



**FUNCAP – Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico -
Diretoria Científica e Tecnológica**

**Seleção de proposta para pesquisador visitante Nacional ou Estrangeiro
Funcap/INCT/CNPq e Finep**

INCT-TMCOcean Fase II
Proc. No. 4652902014-0

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO

Título:

“Mudanças ambientais e o ciclo rápido do carbono e mercúrio na interface continente-oceano”
Proc. No. INT-00159-00009.01.00/19

Coordenador:

Luiz Drude de Lacerda

Instituição Executora:

Instituto de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará

Período: Julho de 2019 a Julho de 2023

Fortaleza, Julho de 2023

Nome do(a) Pesquisador(a): Luiz Drude de Lacerda

Instituição (por extenso): Universidade Federal do Ceará

Área/subárea do projeto (por extenso): Oceanografia

Título do projeto apoiado pela FUNCAP: “Mudanças ambientais e o ciclo rápido do carbono e mercúrio na interface continente-oceano”

Três palavras-chaves: Mudança climática, Ciclo do carbono, Biogeoquímica, Contaminação Ambiental, Mercúrio

Nº do Processo: INT-00159-00009.01.00/19

Edital: Ação Sem Edital

Convênio: Edital 10/2018 UFC

Relatório Parcial: () **Relatório Final:** (X)

I. Principais objetivos do projeto original:

O projeto deu continuidade e avançou em algumas linhas de pesquisa que vem sendo desenvolvidas pelo proponente para testar hipóteses geradas pela formulação descrita em seu título. Isto é, como os processos resultantes das alterações regionais dos usos da terra e da mudança climática global, vêm interagindo nas bacias costeiras da região semiárida do nordeste brasileiro, e levando à alterações do ciclo rápido do carbono e do mercúrio, e suas implicações (feedbacks) com o aquecimento global e a contaminação dos recursos pesqueiros dessa região.

II - Principais etapas executadas no período visando ao alcance dos objetivos:

1. Caracterização da deposição recente de sedimentos estuarinos e da plataforma continental e sua relação com a deposição orgânica e siliciclástica usando a composição elementar e marcadores orgânicos, e carreadores geoquímicos inorgânicos, respectivamente. (Parcialmente realizado, em andamento)
2. Avaliação da qualidade da matéria orgânica (MO) estuarina potencialmente mobilizadora de metais e nutrientes e sua capacidade de complexação em diferentes compartimentos (águas superficiais e intersticiais, e ao longo do gradiente estuarino) através de técnicas espectroscópicas (fluorescência), eletroquímicas e de marcadores moleculares. (Realizado)
3. Quantificar a fugacidade de CO₂ ao longo do gradiente estuário-oceano profundo e sua relação com características locais (uso das bacias), regionais (alteração ambiental do semiárido) e global (aquecimento da atmosfera e aumento de calor no oceano) (Realizado)
4. Contratação de Professor Visitante para atuar junto ao projeto. (Realizado)
5. Produção científica veiculada através de publicações nacionais e internacionais (Realizado)
6. Orientação de quatro bolsistas de iniciação científica. (Realizado)

III - Apresentação e discussão dos resultados obtidos, deixando claro o avanço teórico, experimental ou prático obtido pela pesquisa (os resultados formais - publicações - são solicitados no item VIII)

Dentre as atividades de pesquisa destacam-se os estudos já iniciados sobre o ciclo do carbono em diversos ambientes costeiros e da plataforma continental do Brasil, com ênfase nas quantificações dos fluxos de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) na interface água-atmosfera. Além da fase gasosa, outras formas de carbono vêm sendo investigadas, incluindo material dissolvido, particulado, orgânico e inorgânico, abrangendo a composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$). Destacam-se os estudos realizados em lagunas costeiras do litoral brasileiro, deltas estuarinos do Rio Paraíba do Sul (RJ) e Rio Parnaíba (MA-PI), ambientes de recifes de corais da plataforma continental do Ceará (Área de Proteção Ambiental Pedra da Risca do Meio), e ambientes de manguezais do Estado do Ceará (Rio Pacoti). Durante o período de vigência do contrato, foram publicados sete (07) artigos científicos em revistas internacionais de alto impacto, pelo professor visitante associado ao projeto (*Estuarine, Coastal and Shelf Science; The Science of the Total Environment; Marine Chemistry; Continental Shelf Research; Environmental Science and Pollution Research; Biogeochemistry*). Também foram publicados outros 04 (quatro) artigos científicos pelo coordenador do projeto.

Outro ponto importante está relacionado com a internacionalização da pesquisa. O projeto consolidou parcerias com o Centro Nacional de Pesquisa Científica da França (CNRS), através do diretor de pesquisa Dr. Gwenaél Abril, vinculado atualmente ao Museu Nacional de História Natural de Paris (MNHN). O Dr. Abril obteve a aprovação, junto ao CNRS, para o financiamento de um Laboratório Internacional Associado (LIA) VELITROP, com o objetivo de estruturar a pesquisa franco-brasileira em temáticas no entorno da ecologia e biogeoquímica marinha. O Dr. Abril visitou o LABOMAR entre 03 e 06 de dezembro de 2019, oportunidade que consolidou a colaboração internacional dentro do contexto do presente projeto, incluindo a inserção do LABOMAR/UFC como a sede na Região Nordeste do Projeto (LIA) VELITROP. Em dezembro de 2020, foi realizado um Webinar internacional, contando com pesquisadores brasileiros e franceses, onde foram apresentados trabalhos, projetos e perspectivas de cooperação para o período de 2021-2024 no contexto do Projeto LIA-VELITROP. Também foi aprovado Projeto CAPES-COFECUB, aprovado sob coordenação do Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda (LABOMAR/UFC), onde estão previstas a continuidade das campanhas científicas junto à Universidade de Toulon-França.

O principal avanço teórico relaciona-se a Teoria do Paradoxo Ártico, desenvolvida pelo coordenador do projeto. Em linhas gerais os resultados do projeto podem assim ser sumarizados: A mudança climática global interage com alterações regionais do uso da terra em bacias costeiras e promove mudanças rápidas na biogeoquímica da zona costeira. Nas latitudes tropicais, os manguezais dominam ambientes costeiros e estuarinos e respondem rapidamente a essas mudanças. O litoral do Semiárido do Brasil, como a maioria dos outros ambientes semiáridos, está sendo fortemente afetado pelas mudanças climáticas. Uma grande resposta ambiental é a alteração da hidrodinâmica, geralmente envolvendo a diminuição do escoamento continental para o oceano, causada pela redução das chuvas anuais e represamento dos rios. Além disso, a intensificação da força marinha, devido ao acúmulo de calor no Oceano Atlântico Sul e ao aumento do nível do mar, empurra as águas auto e costeira para os estuários. Os processos da bacia e dos oceanos refletem positivamente o feedback e causam um aumento do tempo de residência em estuários, intrusão salina para dentro, acúmulo de sedimentos nos confins dos estuários e expansão das áreas de manguezais, particularmente nos últimos 50 anos. A expansão dos manguezais significa a expansão do metabolismo de redução de sulfato, que produz grandes quantidades de carbono orgânico dissolvido, caracterizado pela alta capacidade de formação de complexos organometálicos. As consequências na biogeoquímica das substâncias que fluem da terra para o mar são de alto significado ambiental, como exemplificado pelo comportamento do mercúrio (Hg). As

concentrações e fluxos de Hg dissolvidos e particulados são maiores do rio ao estuário do que do estuário para o mar, produzindo um acúmulo de Hg particulado no estuário. A exportação de Particulado Hg pode ocorrer apenas durante períodos extremamente chuvosos, e eventualmente é depositada são sedimentos de prateleira, apresentando baixa biodisponibilidade. Dissolvido; a exportação hg reativa e vinculada ao DOC é praticamente inexistente durante períodos chuvosos, mas aumenta duas ordens de magnitude durante os períodos de seca progressivamente mais longos. Essas formas altamente biodisponíveis de Hg acabarão nas teias de alimentos estuários inferiores e costeiras, aumentando a contaminação da biota e exposição humana ao Hg.

Detalhes dos resultados podem ser encontrados nas publicações específica listadas como produtos do projeto.

IV - Relacione os principais fatores negativos e positivos que interferiram na execução do projeto.

Felizmente, apesar dos problemas relacionadas ao COVID foi possível atingir todos os objetivos planejados

V - Formação de Recursos Humanos para a Pesquisa - preencha o quadro abaixo, informando o número de orientandos no período da concessão do auxílio:

SITUAÇÃO QUANTO AO APOIO	INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC	APERFEIÇOAMENTO AP	MESTRADO (*) M	DOCTORADO (***) D	TOTAL
CNPq	4				4
CAPES			1	1	2
FUNCAP	4		1	2	3
OUTRO (***)					
SEM-BOLSA					
TOTAL	8		2	3	13

(*) V.1. Para Mestrado, informar apenas os dados: nome do(s) orientando(s), título da dissertação e data da defesa ou previsão.

1. **Andréia dos Santos Campos.** Concentração de mercúrio no tecido muscular de elasmobrânquios capturados pela pesca artesanal no nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, **Previsão**, 03/2024.
2. **Mariana Silvestre Martins.** Mudanças paleoambientais recentes no estuário do Rio Jaguaribe. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, **Previsão**, 03/2024.

(**) V.2. Para Doutorado informar: nome do(s) orientando(s), título e situação da tese (em andamento, concluída, data da aprovação);

1. **Moraes, Cyntia R. Ferreira.** Contribuição relativa e contaminação de mercúrio em itens alimentares na dieta de atuns do Atlântico Oeste Equatorial. Tese de Doutorado, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 186 p. **Finalizada**, 08/2021.
2. **Barrios, Cesar Rodriguez.** Distribuição de Hg em tartarugas marinhas do litoral brasileiro. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 115 p. **Finalizada**, 02/2023

3. **Lacerda, Victor Moura.** Fatores Controladores das Concentrações de Mercúrio (Hg) em Organismos Aquáticos Costeiros da Região Semiárida. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. **Previsão, 06/2023**

(***) V.3. Especificar OUTRO órgão de fomento que apoiou a Formação de Recursos Humanos.

VI - Relacionar outras formas de apoio ao projeto de pesquisa durante a execução do projeto, incluindo a obtenção de auxílios junto a órgãos de fomento nacionais, internacionais ou estrangeiros.

- CAPES-COFECUB: Proc. No. 88881.370836/2019-01. Biogeoquímica, mobilização e exposição ambiental de contaminantes no Antropoceno.
- CNPq: Proc. No. 405.244/2018-5. Impacto das mudanças climáticas sobre a mobilização de poluentes.
- CNPq. Proc. No. 302.362/2018-5. Mobilização de mercúrio em estuários do semiárido do Nordeste no Antropoceno
- IRD Action SUD (França). LAblité du Carbone Bleu face au changements climatiques : cas des Mangroves - LACAB

VII - Contatos Nacionais e Internacionais efetivamente ocorridos em função do projeto, como: convênios, pesquisadores visitantes, etc.

NOME	ESPECIALIDADE	INSTITUIÇÃO	PAÍS	TIPO DE COLABORAÇÃO
<u>Stephane Mounier</u>	Química Ambiental	Univ. Toulon	França	Pesquisador
<u>Gwnael Abril</u>	Oceanografia	MHN Paris	França	Pesquisador
<u>Carlos Eduardo Rezende</u>	Ecologia	UENF	Brasil	Pesquisador
<u>José Marcos Godoy</u>	Química Ambiental	PUC-Rio	Brasil	Pesquisador
<u>Lars-Eric Heimburger</u>	Química Ambiental	MIO-Aix Marseille	França	Pesquisador
<u>Raymond Ward</u>	Ecologia	Univ. Brighton	UK	Pesquisador
<u>Venugopalan Ittekkot</u>	Oceanografia	Univ. Bremen	Alemanha	Pesquisador
<u>Jorge Marcovecchio</u>	Oceanografia	IADO -Argentina	Argentina	Pesquisador
<u>Silvia De Marco</u>	Oceanografia	U. N. Mar del Plata	Argentina	Pesquisador
<u>William Vazques</u>	Ecologia	U. Fairfield	USA	Pesquisador

VIII - Informe os trabalhos publicados e/ou aceitos para publicação no período, relacionados com o projeto em pauta: livros, capítulos de livros, artigos em periódicos nacionais e internacionais, e comunicações em congressos, reuniões científicas e semelhantes. Use as indicações em anexo para o registro de cada trabalho. Anexe separatas dos trabalhos publicados.

- Indicar claramente entre os autores dos trabalhos, quando for o caso, os bolsistas formais de IC, AP, M, D.

1. **Cotovicz LC, (BPV) Ribeiro, RP Régis CR, Bernardes M, Sobrinho R, Vidal LO, Tremmel D, Knoppers BA, Abril G.** 2021. Greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) and inorganic

- carbon behavior in an urban highly polluted tropical coastal lagoon (SE, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13362-2>
2. **Cotovicz LC, (BPV)** Knoppers BA, Régis CR, Tremmel D, Santos SC, Abril G. 2021. Eutrophication overcoming carbonate precipitation in a tropical hypersaline coastal Lagoon acting as a CO₂ sink (Araruama Lagoon, SE, Brazil). *Biogeochemistry* <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00842-3>
 3. **Barrios CAR (D)**, Lacerda LD, Bezerra MF, **Moura VL (D)**, Rezende CE, Bastos, WR. 2020. Influence of size on total mercury (THg), methyl mercury (MeHg), and stable isotopes of N and C in green turtles (*Chelonia mydas*) from NE Brazil. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 20527-20537. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08623-5>
 4. Lacerda LD, Marins RV, Dias FJS. 2020. An Arctic Paradox: Response of fluvial Hg inputs and its bioavailability to global climate change in an extreme coastal environment. *Frontiers in Earth Sciences* 8, 93. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00093>
 5. Marins RV, Lacerda LD, Araújo ICS, Fonseca LV, Silva FATF. 2020. Phosphorus and suspended matter retention in mangroves affected by shrimp farm effluents in NE Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 92 (3): e20200758. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020200758>
 6. **Moura VL (D)**, Rabelo JN, Bezerra MF, Silva GB, Faria VV, Rezende CE, Bastos WR, Lacerda LD. 2020. Ecological and biological factors associated to mercury accumulation in batoids (Chondrichthyes: Batoidea) from northeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 161(A): e111761. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.11>
 7. **Cotovicz LC, (BPV)** Chielle R, Marins RV. 2020. Air-sea CO₂ flux in an equatorial continental shelf dominated by coral reefs (Southwestern Atlantic Ocean). *Continental Shelf Research* 204, 104175. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104175>
 8. **Cotovicz LC, (BPV)** Vidal LO, Rezende CE, Bernarde MC, Knoppers BA, Sobrinho RL, Cardoso RP, Muniz M, Anjos RM, Biehler A, Abril G. 2020. Carbon dioxide sources and sinks in the delta of the Paraíba do Sul River (Southeastern Brazil) modulated by carbonate thermodynamics, gas exchange and ecosystem metabolism during estuarine mixing. *Marine Chemistry* 226, 103869. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103869>
 9. Lacerda LD, Mounier S, Ittekkot V. 2020. Biogeochemical responses of tropical ecosystems to environmental changes. *Frontiers in Earth Sciences* 8, 597744. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.597744>
 10. Lacerda LD, Ward R, **Ferreira AC (BPV)**, Borges R, Godoy, MDP, Meireles J. 2021. 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forests and Global Change* 4, 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
 11. **Ferreira AC (BPV)**, Borges R and Lacerda LD 2022. Can sustainable development save mangroves? *Sustainability*, 14,1263. <https://doi.org/10.3390/su14031263>
 12. **Ferreira AC (BPV)**, and Lacerda LD. 2022. Mangrove restoration in NE Brazil: a unified contribution to adapting to global climate change. *Arquivos de Ciências do Mar*, 55 n. Especial: 2019-230. <https://doi.org/10.32360/acmar.v55iEspecial.78185>
 13. Lacerda LD, Ward RD, Borges R, **Ferreira AC (BPV)**, 2022. Mangrove trace-metal Biogeochemistry response to global climate change. *Frontiers in Forests and Global Change* 5 (817992), 14. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.817992>
 14. Lacerda LD, **Ferreira AC (BPV)**, Ward R and Borges R (2022) Editorial: Mangroves in the Anthropocene: From local change to global challenge. *Frontiers in Forests and Global Change* 5, 993409. <https://doi.org/10.3389/gc.2022.9934>
 15. **Rodriguez CAB (D)**, Lacerda LD, Bezerra MF (**BPV**). 2022. A review on the pan-oceanic distribution of mercury (Hg) in sea turtles. *Endangered Species Research* 49, 175–185. <https://doi.org/10.3354/esr01209>

16. **Moura VL (D)**, Lacerda LD. 2022. Mercury sources, emissions, distribution and bioavailability along an estuarine gradient under semiarid conditions in NE Brazil. *International Journal of Pollution Research and Public Health* 19, 17092 <https://doi.org/10.3390/ijprph192417092>
17. **Ferreira AC (BPV)**, Lacerda LD, Rodrigues JV, Bezerra LEA. 2023. New contributions to mangrove restoration/rehabilitation protocols and practices. *Forest Ecology & Management Journal* 31, 89-114. <https://doi.org/10.1007/s11273-022-09903-2>
18. Goyanna F (D), Silva G, Bezerra MF (BPV), Lacerda LD. 2023. Mercury in oceanic upper trophic level sharks and bony fishes - A systematic review. *Environmental Pollution* 318, 120821 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120821>
19. Bezerra MF (BPV), Goyanna F (D), Lacerda, L.D. 2023. Risk assessment of human mercury exposure through consumption of fishery products in Ceará State, Northeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 189, 114713. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114713>
20. Rodriguez CAB (D), Lacerda LD, Bezerra, MF (BPV). 2023. Pilot study of mercury distribution in the carapace of four species of sea turtles from Northeastern Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 110, 99 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03745-1>
21. Fragoso, C.; Gatts, P.V.; Di Benedetto, A.P.; Martinelli, L.A.; Lacerda, L.D. & Rezende, C.E. 2023. Stable isotopes and Mercury as tools to depict aquatic food webs. *Quimica Nova* 46 (11) <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230125>
22. Verzele, P. (M), Rodriguez, C.A.B. (D), Bezerra, M.F. (BPV) & Lacerda, L.D. 2023. Regional differences in Hg contents in liver and muscle of *Chelonia mydas* from three foraging grounds in Northeast Brazil. *Environmental Science & Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31407-6>
23. Chielle, R.S.A. (D), Marins, R.V., Cavalcante, M.S. (PD) & Cotovicz Jr, L.C. (BPV) 2023. Seasonal and spatial variability of CO₂ emissions in a large tropical mangrove-dominated delta. *Limnology & Oceanography* <https://doi.org/10.1002/lno.12471>

IX - Patente ou registro de invenção ou técnica (informar o título, se a patente é nacional, internacional ou “joint ventures” e outros dados que julgar adequados):

N.A.

X - Informe outras atividades científicas/administrativas que julgar pertinentes no período: organização de ou participação em eventos científicos, consultorias, assessorias a órgãos de fomento ou a outras instituições, participação em colegiados, bancas de doutorado ou concursos públicos, atividades de ensino etc.):

Participação em outros projetos de pesquisa

1. Projeto Mudanças ambientais e o ciclo rápido do Carbono na interface continente-oceano. Coordenador(a): Profa. Dra. Rozane Valente Marins/LABOMAR/UFC. Financiamento: FUNCAP/CNPq/PRONEX.
2. Projeto Restauração e manejo de manguezais degradados no estuário do Rio Pacotí, Ceará. Coordenador: Dr. Luís Ernesto Bezerra/LABOMAR/UFC. Financiamento: FUNCAP/CNPq.
3. Projeto Avaliação do Sistema Carbonato, Metabolismo Orgânico e Inorgânico, e Processos de Acidificação em Ambientes de Recifes de Corais da Costa do Estado do Ceará.

Coordenador: Dr. Marcelo Oliveira/LABOMAR/UFC. Financiamento: FUNCAP/Secretaria Estadual Meio Ambiente.

4. Projeto Quantificação da contaminação do pescado, ameaça à segurança alimentar pela exposição humana e a sustentabilidade das cadeias produtivas da pesca e aquicultura no Estado do Ceará. Coordenador: João Felipe Matias FUNCAP/Secretaria de Desenvolvimento Agrário.

XI - Citar premiações científicas obtidas em função do desenvolvimento da pesquisa (título do prêmio, quem outorgou, data, local); honorarias acadêmicas; (se necessário use folha extra)

N.A.

XII. Informar as progressões e concessões de Bolsas de Produtividade em Pesquisa do CNPq, com o objetivo de medir o impacto do auxílio nesse quesito de avaliação. (PREENCHIMENTO OBRIGATÓRIO)

Pesquisadores		Tipo de Participação	Bolsa PQ ou DT no início do Projeto	Bolsa PQ ou DT ao final do Projeto
Luiz Drude de Lacerda		Coordenador	PQ-1A	PQ-1A

XIII. Informar a progressão de NOTAS dos cursos de Programa de Pós-graduação de atuação dos pesquisadores principais, com o objetivo de medir o impacto do auxílio nesse quesito de avaliação. (PREENCHIMENTO OBRIGATÓRIO)

Curso de Pós-graduação	Nota da CAPES no início do projeto	Nota da CAPES ao final do projeto	Pesquisadores
Ciências Marinhas Tropicais	5	6	Luiz Drude de Lacerda, Luís Carlos Cotovicz Andreia Conceição Carvalho, Alexander Ferreira

XIV. Formação e Nucleação de OUTROS grupos de Pesquisa e Laboratórios POSTERIOR a concessão do auxílio, além daqueles laboratórios/grupos já beneficiados pelo projeto.

Não se aplica

Grupo de Pesquisa / Laboratório	Instituição	Ano de Criação	Pesquisadores vinculados	Titulação
N.A.				

Declaro, para todos os fins, que as informações prestadas neste relatório são exatas e verdadeiras.

Fortaleza, 13 de junho de 2023

Assinatura do(a) pesquisador(a)

Obs. O relatório deverá ser enviado à FUNCAP pelo(a) pesquisador(a) beneficiário do fomento, com a assinatura original.