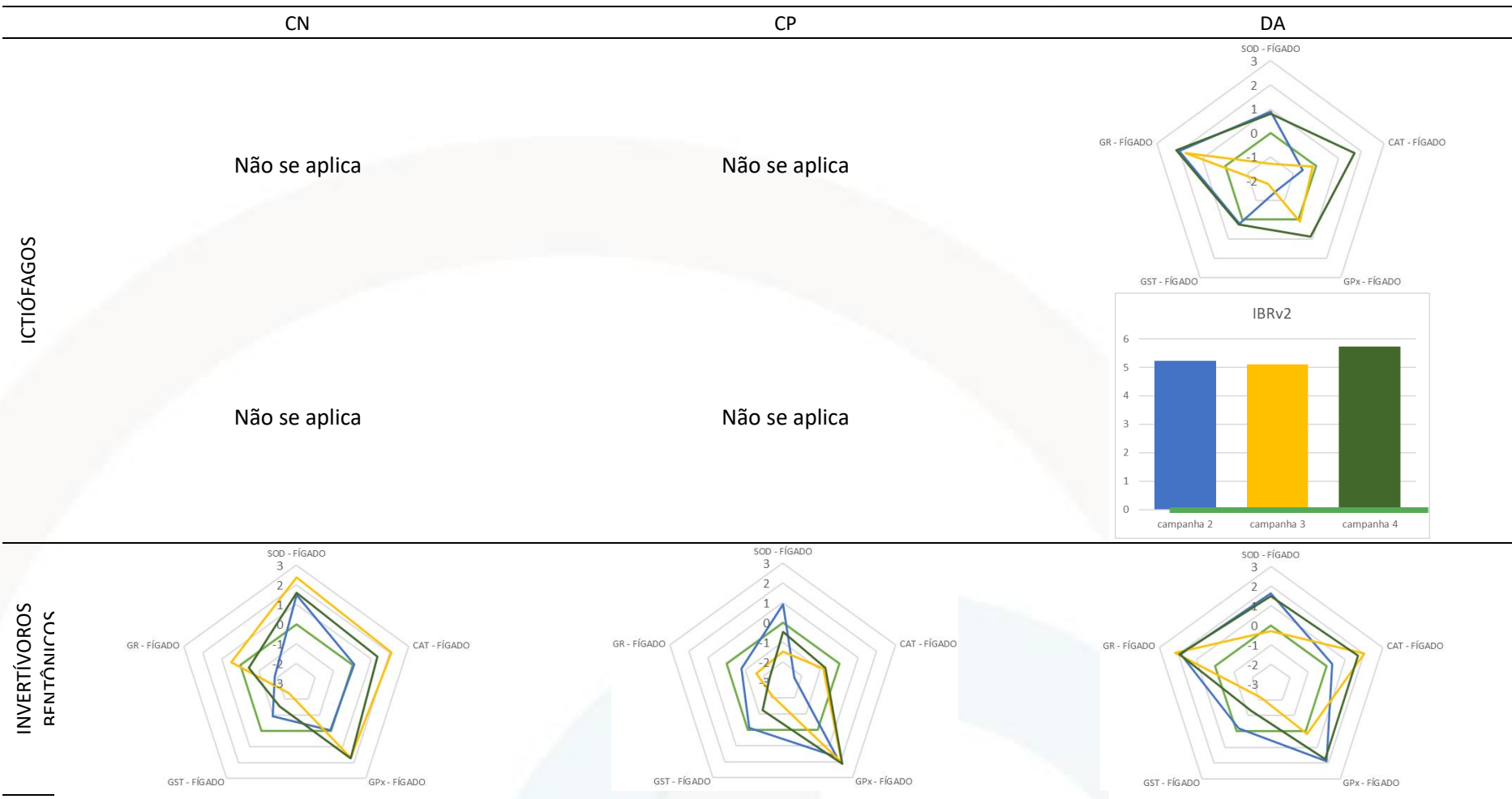
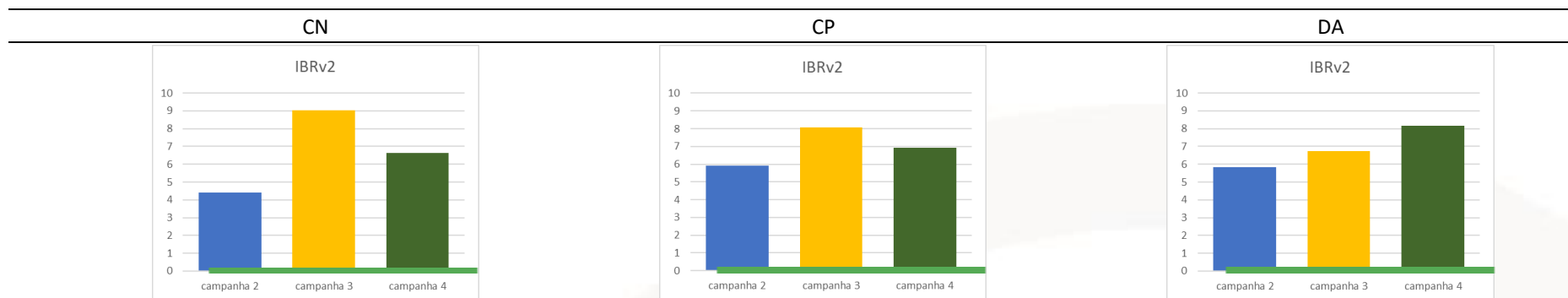






Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Cichliformes, Siluriformes, ictiófagos e invertívoros bentônicos) e ponto amostral, as respostas do biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes capturados na 1ª campanha estão representadas em verde claro (—), da 2ª campanha em azul (—), da 3ª campanha em amarelos (—) e da 4ª campanha em verde escuro (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde clara representativa dos peixes capturados na 1ª campanha e as barras azul, amarela e verde escuro dos peixes capturados na 2ª, 3ª e 4ª campanha, respectivamente.

SOD - FÍGADO: superóxido dismutase em tecido hepático; CAT - FÍGADO: catalase em tecido hepático; GPx - FÍGADO: glutathione peroxidase em tecido hepático; GST - FÍGADO: glutathione S-transferase em tecido hepático; GR - FÍGADO: glutathione reductase em tecido hepático.

3.1.1.3.7. Biomarcadores não enzimáticos no tecido branquial – GSH, MT e LPO

Como pode ser acompanhado na Tabela 43, no compartimento 2, ao avaliarmos todos os peixes de cada um dos pontos, observa-se que na 1ª e na 3ª campanha os valores de IBRv2 do ponto DA foram superiores aos do ponto CP, ao passo que o inverso ocorreu nas campanhas 2 e 4. Nota-se que em DA a principal alteração observada foi o aumento da concentração de GSH nas três primeiras campanhas e a diminuição na 4ª campanha, enquanto em CP a GSH sempre esteve aumentada. Ainda, destaca-se que em CP houve aumento da LPO nas campanhas 2, 3 e 4, com menor expressividade na 3, enquanto em DA houve um expressivo aumento da LPO nas campanhas 3 e 4, sendo também na 4ª campanha observado um leve aumento nas concentrações de MT neste ponto amostral.

No agrupamento dos Characiformes, não avaliados na 4ª campanha, foi observado maior IBRv2 no ponto CP na 1ª campanha e do ponto DA na 3ª campanha, enquanto na 2ª campanha o IBRv2 destes pontos foi similar. Observa-se que na 1ª e 2ª campanhas o ponto CP apresentou aumento da LPO, indicando dano ao tecido branquial, porém, na 3ª campanha, mesmo com o expressivo aumento da GSH, que é uma das principais moléculas antioxidantes, o ponto DA apresentou um grande aumento da LPO em relação ao observado no ponto CN, indicando que as defesas antioxidantes estão sendo ativadas, uma vez que houve aumento da GSH, porém sem eficiência em evitar o dano oxidativo, como observado pelo aumento da LPO. Ainda, um comportamento semelhante pode ser observado no ponto CP, na 1ª campanha, na qual inclusive as concentrações de MT se apresentaram elevadas.

Já os Siluriformes, não avaliados em todos os pontos na 1ª campanha, apresentaram maior valor de IBRv2 no ponto CP, na 2ª campanha e no ponto DA na 3ª e na 4ª campanha. Destaca-se que na 2ª campanha os peixes da ordem Siluriformes no ponto DA apresentaram alterações mínimas nas respostas dos biomarcadores não enzimáticos no tecido branquial em relação aos peixes desta mesma ordem do ponto CN, no entanto, na 3ª e na 4ª campanha notou-se um expressivo aumento da LPO nos peixes do ponto DA, estando este aumento associado a um aumento da GSH na 3ª campanha e à sua redução na 4ª campanha, em ambas as situações, indicando a presença de EROs em concentrações que excederam a capacidade antioxidante do tecido em questão.

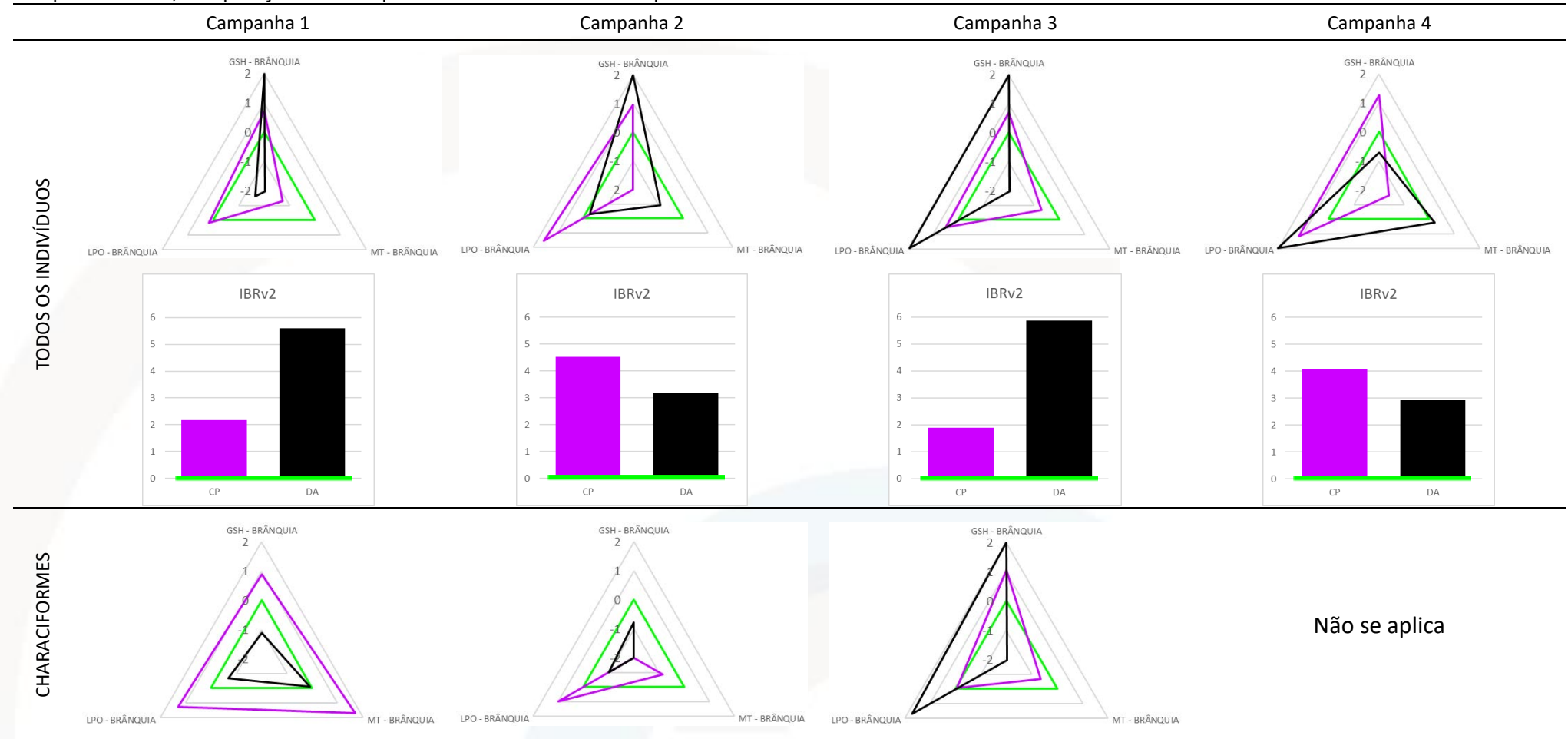
No agrupamento dos peixes de hábito alimentar ictiófago, apenas amostrados em todas os pontos nas campanhas 2 e 3, observou-se que os valores de IBRv2 dos pontos CP e DA estiveram elevados, no entanto, semelhantes entre si. Especial atenção aos ictiófagos de DA, na 3ª campanha, pois nesta campanha apresentaram aumento da LPO, mesmo com aumento da concentração de GSH, indicando dano ao tecido branquial em decorrência, possivelmente, do excesso de produção de EROs.

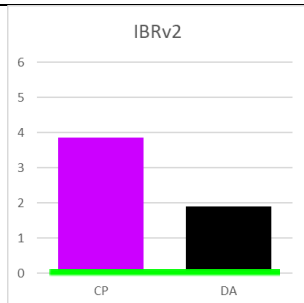
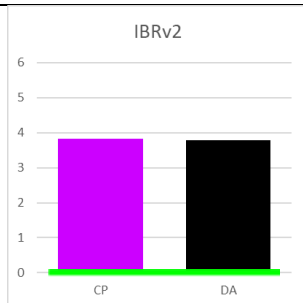
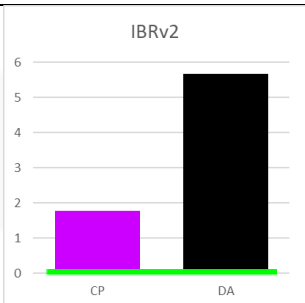
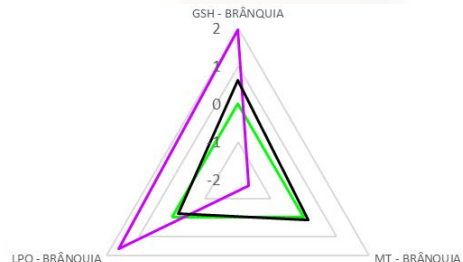
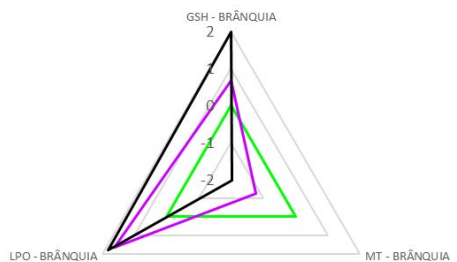
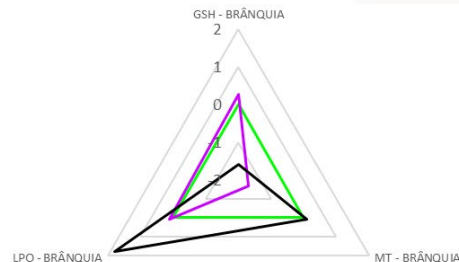
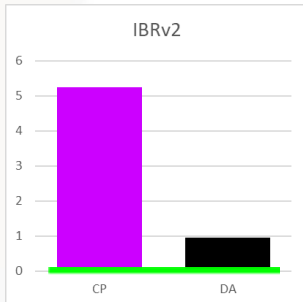
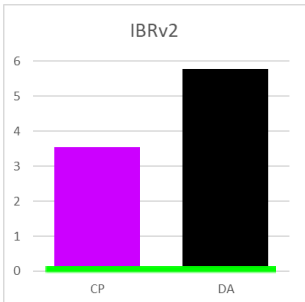
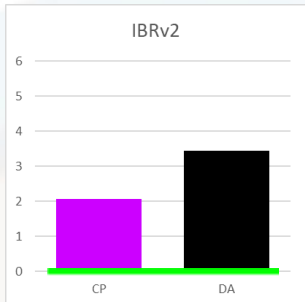
Em relação aos peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico, o ponto DA apresentou maior IBRv2 na 1ª e na 3ª campanha, enquanto o ponto CP teve o maior IBRv2 na 2ª e na 4ª campanha. Neste agrupamento de peixes, destaca-se o aumento da LPO observada em CP e DA na 3ª e na 4ª campanha,

indicando dano ao tecido branquial destes peixes. Por fim, em relação aos peixes de hábito alimentar omnívoro, coletados em todos os pontos amostrais apenas na 4ª campanha, foi observado que o valor de IBRv2 no ponto CP foi bastante superior ao do ponto DA, refletindo a mínima diferença nas concentrações de GSH e na LPO entre os peixes omnívoros do ponto DA e os do ponto CN.



Tabela 43. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) não-enzimáticos de tecido branquial dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 2, comparação entre os pontos em cada uma das campanhas amostrais.



SILURIFORMES	Campanha 1		Campanha 2		Campanha 3		Campanha 4	
							Não se aplica	
	Não se aplica							
	Não se aplica							



Campanha 1

Campanha 2

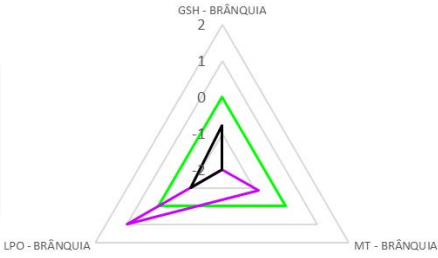
Campanha 3

Campanha 4

ICTIÓFAGOS

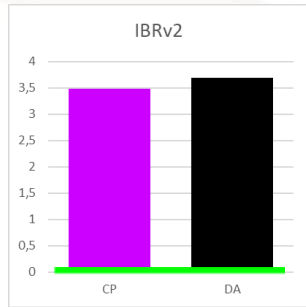
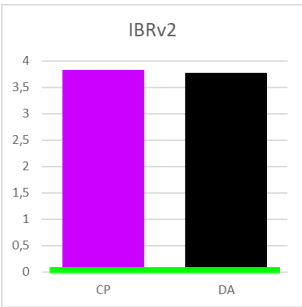
Não se aplica

Não se aplica

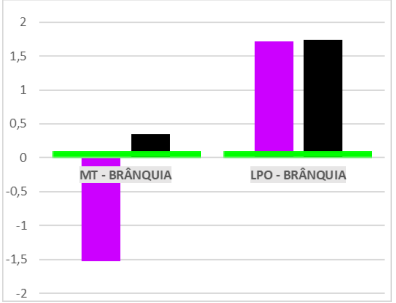
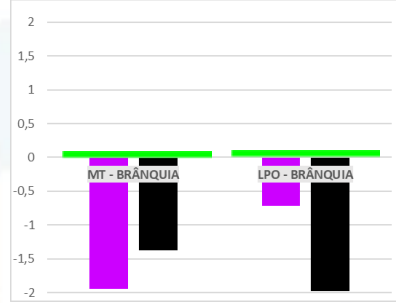
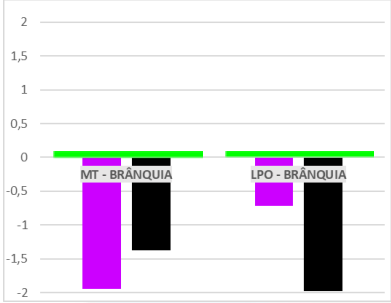
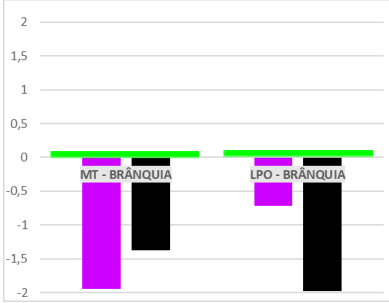


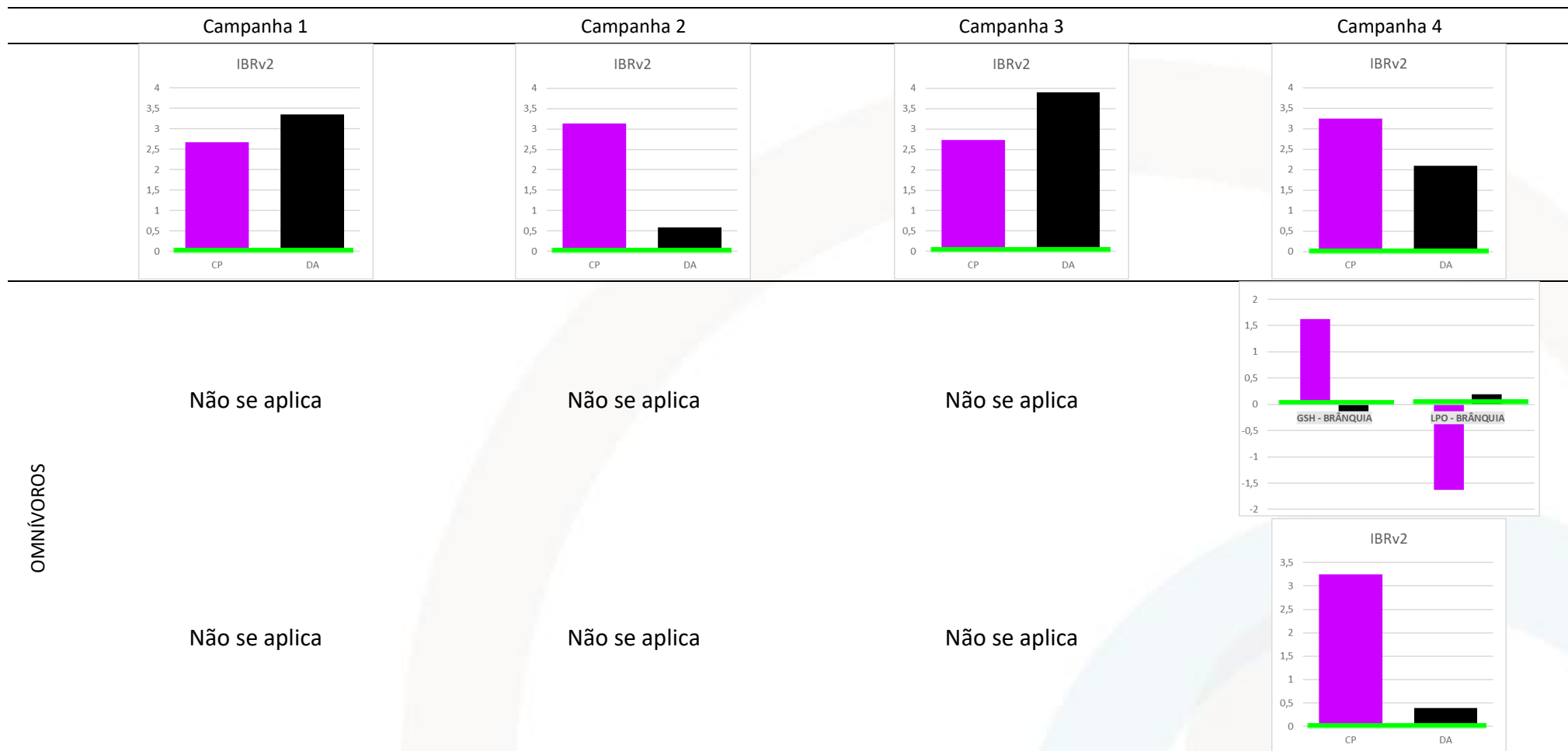
Não se aplica

Não se aplica



INVERTÍVOROS BENTÔNICOS





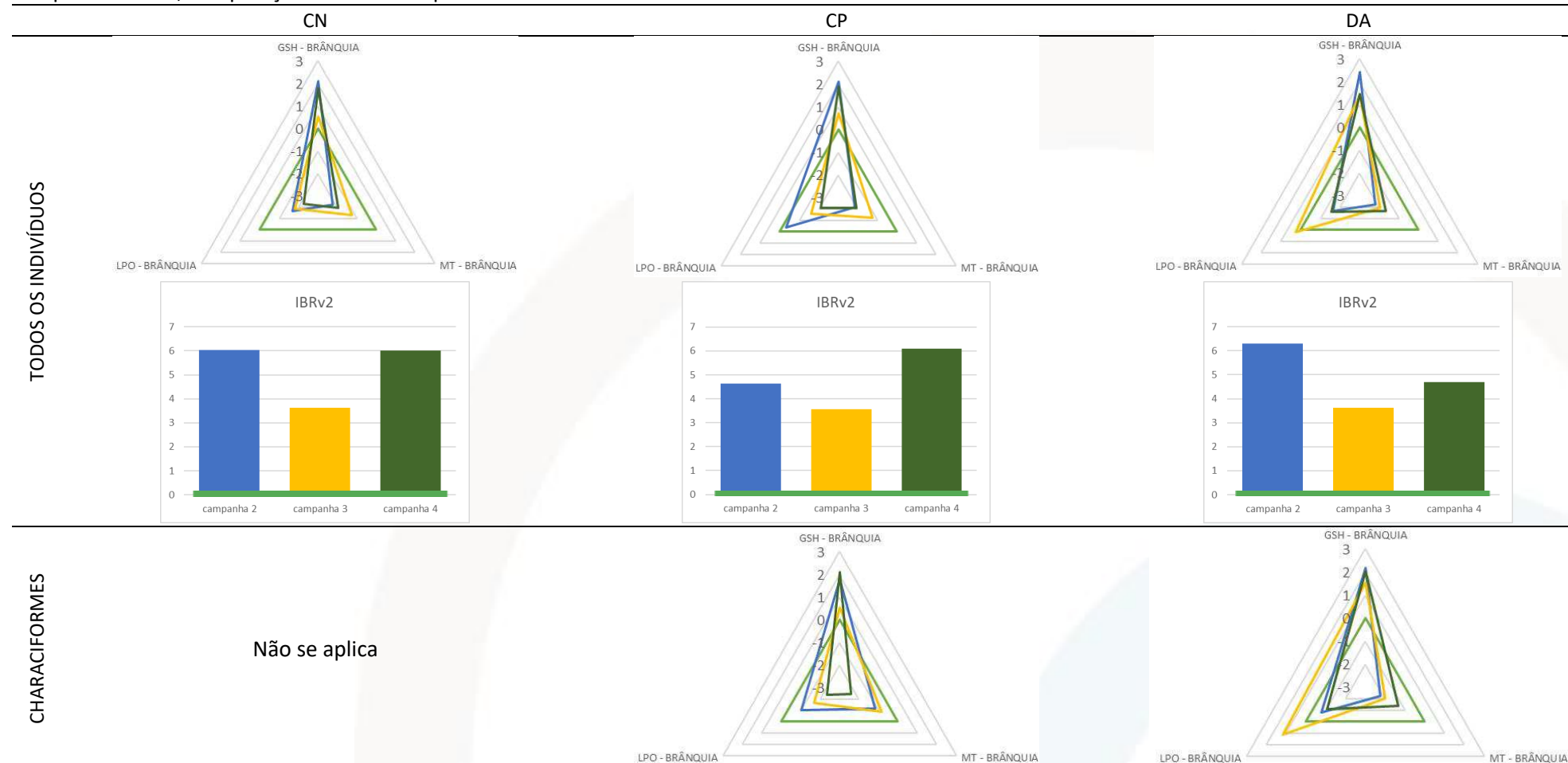
Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Siluriformes, ictiófagos, invertívoros bentônicos e omnívoros) e campanha, as respostas dos biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes de CN estão representadas em verde (—), de CP em violeta (—) e de DA em preto (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde representativa dos peixes do ponto CN, e as barras violeta e preta dos pontos CP e DA, respectivamente.

LPO - BRÂNQUIA: peroxidação lipídica em tecido branquial; GSH - BRÂNQUIA: concentração de glutatona reduzida em tecido branquial; MT - BRÂNQUIA: concentração de metalotioneínas em tecido branquial.

Na avaliação de cada um dos pontos amostrais, observa-se, quando considerados todos os peixes amostrados no compartimento 2, que no ponto CN os IBRv2 das campanhas 2 e 4 foram os mais alterados em relação ao observado na 1ª campanha, no ponto CP a campanha 4 foi a que apresentou o maior valor de IBRv2, seguida da campanha 2, enquanto o ponto DA apresentou o maior IBRv2 na campanha 2, seguida da campanha 4. No agrupamento dos peixes da ordem Characiformes não foi possível avaliar o ponto CN, já o ponto CP apresentou maior valor de IBRv2 na campanha 4, seguida das campanhas 2 e 3, respectivamente, enquanto no ponto DA o maior IBRv2 foi observado na campanha 2, com redução gradativa nas campanhas subsequentes. Os peixes da ordem Siluriformes, por sua vez, não foram avaliados em todas as campanhas no ponto CP, porém, no ponto CN apresentaram valores elevados de IBRv2 nas campanhas 2 e 4, enquanto no ponto DA o maior valor foi observado apenas na campanha 2. Quanto aos hábitos alimentares, nota-se que os peixes ictiófagos foram capturados em todas as campanhas apenas no ponto DA, sendo neste ponto observado maior valor de IBRv2 na campanha 2, seguido de uma pequena redução nas campanhas subsequentes. Ainda, os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico, apresentam, no ponto CN, valores maiores de IBRv2 nas campanhas 2 e 4, enquanto no ponto CP o valor de IBRv2 aumentou gradativamente ao longo das campanhas, sendo o maior valor encontrado para a campanha 4, por fim, no ponto DA observou-se o maior IBRv2 na 2ª campanha, seguida das campanhas 4 e 3, respectivamente (Tabela 44).

Tabela 44. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) não-enzimáticos de tecido branquial dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 2, comparação entre as campanhas.





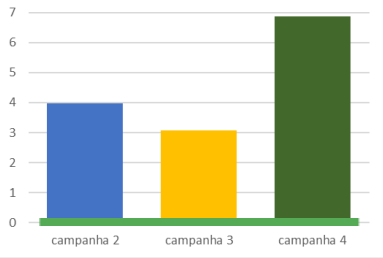
CN

CP

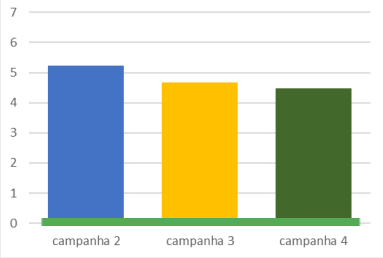
DA

Não se aplica

IBRv2

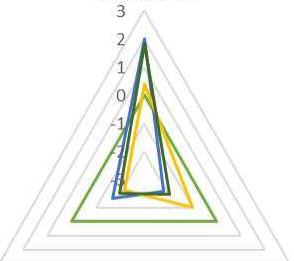


IBRv2



SILURIFORMES

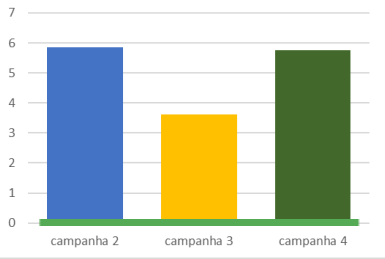
GSH - BRÂNQUIA



LPO - BRÂNQUIA

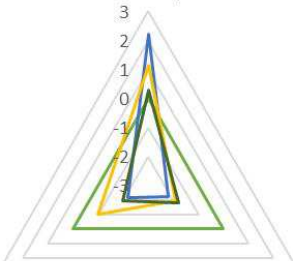
MT - BRÂNQUIA

IBRv2



Não se aplica

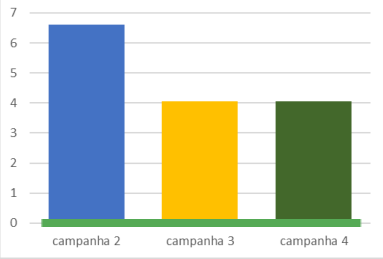
GSH - BRÂNQUIA



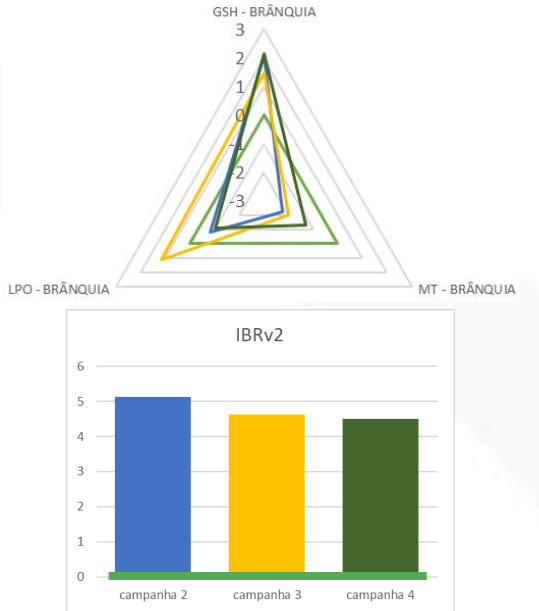
LPO - BRÂNQUIA

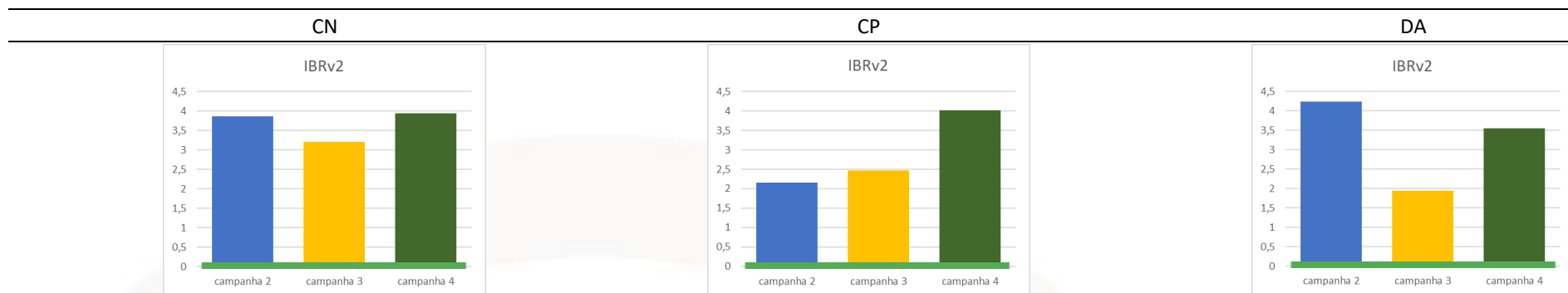
MT - BRÂNQUIA

IBRv2



Não se aplica

	CN	CP	DA
ICTIÓFAGOS	Não se aplica	Não se aplica	
	Não se aplica	Não se aplica	
INVERTÍVOROS	Não se aplica	Não aplica	Não se aplica



Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Cichliformes, Siluriformes, ictiófagos e invertívoros bentônicos) e ponto amostral, as respostas do biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes capturados na 1ª campanha estão representadas em verde claro (—), da 2ª campanha em azul (—), da 3ª campanha em amarelos (—) e da 4ª campanha em verde escuro (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde clara representativa dos peixes capturados na 1ª campanha e as barras azul, amarela e verde escuro dos peixes capturados na 2ª, 3ª e 4ª campanha, respectivamente.

LPO - BRÂNQUIA: peroxidação lipídica em tecido branquial; GSH - BRÂNQUIA: concentração de glutathione reduzida em tecido branquial; MT - BRÂNQUIA: concentração de metalotioneínas em tecido branquial.

3.1.1.3.8. Biomarcadores não enzimáticos no tecido hepático – GSH, MT e LPO

No compartimento 2, observa-se que, como apresentado na Tabela 45, quando considerados todos os peixes amostrados, que nas quatro campanhas avaliadas o ponto CP foi o que apresentou o maior valor de IBRv2. Destaca-se que na 1ª campanha, tanto CP quanto DA apresentaram LPO e MT aumentadas, ao passo que a GSH esteve reduzida apenas em CP. Na 2ª campanha a condição de LPO aumentada foi mantida nestes pontos, no entanto a concentração de MT esteve reduzida em relação ao ponto CN, enquanto a GSH se manteve reduzida apenas no ponto CP. Na 3ª e na 4ª campanha, ao contrário do observado nas campanhas anteriores, em CP foi observado aumento da concentração de GSH e redução da LPO, ao passo que a MT se manteve reduzida. O ponto DA, por sua vez, na 3ª campanha apresentou redução nos três biomarcadores avaliados na integração, enquanto na 4ª campanha as concentrações de GSH e MT se mantiveram reduzidas, mas a LPO aumentou expressivamente em relação ao observado no ponto CN.

Já no agrupamento dos peixes da ordem Characiformes, os quais não foram avaliados em todos os pontos na 4ª campanha, observou-se que na 1ª campanha o ponto CP apresentou o maior IBRv2, refletindo a redução nos níveis de GSH e de MT, associada ao aumento da LPO, porém, nesta campanha também ocorreu o aumento da LPO nos peixes Characiformes do ponto DA, associado a um aumento nas concentrações de MT. Na 2ª e na 3ª campanha, no entanto, o maior IBRv2 aconteceu no ponto DA, sendo na 3ª campanha observado ainda o aumento da LPO e da MT neste ponto, enquanto a GSH apresentou uma expressiva redução, já na 4ª campanha o ponto DA apresentou tanto os níveis de LPO, quanto as concentrações de GSH e MT reduzidas em relação ao observado para o ponto CN.

Os Siluriformes, por outro lado, não amostrados apenas na 1ª campanha, apresentaram maior IBRv2 no ponto DA na 2ª e na 4ª campanha, enquanto na 3ª campanha o maior valor foi observado para o ponto CP. Na 2ª campanha observa-se que tanto em DA quanto em CP houve aumento da LPO em relação ao observado no ponto CN, no entanto, em CP os demais biomarcadores (GSH e MT) estiveram pouco alterados, enquanto em DA houve um expressivo aumento da concentração de GSH associado a uma redução da concentração de MT. Na 3ª campanha tanto DA quanto CP apresentaram redução em todos os biomarcadores avaliados nesta integração, no entanto, fica evidente que em CP esta redução foi mais expressiva, o que refletiu no maior valor de IBRv2. Por fim, na 4ª campanha novamente CP e DA apresentaram o mesmo padrão de respostas, com aumento da LPO e redução da GSH e da MT em ambos os pontos, porém, nesta campanha a maior expressividade nas alterações ocorreu no ponto DA.

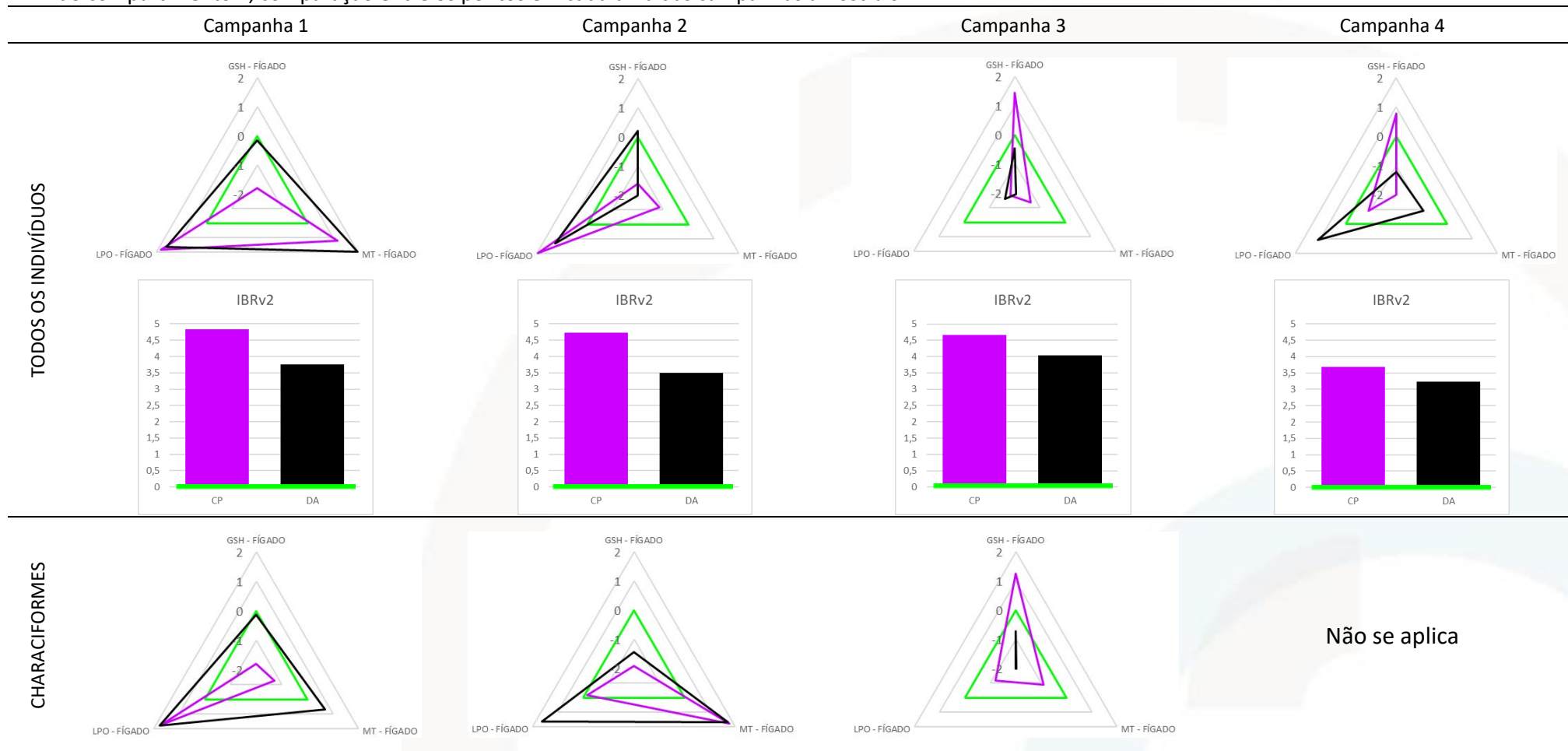
Em relação aos diferentes hábitos alimentares, nota-se que os ictiófagos foram amostrados em todos os pontos apenas nas campanhas 2 e 3, sendo em ambas observado o maior IBRv2 no ponto CP. Destaca-se que neste agrupamento não foi possível integrar os dados da LPO, no entanto observa-

se que na 2ª campanha DA e CP apresentaram redução das concentrações de GSH e aumento nas concentrações de MT, enquanto na 3ª campanha observou-se a redução na MT em ambos os pontos e redução na GSH com maior expressividade no ponto CP.

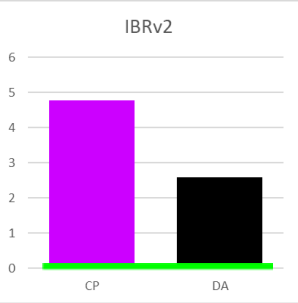
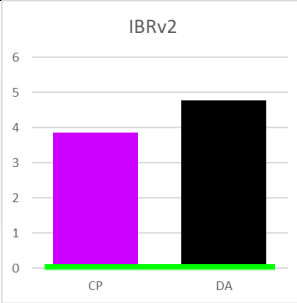
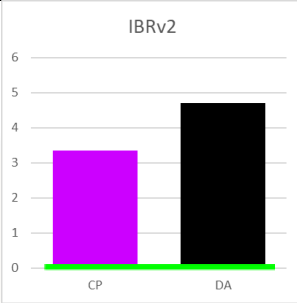
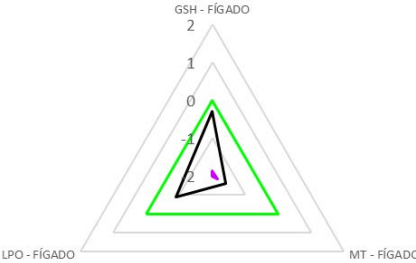
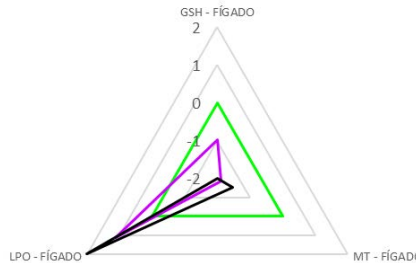
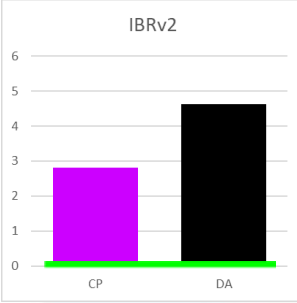
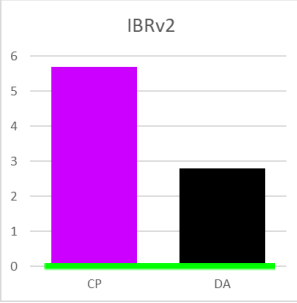
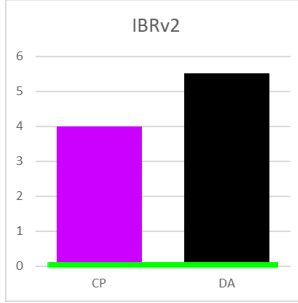
Os peixes de invertívoros bentônicos, por sua vez, apresentaram valores maiores de IBRv2 no ponto DA na 1ª, 2ª e 4ª campanhas, enquanto na 3ª o maior IBRv2 ocorreu no ponto CP, embora com diferença pouco expressiva em relação ao IBRv2 do ponto DA. Neste agrupamento nota-se que nas campanhas em que o ponto DA apresentou o maior valor de IBRv2 este ponto apresentou aumento da LPO e redução na concentração de GSH. Ainda, destaca-se que tanto em DA quanto em CP foi observado o aumento da concentração de MT na 1ª campanha, indicando que possivelmente houve aumento no aporte de metais nos organismos destes pontos amostrais. Também, fica evidente que embora nas campanhas 2 e 4 não tenha ocorrido o aumento da MT, o tecido hepático dos peixes de DA apresentaram aumento do dado, como evidenciado pelo aumento da LPO na 1ª, 2ª e 4ª campanha.

Por fim, os omnívoros, amostrados em todos os pontos apenas na 4ª campanha, apresentaram maior IBRv2 no ponto DA, no entanto, diferentemente do observado nesta mesma campanha para os demais agrupamentos de peixes avaliados no compartimento 2, os peixes omnívoros não apresentaram aumento da LPO, sendo de fato observado que este biomarcador apresentou valores reduzidos em relação ao observado em CN, assim como também foi observado valor reduzido para os demais biomarcadores (GSH e MT). Vale ressaltar que assim como observado para o ponto DA, os peixes omnívoros do ponto CP também apresentaram valores reduzidos de LPO, GSH e MT em relação aos valores observados para o ponto CN.

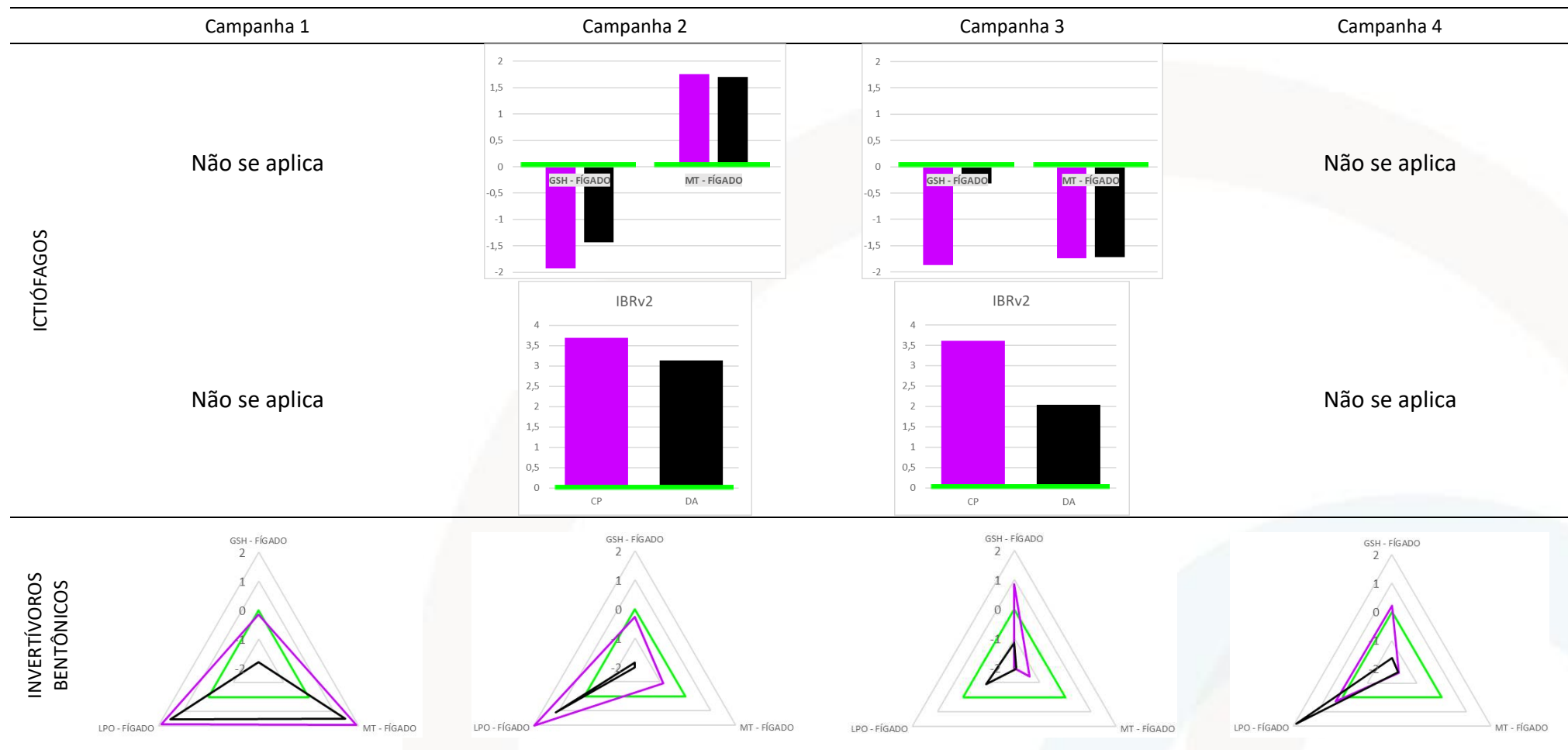
Tabela 45. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) não-enzimáticos de tecido hepático dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 2, comparação entre os pontos em cada uma das campanhas amostrais.

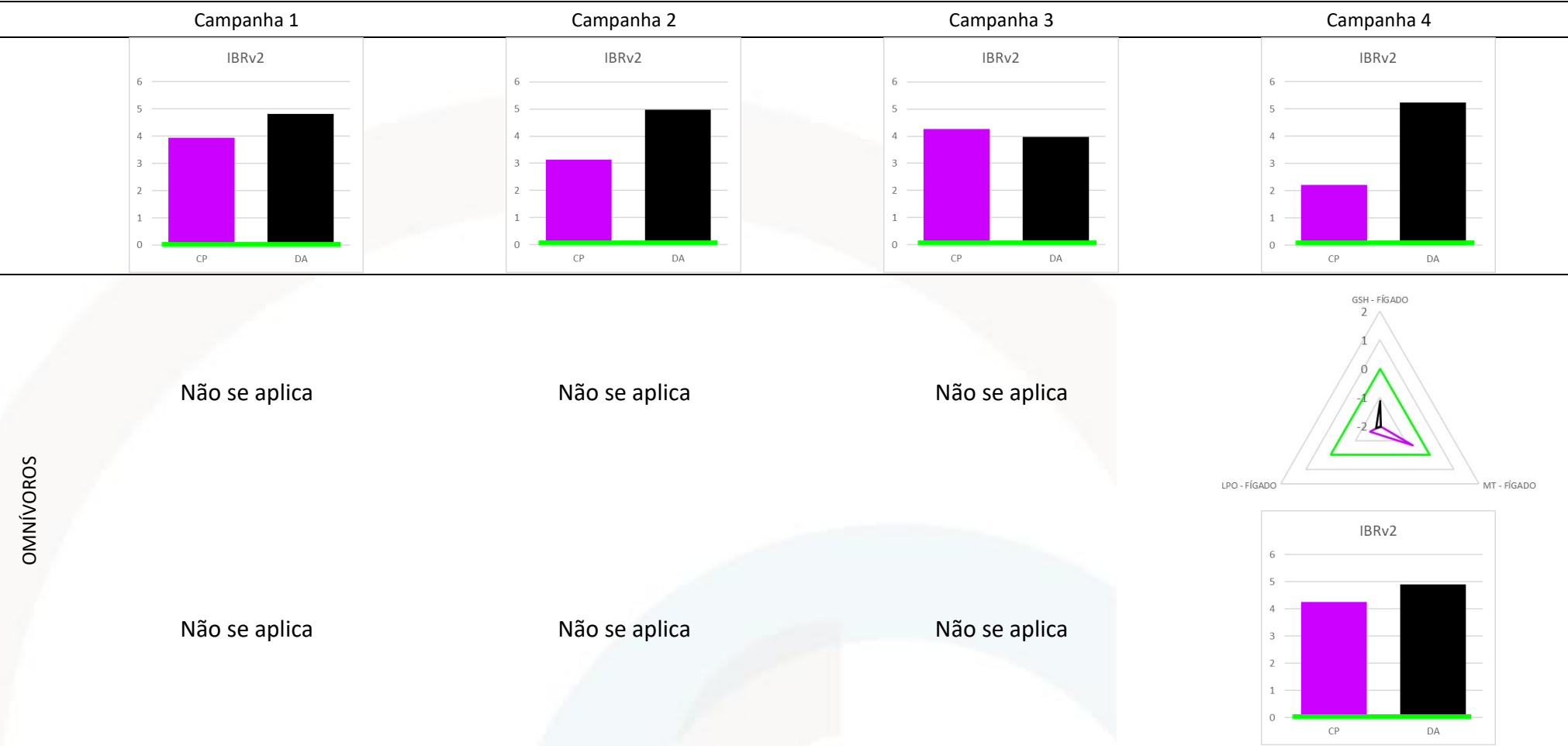




Campanha 1		Campanha 2		Campanha 3		Campanha 4	
						Não se aplica	
Não se aplica							
							

SILURIFORMES





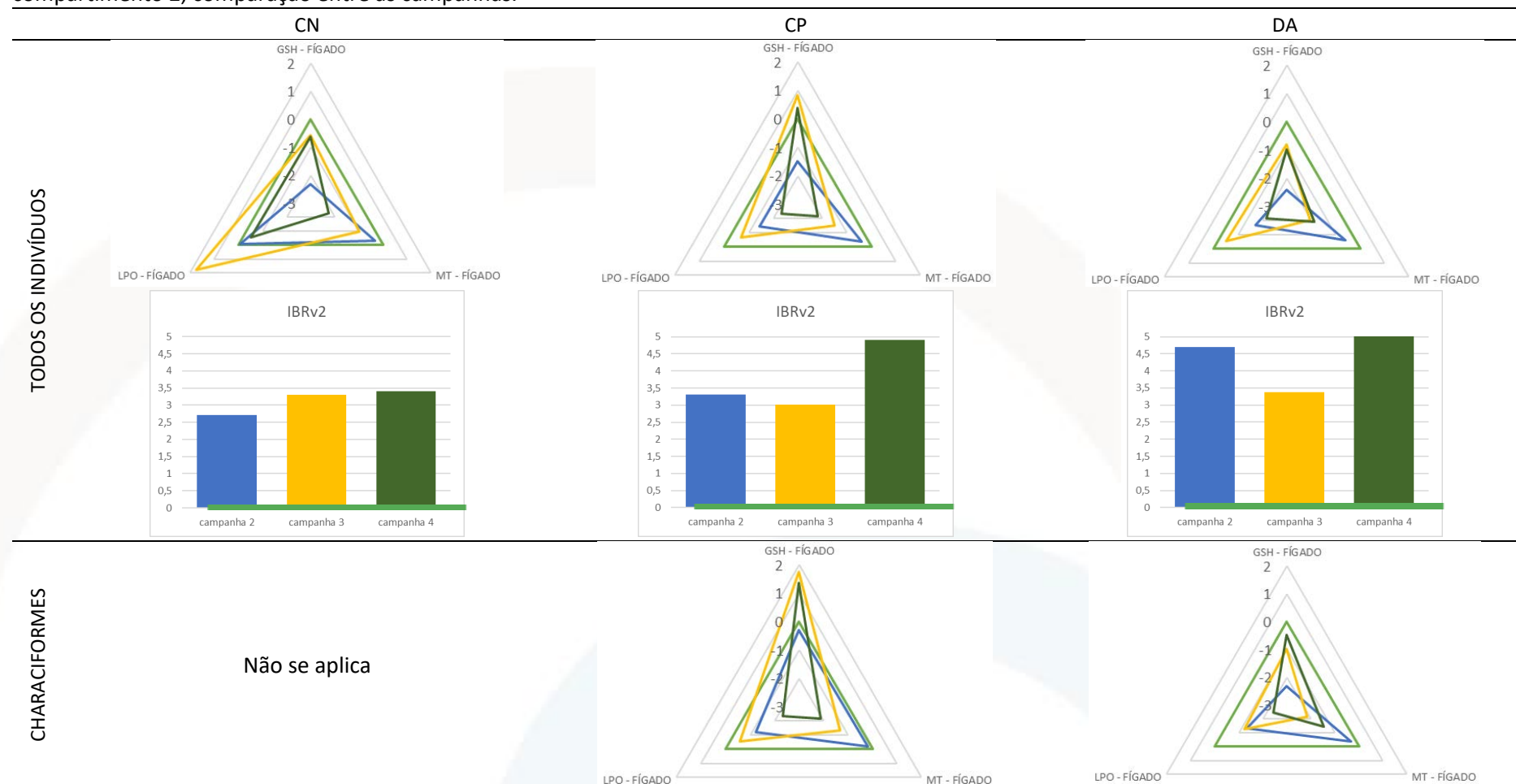
Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

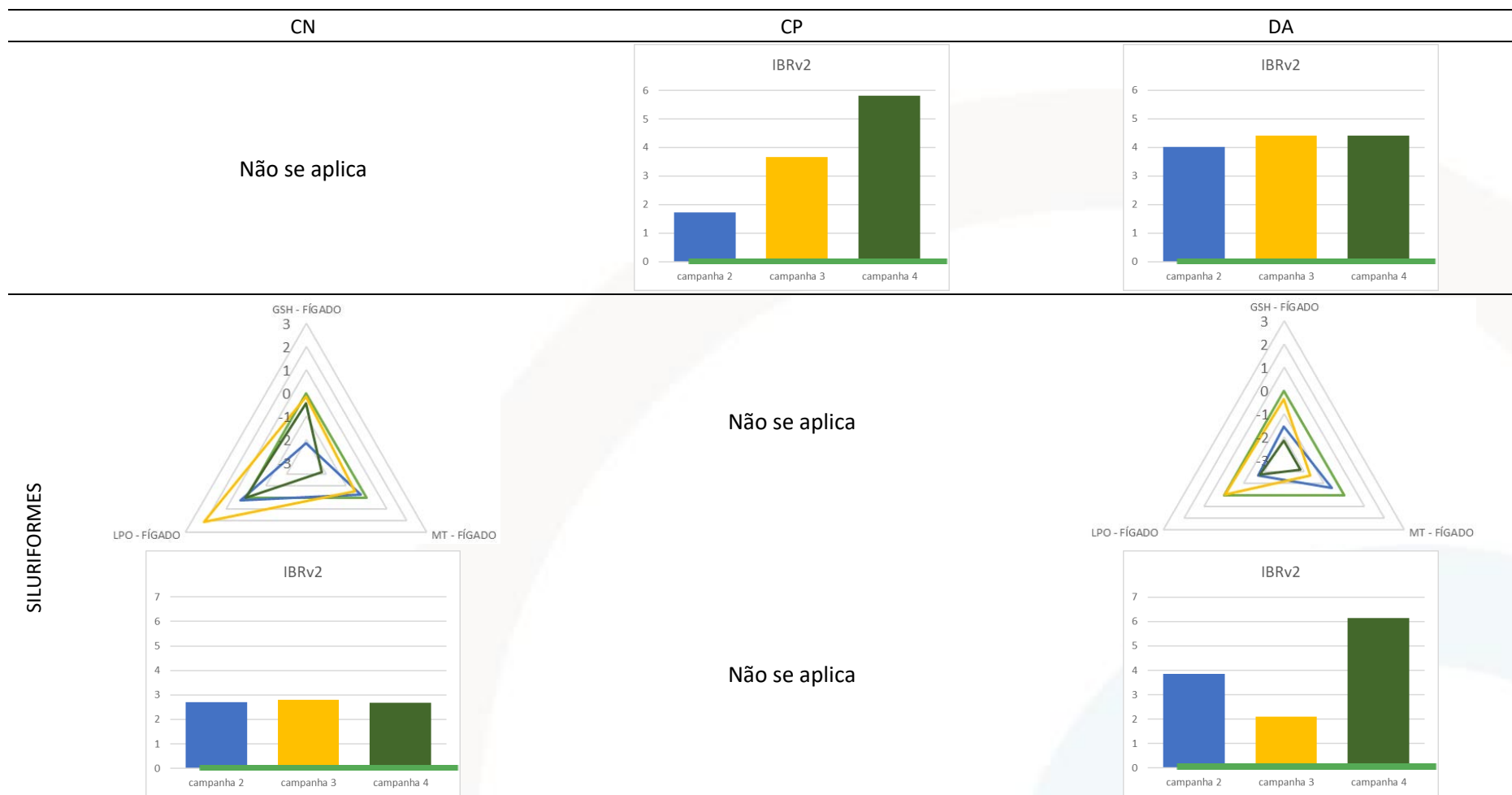
Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Siluriformes, ictiófagos, invertívoros bentônicos e omnívoros) e campanha, as respostas do biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes de CN estão representadas em verde (—), de CP em violeta (—) e de DA em preto (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde representativa dos peixes do ponto CN, e as barras violeta e preta dos pontos CP e DA, respectivamente.

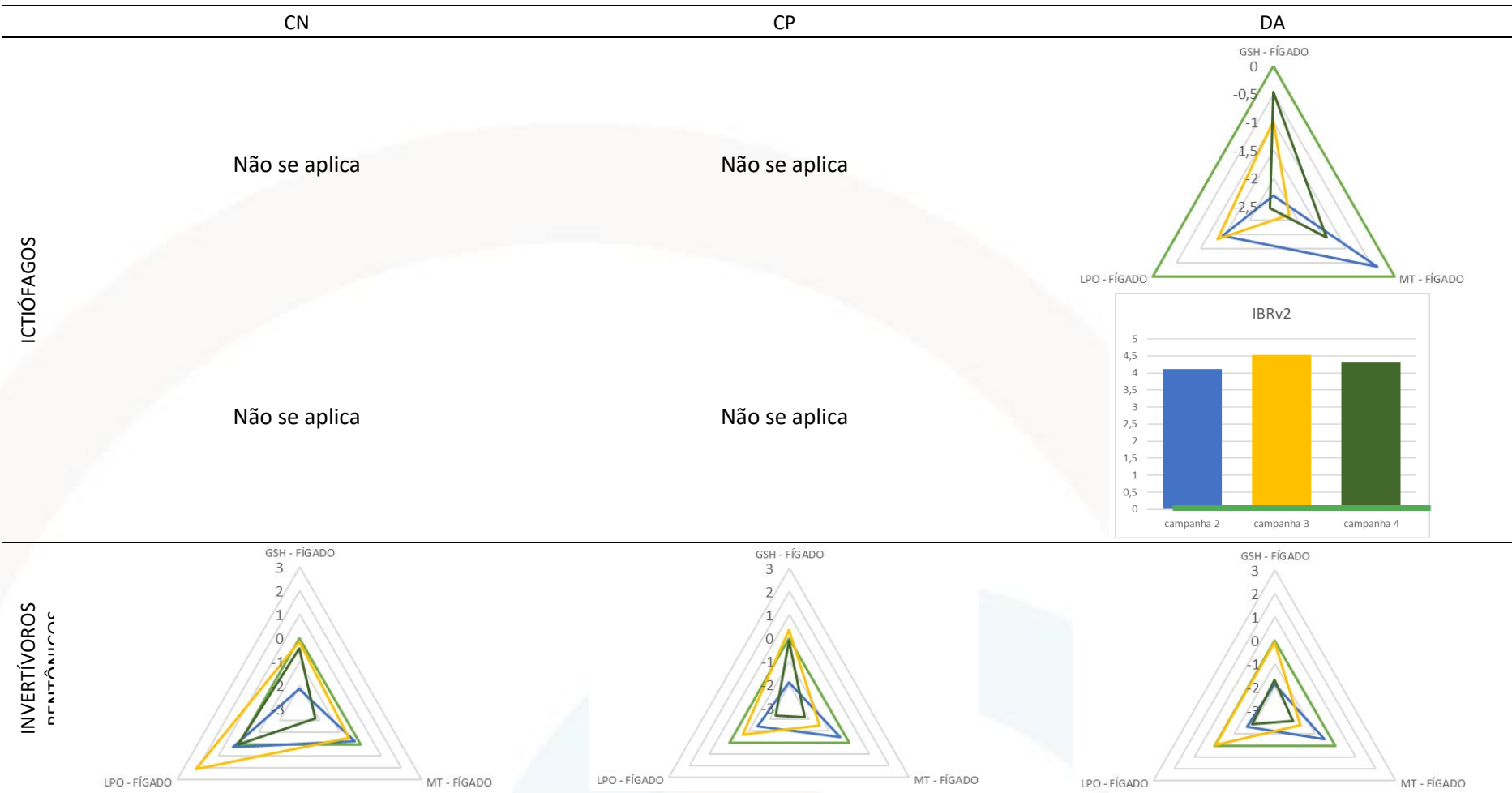
LPO - FÍGADO: peroxidação lipídica em tecido hepático; GSH - FÍGADO: concentração de glutatona reduzida em tecido hepático; MT - FÍGADO: concentração de metalotioneínas em tecido hepático.

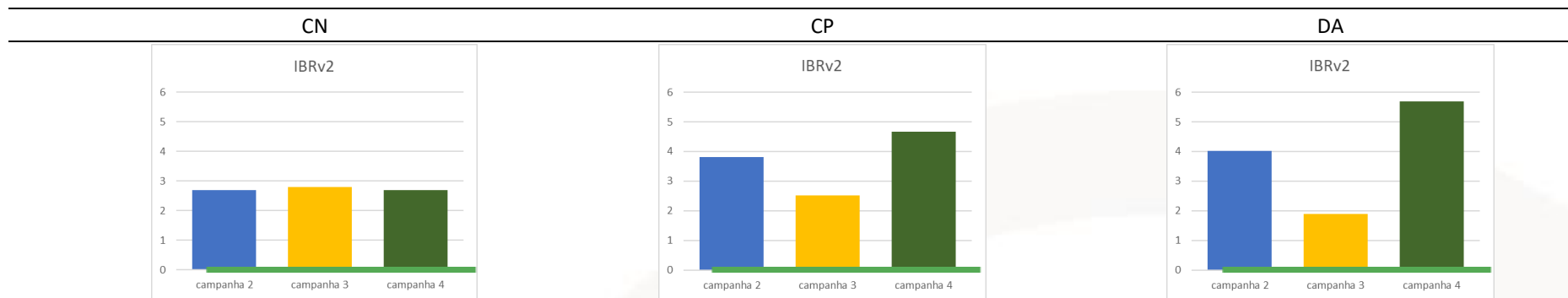
Na avaliação individual de cada um dos pontos amostrais, considerando todos os peixes amostrados no compartimento 2, observa-se que no ponto CN os maiores IBRv2 foram encontrados nas campanhas 3 e 4, no ponto CP na campanha 4 e no ponto DA nas campanhas 2 e 4. Nos Characiformes, avaliados em todas as campanhas apenas nos pontos CP e DA, nota-se que no ponto CP o IBRv2 aumentou gradativamente ao longo das campanhas, alcançando maior valor na campanha 4, enquanto no ponto DA os valores de IBRv2 foram elevados, porém mais constantes, ou seja, similares, nas campanhas 2, 3 e 4. Os Siluriformes, amostrados em todas as campanhas apenas nos pontos CN e DA, apresentaram valores de IBRv2 reduzidos e similares nas campanhas 2, 3 e 4, no ponto CN, enquanto no ponto DA o maior valor de IBRv2 foi observado na campanha 4, seguida da campanha 2 e da campanha 3, respectivamente. Os peixes de hábito alimentar ictiófago foram amostrados em todas as campanhas apenas no ponto DA, e os mesmos apresentaram elevados valores de IBRv2, embora semelhantes entre as campanhas 2, 3 e 4. Os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico apresentaram valores mais baixos de IBRv2 no ponto CN, sendo estes valores semelhantes entre as campanhas 2, 3 e 4, no ponto CP e no ponto DA no entanto, os maiores valores de IBRv2 foram observados na 4ª campanha, seguida da 2ª e da 3ª campanha, respectivamente (Tabela 46).

Tabela 46. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) não-enzimáticos de tecido hepático dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 2, comparação entre as campanhas.









Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Cichliformes, Siluriformes, ictiófagos e invertívoros bentônicos) e ponto amostral, as respostas do biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes capturados na 1ª campanha estão representadas em verde claro (—), da 2ª campanha em azul (—), da 3ª campanha em amarelos (—) e da 4ª campanha em verde escuro (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde clara representativa dos peixes capturados na 1ª campanha e as barras azul, amarela e verde escuro dos peixes capturados na 2ª, 3ª e 4ª campanha, respectivamente.

LPO - FÍGADO: peroxidação lipídica em tecido hepático; GSH - FÍGADO: concentração de glutathione reduzida em tecido hepático; MT - FÍGADO: concentração de metalotioneínas em tecido hepático.

3.1.1.3.9. Biomarcadores de neurotoxicidade – AChE cerebral e muscular

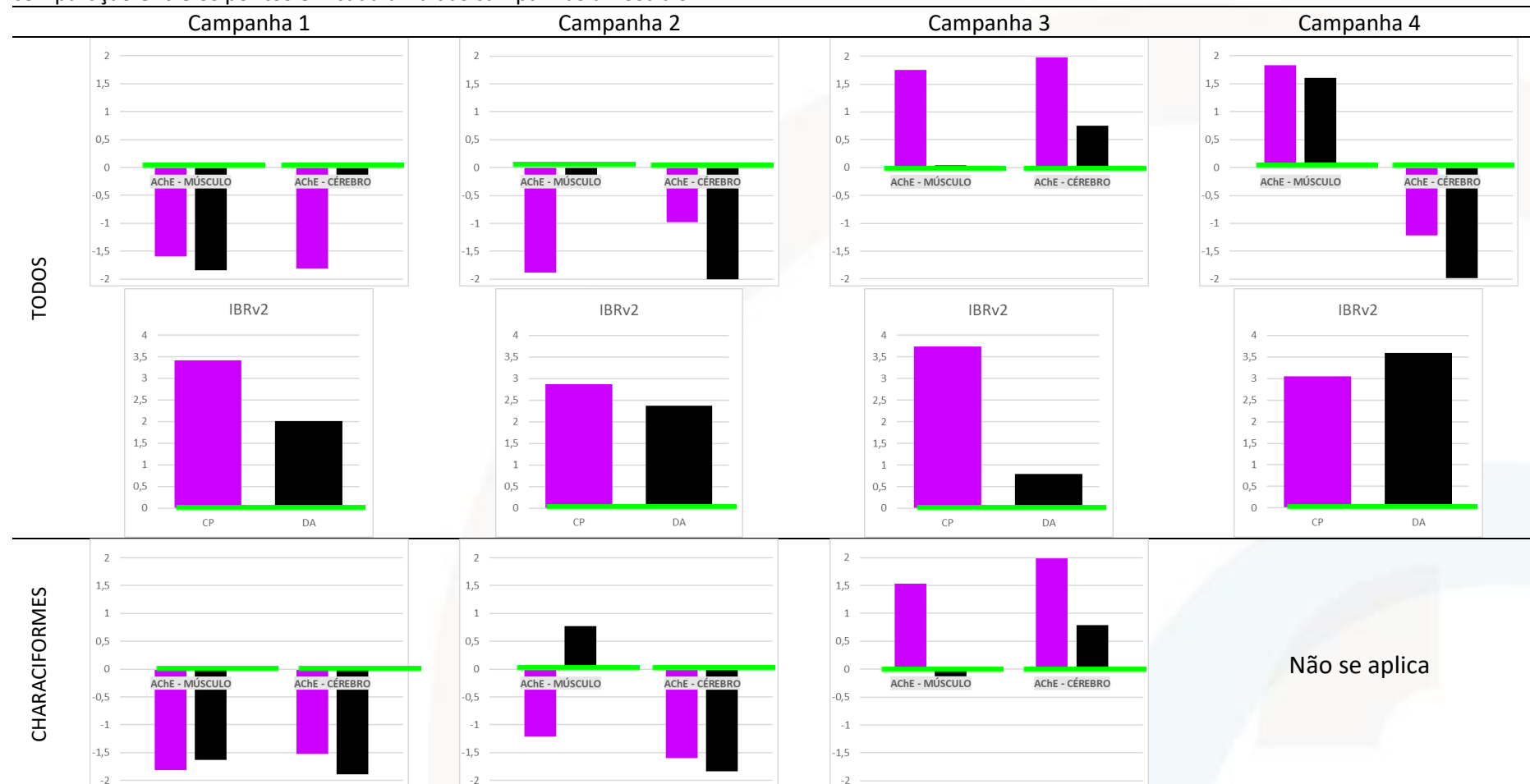
No compartimento 2, avaliando o conjunto formado por todos os peixes capturados em cada um dos pontos amostrais (Tabela 47), observa-se que nas 3 primeiras campanhas o maior IBRv2 aconteceu no ponto CP, ao passo que na 4ª campanha isto ocorreu em DA. Destaca-se que tanto CP quanto DA apresentaram alterações indicativas de neurotoxicidade, com especial destaque às campanhas 1 e 2, nas quais observou-se redução da atividade da AChE cerebral e/ou muscular nos peixes de ambos os pontos amostrais. Na 3ª campanha observa-se que claramente os peixes de CP estão sofrendo maiores alterações, refletidas pelo aumento da AChE cerebral e muscular, enquanto nos peixes de DA apenas um pequeno aumento da atividade da AChE cerebral foi observado. Por fim, na 4ª campanha, novamente CP e DA apresentaram alterações semelhantes, porém desta vez o efeito prejudicial de maior intensidade pode ser observado na atividade da AChE cerebral nos peixes do ponto DA que se apresentou expressivamente reduzida.

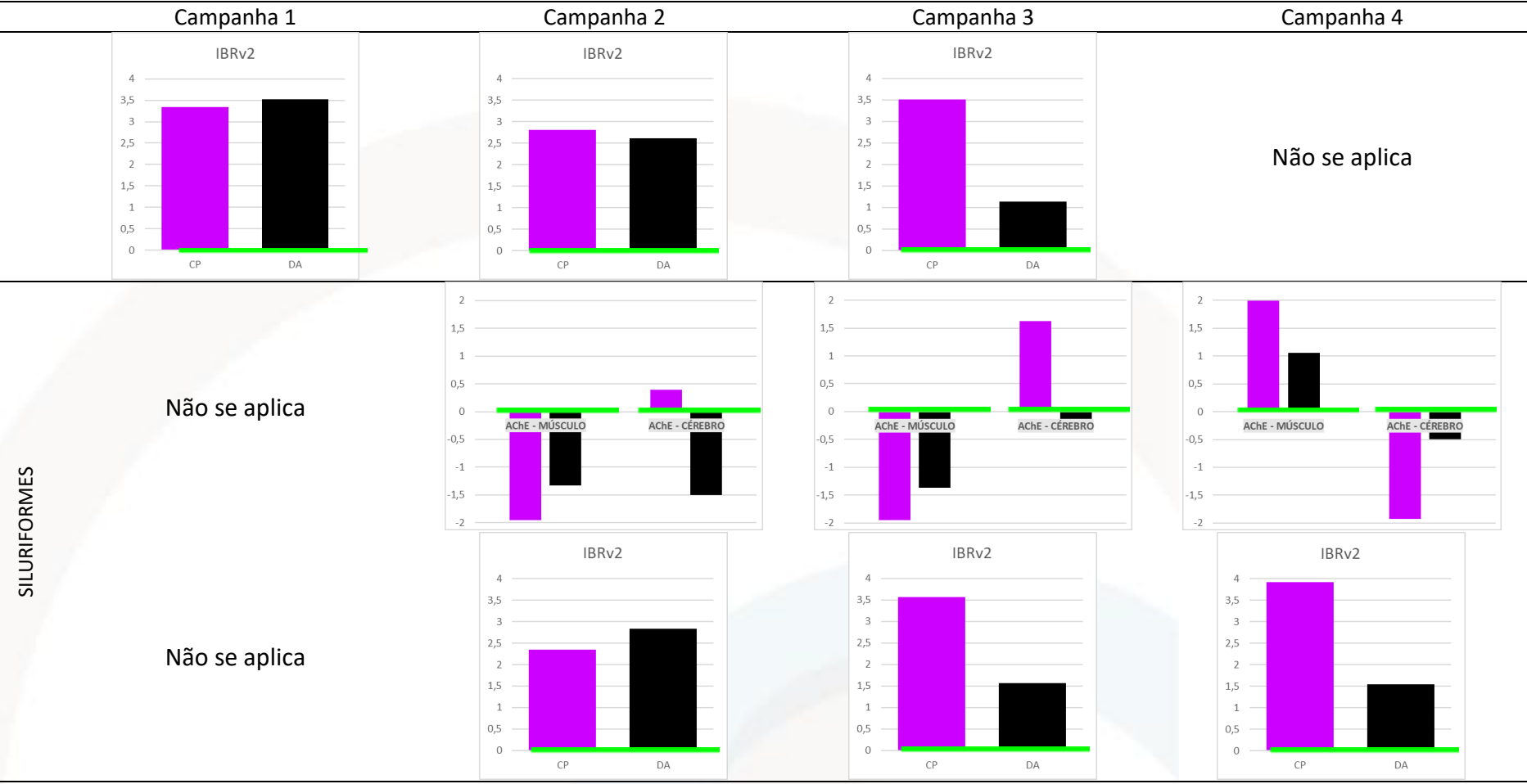
Por outro lado, no agrupamento dos peixes da ordem Characiformes, observou-se que na 1ª campanha o ponto DA apresentou o maior IBRv2, enquanto nas campanhas 2 e 3 isto ocorreu no ponto CP, e na 4ª campanha este agrupamento não foi avaliado. Neste agrupamento observa-se que os peixes Characiformes do ponto CP apresentaram o mesmo padrão de resposta anteriormente observado na avaliação conjunta de todos os peixes capturados neste ponto amostral, indicando alterações prejudiciais a estes peixes. Por outro lado, em relação aos peixes Characiformes do ponto DA, na 1ª e na 2ª campanhas, observa-se que estes apresentaram alterações mais expressivas do que as observadas na avaliação geral de todos os peixes amostrados no mesmo ponto, a exemplo, observa-se uma expressiva redução na atividade da AChE cerebral na 1ª campanha e o aumento da atividade da AChE muscular na 2ª campanha, alterações estas não observadas na avaliação geral.

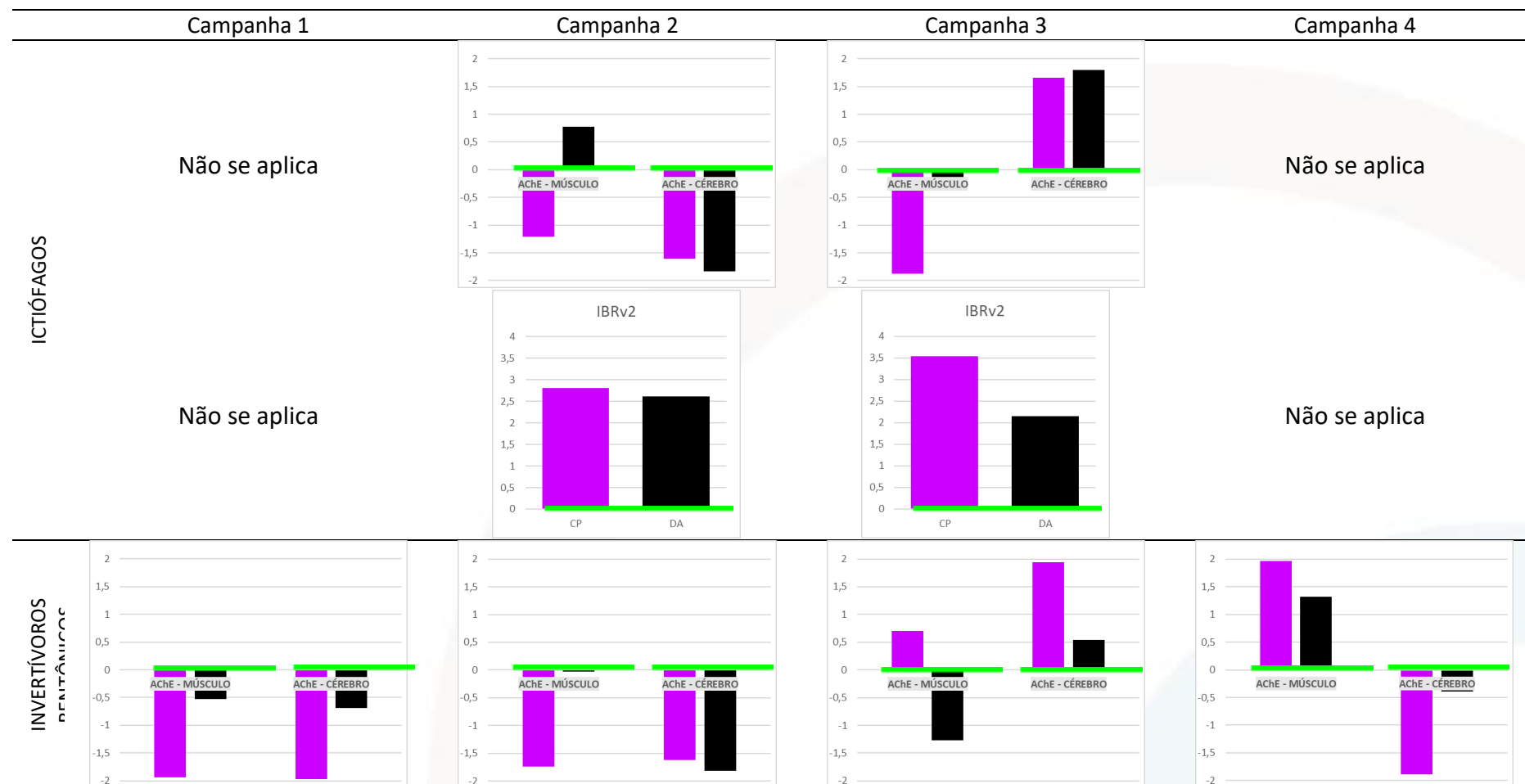
Os Siluriformes, não avaliados em todos os pontos na 1ª campanha, apresentaram maior IBRv2 no ponto DA na 2ª campanha, refletindo a redução na atividade da AChE cerebral e muscular neste ponto, e no ponto CP na 3ª e na 4ª campanha, o qual apresentou respostas opostas entre estas duas campanhas, com redução da atividade da AChE muscular e aumento da AChE cerebral na 3ª campanha e aumento da AChE muscular e diminuição da AChE cerebral na 4ª campanha. Ainda, em relação às respostas observadas no ponto DA nota-se que na 3ª e na 4ª campanha houve maior alteração na atividade da AChE muscular neste ponto.

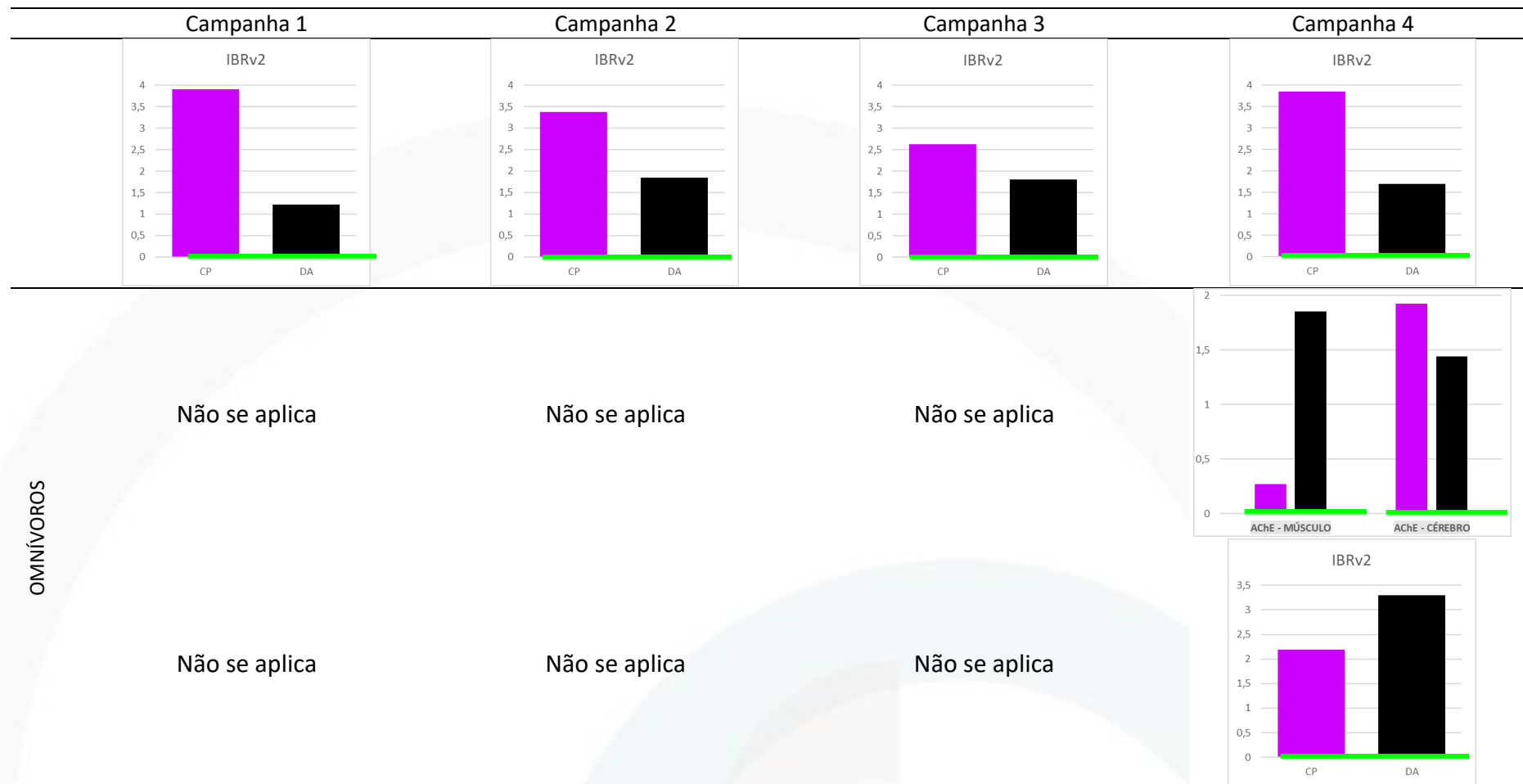
Os ictiófagos, avaliados apenas na 2ª e na 3ª campanha, e os invertívoros bentônicos, avaliados em todas as campanhas, apresentaram maior IBRv2 no ponto CP, em ambas as campanhas avaliadas. Por fim, os peixes de hábito alimentar omnívoro, avaliados em todos os pontos apenas na 4ª campanha, apresentaram maior IBRv2 no ponto DA, refletindo o expressivo aumento na atividade da AChE tanto cerebral quanto muscular observada nesse ponto.

Tabela 47. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) de neurotoxicidade dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 2, comparação entre os pontos em cada uma das campanhas amostrais.









Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

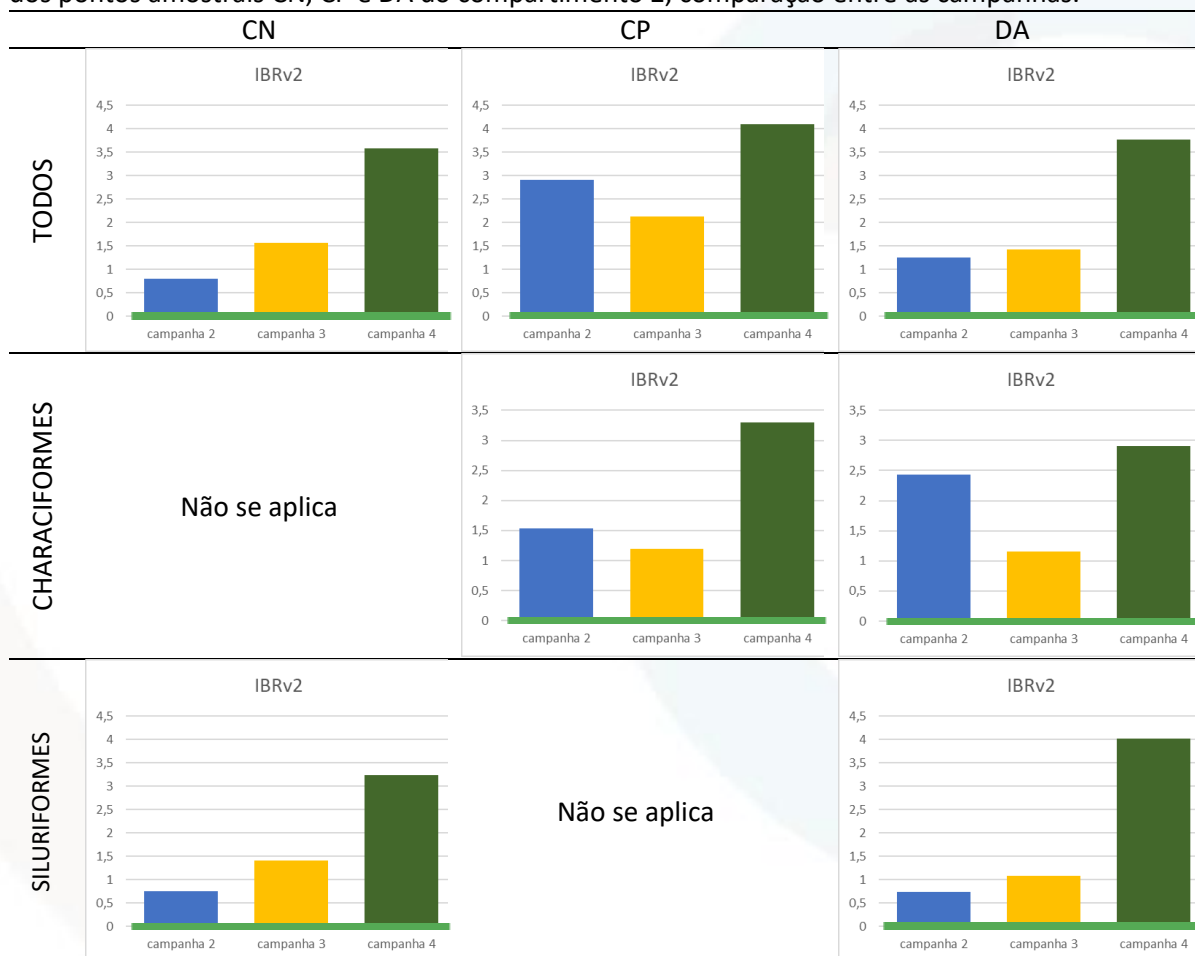
Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Siluriformes, ictiófagos, invertívoros bentônicos e omnívoros) e campanha, as respostas dos biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes de CN estão representadas em verde (—), de CP em violeta (—) e de DA em preto (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde representativa dos peixes do ponto CN, e as barras violeta e preta dos pontos CP e DA, respectivamente.

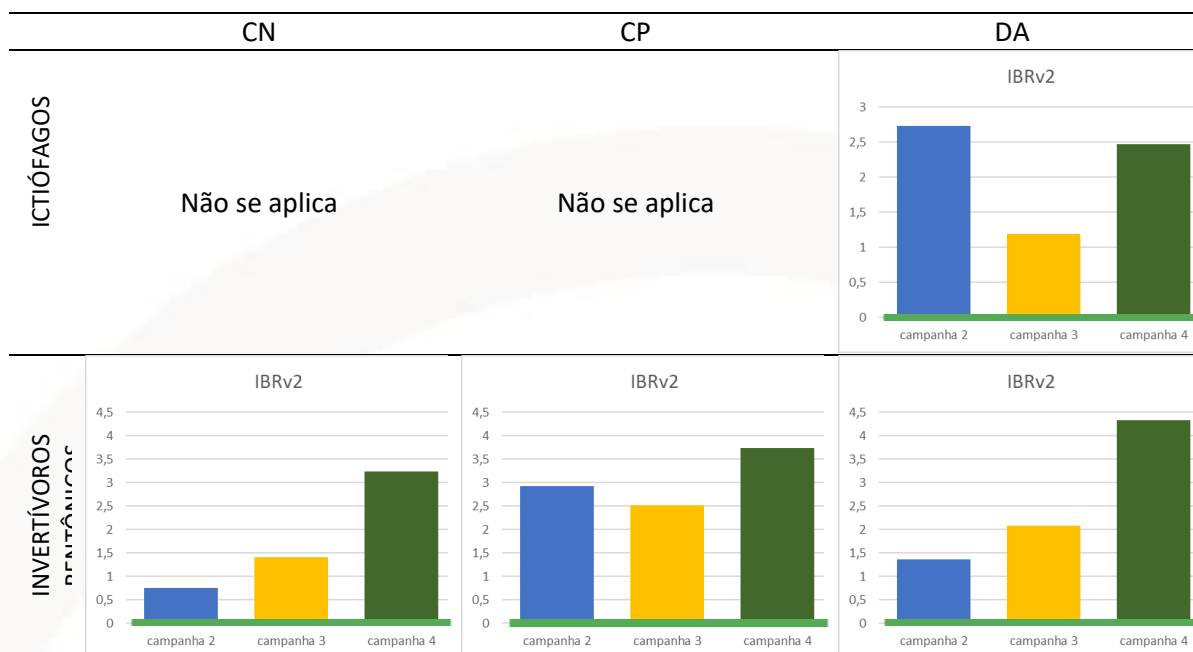
AChE - MÚSCULO: acetilcolinesterase em tecido muscular; AChE - CÉREBRO: acetilcolinesterase em tecido cerebral.

Avaliando individualmente cada um dos pontos amostrais do compartimento 2, quando considerados todos os peixes capturados ou os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico, nota-se que tanto em CN, quanto em CP e DA, o maior IBRv2 aconteceu na 4ª campanha, sendo nos pontos CN e DA observado um aumento gradativo neste valor ao longo das campanhas. Nos Characiformes, avaliados em todas as campanhas apenas nos pontos CP e DA observa-se que em ambos o maior IBRv2 aconteceu também na 4ª campanha, seguida da 2ª e da 3ª, respectivamente. Nos Siluriformes, não avaliados no ponto CP, nota-se que houve, tanto no ponto CN, quanto no ponto DA, aumento gradativo do valor de IBRv2 ao longo das campanhas amostrais, sendo o maior valor observado na campanha 4. Nos ictiófagos, avaliados em todas as campanhas apenas no ponto DA, observa-se padrão de IBRv2 semelhante ao dos Characiformes, com o maior valor na campanha 4, seguida da campanha 2 e da campanha 3, respectivamente (

Tabela 48).

Tabela 48. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) de neurotoxicidade dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 2, comparação entre as campanhas.





Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

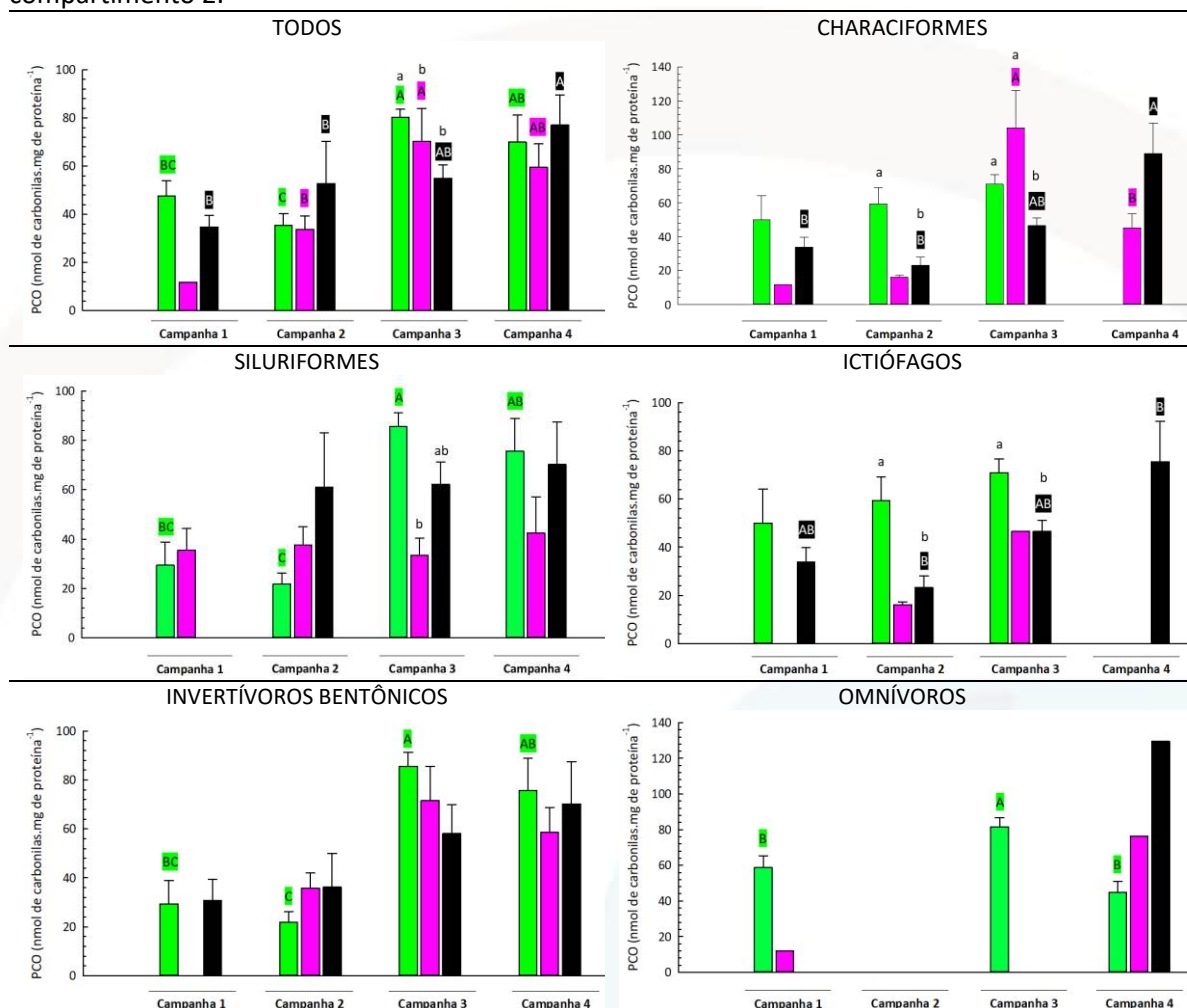
Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Cichliformes, Siluriformes, ictiófagos e invertívoros bentônicos) e ponto amostral, as respostas do biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes capturados na 1ª campanha estão representadas em verde claro (—), da 2ª campanha em azul (—), da 3ª campanha em amarelos (—) e da 4ª campanha em verde escuro (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde clara representativa dos peixes capturados na 1ª campanha e as barras azul, amarela e verde escuro dos peixes capturados na 2ª, 3ª e 4ª campanha, respectivamente.

3.1.1.3.10. Biomarcador de dano em proteínas – PCO

A carbonilação de proteínas nos peixes do compartimento 2 esteve maior naqueles capturados no ponto CN, na 3ª campanha, quando avaliados todos os peixes amostrados em cada ponto e campanha. Ainda, avaliando este dano ao longo das campanhas nota-se que os peixes de CN e CP apresentaram maior PCO na 3ª campanha, em relação à 1ª e à 1ª e 2ª campanhas, respectivamente, enquanto os de DA apresentaram maior PCO na 4ª campanha, em relação à 1ª e 2ª campanhas (Tabela 49).

Na avaliação dos agrupamentos por ordem ou hábito alimentar, quando comparadas as respostas dos peixes dos diferentes pontos amostrais ou de cada ponto ao longo das campanhas, nota-se que os resultados foram semelhantes aos resultados previamente descritos para o conjunto contendo todos os peixes deste compartimento (Tabela 49).

Tabela 49. Proteínas carboniladas no tecido muscular dos peixes dos pontos CN, CP e DA, do compartimento 2.



CN: Barras verdes; CP: barras violeta; DA: barras pretas. Letras minúsculas (abc) diferentes indicam diferença estatística entre os pontos amostrais em cada uma das campanhas. Letras maiúsculas (ABC) diferentes indicam diferença estatística entre as campanhas para cada um dos pontos amostrais: verde – CN, violeta – CP e preto – DA. As letras abc ou ABC representam também um gradiente de grandeza, sendo $a > b > c$ e $A > B > C$. PCO=proteínas carboniladas. Dados estão representados como média $\pm$ erro padrão da média. Significância considerada quando $p < 0,05$.

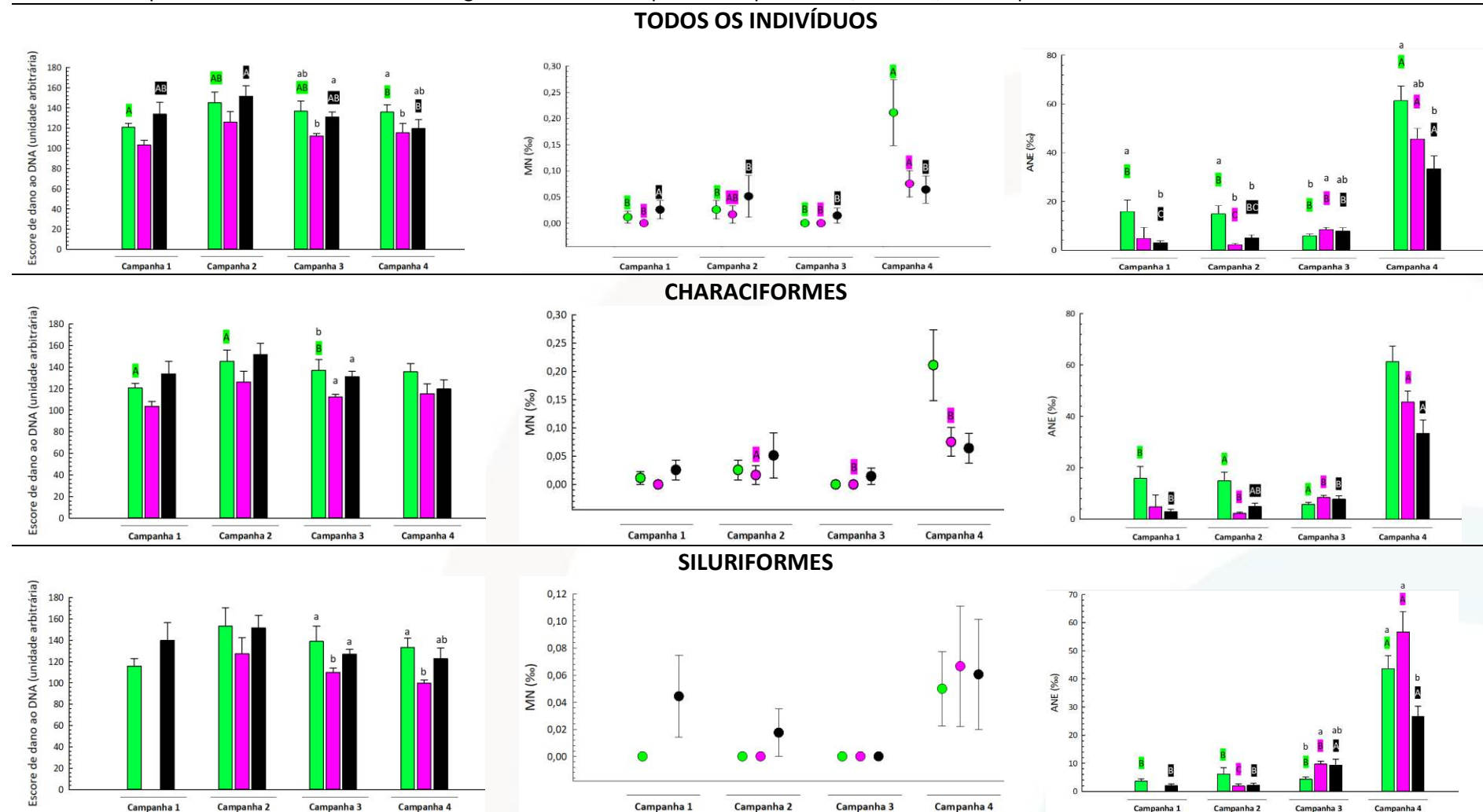
3.1.1.3.11. Biomarcadores de genotoxicidade e mutagenicidade – ensaio cometa, MN e ANE

No compartimento 2, considerando-se todos os peixes coletados em cada um dos pontos amostrados, observa-se que o escore de dano ao DNA esteve maior nos peixes do ponto DA, na 3ª campanha e do ponto CN, na 4ª campanha, em relação ao escore observado nos peixes do ponto CP, enquanto na avaliação temporal nota-se que no ponto CP o escore do dano foi maior nos peixes da 1ª campanha em relação aos da 4ª campanha, enquanto nos peixes do ponto DA o escore de dano foi maior nos peixes da 2ª campanha em relação aos da 4ª campanha. Em relação à frequência de MN nota-se que a mesma esteve maior nos peixes do ponto CN e P na 4ª campanha, enquanto em DA a maior frequência foi observada na 2ª campanha. A frequência de ANE esteve diferente entre os

peixes dos diferentes pontos amostrais em todas as campanhas, assim, foi observada maior frequência em CN, em relação a DA, na 1ª campanha e em relação à CP e DA, na 2ª e na 4ª campanha e maior frequência em CP em relação a CN, na 3ª campanha. Avaliando ao longo das campanhas nota-se que a frequência de ANE esteve maior nos peixes de todos os pontos, na 4ª campanha (Tabela 50).

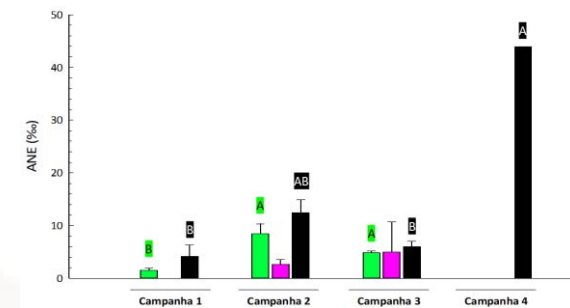
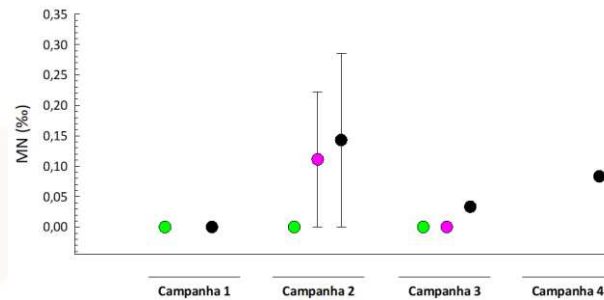
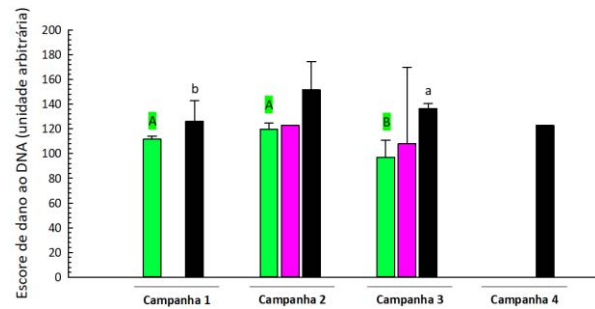
Assim como constatado para o compartimento 1, ao tratar dos agrupamentos de peixes de acordo com sua ordem ou seu hábito alimentar, tais agrupamentos não foram representados em todos os pontos e campanhas, e sendo assim, por vezes não foram avaliados estatisticamente. Ainda assim, destaca-se que no geral, independentemente do agrupamento e do ponto amostral, a maior frequência de ANE foi observada na 4ª campanha (Tabela 50).

Tabela 50. Respostas dos biomarcadores de citogenotoxicidade nos peixes dos pontos CN, CP e DA, do compartimento 2.

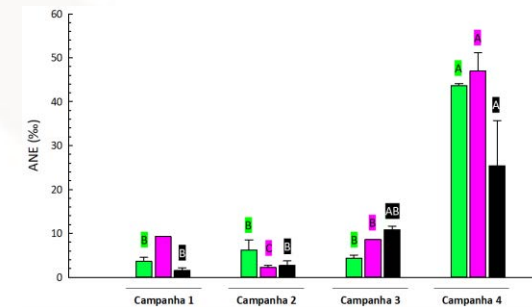
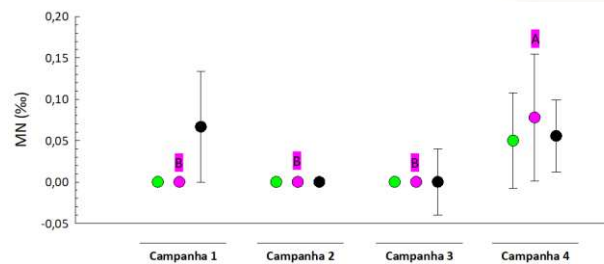
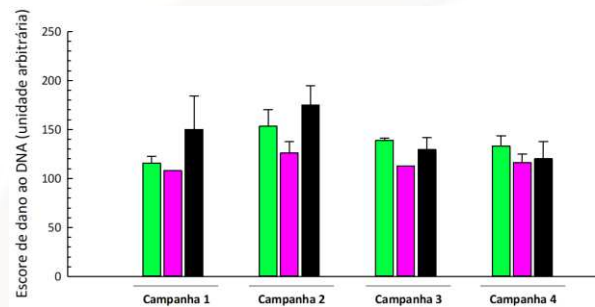




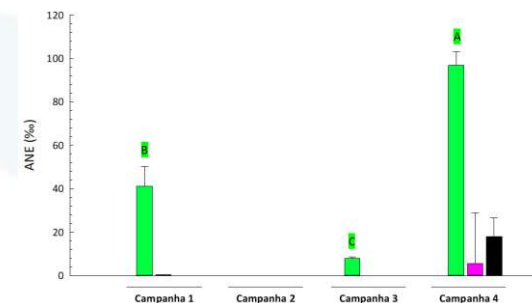
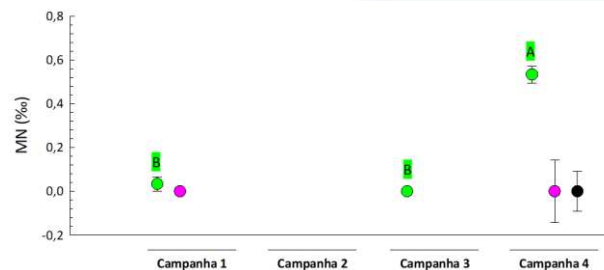
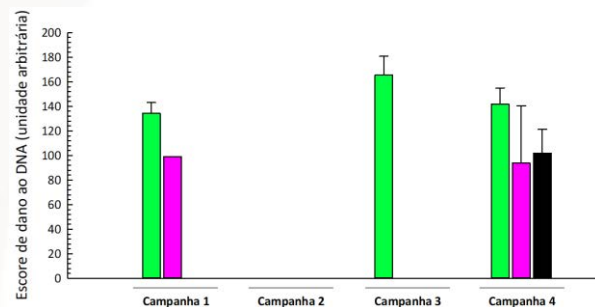
ICTIÓFAGOS



INVERTÍVOROS BENTÔNICOS



OMNÍVOROS



CN: Barras ou círculos verdes; CP: barras ou círculos violeta; DA: barras ou círculos pretos. Letras minúsculas (abc) diferentes indicam diferença estatística entre os pontos amostrais em cada uma das campanhas. Letras maiúsculas (ABC) diferentes indicam diferença estatística entre as campanhas para cada um dos pontos amostrais: verde – CN, violeta – CP e preto – DA. As letras abc ou ABC representam também um gradiente de grandeza, sendo $a > b > c$ e $A > B > C$. Escore de dano em DNA= ensaio cometa no tecido sanguíneo. MN= frequência de micronúcleos em eritrócitos. ANE= frequência de alterações nucleares eritrocitárias. Dados estão representados como média $\pm$ erro padrão da média. Significância considerada quando $p < 0,05$.

3.1.1.4. BIOACUMULAÇÃO DE EPTS

Dados faltantes, representados por espaços em branco no mapa de calor, representam grupos cujo n amostral foi insuficiente para a análise estatística dos dados ou grupos que não foram amostrados naquele ponto amostral e/ou campanha. Ainda, destaca-se que todos os EPTs foram detectados nos peixes de todos os pontos amostrais, tanto no tecido muscular quanto no tecido hepático.

MÚSCULO

Comparação entre pontos

No compartimento 2, considerando todos os peixes amostrados em cada um dos três pontos amostrais (CN, CP e DA) observa-se que na 1ª campanha, na qual apenas os pontos CN e DA foram amostrados, o ponto DA apresentou maior bioacumulação de cinco EPTs (Al, As, Ba, Ni e Se). Nas demais campanhas tanto CN, quanto CP e DA foram amostrados. Assim, os peixes de DA apresentaram maior bioacumulação de Fe, Hg e Zn, na 2ª campanha, de Ag, Ba, Cd, Ni, Pb e Se, na 3ª campanha e de Hg e Se, na 4ª campanha, quando comparados à bioacumulação observada nos pontos CN e CP. Ainda, observa-se, especialmente na 4ª campanha, que os peixes capturados no ponto CN apresentaram maior bioacumulação de cinco EPTs (Ag, As, La, Sb e Sn) (Tabela 70).

Agrupando os peixes do compartimento 2 de acordo com sua ordem, nota-se que os peixes da ordem Characiformes não foram avaliados no ponto CP da 1ª campanha e no ponto CN da 4ª campanha (Tabela 70). De maneira geral, neste agrupamento de peixes, especialmente na 2ª e 3ª campanhas, observa-se que os pontos CN, CP e DA apresentaram quantidades similares de EPTs em maior concentração. Ainda, na 1ª campanha o ponto DA apresentou a maior bioacumulação de Hg, Mn e Ni, enquanto CN apresentou maior bioacumulação de Zn e na 4ª campanha nota-se que o ponto CP apresentou a maior quantidade de EPTs (5) em concentrações superiores às observadas no ponto DA, sendo eles o Co, o Mn, o Ni, o Pb e o Zn.

A outra ordem avaliada no compartimento 2 foi a dos peixes Siluriformes, sendo estes amostrados na 1ª campanha apenas nos pontos CN e DA e em todos os pontos nas demais campanhas (Tabela 70). Diferente do observado para os peixes da ordem Characiformes, nos Siluriformes fica evidente a maior bioacumulação de EPTs nos peixes do ponto DA, especialmente na 2ª e na 3ª campanha, amostradas no período chuvoso, uma vez que nestas campanhas a bioacumulação observada nos peixes Siluriformes do ponto DA foi superior tanto à dos peixes de CN, quando de CP, evidenciando efeito direto da lama de rejeitos provenientes do desastre, possivelmente potencializado pelo período chuvoso que culminou no revolvimento dos sedimentos depositados no leito do rio Doce neste compartimento. De maneira mais detalhada, observou-se que na 1ª campanha os EPTs Al, Ba,

Ni e Sn estiveram em maiores concentrações no tecido muscular dos peixes Siluriformes do ponto DA, enquanto o Hg esteve mais bioacumulado nos peixes do ponto CN. Ainda, DA apresentou maior bioacumulação dos que os pontos CN e CP para os EPTs Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Sn e Zn, na 2ª campanha e para os EPTs As, Ba, Fe, Ni, Pb, Se, Sn e Zn, na 3ª campanha. Por fim, na 4ª campanha DA apresentou maior bioacumulação de As e Se, CP de Cu e CN de Ag, Cd, Sb e Sn.

Quando aos agrupamentos de acordo com seus hábitos alimentares nota-se que os peixes de hábito alimentar detritívoro foram amostrados apenas nos pontos CN e DA na 2ª campanha, sendo nesta observado que os peixes de CN apresentaram a maior bioacumulação de As, enquanto os de DA apresentaram a maior bioacumulação de Ba, Co, Fe, Hg, Ni e Se. Os peixes de hábito alimentar ictiófago, por sua vez, foram amostrados no compartimento 2 apenas das três primeiras campanhas, e especificamente o ponto CP apenas na 2ª campanha. Assim, de maneira geral, observa-se que para este agrupamento a bioacumulação de EPTs se deu de maneira semelhantes nos pontos e campanhas avaliados (Tabela 70).

Ainda, no compartimento 2, foi avaliado o agrupamento dos peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico (Tabela 70). Neste agrupamento, na 1ª campanha, apenas foram obtidos animais nos pontos CN e DA, estando o Ba, Co e Mn em maior concentração nos peixes de DA quando comparados aos de CN. Nas demais campanhas foram amostrados peixes deste hábito alimentar nos três pontos (CN, CP e DA) amostrais. Destaca-se que os peixes do ponto DA apresentaram maior quantidade de EPTs em concentrações maiores do que as observadas nos peixes dos demais pontos (CN e CP) na 2ª e 3ª campanha, sendo estes Ag, Cr, Cu, Fe, Hg, Sn e Zn, na 2ª campanha, e Ba, Cd, Co, Ni, Se e Zn, na 3ª campanha. No entanto, na 4ª campanha os peixes do ponto CN e do ponto CP apresentaram mais EPTs em concentrações superiores às observadas no ponto DA, estando em DA apenas o As em concentração superior aos demais grupos.

Comparação entre campanhas

No compartimento 2, similar ao observado no compartimento 1, no geral, tanto no ponto CN, quanto em CP e DA, os peixes capturados na 2ª campanha foram os que apresentaram a maior quantidade de EPTs em concentrações superiores às dos peixes das demais campanhas avaliadas (Tabela 71). Destaca-se que no ponto CN as concentrações de Hg se apresentaram similares nos peixes das quatro campanhas, nos peixes do ponto CP, os quais foram avaliados apenas nas campanhas 2, 3 e 4, os níveis de Ba, Cu e Mn apresentaram semelhança ao longo das campanhas e no ponto DA os EPTs Ba, Hg e Mn foram os que apresentaram concentrações similares nos peixes das diferentes campanhas.

Na avaliação dos peixes da ordem Characiformes nota-se que estes foram avaliados quanto à concentração de EPTs no tecido muscular nas quatro campanhas apenas no ponto DA, ao passo que

no ponto CN foram avaliados nas três primeiras campanhas e no ponto CP nas três últimas campanhas (Tabela 71). Assim, em CN está evidente que os peixes capturados na 2ª campanha apresentaram a maior bioacumulação de uma grande quantidade de EPTs (9). No ponto CP, por sua vez, nota-se que na 2ª e 4ª campanha cinco e seis EPTs, respectivamente, estiveram em concentrações maiores que nos peixes das demais campanhas. Por fim, em relação aos Characiformes de DA nota-se que estes apresentaram a maior concentração de Co na 1ª campanha, de As, Cu, Fe, Se e Zn na 2ª campanha, de Cd na 4ª campanha, enquanto em ambas as campanhas apresentaram níveis similares de Ba, Hg, La, Mn e Ni.

Peixes da ordem Cichliformes foram avaliados no compartimento 2 apenas nos pontos CN, nas quatro campanhas e no ponto CP, nas campanhas 2 e 4, sendo em ambos observado que nos peixes capturados na 2ª campanha houve maior quantidade de EPTs em concentração superior às concentrações das demais campanhas (Tabela 71). Os Siluriformes, por sua vez, foram avaliados nos três pontos amostrais, embora em CP apenas nas campanhas 2, 3 e 4. Ainda assim, tanto em CN quanto em CP e DA nota-se que os peixes capturados na 2ª campanha apresentaram maior bioacumulação de grande parte dos EPTs em relação à bioacumulação observada nas demais campanhas (Tabela 71).

Ao avaliar os peixes do compartimento 2 de acordo com seus hábitos alimentares nota-se que aqueles de hábito alimentar detritívoro foram avaliados apenas nas três primeiras campanhas no ponto DA, sendo neste constatado que aqueles capturados na 2ª campanha apresentaram nove EPTs em concentrações superiores às dos peixes capturados nas demais campanhas (Tabela 71). Os ictiófagos, por sua vez, foram avaliados nas campanhas 1, 2 e 3, no ponto CN e nas quatro campanhas no ponto DA, e novamente, em ambos os pontos pode ser notado que os peixes capturados na 2ª campanha foram os que apresentaram a maior quantidade de EPTs em concentrações superiores às concentrações observadas nos peixes das demais campanhas (Tabela 71).

Nos invertívoros bentônicos nota-se mais uma vez que aqueles capturados na 2ª campanha apresentaram a maior quantidade de EPTs com concentrações superiores às dos peixes capturados nas demais campanhas avaliadas em cada um dos pontos. Por fim, os peixes de hábito alimentar omnívoro foram avaliados apenas nas campanhas 1, 3 e 4, no ponto CN, sendo neste caso observado que os peixes capturados na 4ª campanha foram os que apresentaram a maior bioacumulação para grande parte dos EPTs (Tabela 71).

FÍGADO

Comparação entre pontos

Considerando todos os peixes amostrados no compartimento 2 observou-se que no que se trata das concentrações de EPTs no tecido hepático, na 1ª campanha apenas os pontos CN e DA foram

avaliados, e ambos bioacumularam três EPTs em concentrações maiores que o outro. Na 2ª e na 3ª campanha, no geral, o ponto CP foi o que apresentou a maior quantidade de EPTs em concentrações superiores às concentrações observadas nos demais pontos amostrais. Por fim, na 4ª campanha os peixes do ponto CN foram os que apresentaram a maior quantidade de EPTs em concentrações maiores que às observadas nos demais pontos (Tabela 72).

Na avaliação de acordo com as ordens dos peixes nota-se que os Characiformes foram avaliados na 1ª campanha apenas nos pontos CN e DA e não foram avaliados em nenhum dos pontos amostrais na 4ª campanha (Tabela 72). Assim, na 1ª campanha nota-se que os peixes do ponto DA apresentaram bioacumulação de As, Cd, Co e Fe maior do que os peixes do ponto CN. Na 2ª campanha CN apresentou a maior bioacumulação de Cu, CP de Cd e DA de As. Já na 3ª campanha os peixes do ponto CN novamente apresentaram maior bioacumulação de Cu, no entanto em CP observou-se maior concentração de Al, Co e Fe e em DA de Hg.

Os Siluriformes, por sua vez, foram amostrados nos pontos CN e DA na 1ª campanha e em todos os pontos amostrais nas demais campanhas. Nos peixes desta ordem observou-se que, no geral, os peixes capturados no ponto CN apresentaram maior bioacumulação para um maior número de EPTs do que os peixes do ponto DA. Na 1ª campanha CN os peixes de CN apresentaram maior bioacumulação para os EPTs Al, Ce, Fe, Hg, La, Pb e Zn, enquanto os peixes de DA apresentaram maior bioacumulação de Ag, As e Ni. Na 2ª campanha CN apresentou as maiores concentrações de Al, Fe, Hg e Pb, enquanto CP apresentou as maiores concentrações de Ag, Cu e Sb, ainda CN e CP apresentaram concentrações de Cd, Ce, La e Mn semelhantes entre si, porém superiores às concentrações observadas em DA. Na 3ª campanha CN apresentou a maior bioacumulação de Cu, Fe, Hg, Pb e Zn, CP de Cu, Mn, Sb e Se e DA de As, Co e Ni, enquanto Cd, Ce e La estiveram em concentrações novamente semelhantes entre CN e CP, e superiores às concentrações de DA. Na 4ª campanha observa-se que as concentrações de Ce, Pb e Sn estiveram maiores nos peixes de CN, enquanto As e Ni estiveram em maiores concentrações no ponto DA (Tabela 72).

Em relação aos diferentes hábitos alimentares, os peixes ictiófagos do compartimento 2 foram amostrados apenas nas três primeiras campanhas, sendo que na 1ª e na 3ª apenas nos pontos CN e DA (Tabela 72). Assim, observa-se que na 1ª campanha os peixes do ponto DA apresentaram maior bioacumulação do que os do ponto CN para os EPTs As, Cd, Co e Fe. Na 2ª campanha os peixes de DA bioacumularam mais As, os de CP mais Cd e os de CN mais Cu. Por fim, na 3ª campanha os peixes ictiófagos do ponto CN apresentaram maior bioacumulação de Ag e Cu do que os peixes de mesmo hábito alimentar do ponto DA.

Ainda no compartimento 2 foram também avaliados os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico, sendo estes amostrados em todas as campanhas e pontos, exceto no ponto CP na 1ª campanha (Tabela 72). Assim, nota-se que na 1ª campanha o ponto CN apresentou a maior

concentração de Cd e La, enquanto o ponto DA apresentou a maior concentração de Cu, estando os demais EPTs em concentrações semelhantes nestes dois pontos. Já na 2ª e na 3ª campanha, os peixes dos pontos CN e CP apresentaram maior quantidade de EPTs em concentrações superiores aos demais pontos, estando em DA o Se, na 2ª campanha, e o Ag e o As, na 3ª campanha, em concentrações superiores às concentrações encontradas nos peixes de CN e CP. Por fim, na 4ª campanha observou-se que os peixes invertívoros bentônicos do ponto CN apresentaram maior bioacumulação dos EPTs Ce, Fe, Hg, Pb e Sn, enquanto aqueles do ponto DA apresentaram maior bioacumulação de As, Ni e Se.

Comparação entre campanhas

Na avaliação ao longo das quatro campanhas nota-se que a bioacumulação de EPTs no tecido hepático dos peixes do compartimento 2 não foi avaliada no ponto CP na 1ª campanha. Assim, avaliando cada um dos pontos amostrais nota-se que em ambos a maior parte dos EPTs esteve em concentrações semelhantes ao longo das quatro campanhas

). Avaliando apenas os peixes da ordem Characiformes observa-se que no ponto CN estes foram avaliados apenas nas três primeiras campanhas e nestas não apresentaram diferenças nas concentrações hepáticas de nenhum dos EPTs avaliados. No ponto CP, avaliado apenas nas campanhas 2 e 3, apenas o Co e o Sb apresentaram diferenças, estando o Co maior nos peixes coletados na 3ª campanha e o Sb nos peixes coletados na 2ª campanha. Por fim, no ponto DA os Characiformes foram avaliados em todas as campanhas e nestes evidenciou-se que os peixes capturados na 2ª campanha foram os que apresentaram a maior quantidade de EPTs em concentrações superiores às observadas nas demais campanhas (Tabela 73).

Os peixes da ordem Cichliformes foram avaliados no compartimento 2 apenas no ponto CN, sendo neste ponto observado que apenas sete dos 19 EPTs apresentaram concentrações semelhantes no tecido hepático destes peixes ao longo das quatro campanhas. Os Siluriformes, no entanto, foram avaliados nos três pontos amostrais, embora no ponto CP apenas nas campanhas 2, 3 e 4. No ponto CN os peixes desta ordem capturados na 1ª campanha apresentaram maior quantidade de EPTs em concentrações superiores aos peixes capturados nas demais campanhas. No ponto CP a maioria dos EPTs esteve em concentrações semelhantes nos peixes coletados nas três campanhas avaliadas. Destaca-se neste ponto que os peixes da 2ª campanha apresentaram maior bioacumulação de As, Ce, Pb e Sb, enquanto os da 3ª campanha apresentaram maior bioacumulação de Sn. Nos peixes Siluriformes do ponto DA observa-se que os níveis de As, Ba, Cr, Fe e Ni estiveram similares no tecido hepático dos peixes das quatro campanhas, no entanto, Cd, Co, Pb, Sn e Zn estiveram em maior concentração nos peixes capturados na 2ª campanha e Al, Ce, La, Mn, Sb e Se estiveram em maior concentração nos peixes capturados na campanha 4 (Tabela 73).

Quanto aos diferentes hábitos alimentares nota-se que os peixes detritívoros, avaliados apenas nas três primeiras campanhas no ponto DA, apresentaram concentrações similares para a maioria dos EPTs nestas três campanhas. Os ictiófagos foram amostrados apenas nos pontos CN e DA. Em CN, entre as três campanhas em que estes peixes foram avaliados (1ª, 2ª e 3ª) todos os EPTs apresentaram concentrações similares. Em DA, por sua vez, os peixes ictiófagos capturados na 1ª campanha apresentaram a maior bioacumulação de Co e Ni, enquanto aqueles da 2ª campanha apresentaram maior bioacumulação de As, Ce, La, Mn e Pb (Tabela 73).

Os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico do ponto CN apresentaram maior bioacumulação de nove dos 19 EPTs nos peixes da 1ª campanha, enquanto seis EPTs (Ag, Al, As, Cu, Fe e Sb) apresentaram concentrações semelhantes no tecido hepático dos peixes das quatro campanhas. No ponto CP sete dos 19 EPTs estiveram em maior concentração nos peixes capturados na 2ª campanha, lembrando que este agrupamento não foi avaliado na 1ª campanha. Já em DA nota-se grande variabilidade nas concentrações mensuradas dos EPTs, destacando que neste ponto apenas o Cr e o Sn apresentaram concentrações semelhantes entre os peixes das quatro campanhas (Tabela 73).

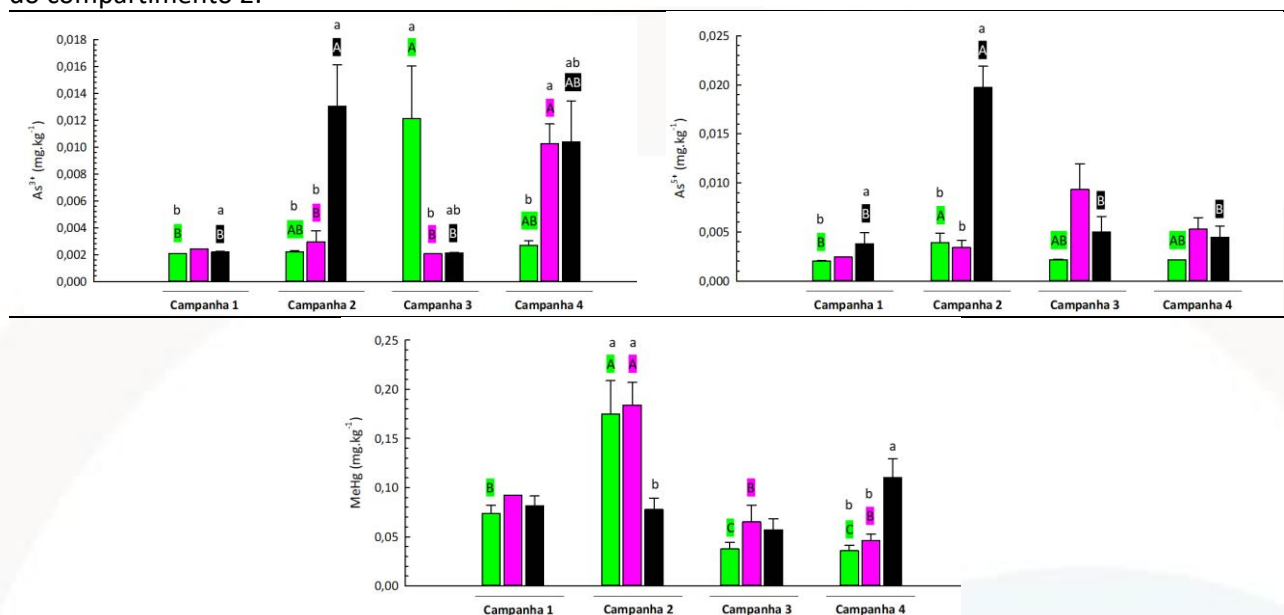
Por fim, o último hábito alimentar avaliado foi o omnívoro, o qual foi apenas representado no ponto CN, nas campanhas 1, 3 e 4, nestas nota-se que as concentrações de 10 EPTs foram similares, enquanto o Pb esteve maior nos peixes omnívoros da 1ª campanha, o Ce e o La nos peixes da 2ª campanha e o Hg nos peixes da 3ª campanha (Tabela 73).

ESPECIAÇÃO

Nos peixes do 2º compartimento destaca-se que os peixes de DA apresentaram maior concentração de As(III) e As(V) do que os peixes do ponto CN, na 1ª campanha e do que os peixes dos pontos CN e CP, na 2ª campanha. Ainda, na avaliação temporal nota-se que em DA as maiores concentrações destes contaminantes foram observadas na 2ª campanha, em relação à 1ª e 3ª, no caso do As(III) e em relação às demais campanhas para o As(V). Já os peixes do ponto CN apresentaram maior bioacumulação de As(III) na 2ª campanha em relação à 1ª campanha e de As(V) na 2ª campanha em relação à 1ª. Os peixes do ponto CP, por sua vez, apresentaram maior concentração de As(III) na 4ª campanha em relação à 2ª e 3ª, enquanto em relação ao As(V) não foram observadas diferenças significativas ao longo das campanhas.

Em relação ao MeHg nota-se que na 2ª campanha este esteve em maior concentração nos peixes dos pontos CN e CP, enquanto na 4ª campanha esteve maior nos peixes do ponto DA. Avaliando a mesma ao longo das campanhas amostrais nota-se que em CN e CP as maiores concentrações foram encontradas nos peixes da 2ª campanha.

Tabela 51. Bioacumulação das espécies metálicas As(III), As(V) e MeHg no tecido muscular dos peixes do compartimento 2.



CN: barras verdes, CP: barras violetas; DA: barras pretas e DQ: barras vermelhas. Letras minúsculas (abc) diferentes indicam diferença estatística entre os pontos amostrais em cada uma das campanhas. Letras maiúsculas (ABC) diferentes indicam diferença estatística entre as campanhas para cada um dos pontos amostrais: verde – CN, violeta – CP e ■ – DA. As letras abc ou ABC representam também um gradiente de grandeza, sendo $a > b > c$ e $A > B > C$. Dados estão apresentados como média $\pm$ erro padrão da média, $p < 0,05$.

Compartimento 3

3.1.1.5. ALTERAÇÕES NAS CONDIÇÕES CORPORAIS E/OU NA SAÚDE

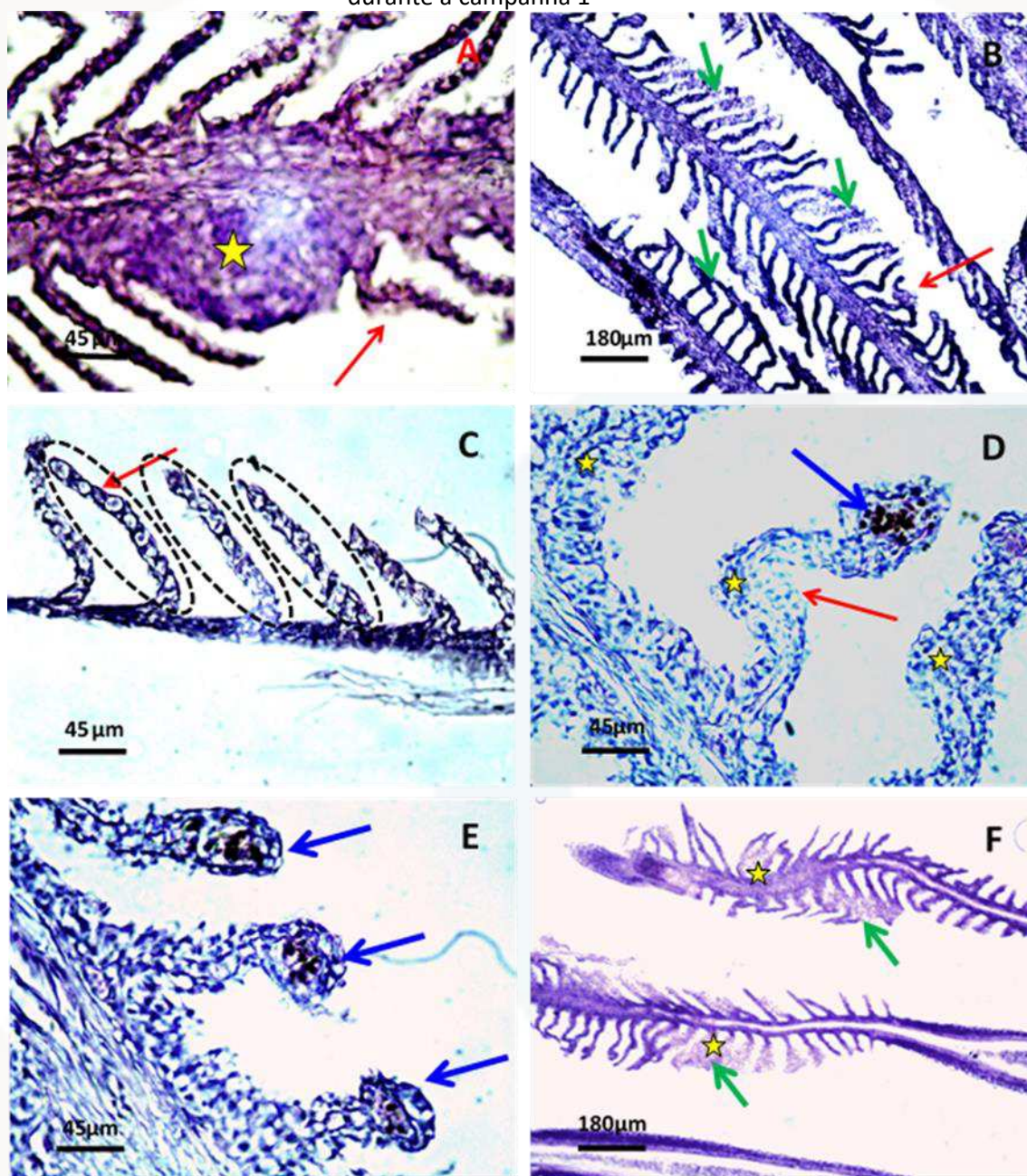
3.1.1.5.1. Prejuízos à estrutura e função das brânquias (biomarcador: histopatologia de brânquias)

Todos os peixes capturados no compartimento 3 apresentaram inúmeras alterações na estrutura das brânquias. Dentre as alterações morfológicas identificadas nas brânquias dos peixes capturados no ponto controle negativo (CN) desse compartimento destacam-se: desestruturação do filamento branquial, fusão parcial e/ou total das lamelas primárias, aneurisma (leve), proliferação celular, hipertrofia e hiperplasia (e.g., Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49). Os peixes capturados no ponto controle positivo (CP) apresentaram: desestruturação do filamento branquial, aneurisma (leve), proliferação celular, fusão parcial das lamelas primárias, hiperplasia e deslocamento epitelial (e.g., Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53). Os peixes capturados no ponto dentro da APDL (DA) apresentaram: desestruturação do filamento branquial, fusão parcial e/ou total das lamelas primárias, aneurisma (severo), proliferação celular, hiperplasia, atrofia e descolamento epitelial (e.g., Figura 54, Figura 55, Figura 56, Figura 57).

Embora com danos à estrutura branquial bastante similares, os peixes do ponto DA apresentaram danos de maior magnitude na estrutura branquial. Entretanto, quando aplicado o índice

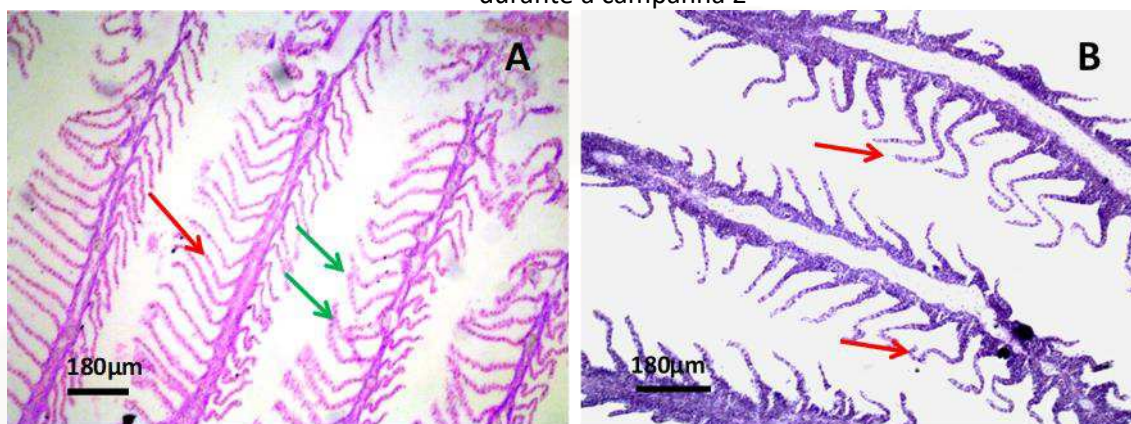
de Bernet (IB) observa-se que o ponto cujos peixes apresentaram o maior comprometimento à morfologia do tecido branquial foi o ponto CP (Tabela 52). Ainda, a aplicação do IB para os peixes agrupados por ordem demonstrou que os peixes da ordem Perciformes foram os que tiveram o tecido branquial mais comprometido no ponto CN; os Siluriformes no ponto CP e os Characiformes no ponto DA (Tabela 53).

Figura 46. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CN do compartimento 3 durante a campanha 1



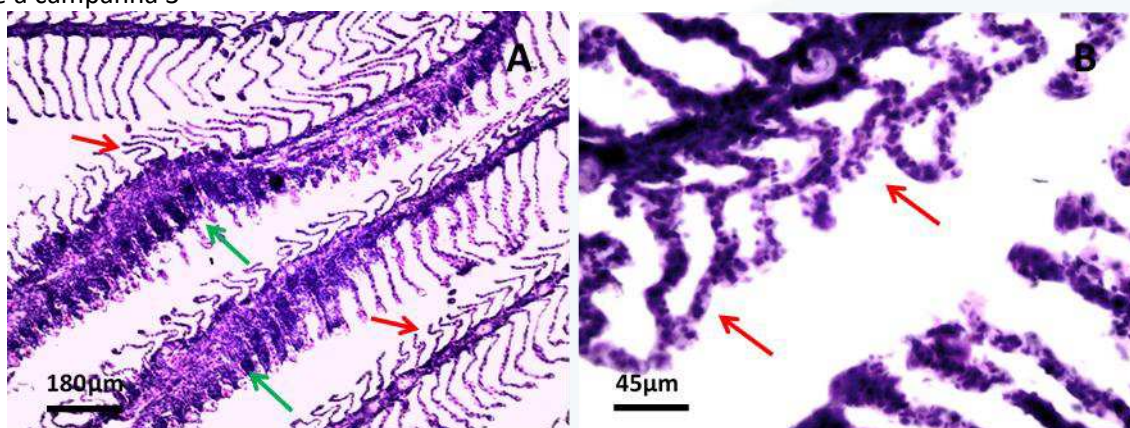
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, seta verde = fusão de lamelas, seta azul = aneurisma, estrela amarela = proliferação celular, área circundada pela linha pontilhada preta = hipertrofia de células do epitélio branquial. Fonte: LACTEC

Figura 47. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CN do compartimento 3 durante a campanha 2



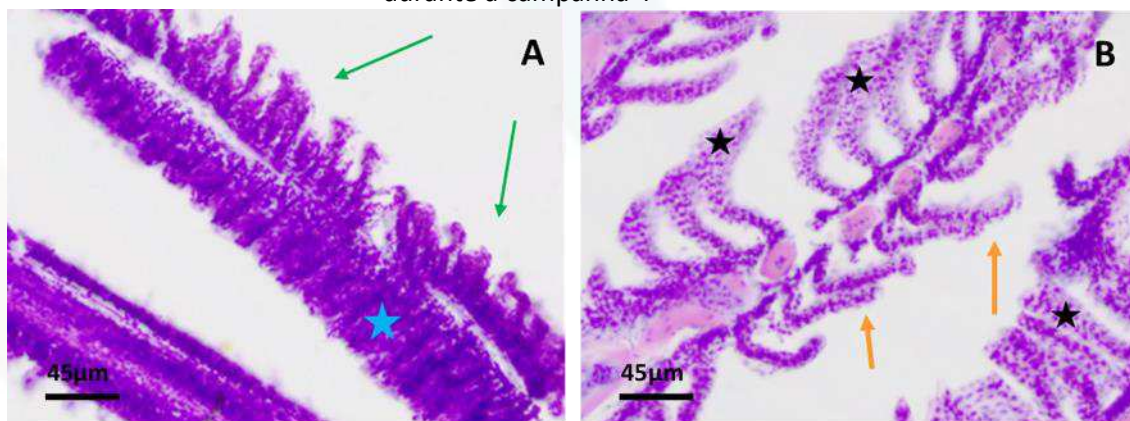
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, seta verde = fusão de lamelas. Fonte: LACTEC

Figura 48. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CN do compartimento 3 durante a campanha 3



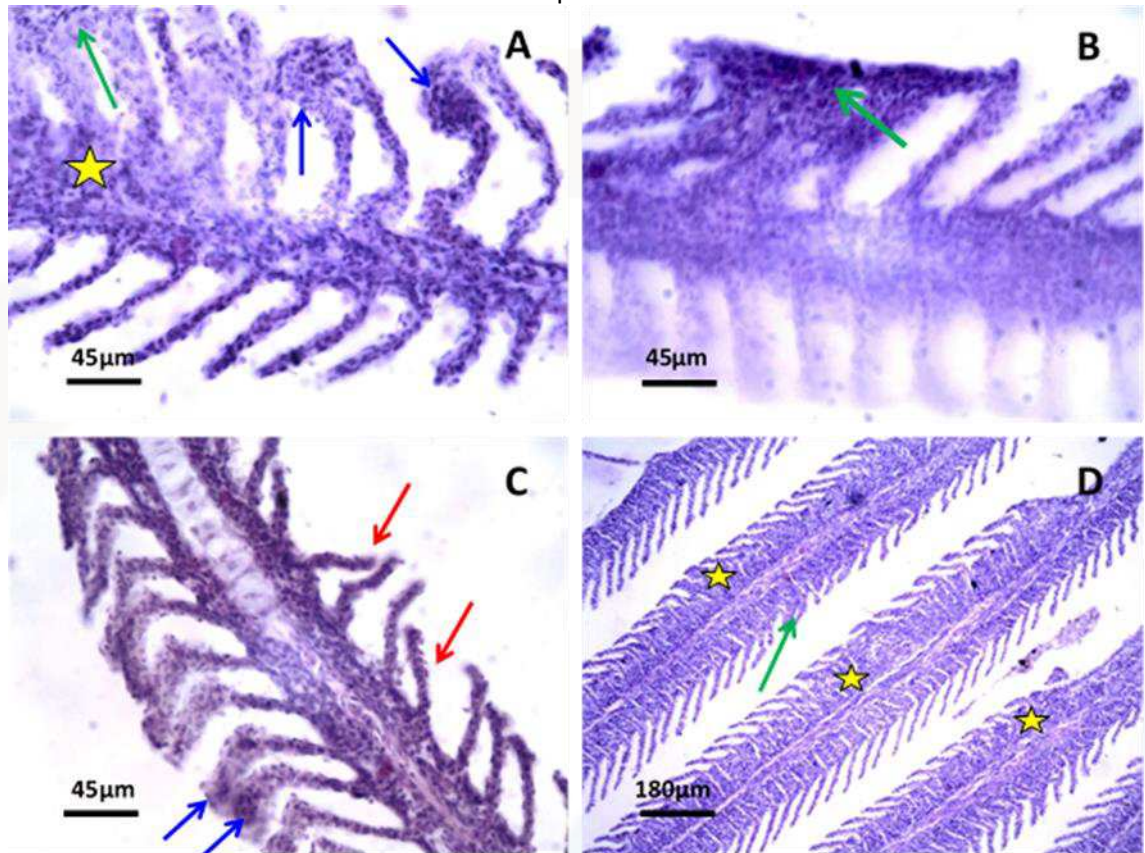
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, seta verde = fusão de lamelas. Fonte: LACTEC

Figura 49. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CN do compartimento 3 durante a campanha 4



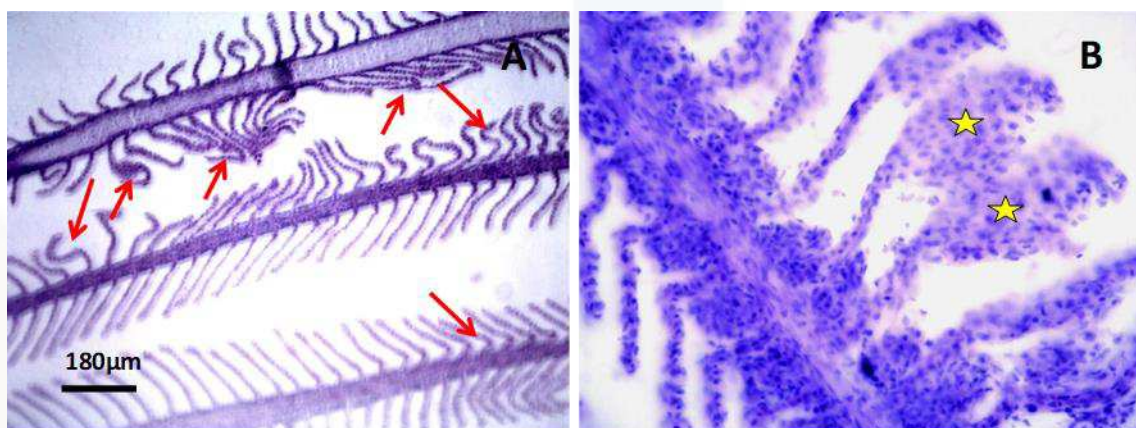
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta verde = hiperplasia, seta laranja = desestruturação do filamento branquial, estrela preta = hiperplasia, estrela azul = fusão total das lamelas. Fonte: LACTEC

Figura 50. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CP do compartimento 3 durante a campanha 1



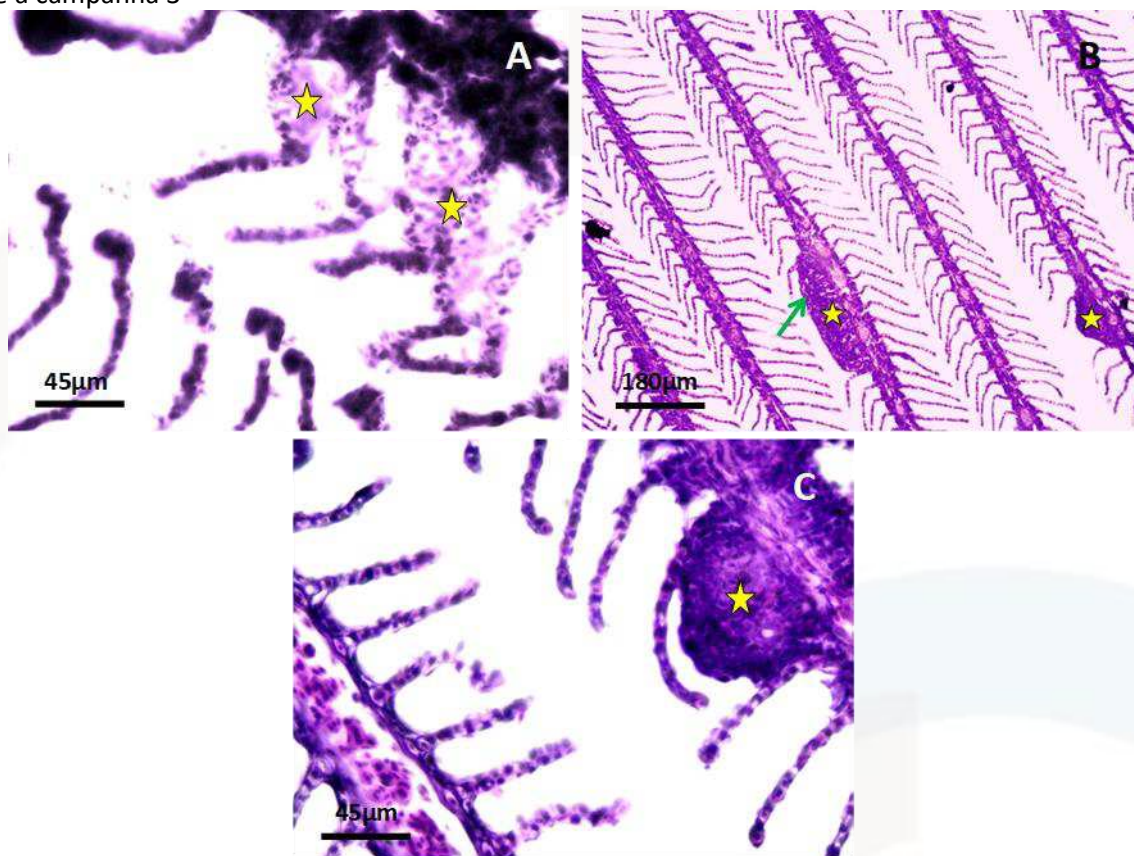
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, seta verde = fusão de lamelas, seta azul = aneurisma, estrela amarela = proliferação celular. Fonte: LACTEC

Figura 51. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CP do compartimento 3 durante a campanha 2



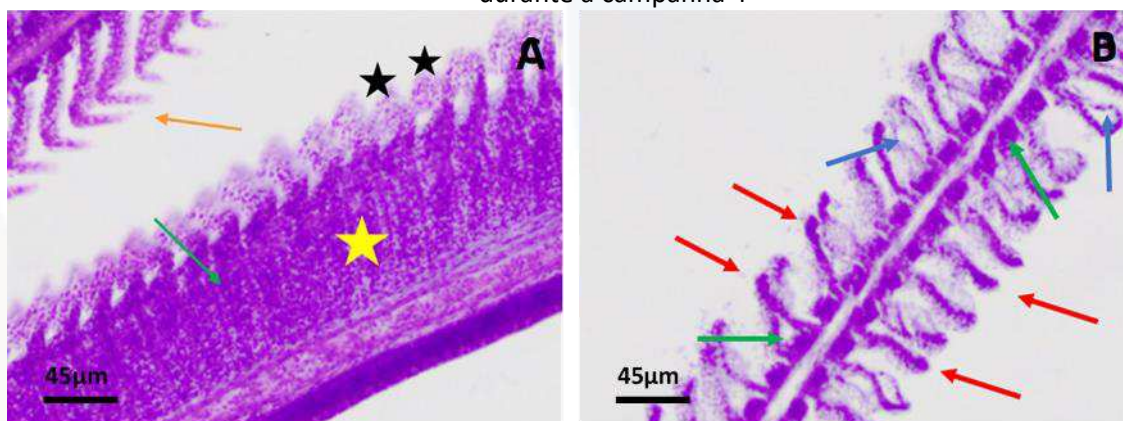
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, estrela amarela = aneurisma e fusão de lamelas. Fonte: LACTEC

Figura 52. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CP do compartimento 3 durante a campanha 3



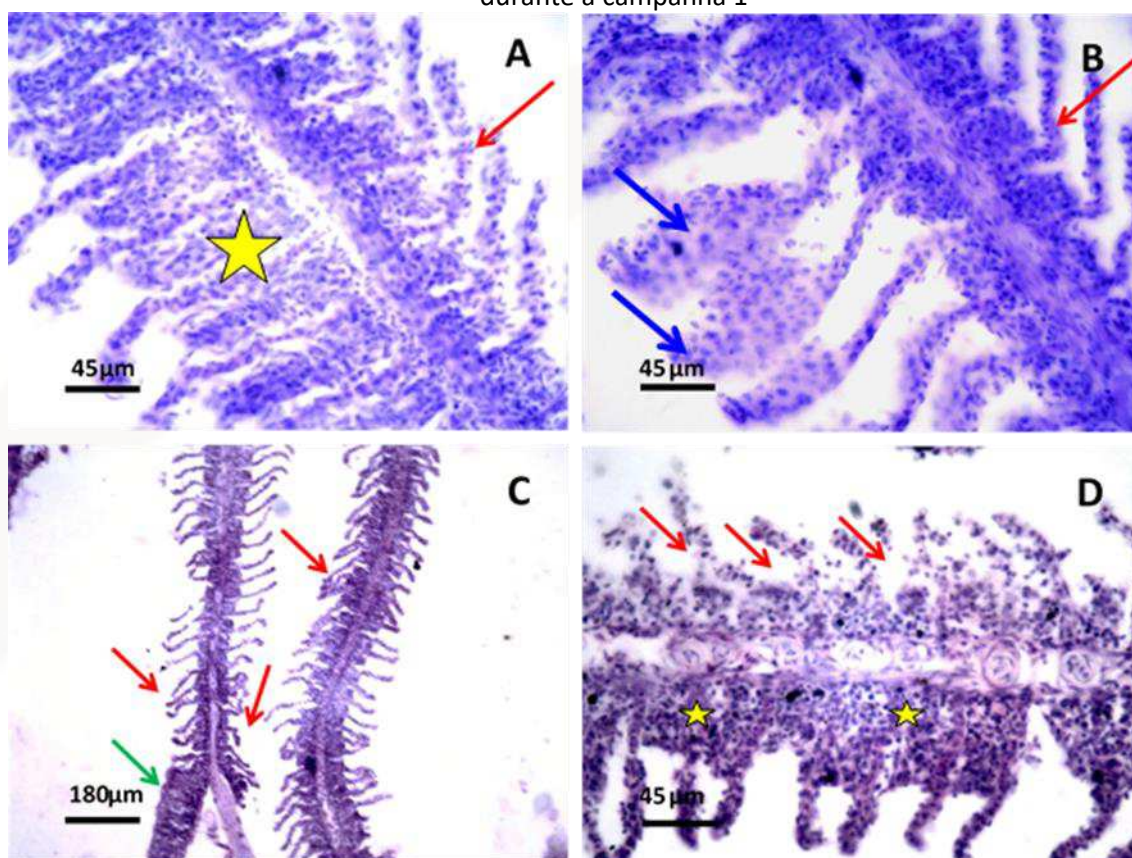
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta verde = fusão de lamelas, estrela amarela = proliferação celular. Fonte: LACTEC

Figura 53. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto CP do compartimento 3 durante a campanha 4



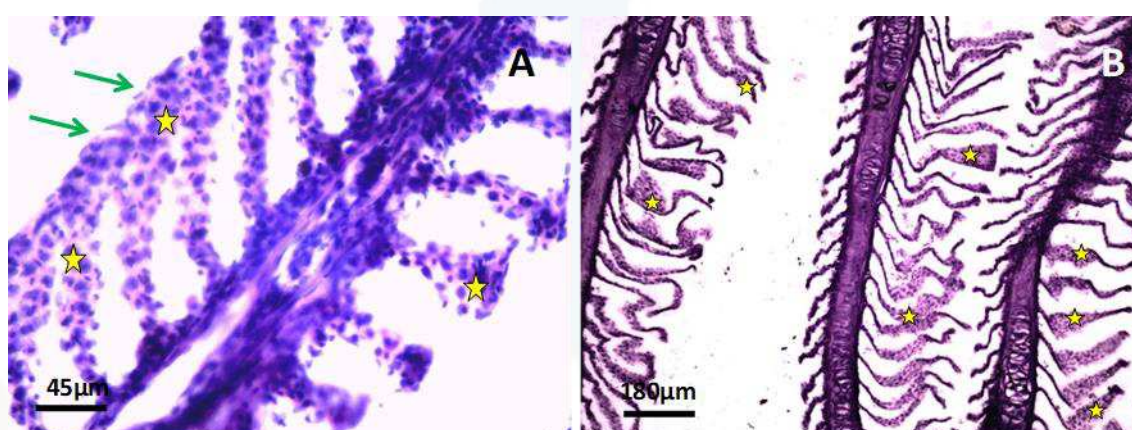
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta verde = hiperplasia, seta laranja = desestruturação do filamento branquial, seta azul = deslocamento do epitélio, seta vermelha = aneurisma leve, estrela preta = hiperplasia, estrela amarela = fusão parcial das lamelas. Fonte: LACTEC

Figura 54. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto DA do compartimento 3 durante a campanha 1



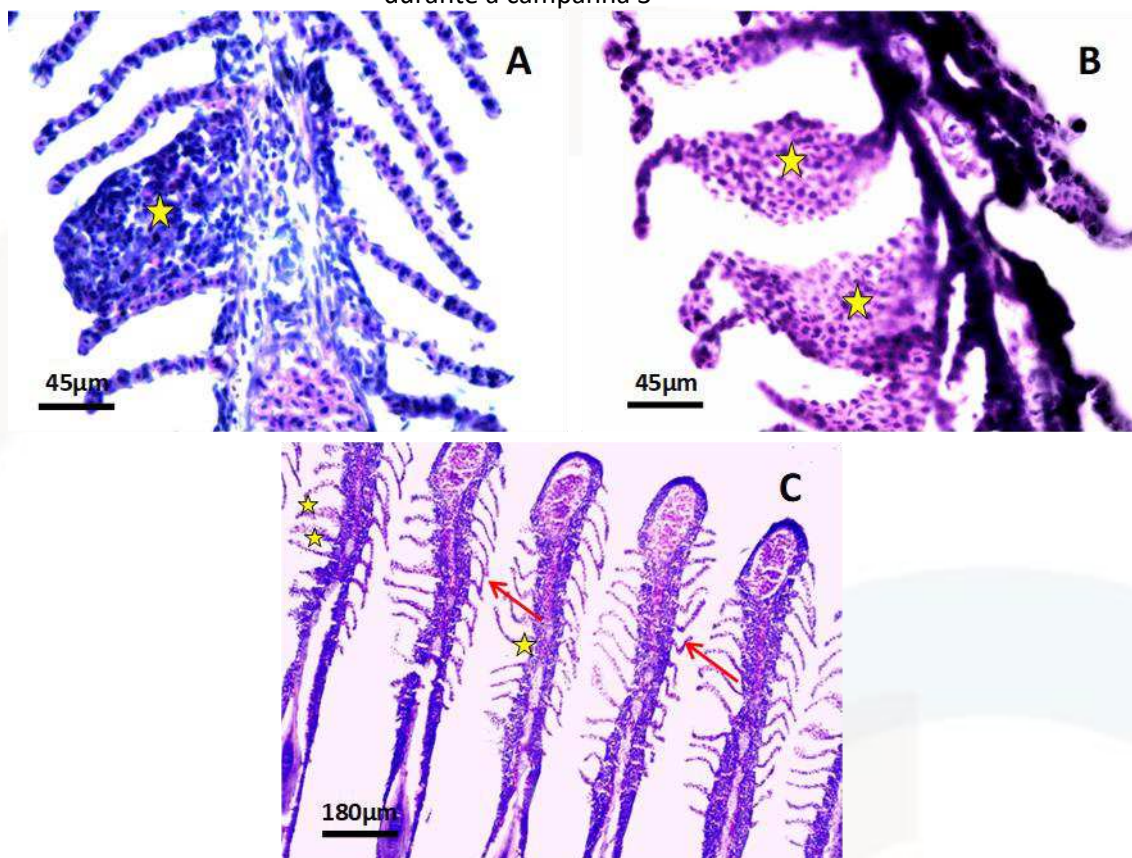
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, seta verde = fusão de lamelas, seta azul = aneurisma, estrela amarela = proliferação celular. Fonte: LACTEC

Figura 55. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto DA do compartimento 3 durante a campanha 2



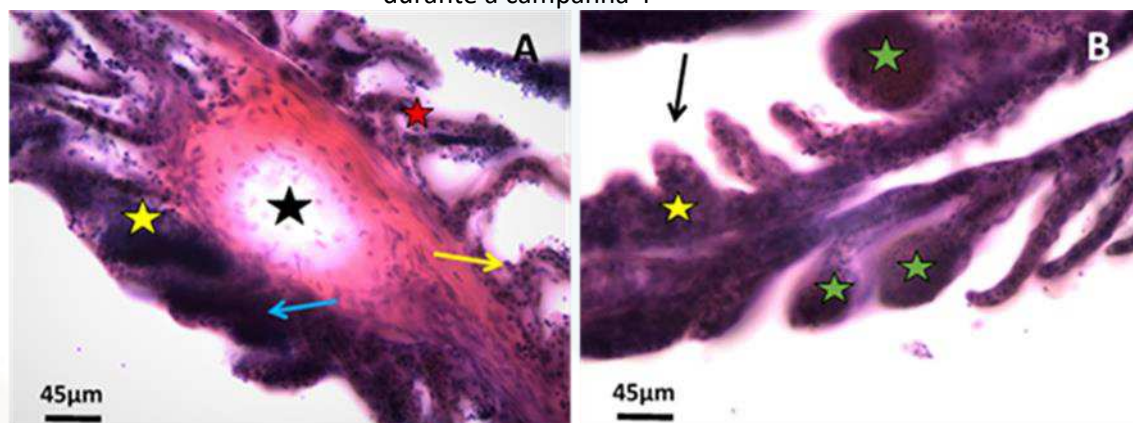
Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta verde = fusão de lamelas, estrela amarela = proliferação celular. Fonte: LACTEC

Figura 56. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto DA do compartimento 3 durante a campanha 3



Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta vermelha = desestruturação do filamento branquial, seta verde = fusão de lamelas, estrela amarela = proliferação celular. Fonte: LACTEC

Figura 57. Cortes histológicos de brânquias de espécies capturadas no ponto DA do compartimento 3 durante a campanha 4



Coloração Hematoxilina-Eosina. Seta verde = fusão parcial, seta azul = fusão total, seta amarela: desestruturação, seta preta = atrofia, estrela amarela = hiperplasia, estrela verde = aneurisma severo, estrela vermelha = deslocamento do epitélio. Fonte: LACTEC

Tabela 52. Determinação dos valores médios do Índice de Bernet (IB) em cada ponto de cada uma das campanhas ao longo do período amostral

	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4	Média IB
CN	40,5	15,6	28,2	34,7	29,7
CP	40,0	20,9	26,8	41,2	32,2
DA	37,7	10,5	33,0	39,9	30,3

A coloração das células indica o gradiente entre as médias do índice de Bernet (IB) determinadas para cada um dos pontos. A célula vermelha corresponde ao ponto com a presença de maiores danos no tecido branquial, a célula amarela o ponto com danos intermediários e a célula verde com os menores danos no tecido branquial. CN = controle negativo; CP = controle positivo e DA = dentro da APDL

Tabela 53. Determinação dos valores médios do Índice de Bernet (IB) para as ordens mais representativas em cada ponto ao final do período amostral

	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4	Média IB
Characiformes	33,8	13,8	25,2	33,0	26,4
CN Perciformes	-	-	41,0	37,5	39,3
Siluriformes	44,3	16,7	31,2	34,3	31,6
Characiformes	38,8	20,9	26,1	44,0	32,4
CP Perciformes	-	-	-	-	-
Siluriformes	41,0	-	27,6	41,0	36,5
Characiformes	38,0	14,3	40,0	-	30,8
DA Perciformes	-	-	-	-	-
Siluriformes	36,0	8,9	31,1	38,8	28,7

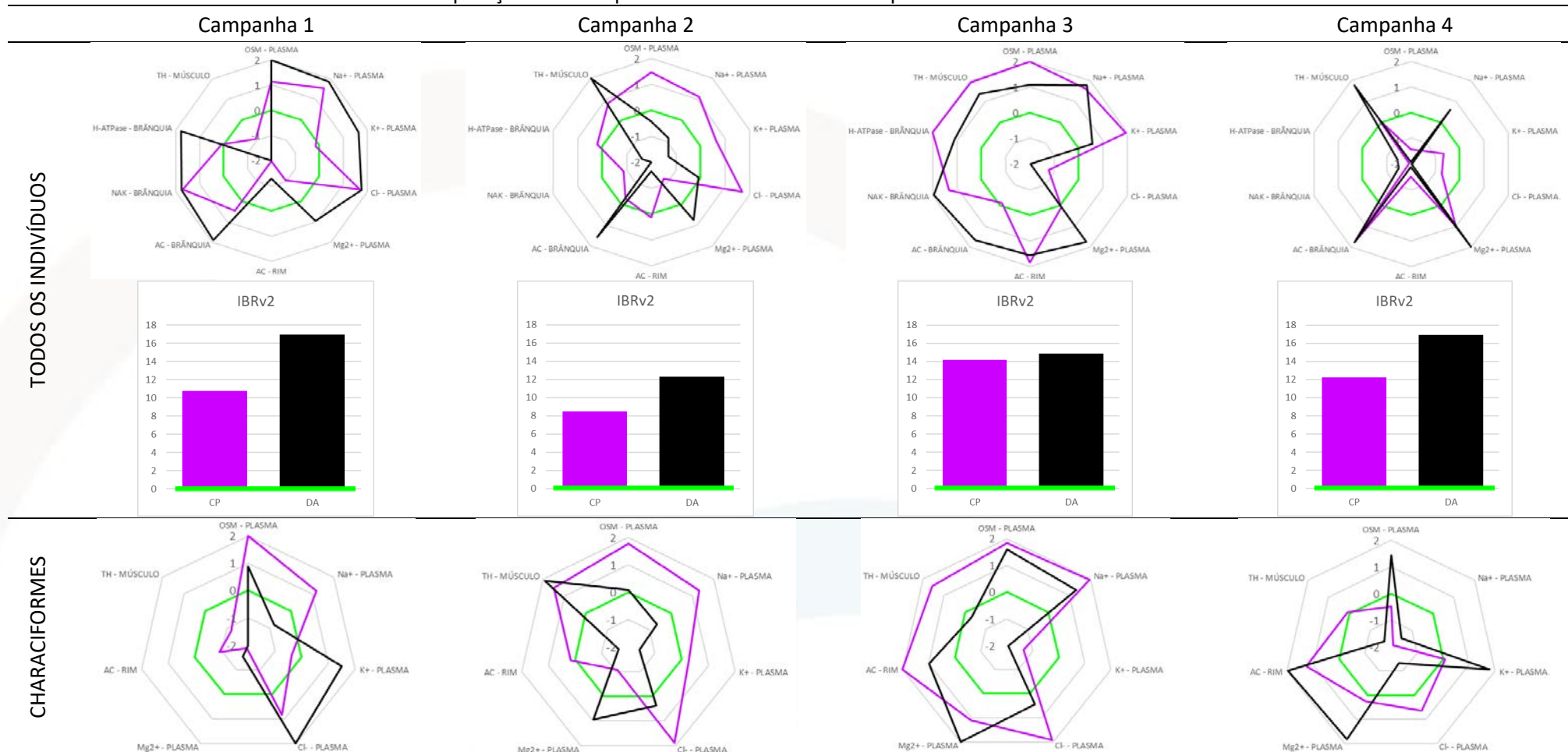
A coloração das células indica o gradiente entre os valores médios do IB para cada uma das ordens mais representativas em cada um dos pontos. As células vermelhas correspondem às ordens que apresentaram maiores danos no tecido branquial, as células amarelas as que apresentaram danos intermediários e, as células verdes as ordens que apresentaram os menores danos no tecido branquial. Traço corresponde a ordens não coletas em determinado ponto ou campanha. CN = controle negativo; CP = controle positivo e DA = dentro da APDL.

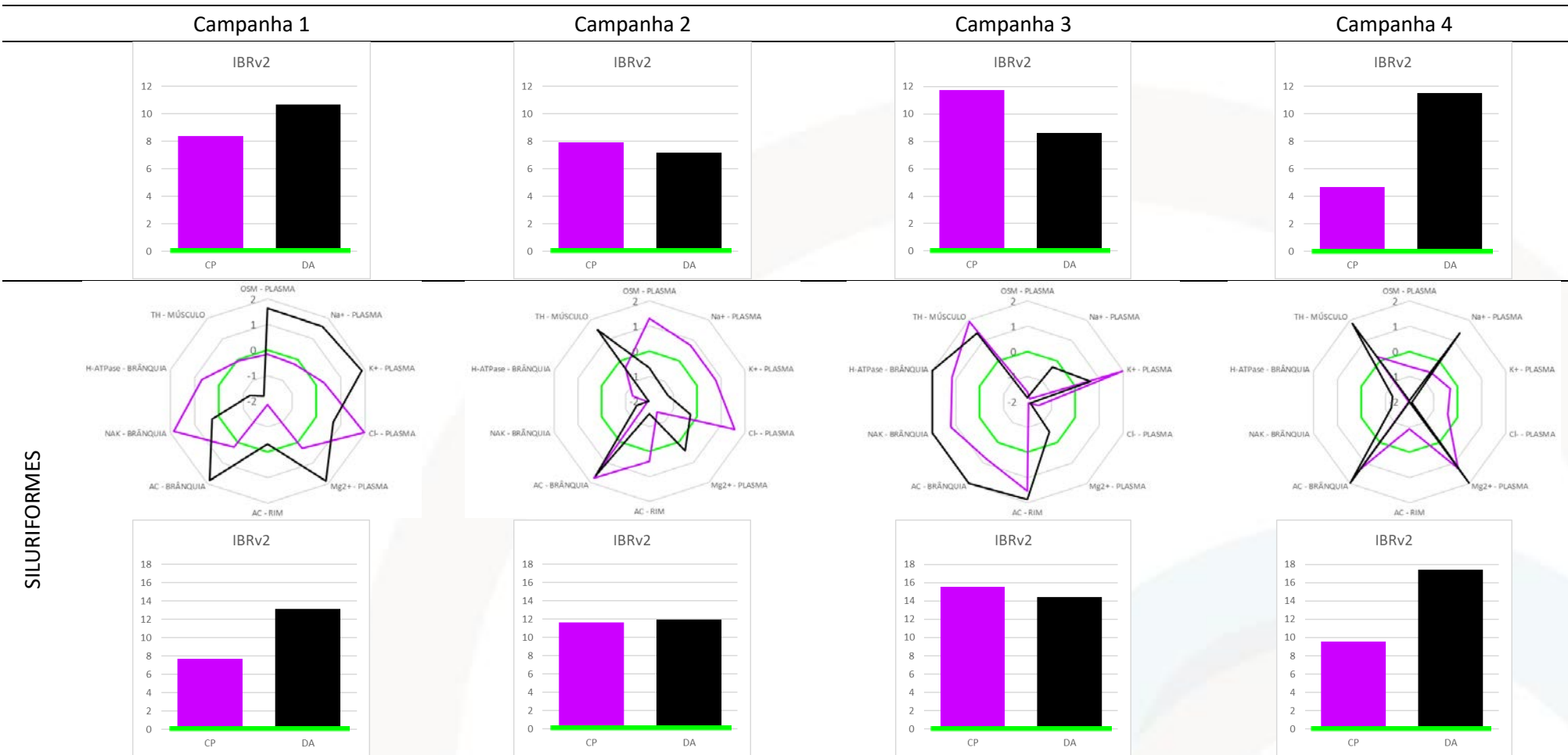
3.1.1.5.2. Biomarcadores fisiológicos – OSM, íons plasmáticos, TH, AC branquial e renal, Na^+/K^+ -ATPase e H^+ -ATPase

No compartimento 3, ao integrar os biomarcadores associados aos sistemas fisiológicos, considerando todos os peixes capturados em cada um dos pontos, observou-se que em todas as campanhas o ponto DA foi o que apresentou as maiores alterações nos marcadores em relação ao ponto CN. Já para os Characiformes, o ponto DA apresentou os maiores valores de IB_{Rv2} nas campanhas 1 e 4, ao passo que nas campanhas 2 e 3 o ponto CP foi o que apresentou os maiores valores. De maneira semelhante para os Siluriformes na 1ª, 2ª e 4ª campanhas o ponto DA apresentou os maiores valores de IB_{Rv2}, embora na 2ª campanha a diferença em relação ao valor de IB_{Rv2} do ponto CP tenha sido mínima. Nos agrupamentos de acordo com o hábito alimentar, os peixes detritívoros foram avaliados apenas na 2ª e na 4ª campanha, sendo que na 2ª o maior valor de IB_{Rv2} foi observado no ponto DA, enquanto na 4ª campanha foi observado no ponto CP. Para os peixes de hábito ictiófago, à exceção da 4ª campanha em que o ponto CP apresentou o maior valor de IB_{Rv2},

nas demais campanhas o ponto DA foi o que apresentou as maiores diferenças em relação ao ponto CN, embora na 3ª campanha a diferença em relação ao ponto CP tenha sido mínima. Por fim, o último habito alimentar avaliado no compartimento 3 foi o invertívoro bentônico, o qual não foi avaliado na 3ª campanha. Na avaliação dos organismos deste agrupamento observou-se que na 1ª campanha o ponto DA foi o que apresentou maiores alterações nos marcadores (maior valor de IBRv2), na 2ª campanha as maiores alterações foram observadas no ponto CP, enquanto na 4ª campanha tanto CP quanto DA apresentaram elevados valores de IBRv2, com mínima diferença entre eles (Tabela 54).

Tabela 54. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) Fisiológicos dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 3, comparação entre os pontos em cada uma das campanhas amostrais.





Campanha 1

Campanha 2

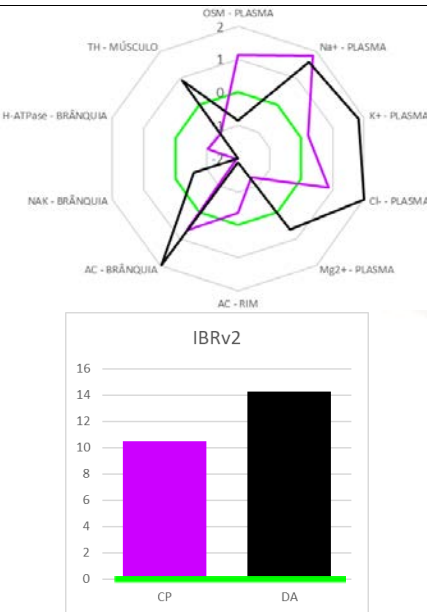
Campanha 3

Campanha 4

DETRITÍVOROS

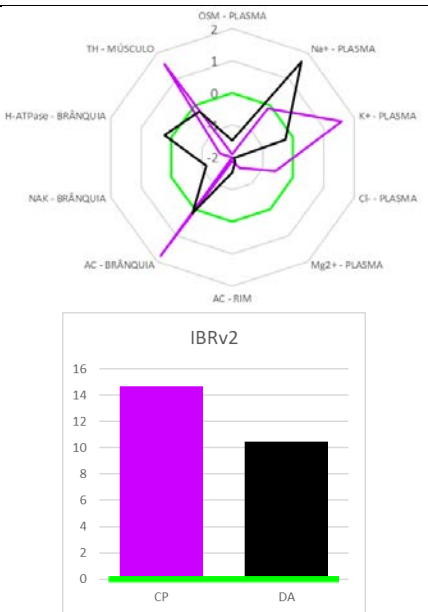
Não se aplica

Não se aplica

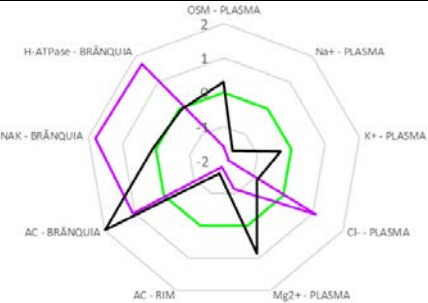
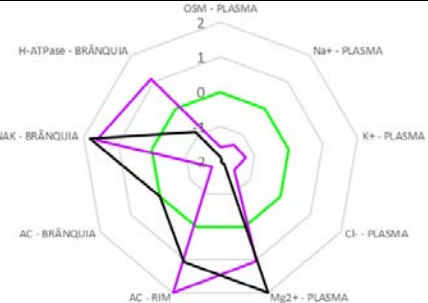
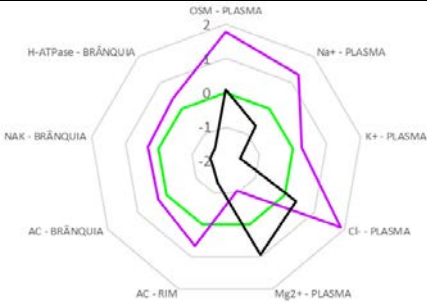
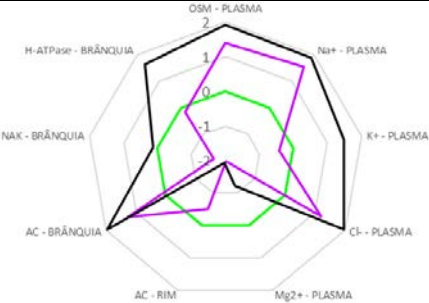


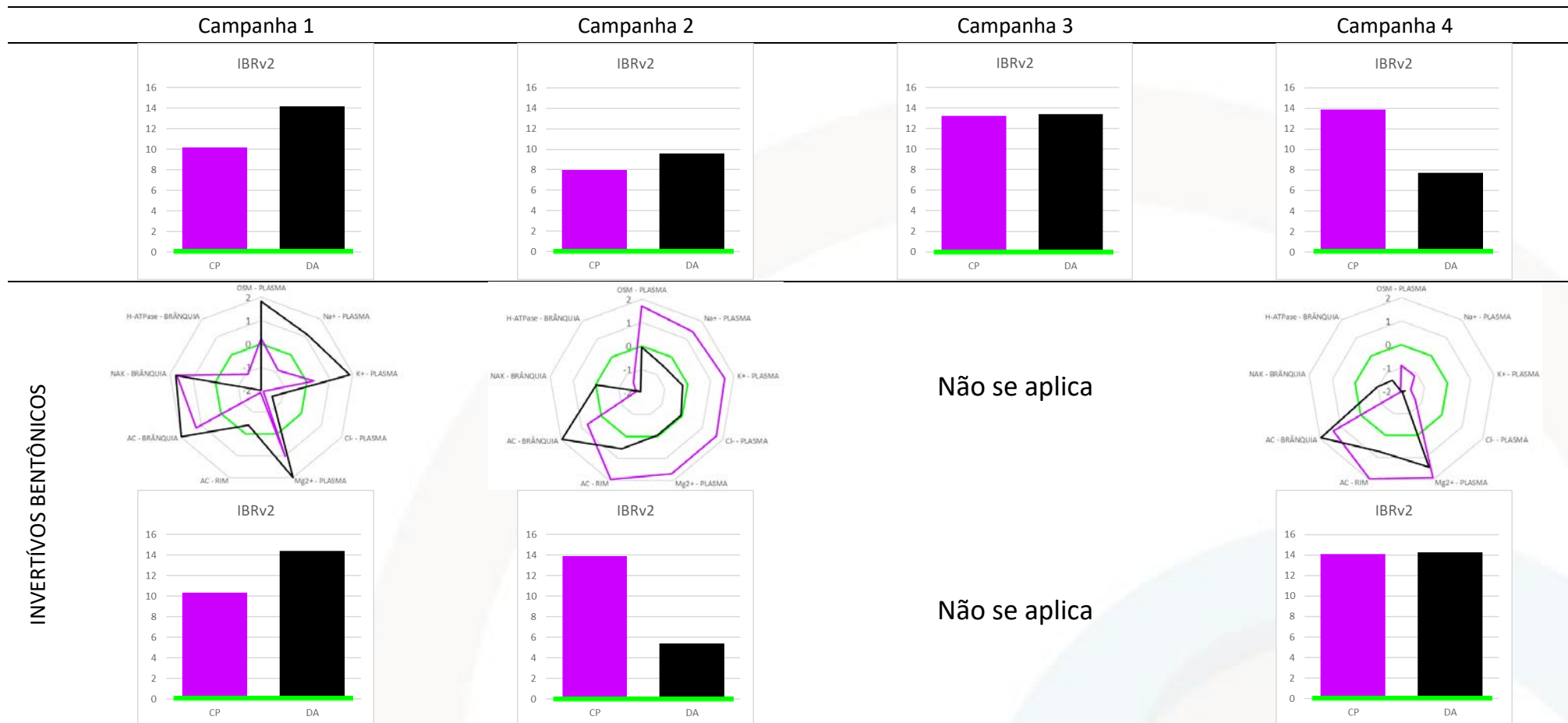
Não se aplica

Não se aplica



ICTIÓFAGOS





Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de n amostral na campanha em questão.

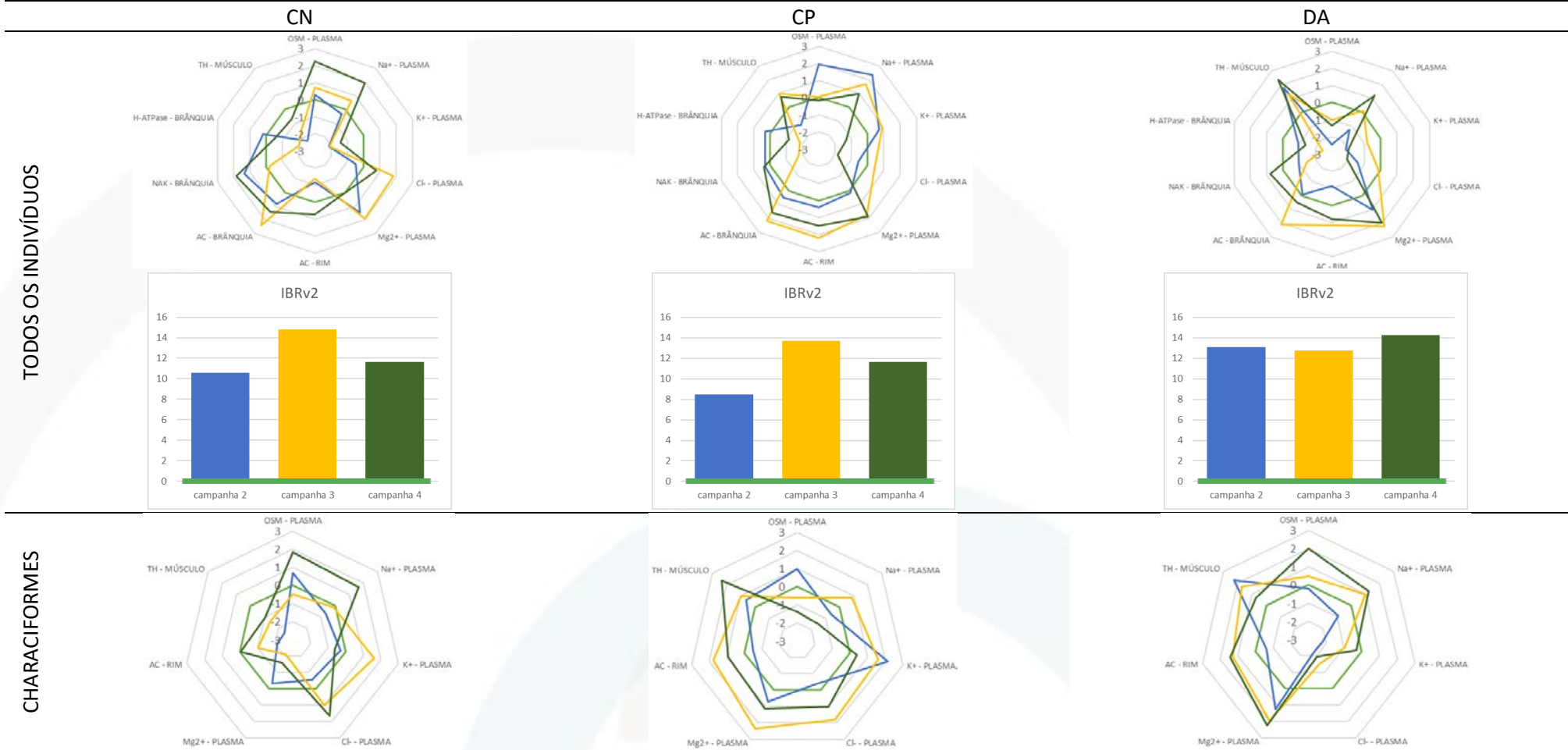
Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Siluriformes, detritívoros, ictiófagos e invertívoros bentônicos) e campanha, as respostas dos biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes de CN estão representadas em verde (—), de CP em violeta (—) e de DA em preto, seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde representativa dos peixes do ponto CN, e as barras violeta e preta dos pontos CP e DA, respectivamente. OSM-PLASMA: osmolalidade plasmática; Na⁺ - PLASMA: concentração do íon Na⁺ no plasma; K⁺ - PLASMA: concentração do íon K⁺ no plasma; Cl⁻ - PLASMA: concentração do íon Cl⁻ no plasma; Mg²⁺ - PLASMA:



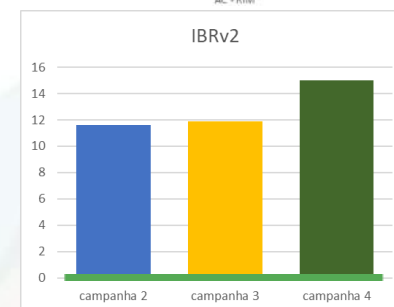
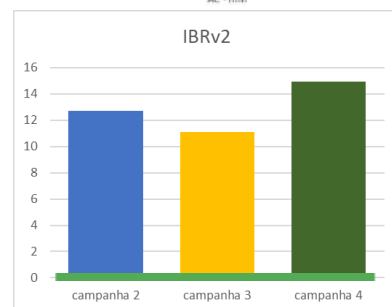
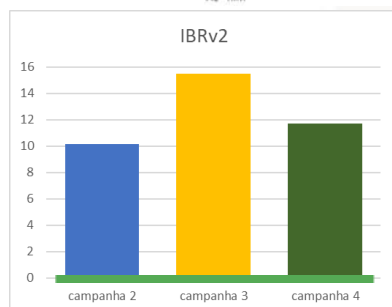
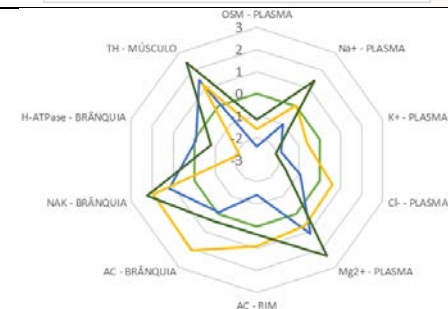
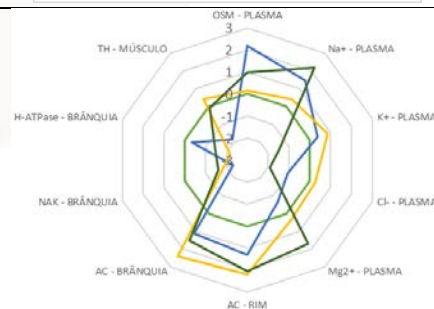
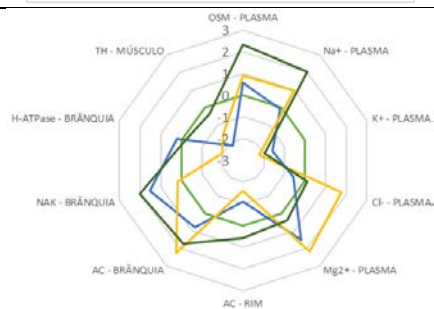
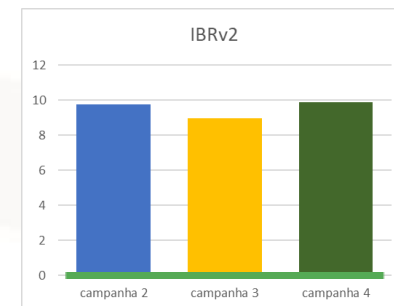
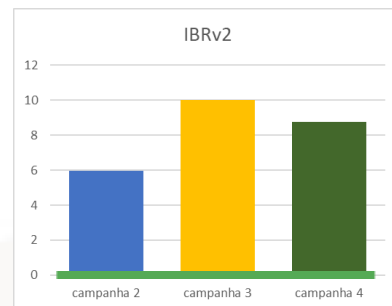
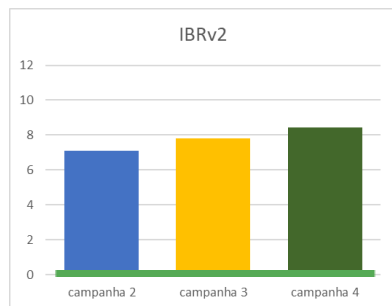
concentração do íon Mg^{2+} no plasma; AC – RIM: atividade da anidrase carbônica renal; AC – BRÂNQUIA: atividade da anidrase carbônica renal; NAK – BRÂNQUIA: atividade da Na^{+}/K^{+} -ATPase branquial; H-ATPase – BRÂNQUIA: atividade da H^{+} -ATPase branquial; TH – MÚSCULO: teor de umidade muscular.

Na avaliação das respostas biológicas nos diferentes pontos amostrais (CN, CP e DA) em relação a cada uma das campanhas, observou-se que, ao avaliarmos todos os indivíduos, tanto para CN, quanto para CP o maior valor de IBRv2 foi observado na campanha 3, seguido da campanha 4, e da campanha 2, respectivamente. Já para o ponto DA a campanha 4 foi a que apresentou o maior valor de IBRv2, embora com pouca diferença em relação às campanhas 2 e 3. No agrupamento dos peixes das ordem Characiformes, aqueles do ponto CN apresentaram o maior valor de IBRv2 na campanha 4, embora com pouca diferença em relação às campanhas 2 e 3, o ponto CP por sua vez teve o maior IBRv2 na campanha 3, seguido da campanha 4 e da campanha 2, respectivamente, por fim, o ponto DA apresentou valores similares de IBRv2 nas campanhas 2 e 4. Quanto aos hábitos alimentares, os peixes detritívoros foram apenas avaliados no ponto CP, sendo o maior valor de IBRv2 observado na 4ª campanha, seguido da 2ª e da 3ª, respectivamente. Já os peixes ictiófagos, tanto do ponto CN quanto do ponto CP apresentaram valores de IBRv2 bastante semelhantes, estando estes valores maiores na campanha 3, seguido pela campanha 4, e com valor mais próximo à campanha 1 na campanha 2. Por fim, o último agrupamento avaliado neste compartimento foram os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico, os quais tiveram o IBRv2 avaliado apenas no ponto CN, estando este valor maior na campanha 3, seguido campanhas 4 e 2, respectivamente (Tabela 55).

Tabela 55. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) Fisiológicos dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 3, comparação entre as campanhas.



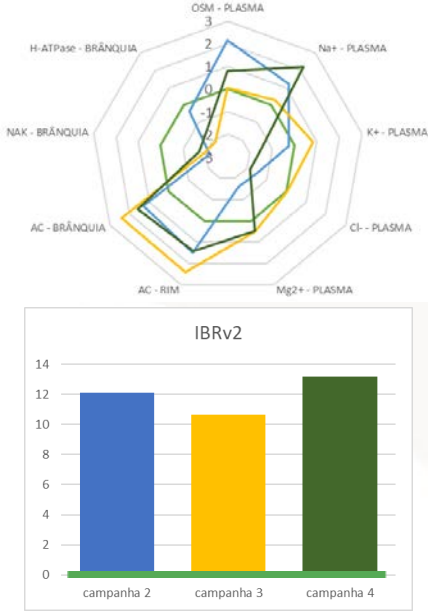
SILURIFORMES



DETRITÍVOROS

Não se aplica

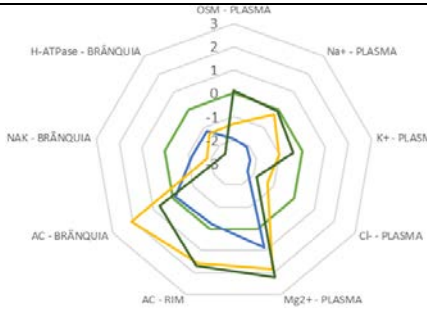
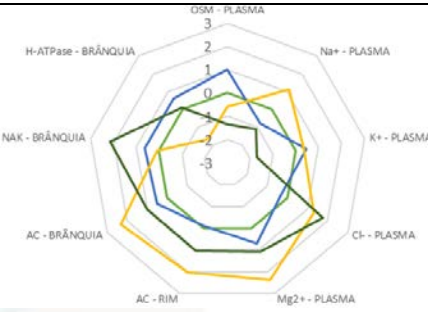
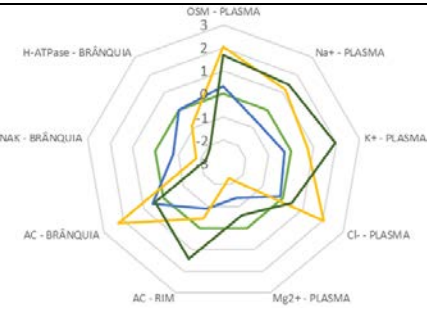
Não se aplica



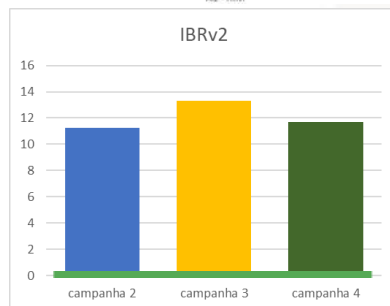
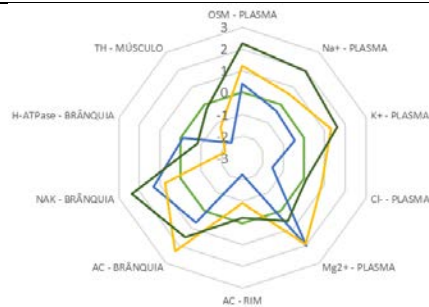
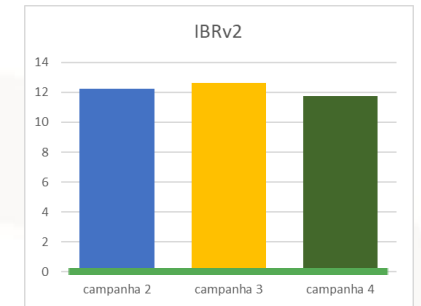
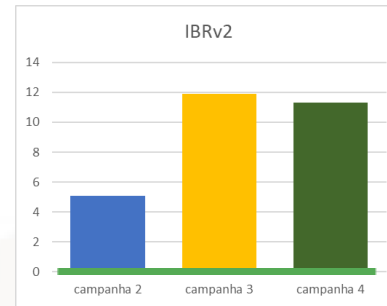
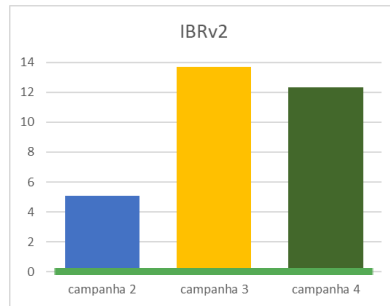
Não se aplica

Não se aplica

ICTIÓFAGOS



INVERTÍVOROS



Não se aplica

Não se aplica

Não se aplica

Não se aplica



Não se aplica: indica que o IBRv2 não foi aplicado no agrupamento seja por ausência ou insuficiência de **n** amostral na campanha em questão.

Para cada agrupamento (todos os indivíduos, Characiformes, Cichliformes, Siluriformes, ictiófagos e invertívoros bentônicos) e ponto amostral, as respostas dos biomarcadores integrados estão representados por um gráfico de radar no qual as respostas dos peixes capturados na 1ª campanha estão representadas em verde claro (—), da 2ª campanha em azul (—), da 3ª campanha em amarelos (—) e da 4ª campanha em verde escuro (—), seguidos de um gráfico de barras no qual está representado o valor do Índice de Integração de Respostas de Biomarcadores versão 2 (IBRv2), sendo neste gráfico a linha verde clara representativa dos peixes capturados na 1ª campanha e as barras azul, amarela e verde escuro dos peixes capturados na 2ª, 3ª e 4ª campanha, respectivamente.

OSM-PLASMA: osmolalidade plasmática; Na⁺ - PLASMA: concentração do íon Na⁺ no plasma; K⁺ - PLASMA: concentração do íon K⁺ no plasma; Cl⁻ - PLASMA: concentração do íon Cl⁻ no plasma; Mg²⁺ - PLASMA: concentração do íon Mg²⁺ no plasma; AC – RIM: atividade da anidrase carbônica renal; AC – BRÂNQUIA: atividade da anidrase carbônica renal; NAK – BRÂNQUIA: atividade da Na⁺/K⁺-ATPase branquial; H-ATPase – BRÂNQUIA: atividade da H⁺-ATPase branquial; TH – MÚSCULO: teor de umidade muscular.

3.1.1.5.3. Biomarcadores de metabolismo energético – glicose e lactato plasmáticos e glicogênio muscular

No compartimento 3, ao avaliar conjuntamente todos os peixes capturados em cada ponto amostral, a integração dos biomarcadores de metabolismo energético demonstrou que na 1ª campanha os organismos do ponto DA foram os que apresentaram as maiores alterações nestes biomarcadores, com redução dos níveis dos mesmos, o que é demonstrado pelo maior valor de IBRv2 em relação ao IBRv2 do ponto CP. Em contrapartida, nas demais campanhas (2, 3 e 4) o ponto CP foi o que apresentou os maiores valores de IBRv2, embora na 4ª campanha, assim como na 1ª, todos os biomarcadores metabólicos estivessem com suas concentrações reduzidas no ponto DA, indicando novamente que os contaminantes presentes no ponto DA são capazes de promover alterações severas nas vias envolvidas no metabolismo energético (Tabela 56).

Ao agrupar os peixes de acordo com a sua ordem, notou-se que os maiores valores de IBRv2 foram obtidos no ponto CP, em todas as campanhas para os peixes Characiformes, e nas campanhas 2, 3 e 4 para os peixes Siluriformes, os quais apresentaram superior valor de IBRv2 no ponto DA apenas na 1ª campanha, sendo nesta campanha o maior valor de IBRv2 observado devido à redução expressiva em todos os marcadores de metabolismo avaliados.

Nos agrupamentos dos peixes de acordo com seu hábito alimentar, aqueles com hábito alimentar detritívoro tiveram o IBRv2 avaliado apenas na 2ª e na 4ª campanha, sendo na 2ª campanha um expressivo maior valor de IBRv2 observado no ponto CP, o qual apresentou aumento nos três biomarcadores, enquanto em DA foi observada apenas uma redução na concentração de lactato plasmático, já na 4ª campanha o maior valor foi observado no ponto DA, refletindo a redução nos níveis de glicogênio muscular e lactato plasmático, indicando aumento da demanda energética nestes organismos, associada ao rápido consumo da glicose para a produção de energia.

Ainda, avaliando os peixes do compartimento 3 de acordo com os seus diferentes hábitos alimentares, observa-se, nos ictiófagos, que apenas na 1ª campanha o ponto DA apresentou o maior valor de IBRv2, ao passo que nas demais o maior valor foi observado no ponto CP. Na 1ª campanha fica evidente que em DA há a ativação do metabolismo energético aeróbio, uma vez que há a redução nos níveis de lactato plasmático, associada ao aumento dos níveis de glicose plasmática e diminuição do glicogênio muscular, refletindo o aumento da demanda energética para manutenção dos processos fisiológicos nestes animais. Na 2ª e na 3ª campanha, nota-se que embora o ponto CP tenha apresentado maior valor de IBRv2, CP e DA compartilham o aumento da glicose plasmática, na 2ª campanha, e do lactato plasmático, na 3ª campanha, com comportamento oposto nos demais biomarcadores. Considerando que a 2ª e a 4ª campanha foram realizadas no período chuvoso, onde notadamente há a ressuspensão dos sedimentos depositados nos leitos dos rios, consequentemente

aumentando a biodisponibilidade dos contaminantes presentes nestes sedimentos, possivelmente as respostas observadas em CP e DA nestas campanhas possam estar associadas também à pluviosidade.

Por fim, os peixes de hábito alimentar invertívoro bentônico não tiveram o IBRv2 avaliado na 3ª campanha, no entanto, na 1ª e na 2ª campanha o ponto CP foi o que apresentou o maior valor de IBRv2, embora na 1ª campanha este valor tenha sido muito similar ao do ponto DA, já na 4ª campanha o ponto DA apresentou o IBRv2 superior, porém, novamente com uma ínfima diferença em relação ao IBRv2 do ponto CP. Ressalta-se que na 1ª campanha, tanto os peixes de CP, quanto de DA apresentaram elevação nos níveis de lactato plasmático, com redução da glicose plasmática e do glicogênio muscular, indicando ativação da via energética anaeróbica para suprir a demanda energética, já na 4ª campanha, ambos os pontos apresentaram expressiva redução nos três biomarcadores avaliados, demonstrando exaustão dos sistema de metabolismo energético, seja pelo consumo dos substratos ou por efeitos negativos sobre as enzimas envolvidas nas vias metabólicas de produção de energia.

De maneira geral, na avaliação dos diferentes agrupamentos de peixes no compartimento 3, pode-se notar que na 2ª campanha, realizada no período chuvoso, os peixes do ponto DA, de hábito alimentar detritívoro e invertívoro bentônico, os quais se alimentam em maior proximidade ao sedimento depositado no leito dos rios, foram os que apresentaram as menores alterações nos biomarcadores de metabolismo energético em relação às respostas observadas nos peixes do ponto CN. No entanto, estes mesmos agrupamentos de peixes, especialmente na 4ª campanha, realizada no período considerado de seca, apresentaram expressiva redução nos biomarcadores avaliados. Em conjunto, estas observações evidenciam que os EPTs provenientes da lama de rejeitos e presentes também no compartimento 3, estão afetando de maneira sazonal os peixes de hábitos alimentares associados ao sedimento, demonstrando dano direto do desastre a estes organismos.

Tabela 56. Índice integrado de Respostas dos Biomarcadores (IBRv2) relacionados ao metabolismo energético dos peixes dos pontos amostrais CN, CP e DA do compartimento 3, comparação entre os pontos em cada uma das campanhas amostrais.

