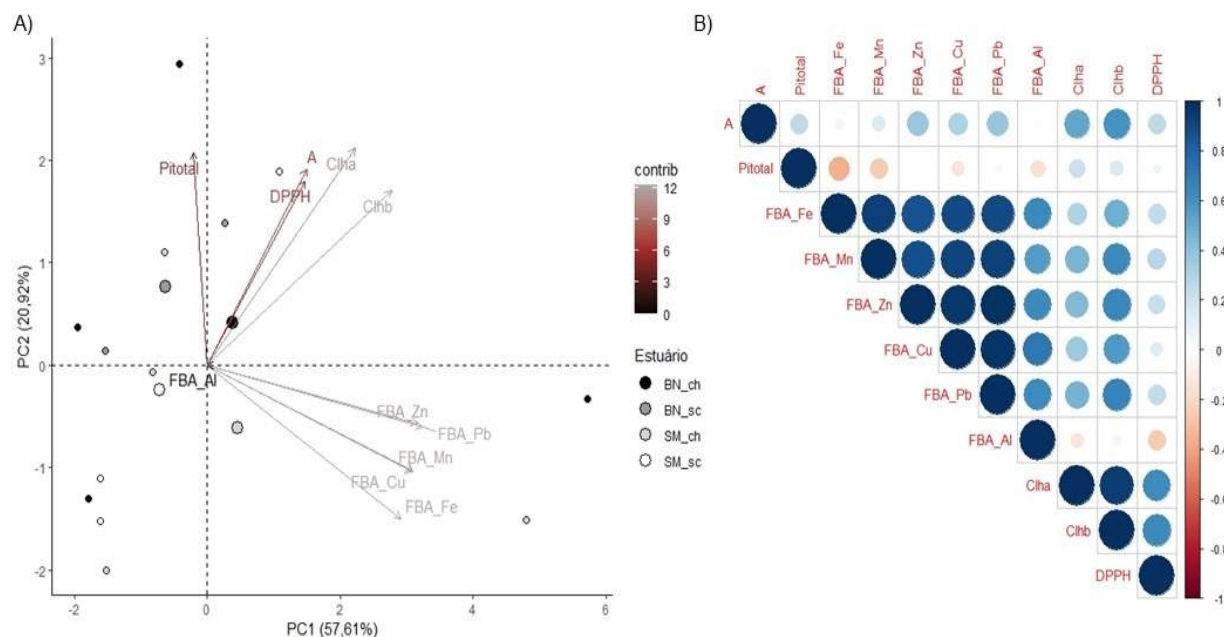
Figura 78: Indicador Ecológico Biorremediação - *Rhizophora mangle*. Análise de componentes principais (ACP) (A) e correlação de Spearman (B, C e D) entre o Fator de bioacumulação (FBA) para Mn, Fe, Zn, Pb, Cu e Al e parâmetros fisiológicos nas áreas de coleta distribuídas no norte do Espírito Santo e obtidos entre outubro de 2018 a março de 2023. Legenda: Compartimento A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim) e C (Barra Nova e São Mateus), 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/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.



Para verificar o efeito da bioacumulação de metais sobre os parâmetros fisiológicos de *R. mangle*, uma ACP (Figura 78 A) foi construída considerando os dados do período chuvoso e do período seco. Como resultado, foi verificada maior bioacumulação de metais no compartimento C para o período chuvoso, o que refletiu, consequentemente, em menor desempenho fotossintético. Essa tendência é reforçada pelas correlações negativas (Figura 78 B) entre FBA_Fe, FBA_Mn e FBA_Al e PI_{Total} ($r_{FBA_Fe \times PI_{Total}} = -0,43$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Mn \times PI_{Total}} = -0,47$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Al \times PI_{Total}} = -0,42$; $p < 0,05$). Ao contrário, no lado esquerdo da ACP, encontram-se os centróides que representam os compartimentos A e C no período seco. Correlações separadas por período chuvoso e seco (Figura 78 C) foram conduzidas e reforçam o efeito da bioacumulação de metais sobre a redução no desempenho fotossintético ($r_{FBA_Fe \times A} = -0,51$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Mn \times PI_{Total}} = -0,58$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Al \times PI_{Total}} = -0,48$; $p < 0,05$), principalmente no período chuvoso. Para o período seco (Figura 78 D), há destaque para o aumento do estresse oxidativo com o

acúmulo de metais ($r_{FBA_Fe \times DPPH} = 0,81$; $p < 0,01$; $r_{FBA_Cu \times DPPH} = 0,72$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Pb \times DPPH} = 0,66$; $p < 0,05$), acompanhado pela redução no PI_{Total} ($r_{DPPH \times PI_{Total}} = -0,70$; $p < 0,05$). Além da correlação com o estresse oxidativo, a redução no PI_{Total} foi correlacionada negativamente com o acúmulo de Cu ($r_{FBA_Cu \times PI_{Total}} = -0,73$; $p < 0,05$). Ainda considerando o período seco, são indicados os efeitos positivos da bioacumulação sobre os parâmetros fotossintéticos, uma vez que estes metais são considerados micronutrientes ($r_{FBA_Fe \times A} = 0,75$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Cu \times A} = 0,65$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Fe \times \text{clorofila a}} = 0,79$; $p < 0,01$; $r_{FBA_Fe \times \text{clorofila b}} = 0,70$; $p < 0,05$; $r_{FBA_Cu \times \text{clorofila a}} = 0,81$; $p < 0,01$; $r_{FBA_Cu \times \text{clorofila b}} = 0,67$; $p < 0,05$).

Figura 79: Indicador Ecológico Biorremediação – *Laguncularia racemosa*. 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 nas áreas de coleta distribuídas no norte do Espírito Santo e obtidos entre outubro de 2018 a março de 2023. Legenda: BN: Barra Nova, SM: São Mateus, 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.



Da mesma forma, o efeito da bioacumulação de metais sobre os parâmetros fisiológicos de *L. racemosa* no compartimento C foi avaliada por meio da ACP considerando os dados do período chuvoso e do período seco. A análise aponta maior bioacumulação de Zn, Pb, Mn, Cu e Fe em São Mateus no período chuvoso, o que resultou em menor desempenho fotossintético. Em contrapartida, em Barra Nova, independente do período, os resultados obtidos tendem ao melhor desempenho fotossintético da espécie e menor bioacumulação de metais.

Figura 80: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de ferro foliar (Fe) de *Rhizophora mangle* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

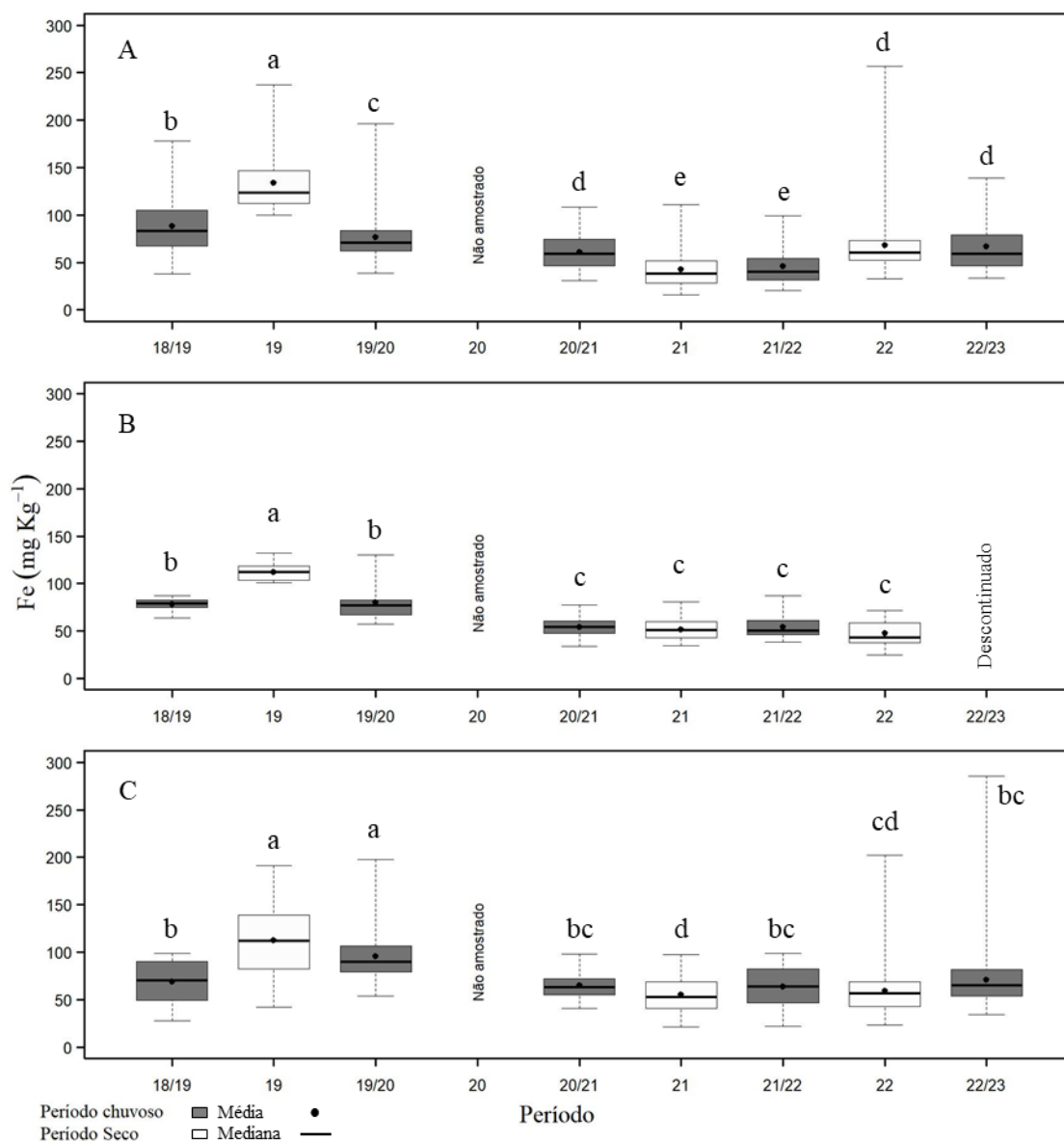


Figura 81: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de manganês foliar (Mn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

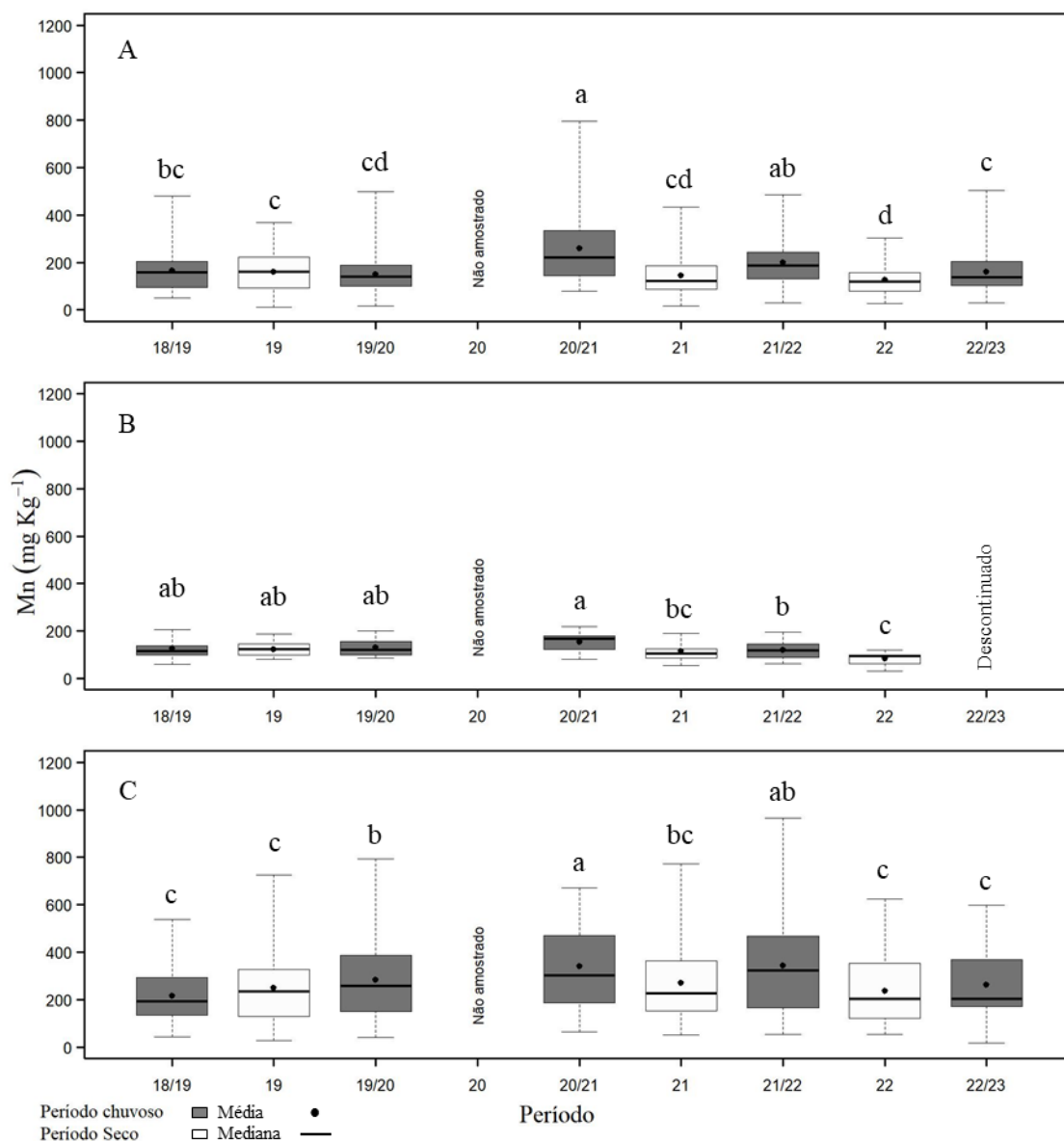


Figura 82: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de zinco foliar (Zn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

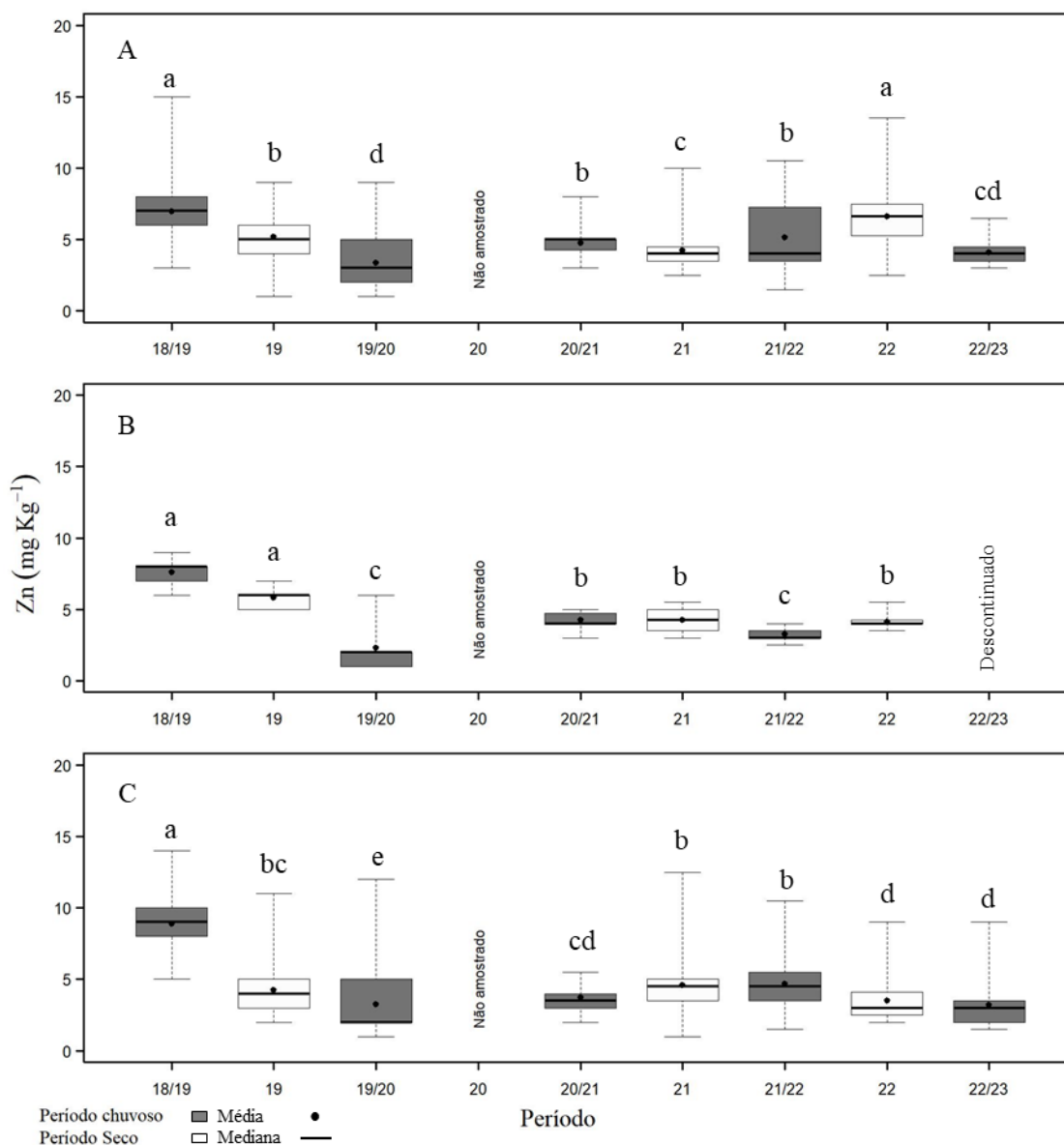


Figura 83: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de cobre foliar (Cu) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

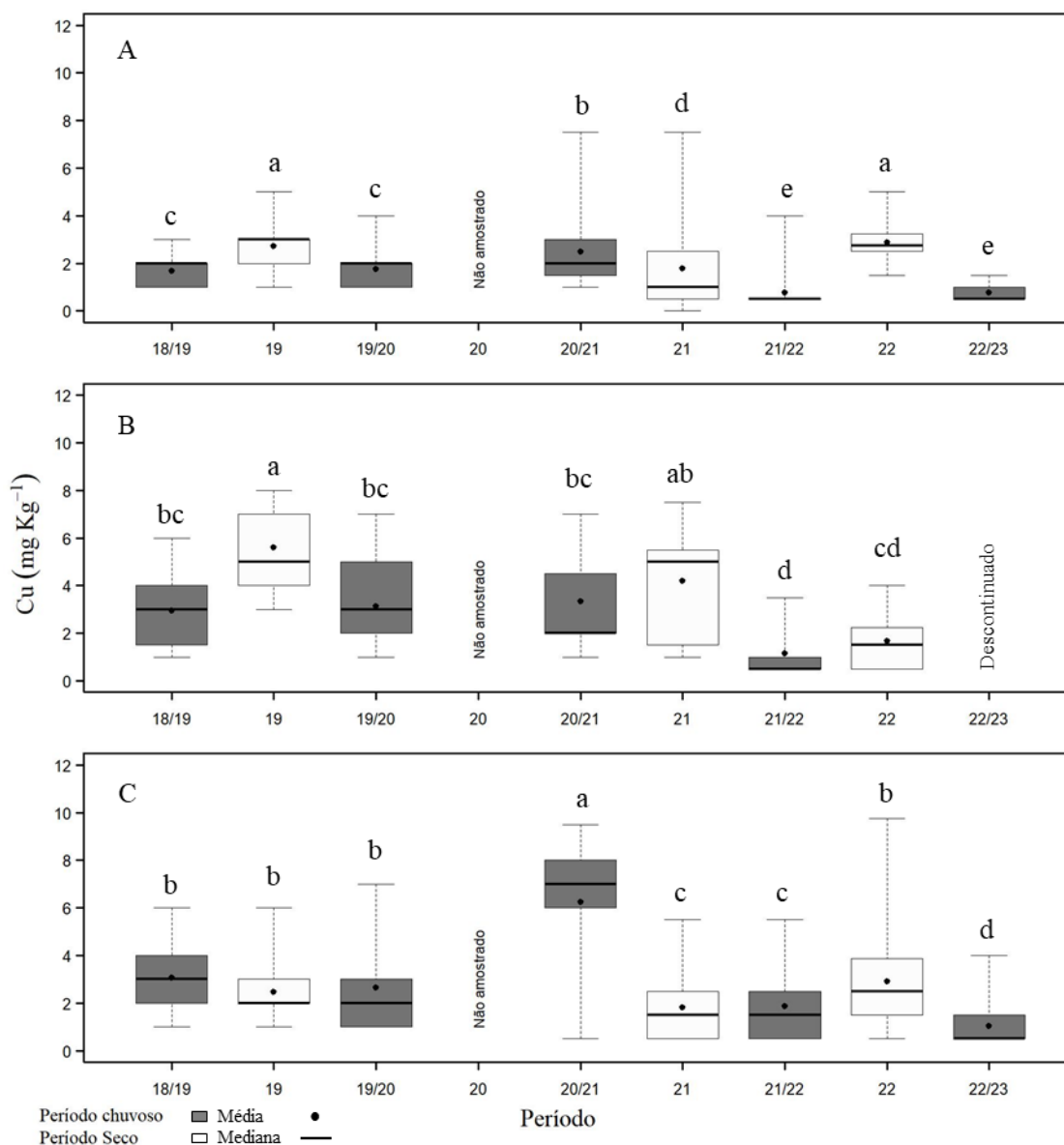
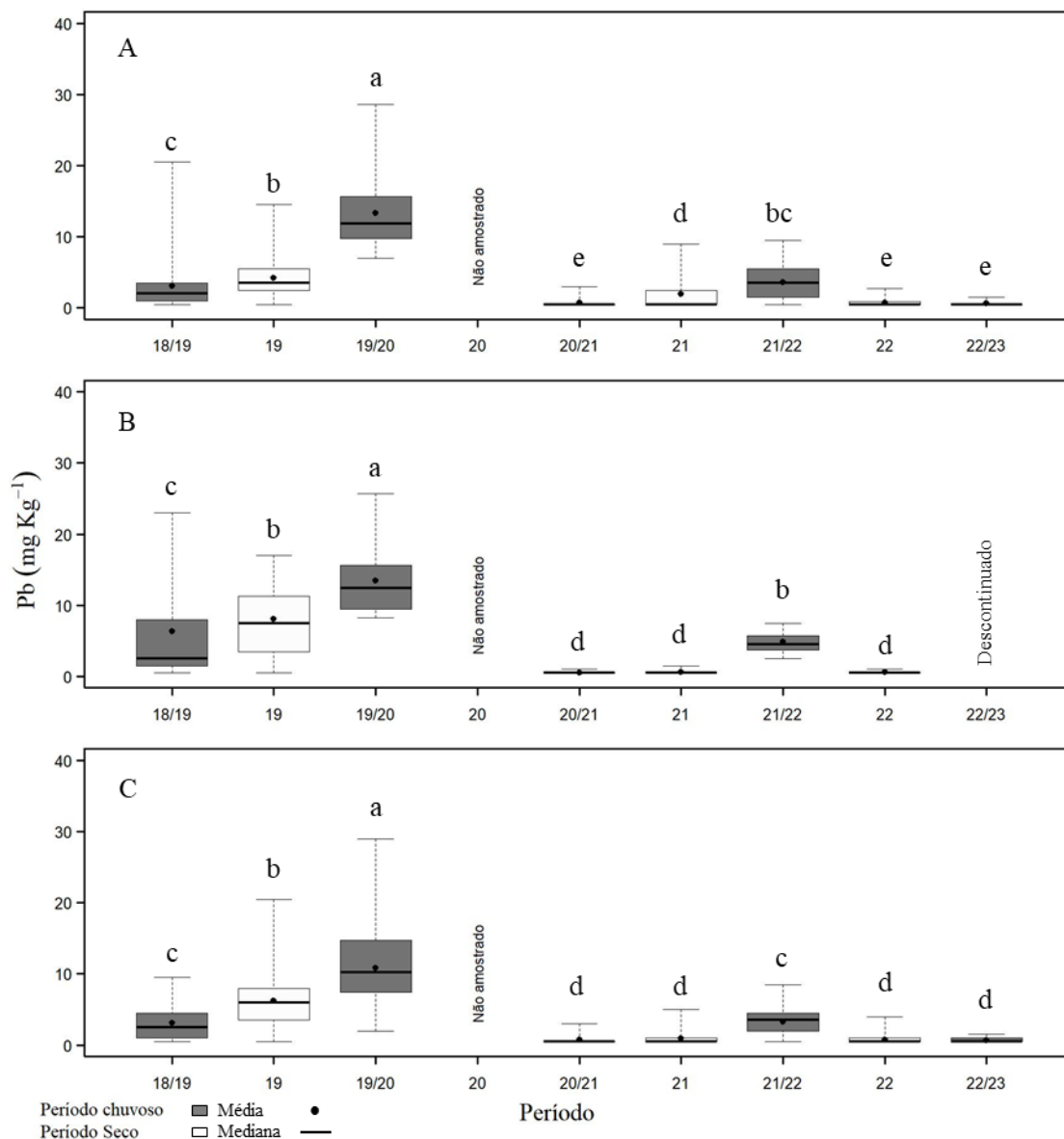


Figura 84: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de chumbo foliar (Pb) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos Compartimentos A (Piraquê-Açu, Piraquê-Mirim e Costa das Algas*), Compartimento B (Barra do Riacho*) e Compartimento C (Urussuquara*, Barra Nova, São Mateus e Caravelas*). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



No compartimento A, as concentrações de Fe foliar de *R. mangle* do período Chuvoso 22_23 foram similares às observadas nos períodos Chuvoso 20_21 e Seco_22. Em relação ao último período chuvoso analisado (Chuvoso 21_22), houve aumento no acúmulo de Fe. No compartimento C, houve aumento na concentração de Fe no período Chuvoso 22_23, comparativamente ao Seco_22. A partir do Ano 3, os períodos Chuvoso 20_21, Chuvoso 21_22 e Chuvoso 22_23 apresentaram valores semelhantes do metal no tecido foliar de *R. mangle* (Figura 80). Com relação ao Mn, no compartimento A, houve aumento na concentração do metal em relação ao período Seco_22, mas com valores semelhantes aos períodos Chuvoso 18_19 e Chuvoso 19_20. No compartimento C, a concentração de Mn não variou comparativamente ao Seco_22, mas reduziu em relação ao último período chuvoso analisado (Chuvoso 21_22) (Figura 81). Houve redução na concentração de Zn foliar no compartimento A no período Chuvoso 22_23 sem variações no compartimento C nos períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23, não sendo possível traçar um padrão de acúmulo em ambos os compartimentos (Figura 82). A concentração de Cu também se reduziu no compartimento A nos períodos Chuvoso 21_22 e Chuvoso 22_23, com os menores valores registrados durante todo o monitoramento (Figura 83). Comportamento semelhante pode ser observado no compartimento C, com concentração reduzida de Cu no período Chuvoso 22_23. Tendência de redução na concentração de Pb pode ser observada a partir do período Chuvoso 20_21 em ambos os compartimentos (Figura 84). O monitoramento no compartimento B foi descontinuado.

Figura 85: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de ferro foliar (Fe) de *Rhizophora mangle* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Costa das Algas* (CA), Barra do Riacho* (BR), Urussuquara* (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas* (CR). Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

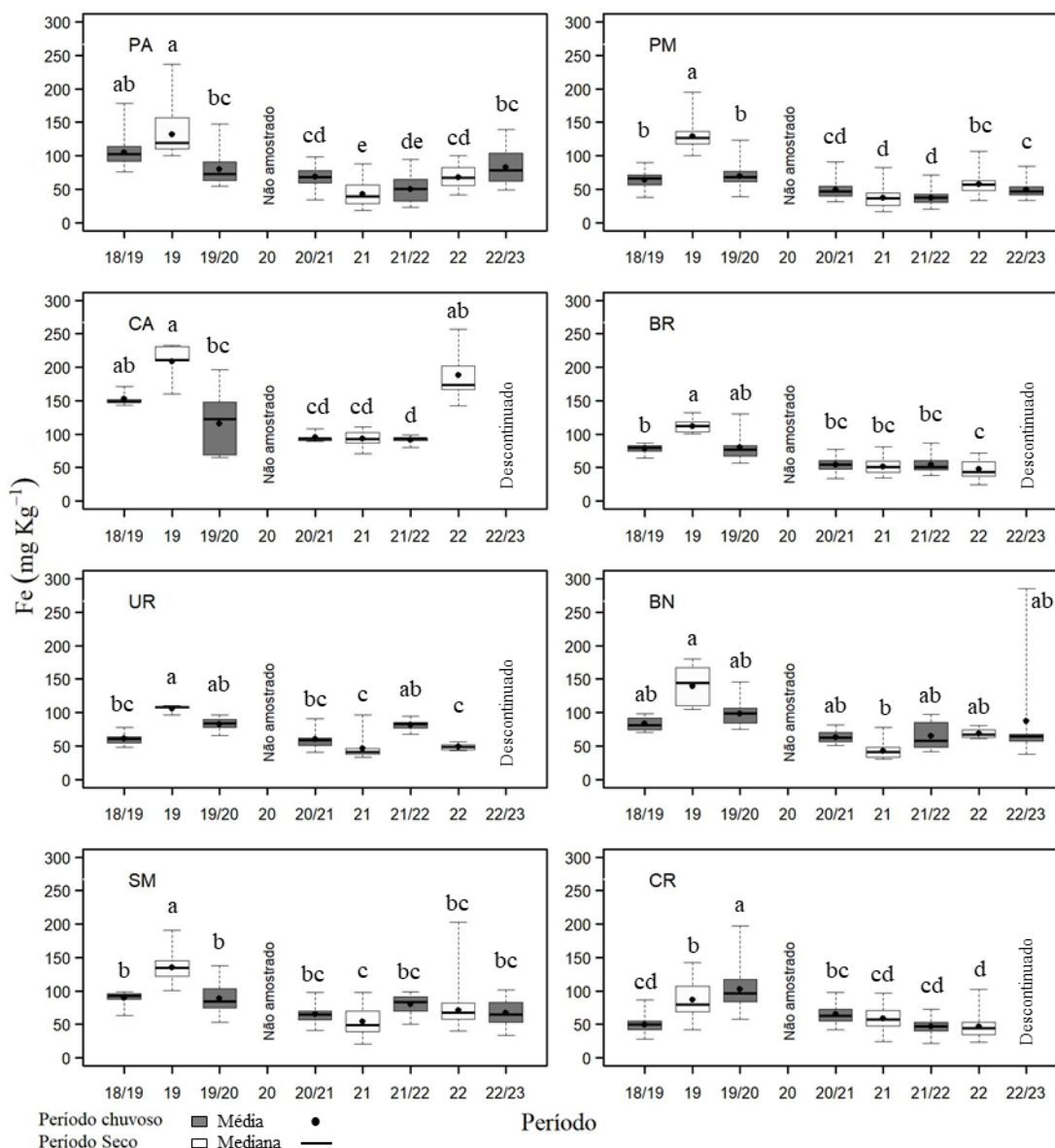


Figura 86: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de manganês foliar (Mn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

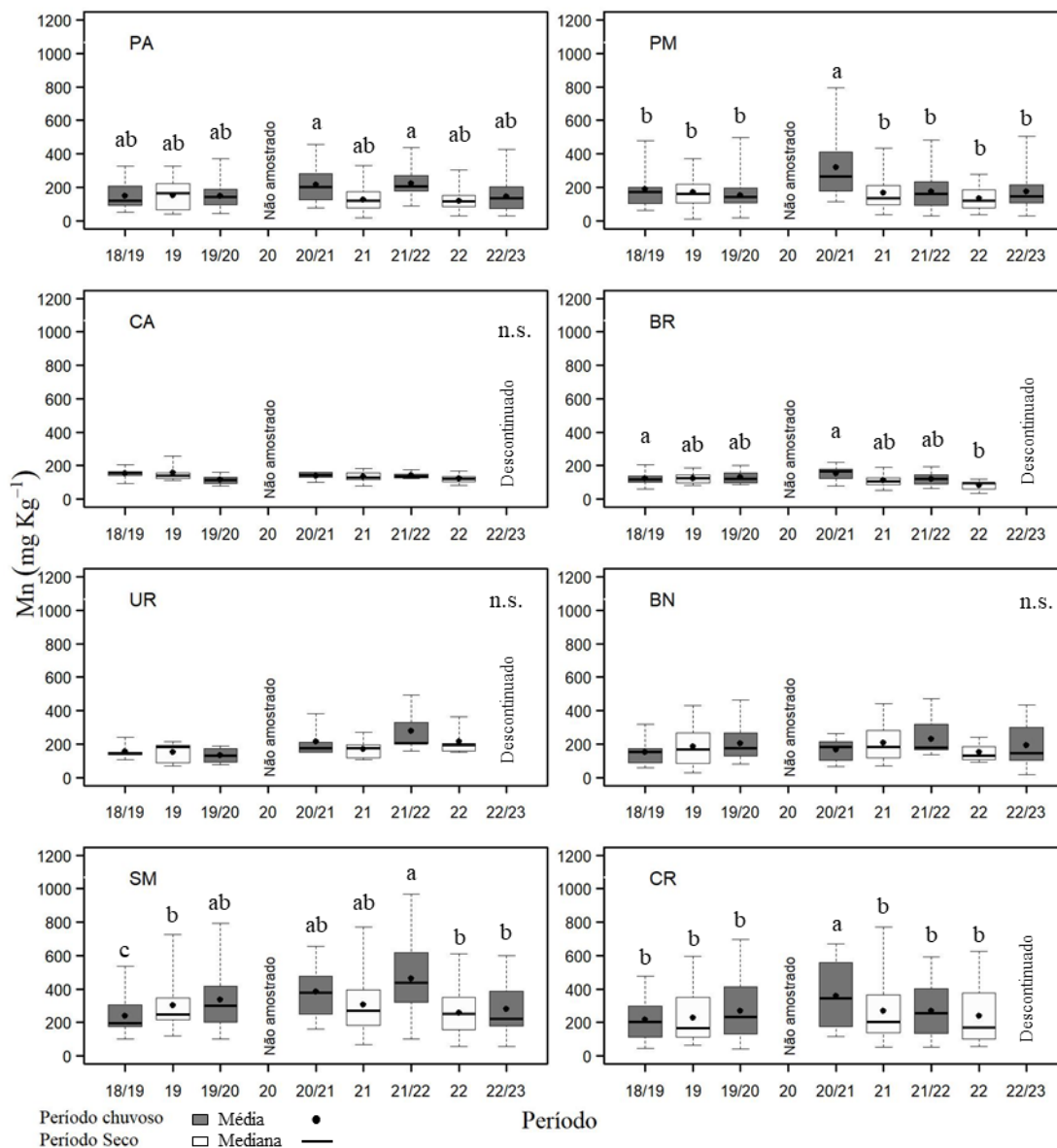


Figura 87: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de zinco foliar (Zn) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

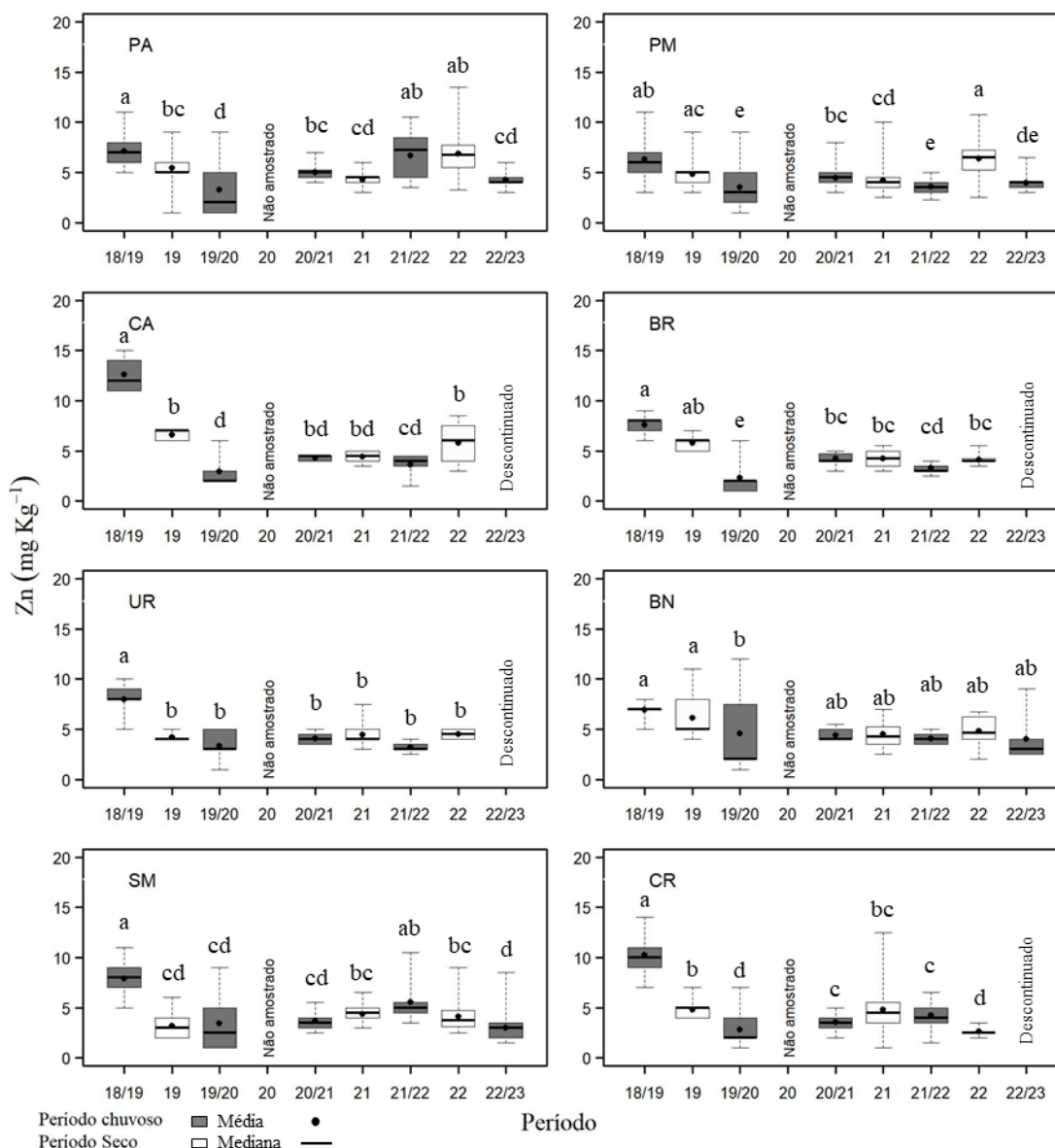


Figura 88: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de cobre foliar (Cu) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

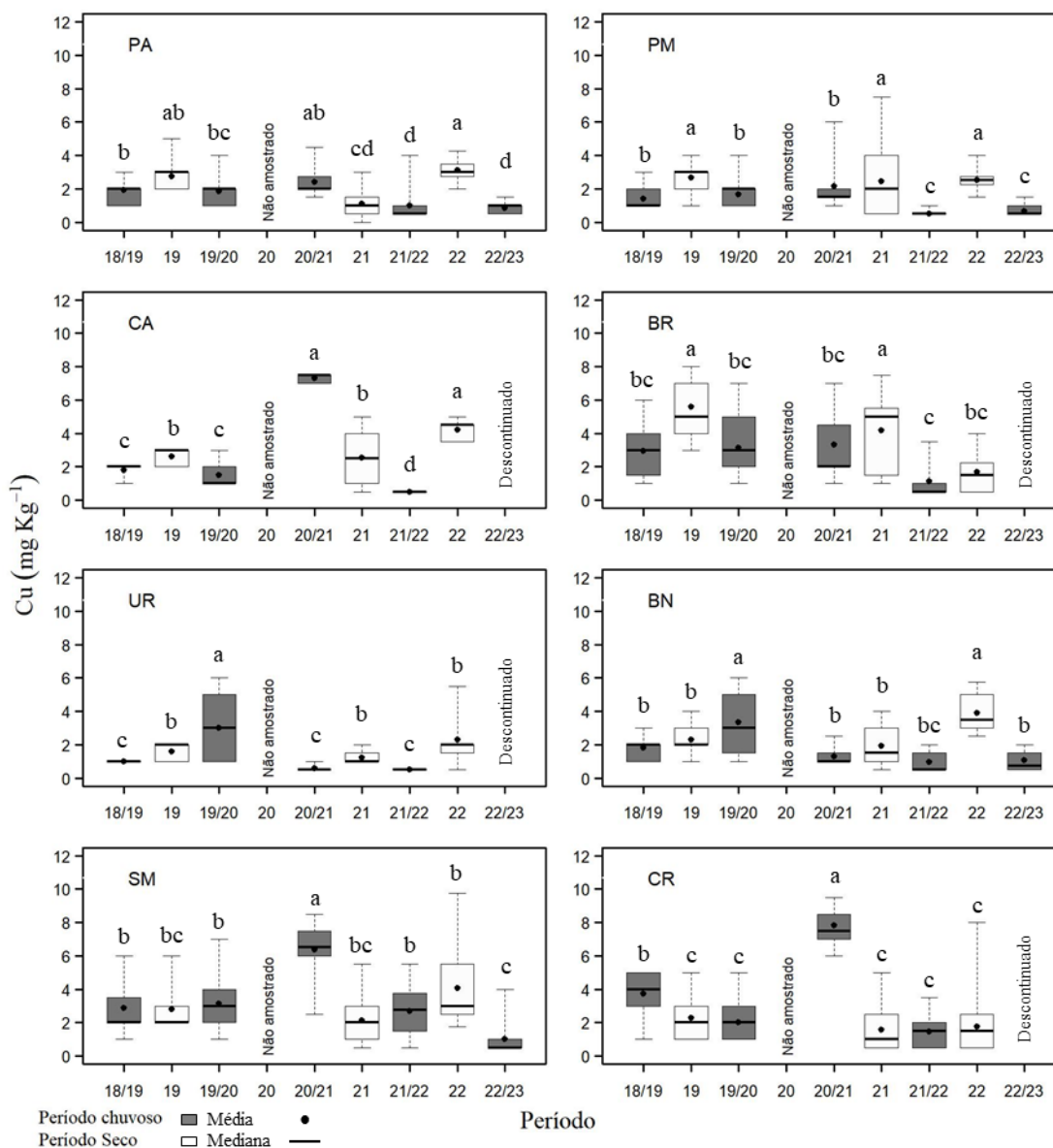
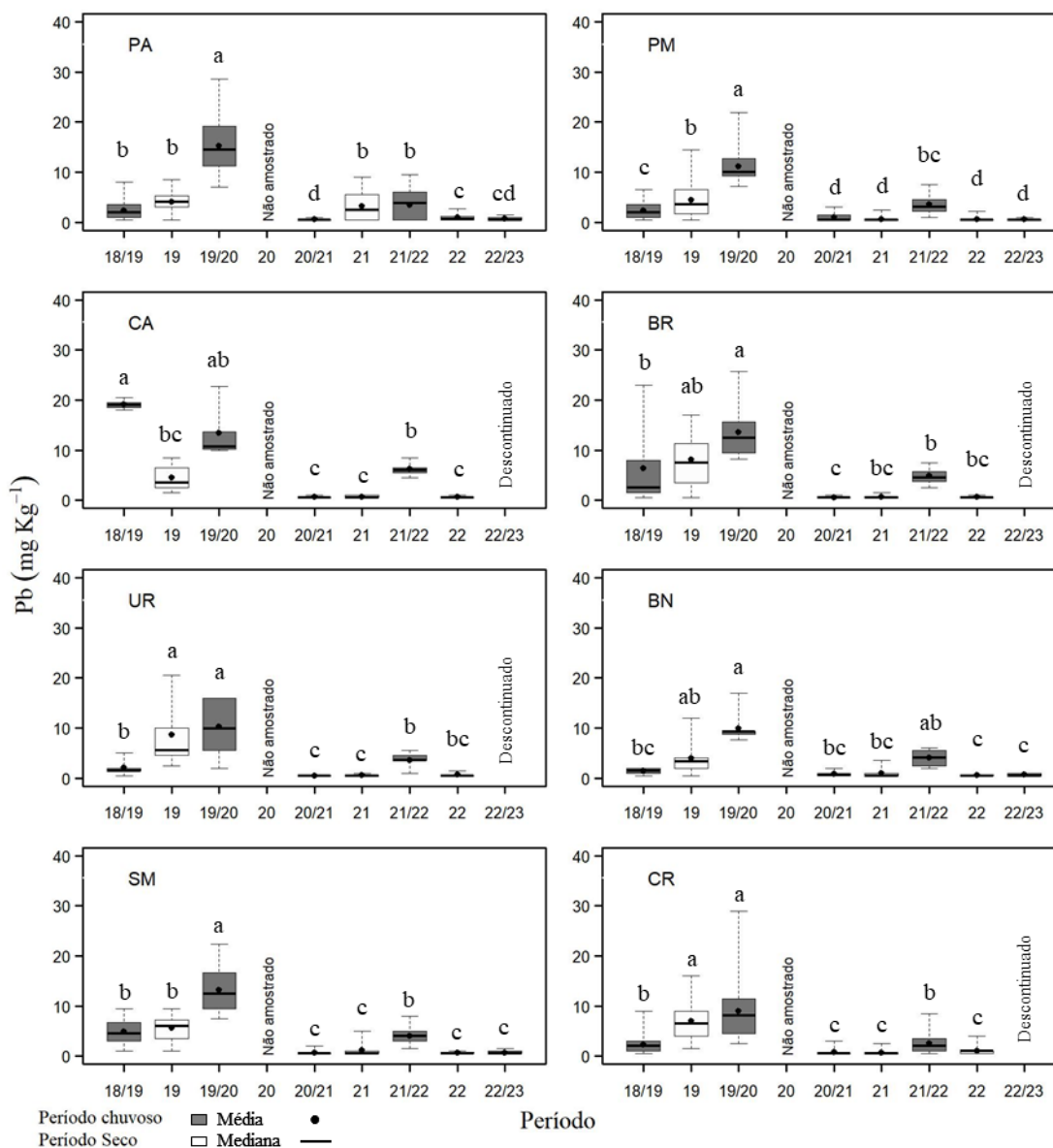


Figura 89: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de chumbo foliar (Pb) de *Rhizophora mangle* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Costa das Algas (CA)*, Barra do Riacho (BR)*, Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



Observou-se aumento na concentração de Fe foliar de *R. mangle* no estuário do Piraquê-Açú no período Chuvoso 22_23, com valores semelhantes aos registrados no período Chuvoso 19_20. No Piraquê-Mirim, houve um pequeno aumento nos valores de Fe no Chuvoso 22_23, comparativamente aos dois últimos períodos chuvosos (Chuvoso 20_21 e Chuvoso 21_22). Entretanto, se comparado ao período Seco_22, a concentração do metal se reduziu. Em Barra Nova e São Mateus, a concentração de Fe foi mantida a partir do período Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21, respectivamente (Figura 85). No geral, houve tendência de padronização na concentração de Mn foliar nos estuários do Piraquê-Açú 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 redução nos valores de Mn no período Chuvoso 22_23, comparativamente ao Chuvoso 21_22. Em relação ao período Seco_22, não houve diferença estatística (Figura 86). Redução na concentração de Zn foliar foi observada no período Chuvoso 22_23 no Piraquê-Açú, com valores comparados aos registrados no período Seco_21. No Piraquê-Mirim, menores valores de Zn no período Chuvoso 22_23 se equiparam àqueles observados nos períodos Chuvoso 19_20 e Chuvoso 21_22. Destaca-se o Seco_22, com maior concentração do metal em todo o monitoramento. Em Barra Nova, há tendência de manutenção nos valores de Zn a partir do Chuvoso 20_21, mas, em São Mateus, houve redução de Zn foliar no período Chuvoso 22_23, com valores semelhantes aos dos períodos Seco_19, Chuvoso 19_20 e Chuvoso 20_21 (Figura 87). Menor acúmulo de Cu ocorreu nos estuários do Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim no período Chuvoso 22_23, comparáveis aos registrados no Chuvoso 21_22. Em Barra Nova, também houve redução na concentração de Cu no período Chuvoso 22_23, com valores similares em todo o monitoramento, exceto nos períodos Chuvoso 19_20 e Seco_22. Em São Mateus, o período Chuvoso 22_23 foi caracterizado pela menor concentração de Cu foliar (Figura 88). O período Chuvoso 19_20 foi caracterizado pelo maior acúmulo de Pb na maioria dos estuários. Para todos os outros períodos analisados, o acúmulo de Pb foi menor com tendência à estabilidade (Figura 89). O monitoramento nos estuários de Costa das Algas, Barra do Riacho, Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

Figura 90: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração ferro foliar (Fe) de *Laguncularia racemosa* analisada 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

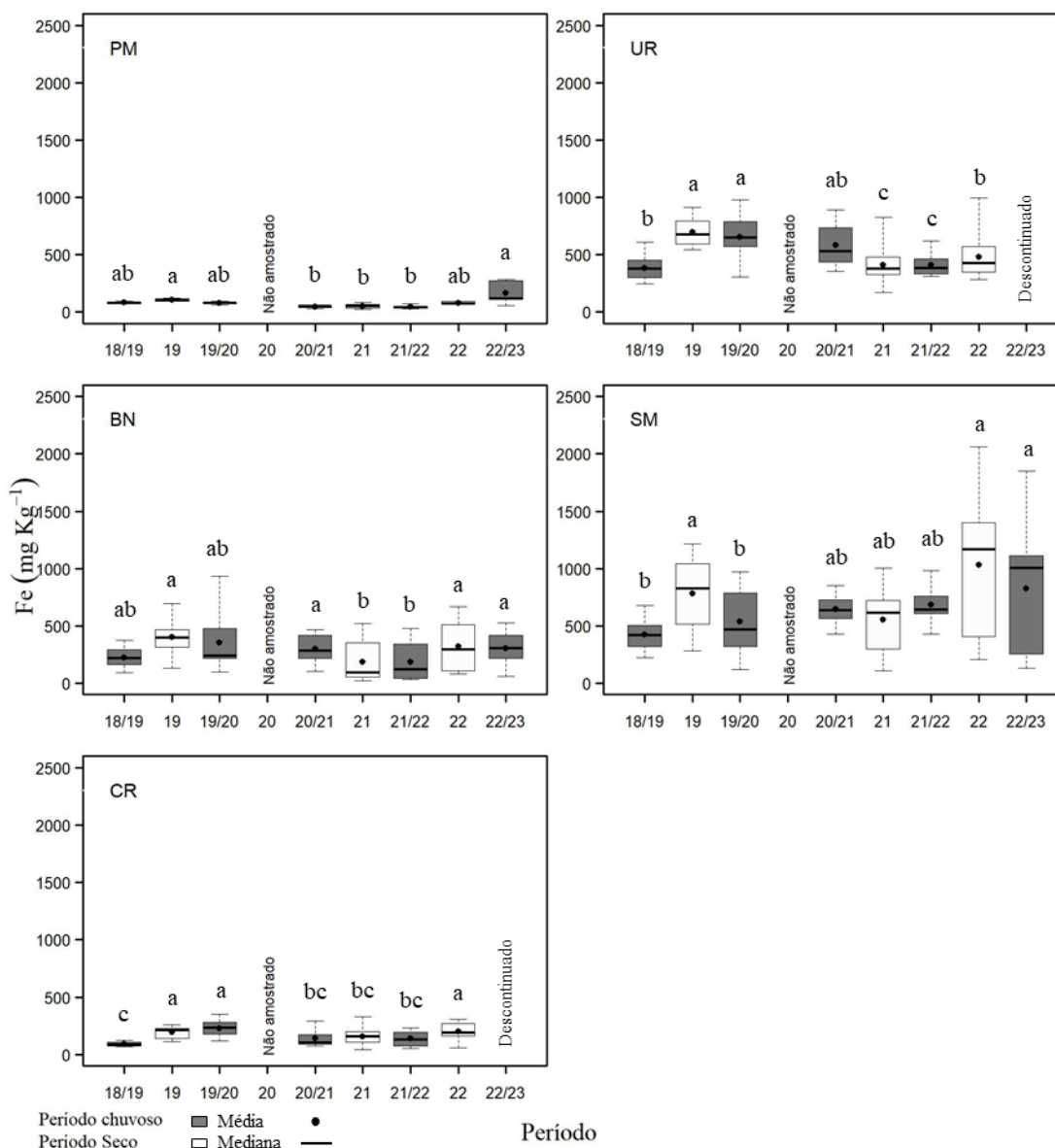


Figura 91: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração manganês foliar (Mn) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

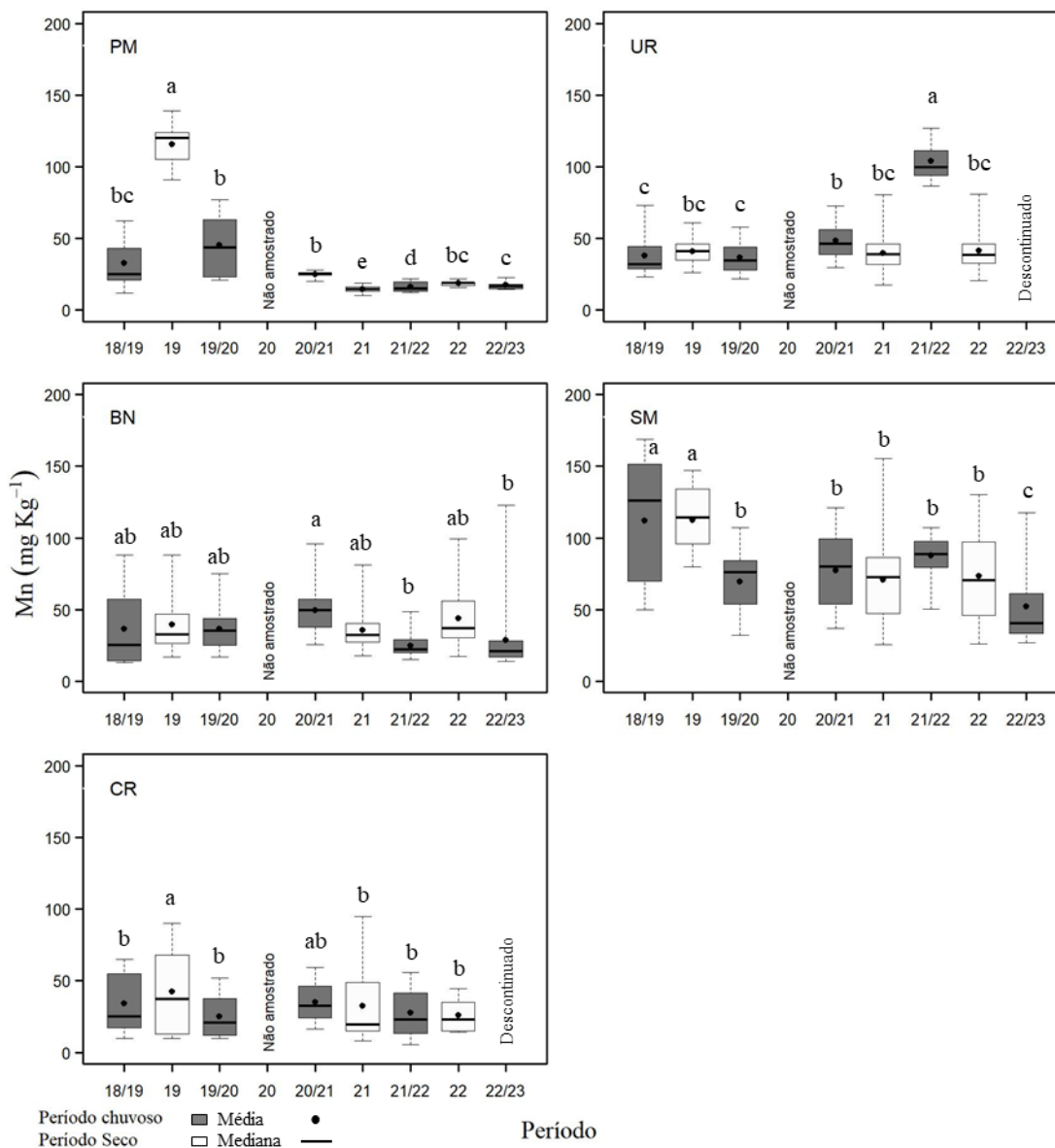


Figura 92: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração zinco foliar (Zn) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2028/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

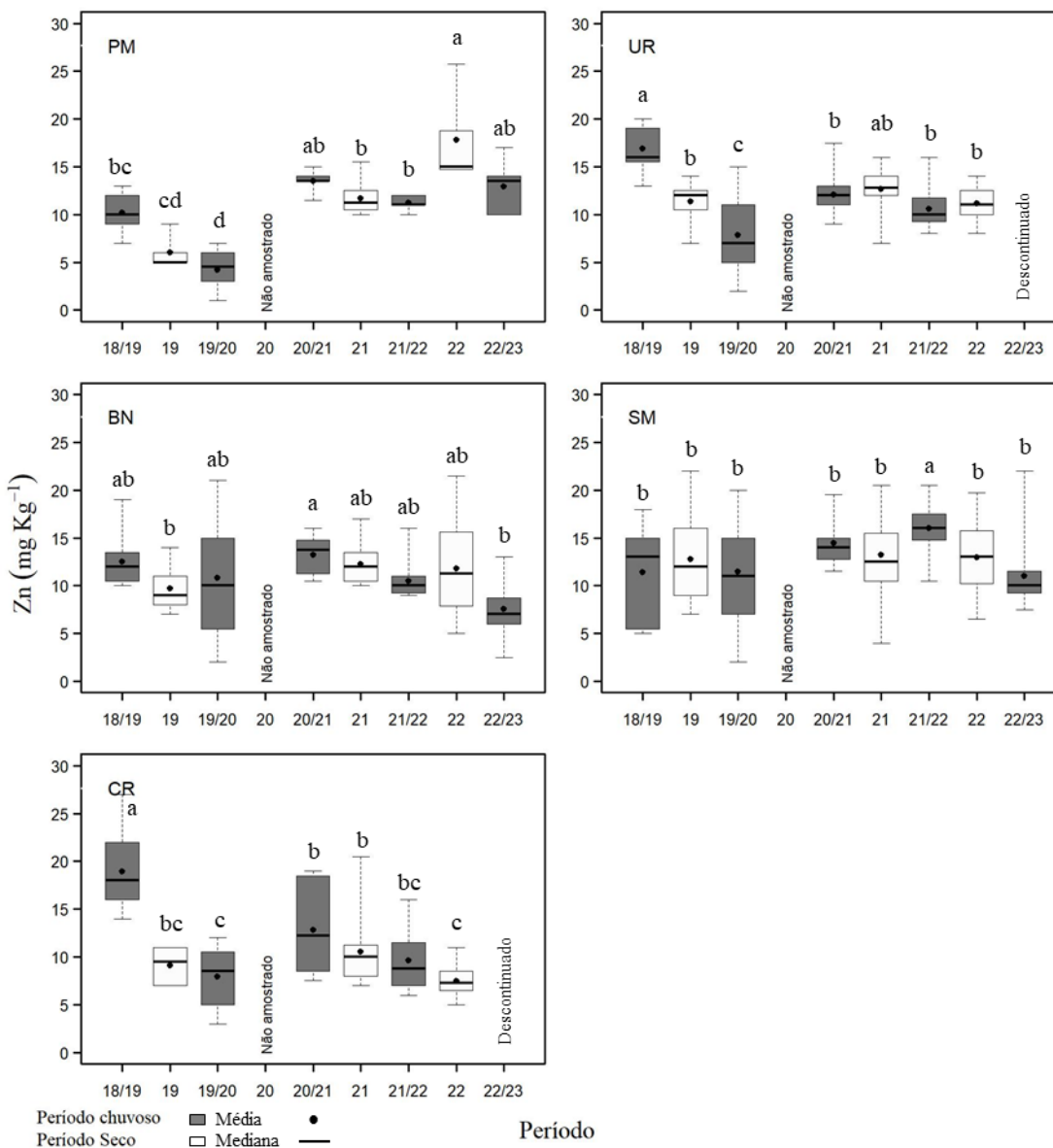


Figura 93: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração cobre foliar (Cu) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2028/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.

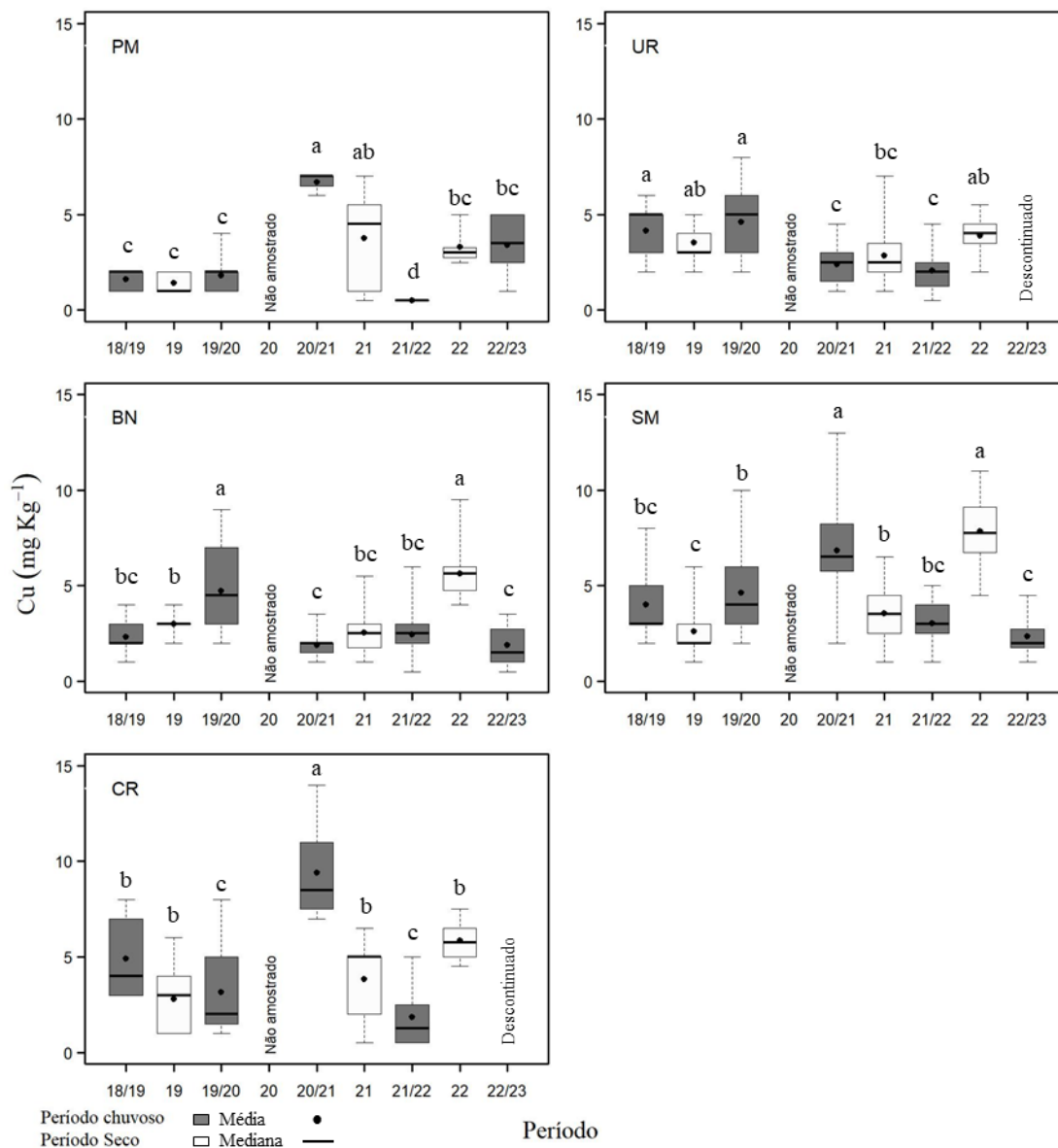
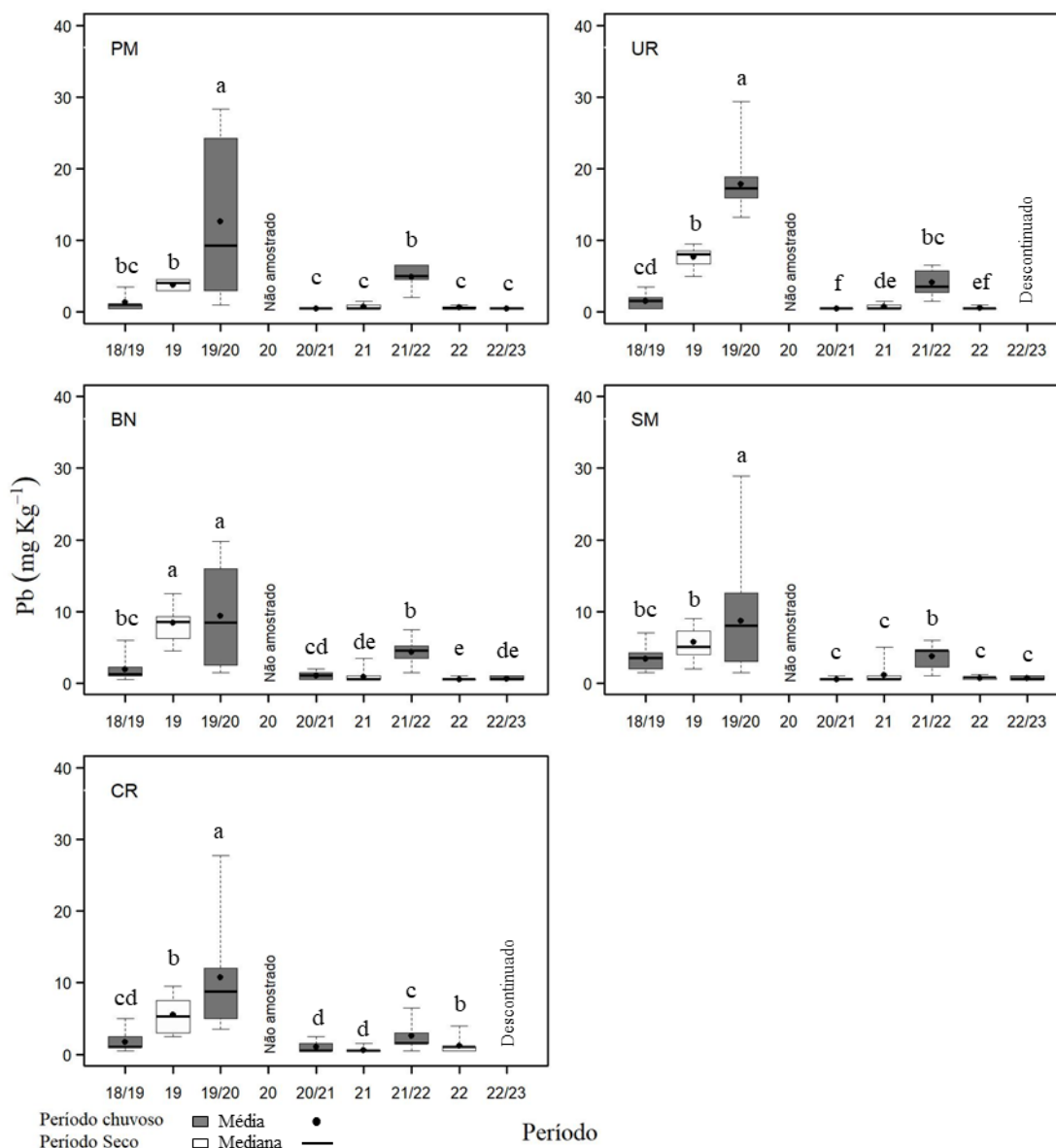


Figura 94: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração chumbo foliar (Pb) de *Laguncularia racemosa* analisada nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2028/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, nos estuários do Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR)*, Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado a partir do período Chuvoso_22_23.



Para *L. racemosa*, houve aumento na concentração de Fe foliar no período Chuvoso 22_23 no estuário do Piraquê-Mirim, muito embora os valores tenham sido estáveis ao longo do monitoramento (Figura 90). Em Barra Nova e São Mateus, observou-se o mesmo comportamento em relação à concentração de Fe nos períodos Seco_19, Chuvoso 20_21, Seco_22 e Chuvoso 22_23 (Barra Nova) e Seco_19, Seco_22 e Chuvoso 22_23 (São Mateus). Houve redução na concentração de Mn no período Chuvoso 22_23 nos estuários do Piraquê_Mirim, Barra Nova e São Mateus, sendo este último caracterizado

pelos menores acúmulos de Mn ao longo de todo o monitoramento (Figura 91). No Piraquê-Mirim, a concentração de Zn diminuiu no último período analisado (Chuvoso 22_23), mas destaca-se o período Seco_22, para o qual as maiores concentrações do metal foram registradas. No geral, em Barra Nova e São Mateus, observa-se uma tendência de manutenção da concentração de Zn ao longo do monitoramento, com exceção do período Chuvoso 20_21 para Barra Nova e Chuvoso 21_22 para São Mateus, para os quais maiores valores do metal foram registrados (Figura 92). Em relação à concentração de Cu registrada para o estuário do Piraquê-Mirim, nenhuma diferença foi observada entre os períodos Seco_22 e Chuvoso 22_23, embora este último apresente maiores valores de Cu quando comparado ao Chuvoso 21_22. Houve considerável redução do acúmulo de Cu foliar em Barra Nova e São Mateus no período Chuvoso 22_23 (Figura 93). 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 94). O monitoramento nos estuários de Urussuquara e Caravelas foi descontinuado.

Figura 95: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foliar de *Avicennia schaueriana* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso2018/2019), 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 de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas (CA)* e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso_22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

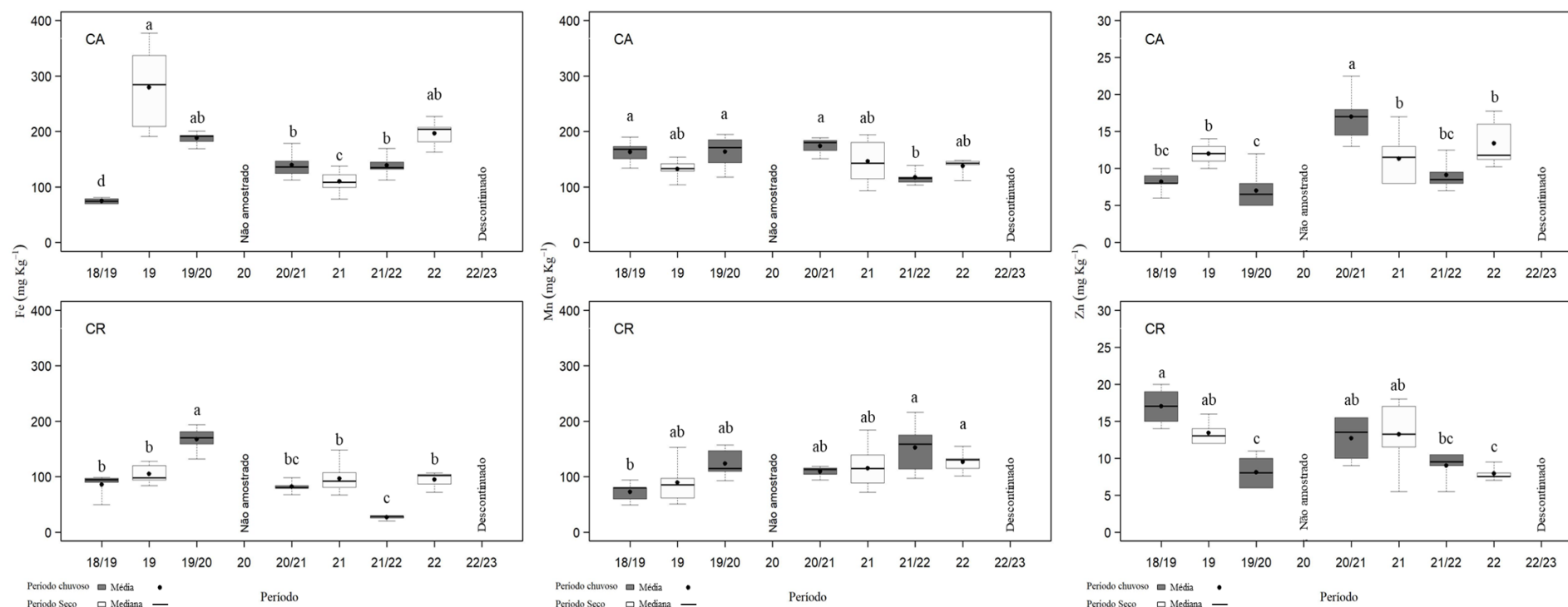


Figura 96: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração de cobre foliar (Cu) e chumbo foliar (Pb) de *Avicennia schaueriana* analisada nos períodos de: dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022) e abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4, nos estuários de Costa das Algas (CA)* e Caravelas (CR)*. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

*Monitoramento descontinuado nestes estuários a partir do período Chuvoso_22_23. Resultados analisados até o período Seco_22 foram discutidos no RA2022.

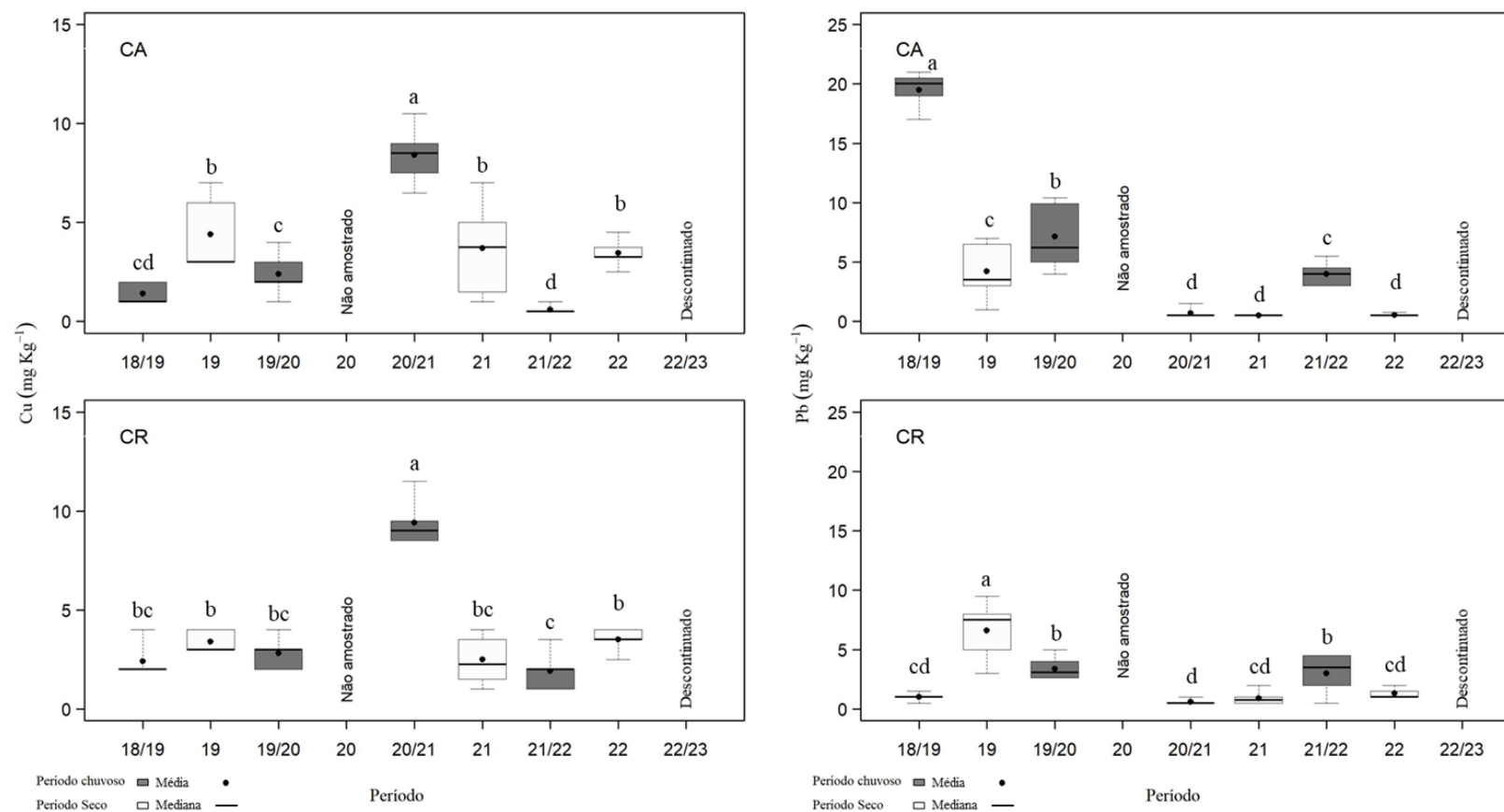


Figura 97: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração foliar de ferro (Fe) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

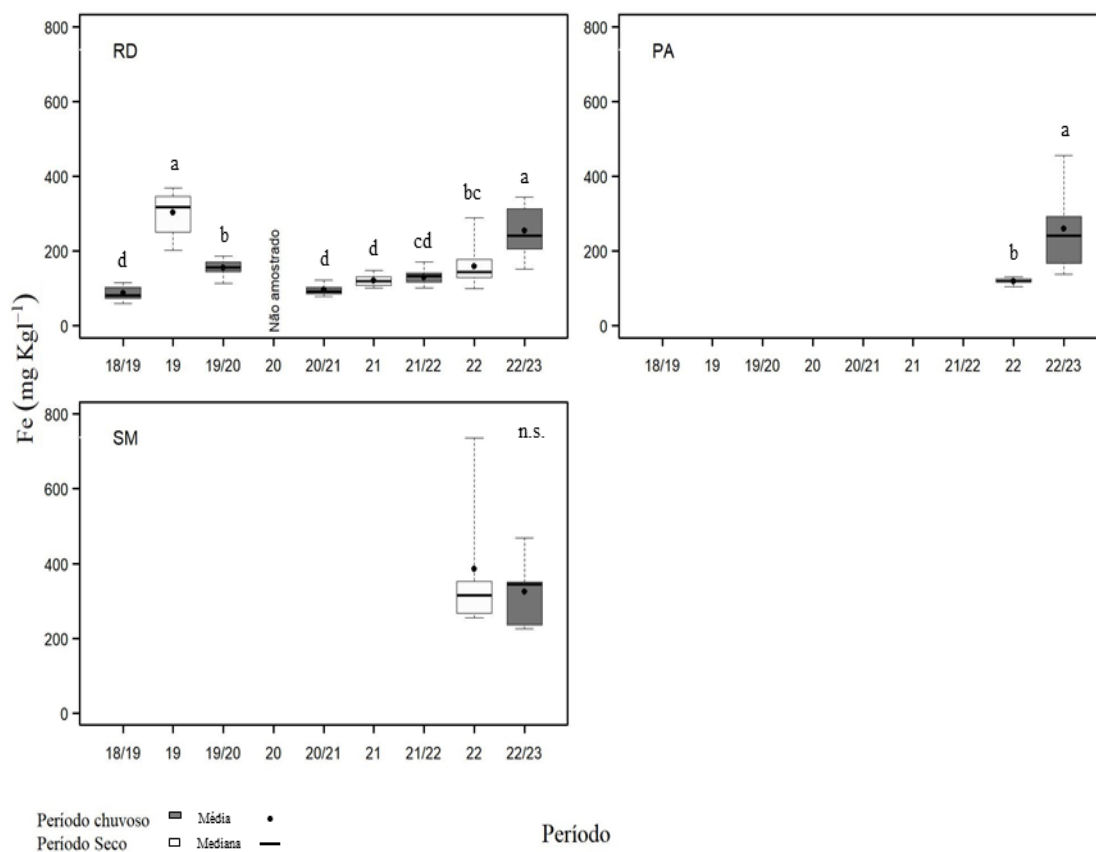


Figura 98: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração foliar manganês (Mn) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açu (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

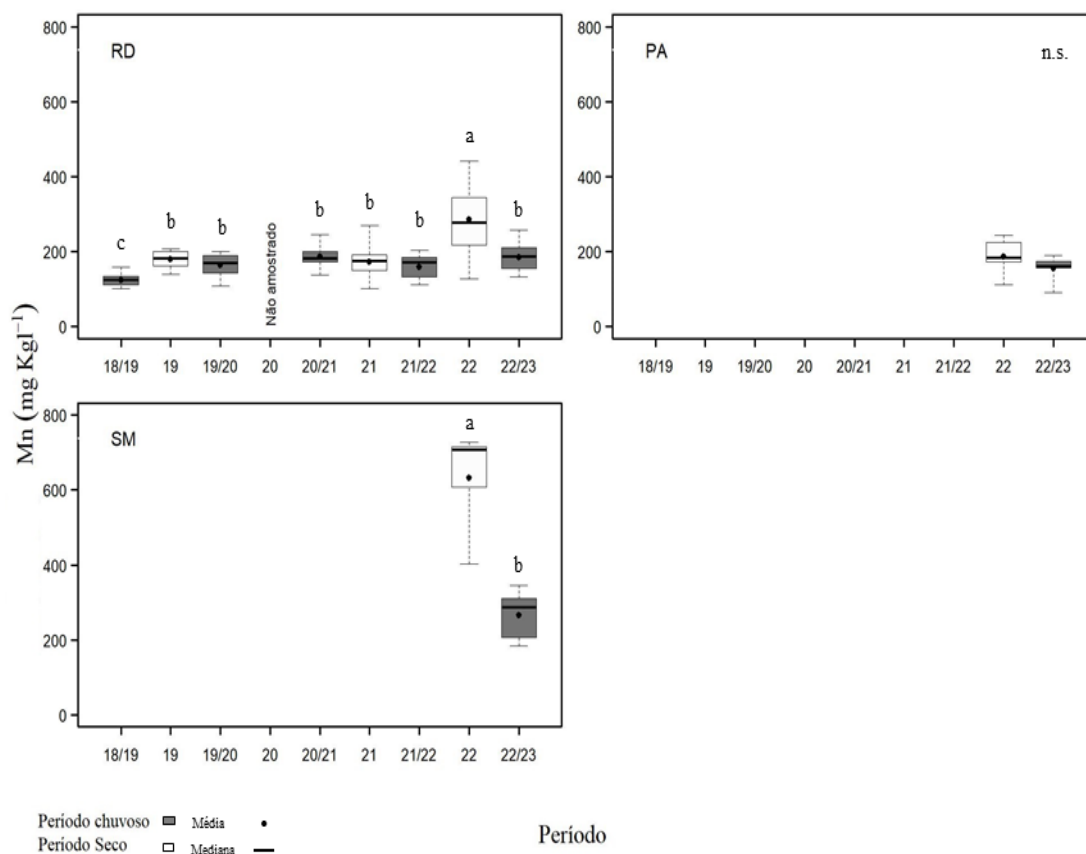


Figura 99: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração foliar de zinco (Zn) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

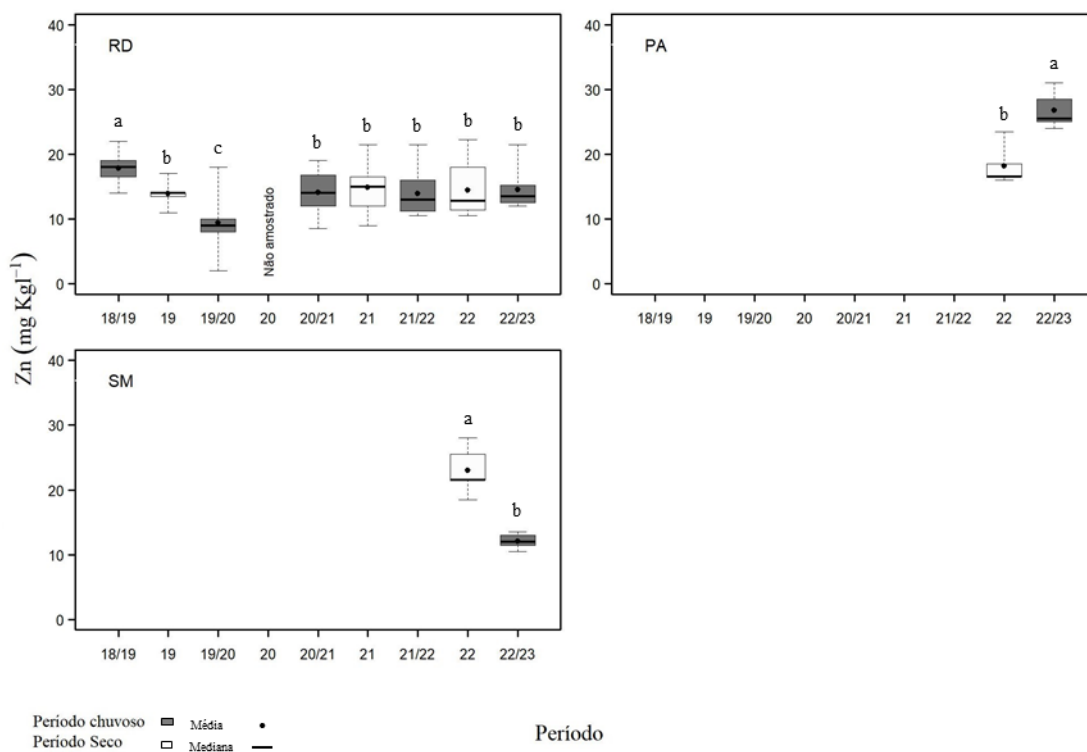


Figura 100: Indicador Ecológico Biorremediação - cobre (Cu) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).

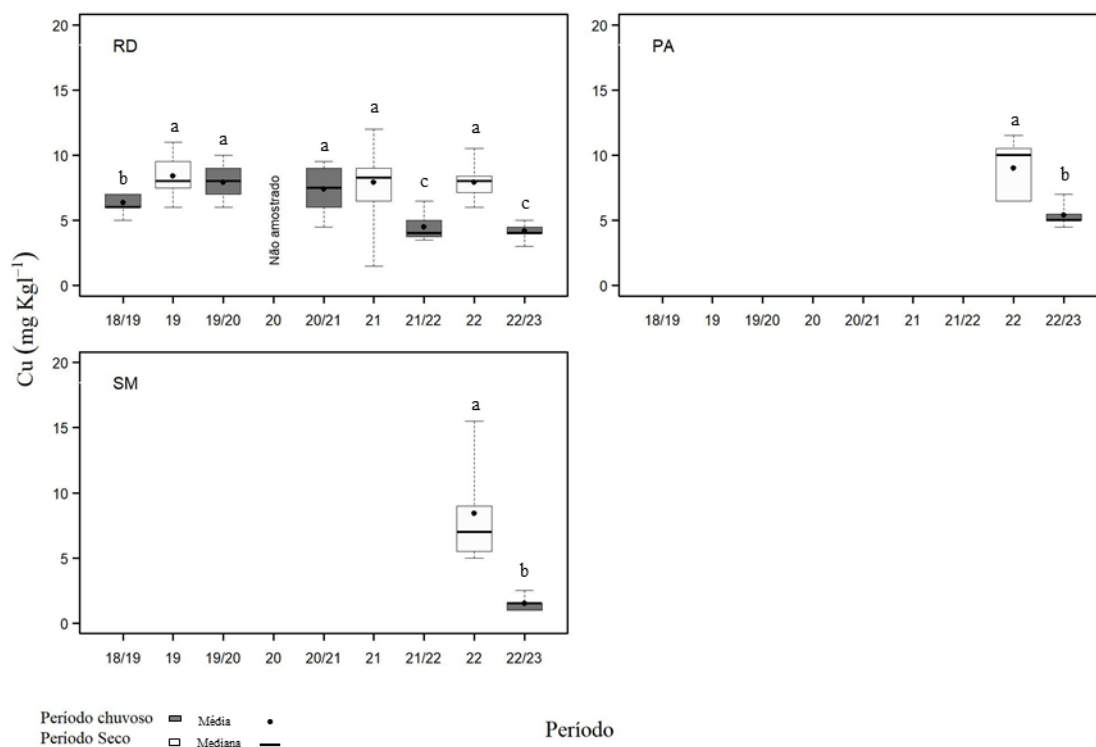
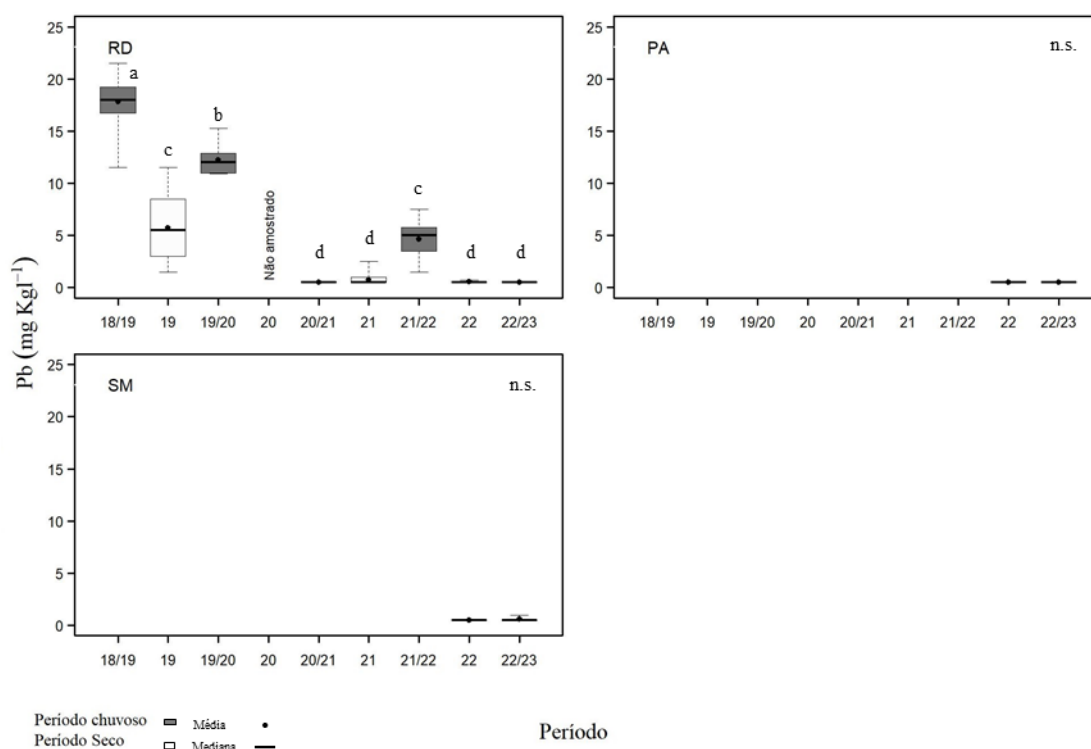


Figura 101: Indicador Ecológico Biorremediação - Concentração foliar de chumbo (Pb) de *Talipariti pernambucense* analisada nos períodos de dezembro de 2018 a março de 2019 (Chuvoso 2018/2019), abril a setembro de 2019 (Seco/2019) – Ano 1, outubro de 2019 a março de 2020 (Chuvoso 2019/2020) – Ano 2, janeiro a março de 2021 (Chuvoso 2020/2021), abril a setembro de 2021 (Seco 2021) – Ano 3, outubro de 2021 a março de 2022 (Chuvoso 2021/2022), abril de 2022 a setembro de 2022 (Seco/2022) - Ano 4 e outubro de 2022 a março de 2023 (Chuvoso 2022/2023) – Ano 5, no estuário do Rio Doce (RD), Piraquê-Açú (PA)* e São Mateus (SM)*.

*Estuários inseridos a partir do período Seco_22. Letras indicam diferenças entre os períodos ($p < 0,05$).



No Rio Doce, houve aumento na concentração de Fe em *T. pernambucense* no período Chuvoso 22_23, comparável a encontrada no período Seco_19. Quando a espécie foi analisada no estuário do Piraquê-Açú, a concentração de Fe diferiu significativamente entre os dois únicos períodos analisados, com maior valor para o período Chuvoso 22_23. No estuário de São Mateus, porém, não houve diferença significativa entre as análises (Figura 97). A concentração de Mn foliar reduziu no período Chuvoso 22_23, igualando-se aos demais períodos avaliados (Figura 98), com exceção do período Seco_22, caracterizado pelas maiores concentrações de Mn nos tecidos foliares. Não houve diferença significativa para a concentração de Mn em *T. pernambucense* avaliada no Piraquê-Açú, ao contrário de São Mateus, onde a espécie apresentou elevados valores do metal no período Seco_22. No Rio Doce, em relação ao Zn foliar, houve tendência de estabilidade nos valores do metal a partir do período Chuvoso 20_21 (Figura 99). A maior concentração de Zn neste estuário ocorreu no período Chuvoso 18_19. Nos estuários do Piraquê-Açú e São Mateus houve aumento e diminuição, respectivamente, na concentração de Zn em relação ao Seco_22, único período amostrado (Figura 99). Observa-se que, na maioria dos períodos amostrados no Rio Doce, houve elevada concentração de Cu foliar, à exceção dos períodos Chuvoso 18_19, Chuvoso 21_22 e Chuvoso 22_23. Para *T. pernambucense* analisada

nos estuários do Piraquê-Açú e São Mateus, houve redução nos valores de Cu no período Chuvoso 22_23, comparativamente ao Seco_22 (Figura 100). Para Pb foliar no Rio Doce, há tendência de redução 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-Açú e São Mateus (Figura 101).

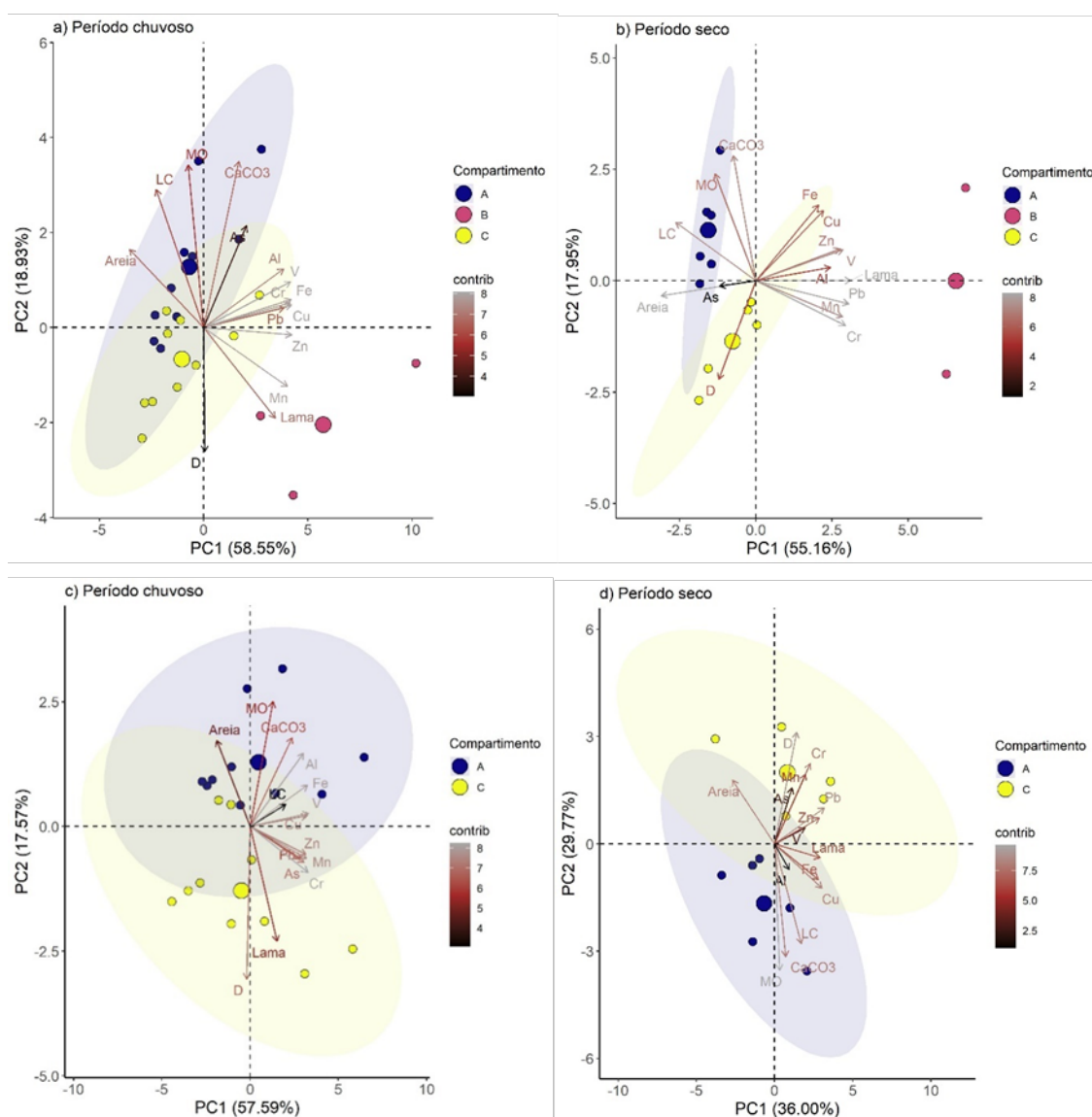
Tabela 1: Indicador Ecológico Biorremediação - Descrição das características morfológicas, comprimento, peso e diâmetro, dos propágulos de *Rhizophora mangle* (n= 422) coletados na foz do rio Itaúnas em janeiro de 2023. Valores de mínimo (Min), máximo (Max) e as análises estatísticas envolvendo a média (X), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV) e teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SW).

Parâmetros	Min	Max	X	S	CV (%)	SW
comprimento	18,2	42,0	28,01	4,85	17,32	< 0,05
peso	9,08	39,9	15,95	6,21	38,93	<0,05
diâmetro meio	6,69	14,79	9,00	1,67	18,60	<0,05

Os propágulos coletados estão sendo utilizados no cultivo ex situ de plântulas de *R. mangle* em diferentes concentrações de ferro e manganês. Os valores médios dos parâmetros coletados estão dentro do esperado para os propágulos maduros da espécie coletada no estuário do rio Itaúnas (BARCELOS, 2023) e similares ao observado por outros pesquisadores em diferentes florestas de mangue (RABINOWITZ, 1978; MCKEE, 1995; SMITH; SNEDAKER, 1995; SIMPSON et al., 2017).

2.4 DECAPODA

Figura 102: Indicador Ecológico Decapoda – Análise de componente principal (ACP) entre os parâmetros populacionais (Densidade (ind./m²) e Largura do cefalotórax (mm)) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), granulometria (teor de areia e lama %), matéria orgânica (MO %), carbonato de cálcio (CaCO₃ %) concentração (mg/kg) de Alumínio (Al), Arsênio (As), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Fe (Ferro), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) no sedimento no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a março/2023) considerando todos os períodos (a) chuvosos nos compartimentos A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), B (Rio Doce) e C (Barra Nova e São Mateus), isolando os efeitos das concentrações dos metais do rio Doce (c) chuvosos nos compartimentos A e C, (d) secos nos compartimento A (Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim), B (Rio Doce) e C (Barra Nova e São Mateus), (d) secos nos compartimentos A e C. A escala de cores (contrib) representa a contribuição de cada variável para a construção dos eixos da PCA.



A Análise de Componentes Principais (ACP) mostrou que as duas componentes explicaram 77.48% e 73.11% da variância total dos dados considerando os períodos chuvosos e secos nos três compartimentos (A, B e C), respectivamente. Não foi possível observar completa separação dos compartimentos A e C no chuvoso, mas foi evidente a separação do compartimento B e a sua relação com a concentração de lama e manganês. Destaca-se a forte relação entre os metais e os compartimentos B e parte em algumas parcelas do C mostrando a persistência da contaminação. 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, 2023–RT-43), ou por ocasião dos eventos de alta energia das ondas. O compartimento A associou-se às maiores concentrações de areia, CaCO_3 e ao tamanho médio da carapaça. Este resultado indica que as maiores classes de tamanho ocorrem nos estuários ao sul do Rio Doce, com maior influência marinha, descrevendo populações menos densas constatado pela relação inversa entre D e LC. Neste compartimento, as variáveis LC, CaCO_3 e lama contribuíram de forma significativa para a construção da componente 2 (eixo y positivo). Contudo, o eixo y negativo foi fortemente associado com a densidade de *U. cordatus* e descreve os compartimentos B e C como possuindo populações mais densas e menores valores de tamanho médio da carapaça. Por outro lado, houve separação dos compartimentos A, B e C no período seco. O compartimento A possui associação também com o arsênio, além do CaCO_3 , lama e LC. A dissociação do arsênio com o ferro nestas análises sugere outras fontes de Fe além daquela originalmente associada a Formação Barreiras. 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. Destaca-se os compartimentos B e C como mais impactados. Entretanto, apresentam as populações mais densas, mas com predomínio de indivíduos nas menores classes de tamanho comparativamente aquelas do compartimento A. A ACP sem considerar os resultados do compartimento B, ou seja, sem a influência do Rio Doce, descreveu a somas das componentes principais (PC1 e PC2) como responsáveis por 75.16% e 65.77% da variância total dos dados nos períodos chuvosos e secos, respectivamente. No período chuvoso houve sobreposição dos compartimentos A, B e C. A componente 2 está fortemente relacionada à densidade dos caranguejos e ao teor de lama. No período seco, os compartimentos A e C estão dissociados. Sendo o C, aquele associado as maiores concentrações de metais no sedimento, com presença marcante de chumbo, cromo e zinco. As variáveis D, LC, MO e CaCO_3 contribuíram substancialmente para a construção do eixo y. De forma geral, reforça-se como as populações mais densas estando associadas aos estuários localizados ao norte do Rio Doce e sujeitas às maiores concentrações de metais. Os metais Cu, Fe, Pb e Zn e o teor de lama colaboraram significativamente para a construção da componente 1. Estuários ao sul estão associados aos bosques com maior teor de matéria orgânica, CaCO_3 e areia e à menor densidade e com maior LC médio.

Tabela 2: 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 e secos no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a março/2023) em cada área monitorada. Legenda: 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 Mn.f	0.43	< 0.01
	LC x Zn.f	0.37	< 0.01
	LC x Al	0.50	< 0.01
	LC x Ba	0.61	< 0.01
	LC x Co	0.52	< 0.01
	LC x Cr	0.34	< 0.01
	LC x Cu	0.60	< 0.01
	LC x Fe	0.47	< 0.01
	LC x Pb	0.53	< 0.01
	LC x V	0.38	< 0.01
	LC x Zn	0.61	< 0.01
PM	LC x Mn.f	0.42	< 0.01
	D x Cd	-0.28	0.03
	LC x As	0.69	< 0.01
	LC x Al	0.66	< 0.01
	LC x Ba	0.59	< 0.01
	LC x Co	0.64	< 0.01
	LC x Cu	0.65	< 0.01
	LC x Cr	0.67	< 0.01
	LC x Fe	0.66	< 0.01
	LC x Mn	0.70	< 0.01
	LC x Pb	0.69	< 0.01
	LC x V	0.67	< 0.01

PM	LC x Zn	0.70	< 0.01
BN	LC x Cu.f	-0.52	< 0.01
	LC x Fe.f	-0.58	< 0.01
	LC x Mn.f	0.75	< 0.01
	LC x Zn.f	-0.63	< 0.01
	D x Al	-0.34	0.03
	D x As	-0.31	0.04
	D x Ba	-0.45	< 0.01
	D x Co	-0.48	< 0.01
	D x Cu	-0.39	0.02
	D x Fe	-0.37	0.02
	D x Mn	-0.57	< 0.01
	D x Pb	-0.44	< 0.01
	D x V	-0.34	0.03
	LC x Al	0.48	< 0.01
	LC x As	0.58	< 0.01
	LC x Ba	0.55	< 0.01
	LC x Co	0.50	< 0.01
	LC x Cr	0.51	< 0.01
	LC x Cu	0.58	< 0.01
	LC x Fe	0.54	< 0.01
	LC x Mn	0.37	0.02
	LC x Pb	0.61	< 0.01
	LC x Zn	0.59	< 0.01
	LC x V	0.56	< 0.01
SM	D x Al.f	0.26	< 0.01
	D x Fe.f	0.29	< 0.01
	LC x Cu.f	0.28	< 0.01
	LC x Fe.f	0.42	< 0.01

SM	LC x Zn.f	0.48	< 0.01
	D x Al	0.30	0.01
	D x Ba	0.27	0.01
	D x Cr	0.25	0.02
	LC x V	0.46	< 0.01
	D x Zn	0.22	0.04
	LC x Al	0.38	< 0.01
	LC x As	0.38	< 0.01
	LC x Ba	0.52	< 0.01
	LC x Co	0.53	< 0.01
	LC x Cr	0.45	< 0.01
	LC x Cu	0.41	< 0.01
	LC x Fe	0.40	< 0.01
	LC x Mn	0.41	< 0.01
	LC x Pb	0.55	< 0.01
	LC x Zn	0.44	< 0.01

Os parâmetros populacionais de *U. cordatus*, independente do período chuvoso ou seco, apresentaram relações positivas e negativas com a concentração de metais no sedimento e nas folhas dos bosques dos manguezais. Os resultados reforçam o diagnóstico anterior onde ressalta-se a preocupação dos indivíduos maiores ocuparem bosques onde há maior concentração de metais nos compartimentos. Estes adultos compõem a população em idade reprodutiva e representam a maior capacidade em fecundidade. Portanto, sua presença nas áreas mais impactadas pelos metais pode comprometer o estoque populacional em curto prazo (menos de uma década). As interpretações destas correlações atuais reforçam aspectos já discutidos em relatórios anteriores, de impactos na população por contaminação do ambiente marinho e dos manguezais. Houve tendência de declínio no número de indivíduos por m² em bosques que apresentaram maior concentração de metais no sedimento em Barra Nova. Diferente do observado neste estuário, populações mais densas foram observadas em bosques com maior concentração de Al, Ba, Cr e Zn no sedimento em São Mateus. Em geral, as populações mais densas são formadas por indivíduos predominando nas menores classes de tamanho. O estágio juvenil é aquele com maior número de trocas de carapaça, induzindo fisiologicamente ao maior acúmulo de metais em seus tecidos. Estes tensores podem ser um dreno de energia da população, causando impacto econômico e social, em longo prazo. Populações menores em tamanho e densidade por sua

vez vão refletir no potencial de extração futuro (FEP), definido por Mota et al. (2023) como sendo a porcentagem de indivíduos com $LC < 60$ mm na população. Em sinergia a estes tensores descritos nas populações de *U. cordatus* ressalta-se o funcionamento ecológico dos manguezais como induzindo respostas distintas para cada população, uma vez que há diferenças entre as forçantes geomorfológicas e oceanográficas para os três compartimentos (TOGNETTA et al., 2022). A variabilidade e aumento na concentração de metais foliares e sedimentares tornam-se disponíveis para os indivíduos por tempo indeterminado. Relações significativas também foram verificadas entre parâmetros ecológicos da meiofauna e macrofauna de praias.

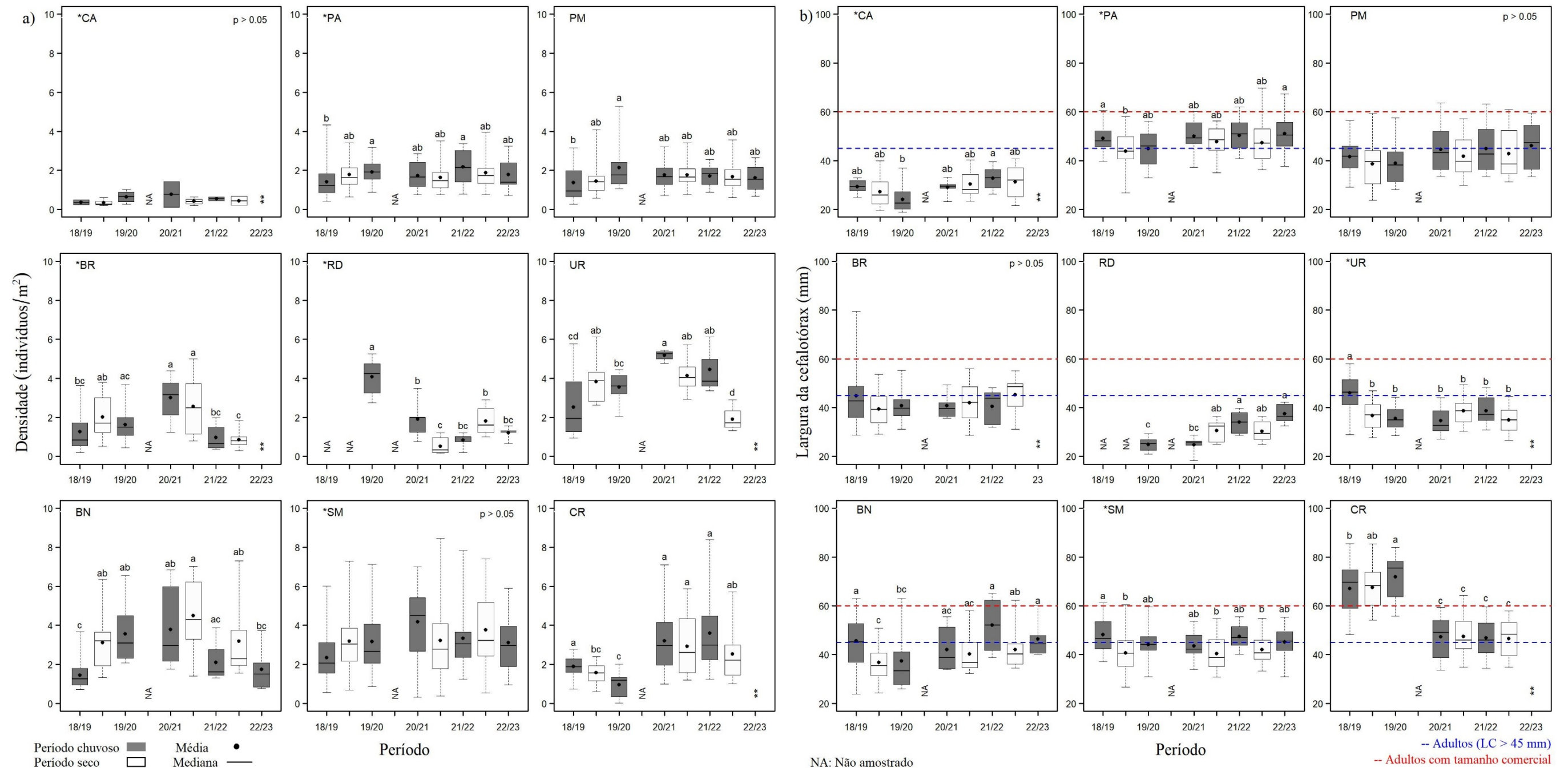
Tabela 3: Indicador Ecológico Decapoda – Resultado da correlação e *p*-valor entre os parâmetros populacionais densidade (D) e largura do cefalotórax (LC) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), e concentração (mg/kg) de metais no sedimento (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e nas folhas (Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) considerando todos os períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2023) e secos (2019, 2021 e 2022) e agrupando todas as áreas monitoradas no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a março/2023).

Período	Variáveis	r	p
Chuvoso	D x Cu.f	0.27	< 0.01
	D x Fe.f	0.31	< 0.01
	LCx Al.f	0.21	< 0.01
	LC x Mn.f	0.27	< 0.01
	D x Cu	-0.18	0.02
	LC x Al	0.52	< 0.01
	LC x As	0.40	< 0.01
	LC x Ba	0.51	< 0.01
	LC x Co	0.47	< 0.01
	LC x Cr	0.52	< 0.01
	LC x Cu	0.47	< 0.01
	LC x Fe	0.51	< 0.01
	LC x Mn	0.40	< 0.01
	LC x Pb	0.57	< 0.01
	LC x Zn	0.54	< 0.01
	LC x V	0.49	< 0.01
Seco	D x Fe.f	0.24	< 0.01
	LC x Mn.f	0.18	0.04
	D x As	0.19	0.04
	D x Ba	0.19	0.03
	D x Co	0.21	0.02
	D x Cr	0.19	0.04
	D x Pb	0.19	0.03
	LC x Al	0.56	< 0.01

Período	Variáveis	r	p
Seco	LC x As	0.33	< 0.01
	LC x Ba	0.49	< 0.01
	LC x Co	0.42	< 0.01
	LC x Cr	0.44	< 0.01
	LC x Cu	0.61	< 0.01
	LC x Fe	0.55	< 0.01
	LC x Mn	0.38	< 0.01
	LC x Pb	0.47	< 0.01
	LC x V	0.48	< 0.01
	LC x Zn	0.55	< 0.01

Ao avaliar o efeito da sazonalidade sobre a contaminação dos bosques independente dos estuários monitorado foram observadas relações significativas entre os parâmetros populacionais de *U. cordatus* e a concentração de metais no sedimento e nas folhas. Os resultados foram avaliados para todos os estuários diferenciando-os em período chuvoso e seco. As populações mais densas foram registradas nos bosques com maiores concentrações de ferro foliar em ambos os períodos (chuvoso e seco), 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 no sedimento e tamanho médio da carapaça foram observadas nos períodos secos e chuvosos reforçando as análises por estuários onde se observa que as populações adultas ocupam bosques com sedimento com maiores concentrações de metais. O diagnóstico para esses resultados é similar ao apresentado nos produtos anteriores do PMBA indicando a constância do impacto refletindo no Potencial de Extração Imediato (IEP) e Potencial de Extração Futuro (FEP) e, conseqüentemente, nas comunidades que utilizam o caranguejo-uçá como fonte de renda que movimentam a economia local.

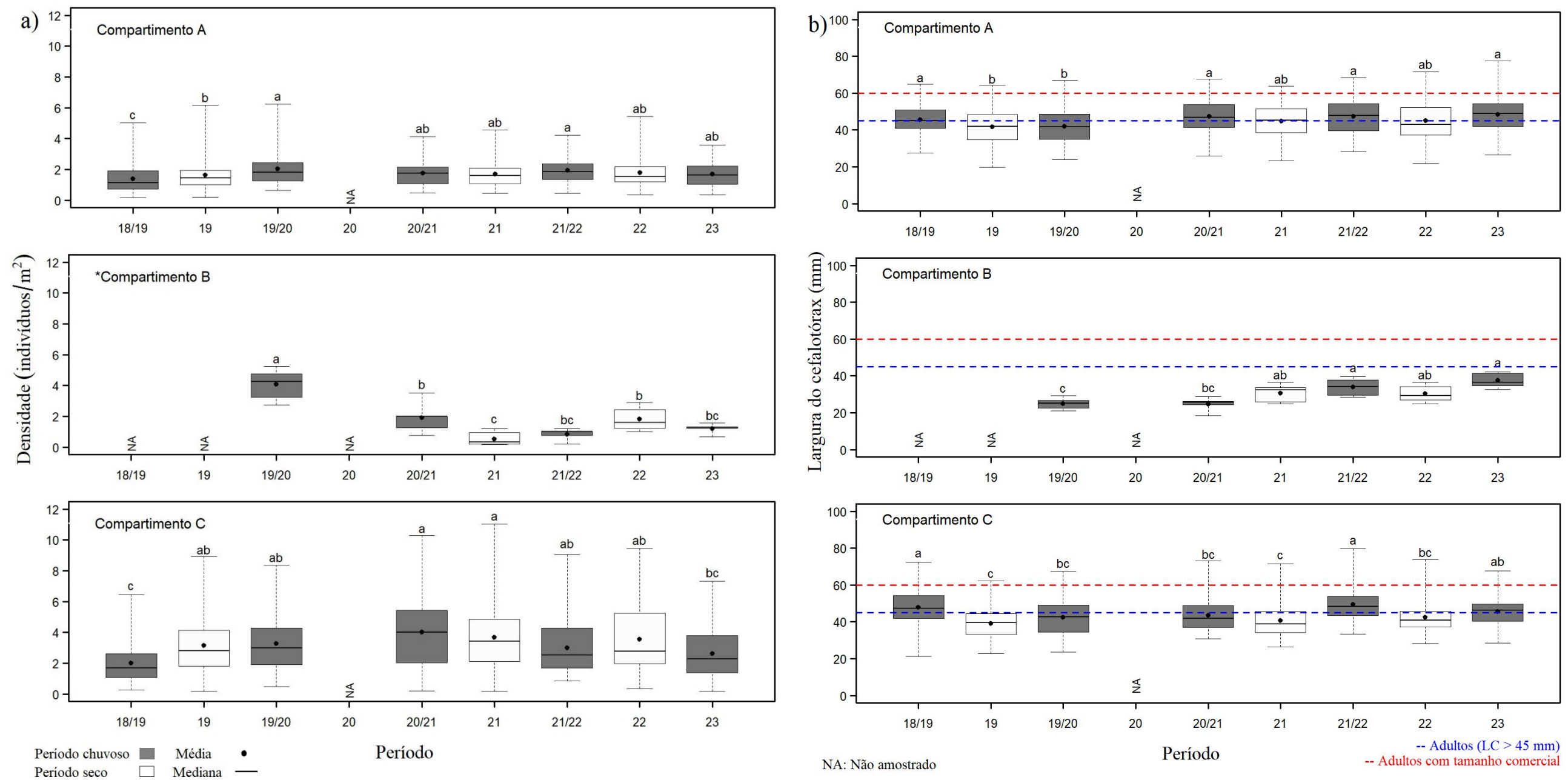
Figura 103: Indicador Ecológico Decapoda – (a) Densidade (indivíduos/m²) e (b) largura do cefalotórax (mm) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), por estuários em função dos períodos chuvosos (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a março/2023). Legenda: 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.



As populações de *U. cordatus* descrevem variações sazonais nos seus parâmetros populacionais, i.e., densidade e largura média do cefalotórax. Isto ocorreu para quase todos os estuários, exceto para São Mateus (SM) e Piraquê-Mirim onde não houve diferença significativa em relação a densidade e tamanho médio, respectivamente. O número médio de indivíduos por m² nos estuários do PA e PM foi inferior ou próximo a 2 indivíduos/m² ao considerar todo o período de monitoramento, apesar da variabilidade sazonal observada. Na população em Barra Nova, aumento na densidade foi verificado a partir do período seco 2019 (3.2 indivíduos/m²) com declínio acentuado no chuvoso 2023, com média inferior a 2 (1.7 indivíduo/m²). Em São Mateus, a densidade não variou de forma significativa, no geral com médias entre 3 a 4 indivíduo/m², e no período chuvoso 2020/2021, a população registrou o maior valor (4.2 indivíduos/m²). Com base nos resultados obtidos até o momento, o tamanho médio da população esteve abaixo do limite considerado adultos. Isto ocorreu naqueles períodos mais secos, indicando populações com predomínio significativo de jovens. Entretanto, este fato não foi observado no Piraquê-Açu onde estima-se que a população é constituída por indivíduos adultos. A densidade média estimada para a população do Rio Doce declinou significativamente passando de 4.1 indivíduos/m² no período chuvoso 2019/2020 para 1.8 indivíduos/m² no chuvoso 2023. Observações pessoais da área monitorada permitem inferir que esse declínio também é reflexo da ampliação do habitat da espécie, sobrepondo-se ao de *C. guanhumi*. Este comportamento não foi registrado nas primeiras amostragens e, nesta análise é aventada a disputa por território e alimento, isto é, condições e recursos. Por outro lado, este declínio no número de indivíduo por área foi acompanhado pelo aumento no tamanho médio da carapaça. Este passou de 24.9 mm, no período chuvoso 2019/2020, para 37.4 mm no chuvoso 2023. Houve correlação significativa e negativa (r_s : -0.39; $p < 0.01$) entre os dois parâmetros – densidade e tamanho. Consequentemente, houve recrutamento de indivíduos para as classes de maior tamanho, alcançando está população o estágio adulto a partir do período chuvoso 2021/2022. /A baixa frequência de indivíduos nas classes de menor tamanho pode ser explicada pelo retorno aos padrões morfodinâmicos da foz, influenciando a entrada de juvenis na área monitorada. O rio Doce passa a ser novamente área inviável para recrutamento de novos indivíduos (larvas e juvenis), sugerindo que está ocorrendo somente o recrutamento para as classes de maior tamanho/madura da população. Outro aspecto é o retorno as condições pretéritas de baixa salinidade na região da foz. Este parâmetro vem declinando ao longo do período, resultando em água quase doce nos pontos amostrais. Este é um fator que afeta o desenvolvimento larval, uma vez que a salinidade é considerada aspecto chave para a sobrevivência de várias espécies de crustáceos (SIMITH e DIELE, 2008). Os mesmos autores ao analisarem a taxa de sobrevivência larval de *U. cordatus* em diferentes salinidades constataram que no intervalo entre 0 e 10 houve total mortalidade. Enquanto salinidade entre 15 e 30 aumenta entre 16% e 72% a sobrevivência das larvas. A partir do período chuvoso 19/20, os dados de salinidade do RD foram inferiores a 5. Os diferentes padrões temporais e espaciais observados no âmbito do PMBA/Fest são reflexos das particularidades das populações (por exemplo, maturidade sexual, fisiologia da espécie, período de desenvolvimento entre jovens e adultos, nutrição), da estrutura da floresta, e como elas respondem às variações dos fatores físicos e químicos do ambiente, bem como a resposta da

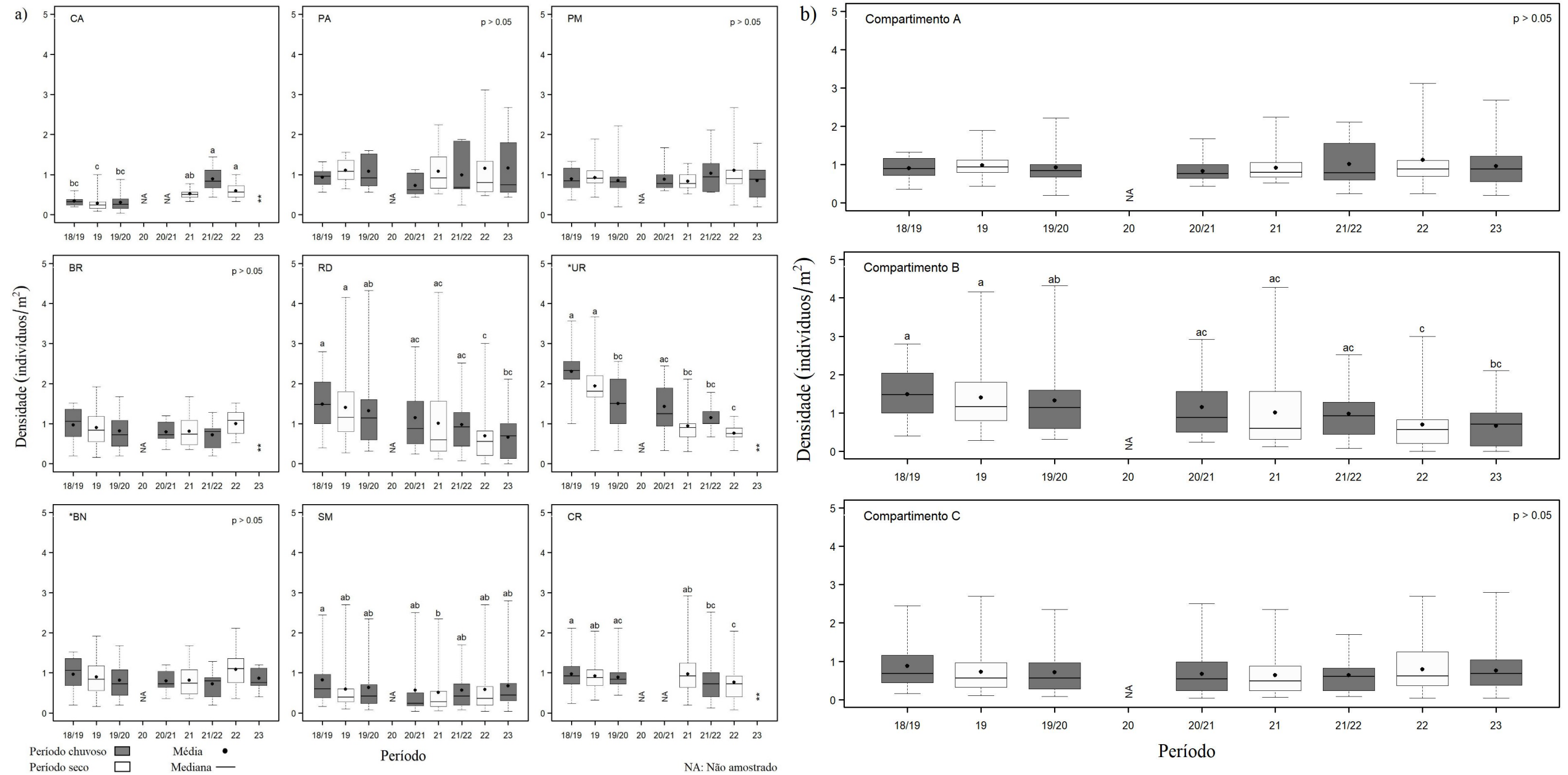
relação direta/indireta com os metais disponíveis nas folhas e sedimento, e da própria pressão de captura sobre a população.

Figura 104: 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 (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2-23) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a março/2023). 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.



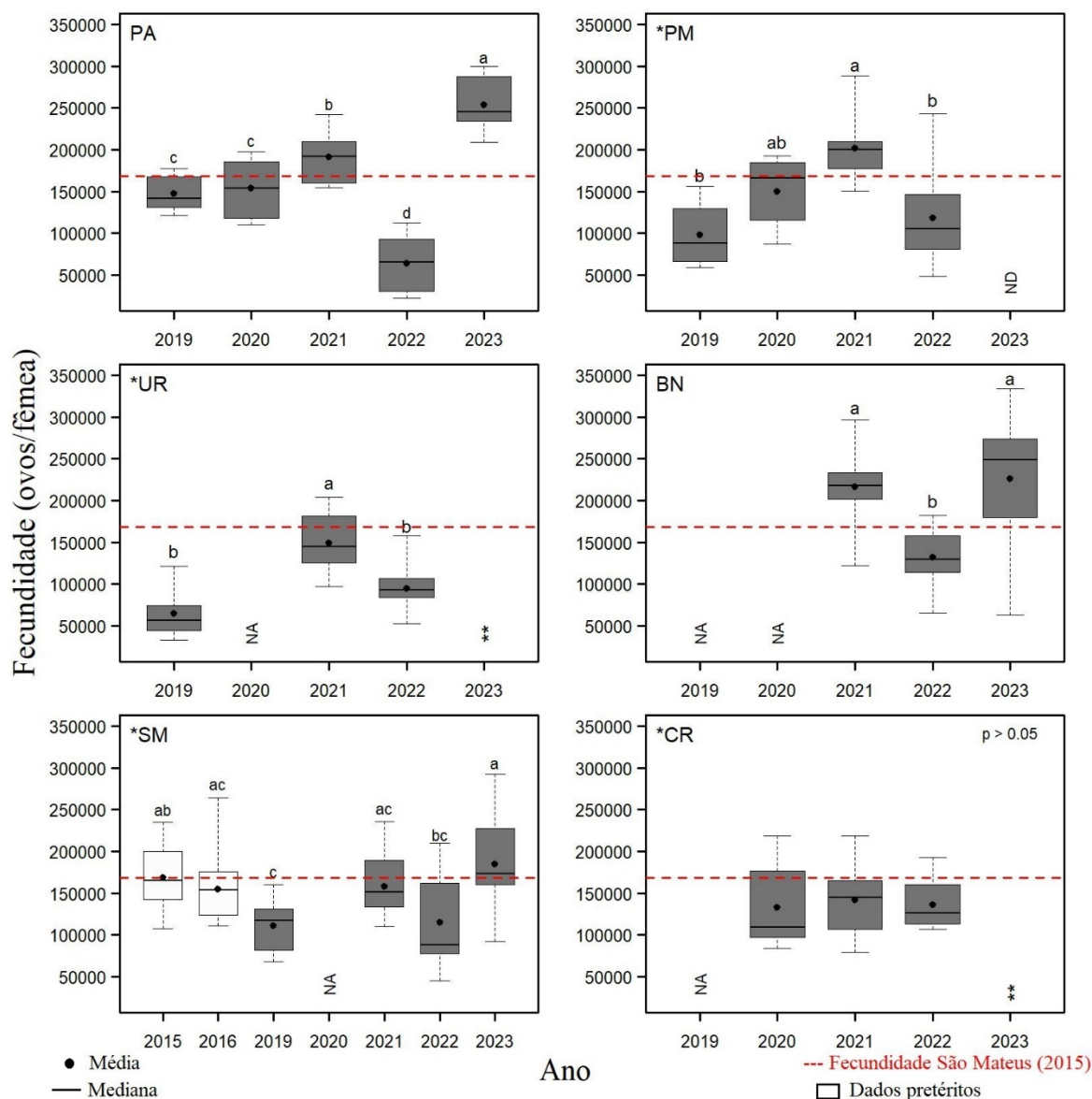
Aumento significativo foi observado na densidade média estimada da população de *U. cordatus* no compartimento A. O menor valor médio (1.4 indivíduo/m²) registrado ocorreu no início do monitoramento (período chuvoso 2018/2019), já o período chuvoso 2019/2020 foi aquele que apresentou o maior valor de densidade populacional (2 indivíduos/m²). Apesar do aumento significativo, a densidade permaneceu inferior a 2 indivíduo/m². O tamanho médio da carapaça neste compartimento variou entre 41.5 mm (período seco 2019) e 48.5 mm (período chuvoso 2023), sendo este o maior LC médio registrado. O declínio na densidade no compartimento B (Rio Doce) foi acompanhando pelo aumento no tamanho médio, aspecto esperado com a maturidade da população. Entretanto, esta população apresenta densidade média inferior àquela esperada para as classes adultas como discutido anteriormente. No geral, os períodos secos apresentaram as menores densidades médias, fato também esperado uma vez que o período seco corresponde a época predominante de ecdise da espécie e seu entocamento. Esta situação pode tornar as populações mais susceptíveis à contaminação. Na ecdise ocorre a maior absorção de sais para o crescimento corporal e proporciona maior contato com os metais depositados no sedimento e biodisponíveis. Todos os estuários e compartimentos apresentaram frequência relativa de indivíduos baixa nas classes de LC superiores a 60 mm (tamanho comercial). Diferenças significativas sazonais foram observadas no número de indivíduos por m² no compartimento C, com a menor densidade (2.1 indivíduos/m²) no primeiro período chuvoso (2018/2019) e a maior (4.0 indivíduos/m²) ocorreu no chuvoso 2020/2021, período de isolamento devido a pandemia da Covid-19. A densidade no período chuvoso 2023 voltou a ser inferior a 3 indivíduos/m², indicando a influência do extrativismo sobre a população de adultos. Apesar da variabilidade também observada no tamanho, a média no primeiro período do monitoramento (47.9 mm) foi similar à do último período avaliado, isto é, chuvoso de 2013 (LC médio = 45.5 mm). Os períodos secos também apresentaram os menores valores para o LC, a população jovem troca de carapaça em diversos períodos ao longo do ano, diluindo o efeito do entocamento nas menores 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. As populações deste crustáceo podem responder de forma distinta a influência dos rejeitos de minério em cada compartimento por causa de tensores naturais (salinidade, amplitude de maré, entre outros) juntamente com a pressão de captura. A avaliação do monitoramento de forma comparativa entre os compartimentos indica que as populações do compartimento C são mais vulneráveis as concentrações de metais foliares e sedimentares. Estas populações são formadas por indivíduos majoritariamente jovens e a sua exposição aos metais, tanto de forma aguda quanto crônica, causam efeitos adversos na biota (PINHEIRO et al., 2012; DUARTE et al., 2020; JESUS, et al., 2021; PINHEIRO et al., 2022; RAMOS e LEITE, 2022) e induzem a biomagnificação dos contaminantes.

Figura 105: 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 (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest (setembro/2018 a março/2022). Legenda: 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.



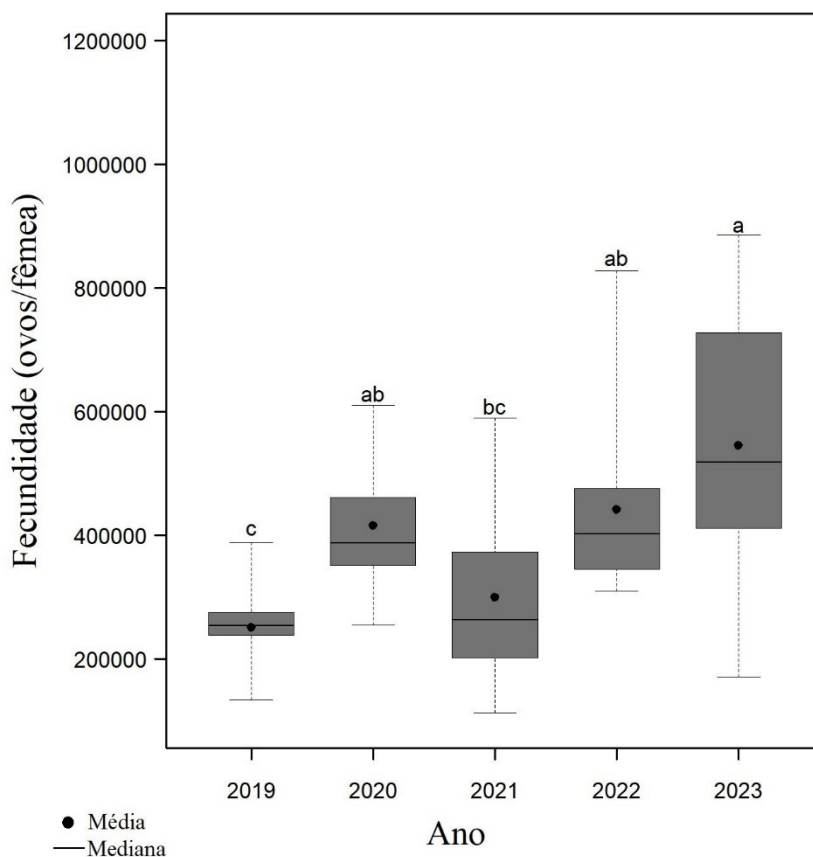
A densidade de *C. guanhumi* foi próxima ou inferior a 1 indivíduo/m² ao longo do PMBA/Fest. Esta baixa densidade está associada com a limitação na disponibilidade de habitat na planície costeira do litoral norte do Espírito Santo. Este aspecto populacional é reconhecido em longa data, tendo a esta espécie sido incluída na Lista Oficial Nacional de Espécies Ameaçadas e classificada como espécie criticamente em perigo de extinção (MMA, 2014). Esta condição foi reforçada pela Portaria Interministerial nº 38 de 26 de julho de 2018 (BRASIL, 2018). Já sendo uma espécie crítica, suas populações tornam-se mais vulneráveis aos impactos ocasionados pela presença elevada de metais ou concentrações mínimas dos metais tóxicos, como o chumbo no seu habitat. Como já reportado anteriormente para *U. cordatus*, o guaiaum também é influenciado, direta e/ou indiretamente, nos aspectos fisiológicos e reprodutivos como registrado para esta espécie na literatura (CORRÊA JR. et al., 2005; GIBSON et al., 2006; DUARTE et al., 2008; PINHEIRO et al., 2010; ALMEIDA et al., 2016; DUARTE et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2017; COSTA et al. 2018; DUARTE et al., 2020). Ao longo do monitoramento, a densidade populacional estimada descreve tendência de declínio. A densidade média foi inferior a 1 indivíduo/m² a partir do período chuvoso 2021/2022 na foz do Rio Doce, localidade tida como a área de maior densidade populacional da espécie no estado em relatos pretéritos. As parcelas do rio Doce estão localizadas na área com maior influência da pluma de rejeitos de minério tanto no evento inicial quanto em função dos períodos sazonais de vazão fluvial. Portanto, com inundação dos habitats da espécie há contaminação persistente. Os indivíduos analisados toxicologicamente neste compartimento apresentaram elevadas concentrações de Mn, Cd, Cu e Fe em seus tecidos (RRDM, 2022, RT-43, Tema Ecotoxicologia). Entretanto, a contaminação desta espécie não está restrita à foz do rio Doce. Os resultados apresentados pela ecotoxicologia registra o maior número de elementos analisados nos tecidos dos caranguejos estiveram relacionados aos indivíduos coletados nas estações amostrais localizadas no Rio Doce ou ao sul de sua foz. Neste contexto, a estreita relação entre indivíduos, sedimento e folhas (PINHEIRO et al., 2012) com elevadas concentrações de metais pode refletir diretamente na estrutura e dinâmica (ingresso e mortalidade) da população. E a resposta da população frente a disponibilidade de metais no ambiente pode variar em função do grau de interação entre metais e atividades metabólicas, frequência e período de exposição dos indivíduos. Em adição, são observados indícios de captura dos indivíduos adultos, de forma ilegal, e esta situação podem também influenciar no declínio da densidade populacional em longo prazo.

Figura 106: Indicador Ecológico Decapoda – Fecundidade média (ovos/fêmea) de caranguejo uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), nos estuários do rio Piraquê-Açu (PA), Piraquê-Mirim (PM), Urussuquara (UR), Barra Nova (BN), São Mateus (SM) e Caravelas (CR) entre os anos 2019 e 2023 no âmbito do PMBA/Fest e dados pretéritos para o estuário do rio São Mateus entre 2015 e 2016 (Porto, 2021). NA: não amostrado. ND: Resultados não determinados por falhas/erros durante as fases de processamento e/ou análise. 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.



Para as áreas ao sul do Rio Doce (Compartimento A), *U. cordatus* no rio Piraquê-Açu apresentou fecundidade média de 147.173 ovos (com desvio médio de ± 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 o rio Piraquê-Mirim variou de 97.736 (± 21.444), 149.279 (± 20.469), 201.760 (± 12.705) e 117.858 (± 18.428) ovos/fêmea para os anos de 2019 a 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 exibiu valores médio de 110.868 (± 10.179), 157.620 (± 12.583), 115.013 (± 17.797) e 184.264 (± 20.817) ovos/fêmea, respectivamente, para 2019, 2021, 2022 e 2023. Este estuário é o único que apresenta dados pretéritos, com registros de 2015 com fecundidade de 168.645 (± 10.837 ovos/fêmea) e em 2016 (154.656 ± 6.792 ovos/fêmea). Foi inserida a média de fecundidade em período pré-rompimento (2015) como indicativo de referência para demais estuários, sinalizada nos gráficos 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 nos tecido-alvo dos caranguejos (brânquias, hepatopâncreas e músculos) entre setembro de 2018 e março de 2023. 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 tecido-alvo de *U. cordatus* (RRDM, 2019, RT17, Anexo 1 Ecotoxicologia; RRDM, 2019, RT21, Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2020, RT36C, Anexo 1 Ecotoxicologia e Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2021, RT39C, Anexo 1 Ecotoxicologia e Anexo 5 Manguezal; RRDM, 2023, RT43C, Ambiente Costeiro). Os resultados evidenciaram variação no número de ovos tanto para os estuários ao norte como ao sul do Rio Doce. As menores médias registradas ocorreram em 2019 e 2022, situadas abaixo da fecundidade usada como referência. Os resultados encontrados pelo Tema Ecotoxicologia indicam que o índice de bioacumulação de metais no tecido dos caranguejos aumentou em 2022 quando comparado com os anos anteriores (Anexo 1 Ecotoxicologia RRDM, 2023, RT43C, Ambiente Costeiro). Os eventos estocásticos (Tempestada 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 mercúrio, um dos metais identificado pelo Tema, causa toxicidade e diminuição na taxa de sobrevivência em larvas de crustáceo (VERNBERG et al., 1973; SHEALY e SANDIFER, 1975), mesmo estando este elemento em baixas concentrações nas amostras, requer cuidado em longo prazo. O declínio no número de ovos produzido 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 107: 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 no âmbito do PMBA/Fest. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (5% de probabilidade).

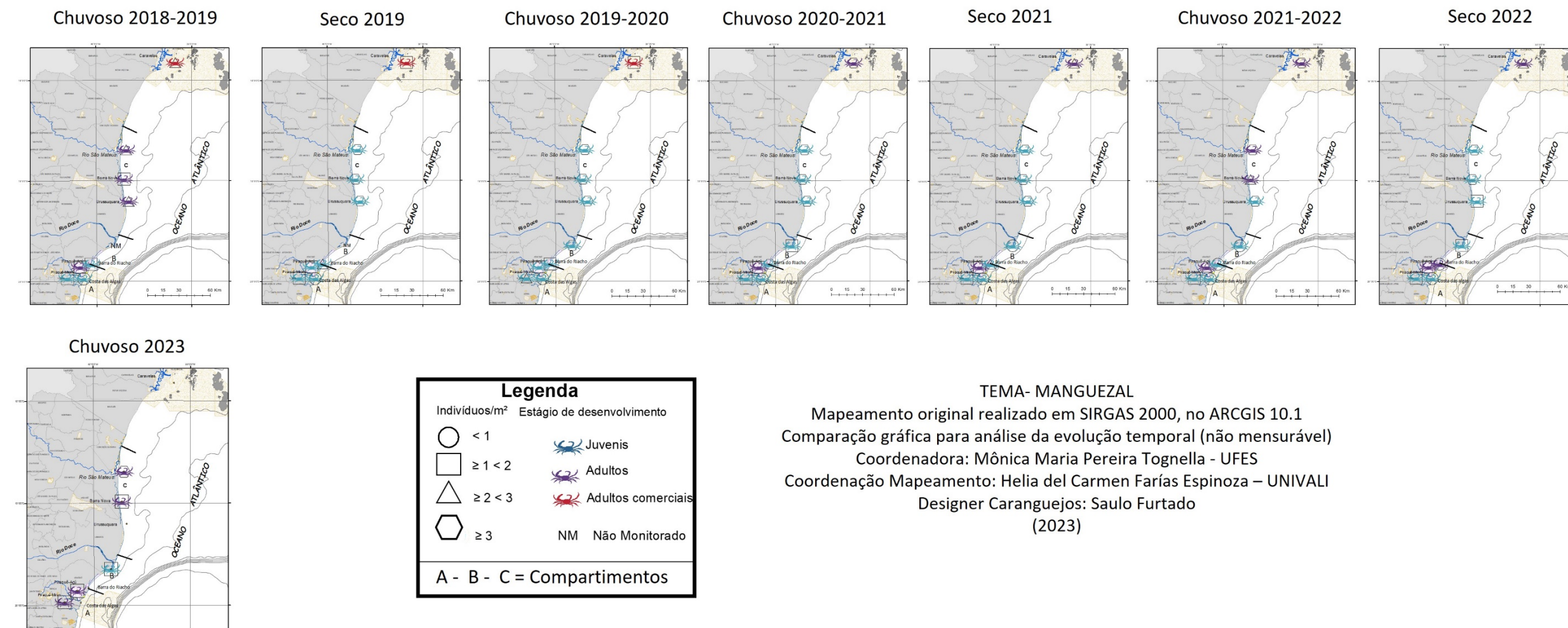


Ao longo de todo monitoramento ambiental, a fecundidade média do caranguejo *C. guanhumi* dos exemplares capturados na foz do Rio Doce evidenciou flutuação no número de ovos produzidos. As menores médias registradas ocorreram em 2019 (251.539 ± 24.098 ovos/fêmea) e 2021 (300.210 ± 43.244 ovos/fêmea) 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 do Rio Doce, que vem sofrendo com a contaminação desde o rompimento da barragem, apresentou dois eventos estocástico (RRDM, 2020, RT36C, Ambiente Costeiro; TOGNELLA et al., 2022) que coincide com as menores médias de fecundidade registrada para a 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 *Talipariti pernambucense*, uma das principais fontes de alimento dos caranguejos, apresentou o 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 (RRDM, 2023, RT43C, Ambiente Costeiro). Mudanças de temperatura, salinidade, precipitação e disponibilidade de alimento em ambiente que já vem sofrendo com a presença de contaminantes, pode comprometer a fecundidade como registrado na literatura (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) e, como consequência, causam impactos de origem qualitativa ou quantitativa. Isto é, induzem as fêmeas na produção de pequena quantidade de ovos, mas de maiores dimensões ou produzem um número maior de ovos pequenos (VERÍSIMO et al., 2010). Como a largura de cefalotórax está intimamente relacionada à fecundidade (SILVA e OSHIRO, 2002), esperava-se que o número de ovos aumentasse ao longo dos anos monitorados, pois houve incremento em largura de cefalotórax das fêmeas coletadas de 2019 a 2023 ($62.70 (\pm 2.53)$, $72.12 (\pm 2.93)$, $72.64 (\pm 1.77)$, $74.78 (\pm 1.81)$ e $76.88 (\pm 2.63)$ mm; respectivamente). Entretanto, é necessário cautela para afirmar melhoria na fecundidade em 2023 (após eventos estocásticos), uma vez que a contaminação ambiental refletirá no número de ovos produzidos por fêmea nos próximos ciclos reprodutivos (CAZAN e KLERKS, 2015). Além dos fatores exógenos já mencionados, o peso da fêmea, ninhada subsequente e estágio do desenvolvimento embrionário também podem influenciar na fecundidade (GIFFORD, 1962; TAISSOUN 1974, MANTELATTO e FRANSOZO, 1997; SILVA e OSHIRO, 2002). Devido à ausência de dados pretéritos de fecundidade para a foz do Rio Doce para comparação, o monitoramento a longo prazo evidenciará as respostas para tais afirmativas, uma vez que, fêmeas ovígeras coletadas a partir de 2019 recrutaram no ambiente próximo ao período em que os rejeitos de minério atingiram a foz do Rio Doce (SILVA e OSHIRO, 2002; PINHEIRO et al., 2005; SILVA, 2006; BOTELHO et al., 2009). 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 108: 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 (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2023) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest.

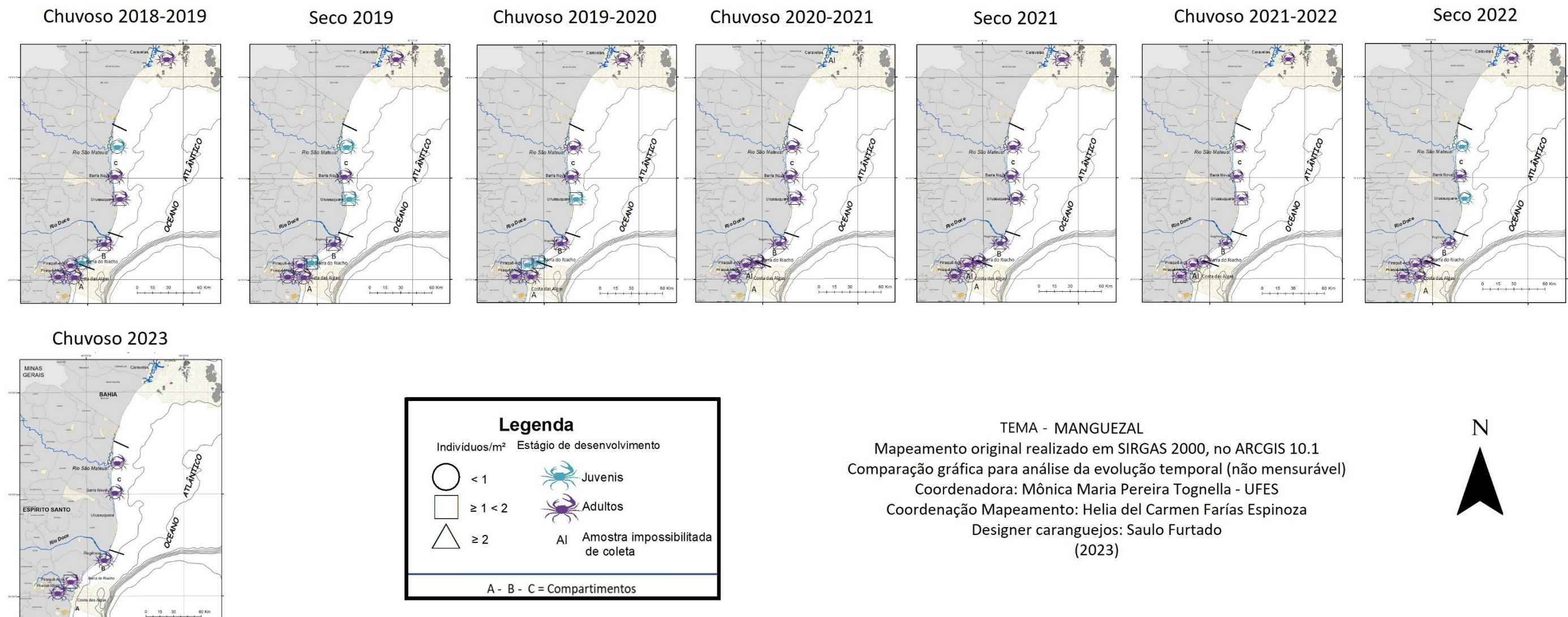
Densidade e Estágio de Desenvolvimento *Ucides Cordatus*



No compartimento A, Costa das Algas manteve densidade média próxima em todos os períodos, como esperado dada a fonte de contaminação não ser persistente neste bosque, devido ao tipo de substrato e transporte costeiro, como já salientado nos relatórios anteriores. Os demais estuários do mesmo compartimento apresentaram poucas mudanças neste parâmetro, como observado no Piraquê-Açu no período chuvoso 2018/2019 e 2021/2022, Piraquê-Mirim chuvoso 2018/2019 e 2019/2020. Durante o monitoramento houve predominância de indivíduos juvenis no compartimento A, com exceção do Piraquê-Açu, que apresentou média do LC acima de 45 mm em praticamente todos os períodos, exceto seco 2019 e chuvoso 2019/2020. Em Barra do Riacho o período seco 2022 foi o único período, dentro do compartimento B, que apresentou médias acima de 45 mm, e a densidade variou sazonalmente, o mesmo padrão pode ser observado para a população do Rio Doce. Entretanto, este estuário não permaneceu no monitoramento em 2023, não permitindo avaliar a continuidade deste processo e, com isto, diagnosticar se está ocorrendo recuperação desta população. Após o período chuvoso 2018/2019, durante o chuvoso 2020/2021 e seco 2021, foi observado aumento da densidade no compartimento C. No entanto, em Barra Nova e Urussuquara houve declínio no período 2021/2022 e no seco 2022, respectivamente. Ainda no compartimento C, houve flutuações do tamanho médio desde o período chuvoso 2018/2019, quando os juvenis foram mais frequentes. No chuvoso de 2021/2022, os adultos voltaram a ser predominantes em Barra Nova e São Mateus. Em 2022 (seco), o tamanho médio da carapaça foi inferior a 45 mm e, novamente no chuvoso 2023, os adultos voltaram a predominar nestas localidades. Em 2023 (chuvoso), houve continuidade do predomínio de adultos nas populações dos rios no Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim. Em Caravelas ocorreu domínio de adultos em tamanho comercial apenas nos três primeiros períodos, posteriormente, a densidade em Caravelas variou sazonalmente.

Figura 109: 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 (2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2023) e secos (2019, 2021 e 2022) no âmbito do PMBA/Fest.

Densidade e Estágio de Desenvolvimento *Cardisoma guanhumi*



Durante o monitoramento do PMBA houve predomínio de indivíduos adultos em todas as populações de *C. guanhumi*, evidenciado pela distribuição de frequência nas classes de tamanho onde juvenis apresentaram baixa frequência relativa. Os estuários de Barra do Riacho, Urussuquara e São Mateus são destaques por apresentarem períodos em que a média da carapaça estava abaixo do limite considerado como adulto ($LC > 55$ mm). As populações, em São Mateus, apresentaram predomínio de jovens e com densidade inferior a 1 indivíduo/m², aspecto bastante preocupante. Apenas a partir do ano 2 (chuvoso 2019/2020), esta densidade média passou a ser superior a 1 indivíduo/m². De forma geral, a densidade média da espécie ao longo dos estuários foi próxima de 1 indivíduo/m². Entretanto, as populações de Urussuquara alcançaram médias em torno de 2 indivíduos/m² durante os períodos chuvoso e seco do Ano 1 (2018/2019), dessa forma, salientando o declínio populacional ao longo do monitoramento nessa área e que não é mais monitorada em 2023. Reforça-se para o Rio Doce, nos últimos três períodos, declínio na densidade de indivíduos. Em todas as áreas há indícios de comprometimento desta espécie já sob risco de extinção.

3 REFERÊNCIAS

- 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.
- ALMEIDA, E. V.; KÜTTER, V. T.; MARQUES, E. D.; DA SILVA-FILHO, E. V. Contamination in Newly Hatched Larvae of the *Ucides cordatus* Mangrove Crab and a New Perspective About Trace Elements Transport. **Geochimica Brasiliensis**, v. 35, n. 1, p. 39-55, 2021.
- ALMEIDA, E. V.; KÜTTER, V. T.; MARQUES, E. D.; DA SILVA-FILHO, E. V. Trophic analysis of female mangrove crabs at two sites from Southeastern Brazil (Rio de Janeiro). **Ocean and Coastal Research**, v. 70, 2022.
- 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.
- 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.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BARCELOS Manguezal como sumidouro de metais traço um estudo de caso para *Rhizophora mangle* L. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2023.
- 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.
- BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta amazonica**, v. 37, p. 303-308, 2007.

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.

BRUGNARA, Miriam. Influence of marine sediments in the distribution of the main radionuclides of the effluent from the nuclear power plant Almirante Alvaro Alberto (Unit 1). 1977.

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

CASTIGLIONI, D. D. S., & NEGREIROS-FRANZOZO, 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.

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.

COFFEY, M., DEHAIRS, F., COLLETTE, O., LUTHER, G., CHURCH, T.; JICKELLS, T. The behaviour of dissolved barium in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 45, n. 1, p. 113-121, 1997.

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>

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.

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.; 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.

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.2023.

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

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.

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.

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.; WANGA, 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.

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

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.

LEME, M. H. A. Investimento reprodutivo e produção de ovos em desovas consecutivas do caranguejo *Aratus pisonii* (H. Milne Edwards) (Crustacea, Brachyura, Grapsoidea). **Revista brasileira de Zoologia**, v. 23, p. 727-732, 2006.

MACFARLANE, G. R., & BURCHETT, M. D. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the Grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. **Marine pollution bulletin**, v. 42, n. 3, p. 233-240, 2001.

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

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., & SANTACHI, P. Trace metal chemistry of Galveston Bay: water, sediments and biota. **Marine Environmental Research**, v. 36, n. 1, p. 1-37, 1993.

MORTIMER, M.R.; MILLER, G.J. Susceptibility of larval and juvenile instars of the sand crab, *Portunus pelagicus* (L.), to sea water contaminated by chromium, nickel or copper. **Marine and Freshwater Research**, v. 45, n. 7, p. 1107-1121, 1994.

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>.

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

OLIVEIRA GOMES, L. E., CORREA, L. B., SÁ, F., NETO, R. R.; BERNARDINO, A. F. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017.

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.

PASUPATHI, K.; KANNUPANDI, T. Effect of the heavy metal zinc on larval stages of the mangrove grapsid crab *Sesarma pictum* de Haan. *Ind. J. Inv. Zool. & Aquat. Biol.* 1: 53-57, 1989.

PERIN, G. F. R., MANENTE, S., WAGENER, A. R., HAMACHER, C.; SCOTTO, S.L. A five-year study on the heavy-metal pollution of Guanabara Bay sediments (Rio de Janeiro, Brazil) and evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation. **Water Research**, v. 31, n. 12, p. 3017-3028, 1997.

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.

R CORE TEAM. R: a Language and an Environmental 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.

RABINOWITZ, D. Dispersal properties of mangrove propagules. *Biotropica*, v.10, p.47–57, 1978.

ROCHA, C.A.; MARTINS, I. X. Estudo da macrofauna bentônica na plataforma continental do litoral oeste do estado do Ceará, Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 31, p. 65-72, 1998.

RODRÍGUEZ, E.M.; MEDESANI, D. Pathological lesions in larvae hatched from ovigerous females of *Chasmagnathus granulata* (Decapoda, Brachyura) exposed to cadmium. *Experientia*, v. 50, n. 10, p. 975-977, 1994.

RODRIGUEZ, F.A. Os caminhos das águas. *Agroanalysis*, v. 18, n. 3, p. 23-26, 1998.

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.

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

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.

SIMITH, D. de J. B.; DIELE, K. O efeito da salinidade no desenvolvimento larval do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ocypodidae) no Norte do Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 345-350, 2008.

SIMITH, D. de J. B.; DIELE, K. O efeito da salinidade no desenvolvimento larval do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ocypodidae) no Norte do Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 345-350, 2008.

SIMPSON, L.T.; OSBORNE, T.Z.; FELLER, I.C. Establishment and biomass allocation of black and red mangroves: response to propagule flotation duration and seedling light availability. **Journal of Coastal Research**, v.33, n.5, p.1126-1134, 2017. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-16-00108.1

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.

SMITH, S.M.; SNEDAKER, S.C. Salinity responses in two population of viviparous *Rhizophora mangle* L. seedling. *Biotropica*, v.27, n.4, p.435-440, 1995.

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.

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

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>.

TOGNELLA, 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.

VIANA, P.; Z.; YIN, K.; ROCKNE, K.J. Modeling active capping efficacy. 1. Metal and organometal contaminated sediment remediation. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 23, p. 8922-8929, 2008.

VITAL, H.; ESTEVES, L. S.; ARAÚJO, T. C. M. Patchineelam, S.M. Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO. K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. Quartenário do Brasil. E. da USP, São Paulo, cap. 8. p.153-173, 2005.

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.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, 409–430, 2009. doi:10.1071/FP08288

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