



Revista Brasileira de Oceanografia

Versão on-line ISSN 1982-436X

Braz. j. oceanogr. vol.63 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2015

<http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592015080906301>

ARTIGO

GENOTOXICIDADE DE ÁGUAS RASAS PERTO DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA "COMANDANTE FERRAZ" (EACF), BAÍA DE ADMIRALTY, KING GEORGE ISLAND, ANTARCTICA

Arthur José da Silva Rocha ¹

Marina Tenório Botelho ¹ *

Fabio Matsu Hasue ¹

Maria José de Arruda Campos Rocha Passos ¹

Caroline Patrício Vignardi ¹

Phan Van Ngan ¹

Vicente Gomes ¹ *

¹ Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (Praça do Oceanográfico, 191, 05508-120 São Paulo, SP, Brasil)

Serviços sob demanda

Diário

SciELO Analytics

Google Acadêmico H5M5 (2017)

Artigo

texto nova página (beta)

Inglês (pdf)

Inglês (epdf)

Artigo no formato xml

Referências de artigos

Como citar este artigo

SciELO Analytics

Currículo ScienTI

Tradução automática

Indicadores

Links Relacionados

Compartilhar

Mais

Mais

Permalink

ABSTRATO

Em fevereiro de 2012, foram realizadas séries de levantamentos biomonitorais para investigar a genotoxicidade das águas rasas em torno da Estação Antártica Brasileira "Comandante Ferraz" (EACF). O ensaio cometa foi aplicado para avaliar os danos ao DNA dos hemócitos dos anfípodos dos crustáceos *Gondogeneia antártica* coletados em águas rasas próximas ao Tanque de Combustível (FT) e escoamento de esgoto (STO) da estação de pesquisa, e compará-lo ao dano ao DNA de animais de Punta Plaza (PPL) e Yellow Point (YP), sítios naturais distantes da EACF definidos como controles experimentais. O dano ao DNA de hemócitos de *G. antarctica* não foi significativamente diferente entre os locais nos levantamentos de biomonitoramento I e II. No levantamento III, o dano ao DNA de animais capturados em águas rasas próximas ao Tanque de Combustível (FT) e escoamento de esgoto (STO) foi significativamente maior do que o do local de controle de Punta Plaza (PPL). Na pesquisa de biomonitoramento IV, uma diferença significativa foi detectada apenas entre os locais de FT e PPL. Os resultados demonstraram que as águas rasas em frente à estação podem ser genotóxicas e que o ensaio cometa e hemócitos de *G. antarctica* são ferramentas úteis para avaliar a genotoxicidade em estudos de biomonitoramento de habitats costeiros marinhos antárticos.

Palavras-chave: Antártica; Biomonitoramento ambiental; *Gondogeneia antarctica*; Genotoxicidade; Cometa

RESUMO

Séries de biomonitoramentos foram executados semanalmente, durante o mês de fevereiro de 2012, para investigar uma genotoxicidade de ambientes costeiros no contexto da DNA Antártica "Comandante Ferraz (EACF)". antropócicos gondogênicos *Gondogênio antártico* em áreas rasas próximas aos tanques de armazenamento de

combustível (FT) e saída de efluentes da estação de tratamento de esgoto (STO), em comparação com o DNA de animais de estimação de Punta Plaza (PPL) e Ponto Amarelo (YP), localidades distintas da EACF, seguido como experimentações. O dano ao DNA hemocitário de *G. antarctica* não é diferente e diferente entre locais, nos biomonitoramentos I e II. Nenhum biomonitoramento III, o dano ao DNA de animais coletados em águas rasas ao tanque de combustível e saída de efluentes de esgoto foi significativo. No biomonitoramento IV, a diferença foi feita somente entre os locais dos tanques de combustível e de Punta Plaza. Destaques demonstram-se uma contaminação das águas em frente ao EACF pode ser genotóxica e que, tanto quanto a cometa quanto aos hemócitos de *G. antarctica*, são ferramentas úteis na avaliação da genotoxicidade em estudos de biomonitoramento de habitats marinhos costeiros da Antártica.

Palavras-Chave: Antártica; Biomonitoramento ambiental; Gondogeneia antarctica; Genotoxicidade; ensaio cometa

INTRODUÇÃO

A região da Antártica é um dos ambientes mais bem preservados do mundo, distante dos demais continentes e relativamente livre de sua enorme presença humana e sua conseqüente influência. No entanto, os impactos ambientais resultantes das atividades humanas na Antártida, como pesca, turismo e pesquisa, são quase inevitáveis. O uso de combustíveis fósseis para o fornecimento de energia aos navios (tanto de navios de turismo quanto de pesquisa) e cerca de 79 estações de pesquisa próximas à costa, bem como seu esgoto são responsáveis pela contaminação das águas costeiras da Antártida. Uma ampla gama de poluentes, como hidrocarbonetos ([CRIPPS e PRIDDLE, 1991](#)), contaminantes orgânicos persistentes ([WEBER e GOERKE, 2003](#)) e outros a partir de efluentes de esgoto ([HUGHES, 2004](#) ; [HUGHES e THOMPSON, 2004](#)) foram encontrados em águas rasas e sedimentos dos habitats bentônicos próximos às áreas ocupadas por estações de pesquisa. A Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) é um estabelecimento permanente que abriga de uma média de 20 pessoas no inverno, para cerca de 60 a 80 anos durante o verão ([BÍCEGO et al., 2009](#)). Ele está localizado na Península de Keller na Baía do Almirantado, Ilha King George, Shetland do Sul, cujo ambiente marinho adjacente é habitado desde seus baixios até 500 m de profundidade por uma variedade de organismos ([NONATO et al., 2000](#) ; FREIRE, et al. 2005).

Diversos estudos demonstraram a contaminação do ambiente marinho em torno da estação de EACF por uma ampla gama de poluentes, como hidrocarbonetos (MARTINS et al., 2004), bifenilas policloradas ([MONTONE et al., 2001](#)), bem como esteróis fecais e alquilbenzenos lineares ([MARTINS et al., 2002](#) ; [MARTINS et al., 2012](#)). A maioria desses poluentes são substâncias potencialmente genotóxicas que interagem com a molécula de DNA induzindo a formação de micronúcleos (micronúcleos) ([PHAN et al., 2007](#)), quebras na cadeia de DNA ([ROCHA et al., 2012a](#) , [b](#)) e podem levar a mutações ([OHE et al., 2004](#)), cujos estrangulamentos aos organismos vivos podem ter efeitos adversos na estabilidade do ecossistema ([ANDERSON et al., 1994](#) ; [BOURRET et al., 2008](#)).

Os ectotérmicos marinhos antárticos são geralmente animais com estações reprodutivas curtas, baixa dispersão larval e baixa fecundidade, além de estarem sujeitos a uma acentuada variação de fatores sazonais, como intensidade de luz e disponibilidade de alimento ([KING e RIDDLE, 2001](#)). Sua longa adaptação evolutiva a um ambiente estável a baixas temperaturas torna esses animais sensíveis a distúrbios em fatores naturais, e também os torna bioindicadores adequados da qualidade ambiental. A *Gondogeneia antarctica*, espécie selecionada para este estudo, é um dos crustáceos anfípodos mais abundantes na região intertidal das águas costeiras antárticas. É de hábitos sedentários e se alimenta das macroalgas e detritos da zona de arrebentação ([OPALINSKI e JAZDZEWSKI, 1978](#) ; [JAZDZEWSKI, 1993](#) ; [OPALINSKI e SICINSKI, 1995](#)). Além disso, esses pequenos crustáceos são elementos importantes na cadeia alimentar, sendo predados por outros invertebrados ([GOMES et al., 2009](#)) e pequenos peixes ([BARRERA-ORO e PIACENTINO, 2007](#) ; [BARRERA-ORO e WINTER, 2008](#)).

O monitoramento ambiental das regiões antárticas ocupadas pelos países signatários é uma meta do Tratado da Antártida ([SANTOS et al., 2006](#) ; [PHAN et al., 2007](#) ; [GOMES et al., 2009](#) ; [2012](#)). Assim, o Programa Antártico Brasileiro tem apoiado estudos sobre o monitoramento ambiental para avaliar e mitigar os impactos causados pela presença humana no meio ambiente e nos organismos que nele habitam ([MARTINS et al., 2012](#) ; [PHAN et al., 2007](#)). A genotoxicidade induzida por xenobióticos em organismos aquáticos é frequentemente avaliada por meio de eletroforese em gel de célula única (SCGE), um método rápido conhecido como ensaio cometa, que estima mecanismos de fragmentação e reparo de DNA ([LEMIERE et al., 2005](#) ; [TICE, 1995](#)). No ensaio cometa, o DNA de uma célula previamente lisada é desenrolado em solução altamente alcalina e submetido à eletroforese. Os fragmentos relaxados e negativamente carregados de DNA migram dos nucleoides, em direção ao ânodo. Após a coloração, os nucleoides e os fragmentos migrados aparecem como a cabeça e cauda respectivas de um cometa. Quanto maior a quantidade e a distância dos fragmentos migrados, maior é o grau de dano ao DNA.

Este estudo tem como objetivo investigar a genotoxicidade das águas marinhas rasas da Estação de Pesquisa Antártica Brasileira na Baía do Almirantado usando um ensaio cometa para avaliar danos no DNA de hemócitos de *G. antarctica* coletados em diferentes locais nessas águas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os anfípodos da *Gondogeneia Antártica* foram capturados manualmente em águas rasas da Baía do Almirantado, Ilha Rei George (62°05' S, 58°23' W), em quatro locais diferentes ([Fig. 1](#)). Punta Plaza (PPL) e Yellow Point (YP)

estão localizadas à distância da EACF e foram estabelecidas como locais de controle para comparação com a área de possível influência dos tanques de combustível (FT) e escoamento de esgoto (STO) em frente ao local. Estação. A amostragem foi realizada semanalmente durante fevereiro de 2012, totalizando quatro amostras designadas biomonitoramento I, II, III e IV. Quatro animais foram selecionados de cada local por biomonitoramento para a avaliação do dano ao DNA, empregando o ensaio cometa alcalino descrito por [SINGH et al. \(1998\)](#), com pequenas modificações. Resumidamente, uma pequena gota de hemolinfa foi amostrada individualmente por punção da pericárdia com o auxílio de agulhas de acupuntura. Gotas de hemolinfa foram suspensas em 10 µl de solução tampão fosfato resfriada (PBS-pH 7.4), em seguida misturadas com 90 µL de agarose de baixo ponto de fusão (PML -37°C) em PBS, e espalhadas na superfície de uma lâmina de vidro previamente revestida com 1% de agarose de ponto de fusão normal (NMP -60°C) em água destilada. As lâminas foram cobertas com tampa de vidro e mantidas a 4°C no escuro por 20 min até a solidificação do gel de DUM. Em seguida, o vidro de cobertura foi removido e as lâminas com as camadas de gel de agarose foram imersas em uma solução de lise (2,5 M NaCl, 100 M EDTA, 10 mM Tris, 1% Triton X-100, 10% DMSO, pH 10) no escuro para 2 h. As lâminas foram então lavadas com solução de PBS arrefecida e transferidas para a câmara eletroforética preenchida com tampão de eletroforese alcalina (Na₂EDTA 1 mM, NaOH 300 mM, pH > 13) por 10 min para o desenrolamento do DNA antes da eletroforese. A eletroforese foi realizada no mesmo tampão por 20 min a 20 V (0,71 V cm⁻¹) e 300 mA. Após a eletroforese, as lâminas foram lavadas com solução neutralizante (Tris 0,4 M, pH 7,5) seguida do método de coloração de prata descrito por GARCÍA et al. (2004). Os cometas foram fotografados usando a câmera digital SAMSUNG SDF 312® acoplada a um microscópio óptico Nikon® e suportada pelo software Ulead Video Studio 7 SE Basic® para a digitalização das imagens. Imagens positivas dos cometas foram invertidas para imagens negativas para análise pelo software livre "CometScore™ - TriTek Corporation" (www.autocomet.com). Cem células foram medidas por lâmina e o dano ao DNA foi expresso como a média (± DP) da cauda - TM, ou seja, o comprimento da cauda do cometa multiplicado pela proporção de DNA na cauda ([LEE e STEINERT, 2003](#)). A homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Lavene e as diferenças significativas entre os grupos (locais ou biomonitoramentos) foram determinadas pela análise de variância ANOVA, seguida do teste de Newman Keuls (p < 0,05).

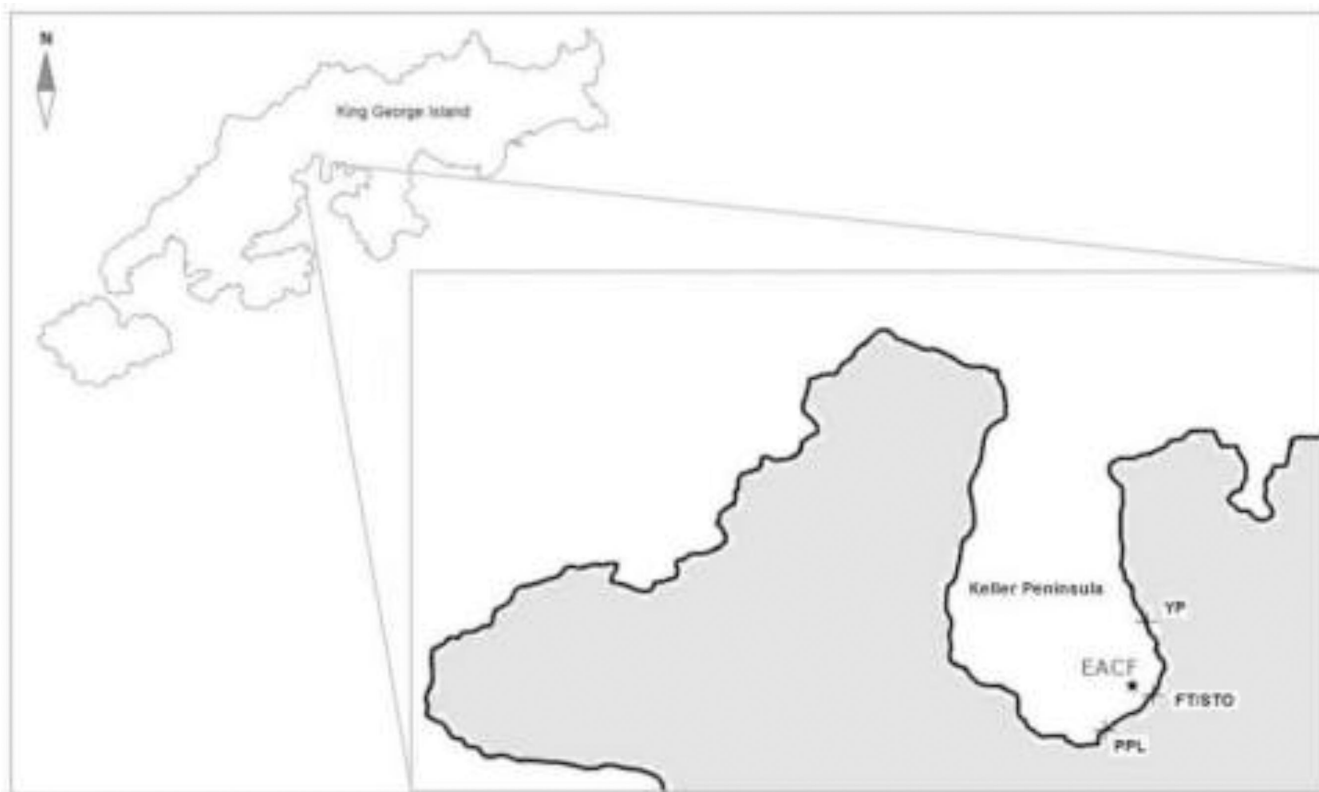


Fig. 1 Mapa da Península de Keller, Ilha do Rei George, Antártica, mostrando os locais de amostragem: YP: Ponto Amarelo; FT - tanques de combustível; STO - Vazão do Tratamento de Esgoto; PPL - Punta Plaza.

RESULTADOS

O efeito de cauda médio (TM) do DNA hemocítico de *G. antarctica* coletado nos quatro locais estudados durante os quatro biomonitoramentos é mostrado na [Figura 2](#). Diferenças na TM não foram significativas entre os quatro locais durante os biomonitoramentos I e II. No entanto, no biomonitoramento III, danos no DNA de hemócitos de *G. antarctica* coletadas de águas em frente aos tanques de combustível (FT) e no escoamento de esgoto (STO) aumentaram significativamente em comparação com os animais do local de controle de Punta Plaza (PPL). Quanto às comparações com o ponto amarelo (YP), as diferenças na TM média dos animais, tanto dos tanques de

combustível (FT) quanto do escoamento do esgoto (STO), não foram significativas. Além disso, não houve diferenças significativas entre PPL e YP, nem entre os locais FT e STO. No biomonitoramento IV, o dano ao DNA dos hemócitos de *G. antarctica* coletados no local do TF foi significativamente maior do que nos animais do local de controle do LPP, sendo as demais comparações sem significância. Em relação às comparações entre os biomonitoramentos, diferenças significativas no dano ao DNA das hemóciti- *G. Antártida* amostrada a partir de PPL foram anotados (Fig. 3). A TM média dos animais do sítio controle do PPL diminuiu significativamente entre os biomonitoramentos I, II e III. A média da TM do biomonitoramento IV foi apenas de menor significância que a do biomonitoramento I. Para os outros sítios, as diferenças entre os biomonitoramentos não foram significativas.

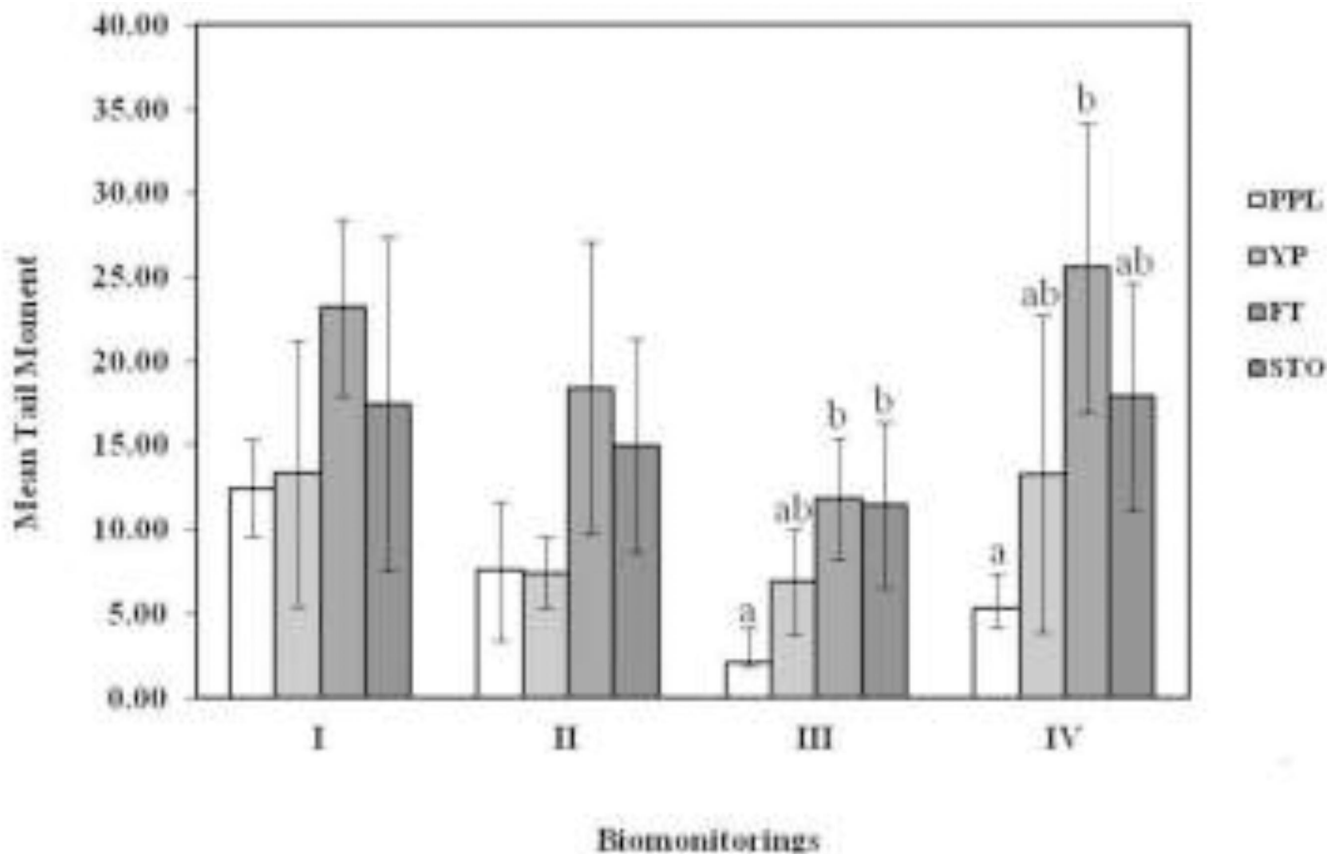


Fig. 2 Média (\pm DP) Cauda Momento do DNA dos hemócitos da *Gondogeneia antarctica* nos quatro biomonitoramentos nos diferentes locais de amostragem. Letras diferentes denotam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os locais.

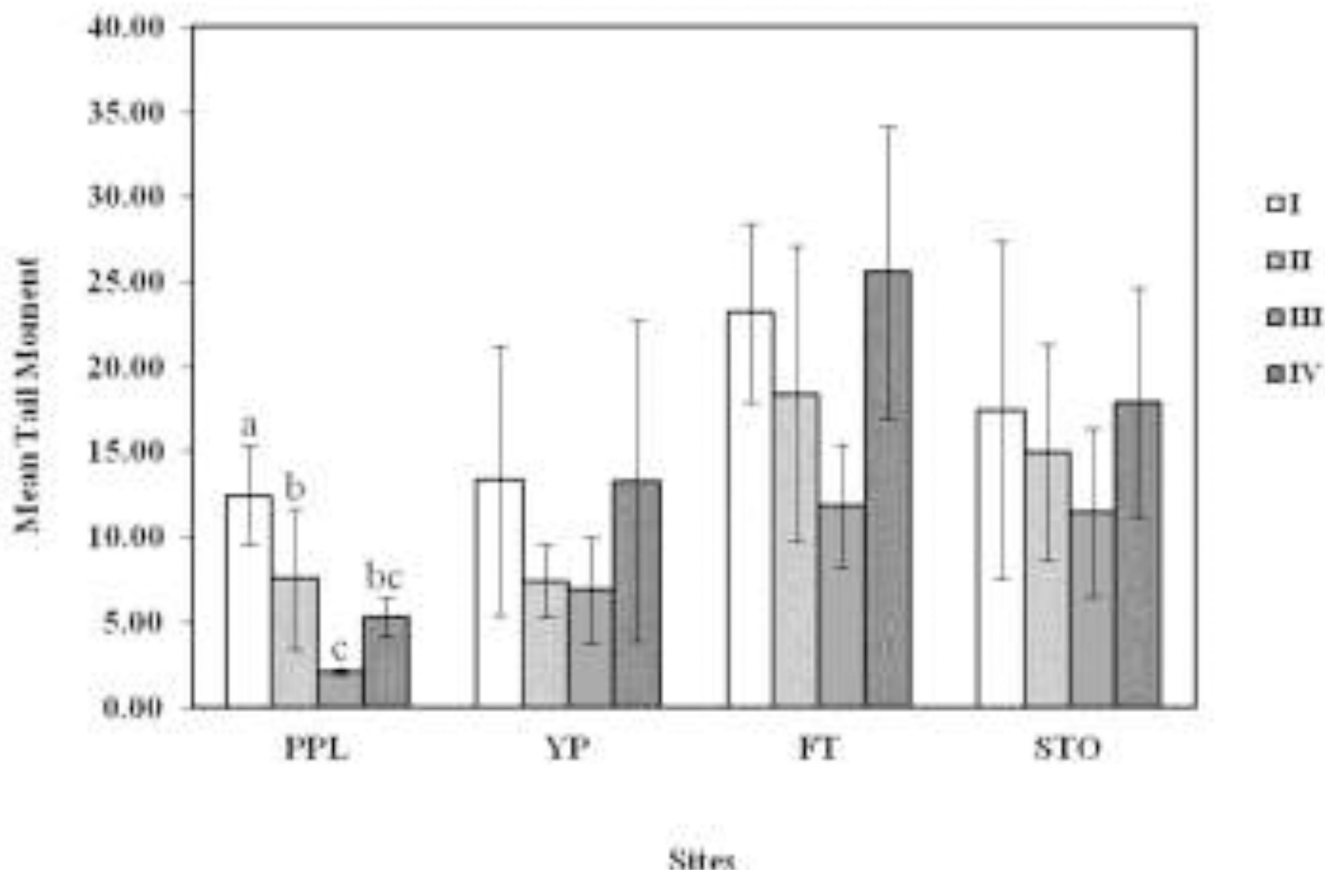


Fig. 3 Média (\pm DP) Caudal Momento de DNA dos hemócitos da *Gondogeneia antártica* nos mesmos locais de amostragem em diferentes biomonitoramentos. Letras diferentes denotam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os biomonitorios.

DISCUSSÃO

Estudos de biomonitoramento requerem sistemas que descrevam o ambiente de forma quantitativa e qualitativa. Organismos que estão em contato direto com poluentes podem ser bioindicadores adequados ([RAJAGURU et al., 2003](#)). Entre os invertebrados, muitos crustáceos são capazes de metabolizar xenobióticos, como os HPAs, devido a um sistema enzimático do citocromo P450 bem desenvolvido ([JAMES e BOYLE, 1998](#) ; [LIVINGSTONE, 1998](#) ; [MARTÍN-DÍAZ et al., 2008](#)). Este sistema enzimático atua no metabolismo da fase I pela adição de grupos funcionais através da oxidação, redução ou hidrólise de xenobióticos não reativos, convertendo-os em metabólitos ativados capazes de se conjugar com grupos solúveis em água para serem excretados pelo metabolismo da fase II ([LISKA, 1998](#)). No entanto, esses metabólitos ativados por enzimas de fase I também podem se ligar ao DNA e causar genotoxicidade, alterando sua estrutura molecular ([VERMEULEN, 1996](#)). O dano ao DNA é uma preocupação primária para a avaliação do estresse relacionado à poluição em organismos vivos ([KLOBUČAR et al., 2003](#)).

Ensaio de Cometa foram aplicados para avaliar os efeitos da toxicidade em diferentes formas de organismos marinhos ([DE BOECK e KIRSCH-VOLDERS, 1997](#) ; [HARTL et al., 2007](#) ; [JHA et al., 2005](#) ; [TABAN et al., 2004](#)), incluindo crustáceos ([BIHARI e FAFANDEL, 2004](#) ; [KUZMICK et al., 2007](#) ; [ROCHA et al., 2012b](#)). Corantes fluorescentes, como o brometo de etídio, DAPI, laranja de acridina e brometo de propídeo, são os corantes mais comuns usados para visualizar cometas que devem ser analisados por microscopia de fluorescência antes que a coloração descolorida. Neste estudo, utilizamos o protocolo de coloração com prata, conforme descrito por [GARCÍA et al. \(2004; 2007\)](#), que mantém os cometas corados por um longo tempo para análises subsequentes sob um microscópio convencional. A extensão do dano ao DNA é frequentemente avaliada por análises de imagens digitais, que fornecem porcentagens relativas de DNA na cabeça e cauda, como dados úteis para expressar resultados ([COLLINS, 2004](#) ; [HARTMANN et al., 2003](#)). O protocolo empregado neste estudo revelou cometas com uma clara distinção entre cabeça e cauda, bem como um contorno acentuado, o que ajudou a precisão da análise dos cometas de hemácias de *G. antarctica* pelo software de uso livre CometScore-TM.

As águas rasas e os sedimentos de fundo próximos à EACF são frequentemente caracterizados por altos níveis de hidrocarbonetos de petróleo e outros contaminantes orgânicos ([BÍCEGO et al., 1996](#) ; [MARTINS et al., 2004](#)), bem como níveis ligeiramente elevados de compostos inorgânicos, tais como metais pesados e metalóides ([SANTOS et al., 2005](#) ; [RIBEIRO et al., 2011](#)), como consequência das operações da EACF. Resultados significativos

observados no dano ao DNA de *G. antarctica* coletados dos locais FT e STO nos biomonitoramentos III e IV ([Fig. 2](#)) são similares aos relatados por [GOMES et al. \(2012\)](#) com *Trematomus newnesi*. peixe enjaulado nos mesmos locais. Segundo os autores, danos significativos no DNA aos animais de FT e STO indicam que a contaminação desses locais é localizada, uma vez que estão a menos de 1 km dos locais de controle de PPL e YP.

Diferentes compostos de hidrocarbonetos foram encontrados no fundo do mar, bem como nas amostras de água perto dos tanques de combustível, como resultado da entrada direta de vazamento de combustível ou da combustão de combustíveis fósseis ([BÍCEGO et al., 2009](#)). [A Tabela 1](#) apresenta as faixas de compostos orgânicos nos sedimentos das águas rasas em torno da Estação de Pesquisa Antártica Brasileira, obtidas em alguns estudos ao longo dos 12 anos de observação. Os menores valores de contaminantes correspondem àqueles encontrados em áreas distantes da influência da EACF. Níveis elevados de esteróis fecais foram encontrados próximos ao escoamento de efluentes de esgoto da EACF, embora inferiores aos medidos antes do período 2005-2006, quando as melhorias introduzidas no sistema de tratamento de esgoto entraram em operação ([MARTINS et al., 2012](#)). No entanto, os níveis de alquilbenzenossulfonatos ainda são altos em relação às áreas mais primitivas, mesmo após as melhorias feitas no sistema de tratamento de esgoto da estação. Apesar dos distintos processos de contaminação que afetam as águas ao redor do FT e STO, os efeitos em termos de danos no DNA foram semelhantes nos animais amostrados em ambos os locais. Diferenças no dano ao DNA poderiam ser esperadas, já que os hidrocarbonetos, especialmente os HPAs, cujos metabólitos reativos resultam em substâncias mais genotóxicas do que os compostos de esgoto, são sujeitos à biotransformação. Em experimentos realizados por [PHAN et al. \(2007\)](#) , os autores compararam os dados do peixe *Trematomus newnesi* enjaulado por 12 dias em águas em frente a tanques de combustível e escoamento de esgoto, com aqueles de um bioensaio de laboratório, onde grupos de peixes foram expostos às águas dos mesmos locais. Segundo esses autores, as diferenças nas quantidades de micronúcleos e anormalidades eritrocitárias encontradas no laboratório entre os peixes dos dois locais eram devidas ao fato de que, em laboratório, os peixes eram expostos à água de maneira a preservar sua espontaneidade. características, situação análoga à do peixe engaiolado, em que as diferenças na genotoxicidade não foram significativas entre os locais devido aos processos de mistura. Os locais FT e STO estão a menos de 100 m de distância, dependendo assim do processo de mistura das águas rasas entre estas áreas, os animais estão sujeitos à poluição ambiental das substâncias,

Tabela 1 Faixa de compostos orgânicos e hidrocarbonetos de esgoto em sedimentos de águas rasas (0-10 m de profundidade) em frente à Estação de Pesquisa Antártica Brasileira EACF e áreas vizinhas. LABs: alquilbenzenos lineares; Σ-AHs: hidrocarbonetos alifáticos totais; Σ-PAHs: hidrocarbonetos aromáticos policíclicos totais; nd: não disponível

Referência	Esteróis fecais	LABs	Ah-Ahs	PA-PAHs
	-1	-1	-1	-1
	µg-g	µg-g	µg-g	µg-g
Bícego et al., 1998	n / D	n / D	0,14-0,58	1,00-32,0
Martins et al., 2002	0,21-10,4	<0,60-11,8	n / D	n / D
Martins et al., 2004	n / D	n / D	0,15-13,28	9,45-270,5
Martins et al., 2010	0,01-0,95	1,00-23,0	n / D	n / D
Martins et al., 2012	0,01-0,17	1,00-46,5	n / D	n / D

Mesmo nos biomonitoramentos I e II, onde as diferenças entre os locais não são significativas, o dano ao DNA da *G. antarctica* tende a ser maior nos locais FT e STO do que nos locais de controle. Além disso, o dano ao DNA dos hemócitos atingiu o pico no FT, provavelmente resultante da rápida exposição aos altos níveis de PAHs nos sedimentos desse local ([BÍCEGO et al., 1998](#) ; [MARTINS et al., 2004](#)).

Comparações entre os biomonitoramentos foram realizadas para avaliar a confiabilidade dos resultados. Uma tendência decrescente geral pode ser vista no dano ao DNA dos animais quando os biomonitoramentos I, II e III nos quatro sítios são comparados ([Fig. 3](#)). Essa tendência pode ser atribuída à variabilidade inerente dos dados em consequência do estado fisiológico dos animais, no que se refere ao estresse de captura. No entanto, esta tendência foi significativa apenas no local da PPL. Além disso, os valores dos biomonitoramentos no local da PPL foram inferiores aos seus respectivos valores nos outros locais. Para os sítios YP, FT e STO, o dano ao DNA dos hemócitos de *G. antarctica* atingiu o pico de biomonitoramento IV, sendo o maior valor encontrado no local do TF.

Os resultados apresentados até agora enfatizam a importância do biomonitoramento das águas rasas próximas às estações de pesquisa, a fim de avaliar o impacto ambiental da presença humana nos ecossistemas antárticos. O anfípode *G. antarctica* respondeu satisfatoriamente como um bioindicador da poluição aquática, assim como o ensaio cometa como uma ferramenta para a avaliação da genotoxicidade através da avaliação do dano ao DNA de seus hemócitos.

AGRADECIMENTOS

Este estudo faz parte do projeto de Pesquisa Ambiental Antártica do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT-APA), que recebe apoio científico e financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (processo CNPq: 574018 / 2008-5) e Carlos Fundação de Apoio à Pesquisa Chagásica do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ n° E-16 / 170.023 / 2008). Os autores também reconhecem o apoio recebido dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil, do Meio Ambiente (MMA) e da Comissão Interministerial de Recursos

Marinhos (CIRM). Nossos agradecimentos especiais ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) e a todos os membros da INCTAPA.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, S .; SADINSKY, W .; SHUGART, L; BRUSSARD, P .; DEPLEDGE, M .; FORD, T .; MANGUEIRA, H; STEGEMANT, J .; SUK, W .; WIRGIN, eu. WOGAN, G. Toxicologia genética e molecular: uma estrutura de pesquisa. **Environ Health Perspect.**, V. 102, n.12, p. 3-8, 1994. [[Links](#)]
- BARRERA-ORO, E .; PIACENTINO, G. Hábitos alimentares de juvenis *Trematomus newnesi* (Peixes, Nototheniidae) na Enseada de Oleiro, Ilhas Shetland do Sul, Antártica. **Biol Polar.** v. 30, p. 789-796, 2007. [[Links](#)]
- BARRERA-ORO, ER; INVERNO, composição da idade do DJ e ecologia de alimentação de *Notosensia rossii* juvenil adiantado (Pisces, Nototheniidae) na angra do oleiro, ilhas de Shetland sul, a Antártica. **Antarct Sci.**, V. 20, p. 239-241, 2008. [[Links](#)]
- BÍCEGO, MC; WEBER, RR; ITO, RG Hidrocarbonetos aromáticos nas águas superficiais (in) da Baía do Almirantado, Ilha King George, Antártida. **Mar. Pollut. Bull.**, V. 32 n. 7, p. 549-553, 1996. [[Links](#)]
- BÍCEGO, MC; ZANARDI, E .; ITO, RG; WEBER, RR Hidrocarbonetos em sedimentos superficiais da Baía do Almirantado, Ilha King George, Antártica. **Pesquisa Antártica Brasileira** , v.3, p. 15-21, 1998. [[Links](#)]
- BÍCEGO, MC; ZANARDI-LAMARDO, E .; TANIGUCHI, S .; MARTINS, CC; SILVA, DAM; SASAKI, ST; BARBOSA, ACRA; PAOLO, FS; WEBER, RR; MONTONE, RC Resultados de um estudo de 15 anos sobre concentrações de hidrocarbonetos em água e sedimentos da Baía do Almirantado, Ilha King George, Antártica. **Antarct Sci.**, V. 21, n. 3, p. 209-220, 2009. [[Links](#)]
- BIHARI, N; FAFANDEL, M. Interspecies diferenças em quebras de fita simples de DNA causadas pelo benzo [a] pireno e ambiente marinho. **Mutat Res.**, V. 552, p. 209-217, 2004. [[Links](#)]
- BOURRET, V .; COUTURE, P .; CAMBELL, PGC; BERNATCHEZ, L. Ecotoxicologia evolutiva de populações de Perching amarelo selvagem (*Perca flavescens*) cronicamente expostas a um gradiente polimetálico. **Aquat. Toxicol.**, V. 86, p. 76-90, 2008. [[Links](#)]
- COLLINS, AR O ensaio do cometa para danos e reparos no DNA: Princípios, Aplicações e Limitações. **Mol. Biotechnol.**, V. 26, n. 3, p. 249-261, 2004. [[Links](#)]
- CRIPPS, GC; PRIDDLE, J. Hidrocarbonetos no ambiente marinho antártico. **Antarct Sci.**, V. 3, n. 3, p. 233-250, 1991. [[Links](#)]
- DE BOECK, M.; KIRSCH-VOLDERS, M. *Nereis vireis* (Annelida: Polychaeta) is not an adequate sentinel species to assess the genotoxic risk (comet assay) of PAH exposure to the environment. **Environ. Mol. Mutagen.**, v. 30, p. 82-90, 1997. [[Links](#)]
- FREIRE, A. S.; ABSHER, T. M.; CRUZ-KALED, A. C.; KERN, Y.; ELBERS, K. L. Seasonal variation of pelagic invertebrate larvae in the shallow antarctic waters of Admiralty Bay (King George Island). **Polar. Biol.**, v. 29, n. 4, p. 294-302, 2006. [[Links](#)]
- GARCÍA, O.; MANDINA, T.; LAMADRID, A. I.; DIAZ, A.; REMIGIO, A.; GONZALEZ, A.; PILOTO, J.; GONZALEZ, J. E.; ALVAREZ, A. Sensitivity and variability of visual scoring in the comet assay. Results of an inter-laboratory scoring exercise with the use of silver staining. **Mutat. Res.**, v. 556, p. 25-34, 2004. [[Links](#)]
- GARCÍA, O.; ROMERO, I.; GONZALEZ, J. E.; MANDINA, T. Measurements of DNA damage on silver stained comets using free Internet software. **Mutat. Res.**, v. 627, p. 186-190, 2007. [[Links](#)]
- GOMES, V.; PASSOS, M. J. A. C. R.; LEME, N. M. P.; SANTOS, T. C. A.; CAMPOS, D. Y. F.; HASUE, F. M.; PHAN, V. N. Photo-induced toxicity of anthracene in the Antarctic shallow water amphipod, *Gondogeneia antarctica*. **Polar Biol.** v. 32, p. 1009-1021, 2009. [[Links](#)]
- GOMES, V.; PASSOS, M. J. A. C. R.; SANTOS, T. C. A.; CAMPOS, D. Y. F.; USSAMI, K. A.; HASUE, F. M.; PHAN, V. N. DNA strand breaks in caged coastal fishes (*Trematomus newnesi*), following exposure to the waters in front of the Brazilian Antarctic Research Station "Comandante Ferraz", King George Island. **Pesquisa Antártica Brasileira.**, v. 5, p. 61-70, 2012. [[Links](#)]
- HARTL, M. G. J.; KILEMADE, M.; SHEEHAN, D.; MOTHERSILL, C.; O´HALLORAN, J.; O'BRIEN, N. M.; VAN PELT, F. N. A. M. Hepatic biomarkers of sediment-associated pollution in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L. **Mar. Environ. Res.**, v. 64, n. 2, p. 191-208, 2007. [[Links](#)]
- HARTMANN, A.; AGURELL, E.; BEEVERS, C.; BRENDLER-SCHAAB, S.; BURLINSON, B.; CLAY, P.; COLLINS, A.; SMITH, A.; SPEIT, G.; THYLAND, V.; TICE, R. R. Recommendations for conducting the *in vivo* alkaline Comet assay. **Mutagenesis**, v. 18, n. 1, p. 45-51, 2003. [[Links](#)]
- HUGHES, K. A. Reducing sewage pollution in the Antarctic marine environment using a sewage treatment plant. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 49, p. 850-853, 2004. [[Links](#)]

HUGHES, K. A.; THOMPSON, A. Distribution of sewage pollution around a maritime Antarctic research station indicated by faecal coliforms, *Clostridium perfringens* and faecal sterol markers. **Environ. Pollut.**, v. 127, p. 315-321, 2004. [[Links](#)]

JAZDZEWSKI, K. Amphipoda. In: Rakusa-Suszczewski, S. (Ed.). **The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw: Polish Academy of Sciences, 1993. p.108-116. [[Links](#)]

JAMES, M. O.; BOYLE, S. M. Cytochromes P450 in crustacea. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 121C, p. 157-172, 1998. [[Links](#)]

JHA, A. N.; DOGRA, Y.; TURNER, A.; MILLWARD, G. E. Impact of low doses of tritium on the marine mussel *Mytilus edulis*: genotoxic effects and tissue-specific bioconcentration. **Mutat. Res.**, v. 586, p. 47-57, 2005. [[Links](#)]

KING, C. K.; RIDDLE, M. J. Effects of metal contaminants on the embryonic and larval development of the common Antarctic sea urchin *Sterechinus neumayeri* (Meissner). **Mar. Ecol.: Prog. Ser.**, v. 215, p. 143-154, 2001. [[Links](#)]

KLOBUČAR, G. I. V.; PAVLICA, M.; ERBEN, R.; PAPES, D. Application of the micronucleus and comet assays to mussel *Dreissena polymorpha* haemocytes for genotoxicity monitoring of freshwater environments. **Aquat. Toxicol.**, v. 64, p. 15-23, 2003. [[Links](#)]

KUZMICK, D. M.; MITCHELMORE, C. L.; HOPKINS, W. A.; ROWE, C. L. Effects of coal combustion residues on survival, antioxidant potential, and genotoxicity resulting from full-lifecycle exposure of grass shrimp (*Palaemonetes pugio* Holthuis). **Sci. Total Environ.**, v. 373, n. 1, p. 420-430, 2007. [[Links](#)]

LEE, R. F.; STEINERT, S. Use of the single cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals. **Mutat. Res.**, v. 544, p. 43-64, 2003. [[Links](#)]

LEMIERE, S.; COSSU-LEGUILLE, C.; BISPO, A.; JOURDAIN, M. J.; LANHERS, M. C.; BURNEL, D.; VASSEUR, P. DNA damage measured by the single-gell electrophoresis (Comet) assay in mammals fed with mussels contaminated by the "Erika" oil-spill. **Mutat. Res.**, v. 581, p. 11-21, 2005. [[Links](#)]

LISKA, D. J. The detoxification enzyme systems. **Altern. Med. Rev.**, v. 3, p. 187-198, 1998. [[Links](#)]

LIVINGSTONE, D. R. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fish. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 120, p. 43-49, 1998. [[Links](#)]

MARTÍN-DÍAZ, M. L.; BLASCO, J.; SALES, D.; DEL VALLS, T. A. Field validation of a battery of biomarkers to assess sediment quality in Spanish ports. **Environ. Pollut.**, v. 151, n. 3, p. 631-640, 2008. [[Links](#)]

MARTINS, C. C.; VENKATESAN, M. I.; MONTONE, R. C. Sterols and linear alkylbenzenes in marine sediments from Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. **Antarct. Sci.**, v. 14, n. 3, p. 244-252, 2002. [[Links](#)]

MARTINS, C. C.; BÍCEGO, M. C.; TANIGUCHI, S.; MONTONE, R. C. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Antarct. Sci.**, v. 16, n. 2, p. 117-122, 2004. [[Links](#)]

MARTINS, C. C.; AGUIAR, S. N.; BÍCEGO, M. C.; MONTONE, R. C. Sewage organic markers in surface sediments around the Brazilian Antarctic station: Results from the 2009/10 austral summer and historical tendencies. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 64, n. 12, p. 2867-2870, 2012. [[Links](#)]

MONTONE, R. C.; TANIGUCHI, S.; WEBER, R. R. Polychlorinated biphenyls in marine sediments of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 42, p. 611-614, 2001. [[Links](#)]

MONTONE, R. C.; MARTINS, C. C.; BÍCEGO, M. C.; TANIGUCHI, S.; DA SILVA, D. A. M.; CAMPOS, L. S.; WEBER, R. R. Distribution of sewage input in marine sediments around a maritime Antarctic research station indicated by molecular geochemical indicators. **Sci Total Environ.**, v. 408, p. 4665-4671, 2010. [[Links](#)]

NONATO, E. F.; BRITO, T. A. S.; PAIVA, P. S.; PETTI, M. A. V.; CORBISIER, T. N. Benthic megafauna of the nearshore zone of Martel Inlet (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica): depth zonation and underwater observations. **Polar Biol.**, v. 23, n. 8, p. 580-588, 2000. [[Links](#)]

OHE, T.; WATANABE, T.; WAKABAYASHI, K. Mutagens in surface waters: a review. **Mutat. Res.**, v. 567, p. 109-149, 2004. [[Links](#)]

OPALINSKI, K. W.; JAZDZEWSKI, K. Respiration of some Antarctic amphipods. **Polskie Archiwum Hydrobiologii.**, v. 25, p. 643-655, 1978. [[Links](#)]

OPALINSKI, K. W.; SICINSKI, J. Oxygen consumption in Antarctic tidal zone amphipods. **Polskie Archiwum Hydrobiologii.**, v. 42, p. 537-546, 1995. [[Links](#)]

PHAN, V. N.; GOMES, V.; PASSOS, M. J. A. C. R.; USSAMI, K. A.; CAMPOS, D. Y. F.; ROCHA, A. J. S.; PEREIRA, B. A. Biomonitoring of the genotoxic potential (micronucleus and erythrocyte abnormalities assay) of the Admiralty Bay water surrounding the Brazilian Antarctic Station "Comandante Ferraz", King George Island. **Polar Biol.**, v. 30, p. 209-217, 2007. [[Links](#)]

RAJAGURU, P.; SUBA, S.; PALANIVEL, M.; KALAISELVI, K. Genotoxicity of a polluted river system measured using the alkaline comet assay on fish and earthworm tissues. **Environ. Mol. Mutagen.**, v. 41, p. 85-91, 2003.

[[Links](#)]

RIBEIRO, A. P.; FIGUEIRA, R. C. L.; MARTINS, C. C.; SILVA, C. R. A.; FRANÇA, E. J.; BÍCEGO, M. C.; MAHIQUES, M. M.; MONTONE, R. C. Arsenic and trace metal contents in sediments profile from the Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 62, p. 192-196, 2011. [[Links](#)]

ROCHA, A. J. S.; SANTOS, T. C. A.; GOMES, V.; BÍCEGO, M. C.; BARBOSA, A. C. R. A.; PASSOS, M. J. A. C. R.; HASUE, F. M.; PHAN, V. N. Assessment of trophic transfer of benzo(a)pyrene genotoxicity from the post-larval pink shrimp *F. brasiliensis* to the juvenile Florida pompano *T. carolinus*. **Environ. Toxicol. Phar.**, v. 34, p. 969-976, 2012a. [[Links](#)]

ROCHA, A. J. S.; GOMES, V.; PASSOS, M. J. A. C. R.; HASUE, F. M.; SANTOS, T. C. A.; BÍCEGO, M. C.; TANIGUCHI, S.; PHAN, V. N. EROD activity and genotoxicity in the seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* exposed to benzo[a]pyrene (BaP) concentrations. **Environ. Toxicol. Phar.**, v. 34, p. 995-1003, 2012b. [[Links](#)]

SANTOS, I. R.; SILVA-FILHO, E. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; CAMPOS, L. S. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 50, p. 185-194, 2005. [[Links](#)]

SANTOS, I. R.; SILVA-FILHO, E. V.; SCHAEFER, C.; SELLA, S. M.; SILVA, C. A.; GOMES, V.; PASSOS, M. J. A. C. R.; PHAN, V. N. Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica. **Environ. Pollut.**, v. 140, p. 304-311, 2006. [[Links](#)]

SINGH, N. P.; MCCOY, M. T.; TICE, R. R.; SCHNEIDER, E. L. A simple technique for quantitation of low level of DNA damage in individual cells. **Exp. Cell Res.**, v. 175, p. 184-191, 1988. [[Links](#)]

TABAN, I. C.; BECHMANN, R. K.; TORGRIMSEN, S.; BAUSSANT, T.; SANNI, S. Detection of DNA damage in mussels and sea urchins exposed to crude oil using comet assay. **Mar. Environ. Res.**, v. 58, p. 701-705, 2004. [[Links](#)]


TICE, R. R. The single cell gel/comet assay: a microgel electrophoretic technique for the detection of DNA damage and repair in individual cells. In: Phillipos, D.H.; Venitt, S. (Eds.). **Environmental Mutagenesis**. Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1995. p.315-339. [[Links](#)]

VERMEULEN, N. P. E. Role of metabolism in chemical toxicity. In: Ioannides C. (ed.) **Cytochromes P450: Metabolic and Toxicological Aspects**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996. p. 29-53. [[Links](#)]

WEBER, K.; GOERKE, H. Persistent organic pollutants (POPs) in Antarctic fish: levels, patterns, changes. **Chemosphere**, v. 53, p. 667-678, 2003. [[Links](#)]

Received: April 28, 2014; Revised: October 26, 2014; Accepted: November 03, 2014

*Corresponding author: vicgomes@usp.br

 Este é um artigo de Acesso Aberto distribuído sob os termos da Licença Não Comercial da Creative Commons Attribution, que permite o uso, distribuição e reprodução sem restrições comerciais, em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

Praça do Oceanográfico, 191
05508-120 Cidade Universitária
São Paulo - SP - Brasil
Tel. : (55 11) 3091-6501
Fax: (55 11) 3032-3092



io@usp.br