

**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: Ecotoxicologia

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	CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO E METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO.....	4
2.2	ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (<i>IBR BIOACUMULAÇÃO</i>)	16
2.3	ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA (<i>IBR BIOMARCADOR</i>)	42
3	REFERÊNCIAS	60

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.

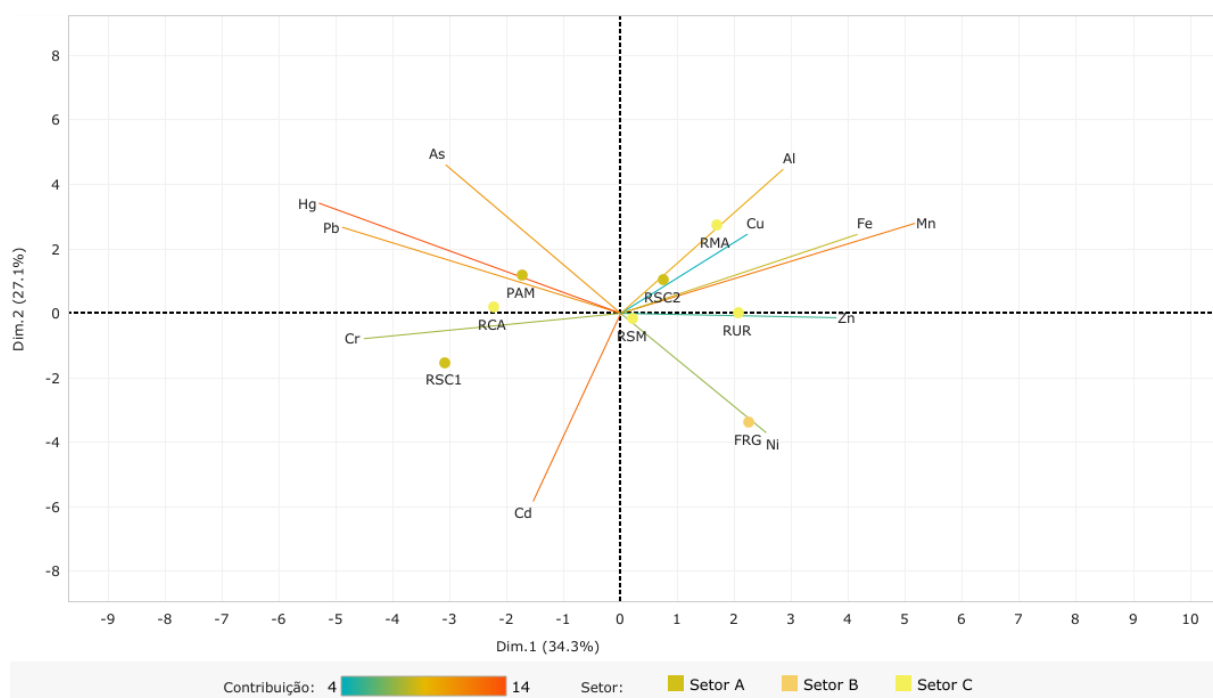
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

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:

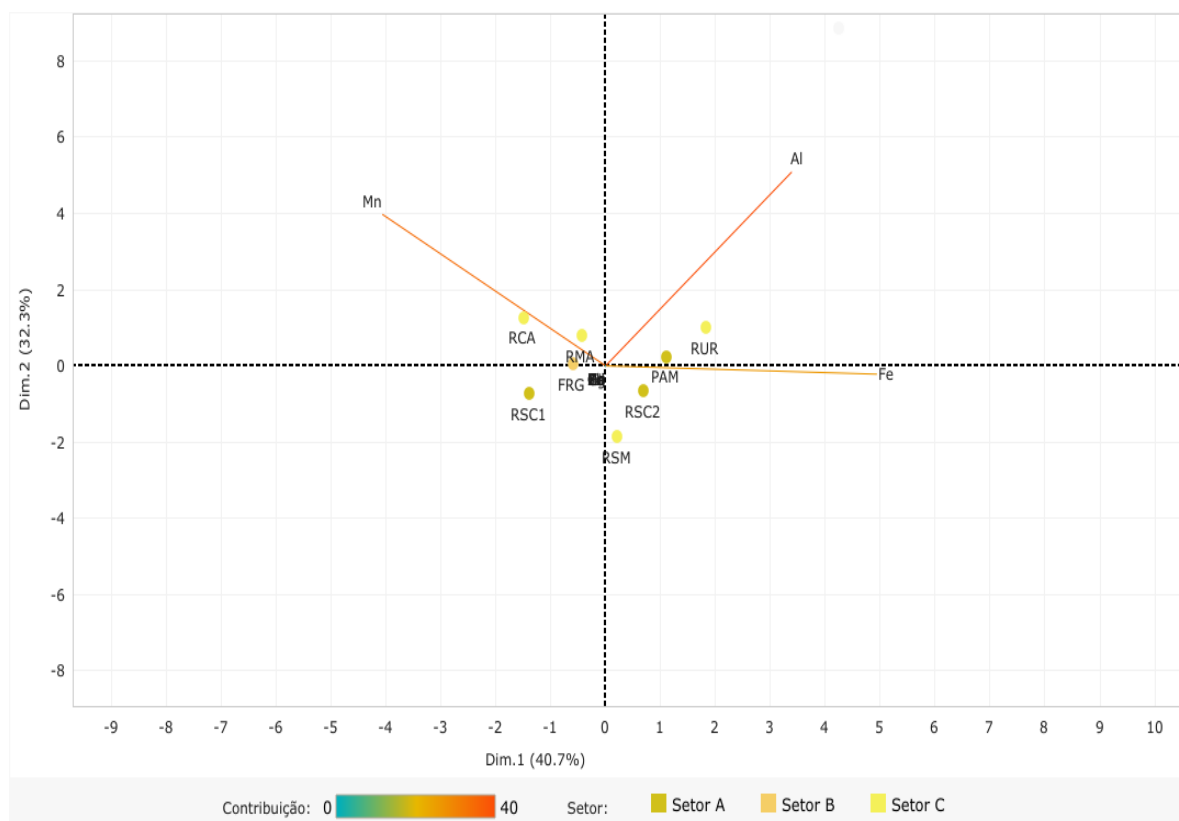
2.1 CONCENTRAÇÃO DE ARSÊNIO E METAIS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO

Figura 1: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo do manguezal coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)]; e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



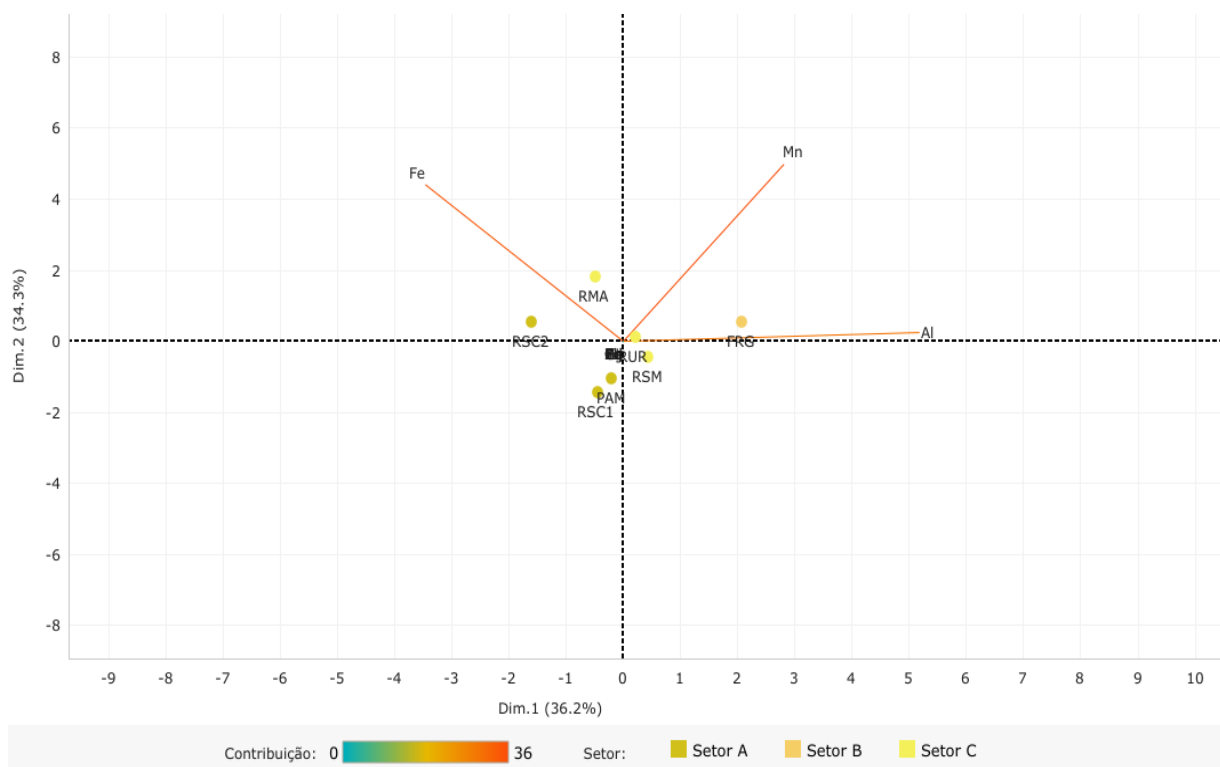
A PCA demonstra o quanto cada componente principal explica a variabilidade total dos dados analisados. Quanto maior (menor) e mais vermelha (azul) a linha, maior (menor) é a contribuição/importância da variável para a PCA. Na Figura 1, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 34,3% e por 27,1%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do manguezal, durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 61,4% da variabilidade total dos dados. As figuras a seguir, inclusive a Figura 1, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, uma vez que a análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As na água de fundo do manguezal. Observando-se o quadrante superior, denota-se uma associação entre as estações RMA e RUR, pertencentes ao Setor C, com os metais Al, Cu, Fe e Mn. Já, o quadrante inferior à direita indica a associação entre as estações RUR e FRG com os metais Zn e Ni. E por fim, a estação amostral RSC1 apresenta uma relação com o metal Cr.

Figura 2: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo do manguezal coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022- período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)]; e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



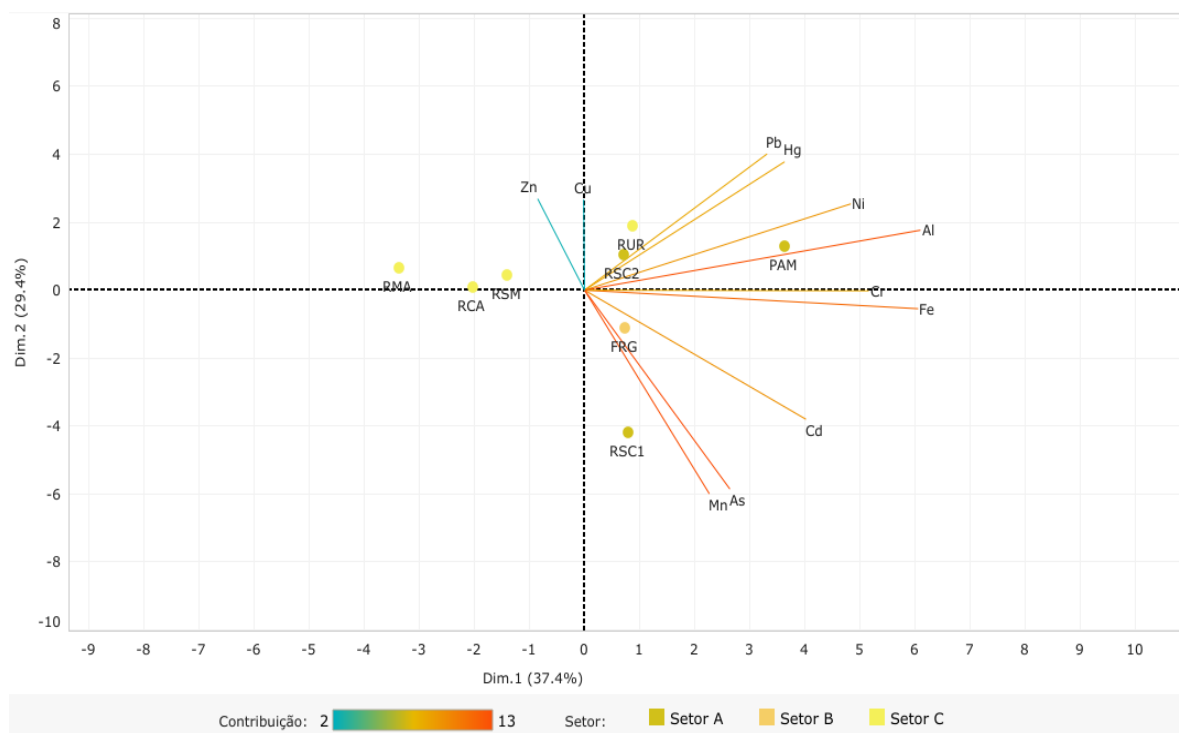
Na Figura 2, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 40,7% e por 32,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do manguezal durante a Campanha 8 (set/out 2022- período seco). Juntos, os dois componentes explicam 73,0% da variabilidade total dos dados. Observando-se o quadrante superior à direita, denota-se uma associação entre a estação RUR com os metais Al e Fe. Já, o quadrante superior à esquerda indica a associação entre a estação RCA e o metal Mn.

Figura 3: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo do manguezal coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023- período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)]; e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA) e Rio São Mateus (RSM)].



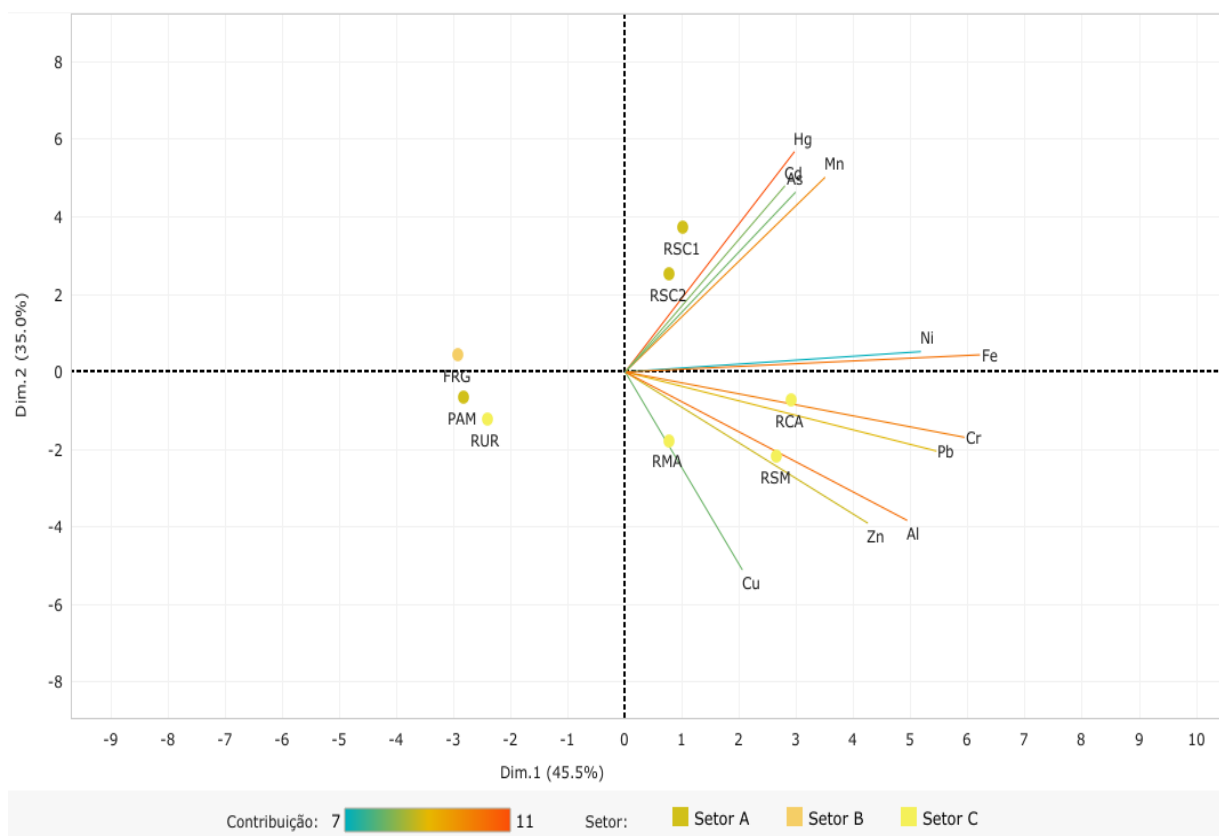
Na Figura 3, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 36,2% e por 34,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo do manguezal durante a Campanha 9 (jan/fev 2023- período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 70,5% da variabilidade total dos dados. Observando-se o quadrante superior à direita, denota-se uma associação entre a estação FRG com os metais Al e Mn. Já, o quadrante superior à esquerda indica a associação entre as estações RMA e RSC2 com o metal Fe.

Figura 4: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento do manguezal coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso).
Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



Na Figura 4, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 37,4% e por 29,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do manguezal durante a Campanha 7 (mar 2022 - período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 66,8% da variabilidade total dos dados. As figuras a seguir, inclusive a Figura 4 auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As no sedimento do manguezal. Observa-se que, as variáveis que mais contribuem para a PCA estão agrupadas nos quadrantes à direita, as mesmas apresentam uma associação com o Setor A (RSC1 e PAM). Já os metais Zn e Cu, os quais são menos relevantes para a PCA, demonstram uma maior relação com o Setor C (RUR).

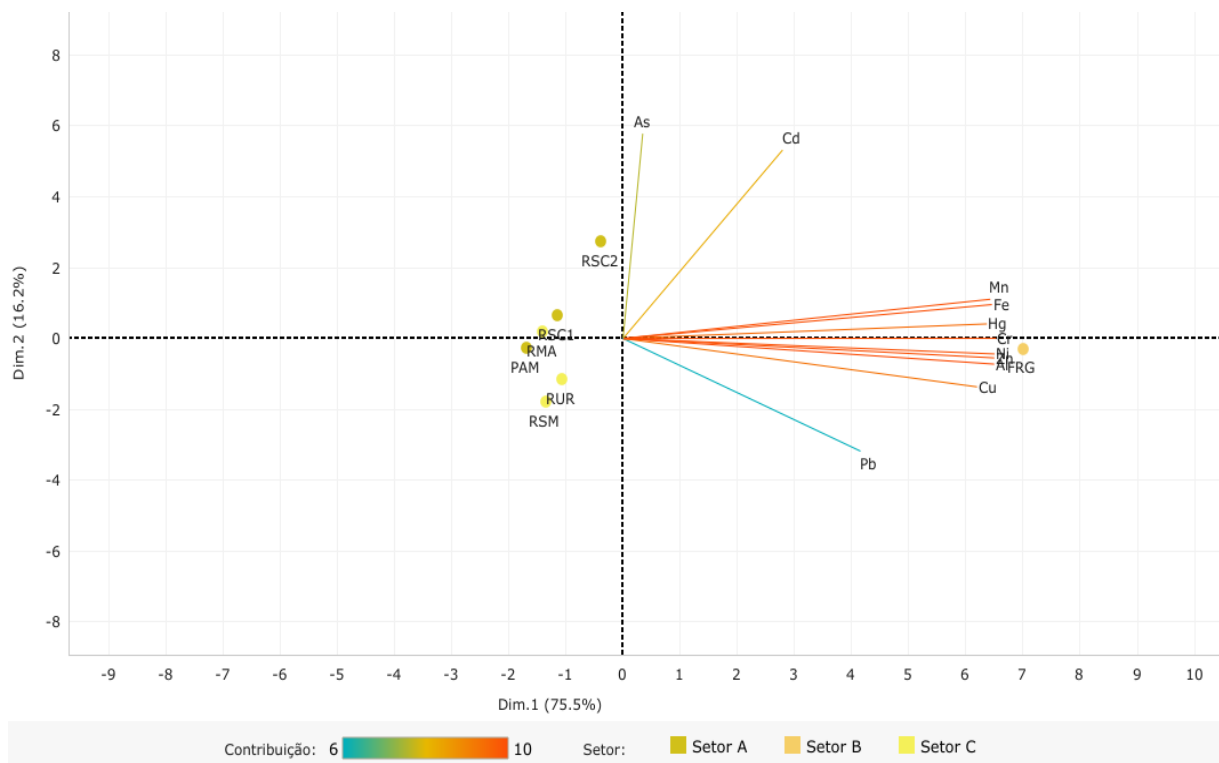
Figura 5: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento do manguezal coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 - período seco).
Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



Na Figura 5, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 45,5% e por 35,0%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do manguezal durante a Campanha 8 (set/out 2022 - período seco). Juntos, os dois componentes explicam 80,5% da variabilidade total dos dados. As estações do Setor C (RMA, RSM e RCA) apresentam um padrão de agrupamento e estão associadas aos metais Ni, Fe, Cr, Pb, Al, Zn e Cu (quadrantes à direita). Bem como as estações RSC1 e RSC2 do Setor A, as quais estão agrupadas e relacionadas aos metais Hg, Cd, As e Mn (quadrante superior à direita).

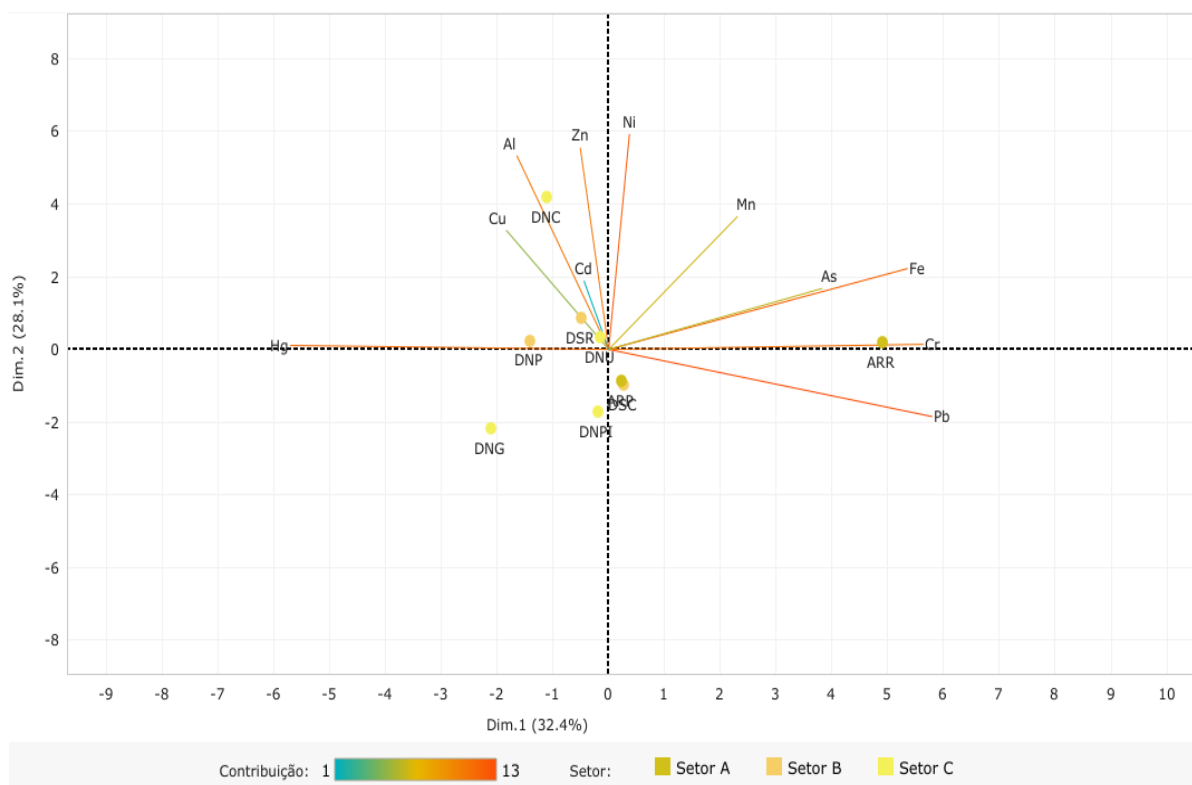
Figura 6: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento do manguezal coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 - período chuvoso).

Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA) e Rio São Mateus (RSM)].



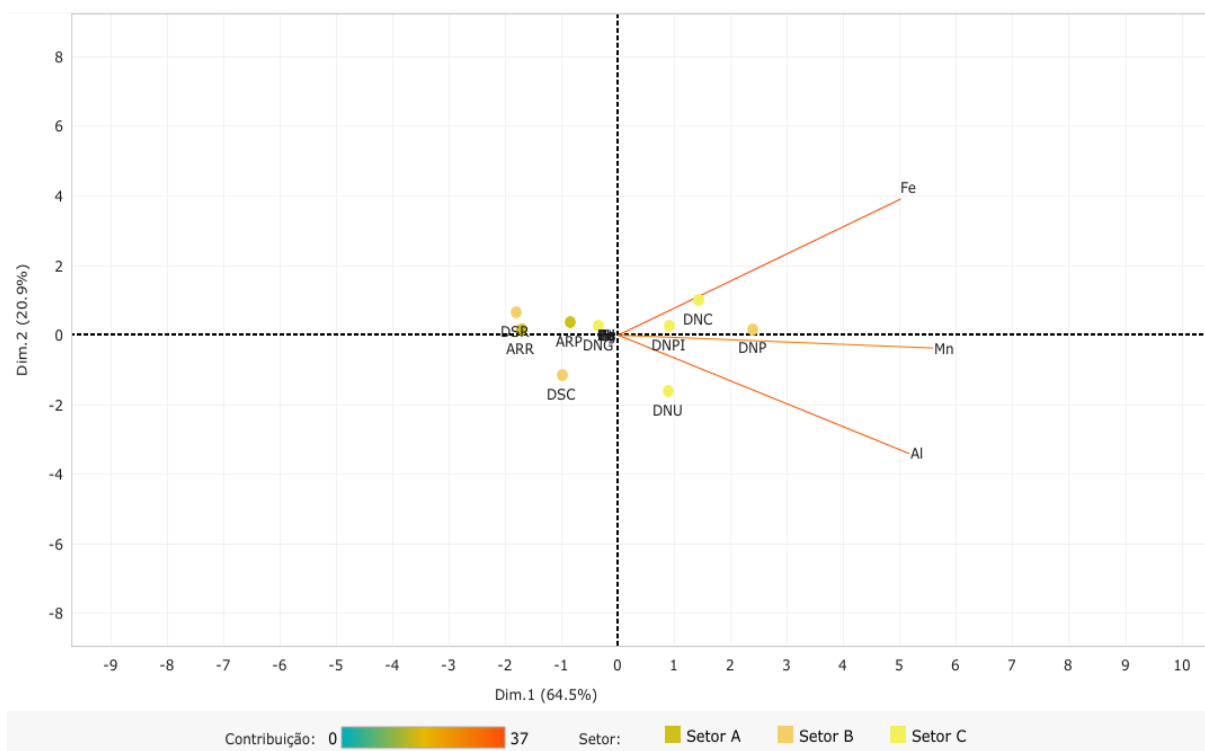
Na Figura 6, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 75,5% e por 16,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento do manguezal durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 - período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 91,7% da variabilidade total dos dados. Grande parte dos metais analisados se encontram agrupados nos quadrantes à direita (superior e inferior) e demonstram uma forte associação com a estação FRG do Setor B.

Figura 7: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo da praia coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)]; e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



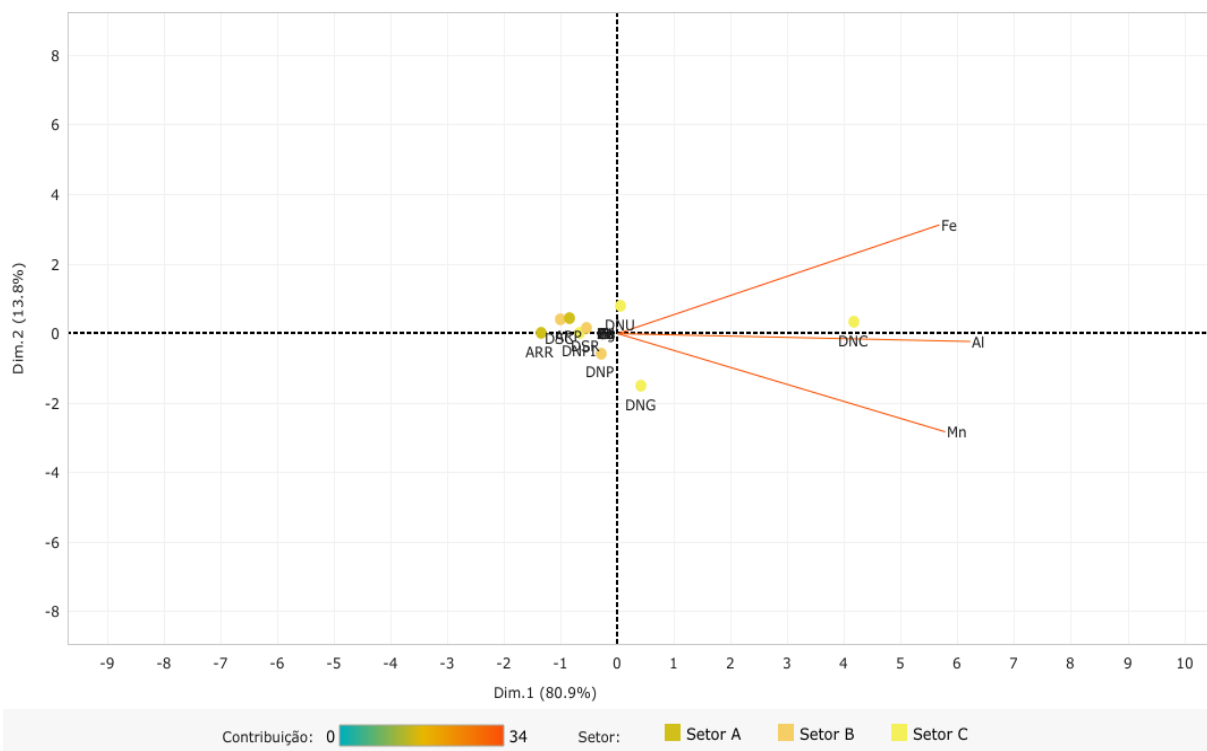
Na Figura 7, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 32,4% e por 28,1%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo da praia durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 60,5% da variabilidade total dos dados. As demais figuras abaixo, bem como a Figura 7, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As na água de fundo da praia. A estação ARR apresenta uma forte relação com os metais As, Fe, Cr e Pb (quadrantes à direita). Ainda, nota-se que nos quadrantes à esquerda o metal Hg está associado as estações DNG e DNP. Por fim, no quadrante superior à esquerda a estação DNC está associada aos metais Al, Zn e Cu.

Figura 8: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo da praia coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



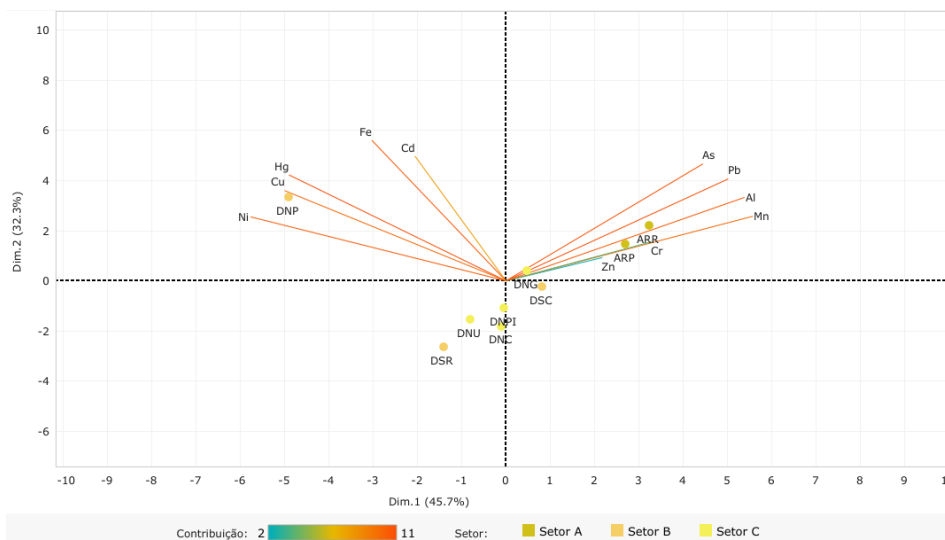
Na Figura 8, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 64,5% e por 20,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo da praia durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 85,4% da variabilidade total dos dados. Os metais Fe, Mn e Al encontram-se concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior) e associados as estações do Setor C (DNC, DNPI e DNU) e Setor B(DNP) .

Figura 9: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), na fração dissolvida, nas amostras de água de fundo da praia coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



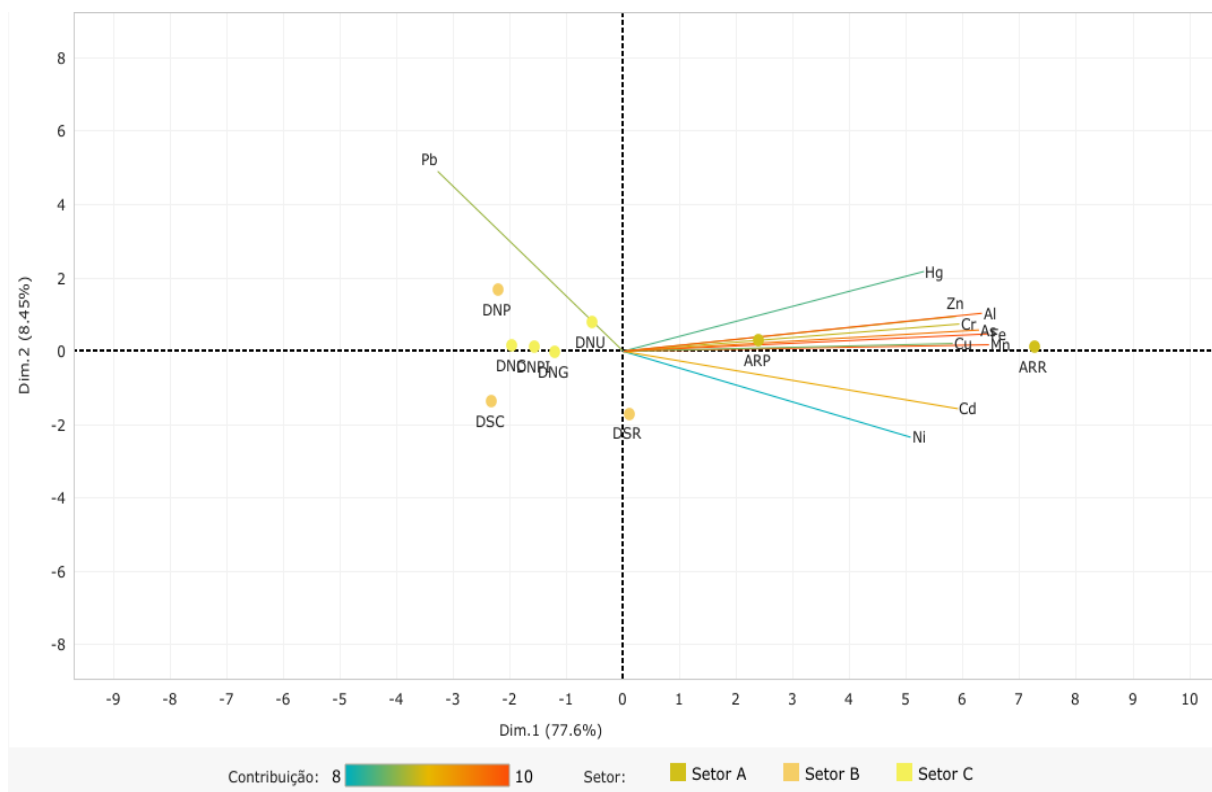
Na Figura 9, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 80,9% e por 13,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As na água de fundo da praia durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 94,7% da variabilidade total dos dados. Observa-se, nos quadrantes à direita (superior e inferior) do gráfico de PCA que a estação de coleta DNC apresentou uma associação com os metais Fe, Al e Mn.

Figura 10: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento da praia coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



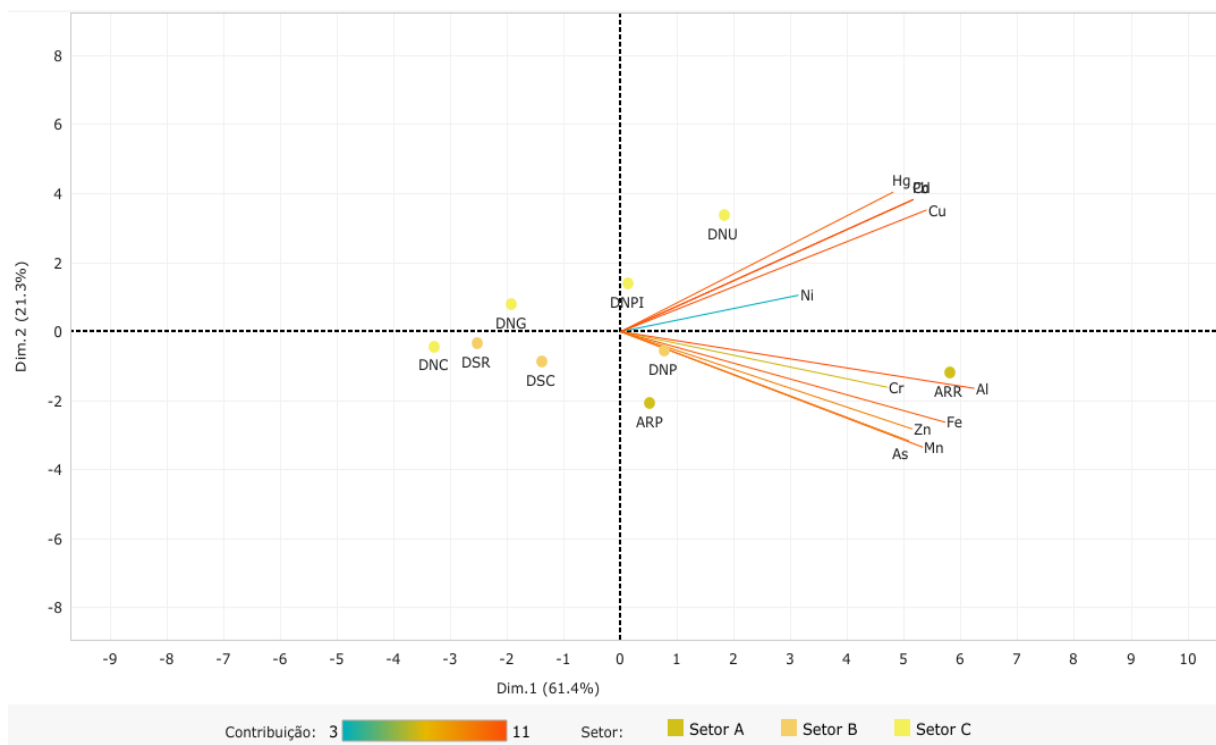
Na Figura 10, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 45,7% e por 32,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento da praia durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 78,0% da variabilidade total dos dados. A Figura 10 e as demais abaixo, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As no sedimento da praia. Nota-se que, no quadrante superior à esquerda a estação DNP do Setor B indica uma maior associação com os metais Ni, Cu, Hg, Fe e Cd. Por outro lado, no quadrante superior à direita as estações do Setor A (ARP e ARR) demonstram uma relação com os metais As, Pb, Al, Mn, Cr e Zn.

Figura 11: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento da praia coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Na Figura 11, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 77,6% e por 8,45%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento da praia durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 86,05% da variabilidade total dos dados. Verifica-se que todos os metais analisados, com exceção do Pb, encontram-se concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior), os quais apresentam uma associação ao Setor A (ARR e ARP). Já, no quadrante superior à esquerda, o metal Pb denota uma relação com a estação DNP.

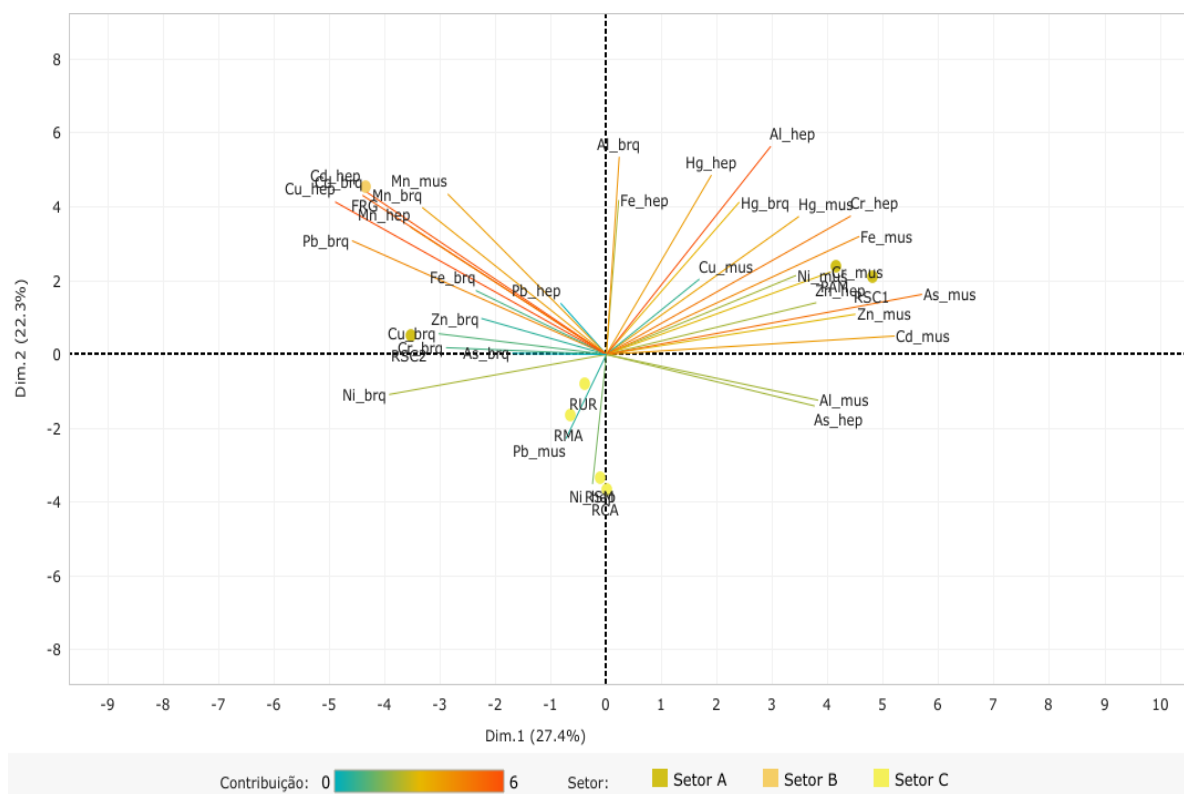
Figura 12: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de sedimento da praia coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Na Figura 12, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 61,4% e por 21,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As no sedimento da praia durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 82,7% da variabilidade total dos dados. Observa-se que todos os metais analisados se encontram agrupados nos quadrantes à direita, sendo que os metais Hg, Cu, Cd e Pb, no quadrante superior, apresentam-se associados a estação de coleta DNU. No entanto, os metais Al, Cr, Fe, Zn, Mn e As, no quadrante inferior, denotam uma relação com a estação de coleta ARR.

2.2 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (IBR BIOACUMULAÇÃO)

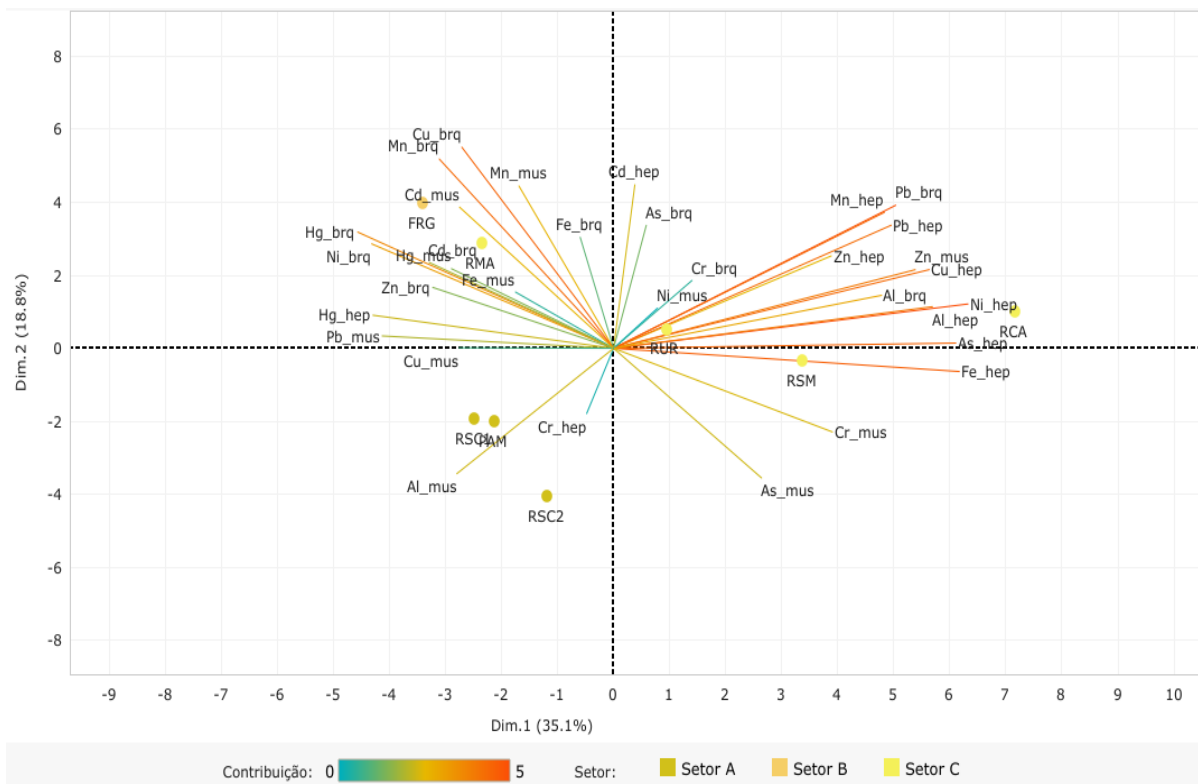
Figura 13: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



Na Figura 13, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 27,4% e por 22,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas brânquias, no hepatopâncreas e no músculo de caranguejos do manguezal durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 49,7% da variabilidade total dos dados. A Figura 13 bem como as demais a seguir, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As nas brânquias, no hepatopâncreas e no músculo de caranguejos do manguezal. Observa-se, no quadrante superior à direita, que as estações do Setor A (RSC1 e PAM) apresentam bioacumulação de metais (Hg, Cr, Fe, Ni, As, Zn e Cd) no músculo de caranguejos. Ainda, a estação RSC2 apresentou uma associação com a bioacumulação dos metais Cu, Cr e Zn nas brânquias desses organismos. No quadrante superior à esquerda, nota-se a associação da estação FRG (Setor B) com metais nos tecidos de hepatopâncreas (Cd, Mn e Cu) e brânquias (Cd, Mn e Pb). Além disso, destaca-se a associação da estação FRG com os metais Cd e

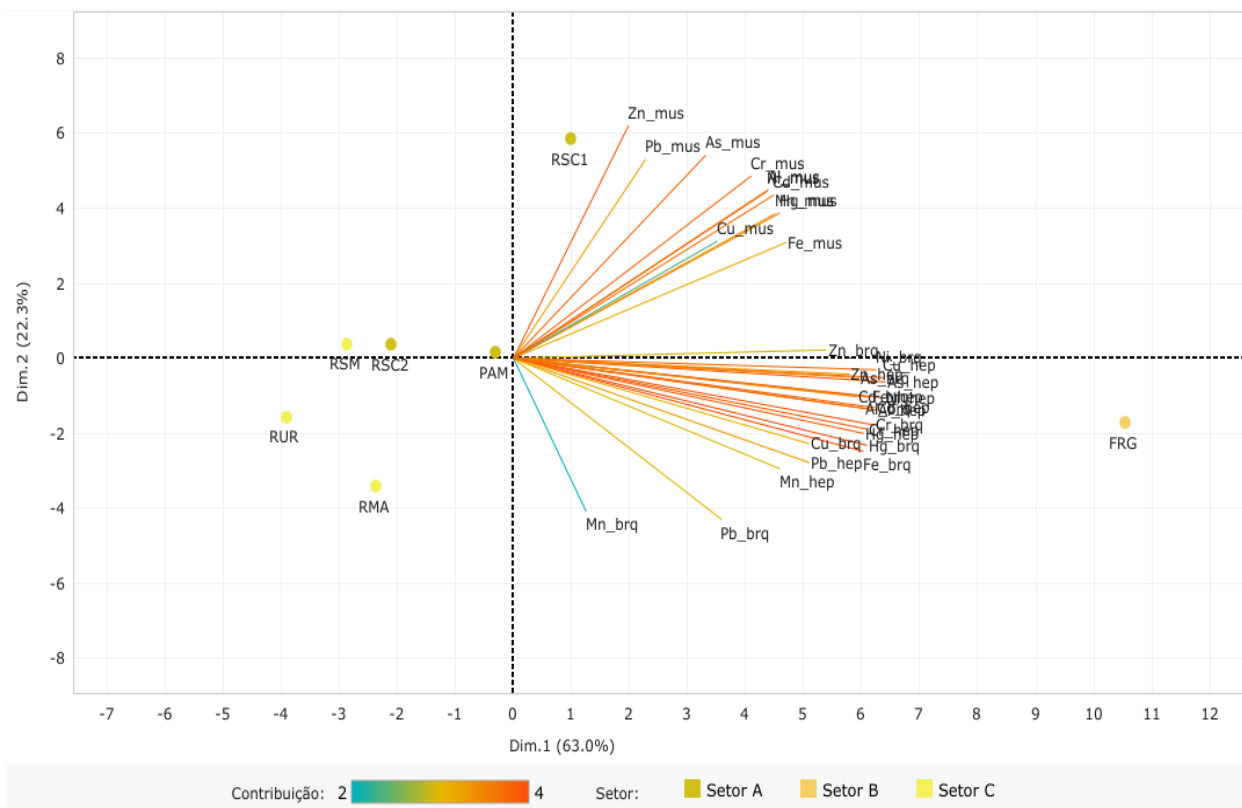
Mn. As estações do Setor C (RMA, RSM e RCA) apresentam uma relação com a bioacumulação de Pb no músculo e de Ni no hepatopâncreas de caranguejos do manguezal.

Figura 14: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Maricuru (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



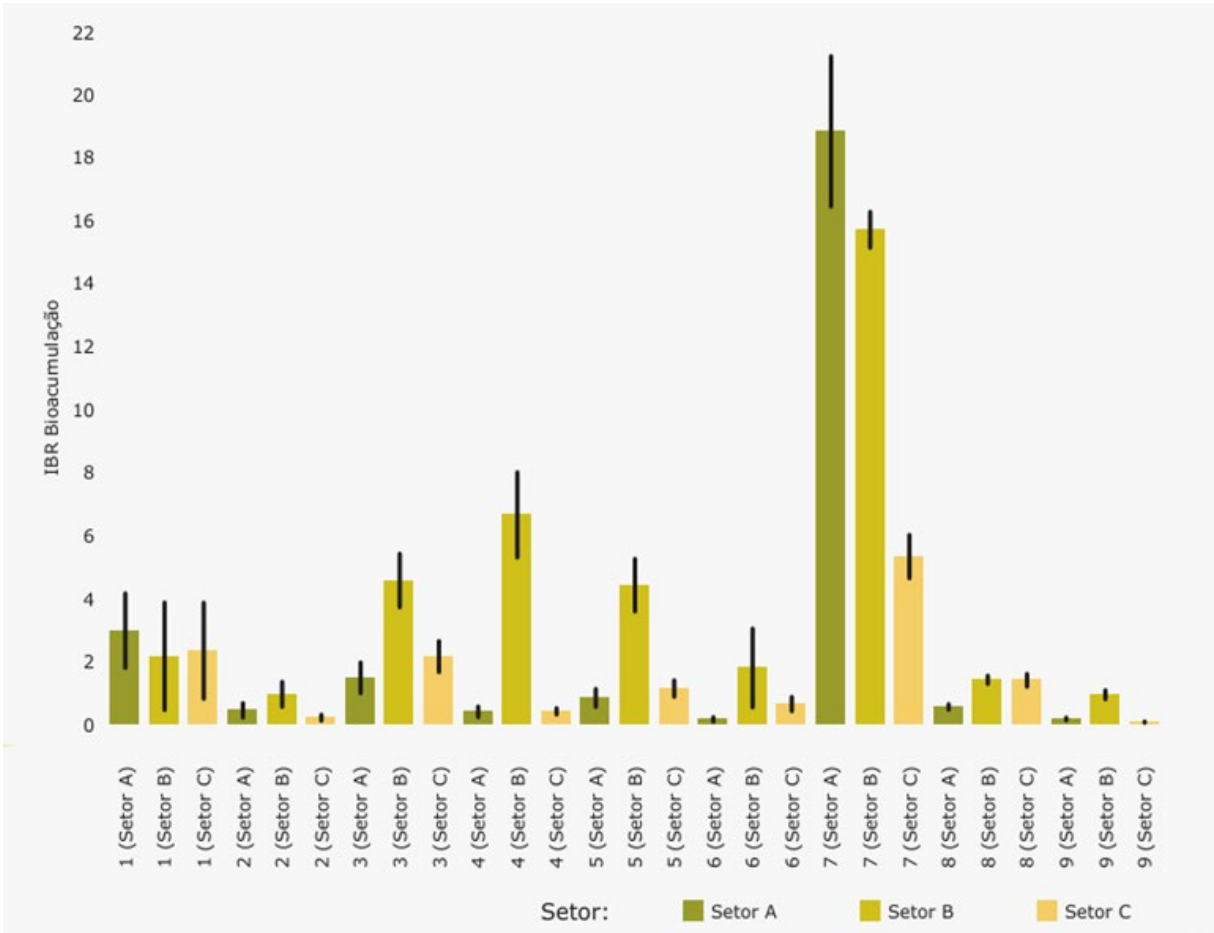
Na Figura 14, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 35,1% e por 18,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas brânquias, no hepatopâncreas e no músculo de caranguejos do manguezal durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 53,9% da variabilidade total dos dados. Nota-se que as estações RCA e RSM do Setor C apresentam uma relação com a bioacumulação de metais no hepatopâncreas de caranguejos. No quadrante superior à direita a estação RCA associa-se aos metais Cu, Ni, Al, As e Fe no hepatopâncreas, Al nas brânquias e Zn no músculo de caranguejos. No quadrante inferior à direita RSM está associado com os metais Fe e As no hepatopâncreas e Cr no músculo. As estações RSC1, RSC2 e PAM do Setor A, agrupadas no quadrante inferior à esquerda, relacionam-se com o metal Al no músculo. Já a estação FRG do Setor B e a estação RMA do Setor A, demonstram a relação da bioacumulação de metais nas brânquias (Ni, Hg, Mn, Cu e Cd) e músculo (Hg, Cd e Mn). Vale ressaltar a associação da bioacumulação dos metais Hg, Mn e Cd à estas duas estações (FRG e RMA), dos setores B e C, respectivamente.

Figura 15: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA) e Rio São Mateus (RSM)].



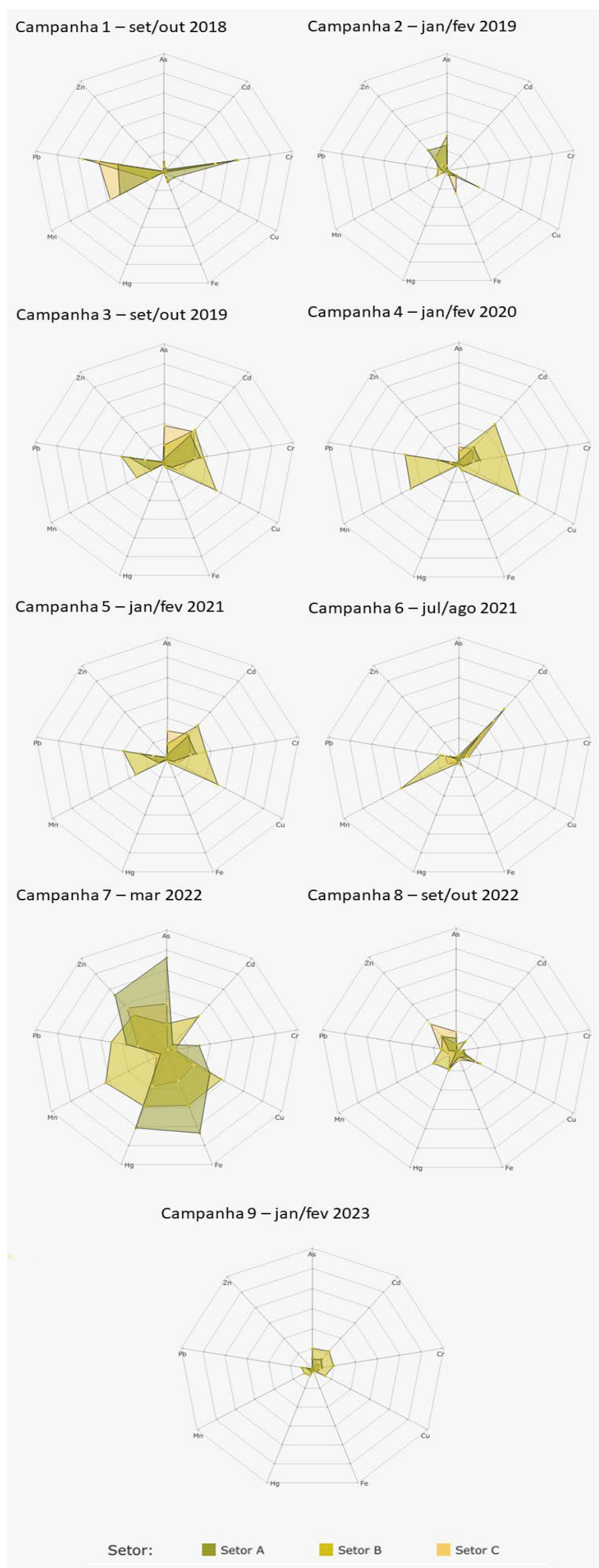
Na Figura 15, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 63,0% e por 22,3%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas brânquias, no hepatopâncreas e no músculo de caranguejos do manguezal durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 85,3% da variabilidade total dos dados. Constata-se um padrão de agrupamento nos quadrantes à direita de todos os metais analisados nos tecidos dos caranguejos. No quadrante superior à direita os metais bioacumulados no músculo dos caranguejos encontram-se associados a estação de coleta RSC1, localizada no Setor A. Entretanto, todos os metais referentes a bioacumulação no hepatopâncreas e brânquias dos caranguejos apresentam-se agrupados no quadrante inferior à direita e associados a estação FRG do Setor B.

Figura 16: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As no caranguejo do manguezal, ao longo de todo o monitoramento. O IBR bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de “saúde” dos organismos analisados. De modo geral, na Figura 16, observa-se que na maior parte das campanhas os maiores valores de IBR bioacumulação localizam-se no Setor B (FRG), com exceção das Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), nas quais os maiores valores de IBR bioacumulação encontram-se no Setor A (RSC1, RSC2 e PAM). Além disso, a Campanha 7 se destaca por picos dos valores de IBR bioacumulação, sendo eles os maiores de cada um dos setores, em relação aos mesmos, ao longo do período de monitoramento. Em seguida, as Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) demonstram uma diminuição significativa nos valores de IBR bioacumulação para os caranguejos de manguezal em comparação a Campanha 7.

Figura 17: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].

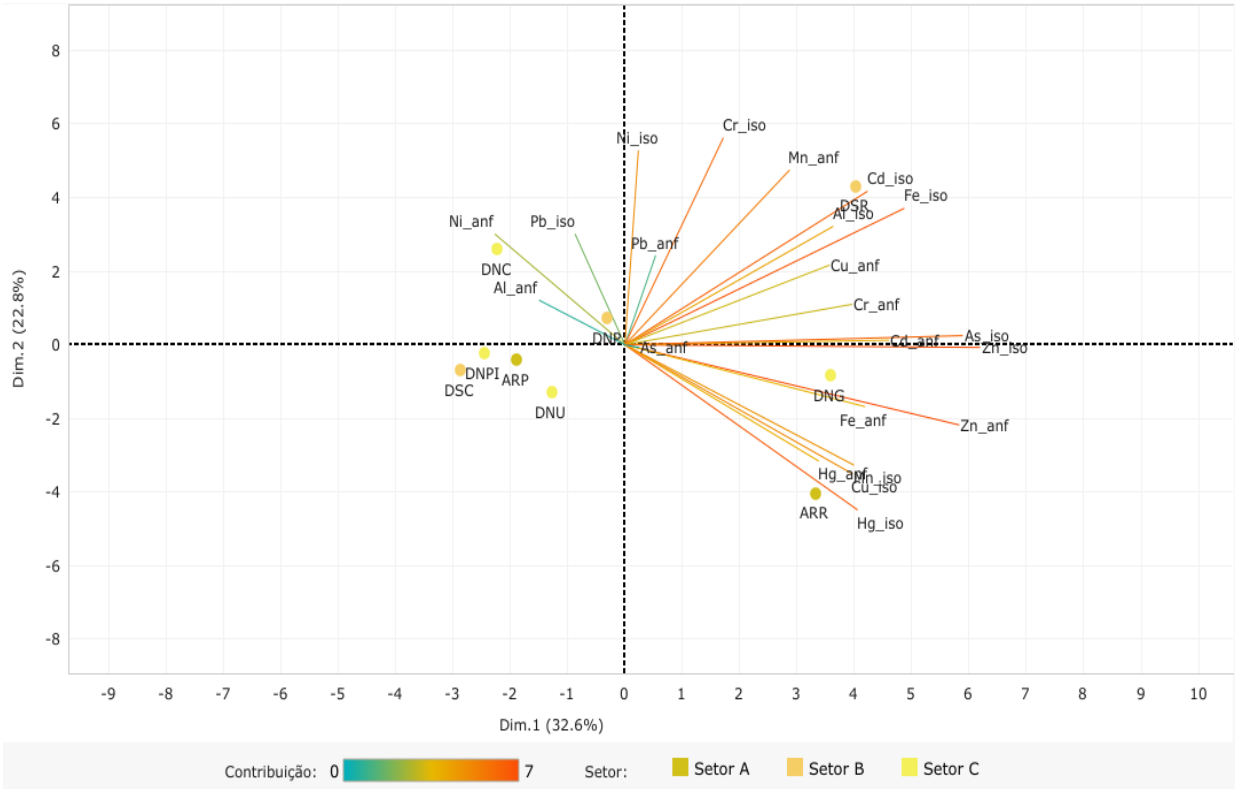


Os gráficos de radar, na Figura 17, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As no caranguejo do manguezal e a contribuição destes para a composição do índice. O IBR bioacumulação integra diferentes respostas biológicas e origina um indicativo/valor sintético e holístico do estado de “saúde” dos organismos analisados. Nota-se no gráfico radar da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) que os metais que mais contribuem para a composição do IBR bioacumulação no Setor A são o As, o Zn, o Pb, o Hg, o Fe, o Cu e o Cr, com picos de valores dos metais As, Zn, Hg e Fe. Em relação ao Setor B, os metais que mais contribuem para o IBR bioacumulação são o Mn, o Pb, o Zn, o Cd, o Cu, o Fe e o Hg. Por último, o IBR bioacumulação do Setor C é gerado com a maior contribuição dos metais Zn, As e Hg. Dentre os metais que apresentam uma maior contribuição para o índice na Campanha 7, o As, o Zn, e o Hg são comuns aos três setores.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os metais que mais impactaram o IBR bioacumulação do Setor A são o Zn, o As e o Hg, com destaque ao Zn. Para o Setor B os metais que se destacam na formação do índice são o Mn, o Cu, o Zn e o Hg. Por último, para o Setor C, os metais que mais contribuem para o IBR bioacumulação são o Zn, o As, o Pb, o Cu e o Hg. Dentre os metais que apresentam uma maior contribuição para o índice na Campanha 8, o Zn e o Hg são comuns aos três setores.

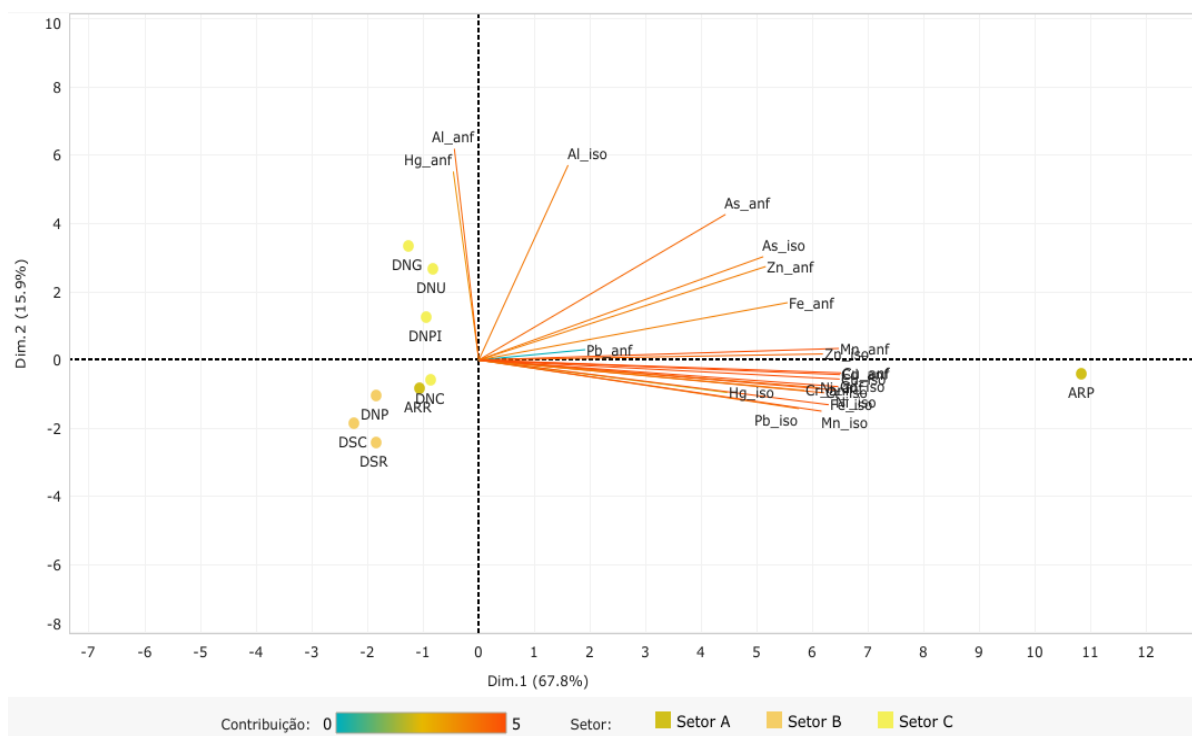
Acerca da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), o As, Cd e Cr são os metais que mais contribuíram para o IBR bioacumulação do Setor A. Já para o Setor B, os metais As, Cd, Cr e Pb são os que mais se destacam no índice. E no Setor C os metais mais relevantes são o Cd e o Cr. Dentre os metais que apresentam uma maior contribuição para o índice na Campanha 9, o Cd e o Cr são comuns aos três setores.

(DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



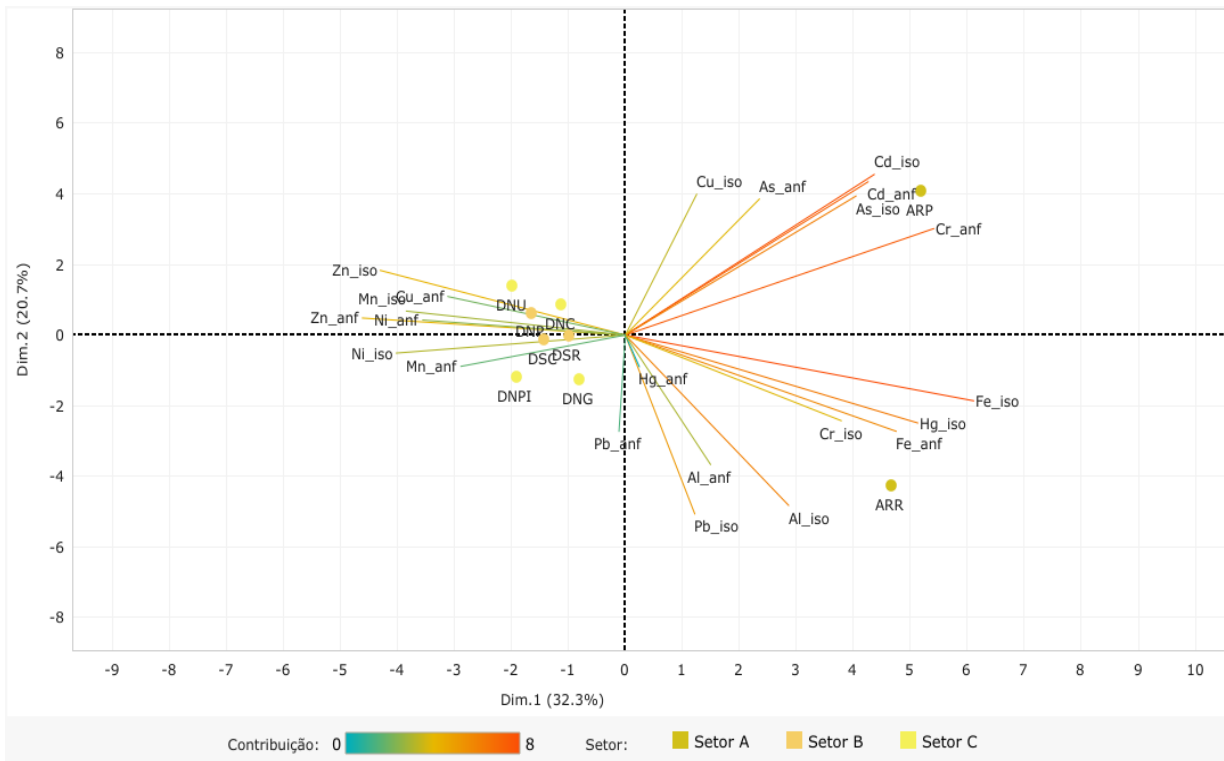
Na Figura 18, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 32,6% e por 22,8%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 55,4% da variabilidade total dos dados. A Figura 18 e as demais a seguir, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As nos pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas). Observa-se que os metais analisados se encontram em grande parte concentrados nos quadrantes à direita. A estação DSR, no quadrante superior à direita, demonstra uma associação com o metal Mn em anfípodas e os metais Cd, Al e Fe em isópodas. No quadrante inferior à direita, a estação DNG está relacionada aos metais Zn, Fe e Cd bioacumulados em anfípodas e, também, aos metais Zn e As bioacumulados em isópodas. Os metais Hg, Mn e Cu bioacumulados em isópodas, bem como o metal Hg bioacumulado em anfípodas apresentam uma relação com a estação ARR (quadrante inferior à direita).

Figura 19: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodas(_iso)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



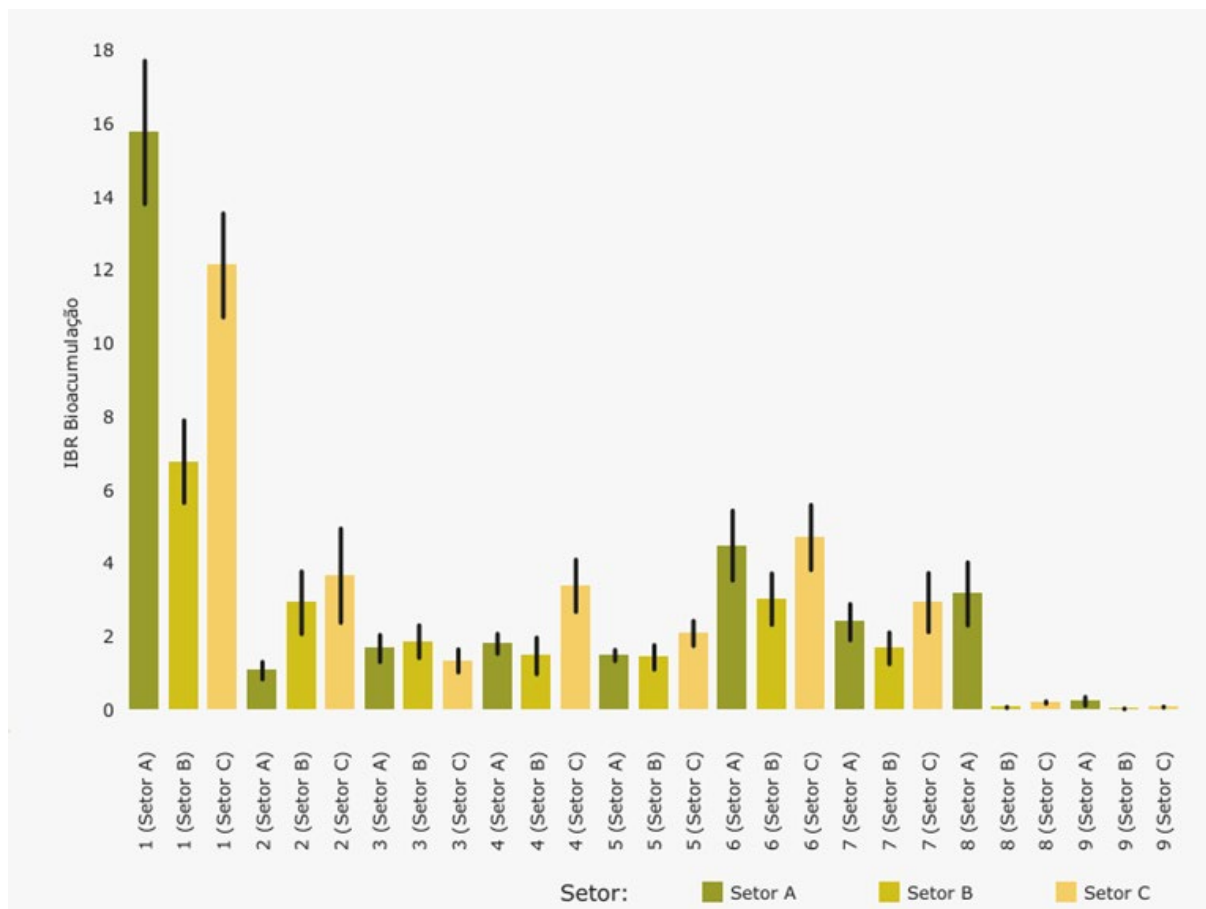
Na Figura 19, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 67,8% e por 15,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 83,7% da variabilidade total dos dados. Vale destacar que grande parte dos metais analisados, encontram-se agrupados nos quadrantes à direita (superior e inferior) e estão associados a estação ARP. Em contrapartida, os metais Al e Hg em anfípodas estão posicionados no quadrante superior à esquerda e denotam uma associação com as estações DNG e DNU (Setor C).

Figura 20: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodas(_iso)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)]; e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



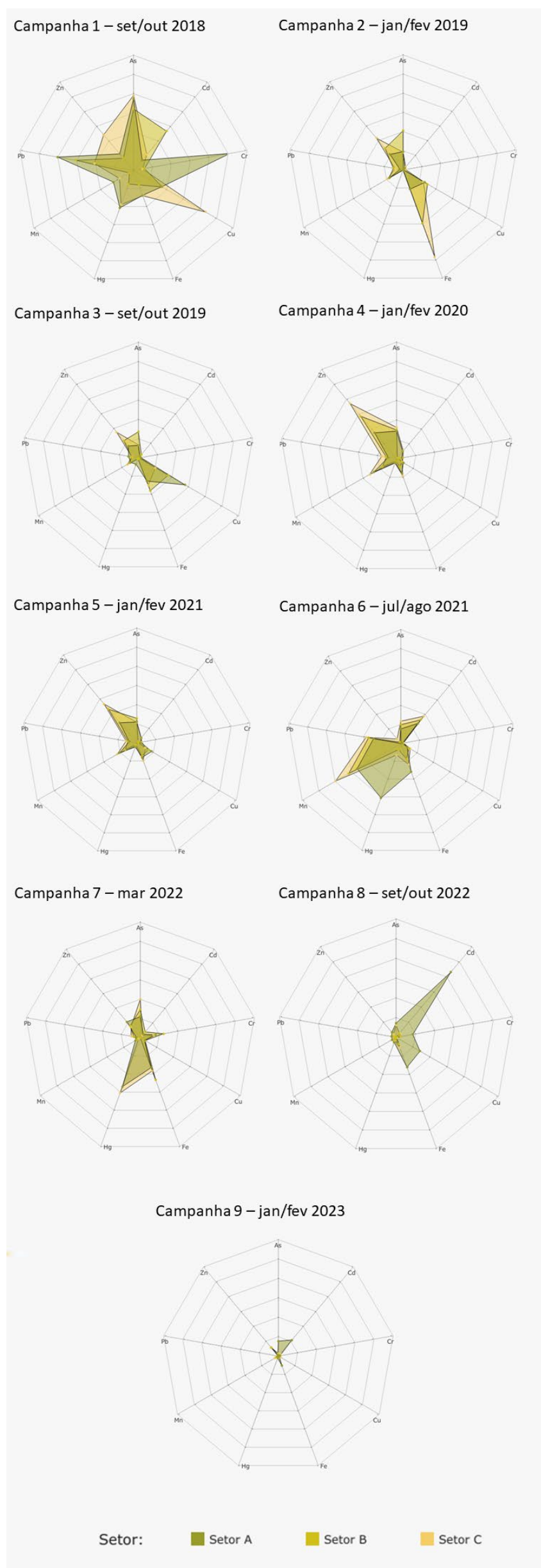
Na Figura 20, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 32,3% e por 20,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 53,0% da variabilidade total dos dados. Observa-se que grande parte dos metais analisados e os que mais contribuíram para a análise estão agrupados nos quadrantes à direita do gráfico. Além disso, os metais As, Cd, Cr, Fe, Al (os quatro metais bioacumulados tanto em anfípodas quanto em isópodas) e Hg (bioacumulado em isópoda) apresentam uma forte associação ao Setor A (ARP e ARR). Já os metais Zn, Ni e Mn (os três metais bioacumulados em anfípodas e isópodas) relacionam-se com os Setores B (DSC, DSR e DNP) e C (DNC, DNU e DNPI) (quadrantes à esquerda).

Figura 21: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Observa-se na Figura 21 que os resultados de IBR bioacumulação obtidos para os pequenos invertebrados da praia apresentam uma tendência de estabilização em seus valores da Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) à Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Destacando que, na Campanha 7 os maiores valores do IBR bioacumulação se encontram no Setor A e C. Entretanto, a partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os valores do índice diminuíram de maneira considerável nos Setores B e C em relação as demais Campanhas do monitoramento, com exceção do resultado do IBR bioacumulação no Setor A, onde o mesmo indicou um leve aumento em relação a Campanha anterior. Já na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) o IBR bioacumulação no Setor A também sofreu uma redução, equiparando-se aos valores baixos do índice no Setor B e C.

Figura 22: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia (anfípodos e isópodos) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



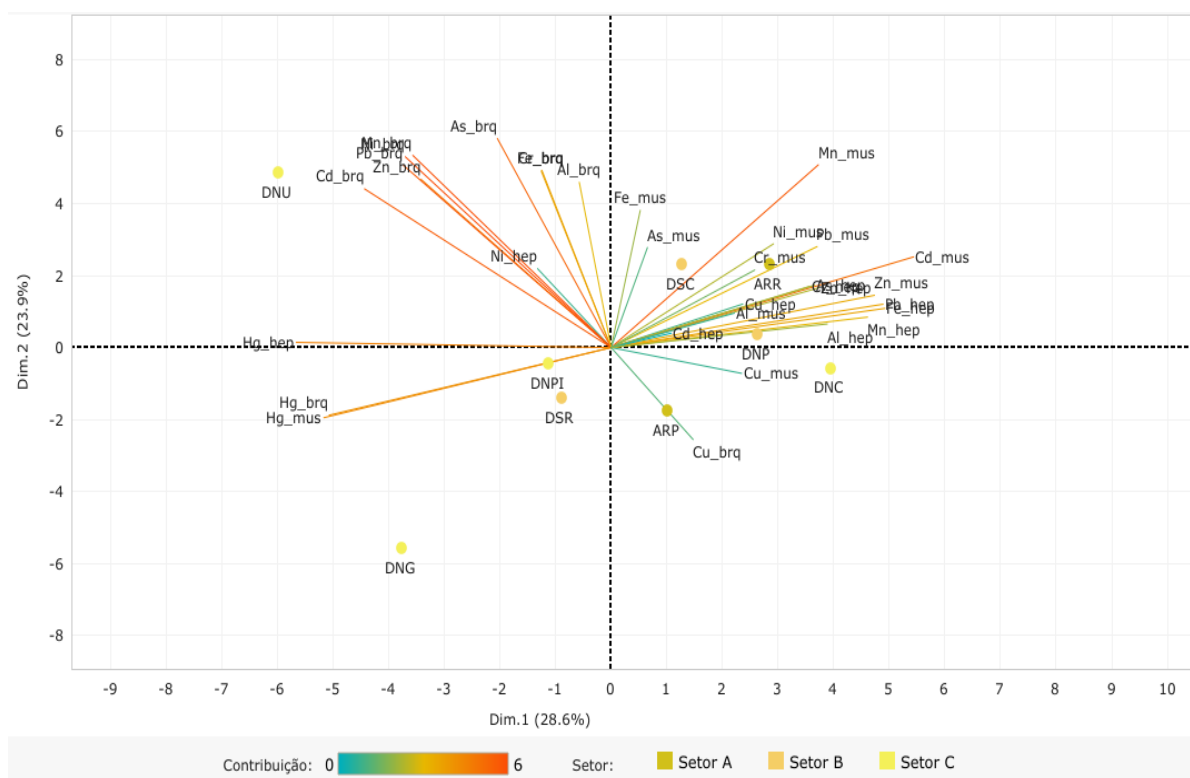
Os gráficos de radar, na Figura 22, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As nos pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) e a contribuição destes para a composição do índice.

Para a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) os metais que mais contribuem para a composição do IBR bioacumulação no Setor A são o Hg, o Fe, o Zn, o As e o Cr. Em relação ao Setor B, os metais que mais contribuem para os valores do índice são o As, o Fe e o Cr. Por último, o índice do Setor C é composto principalmente pelos metais As, Hg e Fe. Dentre os metais que apresentam uma maior contribuição para o índice na Campanha 7, o As e o Fe são comuns aos três setores. Ainda, vale destacar que tanto no IBR bioacumulação do Setor A quanto do Setor B há picos de Hg.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os IBR bioacumulação nos Setores B e C apresentam valores bem baixos e com pouca contribuição dos metais analisados para o índice. Entretanto, o IBR bioacumulação do Setor A é composto pela maior contribuição dos metais Cd, Fe e Cu, com destaque ao Cd que apresenta uma contribuição significativa para o índice nesse Setor.

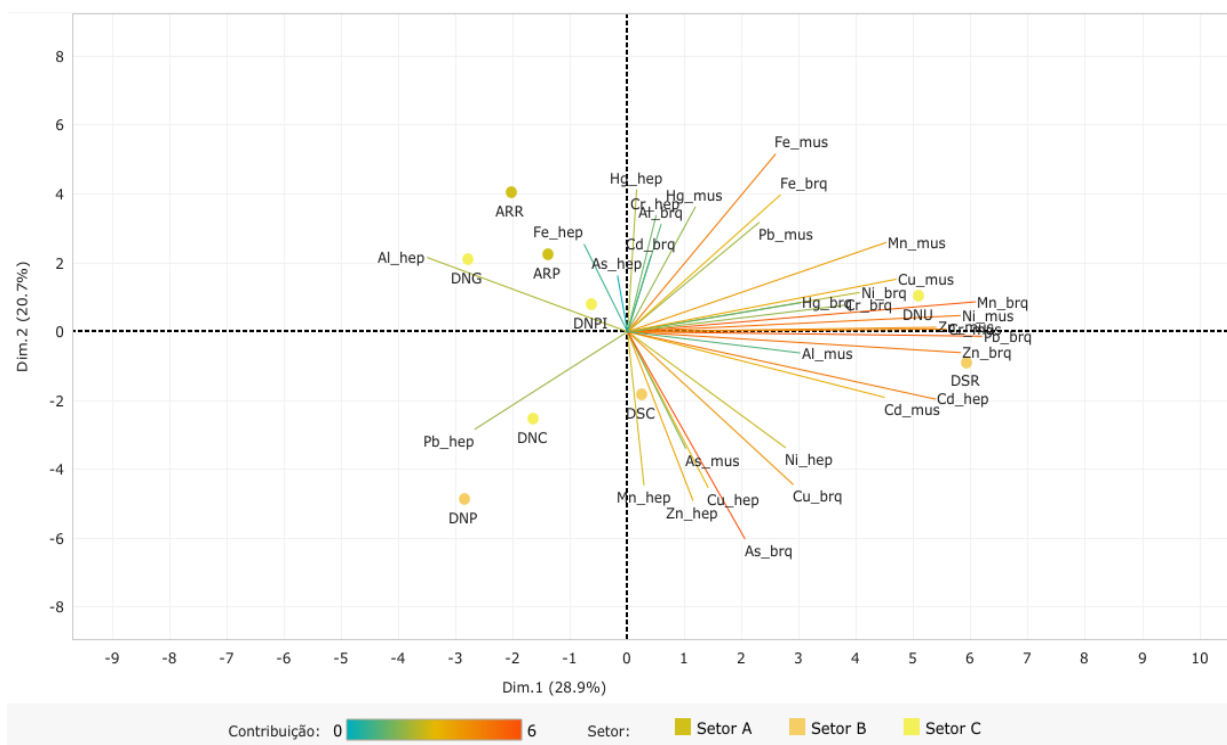
No que diz respeito a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os valores do índice em todos os setores são baixos. No setor A, embora com valores bem baixos, os metais que mais contribuem para a formação do índice são o Cd e o As.

Figura 23: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)]; e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



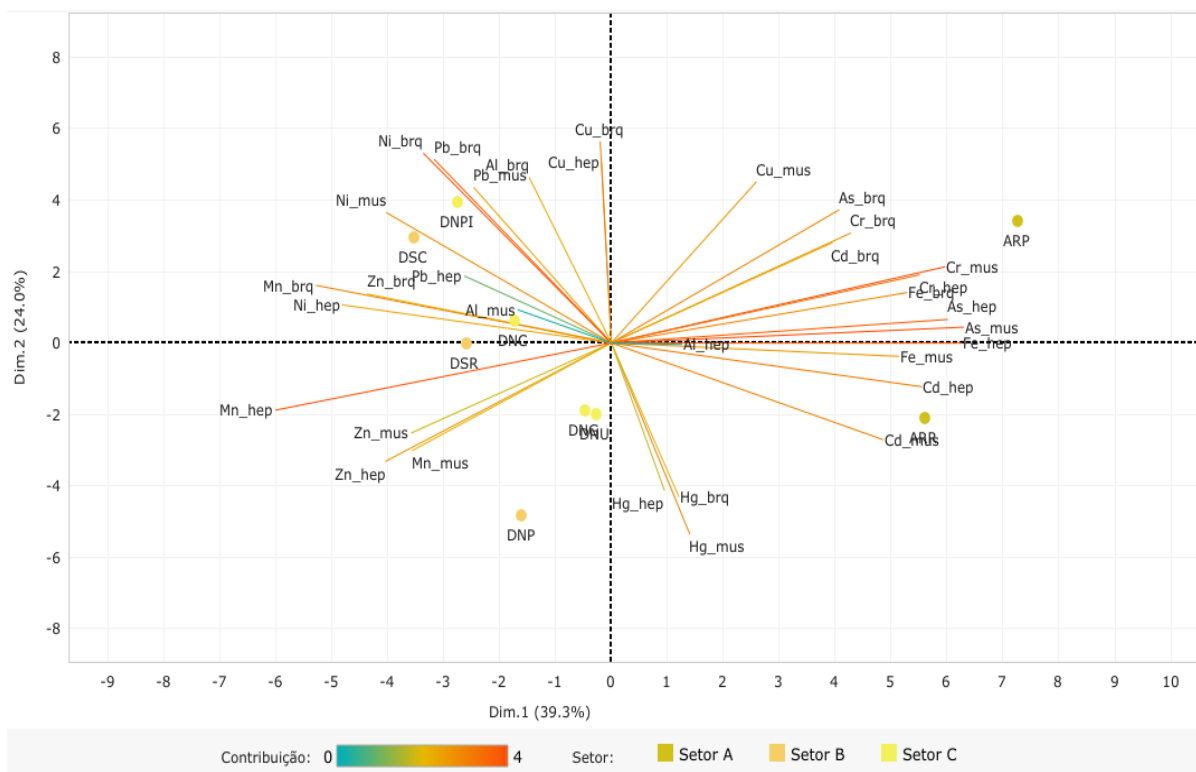
Na Figura 23, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 28,6% e por 23,9%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos caranguejos da praia durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 52,5% da variabilidade total dos dados. A Figura 23 e as que seguem, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As nos caranguejos da praia. Nota-se que os metais que mais contribuem para a PCA encontram-se concentrados no quadrante superior à esquerda e são referentes aos metais nas brânquias dos caranguejos. Além disso, os mesmos metais apresentam uma associação com a estação DNU. No quadrante superior à direita está agrupada a maior parte dos metais analisados e bioacumulados no músculo de caranguejos, os quais estão relacionadas as estações ARR e DSC (setores A e B, respectivamente). Da mesma forma, a maioria dos metais bioacumulados no hepatopâncreas posicionam-se aglomerados no quadrante superior à direita e associados a estação DNP (Setor B).

Figura 24: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)]; e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Na Figura 24, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 28,9% e por 20,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos caranguejos da praia durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 49,6% da variabilidade total dos dados. Analisando a PCA, pode-se observar que a maior parte dos metais e os que apresentaram a maiores contribuições para a análise estão concentrados nos quadrantes à direita do gráfico. Destaca-se que a estação DNU (Setor C), que apresenta uma forte relação com metais em brânquias e músculo, sendo os metais comuns aos dois tecidos Ni, Cr e Mn. Além disso nesta estação há uma grande bioacumulação de Zn e Cu em músculo de caranguejos. Por outro lado, as estações do Setor B apresentam relações com metais nos três tecidos, isto é: a estação DSR associa-se com os metais Zn e Pb em brânquias, e também Cd em músculo e hepatopâncreas; a estação DSC associa-se com As em brânquias e em músculo, Cu em brânquias e hepatopâncreas, e Mn e Zn em hepatopâncreas de caranguejos. O Setor A (ARR e ARP), encontra-se no quadrante superior à esquerda e demonstrou associação com os metais Al e Fe em hepatopâncreas.

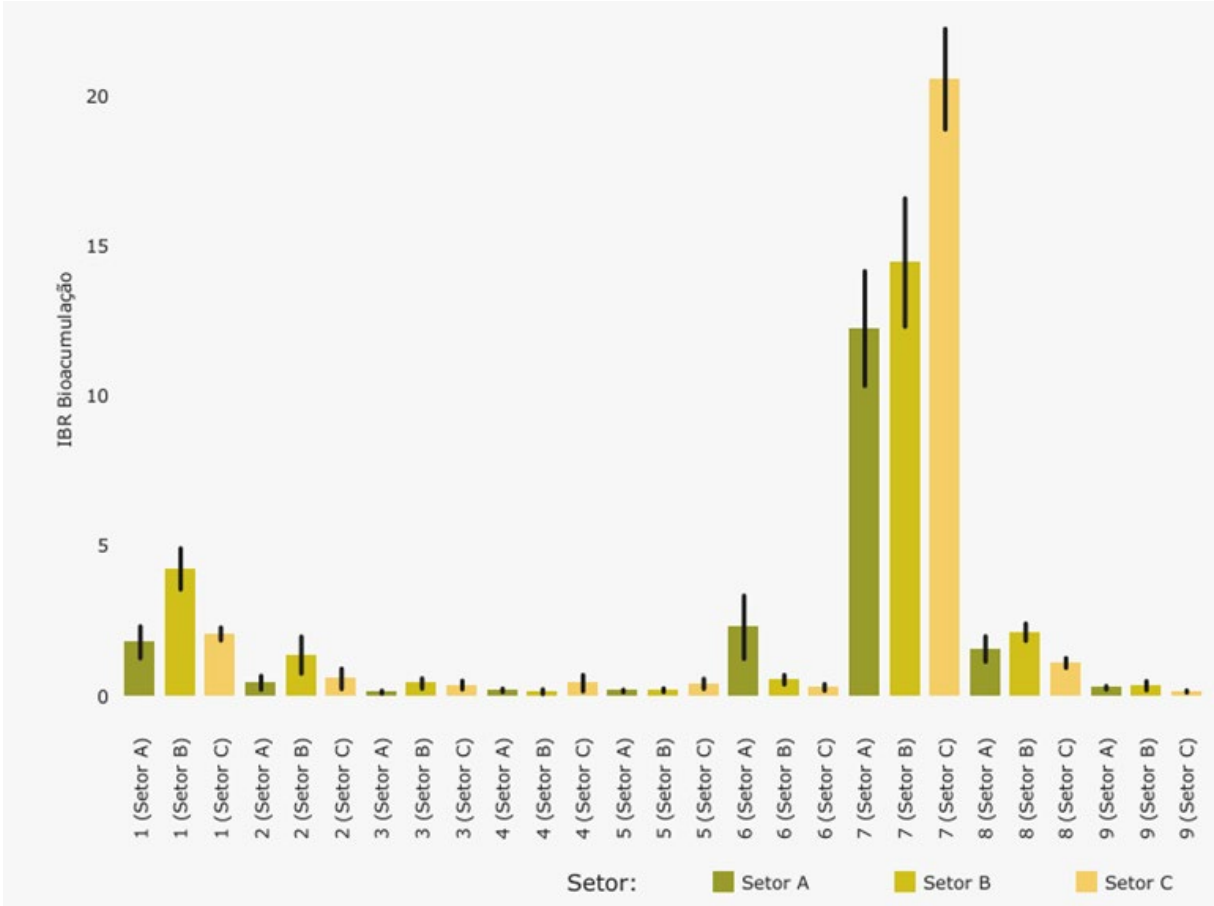
Figura 25: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de brânquias (_brq), de hepatopâncreas (_hep) e de músculo (_mus) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)]; e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Na Figura 25, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 39,3% e por 24,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nos caranguejos da praia durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 64,0% da variabilidade total dos dados. Analisando a PCA, pode-se observar que a maior parte dos metais e os que apresentaram as maiores contribuições para a análise estão concentrados nos quadrantes à direita do gráfico. Nota-se que as estações do Setor A (ARP e ARR) estão concentradas nos quadrantes à direita (superior e inferior) e as mesmas apresentam uma associação com os metais As, Cr, Cd e Fe bioacumulados nos três tecidos analisados de caranguejo. Posicionadas nos quadrantes à esquerda (superior e inferior) as estações do Setor B (DNP, DSR e DSC) demonstram uma associação com os metais Zn, Mn e Ni em brânquias, músculo e hepatopâncreas de caranguejo. Em relação ao Setor C (DNC e DNPI), no quadrante superior à esquerda, o mesmo se relaciona com Al, Ni e Pb em brânquias e em músculo, Ni e Cu no hepatopâncreas e Mn nas brânquias de caranguejos.

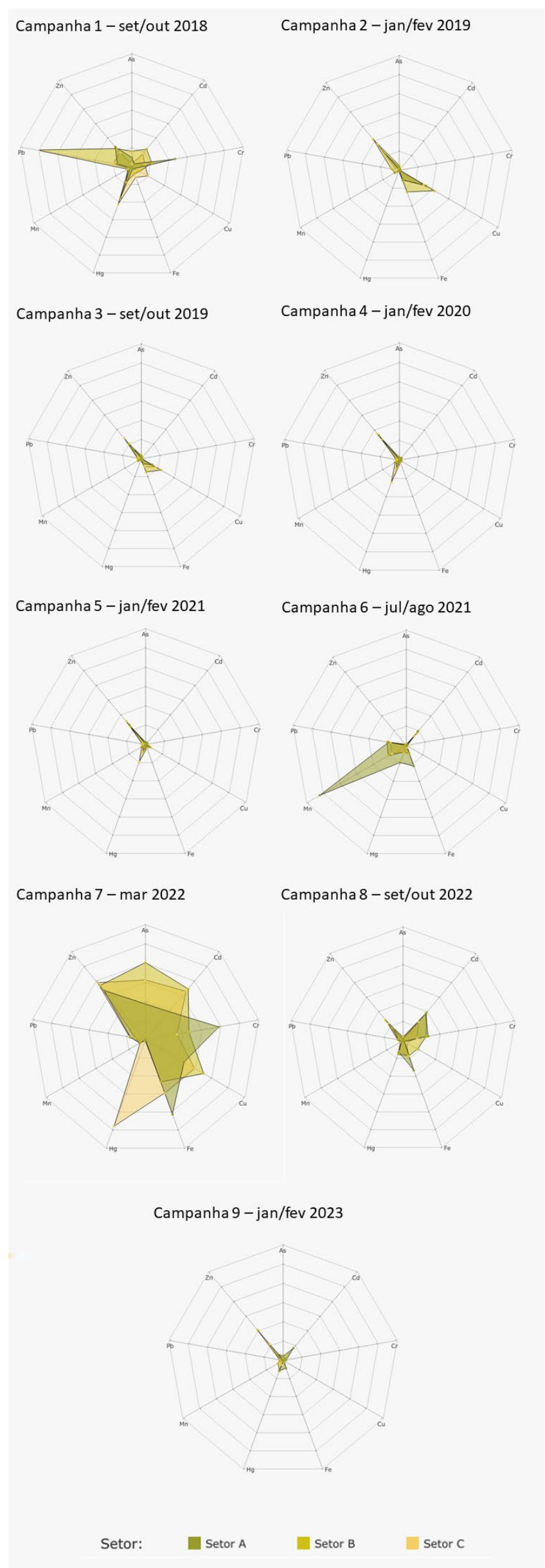
Figura 26: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19.

Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR bioacumulação para caranguejos de praia, na Figura 26, durante todas as Campanhas do monitoramento é possível observar que há um pico em relação aos valores do índice durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), na qual encontram-se os maiores valores para os três setores avaliados, com destaque para o Setor C. A partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os valores do IBR bioacumulação diminuíram de maneira considerável em todos os setores e demonstram uma tendência de queda em seus valores quando se considera a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso).

Figura 27: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmiu (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Os gráficos de radar, na Figura 27, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As nos caranguejos da praia e a contribuição destes para a composição do índice.

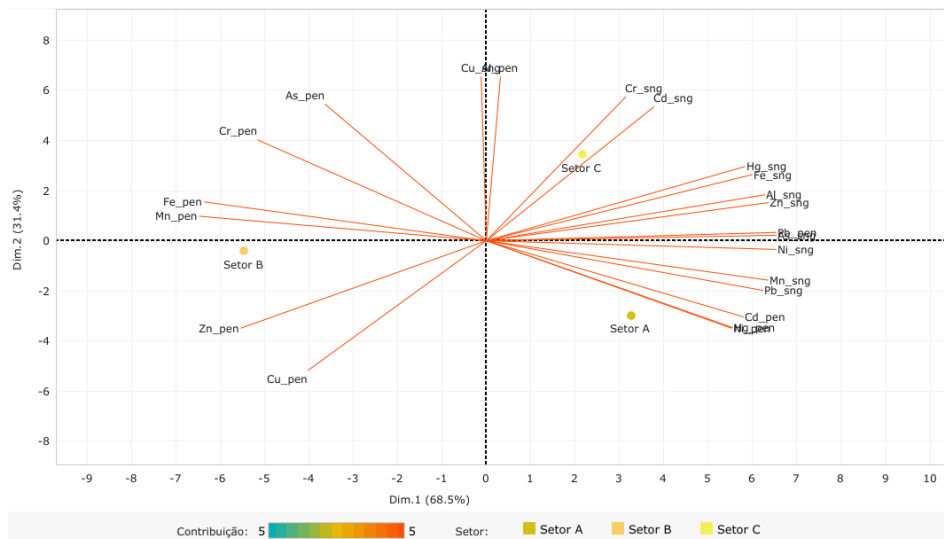
Para a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) os metais que mais caracterizam o IBR bioacumulação no Setor A são o Zn, o Cr e o Fe. Em relação ao Setor B, os metais que mais contribuem para os valores do índice são o Zn, o As, o Cd, o Cu e o Fe. Por último, o índice do Setor C é composto principalmente pelos metais Zn, o As, o Cd, o Cu, o Fe e o Hg. Dentre os metais que apresentam uma maior contribuição para o índice na Campanha 7, o Zn é comum aos três setores. Ainda, vale destacar que no Setor C há um pico do metal Hg, o qual está presente apenas neste Setor.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os IBR bioacumulação nos Setores A, B e C apresentam valores bem menores comparado a Campanha 7 e os metais que caracterizaram estes três setores foram os mesmos, Zn, Cd, Cr, Fe e Hg. Além disso, o metal Cd apresenta uma contribuição relevante ao índice para os três setores, nesta Campanha 8.

A Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) apresenta resultados bem baixos para o IBR bioacumulação para todos os setores. O metal Zn contribui para o índice em todos os Setores, sendo o metal mais característico no Setor B e C. O metal que mais contribui para o IBR bioacumulação no Setor A é o Cd.

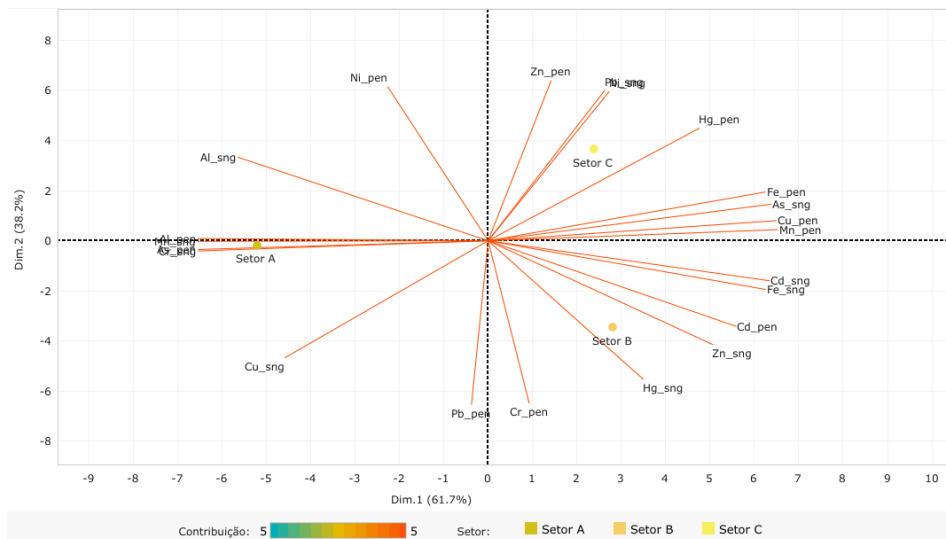
Em uma análise mais global, vale ressaltar que o metal Zn está presente na maior parte das Campanhas ao longo de todo o monitoramento.

Figura 28: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de penas (_pen) e sangue (_sng) de aves coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário) e Setor C (Costeiro).



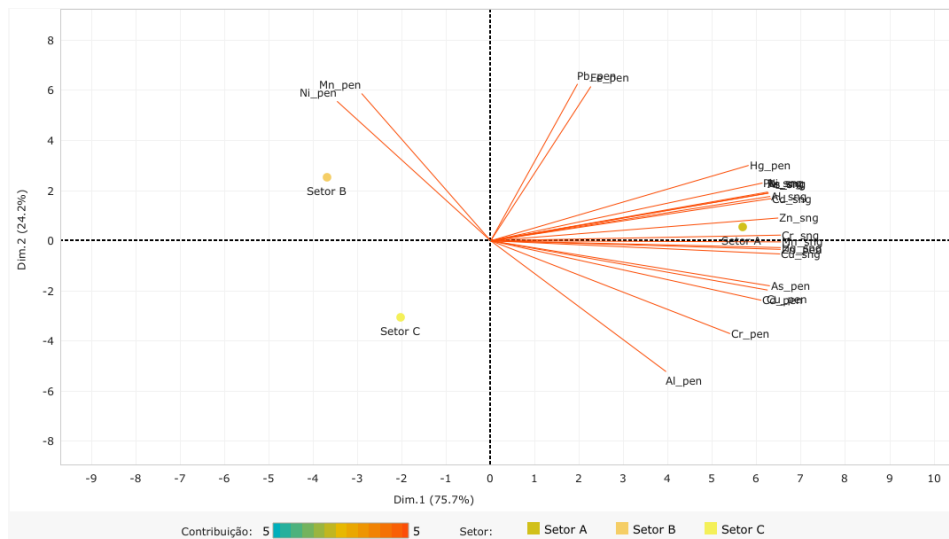
Na Figura 28, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 68,5% e por 31,4%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas aves durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 99,9% da variabilidade total dos dados. A Figura 28 bem como as a seguir, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de metais e As nas aves. Avaliando o gráfico pode-se observar que há padrões de bioacumulação de metais em penas e sangue, em que os metais bioacumulados nas penas se encontram agrupados nos quadrantes à esquerda (superior e inferior), enquanto os metais bioacumulados no sangue estão agrupados nos quadrantes à direita (superior e inferior). O Setor A (Mangue) está associado tanto a metais bioacumulados no sangue (Ni, Mn e Pb), como metais bioacumulados nas penas (Cd, Hg e Ni). O Setor C (Costeiro) representa os metais (As, Al, Zn, Hg, Fe, Cd e Cr) bioacumulados no sangue. Já o Setor B (Estuário) está bastante relacionado aos metais presentes nas penas (Fe, Mn, Zn e Cu).

Figura 29: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de penas (_pen) e sangue (_sng) de aves coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário) e Setor C (Costeiro).



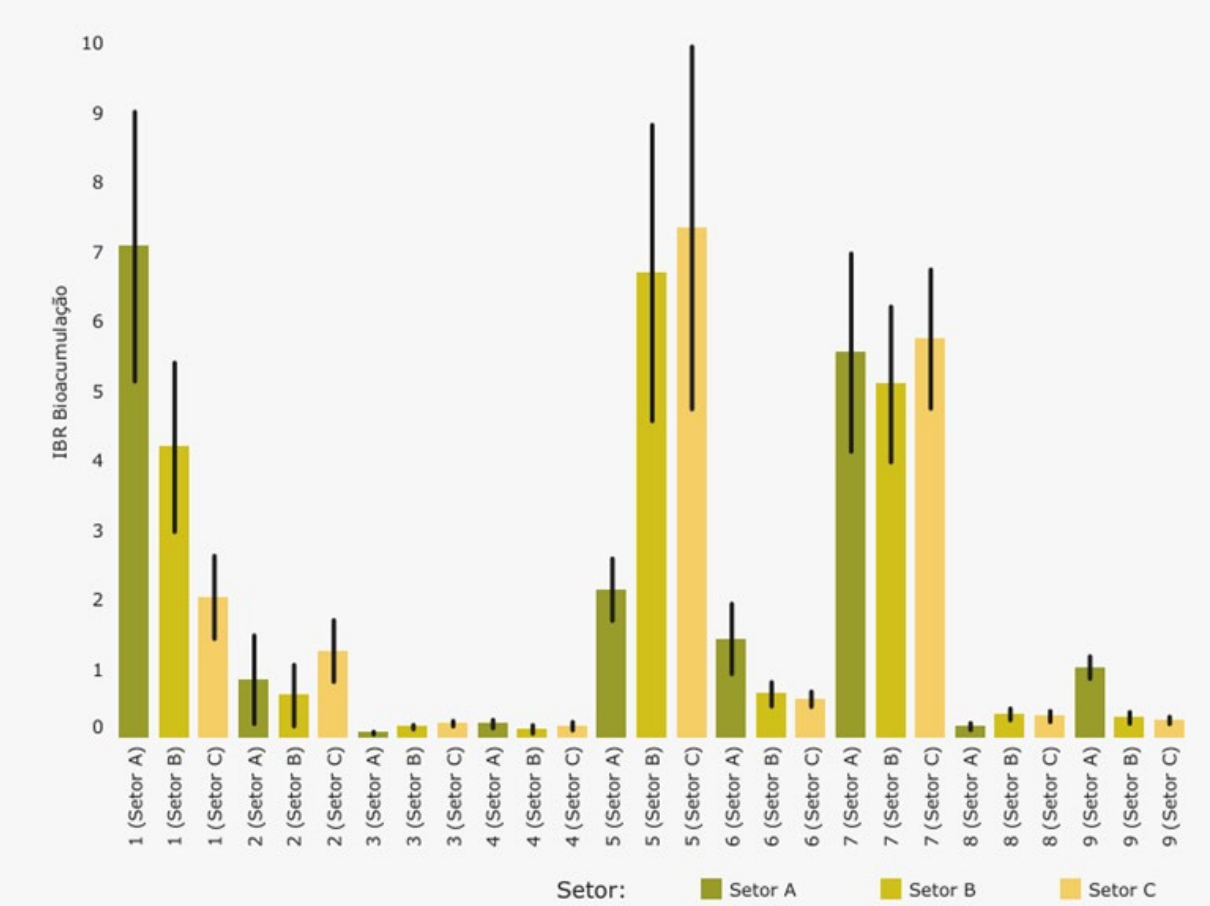
Na Figura 29, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 61,7% e por 38,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas aves durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 99,9% da variabilidade total dos dados. Observa-se que para esta Campanha houve uma contaminação difusa em todos os setores, ou seja, os três setores estão associados a contaminação tanto no sangue quanto nas penas de aves. O Setor A (mangue), no quadrante inferior à esquerda, é representado pelos metais Al e As nas penas, e os metais Mn, Cr, Al e Cu no sangue. O Setor B (Estuário), no quadrante inferior à direita, está relacionado aos metais Cr e Cd bioacumulados nas penas, e os metais Hg e Zn bioacumulados no sangue das aves. Ainda, o Setor C (Costeiro), no quadrante superior à direita, apresenta associação com os metais Zn e Hg em penas, e os metais Pb e Ni no sangue.

Figura 30: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração dos elementos Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) nas amostras de penas (_pen) e sangue (_sng) de aves coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário) e Setor C (Costeiro).



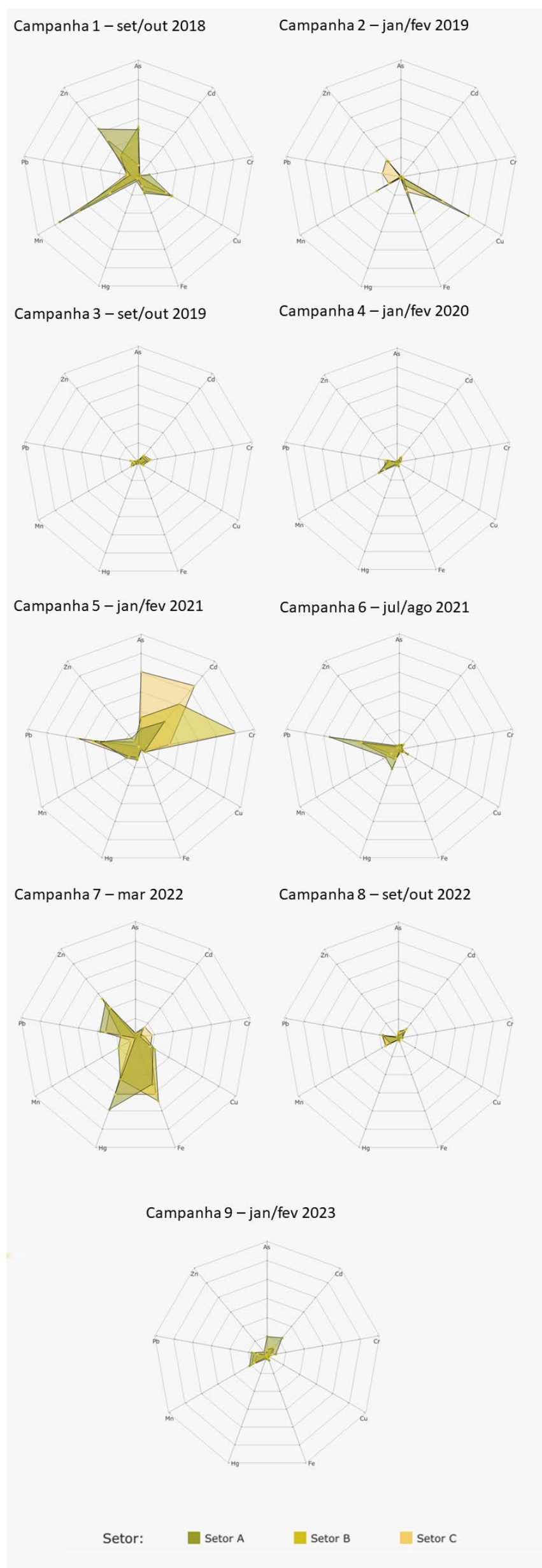
Na Figura 30, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 75,7% e por 24,2%, respectivamente, da variabilidade da concentração de metais e As nas aves durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 99,9% da variabilidade total dos dados. Todos os metais analisados estão concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior), com exceção dos metais Ni e Mn bioacumulados em penas que se encontram no quadrante superior à esquerda. Os metais bioacumulados no sangue de aves estão fortemente associados ao Setor A (mangue). Os metais bioacumulados em penas de aves que estão relacionados ao Setor A são o Hg, Zn, As, Cu e Cd.

Figura 31: Valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de pena e sangue de aves coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário); e Setor C (Costeiro).



O gráfico de barras dos valores do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos de bioacumulação dos metais e As nas aves, ao longo de todo o monitoramento.. De maneira global, na Figura 31, observa-se que há alternâncias entre Campanhas com grandes aumentos dos valores de IBR bioacumulação em todos os setores e Campanhas com grandes diminuições dos mesmos em todos os setores. Estas alternâncias não apresentam nenhum padrão sazonal, pois os aumentos e diminuições dos valores do índice ocorrem tanto em períodos secos como chuvosos.

Figura 32: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) determinados para amostras de pena e sangue de aves coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn) . Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário) e Setor C (Costeiro).

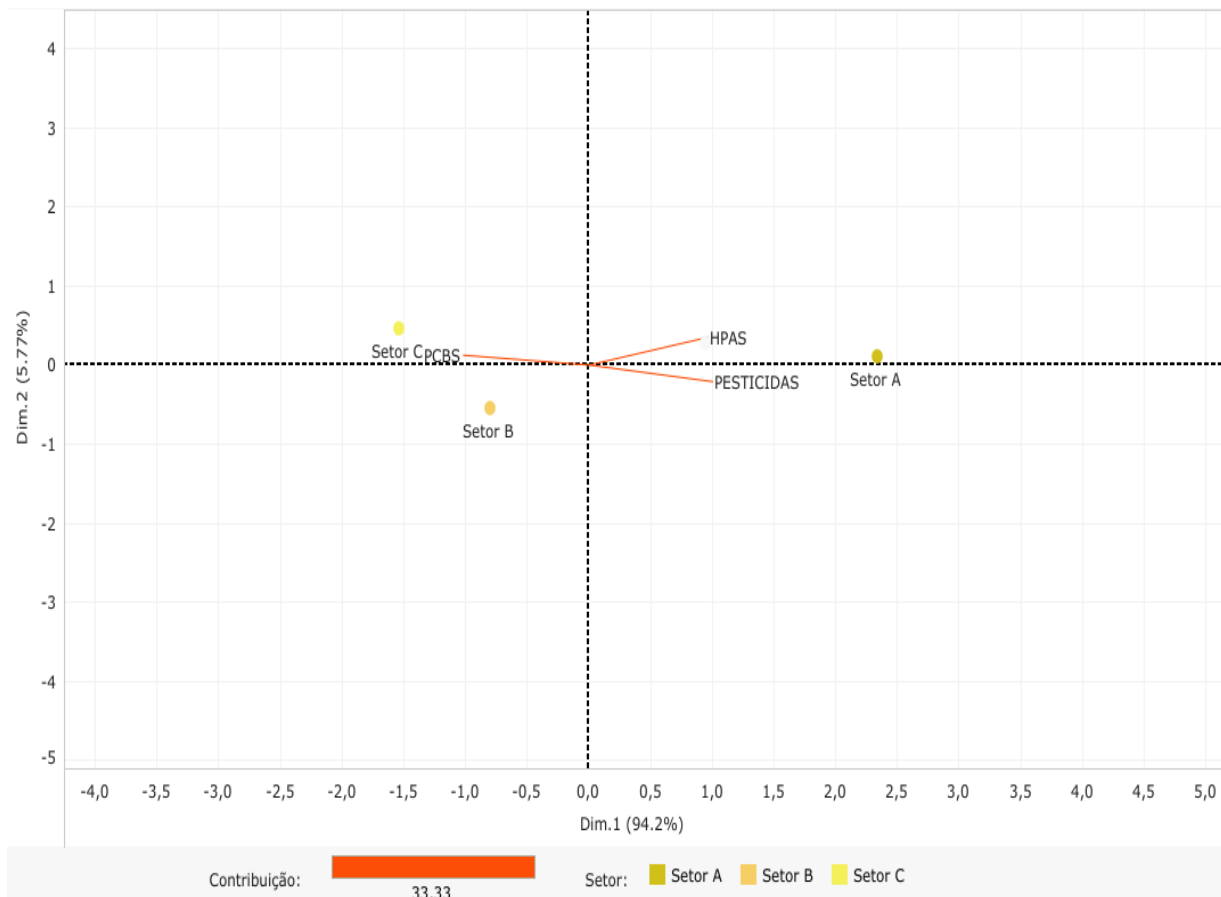


Os gráficos de radar, na Figura 32, obtidos a partir do Índice de bioacumulação de metais e As (IBR bioacumulação) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e As nos caranguejos da praia e a contribuição destes para a composição do índice.. Nota-se que na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) nos três Setores (A- Mangue, B- Estuário e C- Costeiro) há a contribuição significativa dos metais Zn, Pb, Hg e Fe para o IBR bioacumulação.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os valores dos IBR bioacumulação são bem baixos quando comparados à Campanha 7. Ainda, tanto para o Setor B, quanto para o Setor C os metais mais característicos são Pb, Mn e Cd. Ainda para o Setor A, os metais Pb e Mn são os que mais contribuem para o índice. Pontua-se que o Pb e o Mn são os metais que mais caracterizam os IBR bioacumulação dos três Setores nesta Campanha.

Para a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) o Setor A apresenta um leve aumento no valor do IBR bioacumulação, o qual é caracterizado pelos metais As, Cd, Pb e Mn. Os Setores B e C apresentam os mesmos padrões de contribuição de metais (Cd, Pb e Mn) para o índice. Vale reassaltar que os metais mais significativos e que são comuns aos três setores nesta campanha são o Cd Pb e Mn. Além disso, o Pb se destaca, pois se mostra presente em todos os setores nessas três Campanhas aqui discutidas.

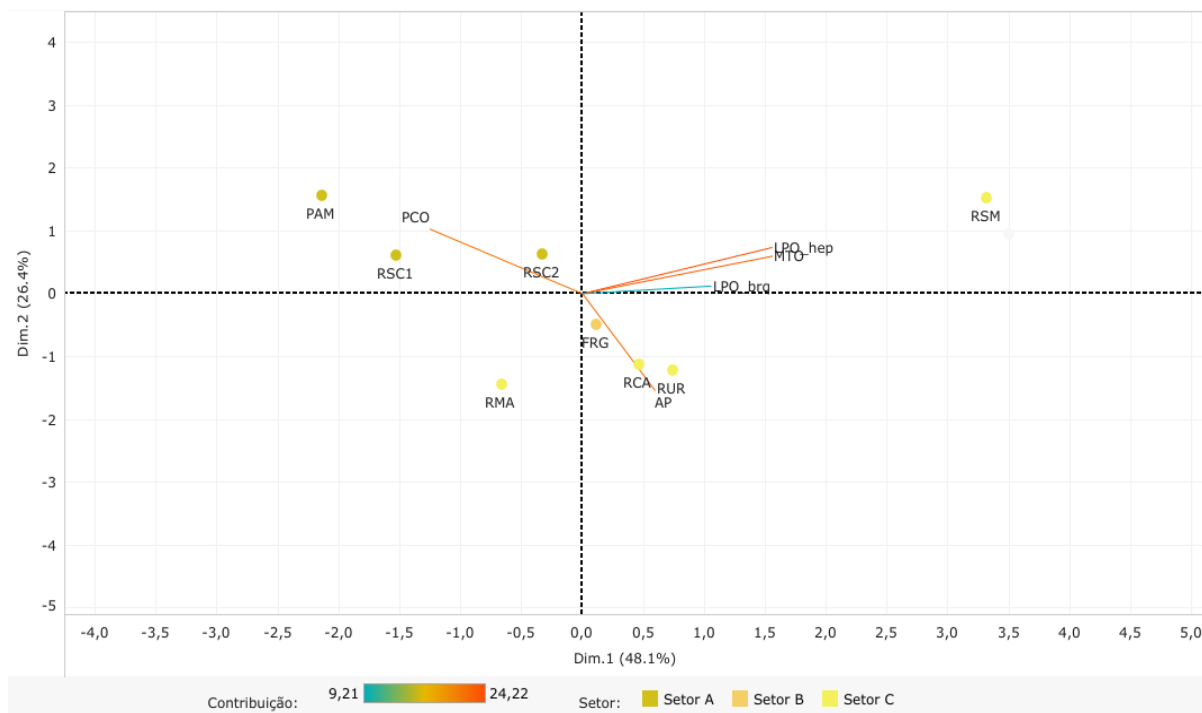
Figura 33: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para os dados de concentração de bifenilos policlorados (PCBs), de pesticidas e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em amostras de sangue de aves coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário) e Setor C (Costeiro).



Na Figura 33, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 94,2% e por 5,7%, respectivamente, da variabilidade da concentração de bifenilos policlorados (PCBs), de pesticidas e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) nas aves durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 99,9% da variabilidade total dos dados. A Figura 33 e as demais a seguir, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis de concentração de PCBs, de pesticidas e HPAs nas aves. Analisando o gráfico de PCA, pode-se notar que HPAs e pesticidas se encontram nos quadrantes superior e inferior à direita, respectivamente, e estão associados ao Setor A (Mangue). Já o Setor B (Estuário) demonstra uma associação aos PCBs (quadrante superior à esquerda).

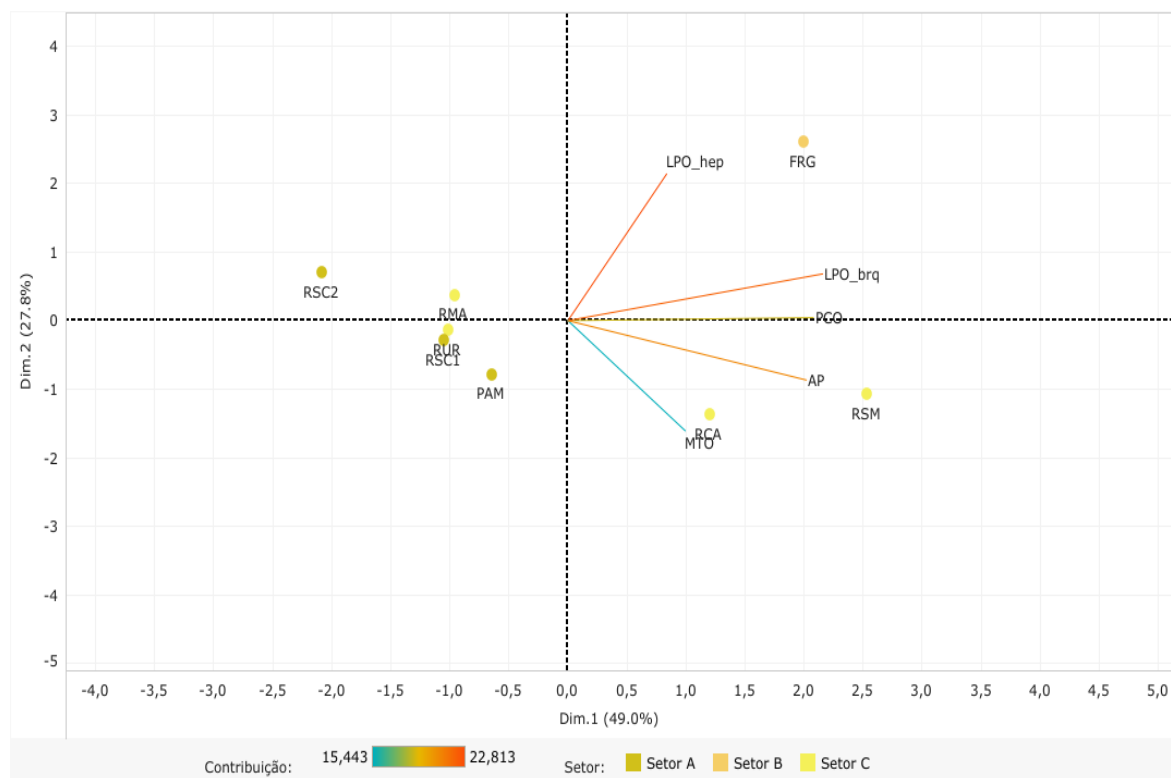
2.3 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA (IBR BIOMARCADOR)

Figura 34: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



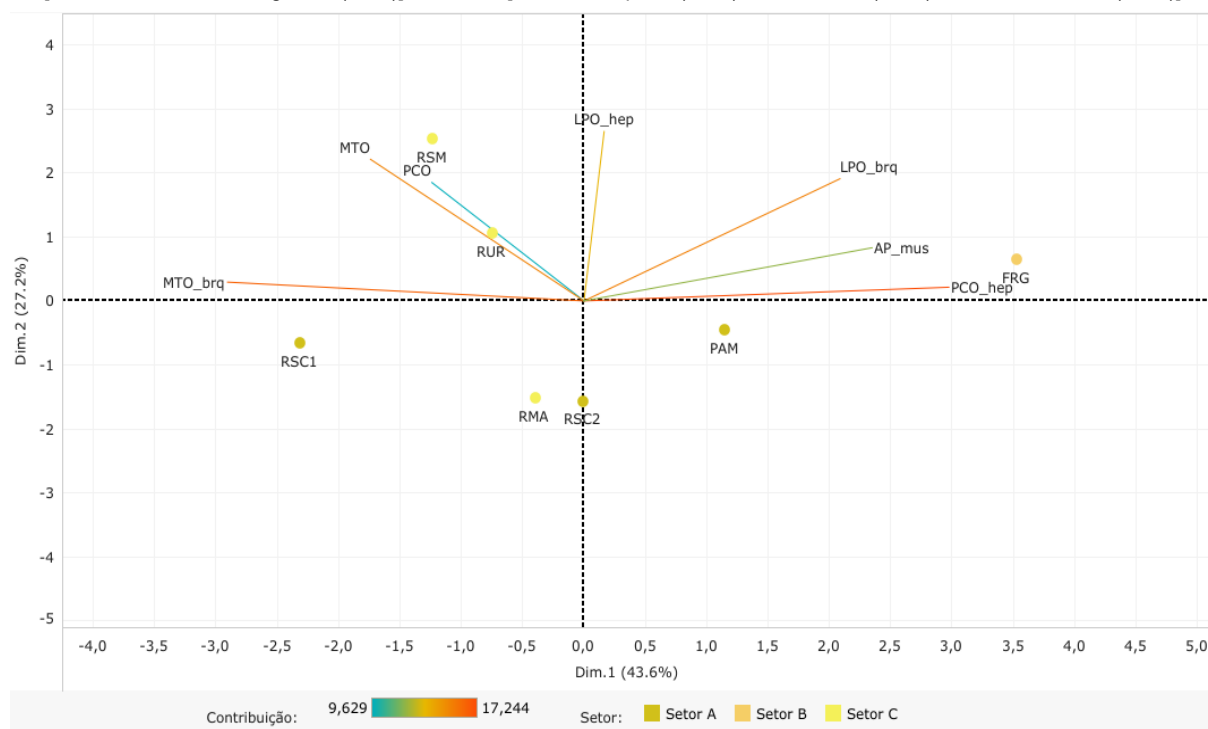
Na Figura 34, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 48,1% e por 26,4%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no caranguejo do manguezal durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 74,5% da variabilidade total dos dados. Nota-se que o Setor C (RSM) apresenta uma grande associação com efeitos nos biomarcadores LPO e MTO no hepatopâncreas, ainda no mesmo Setor (RCA e RUR) tem uma forte associação com impactos nos sítios AP. Por ultimo, as estações do Setor A (RSC1 e PAM) demonstram uma relação com o biomarcador PCO no músculo dos caranguejos do manguezal.

Figura 35: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



Na Figura 35, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 49,0% e por 27,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no caranguejo do manguezal durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 76,8% da variabilidade total dos dados. Analisando a PCA, observa-se que todos os biomarcadores estão concentrados nos quadrantes à direita (superior e inferior). O efeito da contaminação nos biomarcadores LPO nas brânquias e no hepatopâncreas, como também no biomarcador PCO no músculo dos caranguejos estão presentes no Setor B (FRG). Já o Setor C está bastante associado com os valores dos biomarcadores PCO no músculo, sítios AP na hemolinfa (RSM) e MTO no hepatopâncreas (RCA).

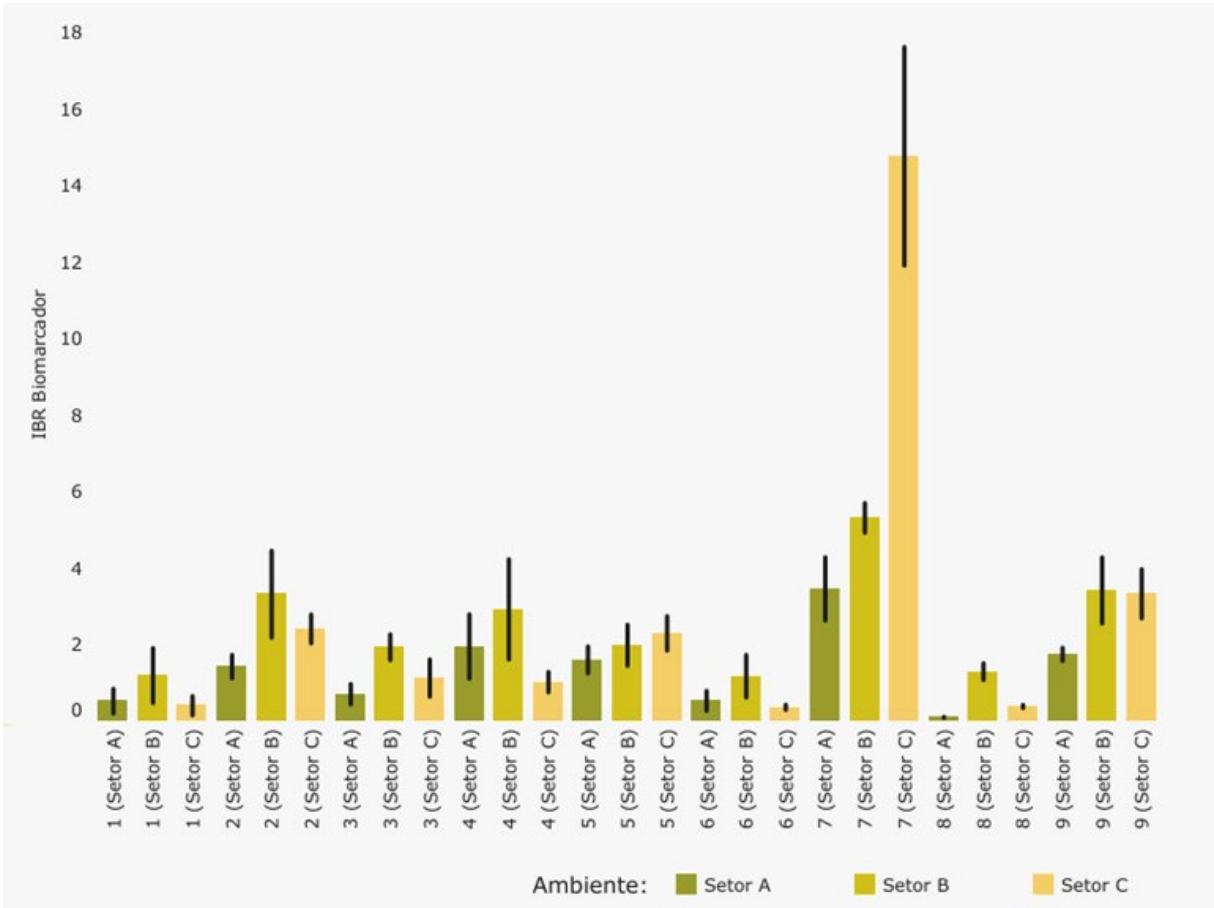
Figura 36: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas nas brânquias (MTO_brq) e no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no hepatopâncreas (PCO_hep) e no músculo (PCO); e de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no músculo (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA) e Rio São Mateus (RSM)].



Na Figura 36, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 43,6% e por 27,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no caranguejo do manguezal durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 70,8% da variabilidade total dos dados. Destaca-se que todos os biomarcadores analisados estão agrupados nos quadrantes superiores (esquerda e direita) da PCA. O Setor B (FRG) apresenta uma forte relação com os valores de LPO nas brânquias, AP no músculo e PCO no hepatopâncreas de caranguejos. Os resultados dos biomarcadores MTO nas brânquias e PCO no hepatopâncreas refletem as condições dos caranguejos no Setor A (RSC1 e PAM, respectivamente). Já o Setor C (RSM e RUR) apontam para respostas dos biomarcadores MTO no hepatopâncreas e PCO no músculo dos caranguejos.

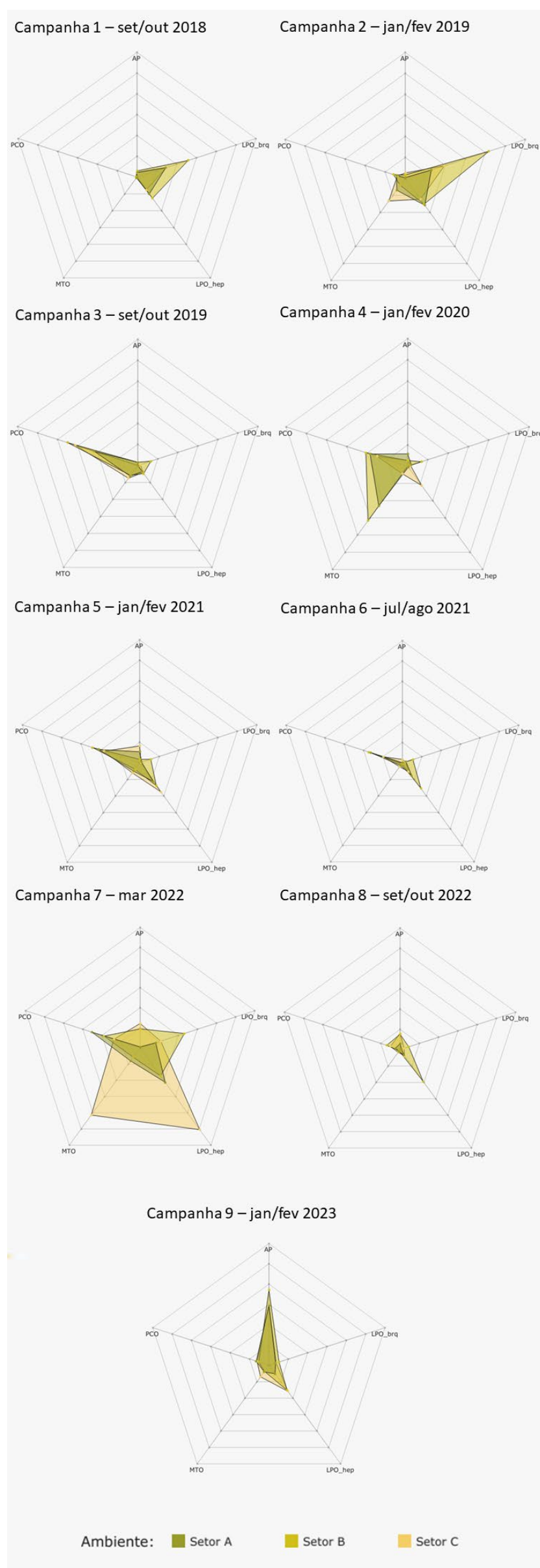
Figura 37: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19.

Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores no caranguejo do manguezal, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR biomarcador para o caranguejo do manguezal, na Figura 37, é possível notar uma sazonalidade nos valores do índice. Há uma alternância dos valores do IBR biomarcador, onde os maiores resultados encontram-se nos períodos chuvosos e os menores no período seco. Ainda, ao longo do monitoramento, os valores mais proeminentes estão no Setor B (FRG), com exceção das Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso) e Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), em que os maiores valores do índice estão no Setor C.

Figura 38: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da campanha 1 a 8 na hemolinfa e na campanha 9 no músculo (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1), Revis Santa Cruz 2 (RSC2) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA)].



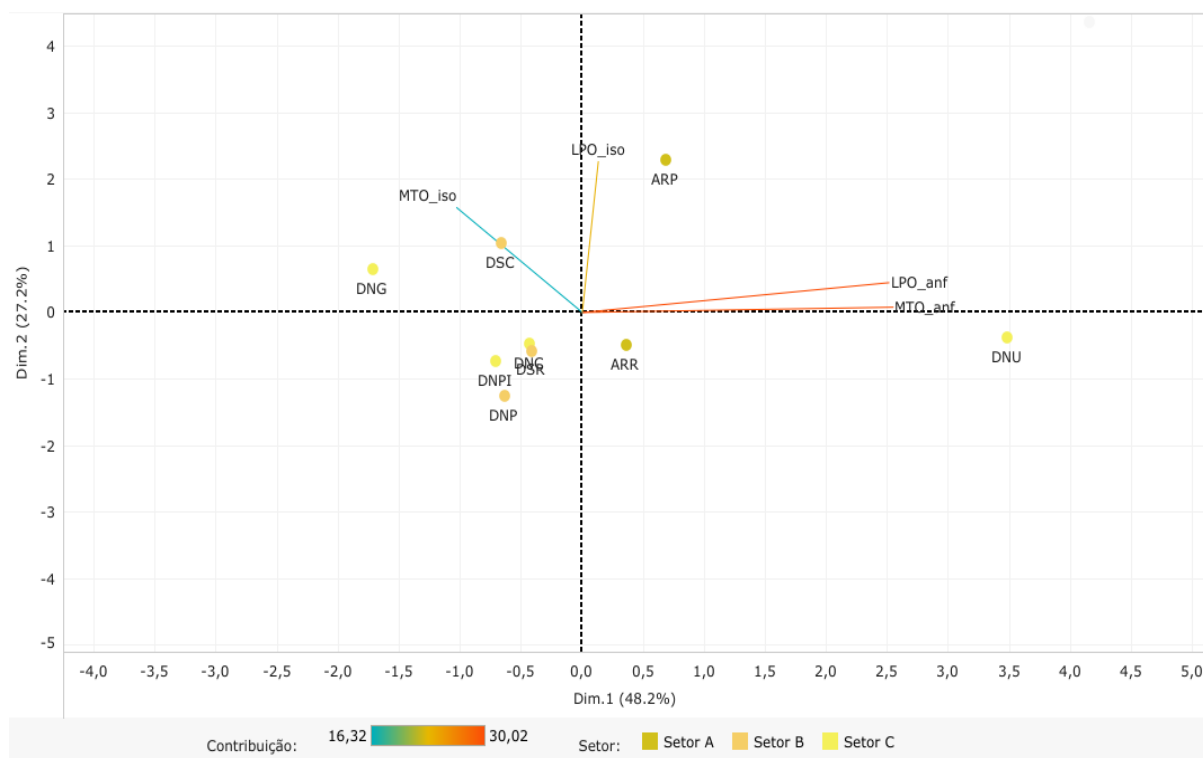
Os gráficos de radar, na Figura 38, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no caranguejo do manguezal e a contribuição destes para a composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) os biomarcadores que mais contribuem para a composição do índice no Setor A são o PCO no músculo, MTO no hepatopâncreas, LPO no hepatopâncreas e LPO nas brânquias. Em relação ao Setor B os biomarcadores que mais contribuíram para o peso do IBR biomarcador são o PCO no músculo, MTO no hepatopâncreas, LPO no hepatopâncreas, LPO nas brânquias e o sítio AP na hemolinfa dos caranguejos. Por fim, os biomarcadores MTO no hepatopâncreas e LPO no hepatopâncreas apresentam picos em seus valores no Setor C. Além disso, os biomarcadores PCO no músculo, AP na hemolinfa e LPO nas brânquias, embora com resultados menores, também contribuem para o índice no Setor C.

Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) o Setor B é o que apresenta o maior valor de IBR biomarcador, em que análise LPO no hepatopâncreas é a que mais contribui para o resultado do índice.

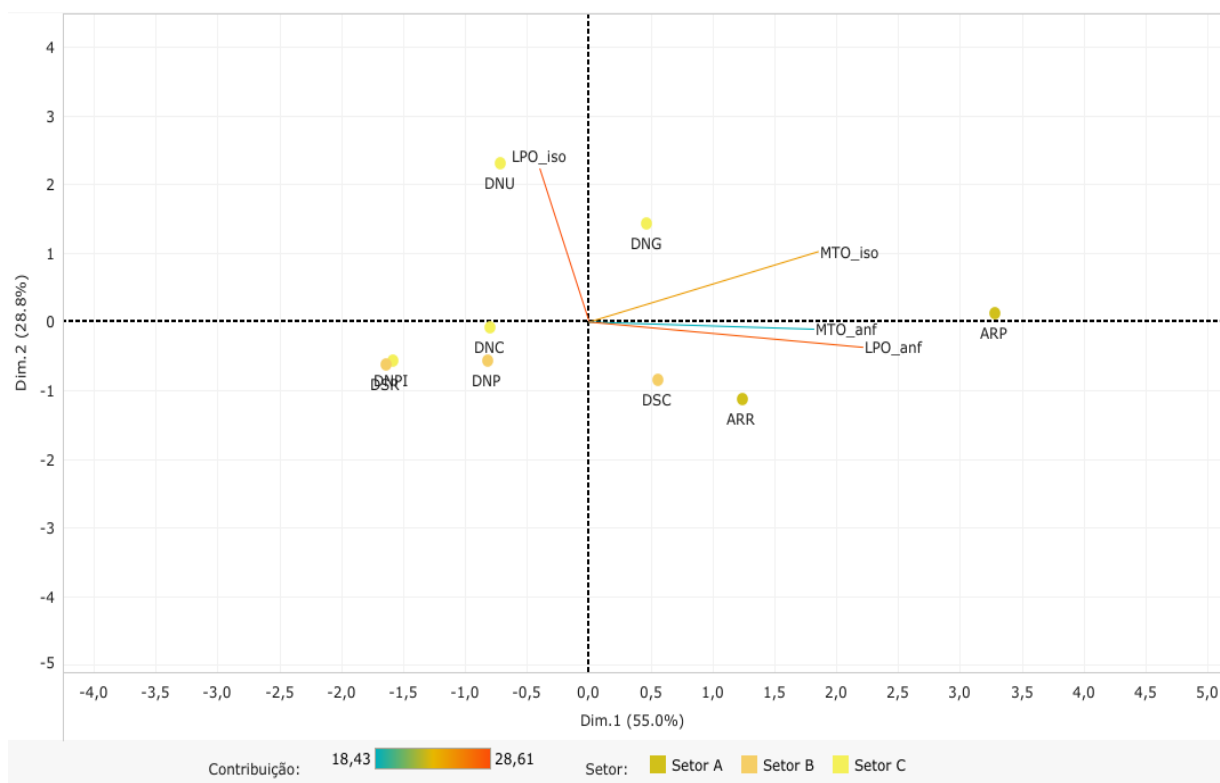
Já para a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) há picos de valores da análise de sítios AP para os três Setores avaliados. Ainda, o biomarcador LPO no hepatopâncreas dos caranguejos caracterizou os valores do IBR biomarcador para os Setores B e C.

Figura 39: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodos(_iso)] coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



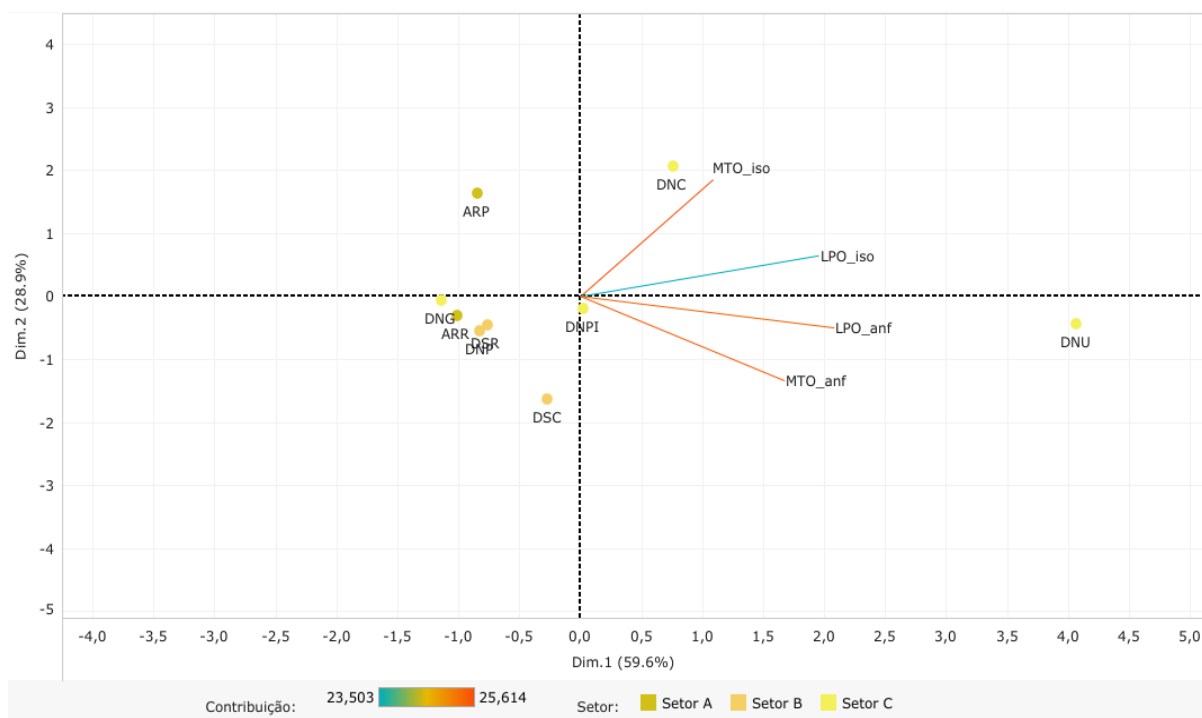
Na Figura 39, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 48,2% e por 27,2%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos pequenos invertebrados da praia durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 75,4% da variabilidade total dos dados. A Figura 39 e as demais a seguir, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores nos pequenos invertebrados da praia. No quadrante superior à direita, encontram-se as análises de biomarcadores que mais contribuem para a PCA, estas análises representam o estresse fisiológico em anfípodas (LPO e MTO) e elas estão fortemente associadas a estação DNU do Setor C. Além disso, a estação DNG, também pertencente ao Setor C, bem como a estação DSC do Setor B, apresentam uma associação ao biomarcador MTO em isópodos. A estação ARP (Setor A) relaciona-se com LPO em isópodos.

Figura 40: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodas(_iso)] coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



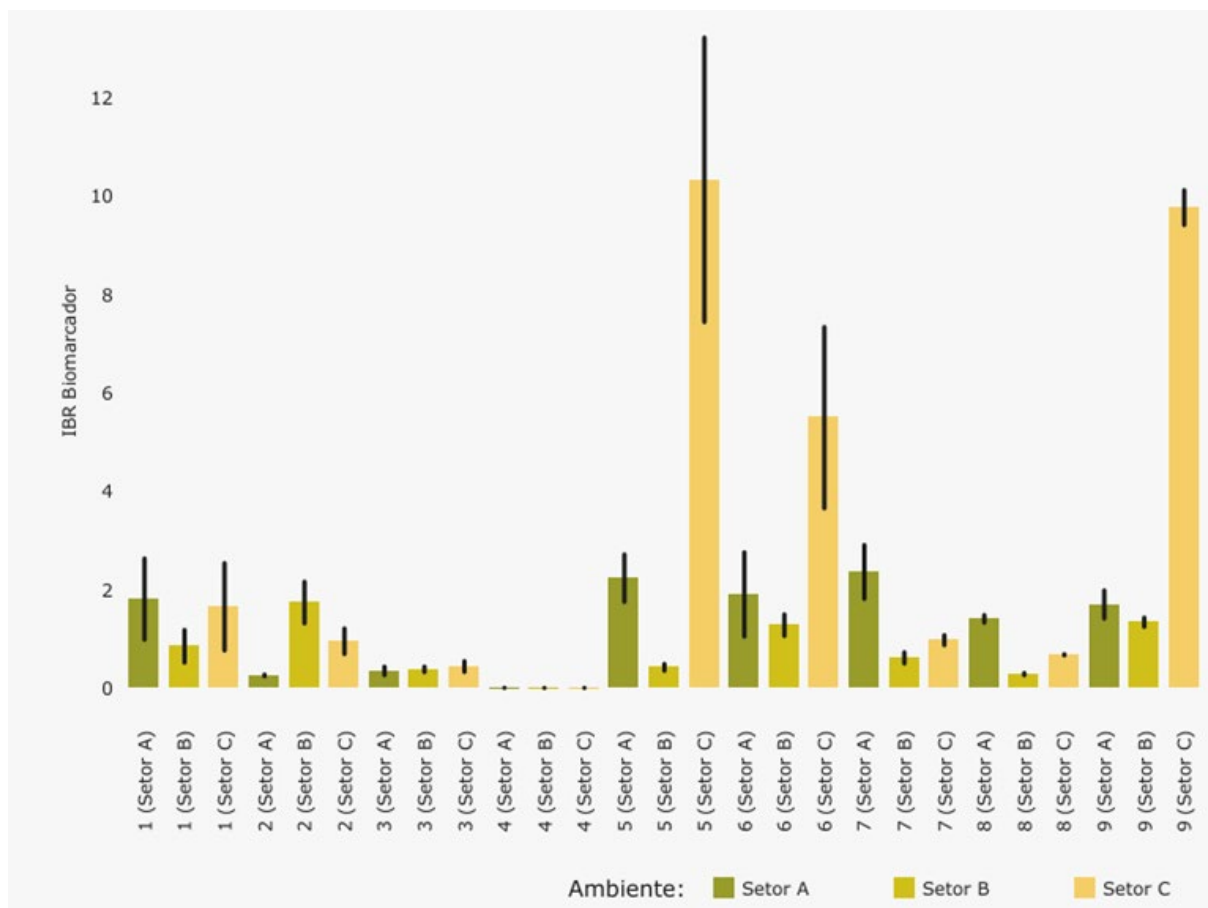
Na Figura 40, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 55,0% e por 28,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos pequenos invertebrados da praia durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 83,8% da variabilidade total dos dados. Observa-se que o Setor C (DNU e DNG) está relacionado com os valores de LPO em isópodas, enquanto que o Setor A demonstra estar associado com as análises de biomarcadores MTO em isópodas (ARP), MTO em anfípodas e LPO em anfípodas (ARP e ARR).

Figura 41: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodas(_iso)] coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



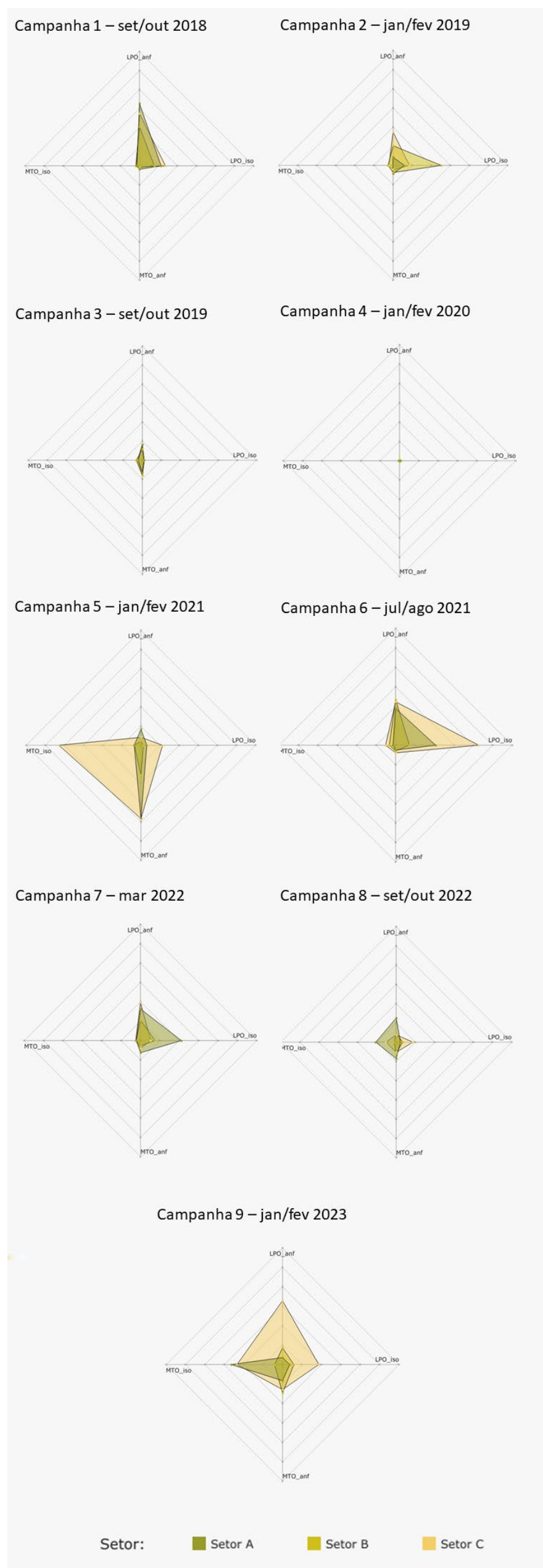
Na Figura 41, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 59,6% e por 28,9%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores nos pequenos invertebrados da praia durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 88,5% da variabilidade total dos dados. Para esta Campanha 9, todas as análises de biomarcadores avaliadas estão localizadas nos quadrantes à direita (superior e inferior) e estão associadas ao Setor C, em que as estações: DNC está relacionadas ao biomarcador MTO em isópodas; e DNU está associada ao biomarcador LPO em isópodas e em anfípodas, e também ao biomarcador MTO em anfípodas.

Figura 42: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores nos pequenos invertebrados da praia, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR biomarcador para os pequenos invertebrados da praia, na Figura 42, observa-se que os Setores A e C se destacam com os maiores valores de IBR biomarcador ao longo do monitoramento. A partir da Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), os valores do índice para o Setor A e B não sofrem grandes variações, assim apresentando uma tendência de estabilização. Em contrapartida, o Setor C nas Campanhas 5, Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), destaca-se pelos picos de valores do IBR biomarcador tanto em relação aos demais Setores quanto para o período do monitoramento. Em relação as Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) o Setor A é o que apresenta os maiores resultados do índice.

Figura 43: Gráficos de radar obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodos(_iso)] coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MTO). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



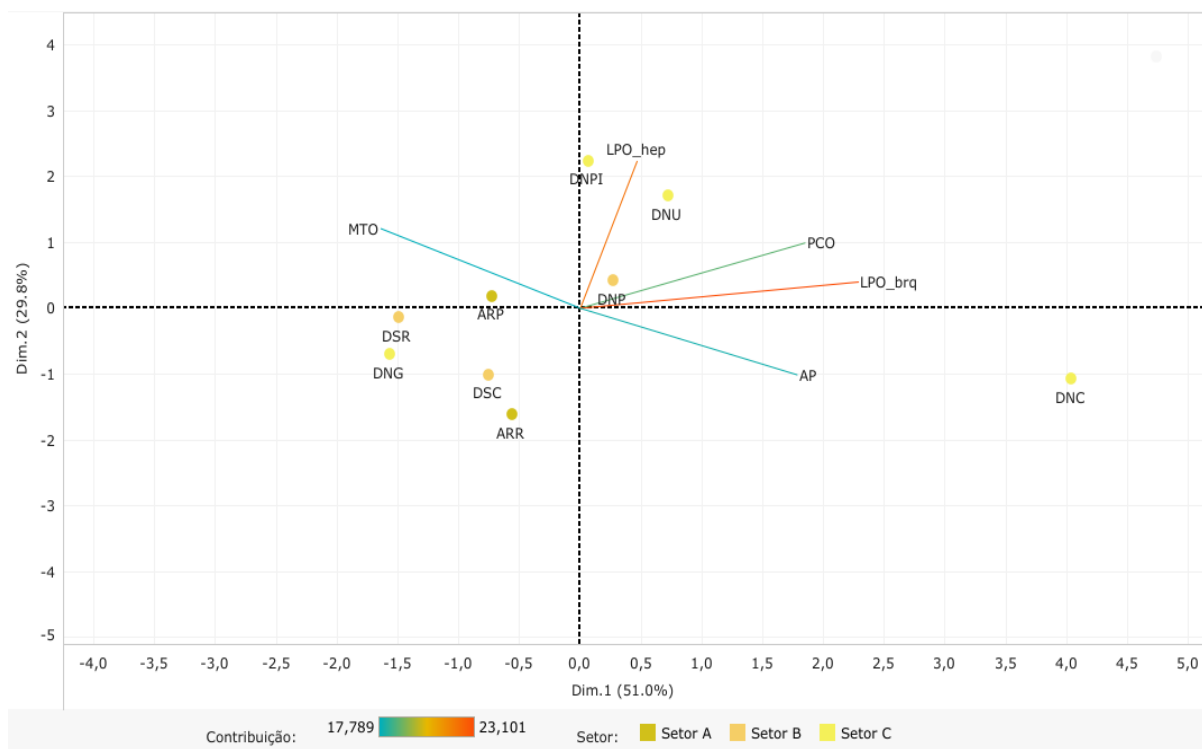
Os gráficos de radar, na Figura 43, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores nos pequenos invertebrados da praia e a contribuição destes para a composição do índice.

Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o biomarcador LPO em anfípodas colaborou para o valor do IBR biomarcador em todos os Setores. A análise de LPO em isópodas também se destaca por contribuir com o índice nos três Setores, especificamente no Setor A, no qual esta análise apresenta um pico em seu resultado.

Na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os maiores valores do índice também se encontram no Setor A, com destaque aos biomarcadores LPO e MTO em anfípodas, e MTO em isópodas. Ainda, a análise de LPO em isópodas contribui consideravelmente para o valor do IBR biomarcador no Setor C.

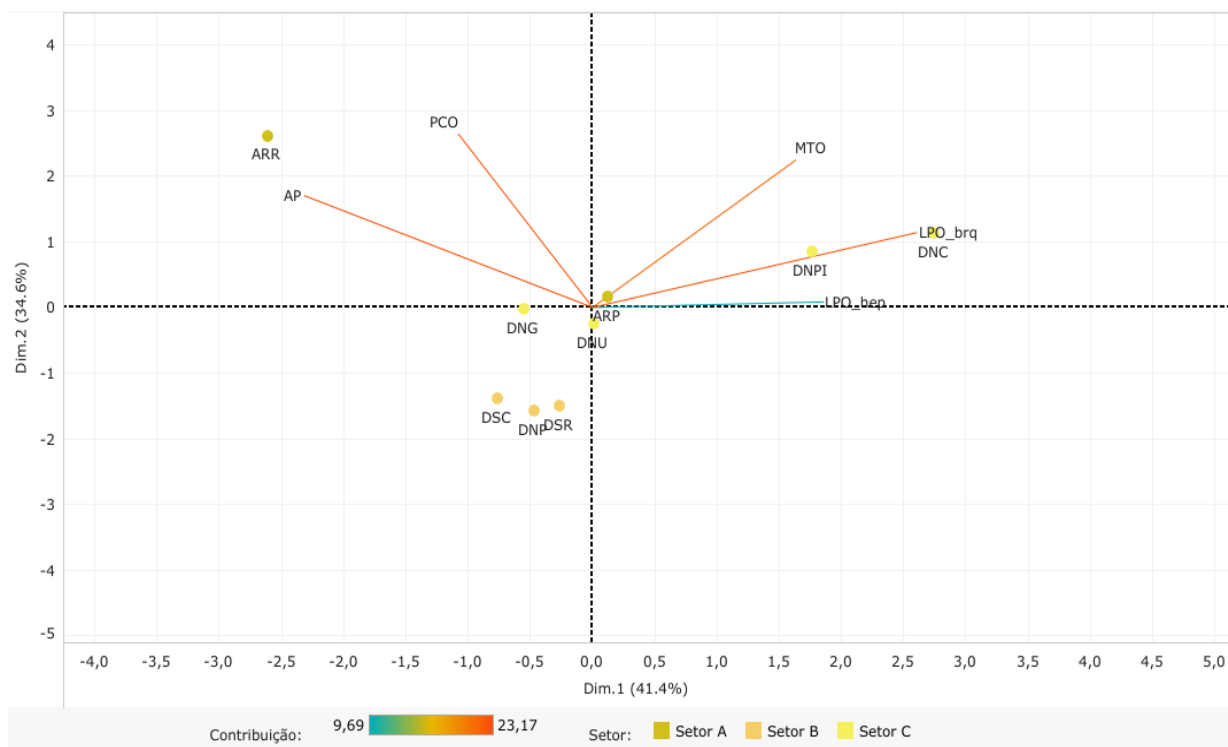
Por último, a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) tem seus maiores valores de IBR biomarcador concentrados no Setor C, o qual tem em evidência as contribuições dos biomarcadores MTO em anfípodas e isópodas, LPO em isópodas e em anfípodas, com destaque aos resultados do biomarcador LPO em anfípodas. O Setor A e o Setor B contem seus maiores valores de contribuição para o índice nos biomarcadores MTO em isópodas e MTO em anfípodas, respectivamente.

Figura 44: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



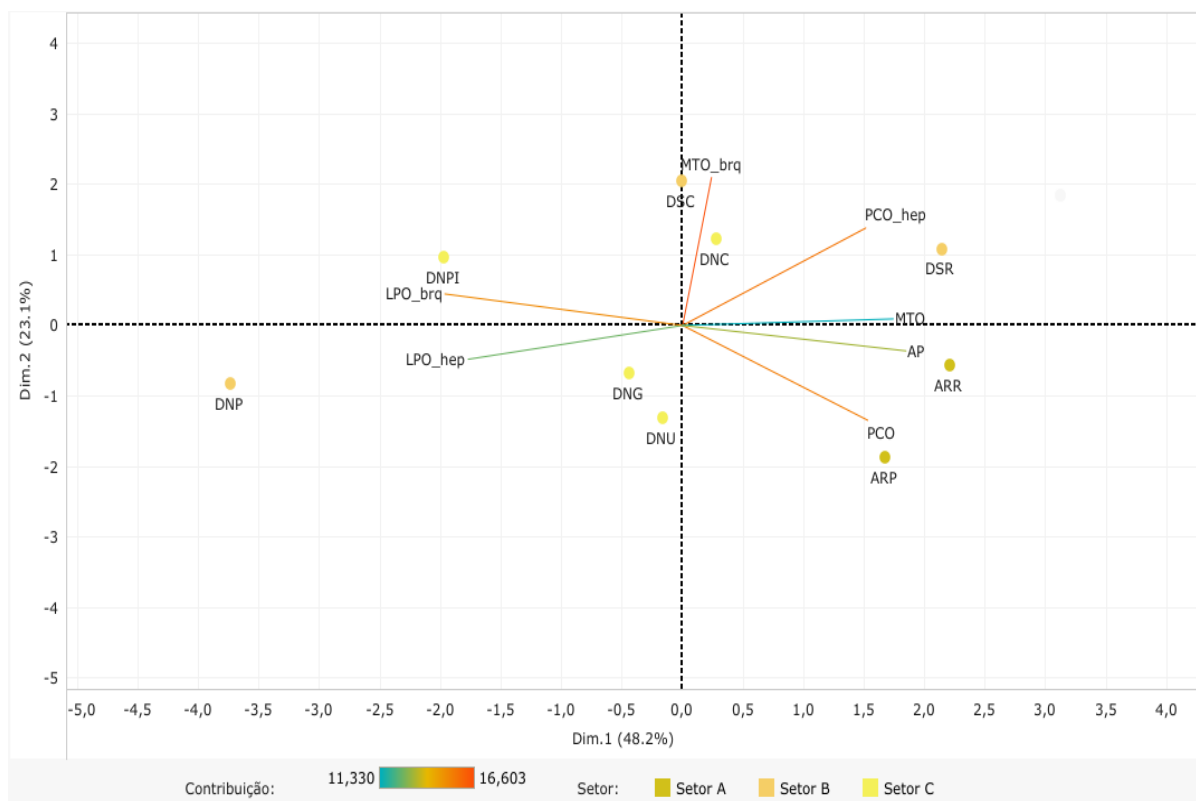
Na Figura 44, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 51,0% e por 29,8%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no caranguejo da praia durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 80,8% da variabilidade total dos dados. A Figura 44 e as demais a seguir, auxiliam na visualização da disposição das estações de coleta em função dos dois principais componentes, que através da análise por quadrantes permite observar se há a formação de agrupamentos entre as estações de coleta, bem como verificar a relação das mesmas com as variáveis dos biomarcadores no caranguejo da praia. O estresse fisiológico no caranguejo da praia mostra estar bastante correlacionado ao Setor C, em que as análises de: LPO no hepatopâncreas está associado as estações DNPI e DNU; e as de PCO, de LPO nas brânquias e de sítios AP associadas a estação DNC. O biomarcador MTO demonstra apresentar uma relação com a estação DSR (Setor B)

Figura 45: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) na hemolinfa (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Na Figura 45, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 41,4% e por 34,6%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no caranguejo da praia durante a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco). Juntos, os dois componentes explicam 76,0% da variabilidade total dos dados. Nota-se que todas as análises de biomarcadores estão concentradas nos quadrantes superiores (esquerda e direita). Ressalta-se que, os biomarcadores MTO, LPO nas brânquias e LPO no hepatopâncreas estão associados ao Setor C (DNPI e DNC). Já os biomarcadores sítios AP e PCO estão relacionados com a estação ARR do Setor A.

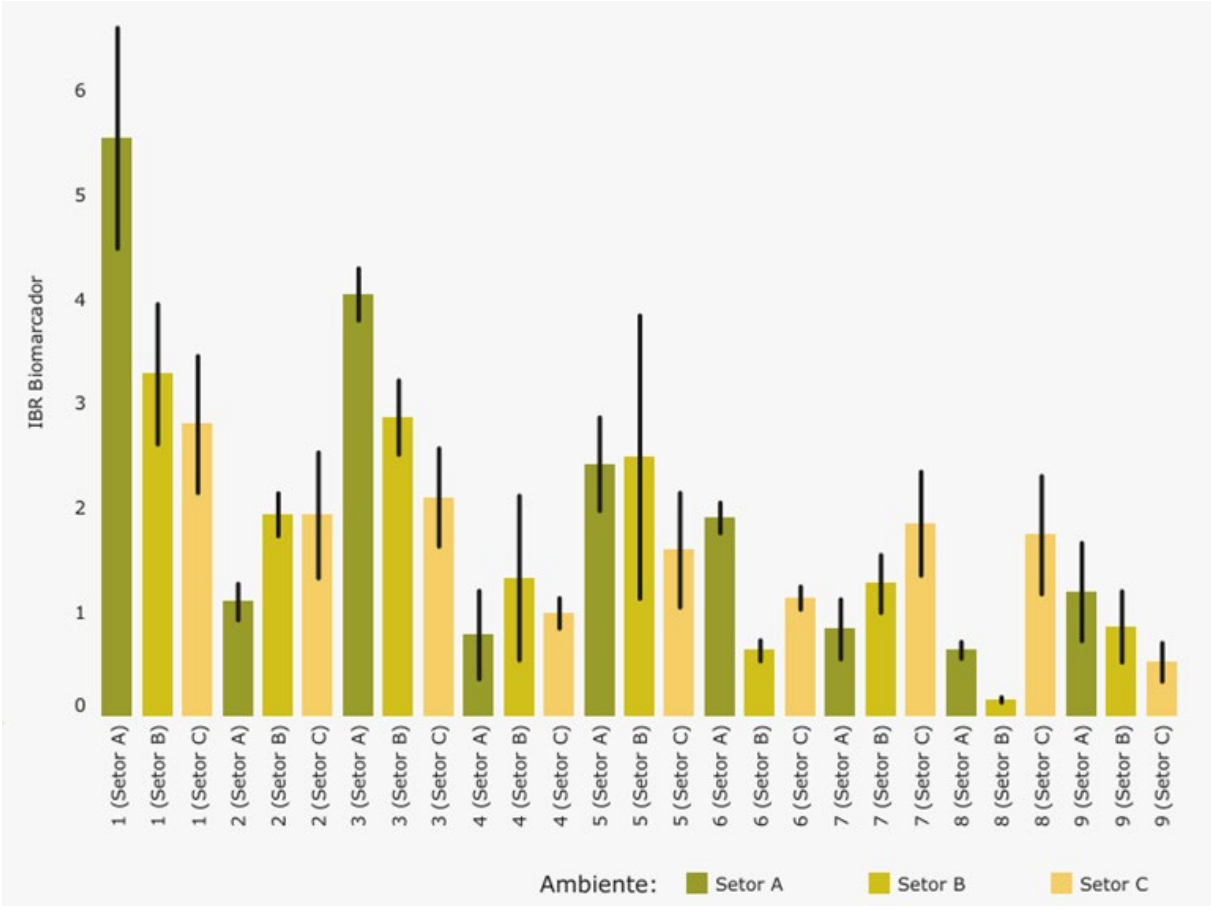
Figura 46: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados dos biomarcadores mensurados em amostras de tecido de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas nas brânquias (MTO_brq) e no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no hepatopâncreas (PCO_hep) e no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) no músculo (AP). Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Na Figura 46, o componente principal 1 (Dim.1) e o componente principal 2 (Dim.2) respondem por 48,2% e por 23,1%, respectivamente, da variabilidade dos resultados dos biomarcadores no caranguejo da praia durante a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). Juntos, os dois componentes explicam 71,3% da variabilidade total dos dados. Observa-se que o estresse fisiológico do caranguejo da praia está associado a todos os Setores da praia. O Setor A está relacionado aos valores de PCO no músculo (ARP), sítios AP e MTO no hepatopâncreas (ARR). As análises dos biomarcadores PCO no hepatopâncreas, MTO no hepatopâncreas (DSR), MTO nas brânquias (DSC) e LPO no hepatopâncreas (DNP) denotam uma associação com o Setor B. Já o Setor C associa-se aos resultados do LPO nas brânquias e hepatopâncreas (DNPI) e MTO nas brânquias (DNC) do caranguejo da praia.

Figura 47: Valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19.

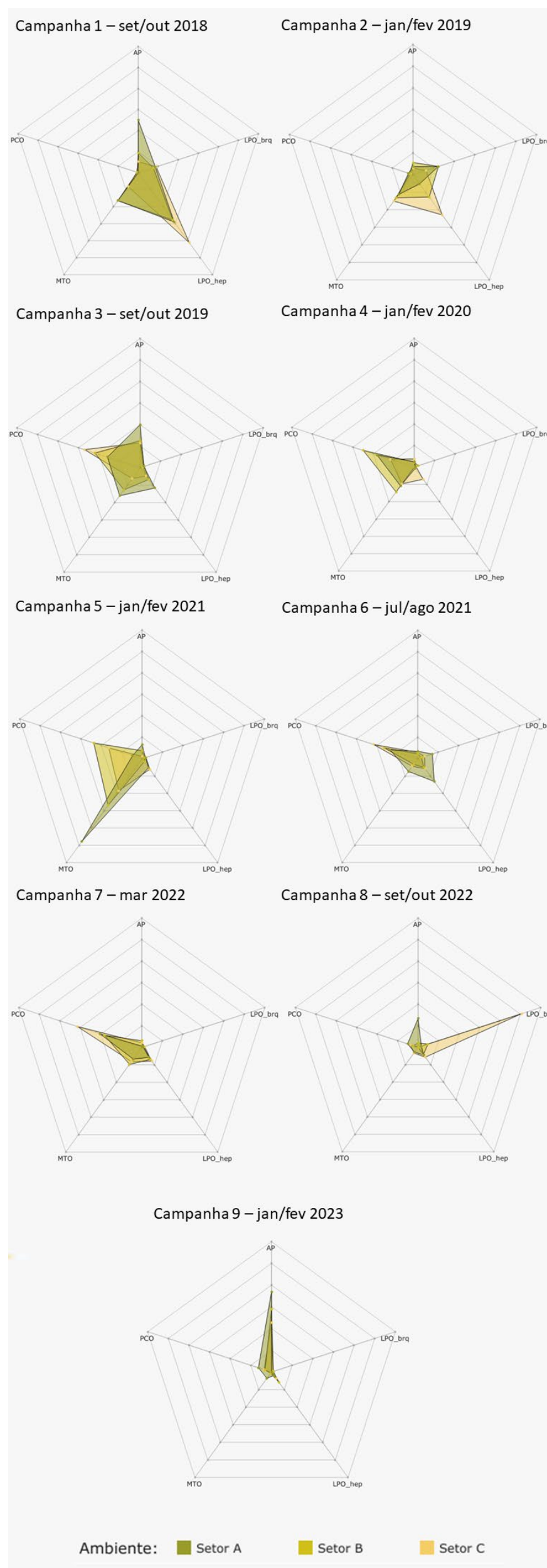
Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



O gráfico de barras dos valores do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador), gerado para cada Setor e cada Campanha, permite realizar comparações das tendências espaço-temporais dos efeitos das respostas dos biomarcadores no caranguejo da praia, ao longo de todo o monitoramento. Em relação à comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR biomarcador para o caranguejo da praia, na Figura 47, existe uma sazonalidade sutil, em que os maiores valores do IBR biomarcador estão no período seco. Ainda, no período seco, há uma inclinação dos valores do IBR biomarcador diminuir ao longo do monitoramento. Já em relação ao período chuvoso, os valores do índice tendem a se manterem estáveis ao longo do tempo e também a serem apresentados pelos Setores B e C.

Em relação a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) os maiores valores do IBR biomarcador estão no Setor C. Já para Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) o valor mais relevante do índice se encontra no Setor A.

Figura 48: Gráficos de radar obtidos a partir Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) determinados para amostras de tecidos de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jun/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MTO); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da campanha 1 à 8 na hemolinfa e na campanha 9 no músculo (AP) Classificação por setores e por estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR) e Aracruz – Putiri (ARP)]; Setor B [Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP)]; e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU) e Guriri (DNG)].



Os gráficos de radar, na Figura 48, obtidos a partir do Índice da resposta biológica (IBR biomarcador) de cada Setor e de cada Campanha, mostram a variação espaço-temporal das respostas dos biomarcadores no caranguejo da praia e a contribuição destes para a composição do índice.

Na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) o biomarcador PCO é o que mais contribui para o peso do índice nos três Setores. Em relação a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) há um pico do valor do LPO nas brânquias do caranguejo no Setor C, já para o Setor A os sítios AP se destaca como o biomarcador com maior resultado do IBR biomarcador. Para a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) o biomarcador sítios AP é o que teve a maior contribuição no índice IBR biomarcador para os três Setores.

3 REFERÊNCIAS

Sem referências bibliográficas para o presente documento.