

CIÊNCIA ANTÁRTICA PARA O BRASIL

Plano de Ação 2013-2022



Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas
Coordenação para Mar e Antártica
Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

Brasília, 2013

República Federativa do Brasil
Presidente: Dilma Vana Rousseff
Vice-Presidente: Michel Temer

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)
Ministro: Clelio Campolina Diniz
Secretário-Executivo: João Alberto De Negri

Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED)
Secretário: Carlos Afonso Nobre
Coordenação para Mar e Antártica: Janice Romaguera Trotte-Duhá

Capa: Pinguins papua (*Pygoscelis papua*) em cima de um grunhão (pedaço de *iceberg*). Fotografia: Adriana Dalto (UFRJ).

Verso da Capa: Navio Polar Almirante Maximiano, da Marinha do Brasil. Fotografia: FURG.



Ciência Antártica para o Brasil

Um plano de ação para o período 2013 – 2022

Grupo de trabalho

Jefferson C. Simões (UFRGS) - relator

Adriano R. Viana (CENPES)

Eduardo Resende Secchi (FURG)

Emília Correia (INPE/UPM)

Heitor Evangelista da Silva (UERJ)

Ilana E. K. C. Wainer (USP)

Lúcia de Siqueira Campos (UFRJ)

Maurício Magalhães Mata (FURG)

Vívian Helena Pelizzari (USP)

Yocie Yoneshigue Valentin (UFRJ)

Apresentação

Resumo

Introdução

Visão

Missão

Relevância da ciência realizada na Antártica

Liderança política na Antártica no início do século XXI

Programas temáticos de pesquisa

Novas áreas de investigação

Conexões com o Ártico

Formação e absorção de especialistas antárticos no sistema nacional de C&T

Divulgação e inserção do conhecimento

Lista de siglas

Mapa da área geográfica de atuação do Programa Antártico Brasileiro



APRESENTAÇÃO

“Ciência Antártica no Brasil - Um plano de ação para o período 2013 – 2022”:

O ano de 2013 foi marcado, na história do Programa Antártico Brasileiro - PROANTAR, como um momento de renovação de entusiasmo e de concretas realizações, após os seus 30 anos de execução, que foram completados em 2012.

O objetivo maior do PROANTAR é a produção de conhecimento científico sobre a Antártica e suas relações com o Sistema Terrestre, envolvendo a criosfera, os oceanos, a atmosfera e a biosfera. É nesse contexto que um dos objetivos da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação/2012-2015 (ENCTI) explicita o fomento e a ampliação de pesquisas de excelência internacional sobre a região Antártica e sua área adjacente, enfatizando suas implicações para o Atlântico Sul.

A geração de novos conhecimentos científicos garante papel ativo do País nas decisões sobre a preservação ambiental e o futuro do continente Antártico e do Oceano Austral, em conformidade com o artigo IX do Tratado da Antártica, o qual estabelece que os países que se tornaram membros por adesão devem manter um substancial programa científico, para terem direito a participar de reuniões que decidam o futuro da região.

A implementação dos elementos contidos no documento “Ciência Antártica no Brasil - Um plano de ação para o período 2013 – 2022” contribuirá de forma expressiva para que o País se torne uma nação reconhecida internacionalmente, pelo seu elevado desempenho científico na região Antártica e Oceano Austral, executando cinco programas temáticos de forma sustentável, e que investigarão os processos ambientais e as relações atuais, pretéritas e futuras, entre o continente sul-americano e as regiões polares. Tais programas também ensejam um aumento do protagonismo brasileiro no Sistema do Tratado Antártico, em particular, no “Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR)”, ademais das cooperações internacionais existentes entre países sul-americanos.

A definição da agenda Científica do PROANTAR revelada pelo Plano de Ação para a próxima década permite ao País maior clareza do que se busca na pesquisa Antártica,

do ponto de vista estratégico e da sustentabilidade, ao passo que propicia melhores condições de direcionamento do apoio financeiro aos projetos de pesquisa, notadamente aos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) dedicados à pesquisa Antártica, que constituem elementos fundamentais para a integração das propostas do Plano de Ação.

Se o processo da presença dos Estados Membros na Antártica começou lento, e totalmente voltado para uma dimensão econômico-territorialista, hoje, o processo de ocupação ganha uma intensificação voltada para uma dimensão ambiental e científica, que predomina nas negociações afetas ao Sistema do Tratado da Antártica, e de todos os órgãos que o compõem. O segmento científico é, portanto, parte essencial para o processo mundial de tomada de decisões sobre a Antártica, reforçando o papel estratégico do MCTI, no âmbito do PROANTAR.

Finalizo, parabenizando o Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CONAPA) pelo excelente trabalho realizado na elaboração deste Plano de Ação 2013-2022.

Carlos A. Nobre

Secretário de Políticas e Programas
de Pesquisa e Desenvolvimento
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

RESUMO

A Antártica é uma das regiões mais sensíveis às variações climáticas na escala global e os processos atmosféricos, biológicos, criosféricos e oceânicos que ocorrem naquela região afetam diretamente o território brasileiro. Este documento propõe a criação de **“cinco programas temáticos de pesquisa científica”** que explorem conexões entre o ambiente antártico e sul-americano, com ênfase nos processos que afetam particularmente o Brasil. Tais programas buscam também aumentar o protagonismo brasileiro no Sistema do Tratado Antártico, em particular no [Scientific Committee on Antarctic Research](#) *(SCAR). O Programa 1 **“O papel da criosfera no sistema terrestre e as interações com a América do Sul”** investiga o papel da relação entre aquele continente e o clima do Hemisfério Sul com ênfase no continente sul-americano e na evolução dos processos biogeoquímicos ao longo dos últimos 12 mil anos. O Programa 2 **“Efeitos das Mudanças Climáticas na Biocomplexidade dos Ecossistemas Antárticos e suas Conexões com a América do Sul”** dá atenção a origem e evolução da biodiversidade Antártica; sua distribuição (atual e pretérita) e as relações entre os organismos e o ambiente, contribuindo, dessa forma, para a compreensão das conexões biológicas entre a Antártica e América do Sul. Por último, observará quais as consequências das mudanças climáticas regionais e globais e o impacto antrópico nesses ecossistemas.

O Programa 3 **“Mudanças Climáticas e o Oceano Austral”** é voltado às investigações dos processos físicos e biogeoquímicos associados às mudanças na circulação do Oceano Austral e sua interação com o gelo marinho e as plataformas de gelo que possam ter impacto nos climas do Brasil e do Atlântico Sul. A **“Geodinâmica e história geológica da Antártica e suas relações com a América do Sul”** são temas do Programa 4, integrando estudos

geocientíficos para a compreensão dos mecanismos que levaram à configuração geográfica atual da Antártica, desde a fragmentação do continente Gondwana, seu isolamento, bem como as consequências ambientais resultantes das mudanças tectônicas, paleogeográficas e climáticas, ocorridas ao longo do tempo geológico.

Finalmente, o Programa 5 **“Dinâmica da alta atmosfera na Antártica, interações com o geoespaço e conexões com a América do Sul”** investigará a dinâmica e a química da alta atmosfera e o impacto da depleção do ozônio estratosférico no clima antártico e os ecossistemas associados. Serão considerados os efeitos da interação Sol-Terra e os impactos de fenômenos astrofísicos de alta energia.

O presente Plano de Ação tece ainda comentários sobre quatro pontos para garantir a qualidade das ações de C&T no âmbito do Programa Antártico Brasileiro ([PROANTAR](#)) ao longo dos próximos dez anos: (1) recomenda atenção a outras áreas de investigação, incluindo temas emergentes, não contemplados nos cinco programas propostos; (2) estudos sobre conexões com o Ártico; (3) a necessidade de formação de especialistas antárticos e posterior absorção no sistema de ensino e pesquisa do País; (4) a divulgação e inserção social do conhecimento gerado pela pesquisa antártica brasileira.

* SCAR é o comitê interdisciplinar do Conselho Internacional para a Ciência (ICSU) responsável pela implementação, desenvolvimento e coordenação de investigação científica internacional na região Antártica, e seu papel no sistema Terra. As ações do SCAR são conduzidas por **cientistas indicados pelos respectivos comitês nacionais de pesquisa antártica**.

Além de cumprir seu papel científico, o SCAR também fornece pareceres científicos objetivos e independentes para as Reuniões Consultivas do Tratado da Antártida e outras organizações sobre questões de ciência e conservação que afetem a gestão da Antártida e do Oceano Austral.

INTRODUÇÃO

Ao comemorar trinta anos de existência, faz-se oportuno avaliar e reestruturar os objetivos e metas científicas do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Ao longo desse período, a atuação dos pesquisadores brasileiros na região Antártica garantiu o direito do País de participar das decisões sobre o futuro político de quase 7% da superfície da Terra. Os avanços científicos no período demonstraram a importância da região para o ambiente sul-americano, no entanto, ainda existem muitas lacunas de conhecimento sobre os processos polares que afetam o cotidiano brasileiro.

Este documento, elaborado conforme determinação da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento (SEPED), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), ao Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CONAPA), define áreas prioritárias de investigação pela apresentação de cinco programas temáticos de pesquisa, os quais deverão ser revisados cinco anos após a sua implementação. Em comum, esses programas priorizam a exploração de conexões entre os ambientes antártico e sul-americano, com ênfase nos processos que afetam o território brasileiro, interagindo entre si. Portanto, este documento não tem o propósito de proceder à revisão do PROANTAR, mas sim definir os próximos passos da ciência antártica brasileira.

O grupo de trabalho responsável por esta proposta parte do princípio de que somente um programa científico de vanguarda, com inserção internacional, reforçará o papel do Brasil no Sistema do Tratado da Antártica.

VISÃO

Tornar-se uma nação reconhecida internacionalmente, pelo seu elevado desempenho científico na região Antártica e Oceano Austral, implementando programas temáticos de forma sustentável, e que investiguem os processos ambientais e as relações atuais, pretéritas e futuras, entre o continente sul-americano e as regiões polares.

MISSÃO

Desenvolver programa de pesquisa de excelência sobre a região Antártica e suas conexões com o Oceano Atlântico e a América do Sul, contribuindo para assegurar a permanência do Brasil como membro consultivo do Tratado da Antártica.

RELEVÂNCIA DA CIÊNCIA REALIZADA NA ANTÁRTICA

“Os polos ou os trópicos? Quem lidera a dança do clima?”

Fred Pearce, 2007.
With Speed and Violence,
why scientists fear tipping points in climate change

As regiões polares são tão importantes quanto os trópicos no sistema ambiental global. A região Antártica, devido à presença de 90% do volume da massa de gelo do planeta, é o principal sorvedouro de energia da Terra, tendo papel essencial na circulação atmosférica e oceânica e, conseqüentemente, no sistema climático terrestre. É uma das regiões mais sensíveis às variações climáticas, estando interligada com processos que ocorrem em latitudes menores, em especial com a atmosfera sul-americana e os oceanos circundantes. A ligação trópicos–altas latitudes está vinculada à gênese e dinâmica das massas de ar frias geradas sobre o Oceano Austral e que, na escala sinóptica, avançam sobre a América do Sul subtropical, produzindo eventos de baixa temperatura e geadas nos estados do sul do Brasil (as friagens ou frentes frias que podem chegar até o sul da Amazônia). Cabe mencionar que o Brasil é o sétimo país geograficamente mais próximo do continente antártico.

A sensibilidade da região às mudanças ambientais é enfatizada por constatações tais como: (1) a carência planetária de ozônio estratosférico (o “buraco de ozônio”) ainda atinge recordes sobre a Antártica; (2) a superfície e as camadas intermediárias do Oceano Austral estão aquecendo mais rapidamente do que nos outros oceanos e já existem indícios da transferência desses sinais para as células profundas da circulação oceânica mundial; (3) o norte da Península Antártica (o setor mais ameno do continente) registra os maiores aumentos de temperatura média superficial do planeta ao longo dos últimos 60 anos

(cerca de 3°C); (4) simultaneamente a esse aquecimento, as áreas de distribuição de diversas espécies de animais, que ocorrem na costa ocidental da Península Antártica, avançam mais para o Sul; e (5) o manto de gelo antártico apresenta balanço de massa global negativo, contribuindo para o aumento do nível do mar.

A Antártica ainda é local para experimentos inéditos, somente possíveis graças às suas características ambientais únicas: (i) manto de gelo, que atinge quase 5.000 metros de espessura; (ii) continente alto, com uma atmosfera seca; (iii) fundo oceânico e processos oceanográficos sob o gelo marinho ainda desconhecidos, com fauna e flora endêmicas; e (iv) a presença de mais de 400 lagos subglaciais que caracterizam um novo ambiente. Tais condições permitem a obtenção dos registros mais detalhados existentes a respeito das variações climáticas e da química atmosférica dos últimos 800.000 anos (por estudos de testemunhos de gelo); pela busca e o registro de novas espécies animais no fundo do Oceano Austral (especificamente abaixo das plataformas de gelo e da região permanentemente coberta por gelo marinho); pela identificação de extremófilos no manto de gelo antártico; pelos estudos de bioinvasão, com a identificação de espécies invasoras; pela investigação detalhada dos impactos do geoespaço na dinâmica da atmosfera terrestre; pela instalação de um dos mais avançados telescópios no Polo Sul geográfico; e pela investigação de partículas subatômicas de difícil detecção (por exemplo, neutrinos).



Na perspectiva ao lado, centrada na América do Sul, fica evidente a proximidade entre a região Antártica e o Brasil. Pontos vermelhos identificam cidades brasileiras com instituições que realizam pesquisas antárticas. A localização da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF; 62°05'S, 58°24'W) é marcada por ponto amarelo, na ilha Rei George, ao norte da Península Antártica. O ponto azul no continente marca a localização do módulo científico Criosfera 1 (84°00'S, 79°30'W). Fonte: Centro Polar e Climático (UFRGS).

Resumidamente, devido à proximidade geográfica e peculiaridades dos processos do seu meio físico e biótico, a Antártica afeta diretamente a América do Sul. A realização de programa científico nacional de vanguarda é, portanto, essencial para o avanço do conhecimento das relações ambientais Antártica–Brasil, destacando-se as questões climáticas e a biodiversidade.

LIDERANÇA POLÍTICA NA ANTÁRTICA NO INÍCIO DO SÉCULO XXI

A ciência antártica tem um forte componente político decorrente das peculiaridades do Tratado da Antártica, que no seu artigo IX exige que as partes contratantes desenvolvam “substancial atividade de pesquisa científica...” para que mantenham o direito de voto nas reuniões que decidem o futuro da região. Como decorrência, o caso, toda a região ao sul do paralelo 60°S, aproximadamente 34 milhões de quilômetros quadrados*. Ao longo das últimas décadas, o novo quadro político internacional pós-Guerra Fria; o surgimento da questão das mudanças ambientais globais e as modificações internas do Sistema do Tratado da Antártica (STA), como a criação do Protocolo ao Tratado Antártico sobre Proteção

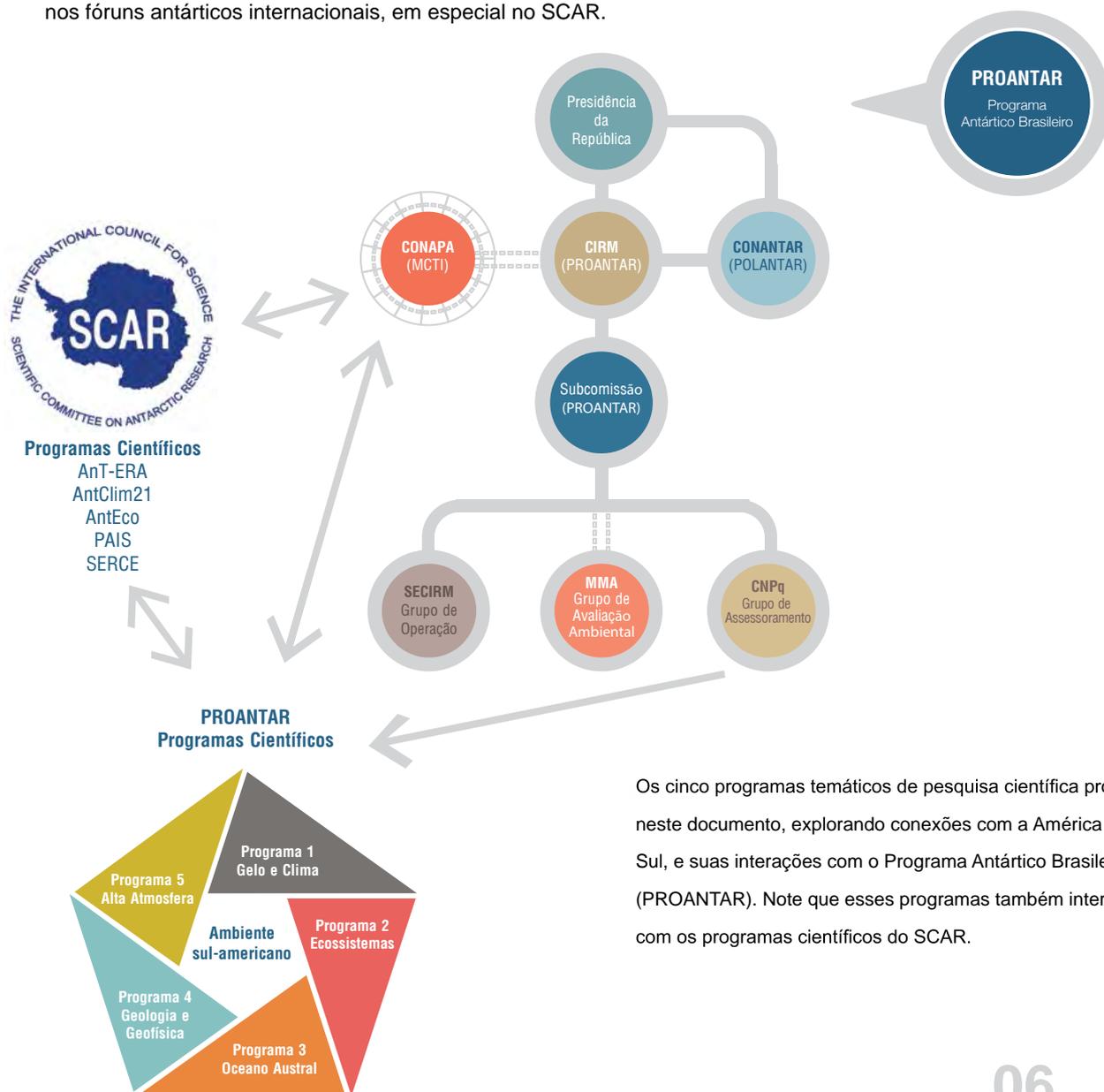
* Esta é a área na qual se aplica o Tratado da Antártida e representa 7% da superfície terrestre. Para a comunidade científica, a Região Polar Antártida descreve toda a área ao sul da Zona da Frente Polar Antártida (posição média ao redor dos 58°S), cobrindo 45,6 milhões de quilômetros quadrados (quase 9% da superfície do planeta).

ao Meio Ambiente (ou Protocolo de Madri), deram à ciência antártica um papel proeminente nas decisões políticas sobre a região. Hoje, a influência de um país no STA está atrelada à qualidade de seu programa de pesquisa científica. Assim, uma forte atuação do país no *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR), órgão interdisciplinar do Conselho Internacional para a Ciência (ICSU), que tem a responsabilidade de promover, desenvolver e coordenar a investigação científica na Antártica e prestar aconselhamento científico independente, reforça indiretamente o status do país no STA.

Em suma, o Brasil alcançará um protagonismo antártico proporcional à sua relevância no cenário internacional somente quando tiver um programa científico de vanguarda, bem estruturado gerencial e financeiramente.

PROGRAMAS TEMÁTICOS DE PESQUISA

Cinco programas temáticos de pesquisa inter-relacionados são propostos para responder questões que aprofundem o conhecimento sobre as conexões entre o ambiente antártico e o brasileiro. Os programas propõem investigar questões científicas de relevo regional e/ou global e que interagem entre si. A consecução dos objetivos desses programas levará ao aprimoramento da qualidade da produção intelectual antártica nacional, adquirindo no processo um maior protagonismo nos fóruns antárticos internacionais, em especial no SCAR.



Os cinco programas temáticos de pesquisa científica propostos neste documento, explorando conexões com a América do Sul, e suas interações com o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Note que esses programas também interagem com os programas científicos do SCAR.

PROGRAMA 1

O papel da criosfera no sistema terrestre e as interações com a América do Sul

Objetivo Geral

Investigar o papel da criosfera antártica no clima do Hemisfério Sul, com ênfase no continente sul-americano, no presente, no passado próximo e suas tendências para o futuro, assim como a evolução da química atmosférica.

Objetivos Específicos

- Investigar as conexões entre o sistema acoplado atmosfera-criosfera-oceano antártico com os processos meteorológicos e climáticos na América do Sul (com ênfase no Brasil) e no Atlântico Sul;
- Explorar os efeitos das atividades antrópicas e a sua influência na química da atmosfera das altas latitudes do Hemisfério Sul;
- Investigar os efeitos da variabilidade climática na região Austral sobre o Hemisfério Sul e sua relação com eventos extremos;
- Investigar as relações entre a variabilidade na extensão do gelo marinho antártico com a evolução climática do Hemisfério Sul nos últimos 12.000 anos;
- Modelar e elaborar cenários de resposta da criosfera às variações climáticas ao longo dos próximos 100 anos e as consequências para o ambiente brasileiro, principalmente sobre a dinâmica de frentes frias e consequências para o nível médio dos mares; e
- Integrar dados de testemunhos de gelo, sedimentos glaciais de superfície e subaquosos, dinâmica glacial e observações geomorfológicas para ampliar o conhecimento sobre avanço e recuo das geleiras antárticas ao longo do Quaternário.

Marcos

- Implantar um sistema nacional de monitoramento e avaliação do estado das massas de gelo e do *permafrost* em um *transect* latitudinal abrangendo os Andes e a Antártica;
- Manter e ampliar as pesquisas glaciológicas e da química atmosférica no interior da Antártica;
- Montar uma rede de monitoramento atmosférico e meteorológico do Brasil, entre 85°S e o norte da Península Antártica, interligada com a rede sul-americana;
- Implantar o Laboratório Nacional de Testemunhos de Gelo;



Acampamento brasileiro no manto de gelo antártico para coleta de testemunhos de gelo (o melhor arquivo natural sobre as mudanças do clima). Fotografias: UFRGS.



- Manter e consolidar uma rede nacional de monitoramento do *permafrost* na Antártica e nos Andes, avaliando respostas às mudanças do clima;
- Promover levantamento e recuperação do acervo de dados meteorológicos, climáticos e paleoclimáticos antárticos produzidos pelo Brasil e a criação de base de dados.

Justificativa e Relevância

A Antártica é dominada por enorme manto de gelo de 13,8 milhões de quilômetros quadrados, o principal sorvedouro de energia do clima da Terra, controlador do nível médio dos mares e formador da maioria da água de fundo dos oceanos (junto com o cinturão de gelo marinho que o circunda). Essa massa de gelo fornece também melhor técnica de reconstrução da história do clima e da composição química da atmosfera, os estudos de testemunhos de gelo. Ainda, para a correta interpretação do registro de testemunhos de gelo, é essencial o estudo de aerossóis atmosféricos no continente antártico. A monitoração em estações remotas tem papel fundamental na determinação mais precisa dos períodos de residência atmosférica, diluição e transporte de aerossóis e gases em escala global e, em particular entre a América do Sul e Antártica. No atual cenário de mudanças e variabilidade climática do planeta, destaca-se o Hemisfério Sul, que possui importante controle sobre a circulação atmosférica nas médias e altas latitudes, em resposta à marcante presença do vórtice circumpolar-antártico que, por sua vez, decorre da presença da maior massa de gelo existente na atualidade (a Antártica). Esse vórtice circumpolar condiciona uma circulação média atmosférica vinda de oeste, que se estende da superfície até a estratosfera no Hemisfério Sul. Conexões climáticas entre os trópicos e as altas latitudes podem promover mudanças ou variabilidade climática na região Antártica, assim como mudanças no clima da região podem influenciar o clima no Hemisfério Sul, contribuindo na variabilidade climática na América do Sul. As massas de ar frio que afetam o território brasileiro

são controladas pela expansão e contração da cobertura de gelo marinho do Oceano Austral. Portanto, promover a investigação e o monitoramento sobre as variações do manto e na extensão de gelo marinho antártico são essenciais para a compreensão da evolução, das variações e para a elaboração de cenários de mudanças climáticas no Hemisfério Sul, com ênfase para o Brasil.



Amostragem simultânea de ar e da neve em condições ultralimpas. Esses estudos são essenciais para quantificar o transporte de poluentes da América do Sul para a Antártica. Fotografia: Jefferson C. Simões (UFRGS).



Módulo científico Criosfera 1, instalado no interior do manto de gelo antártico (84°00'S, 79°30'W) no verão de 2011/2012. Este módulo é totalmente automatizado e serve para o monitoramento da química atmosférica e análise meteorológica. Ao fundo, o acampamento dos pesquisadores que trabalham no módulo. Fotografia: UFRGS.

Interações com Programas Científicos Internacionais

Essa proposta está concatenada aos objetivos do novo programa do SCAR "[Mudanças Climáticas Antárticas no Século XXI](#)" (AntClim21). Será também uma contribuição brasileira ao "[Parceria Internacional para Ciência de Testemunhos de Gelo](#)" (IPICS) do Past Global Changes (PAGES) do Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP), em especial na montagem da rede de testemunhos de gelo para os últimos 2.000 anos. A componente de investigação de solos congelados contribui para o programa "[Permafrost Antártico e Subantártico, Solos e Ambientes Periglaciais](#)" (ANTPAS).

Interações com Programas e Ações no País

Esse programa fortalece mutuamente os seguintes Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs): da Criosfera, Antártico de Pesquisas Ambientais e de Mudanças Climáticas, contribuindo também para as ações da Rede Clima e para o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.

Produtos Esperados

- Integração da variabilidade da extensão do gelo marinho antártico nos modelos climáticos para a América do Sul, aperfeiçoando a previsão meteorológica e climática sobre massas de ar e frentes frias antárticas que atuam sobre o Brasil;
- Obtenção de um *transect* de testemunhos de gelo rasos, que represente os últimos 2.000 anos de história climática e química atmosférica antártica, interligado a estudos similares ao longo da cadeia dos Andes, explorando teleconexões com a América do Sul;
- Determinação da dispersão e trajetória de poluentes entre a América do Sul e o interior da Antártica, em particular dos subprodutos de queimadas;
- Explicação das mudanças na circulação atmosférica, temperatura do ar e extensão do gelo marinho antártico ao longo dos últimos 50 anos no Hemisfério Sul, delimitando fatores naturais e antrópicos;
- Montagem de cenários sobre o impacto do derretimento parcial da criosfera na costa brasileira;
- Determinação e monitoramento de mudanças na extensão e volume em áreas críticas do manto de gelo e geleiras antárticas, com ênfase na Península Antártica, e as consequências para o nível do mar na costa brasileira.

PROGRAMA 2

Biocomplexidade dos ecossistemas antárticos, suas conexões com a América do Sul e as mudanças climáticas

Objetivo Geral

Investigar a origem e evolução da biodiversidade Antártica, sua distribuição e as relações entre os organismos e o ambiente, por meio de pesquisa interdisciplinar de longa duração nos ambientes terrestre e marinho, contribuindo tanto para a compreensão das conexões biológicas entre a Antártica e a América do Sul, como para as consequências perante as mudanças climáticas regionais e globais, além da influência antrópica recente.

Objetivos Específicos

- Investigar os ciclos de vida, fisiologia e autoecologia de organismos, utilizando séries temporais longas para compreensão da estrutura e função dos ecossistemas terrestres e marinhos antárticos;
- Investigar a biodiversidade, sua evolução, padrões atuais de distribuição, abundância, adaptações ao meio ambiente polar e conexões com a América do Sul;
- Identificar, em nível morfológico e molecular, espécies endêmicas, espécies crípticas, espécies invasoras, espécies-chaves e indicadoras de alterações ambientais;
- Caracterizar e elaborar modelos de habitats para entender e prever respostas de populações e comunidades às mudanças e variações climáticas, servindo como instrumento de gestão ambiental nas regiões antárticas e subantárticas;
- Avaliar a presença de espécies invasoras e os seus possíveis efeitos sobre as comunidades antárticas;
- Avaliar bioquimicamente componentes moleculares de organismos da base da cadeia alimentar para se entender a dinâmica de componentes precursores e essenciais para a vida marinha na região Antártica;
- Investigar os processos e efeitos do aumento atual da temperatura e da acidificação dos oceanos na

cadeia alimentar e no ciclo biogeoquímico na região antártica e subantártica;

- Investigar efeitos do aumento das radiações solares sobre organismos antárticos;
- Investigar os fluxos de matéria, energia e ciclos biogeoquímicos, incluindo o balanço de carbono, nas regiões antárticas e subantárticas;

Lançamento de veículo submarino operado remotamente - ROV (*Remotely operate underwater vehicle*) na área rasa da baía do Almirantado, ilha Rei George.
Fotografia: Adriana Dalto (UFRJ).



- Determinar a produção primária e avaliar as interações entre os diferentes níveis tróficos visando elaborar modelos numéricos para avaliar transferência de nutrientes e prever efeitos de mudanças ambientais;
- Inferir relações filogenéticas dos organismos e avaliar a sua distribuição geográfica na Antártica e conectividade com a América do Sul em diversas escalas de tempo;
- Avaliar a plasticidade de processos moleculares, fisiológicos e fenotípicos dos organismos polares;
- Investigar o potencial biotecnológico de matrizes ambientais e de organismos da região Antártica, levando em consideração a conservação dos recursos naturais;
- Desenvolver e aplicar novas tecnologias para observação remota nos ambientes terrestre e marinho, mapeando a população subaquática para compreender os processos de migração de diferentes animais para a região Antártica;
- Investigar a microflora do ambiente antártico para identificar microrganismos endêmicos e exógenos, estudando mecanismos de dispersão e sobrevivência em zonas remotas do continente;
- Avaliar as características estruturais de componentes bioquímicos com alto desempenho, a baixas temperaturas polares;
- Sequenciar o código genético da flora e fauna antártica e estabelecer suas relações proteicas e lipídicas;
- Monitorar e avaliar as ocorrências diretas e indiretas do lixo marinho (especialmente os plásticos) no ecossistema antártico.



Amostragem de alga vermelha na zona de entremarés da ilha Rei George. Fotografia: Nair Yokoya (Instituto de Botânica, SP).



Estudos sobre populações de aves marinhas na ilha Rei George. Fotografia: André Lanna (UFRJ).

Marcos

- Consolidação do conhecimento da biologia e ecologia das espécies polares de forma a subsidiar as avaliações de risco de espécies invasoras na Antártica perante as mudanças ambientais;
- Estruturação e fortalecimento de centros de referência na concentração de informações e coleções biológicas de organismos antárticos (atuais e fósseis);
- Compreensão do papel das mudanças ambientais no funcionamento e serviços dos ecossistemas antárticos.

Justificativa e Relevância

A Antártica e o Oceano Austral são centros de divergência evolutiva e de adaptação a ambientes extremos. No entanto, as mudanças nas condições ambientais (aquecimento da atmosfera regional, depleção de ozônio, introdução de espécies não nativas, transporte global de contaminantes, crescente visitação pública e extração de recursos naturais vivos), sem precedente, tanto em magnitude e taxa, particularmente na Antártica Ocidental e Península Antártica, potencialmente conduzirão a alterações massivas de longo prazo nas comunidades biológicas e no funcionamento, serviços e integridades dos ecossistemas. As consequências dessas alterações somente poderão ser compreendidas elucidando como as mudanças históricas afetaram as comunidades no passado geológico e recente e obtendo dados referenciais presentes.

Dessa forma, a região torna-se um laboratório natural no qual pesquisas direcionadas ao entendimento dos efeitos de mudanças ambientais passadas, presentes e projetadas sobre a biodiversidade, adaptações dos organismos e populações, bem como sobre a função e estrutura do ecossistema devam ser priorizadas.

Interações com Programas Científicos Internacionais

As linhas temáticas do Programa “Biodiversidade e Ecossistemas Antárticos” estão em sinergia com as principais questões e metas dos novos programas científicos da área das Ciências da Vida do SCAR, o “[Limiaries Antárticos – Resiliência e Adaptações dos Ecossistemas](#)” (AnT-ERA) e o “[Estado do Ecossistema Antártico](#)” (AntEco), bem como preveem interações com atividades contempladas no Programa “[Mudanças Climáticas Antárticas no Século XXI](#)” (AntClim21), nos Grupos de Especialistas e Grupos de Ação, como por exemplo, o “[Grupo de Especialistas de Mamíferos e Aves Marinhas](#)” (EGBAMM), “[Registro Contínuo de Plâncton](#)” (CPR) e “[Acidificação dos Oceanos](#)”.

Interações com Programas e Ações no País

Esse programa interage fortemente com os INCTs Antárticos (Antártico de Pesquisas Ambientais, da Criosfera) e outros, como o INCT de Mudanças Climáticas, INCT MarCOI (Mar Centro de Oceanografia Integrada) e o INCT-MAR (Processos Oceanográficos da Plataforma ao Talude).

Produtos Esperados

- Plano de manejo e conservação da biodiversidade antártica na área de atuação geográfica do PROANTAR;
- Revisão e síntese sobre a biodiversidade antártica que identifiquem o estado atual de conhecimento e apontem as prioridades de pesquisas futuras;
- Elaboração de volumes de síntese de conhecimento de biodiversidade antártica e dos impactos ambientais decorrentes das mudanças climáticas pretéritas e futuras;
- Integração de conhecimentos sobre o bioma marinho e o ambiente antártico para a compreensão dos mecanismos pelos quais aquela região influencia a produtividade e biodiversidade dos oceanos ao largo da costa oriental da América do Sul;
- Produção de conhecimento aplicado à gestão governamental para subsidiar decisões políticas sobre a diversidade biológica e o uso sustentável dos recursos vivos marinhos, inclusive para o posicionamento do Brasil em convenções internacionais;
- Banco de dados do programa de biodiversidade do PROANTAR, através de uma colaboração com o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), interagindo com o [“Banco de Dados Internacional de Biodiversidade Antártica”](#) (ANTABIF);
- Desenvolvimento de modelos ecológicos para gestão ambiental das regiões antárticas e subantárticas para posterior comparação com outras regiões da América do Sul.



Baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) com transmissor satelital implantado. Fotografia: Luciano Dalla Rosa (FURG).

Implantação de um transmissor satelital para investigar padrões de uso do habitat da baleia-jubarte na Antártica. Fotografia: Luciano Dalla Rosa (FURG).



PROGRAMA 3

Mudanças Climáticas e o Oceano Austral

Objetivo Geral

Investigar processos físicos e biogeoquímicos associados às mudanças na circulação do Oceano Austral e sua interação com a cobertura de gelo marinho que possam ter impacto no clima continental e no oceano adjacente do Brasil.



Colocação de sensores para monitoramento de *icebergs* com o apoio de helicóptero da Marinha do Brasil embarcado no Navio de Apoio Oceanográfico Ary Rongel. Fotografias: FURG.



Objetivos Específicos

- Determinar o papel do Oceano Austral nos balanços de calor e de água do planeta;
- Monitorar a variabilidade da componente do Oceano Austral na Célula de Revolvimento Meridional (CRM) da circulação oceânica mundial;
- Investigar o papel do Oceano Austral na estabilidade do manto de gelo antártico e as consequências para o aumento do nível do mar;
- Investigar a variabilidade da cobertura do gelo marinho no Oceano Austral;
- Modelar e monitorar as alterações no ecossistema marinho devido ao aumento da absorção do CO₂ atmosférico no Oceano Austral e as consequências para os processos climáticos globais, incluindo, por exemplo, o impacto da acidificação no nível de ruído acústico;



- Produzir projeções da magnitude e padrões de mudanças no ambiente físico antártico para os próximos 100 anos como resultado de mudanças nas forçantes, tais como aumento na concentração de gases de efeito estufa e a recuperação do buraco na camada de ozônio.

Marcos

- Definição de uma (ou mais) seções no Oceano Austral para monitoramento oceanográfico sob a responsabilidade do Brasil e que estejam alinhadas com o plano de observações do [Southern Ocean Observing System](#) (SOOS) e do Programa CLIVAR ([Southern Ocean Panel](#));
- Instalação de registradores autônomos para monitorar a exportação de águas densas do mar de Weddell;
- Consolidação de grupo(s) de estudo observacional, sensoriamento remoto e de modelagem de gelo marinho, plataformas de gelo e interações gelo-oceano;
- Modelagem numérica da variabilidade e evolução do Oceano Austral e das interações com o Atlântico Sul ao longo do últimos ciclos glaciais-interglaciais;
- Incentivar o desenvolvimento e inovação de novas ferramentas tecnológicas para estudo e monitoramento de propriedades ambientais do Oceano Austral. Por exemplo, AUVs (veículos submarinos autômatos), *sea gliders* e técnicas acústicas (por exemplo, tomografia, comunicações submarinas, dentre outras).

Justificativa e Relevância Científica

Mudanças significativas nos componentes físicos e biogeoquímicos do Oceano Austral já estão em curso. As camadas superiores e intermediárias desse oceano (até 2000 m) estão aquecendo a taxas maiores do que aquelas observadas nos outros oceanos. Ao mesmo tempo, as camadas superficiais dos mares regionais no entorno do continente antártico apresentam redução significativa de salinidade - um resultado de alterações nos regimes de precipitação e do maior derretimento basal e desintegração de plataformas de gelo. Parte dessas modificações já se propagaram para profundidades abissais, especialmente por alterações na massa de Água de Fundo Antártica,



Amostragem de parâmetros oceanográficos a bordo do Navio Polar Almirante Maximiano, da Marinha do Brasil. Fotografia: FURG.

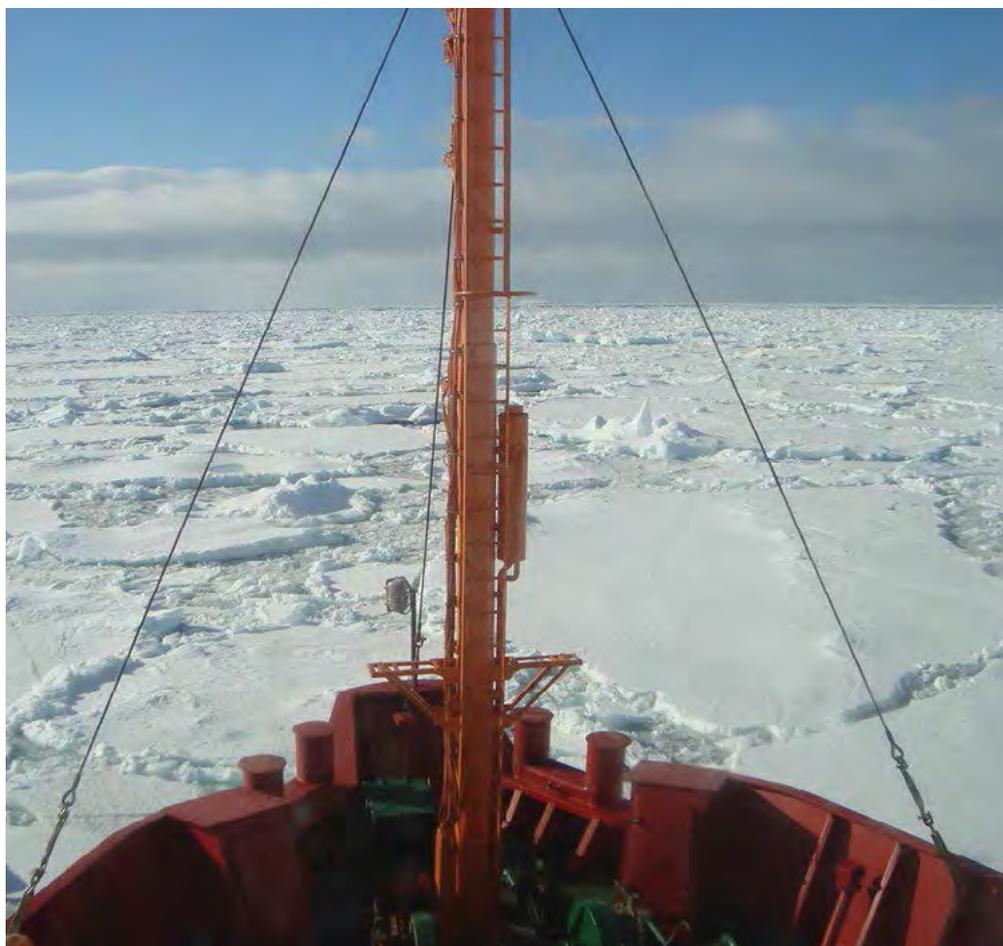
a qual também já registra aquecimento acelerado. No entanto, grandes incertezas ainda pairam sobre a quantificação dessas afirmações devido à falta de observações e exercícios de modelagem computacional dedicados. Medidas de sensoriamento remoto orbital mostram importantes alterações na dinâmica do Oceano Austral, como aumento generalizado no nível do mar e alterações latitudinais nas posições das principais frentes (e portanto do próprio eixo) da Corrente Circumpolar Antártica (CCA) e ainda fortes alterações regionais na extensão do gelo marinho Antártico.

O aumento da absorção de CO₂ pelos oceanos está acidificando suas águas e, conseqüentemente, diminuindo a disponibilidade de carbonato de cálcio utilizado por grande parte dos organismos. As reais quantidades de CO₂ absorvidas pelo Oceano Austral ainda são desconhecidas. Há evidências de que os ecossistemas da região Antártica estarão entre os primeiros a sofrer com essas alterações. Ressalta-se que o Oceano Austral é aquele que mais armazena os excessos antropogênicos de calor e de CO₂ (cerca de 40% do inventário de dióxido de carbono nos oceanos são encontrados ao sul de 30°S). Estima-se que a exportação de nutrientes das altas latitudes austrais, pelo ramo superficial da Célula de Revolvimento Meridional (*Meridional Overturning Circulation*), sustente cerca de 75% da produção primária oceânica ao norte de 30°S.

Finalmente, dada a influência e sensibilidade do Oceano Austral, é consenso que alterações no sistema regional acoplado atmosfera-criosfera-oceano alterarão os ecossistemas regionais e mesmo o sistema climático planetário.

Interações com Programas Científicos Internacionais

Esse programa está alinhado com a mais recente iniciativa internacional para estudo, observação e monitoramento do Oceano Austral, o [Southern Ocean Observing System](#) (SOOS), criado em 2011 sob a égide do SCAR e do [Scientific Committee on Oceanic Research](#) (SCOR). Ressalta-se que a comunidade científica ligada ao SCOR enfatiza a necessidade de observações e estudos coordenados para acelerar o entendimento sobre a dinâmica do Oceano Austral e suas relações com outras partes do Sistema Terrestre. Portanto, as pesquisas desse programa envolvem ações coordenadas com o SCAR e o SCOR.



Navio de Apoio Oceanográfico Ary Rongel, da Marinha do Brasil, navegando em área coberta por gelo marinho (banquisa) fechado. Investigar a variabilidade sazonal desse gelo é essencial para melhorar a previsão climática para o Brasil. Fotografia: FURG.



Pinguins papua (*Pygoscelis papua*) em cima de um grunhão (pedaço de *iceberg*). Fotografia: Adriana Dalto (UFRJ).

Interações com Programas e Ações Científicas no País

Esse programa servirá de balizamento das ações, em termos de oceanos, das duas grandes redes de pesquisa nacional que atuam no Oceano Austral: o INCT da Criosfera e o INCT APA. Além disso, o alinhamento desse programa com a comunidade internacional, sobretudo pelo viés do SOOS, apoiará outras ações e fóruns nacionais envolvidos com as questões de mudanças climáticas (tais como o Painel Brasileiro de Mudanças do Clima - PBMC, o INCT de Mudanças Climáticas, INCT MarCOI (Mar Centro de Oceanografia Integrada) e o INCT-MAR (Processos Oceanográficos da Plataforma ao Talude), principalmente sobre o papel da Antártica no aumento do nível do mar, a acidificação do Oceano Austral devido ao aumento de CO₂ antrópico e o manejo sustentável dos recursos vivos marinhos.

Produtos Esperados

- Desenvolvimento e implementação de modelos regionais de alta resolução que abordam os processos de interação e retroalimentação no sistema oceano-atmosfera-criosfera e interações com o Atlântico Sul;
- Quantificação da variabilidade das propriedades oceanográficas do Mar de Weddell, plataforma continental ocidental da Península Antártica e estreito de Bransfield;
- Quantificação de processos e relações entre o gelo marinho antártico, o oceano e atmosfera adjacentes e suas implicações climáticas regionais e globais. Esse produto pode apresentar-se na forma das parametrizações necessárias para medir as relações entre esses processos em escalas regionais ou hemisféricas;
- Validação de modelos climáticos acoplados para a região Antártica no século XX;
- Análise de projeções climáticas e impactos da Antártica na região do Atlântico Sul.

PROGRAMA 4

Geodinâmica e história geológica da Antártica e suas relações com a América do Sul

Objetivo Geral

Integrar estudos geocientíficos para entender os mecanismos que levaram à configuração geográfica atual da Antártica desde a formação e posterior fragmentação do supercontinente Gondwana, seu isolamento atual, bem como as consequências ambientais para a América do Sul, resultantes das mudanças paleogeográficas, tectônicas e climáticas ocorridas ao longo do tempo geológico, em grande parte refletidas por suas faunas e floras fósseis.

Marcos

- Avanço no entendimento do papel da Antártica (tanto de sua crosta como o seu manto de gelo) na evolução e a sucessão paleoclimática e sedimentar da América do Sul e do Atlântico Sul;
- Criação de uma base de dados geocientíficos antárticos brasileiros, incluindo dados petrológicos, litogeoquímicos, paleontológicos e geocronológicos;
- Expansão da área geográfica de investigação geológica brasileira para áreas de interesse científico na Antártica Ocidental.

Objetivos Específicos

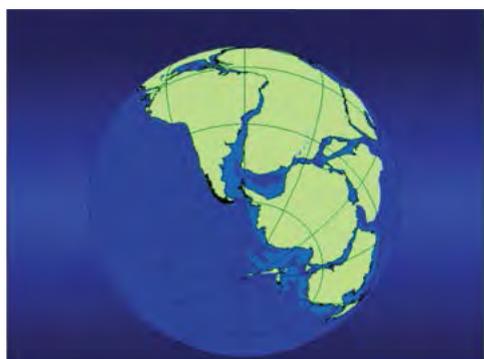
- Investigar a desagregação do supercontinente Gondwana e a compartimentação geológica da Antártica no processo de abertura do Atlântico Sul;
- Investigar o registro fóssilífero antártico Cenozoico, sua evolução e adaptação às mudanças ambientais;
- Analisar a evolução paleoclimática da Antártica a partir da abertura das passagens de Drake e da Tasmânia e suas consequências evolutivas para a biota marinha do Atlântico Sul;
- Investigar a história glacial antártica e seu papel no controle das sucessões sedimentares do Cenozoico;
- Caracterizar a assinatura tectônica, estratigráfica, paleobiogeográfica, paleo-oceanográfica, paleontológica e sedimentológica da Antártica na evolução do Atlântico Sul, desde sua abertura até os dias atuais, das modificações de conexões entre o Oceano Austral e o Oceano Atlântico;
- Integrar o conhecimento paleoclimático antártico derivado de estudos paleontológicos, testemunhos de sedimentos e estudos geomorfológicos para calibrar respostas climáticas, oceanográficas e ecológicas às mudanças do clima;
- Investigar a correlação das sucessões sedimentares coetâneas fanerozoicas da Antártica e da América do Sul;
- Analisar a evolução estratigráfica da margem do Gondwana Ocidental.

Justificativa e Relevância Científica

A Antártica foi a parte central do supercontinente de Gondwana e compartilhou história geológica e paleoclimática comum as dos continentes do Hemisfério Sul. Posteriormente à fragmentação do supercontinente, a Antártica e o fundo marinho circundante permaneceram sob influência de processos geológicos que levaram à presente conformação física. A compreensão desses processos é relevante para o entendimento do comportamento geológico e climático do passado, ajudando a montagem de cenários para o futuro.

O rompimento definitivo da conexão Antártica–América do Sul, há cerca de 35 milhões de anos, permitiu o estabelecimento de uma circulação circumpolar que condicionou o clima antártico a partir do final do Cenozoico. As características dessa circulação e as

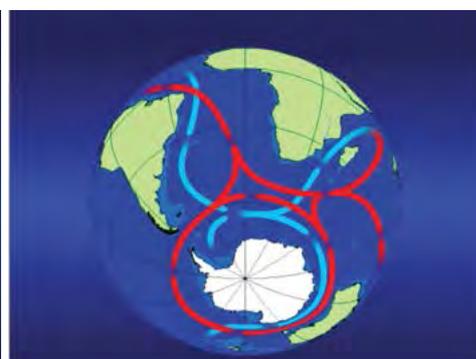
teleconexões estabelecidas entre a Antártica e as regiões tropicais do Atlântico, fatores igualmente controladores do clima moderno, são pouco entendidas. A natureza dessa evolução pode ser obtida por meio da integração de trabalhos de campo que obtenham informações da evolução tectono-estratigráfica e dos ambientes deposicionais das áreas paleozoicas e mesocenoicas da Antártica Ocidental. O impacto desses eventos nos oceanos, em particular no Atlântico Sul, pode ser avaliado pelo estudo do registro geológico e geofísico. Em particular, a evolução tectônica das passagens marítimas (*seaways*) e das margens da Antártica no mar de Scotia, suas ilhas periféricas e do mar de Weddell são importantes para entendermos as ligações pretéritas com a América do Sul.



~180 milhões de anos atrás



~90 milhões de anos atrás



~30 milhões de anos atrás

Investigar os processos de **ruptura do continente de Gondwana** é essencial para o entendimento da abertura do Atlântico Sul e de suas bacias sedimentares. Ainda, trata-se de conhecimento crítico para entendermos como o atual clima global chegou ao presente estado.

Fonte: SCAR

A evolução da distribuição biogeográfica das linhagens que deram origem à fauna recente da Antártica é também resultado dessas mudanças e seu estudo pode contribuir para o refinamento de quando, como e onde tais mudanças ocorreram e as estratégias de sobrevivência dos organismos durante os períodos mais quentes e mais frios do que o presente. A interação interdisciplinar entre as comunidades geológica, glaciológica, climatológica e biológica será essencial para o avanço do conhecimento nessa área.

O interesse na evolução geológica do Atlântico Sul ganhou relevância nos últimos anos, face à descoberta de campos gigantes de petróleo em ambas as margens desse oceano, com sistemas petrolíferos formados desde o período imediatamente precedente à fragmentação do Gondwana e à separação entre América do Sul e África (Cretáceo Inferior) até períodos mais recentes da fase francamente marinha (Cenozoico). Assim, entender o papel da Antártica na evolução desses depósitos sedimentares na costa brasileira tem também importância econômica, ademais de científica.

Interações com Programas Científicos Internacionais

Essas investigações contribuirão para o novo programa do SCAR: “[Evolução da Criosfera e Resposta da Terra Sólida](#)” (SERCE) e poderão estar associadas ao Programa Internacional ANDRILL ([ANtarctic Geological DRILLing](#)) que realizará várias perfurações geológicas na plataforma continental antártica para investigar a variabilidade climática dos últimos 56 milhões de anos (início do Eoceno). É esperada a ampliação dos trabalhos de campo conjuntos com geólogos do [Instituto Antártico Argentino](#) (IAA) e o [Instituto Antártico Chileno](#) (INACH), o [British Antarctic Survey](#) (BAS) e com novas instituições (por exemplo, o [Institut Polaire Français Paul Emile Victor](#) – IPEV, França).

Interações com Programas e Ações Científicas no País

Esse programa prevê interações com o INCT de Tectônica e os dois INCTs do Mar (por exemplo, com o projeto Gondwana – UFRJ/Petrobras), e a CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Afloramento do membro *Low Head* (Formação *Polonez Cove*), ilha Rei George. As rochas registram a evolução climática da Antártica Ocidental durante o Cenozoico Médio. Fotografia: USP.



Produtos Esperados

- Avanço no conhecimento sobre o papel dos processos geológicos, glaciológicos e climatológicos na evolução da flora e fauna antárticas fósseis e atuais;
- Reconstituição paleo-oceanográfica, inclusive pela análise das águas profundas do Atlântico Sul com origem na Antártica, seu papel na escultura da margem continental da América do Sul e sua evolução climática ao longo do tempo geológico;
- Análise da interação paleoclima-paleocirculação oceânica;
- Esclarecimento de evolução geotectônica da porção austral do Gondwana;
- Análise cinemática da separação da Antártica da América do Sul;
- Integração das investigações geofísicas, geológicas e paleontológicas em estudos sobre o Oceano Austral, visando o entendimento da sua influência pretérita e atual sobre a margem continental e sobre recursos minerais fora da região Antártica, mais especificamente na costa da América do Sul e África;
- Elaboração de um banco de dados geológicos georreferenciados do continente antártico.



Geólogos examinando rochas do complexo metamórfico de Scotia, na ilha Coronation, arquipélago das Orcadas do Sul. A idade do metamorfismo e da deformação está relacionada com os eventos de pré-quebra do Gondwana e soerguimento Andino. Fotografia: Felipe Tavares (CPRM).

Afloramento do complexo metamórfico de Scotia, costa Sul da ilha Coronation, arquipélago das Orcadas do Sul. Fotografia: Luiz Simões (USP).

PROGRAMA 5

Dinâmica da alta atmosfera na Antártica, interações com o geoespaço e conexões com a América do Sul

Objetivo Geral

Investigar a dinâmica e a química da alta atmosfera e o impacto da depleção do ozônio estratosférico no clima antártico, considerando os efeitos da interação Sol-Terra e os impactos de fenômenos astrofísicos de alta energia. Definir o grau de importância desses processos nas alterações climáticas de longo período na Antártica e suas conexões com a América do Sul.

Objetivos Específicos

- Investigar a dinâmica e a química da alta atmosfera da Antártica e o conteúdo de vapor d'água para subsidiar modelos de previsão climática e suas conexões com a América do Sul;
- Investigar o papel da depleção na camada de ozônio no clima da região Antártica e da América do Sul;
- Investigar o acoplamento vertical e troca de energia entre as diferentes camadas atmosféricas para avaliar seu papel na formação da área de depleção ("buraco") na camada de ozônio;
- Investigar a influência das relações Sol-Terra na alta atmosfera antártica e seu papel nas variações climáticas de longo período;
- Realizar observações astronômicas de solo na faixa do espectro eletromagnético entre o ultravioleta próximo e micro-ondas para investigar a matéria escura, exoplanetas e ruído cósmico de fundo;
- Realizar observações na faixa *Terahertz* a partir de observatórios estratosféricos instalados em balões com voos de circum-navegação;
- Monitorar o fluxo de raios cósmicos.

Marcos

- Manter rede de monitoramento da depleção da camada de ozônio desde a região da Antártica até o Sul do Brasil;
- Manter as pesquisas das relações Sol-Terra e seus efeitos na dinâmica e química da alta atmosfera na Península Antártica, e ampliá-las para o interior do continente antártico, com especial interesse na região do oval auroral onde os efeitos dos fenômenos do geoespaço na atmosfera terrestre são mais pronunciados;
- Caracterizar e modelar os efeitos de longo período das interações Sol-Terra na dinâmica da alta atmosfera e na depleção da camada de ozônio.

Conjunto de antenas e laboratório para estudos ionosféricos realizados na península Keller, que operam nas cercanias da Estação Antártica Comandante Ferraz. Fotografia: Emília Correia (INPE/UPM).



Justificativa e Relevância

A Antártica é um lugar privilegiado para se estudar o geoespaço vizinho, dado ser esta a região onde a atmosfera terrestre interage mais diretamente com o vento solar, que consiste de feixes de partículas carregadas (elétrons e íons). As partículas provenientes do Sol, ao interagir com a atmosfera terrestre, emitem luz (auroras) e geram calor e, ao interagirem com o campo magnético, provocam tempestades magnéticas, que podem provocar cortes nas transmissões de rádio em ondas curtas e na comunicação com satélites, bem como flutuações nas redes de transmissão de energia elétrica longas. Para melhor se caracterizar a interação Sol-Terra são necessárias redes de instrumentação de grande extensão espacial, demandando colaborações internacionais envolvendo projetos multi e interdisciplinares. O completo entendimento da física do geoespaço requer também observações coordenadas no Ártico e na Antártica, bem como na América do Sul (onde está localizada a Anomalia Magnética do Atlântico do Sul, hoje sobre o sul do Brasil). Essas observações coordenadas são importantes para se entender os efeitos dos fenômenos que perturbam

localmente e globalmente a atmosfera terrestre. Por outro lado, observações coordenadas das diferentes camadas da atmosfera são necessárias para se entender como se processa o acoplamento vertical e a troca de energia entre elas, cujo conhecimento dará subsídios para o melhor entendimento da dinâmica da camada de ozônio bem como para modelos de previsão de tempo e de clima com maior acurácia.

As condições de céu na Antártica, especialmente na região do platô do manto de gelo, permitem observações a partir do solo com excepcional transparência na faixa do espectro eletromagnético do ultravioleta próximo até a faixa de micro-ondas, portanto é um lugar excelente para se estudar matéria escura e exoplanetas. Além disso, é o lugar mais favorável para a detecção de raios cósmicos, devido à proximidade do polo magnético. Nessa região, mesmo os raios de menor energia penetram até o solo mais facilmente do que nas baixas latitudes. Muitos dos projetos astronômicos de vanguarda estão sendo transferidos para o interior da Antártica devido a esses fatores.

Interações com Programas Científicos Internacionais

Os temas de pesquisa referentes a esse programa estão em sintonia com as seguintes atividades do SCAR: (1) Atmosfera Antártica: estudo da camada de ozônio e ondas atmosféricas (Grupo de Especialistas do SCAR [Interhemispheric Conjugacy Effects in Solar-Terrestrial and Aeronomy Research](#) - ICESTAR), estudos do conteúdo de vapor d'água (Grupo [GNSS Research and Application for Polar Environment](#) - GRAPE/SCAR). Cobertura de nuvens e radiação longa (Grupo de Especialistas do SCAR - *Clouds and Aerosols*). (2) As pesquisas sobre a interação Sol-Terra, especificamente o estudo dos impactos dos fenômenos solares na ionosfera/magnetosfera terrestre

(GRAPE, ICESTAR e programa "[Evolução da Criosfera e Resposta da Terra Sólida](#)" - SERCE/SCAR).

Nas áreas de Astronomia e Astrofísica poderão ser estimuladas as observações feitas com alta sensibilidade, permitindo o estudo de matéria escura, ruído cósmico de fundo, a procura de exoplanetas, e detecção de neutrinos e raios cósmicos seguindo as propostas do programa "[Astronomia e Astrofísica a partir da Antártica](#)" (AAA) do SCAR, além de estudos da radiação solar com telescópios na faixa do *Terahertz* instalados em balões de circum-navegação.

Interações com Programas e Ações no País

Esse programa interage significativamente com os INCTs Antárticos (INCT-Cristofera e INCT-Antártico de Pesquisas Ambientais).

Produtos Esperados



Ionossonda instalada na península Keller, ilha Rei George, nas cercanias da Estação Antártica Comandante Ferraz.

Fotografia: Emília Correia (INPE/UPM).

- Monitoramento e modelagem dos efeitos dos fenômenos do geoespaço na atmosfera terrestre com o objetivo de previsão a curto e médio prazo de perturbações atmosféricas que possam afetar as telecomunicações, medidas de posicionamento com alta precisão (GNSS), e cortes nas redes de transmissão de energia elétrica;
- Monitoramento preventivo da radiação solar e do “buraco de ozônio” antártico decorrentes de mudanças químicas na atmosfera, com vistas à produção de modelagens preventivas sobre impactos socioeconômicos, na saúde pública, na agricultura e no meio ambiente;
- Monitoramento do conteúdo do vapor d’água, um dos gases importantes do efeito estufa na atmosfera terrestre, dando subsídios para avaliar seu papel nas alterações climáticas de longo período.

NOVAS ÁREAS DE INVESTIGAÇÃO

Nos próximos dez anos a ciência antártica avançará rapidamente pelo uso intensivo de novas tecnologias. Esses avanços são exemplificados pelas investigações dos mais de 400 lagos subglaciais; a procura por extremófilos nesses ambientes lacustres e outras partes isoladas do continente; a implantação de uma rede de equipamentos astronômicos no platô antártico e de equipamentos para monitorar a atmosfera em todo o continente antártico. Deve-se atentar também para as

possibilidades de pesquisa nas disciplinas das Ciências Sociais, tais como Arqueologia, Sociologia da Ciência, Geografia Política e Relações Internacionais, que tornaram-se de interesse a partir do Ano Polar Internacional (2007–2009). Investigações sobre vetores de doenças transmissíveis, microbiota antártica patogênica, psicologia de grupos sob condições extremas enfatizam a relevância das investigações na área de Biologia Humana e Medicina Polar.

Assim, recomenda-se que uma parte dos recursos para C&T do PROANTAR seja dedicada a essas novas áreas de conhecimento e a projetos inovadores, eventualmente não previstos neste Plano de Ação.

CONEXÕES COM O ÁRTICO

A comunidade científica antártica tem o interesse em aprofundar sua cooperação com os investigadores da região do Ártico, considerando que evidências das conexões entre as duas regiões polares se acumulam, tais como na circulação oceânica de fundo; nos processos de variabilidade climática e nos efeitos das interações Sol-Terra na atmosfera. Nos últimos anos, esse interesse intensificou-se em face às rápidas mudanças no Ártico, incluindo a abrupta redução da cobertura de gelo marinho. Tais modificações têm implicações globais e oferecem disponibilidade de modelos para processos similares que podem ocorrer na Antártica. Assim, o SCAR tem aumentado a colaboração com o "[Comitê Científico](#)

[Ártico Internacional](#)" (IASC), uma organização não governamental.

As rápidas modificações ambientais no Ártico afetam também a economia mundial, principalmente ao se considerar a abertura de novas rotas marinhas (passagem do nordeste) e o acirramento pela exploração de recursos minerais da região.

Ao considerar essas modificações ambientais e que as decorrentes mudanças políticas terão impacto global, recomenda-se que o Brasil atue como observador no IASC, principalmente nas questões do clima e da exploração geológica.

FORMAÇÃO E ABSORÇÃO DE ESPECIALISTAS ANTÁRTICOS NO SISTEMA NACIONAL DE C&T

No momento, a primeira geração dos pesquisadores brasileiros, especialmente treinados para a ciência antártica, atinge a maturidade e nos próximos dez anos estarão perto da idade de aposentadoria. Algumas das áreas emergentes da ciência polar ainda contam com poucos ou nenhum pesquisador no Brasil (por exemplo, especialistas no modelamento da variação do gelo marinho e seu acoplamento aos modelos do clima do Brasil; invertebrados extremófilos e muitas outras áreas da Biologia Polar). É necessária uma ação

conjunta do CNPq e CAPES para lançamento de edital de bolsas de formação dedicado aos temas polares, ou a inclusão de tais temas em programas já existentes, como o "Ciência Sem Fronteiras", garantindo a continuidade de diversos grupos de pesquisa associados ao PROANTAR e incrementando sua inserção internacional.

Revela-se preocupante a falta de oportunidade para especialistas antárticos nas instituições de ensino e pesquisa no Brasil. Raros são os recém-doutores em

temas antárticos que puderam dar continuidade plena às suas pesquisas. Portanto, é também importante uma ação no Ministério da Educação (MEC) para incentivar as Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) a realizarem concursos para professores em temas antárticos.

Os proponentes deste Plano ressaltam que o investimento nessas duas ações, que contemplam a formação de pessoal e abertura de concursos, é baixo. A alocação de bolsas de formação e de vagas em concursos para professores doutores específicas para o tema antártico, dentro do período deste plano de ação, já se revelaria de expressivo valor para a continuidade das pesquisas do PROANTAR.

EDUCAÇÃO, DIVULGAÇÃO E INSERÇÃO SOCIAL DO CONHECIMENTO

É essencial aumentar a visibilidade da parte científica do PROANTAR na sociedade brasileira como na comunidade científica internacional. Em especial, fortalecer a presença e relevância dos temas antárticos nos órgãos governamentais que fomentam a pesquisa, além das sociedades científicas. De fato, ao fazer trinta anos, o programa ainda carece de ações de divulgação das atividades e avanços científicos. Nesse sentido, a elaboração de um plano integrado de comunicação social (empregando as diversas plataformas, mídias e redes sociais), dirigido tanto para o público interno como para o público externo, é essencial para consolidar a visibilidade da produção científica promovida pelo PROANTAR.

Evidentemente, para o aumento da visibilidade perante a comunidade científica, é fundamental que seja estimulado o aumento das publicações de resultados das pesquisas antárticas em periódicos internacionais, com índices de alto impacto. Sobre esse ponto, as agências de fomento devem dar mais peso à produção científica antártica de alto impacto dos proponentes de novos projetos. Os editais para novos projetos do PROANTAR devem ter a maior divulgação possível entre as sociedades científicas nacionais, garantindo maior transparência e oportunidade

para o envolvimento de novos pesquisadores e grupos de pesquisa. Esses novos projetos deverão ter ações de educação e popularização da ciência associados, incluindo, por exemplo, divulgação na mídia eletrônica, redes sociais e projetos de educação a distância para o ensino de nível médio e superior.

Todas as ações listadas serão mais efetivas se vinculadas a associações científicas nacionais como a [Academia Brasileira de Ciências](#) (ABC), [Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência](#) (SBPC) e com a [Associação de Pesquisadores e Educadores em Início de Carreira sobre o Mar e os Polos](#) - APECS - Brasil.

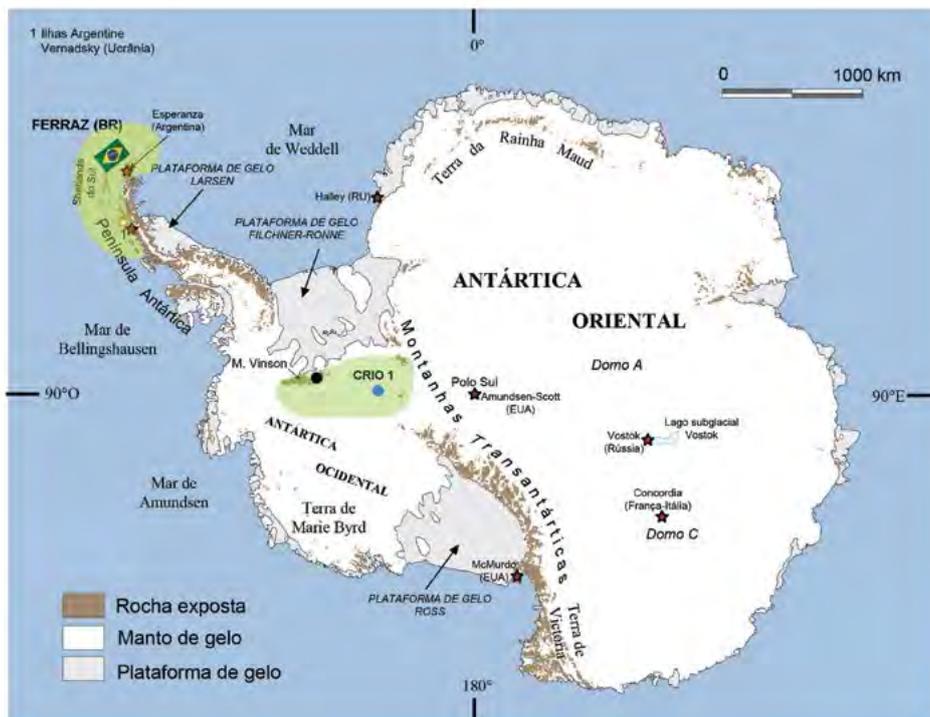
O continente antártico e o Brasil na mesma escala geográfica. Fonte: Centro Polar e Climático (UFRGS).



LISTA DE SIGLAS

AAA	Astronomia e Astrofísica a partir da Antártica (<i>Astronomy and Astrophysics from Antarctic</i> /SCAR)
ANt-ERA	Limiares Antárticos – Resiliência e Adaptações dos Ecossistemas (<i>Antarctic Thresholds – Ecosystem Resilience and Adaptation</i>)/SCAR
ANTABIF	Banco de Dados Internacional de Biodiversidade Antártica (<i>Antarctic Biodiversity Information Facility</i>)
AntClim ²¹	Mudanças Climáticas Antárticas no Século XXI (<i>Antarctic Climate Change in the 21st Century</i>)/SCAR
AntEco	Estado do Ecossistema Antártico (<i>State of the Antarctic Ecosystem</i>)/SCAR
ANTPAS	Permafrost Antártico e Subantártico, Solos e Ambientes Periglaciais (<i>Antarctic and Sub-Antarctic Permafrost, Soils and Periglacial Environments</i>)/SCAR
APECS - Brasil	Associação de Pesquisadores e Educadores em Início de Carreira sobre o Mar e os Polos - APECS - Brasil (Association of Polar Early Career Scientists - comitê nacional)
CENPES	Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello, Petrobras
CLIVAR	Variabilidade e Previsibilidade do Clima/ Programa de Investigação do Clima Mundial (<i>Climate Variability and Predictability/World Climate Research Programme</i>)
CPR	Registro Contínuo de Plâncton (<i>Southern Ocean Continuous Plankton Record</i>)/SCAR
EGBAMM	Grupo de Especialistas de Mamíferos e Aves Marinhas (<i>Expert Group on Birds and Marine Mammals</i>)/SCAR
FURG	Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite (<i>Global Navigation Satellite System</i>)
GRAPE	Pesquisa sobre o Sistema Global de Navegação por Satélite e Aplicações para o Ambiente Polar (<i>Global Navigation Satellite Systems Research and Application for Polar Environment</i>)/SCAR
IASC	Comitê Científico Ártico Internacional (<i>International Arctic Science Committee</i>)
ICESTAR	Efeitos Conjugados Inter-hemisféricos em Pesquisas Sol-Terra e Aeronomia (<i>Interemispheric Conjugacy Effects in Solar-Terrestrial and Aeronomy Research</i>)/SCAR
IFES	Instituições Federais de Ensino Superior
INCTs	Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPICS	Parceria Internacional para a Ciência de Testemunhos de Gelo (<i>International Partnership on Ice Core Sciences</i> do PAGES-IGBP)
PAIS	Dinâmica do Manto de Gelo Antártico no Passado (<i>Past Antarctic Ice Sheet Dynamics</i>)/SCAR
SCADM	Comitê Permanente de Gestão de Dados Antárticos (<i>Standing Committee on Antarctic Data Management</i>)/SCAR
SCAGI	Comitê Permanente sobre Informação Geográfica Antártica (<i>Standing Committee on Antarctic Geographic Information</i>)/SCAR
SCAR	Comitê Científico sobre Pesquisa Antártica (<i>Scientific Committee on Antarctic Research</i>) do Conselho Internacional para Ciências (ICSU)
SCOR	Comitê Científico sobre Pesquisa Oceânica (<i>Scientific Committee on Oceanic Research</i> /ICSU)
SERCE	Evolução da Criosfera e Resposta da Terra Sólida (<i>Solid Earth Response and Cryosphere Evolution</i>)/SCAR
SOOS	Sistema de Observação do Oceano Austral (<i>Southern Ocean Observing System</i>)
STA	Sistema do Tratado da Antártica
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UPM	Universidade Presbiteriana Mackenzie
USP	Universidade de São Paulo

MAPA DA ÁREA GEOGRÁFICA DE ATUAÇÃO DO PROGRAMA ANTÁRTICO BRASILEIRO



Mapa da Antártica:

Área de atuação do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) na Antártica Marítima (em amarelo). O local da Estação Antártica Comandante Ferraz (62°05'S, 58°24'W) é identificado com uma bandeira sobre a ilha Rei George. Esta proposta inclui também a manutenção das pesquisas geocientíficas brasileiras realizadas no interior do manto de gelo antártico (área marcada em verde) a partir de pista de pouso na geleira Union (marcada com ponto preto) e incluindo apoio ao módulo Criosfera 1 (Crio 1, ponto azul; 84°00'S, 79°30'W). Fonte: Centro Polar e Climático (UFRGS).



Módulos Antárticos Emergenciais (MAEs) da Estação Antártica Comandante Ferraz, baía do Almirantado, ilha Rei George, instalados no verão de 2012/2013. Fonte: SECIRM.

Contracapa: Acampamento científico no interior do manto de gelo antártico (79°S). Fotografia: Jefferson C. Simões (UFRGS).

Verso da Contracapa: Visão em 3D da nova Estação Antártica Comandante Ferraz a ser construída na baía do Almirantado, ilha Rei George. Fonte: Estúdio 41 Arquitetura.









Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**