



MCTIC

**Plano de Ação em Ciência,
Tecnologia e Inovação para
Antártica**



Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica

© Ministério da Ciência, Tecnologia,
Inovações e Comunicações (MCTIC)

© Centro de Gestão e Estudos
Estratégicos (CGEE)

*Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência,
Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)*

Presidente da República

Michel Temer

**Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia,
Inovações e Comunicações**

Gilberto Kassab

Secretário-executivo

Elton Santa Fé Zacarias

**Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa
e Desenvolvimento**

Alvaro Toubes Prata

**Secretário de Desenvolvimento Tecnológico e
Inovação**

Maximiliano Salvadori Martinhão

Secretário de Políticas Digitais

Thiago Camargo Lopes

Secretário de Telecomunicações

André Muller Borges

Secretário de Radiodifusão

Moisés Queiroz Moreira

Diretor de Políticas e Programas de Ciências

Sávio Tullio Oseleri Raeder

**Coordenador-Geral de Oceanos, Antártica e
Geociências**

Andrei Polejack

Presidente

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Joaquim Aparecido Machado

Regina Maria Silvério

Diagramação / *Eduardo Oliveira*

Capa / *Diogo Rodrigues*

Projeto gráfico / *Núcleo de design gráfico do CGEE*

Foto da Capa / *Unsplash*

Catlogação na fonte

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica. Brasília,
DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018.

28 p.; il.

ISBN 978-85-5569-155-3 (impresso)

ISBN 978-85-5569-156-0 (eletrônico)

1. CT&I. 2. Geociências. 3. Ecossistemas Antárticos. 4. Mudanças Climáti-
cas. 5. Oceano Austral. 6. Geodinâmica. I. Título. II. CGEE. III. MCTIC.



O CGEE, consciente das questões ambientais e sociais, utiliza papéis com certificação (Forest Stewardship Council®) na impressão deste material. A certificação FSC® garante que a matéria-prima é proveniente de florestas manejadas de forma ecologicamente correta, socialmente justa e economicamente viável, e outras fontes controladas. Impresso na Gráfica Coronário - Certificada na Cadeia de Custódia - FSC

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica

Colaboradores do Plano

Coordenação-Geral de Oceanos, Antártica e Geociências – CGOA/MCTIC

Andrei Polejack

Andrea Cancela da Cruz-Kaled

Siddhartha Georges V. A. De O. Costa

Felipe Morais Santos

Iran Cardoso Júnior

Leia Garcia Ribeiro

Colaboradores Externos – Grupo Antártica para o Brasil

Jefferson C. Simões (UFRGS)

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)

Vivian Helena Pelizzari (USP)

Yocie Yoneshigue Valentin (UFRJ)

Sumário

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica

Apresentação	9
Objetivo	10
Justificativa	10
Diretrizes gerais	11
Linhas temáticas	12
Linha temática 1. <i>O papel da criosfera no sistema terrestre e as interações com a América do Sul</i>	13
Objetivo	13
Contextualização e justificativa	13
Estratégia de implementação	14
Atividades	14
Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	15
Estimativa de recursos	15
Linha temática 2. <i>Biocomplexidade dos ecossistemas antárticos, suas conexões com a América do Sul e as mudanças climáticas</i>	16
Objetivo	16
Contextualização e justificativa	16
Estratégia de implementação	16
Atividades	17
Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	17
Estimativa de recursos	18

Linha temática 3. <i>Mudanças Climáticas e o Oceano Austral</i>	19
Objetivo	19
Contextualização e justificativa	19
Estratégia de implementação	20
Atividades	20
Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	21
Estimativa de recursos	21
Linha temática 4. <i>Geodinâmica e história geológica da Antártica e suas relações com a América do Sul</i>	22
Objetivo	22
Contextualização e justificativa	22
Estratégia de implementação	23
Atividades	23
Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	24
Estimativa de recursos	24
Linha temática 5. <i>Dinâmica de alta atmosfera na Antártica, interações com o geoespaço e suas conexões com a América do Sul</i>	25
Objetivo/linha temática	25
Contextualização e justificativa	25
Estratégia de implementação	26
Atividades	26
Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	27
Estimativa de recursos	27
Novas áreas de investigação	27
Estimativa de recursos	28

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica

Apresentação

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 a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI), vigente até 2022, prevê a “Implementação e Fomento do Plano de Ação da Ciência Antártica para o Brasil – 2013-2022” que implica ampliação de pesquisas de excelência internacional sobre a região Antártica e a área adjacente, por meio do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

Visando garantir a execução dos compromissos firmados pelo Brasil em nível nacional e internacional, o Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CONAPA) foi incumbido de elaborar o referido Plano de Ação. O CONAPA é órgão consultivo do MCTIC, composto por representantes de Governo e Academia, e que tem por mandato elaborar e acompanhar um Programa para Antártica vinculado à ENCTI.

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 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 Brasil 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 (INCTs) 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 MCTIC no âmbito do PROANTAR.

Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Antártica

Objetivo

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.

Justificativa

Ao comemorar trinta e seis 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 nas 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.

Diretrizes gerais

As regiões polares são tão importantes quanto os trópicos no sistema ambiental global. A região Antártica, devido à presença de 90% do volume 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 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) 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).

Resumidamente, devido à proximidade geográfica e às 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.

Este documento propõe a criação de “cinco linhas temáticas de pesquisa científica” que exploram conexões entre o ambiente antártico e sul-americano, com ênfase nos processos que afetam particularmente o Brasil. Tais linhas buscam também aumentar o protagonismo brasileiro no Sistema do Tratado Antártico, em particular no Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), órgão interdisciplinar do ICSU (Conselho Internacional para a Ciência), que tem a responsabilidade de promover, desenvolver e coordenar a investigação científica na Antártica e prestar aconselhamento científico independente.

Linhas temáticas

1. O papel da criosfera no sistema terrestre e as interações com a América do Sul.
2. Biocomplexidade dos ecossistemas antárticos, suas conexões com a América do Sul e as mudanças climáticas.
3. Mudanças Climáticas e o Oceano Austral.
4. Geodinâmica e história geológica da Antártica e suas relações com a América do Sul.
5. Dinâmica de alta atmosfera na Antártica, interações com o geoespaço e conexões com a América do Sul.

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) necessidade de formação de especialistas antárticos e posterior absorção no sistema de ensino e pesquisa do País; (4) divulgação e inserção social do conhecimento gerado pela pesquisa antártica brasileira.

Linha temática 1. *O papel da criosfera no sistema terrestre e as interações com a América do Sul*

Objetivo

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.

Contextualização e justificativa

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 compreensão da evolução, das variações e para a elaboração cenários de mudanças climáticas no Hemisfério Sul, com ênfase para o Brasil.

Estratégia de implementação

Entre as estratégias de implementação elencadas para esta linha temática estão:

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

Atividades

i. 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.

ii. 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.

iii. Determinação da dispersão e trajetória de poluentes entre a América do Sul e o interior da Antártica, em particular dos subprodutos de queimadas.

iv. 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.

- v. Montagem de cenários sobre o impacto do derretimento parcial da criosfera na costa brasileira.
- vi. 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.

Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Metas 14.1; 14.2;14.4; 14.a; e 14.C

Estimativa de recursos

Origem	Recursos (R\$ milhões)					Total
	2018	2019	2020	2021	2022	
MCTIC	0,160	0,116	0,144			0,420
CNPq	0,072	0,072	0,072			0,216
FNDCT	0,160	0,430	0,430			1,020
Emendas	0,130					0,130
CAPES		0,205	0,205	0,205	0,205	0,820
Total	0,522	0,823	0,851	0,205	0,205	2,606

Linha temática 2. *Biocomplexidade dos ecossistemas antárticos, suas conexões com a América do Sul e as mudanças climáticas*

Objetivo

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.

Contextualização e justificativa

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.

Estratégia de implementação

Entre as estratégias de implementação elencadas para esta linha temática estão:

- 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); e
- compreensão do papel das mudanças ambientais no funcionamento e serviços dos ecossistemas antárticos.

Atividades

i. Plano de manejo e conservação da biodiversidade antártica na área de atuação geográfica do PROANTAR.

ii. Revisão e síntese sobre a biodiversidade antártica que identifiquem o estado atual de conhecimento e apontem as prioridades de pesquisas futuras.

iii. Elaboração de volumes de síntese de conhecimento de biodiversidade antártica e dos impactos ambientais decorrentes das mudanças climáticas pretéritas e futuras.

iv. 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.

v. 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.

vi. Banco de dados do programa de biodiversidade do PROANTAR, por meio de uma colaboração com Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), interagindo com o “Banco de Dados Internacional de Biodiversidade Antártica” (ANTABIF).

vii. Desenvolvimento de modelos ecológicos para gestão ambiental das regiões antárticas e subantárticas para posterior comparação com outras regiões da América do Sul.

Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Metas: 14.1; 14.2; 14.4; 14.5; 14.C.

Estimativa de recursos

Origem	Recursos (R\$ milhões)					Total
	2018	2019	2020	2021	2022	
MCTIC	0,240	0,174	0,216			0,630
CNPq	0,108	0,108	0,108			0,324
FNDCT	0,240	0,645	0,645			1,530
Emendas	0,195					0,195
CAPES		0,3075	0,3075	0,3075	0,3075	1,230
Total	0,783	1,2345	1,2765	0,3075	0,3075	3,909

Linha temática 3. *Mudanças Climáticas e o Oceano Austral*

Objetivo

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 oceano adjacente do Brasil.

Contextualização e justificativa

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, a salinidade das 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, 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 de CO₂ pelos oceanos está acidificando suas águas e conseqüentemente diminuindo a disponibilidade de carbonato de cálcio por grande parte dos organismos. As quantidades reais 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.

Estratégia de implementação

Entre as estratégias de implementação elencadas para esta linha temática estão:

- 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;
- incentivo ao desenvolvimento e à 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, entre outras).

Atividades

i. 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.

i. Quantificação da variabilidade das propriedades oceanográficas do Mar de Weddell, plataforma continental ocidental da Península Antártica e estreito de Bransfield.

ii. 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.

- iii. Validação de modelos climáticos acoplado para a região antártica no século XX.
- iv. Análise de projeções climáticas e impactos da Antártica na região do Atlântico Sul.

Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos

Meta: 13.2.

ODS 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

Metas: 14.1; 14.3; 14.5; 14.a; 14.C.

Estimativa de recursos

Origem	Recursos (R\$ milhões)					Total
	2018	2019	2020	2021	2022	
MCTIC	0,240	0,174	0,216			0,630
CNPq	0,108	0,108	0,108			0,324
FNDCT	0,240	0,645	0,645			1,530
Emendas	0,195					0,195
CAPES		0,3075	0,3075	0,3075	0,3075	1,230
Total	0,783	1,2345	1,2765	0,3075	0,3075	3,909

Linha temática 4. *Geodinâmica e história geológica da Antártica e suas relações com a América do Sul*

Objetivo

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.

Contextualização e justificativa

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 Cenozóico. 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 entendidos. 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 paleozóicas e mesoceno-zóicas 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 se entender as ligações pretéritas com a América do Sul.

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 nesta 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 (Cenozóico). Assim, entender o papel da Antártica na evolução desses depósitos sedimentares na costa brasileira tem também importância econômica, ademais de científica.

Estratégia de implementação

Entre as estratégias de implementação elencadas para esta linha temática estão:

- 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.

Atividades

i. Avanço no conhecimento sobre o papel dos processos geológicos, glaciológicos e climatológicos na evolução da flora e fauna antárticas fósseis e atuais.

ii. 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.

iii. Análise da interação paleoclima-paleocirculação oceânica.

iv. Esclarecimento de evolução geotectônica da porção austral do Gondwana.

v. Análise cinemática da separação da Antártica da América do Sul.

vi. Integração das investigações geofísicas, geológicas e paleontológicas em estudos sobre o

Oceano Austral, visando ao 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.

vii. Elaboração de um banco de dados geológicos georreferenciados do continente antártico.

Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Metas 14.2; 14.4; 14.5; 14.a; 14.c.

Estimativa de recursos

Origem	Recursos (R\$ milhões)					Total
	2018	2019	2020	2021	2022	
MCTIC	0,160	0,116	0,144			0,420
CNPq	0,072	0,072	0,072			0,216
FNDCT	0,160	0,430	0,430			1,02
Emendas	0,130					0,130
CAPES		0,205	0,205	0,205	0,205	0,820
Total	0,522	0,823	0,851	0,205	0,205	2,606

Linha temática 5. Dinâmica de alta atmosfera na Antártica, interações com o geoespaço e suas conexões com a América do Sul

Objetivo/linha temática

Investigar a dinâmica e 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.

Contextualização e justificativa

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.

Estratégia de implementação

Entre as estratégias de implementação elencadas para esta linha temática estão:

- manutenção da rede de monitoramento da depleção da camada de ozônio desde a região da Antártica até o Sul do Brasil;
- manutenção das pesquisas das relações Sol–Terra e seus efeitos na dinâmica e química da alta atmosfera na Península Antártica, e ampliação 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;
- caracterização e modelagem dos efeitos de longo período das interações Sol–Terra na dinâmica da alta atmosfera e na depleção da camada de ozônio.

Atividades

i. Monitoramento e modelagens 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.

ii. 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.

iii. 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.

Aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

Metas 14.1; 14.2; 14.5; 14.a.

Estimativa de recursos

Origem	Recursos (R\$ milhões)					Total
	2018	2019	2020	2021	2022	
MCTIC	0,160	0,116	0,144			0,420
CNPq	0,072	0,072	0,072			0,216
FNDCT	0,160	0,430	0,430			1,020
Emendas	0,130					0,130
CAPES		0,205	0,205	0,205	0,205	0,820
Total	0,522	0,823	0,851	0,205	0,205	2,606

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; procura por extremófilos nesses ambientes lacustres e outras partes isoladas do continente; 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 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 sejam dedicados a essas novas áreas de conhecimento e a projetos inovadores, eventualmente não previstos neste Plano de Ação.

Estimativa de recursos

Origem	Recursos (R\$ milhões)					Total
	2018	2019	2020	2021	2022	
MCTIC	0,140	0,104	0,136			0,380
CNPq	0,068	0,068	0,068			0,204
FNDCT	0,140	0,420	0,420			0,980
Emendas	0,120					0,120
CAPES		0,201	0,201	0,201	0,201	0,804
Total	0,468	0,793	0,825	0,201	0,201	2,488

OBJETIVOS GLOBAIS

para o Desenvolvimento Sustentável





Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

ISBN 978-85-5569-155-3 (impresso)
ISBN 978-85-5569-156-0 (eletrônico)

MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

