

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CC Daniel Peixoto de Carvalho

A GEOPOLÍTICA BRASILEIRA PARA A ANTÁRTICA: A IMPORTÂNCIA  
DA METEOROLOGIA ANTÁRTICA PARA A SEGURANÇA DO BRASIL.

Rio de Janeiro

2017

CC Daniel Peixoto de Carvalho

A GEOPOLÍTICA BRASILEIRA PARA A ANTÁRTICA: A IMPORTÂNCIA  
DA METEOROLOGIA ANTÁRTICA PARA A SEGURANÇA DO BRASIL.

Monografia apresentada à Escola de Guerra  
Naval, como requisito parcial para a  
conclusão do Curso Superior.

Orientador: CMG (RM1) Leonardo Faria de  
Mattos

Rio de Janeiro  
Escola de Guerra Naval

2017

## **AGRADECIMENTOS**

É com grata satisfação que transmito meus sinceros agradecimentos ao CMG (RM1) Leonardo Mattos, meu orientador durante a pesquisa dessa monografia. Entusiasta da presença brasileira na Antártica, angariou meu respeito pela propriedade de suas colocações. Ademais, suas observações se mostraram úteis em todas as oportunidades.

Ao Diretor do CHM, CMG Augusto, agradeço a confiança de que eu poderia iniciar o curso à distância enquanto ainda seguia a bordo do NApOc Ary Rongel na Antártica. Aos meus chefes diretos, CF Reinert e CF Diogo Silva, agradeço a compreensão que me permitiu conciliar adequadamente as fainas de bordo e a pesquisa em lide.

A todos os instrutores do C-Sup, registro meus agradecimentos pelo tempo dispensado em prol de fazer-nos Oficiais Superiores mais bem preparados. Em especial, agradeço à CMG (RM1-T) Cláudia e à CMG (RM1-T) Chiara, pelo vigilante apoio diretamente relacionado com a condução da pesquisa.

Aos meus colegas do C-Sup/2017 que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso dessa empreitada, agradeço a amizade e o convívio constante, ainda que por vezes fisicamente distante.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha esposa Fernanda e ao meu filho Arthur por entenderem a minha vontade de que essa monografia seja útil ao conhecimento humano abdicando da minha presença em diversas ocasiões.

## RESUMO

O texto da Política Nacional de Defesa (PND), editada em 2012, inclui a Antártica no entorno estratégico do Brasil, mas não especifica os motivos que levaram o país a fazê-lo. Esse posicionamento precisa ser claramente entendido pela Sociedade brasileira e pela comunidade internacional. Estabelecer ligações entre a Meteorologia Antártica e a segurança do Brasil contribui para o desenvolvimento das razões que levaram à inclusão da Antártica no entorno estratégico. Intuitivamente, se infere que existam tais ligações pela proximidade brasileira com o continente austral e pelos fenômenos meteorológicos que ocorrem durante a passagem de massas de ar polar pelo país e que causam prejuízos frequentemente divulgados. Esses prejuízos ameaçam a segurança do Brasil em pelo menos dois campos definidos na PND: o econômico e o ambiental. Com base nessa observação, se procedeu ampla pesquisa bibliográfica e entrevistas com personalidades experientes em Meteorologia Antártica e influentes na Geopolítica brasileira e global para Antártica. A pesquisa começou pela verificação das preocupações que levaram os brasileiros a se importarem com a Antártica a fim de levantar quais estavam ligadas à Meteorologia. A exploração dos recursos naturais e as demandas territorialistas na região antártica foram preocupações primordiais para o Brasil lançar-se ao sexto continente, mas estão fora da pauta desde a década de 1990. Examinou-se assim as dimensões ambiental e científica proeminentes na atualidade. A pesquisa antártica é estruturada pelo governo brasileiro nessas duas dimensões por meio do Plano de Ação 2013-2022: Ciência Antártica para o Brasil. Os programas temáticos do plano de ação nortearam a escolha dos aspectos que sofrem influências das condições meteorológicas antárticas, quais sejam a pesca, a defesa civil, o agronegócio e a Amazônia. As influências nesses aspectos se dividem entre os campos econômico e ambiental, ocorrem tanto na região costeira, quanto no interior do país, e são categorizados de acordo com os prejuízos provocados e com as influências nas médias climáticas brasileiras hoje existentes ou que possam vir a estabelecer no longo prazo. A pesquisa mostrou que a abrangência mais ampla do conceito de segurança estabelecida na PND de 2012 se mostrou particularmente adequada ao continente austral porque as dimensões ambiental e científica dos assuntos antárticos podem ser consideradas mais relevantes atualmente que a dimensão econômico-territorial, ainda que não se possa considerar que estas estejam definitivamente superadas. A Meteorologia Antártica é especialmente importante nesse contexto porque apresenta influências importantes em aspectos do ambiente brasileiro que justificam plenamente a inclusão da Antártica no entorno estratégico do Brasil.

Palavras-chave: Geopolítica Antártica. Meteorologia Antártica. Entorno Estratégico.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGI -	Ano Geofísico Internacional
ATCM -	<i>Antartic Treaty Consultative Meeting</i> (Encontro das Partes Consultivas do Tratado Antártico)
CAPES -	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCAS -	<i>Convention for the Conservation of Antarctic Seals</i> (Convenção para a Conservação das Focas Antárticas)
CCAMLR -	<i>Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources</i> (Convenção para a Conservação dos Recursos Marinhos Vivos da Antártica)
CRAMRA -	<i>Convention on the Regulation of Antarctic Mineral Resource Activities</i> (Convenção para Regulação de Atividades sobre Recursos Minerais Antárticos)
CHM -	Centro de Hidrografia da Marinha
CNPq -	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPC -	<i>Climate Prediction Center</i> (Centro de Previsão do Clima)
EACF -	Estação Antártica Comandante Ferraz
END -	Estratégia Nacional de Defesa
IPCC -	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
LBDN -	Livro Branco de Defesa Nacional
MCTIC -	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MAPA -	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MB -	Marinha do Brasil
ONG -	Organização Não-Governamental
OPERANTAR -	Operação Antártica
PND -	Política Nacional de Defesa
POLANTAR -	Política Nacional para Assuntos Antárticos
PROANTAR -	Programa Antártico Brasileiro
SCAR -	<i>Scientific Committee on Antarctic Research</i> (Comitê Científico em Pesquisa Antártica)
SMM -	Serviço Meteorológico Marinho

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 GEOPOLÍTICA BRASILEIRA PARA A ANTÁRTICA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Raízes da presença científica brasileira na Antártica .....	9
2.2 A possibilidade de aproveitamento de recursos naturais.....	11
2.3 Razões para a pesquisa antártica pelo Brasil .....	13
<b>3 A METEOROLOGIA ANTÁRTICA E A SEGURANÇA DO BRASIL .....</b>	<b>16</b>
3.1 Aspectos da segurança do Brasil influenciados pela Meteorologia Antártica.....	16
3.2 Influências da Meteorologia Antártica no campo econômico .....	18
3.3 Influências da Meteorologia Antártica no campo ambiental.....	21
<b>4 EVENTOS METEOROLÓGICOS RECENTES .....</b>	<b>24</b>
4.1 Ocorrência de geadas e sistemas frontais de origem polar .....	25
4.2 Variação da extensão do gelo marinho antártico.....	26
4.3 Impactos na produtividade pesqueira e seca na Amazônia .....	27
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>37</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Defesa (PND) é o documento condicionante de mais alto nível do planejamento de ações destinadas à defesa nacional, fixa seus objetivos e orienta o Estado sobre o que fazer para alcançá-los, conforme a apresentação da sua versão mais atualizada<sup>1</sup> (BRASIL, 2012c, p. 1). Nessa versão, a Antártica foi incluída no entorno estratégico do Brasil<sup>2</sup>, o qual é considerado por Fiori (2013, p. 32) como a “região onde o Brasil quer irradiar – preferencialmente – sua influência e sua liderança diplomática, econômica e militar”. Desde maio de 2017, estão disponíveis para consulta pública as atualizações da PND e dos dois outros Documentos Estratégicos de Defesa, quais sejam a Estratégia Nacional de Defesa (END) e o Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN), que estão em apreciação no Congresso Nacional<sup>3</sup>; o continente gelado permanece no entorno estratégico do Brasil nessas minutas.

Talvez por ser um documento de alto nível, não foram desenvolvidas na PND nem as razões que levaram à inclusão da Antártica no entorno estratégico, nem o que deve ser feito em sua decorrência. Mattos (2014, p.181) julga que seria necessário constar nas próximas versões da PND o que levou o país a incluir a Antártica em seu entorno estratégico de forma expressa, para que não restem dúvidas na comunidade internacional. A ausência das razões e consequências da inclusão da Antártica no entorno estratégico na PND precisa ser preenchida. Infere-se, salvo melhor juízo, que uma boa oportunidade pode estar próxima porque houve sua manutenção na versão preliminar de 2017.

Com vistas a contribuir para o desenvolvimento das razões que levaram à inclusão da Antártica no entorno estratégico e o que deve ser feito em sua decorrência, sugere-se estabelecer ligações entre a Meteorologia Antártica e a segurança do Brasil. A PND de 2012 ampliou o conceito de segurança, que era ligada à confrontação entre nações, passando a abranger os campos político, militar, econômico, psicossocial, ambiental e científico-tecnológico, entre outros (BRASIL, 2012c, p. 1 e 2). Esta ampliação do entendimento do conceito permite admitir que as influências da Meteorologia Antártica no ambiente brasileiro, que foram divididas neste trabalho entre os campos econômico e ambiental, podem influenciar, em última análise, a segurança do país, por definição na própria PND. Essa

---

<sup>1</sup> Considera-se que a PND em vigor foi atualizada em 2012, porém foi aprovada pelo Congresso Nacional em 2013. Foi chamada de Política de Defesa Nacional (PDN) nas versões original de 1996 e atualizada em 2005.

<sup>2</sup> A PDN de 2005 introduziu o termo “entorno estratégico” inexistente na PDN de 1996, mas a Antártica não foi explicitamente citada no entorno estratégico do Brasil naquela.

<sup>3</sup> A PND de 2012 será a referência neste trabalho por ser a versão em vigor, salvo se indicado diversamente.

divisão foi escolhida com base na mudança de postura das nações a partir de 1990, segundo Duhá (2014, p. 33), que fez a balança geopolítica global, no que concerne à Antártica, pender a favor das dimensões ambiental e científica em detrimento da dimensão econômico-territorial, ponto semelhantemente apontado por Ferreira (2009, p. 136).

A presente monografia foi desenvolvida utilizando-se as seguintes ferramentas metodológicas: pesquisa bibliográfica em publicações editadas no Brasil e no exterior, existentes em bibliotecas ou disponíveis na internet; pesquisa documental de relatórios ou outros documentos ostensivos; e entrevistas de profissionais com interesse na Geopolítica brasileira para a Antártica e com conhecimento e experiência sobre Meteorologia Antártica. Seguem-se mais quatro capítulos a esta introdução. O capítulo 2 revisa as raízes da presença brasileira no continente austral, analisa as diferentes preocupações nacionais que podem embasar a inclusão da Antártica no entorno estratégico do Brasil e explica a condução da pesquisa na região. O capítulo 3 analisa quatro aspectos da segurança do Brasil nos campos econômico e ambiental que podem ser influenciados por fenômenos meteorológicos que ocorrem ou são originados na Antártica. O capítulo 4 destaca alguns eventos meteorológicos recentes com correlação positiva entre a região Antártica e o Brasil e que influenciam a segurança do país, a fim de dar maior confiança de que os aspectos elencados são realmente relevantes. No último capítulo, dentro do contexto apresentado, espera-se adquirir uma sustentação na argumentação conclusiva de que a inclusão da Antártica no entorno estratégico na PND de 2012 pode ser justificada por meio das influências da Meteorologia Antártica na segurança do Brasil, revelando assim sua importância.

## **2 GEOPOLÍTICA BRASILEIRA PARA A ANTÁRTICA**

Como visto na introdução, o entendimento das razões e consequências da inclusão da Antártica no entorno estratégico do Brasil em 2012 pode receber uma contribuição pela compreensão das influências do continente austral no território e águas brasileiros. Uma vez que ausentes de forma explícita na PND, pode ser assumido que o entendimento desses fatores foi delegado pelos legisladores aos documentos decorrentes da PND nas esferas dos escalões subordinados. Na END de 2012 há apenas uma única referência direta relacionada à participação brasileira nas decisões sobre o futuro da Antártica (BRASIL, 2012a, p. 37). Por seu turno, o LBDN de 2012 dá maior relevância estratégica à área marítima do sexto continente, e indica que

parte significativa da costa brasileira é atingida pelos ventos da região antártica, e as correntes marinhas trazem recursos vivos, nutrientes e oxigênio para o litoral do Brasil, fatos que influenciam diretamente a costa de sua região Sul. Grande parte do pescado disponível no litoral brasileiro sofre influência das massas de água provenientes do oceano austral (BRASIL, 2012b, p. 44).

Essa passagem no LBDN de 2012 motivou o entendimento da preocupação com a influência climática do continente austral no território e águas brasileiros na segurança do país. É importante notar que dois impactos distintos são mencionados: no regime de ventos – que influencia o tempo e o clima brasileiros com desdobramentos no agronegócio e na defesa civil – e na pesca. Mattos (2014, p. 185) considera que esses impactos decorrentes da Meteorologia Antártica fazem o aspecto ambiental ser mais relevante que o estratégico-militar atualmente. O entendimento desses impactos também foi um dos dois interesses elencados por Ferreira (2009, p. 136) que levaram o Brasil a iniciar sua presença científica na Antártica nos anos 1980, cujas raízes serão rememoradas no item 2.1. Aliás, esse é o único interesse que ainda se justifica atualmente e, ao menos, até 2048. Isto porque o outro interesse registrado por Ferreira foi a possibilidade de aproveitamento de recursos naturais antárticos pelo Brasil, mas que não parece a Mattos (2014, p. 185) que o Brasil dele necessitará em um horizonte próximo, dado o montante disponível no próprio território. Será feito no item 2.2 apenas um breve comentário do *status quo* internacional a que o Brasil deve manter-se atento sobre o aproveitamento futuro de recursos minerais. Portanto, o primeiro interesse será desenvolvido no item 2.3 por ir de encontro à compreensão da influência climática do continente austral no território e águas brasileiros, que é a preocupação do Poder Político externada no LBDN de 2012.

## 2.1 Raízes da presença científica brasileira na Antártica

Tudo o que o Brasil fez até hoje para entender a Meteorologia Antártica teve suas origens nos idos da década de 1950. Os esforços anteriores a este período foram incipientes como nos mostra Ferreira (2009, p. 115) e Mattos (2015, p. 105). Entretanto, ressalta-se dois pontos nestes primórdios. Primeiro, a viagem da Corveta Parnaíba em 1882 à região do Estreito de Magalhães para estudar a passagem do planeta Vênus pelo disco solar, por iniciativa do imperador D. Pedro II<sup>4</sup>. Essa foi a única expedição científica do Brasil a qualquer parte próxima à Antártica ou mesmo ao Cone Sul das Américas até a partida da primeira Operação Antártica (OPERANTAR) em dezembro de 1982, segundo Coelho (1983, p. 292).

---

<sup>4</sup> Segundo Filgueiras (1988, p. 210), D. Pedro II “personificava sozinho o papel que hoje compete a agências como a CAPES e o CNPq num país em que o ambiente cultural era decididamente acientífico”, dado seu reconhecido interesse nas ciências.

Segundo, o Brasil desperdiçou a chance de ir mais além ao não aceitar o convite feito por Jean Batiste Charcot, que se fez à Antártica em 1908 (COELHO, 1983, p. 21), no coração da Era Heroica da exploração polar iniciada na aurora do século XX e encerrada com o início da exploração aérea do continente (FERREIRA, 2009, p. 33). O biólogo marinho de Manguinhos que foi convidado, José Gomes de Faria, declinou por motivos vários (COELHO, 1983, p. 22). Compreende-se que as atenções do governo e da comunidade científica nacional não atribuíam prioridade à Antártica até a iminência da assinatura do Tratado Antártico em 1959.

Apesar do desinteresse nacional sobre a Antártica até a década de 1950, iniciativas individuais deram impulso ao tema nos aspectos geopolítico e científico. O Médico e Jornalista Durval Rosa Borges foi o primeiro brasileiro de que se tem notícia a pisar em solo antártico em 1958 (BORGES, 1959 apud FERREIRA, 2009, p. 116). Seu feito aconteceu por convite do governo norte-americano durante o Ano Geofísico Internacional (AGI, de julho de 1957 a dezembro de 1958), que foi uma reunião dos esforços de dezenas de milhares de cientistas de 67 países que se espalharam por todo o globo para pesquisar dois temas: espaço exterior e Antártica. O Tratado Antártico decorreu do sucesso dessa cooperação internacional. O governo dos Estados Unidos convidou os outros 11 países que, como o primeiro, estabeleceram estações de pesquisa na Antártica no AGI: África do Sul, Argentina, Austrália, Bélgica, Chile, França, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido e União Soviética (FERREIRA, 2009, p. 39 e 44), mas não o Brasil, em razão de não o haver feito. Isto provocou a quebra da inércia em manter-se alheio aos assuntos antárticos (CASTRO, 1976, p. 110 e 111). A partir de então, diversas outras iniciativas da comunidade científica nacional se seguiram. Por exemplo, em 1962, o Meteorologista e Professor Rubens Junqueira Vilella foi o primeiro brasileiro no Polo Sul (FERREIRA, 2009, p. 116). Essas iniciativas perduraram até a adesão do Brasil ao tratado em 1975 e à realização da primeira OPERANTAR no verão de 1982/1983.

Da década de 1950 até o ano de 1982, ocorreu franco desenvolvimento da Geopolítica brasileira para a Antártica por preocupação com a segurança. Mattos (2015, p. 17) aponta o artigo de Delgado de Carvalho e Therezinha de Castro, publicado em 1956 na Revista do Clube Militar, como um dos marcos da inserção da Antártica nos assuntos geopolíticos brasileiros, acompanhados por outros importantes estudiosos do assunto que os embasaram ou a eles se seguiram. O livro “Rumo à Antártica”, publicado por Therezinha de Castro em 1976, defendeu a Teoria da Defrontação para sustentar uma demanda territorialista brasileira, que oficialmente nunca chegou a ser reivindicada, em um setor centrado no Polo

Sul e ladeado pelos meridianos que passam pela Ilha Martim Vaz e pelo Arroio Chuí (MATTOS, 2015, p. 48). A preocupação com as ameaças à segurança pode ter levado à decisão de aderir ao Tratado Antártico. Golbery do Couto e Silva foi um dos mais proeminentes geopolíticos do país e era Chefe da Casa Civil do Presidente Ernesto Geisel por ocasião da adesão do Brasil em 1975. Logo, estava em uma posição-chave para influenciá-lo em sua decisão. Segundo Mattos (2015, p. 63 a 68), não foi documentado explicitamente o entendimento de Golbery sobre a relevância da Antártica para o Brasil, mas há pistas favoráveis ao interesse no continente em suas produções, tais como as crises do petróleo na década de 1970 e a necessidade de defender o Atlântico Sul (SILVA, 1981, p. 191 apud MATTOS, 2015, p. 67). As preocupações com ameaças à Segurança Nacional, divididas entre a Defesa Nacional e a perspectiva de demanda territorial na Antártica, nortearam a agenda brasileira sobre a região até a época da adesão ao tratado. O desenvolvimento deste pensamento geopolítico brasileiro para a Antártica angariou o apoio do Deputado Eurípides Cardoso de Menezes e, a partir deste, o tema foi alçado às decisões governamentais que desembocaram na chegada da primeira expedição brasileira oficial ao sexto continente em 5 de janeiro de 1983 (MATTOS, 2015, p. 131). Este pode ser considerado o início da era contemporânea da presença científica brasileira na Antártica, em que as preocupações se voltam para a possibilidade de aproveitamento de recursos naturais e a influência climática do continente austral no território e águas brasileiros, especialmente após o advento do Protocolo de Madri na década de 1990, como será visto no próximo item.

## 2.2 A possibilidade de aproveitamento de recursos naturais

Uma das duas preocupações prioritárias que circundavam a formulação da Política Nacional para Assuntos Antárticos (POLANTAR) a partir do início dos anos 1980, segundo Ferreira (2009, p. 136), concerne à possibilidade de aproveitamento de recursos naturais (a outra é a influência climática do continente austral no território e águas brasileiros). Naquela época houve uma corrida de vários países com a finalidade de aderirem ao tratado e, preferencialmente, tornando-se Partes Consultivas<sup>5</sup>, antes de sua expiração em 1991<sup>6</sup>, o que não era exatamente o previsto. O Tratado Antártico assinado em 1959, que entrou em vigor em 1961, prevê, no artigo XII, que o texto

---

<sup>5</sup> Partes Consultivas são os signatários que tenham demonstrado “substancial pesquisa científica” conforme estabelecido no Tratado Antártico, estando assim habilitados a participar das decisões nos *Antarctic Treaty Consultative Meetings* (ATCM, Encontros das Partes Consultivas do Tratado Antártico).

<sup>6</sup> Essa corrida pode ser demonstrada pelo fato de que até junho de 2017 eram 29 as Partes Consultivas, das quais apenas 3 ascenderam após 1990 (Bulgária 1998, Ucrânia 2004 e República Tcheca 2014).

pode ser modificado ou emendado, a qualquer momento, por decisão unânime das Partes Consultivas e, decorrido o prazo de 30 anos após a entrada em vigor (o que ocorreu em 1991), qualquer uma das Partes Consultivas pode requerer uma nova conferência para rever o funcionamento do regime, onde as decisões seriam tomadas por maioria dos signatários, incluindo a maioria das Partes Consultivas (FERREIRA, 2009, p. 51).

Sua revisão não seria automática, mas dependeria de uma solicitação de qualquer das partes ao governo depositário, os Estados Unidos, o que nunca ocorreu. A noção de que o tratado expiraria em 1991 se deveu à intensificação das negociações na década de 1980 sobre a *Convention on the Regulation of Antarctic Mineral Resource Activities* (CRAMRA, Convenção para Regulação de Atividades sobre Recursos Minerais Antárticos). A exploração dos recursos naturais antárticos é praticamente indisponível no reino vegetal (CASTRO, 1976, p. 43) e é limitada por convenções no reino animal – logo, as atenções se voltam ao reino mineral. Lembrando-se das crises do petróleo que permearam a década de 1970, os governos e as empresas mineradoras estavam ansiosos por discutirem alternativas viáveis de exploração dos recursos minerais antárticos. Havia precedentes favoráveis ao estabelecimento de um acordo sobre esse tema. A *Convention for the Conservation of Antarctic Seals* (CCAS, Convenção para a Conservação das Focas Antárticas), assinada em 1972, foi o primeiro regime adotado no âmbito do Tratado Antártico e lidou com a primeira forma de exploração de recursos naturais na Antártica, a caça a focas e baleias. A assinatura da *Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources* (CCAMLR, Convenção para a Conservação dos Recursos Marinhos Vivos da Antártica), em 1980, teve como objetivo o gerenciamento da exploração de outro importante recurso natural, o *krill*, pequeno e numeroso crustáceo que sustenta toda a cadeia alimentar da região (FERREIRA, 2009, p. 70). Esses dois precedentes mostraram que seria possível aos países entrarem em acordo quanto ao tema da exploração mineral antártica antes que efetivamente começasse.

Os governos e as empresas mineradoras estavam ansiosos pela regulação para começar a exploração (FERREIRA, 2009, p. 77), mas a CRAMRA nunca entrou em vigor, apesar de ter sido assinada em 1988 (FERREIRA, 2009, p. 51). A segunda metade da década de 1980 viu o início de uma atuação eficaz das Organizações Não-Governamentais (ONG) ambientalistas de tal forma que fez os países desistirem da CRAMRA (FERREIRA, 2009, p. 86 e 87). O decorrente receio de que a exploração mineral ficasse sem regulamentação levou as Partes Consultivas a imaginarem um protocolo que complementasse o Tratado Antártico na proteção ao meio ambiente – a assinatura do Protocolo de Madri ocorreu em 1991 e a entrada

em vigor em 1998. Sua tônica foi a conservação ambiental e um dos principais pontos foi a moratória para exploração de recursos minerais até 2048 (SANTOS, 2014, p. 25). O protocolo foi provocado pelo conjunto de ações das ONG ambientalistas para o abandono da CRAMRA, mas seu conteúdo foi, na verdade, a materialização das diversas recomendações dos *Antarctic Treaty Consultative Meetings* (ATCM, Encontros das Partes Consultivas do Tratado Antártico), que visavam à proteção do meio ambiente antártico (FERREIRA, 2009, p. 90).

A participação do Brasil nas discussões no âmbito do Tratado Antártico se iniciou com a sua adesão em 1975 e foi gradativamente trasladando da dimensão territorialista marcada pela Teoria da Defrontação e da dimensão econômica com objetivo de garantir acesso aos recursos minerais antárticos para as dimensões científica e ambiental. Diversos acontecimentos influenciaram essa mudança como a OPERANTAR I e o posterior estabelecimento da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), a aceitação do país como Parte Consultiva em 27 de setembro de 1983 e as adesões brasileiras à CCAS e à CCAMLR em 1985 e 1986, respectivamente. Pode-se considerar que a consolidação ocorreu após o país também não ratificar a CRAMRA, mesmo tendo a assinado em 1988, no contexto do crescimento da importância da questão ambiental no final da década de 1980 (FERREIRA, 2009, p. 142). A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), realizada no Brasil, foi um marco dessa época porque o país já havia assinado o Protocolo de Madri em 1991 e viria a ratificá-lo em 1998. Assim, a posição brasileira favorável à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento científico no continente austral, já evidente por meio do envio de pesquisadores desde a efetivação do Programa Antártico no início da década de 1980 e o congelamento das decisões sobre o aproveitamento dos recursos minerais até 2048, indicam que o Brasil deve concentrar-se na pesquisa científica antártica, na qual está inserida a influência climática do continente austral no território e águas brasileiros, conforme será abordado no próximo item.

### 2.3 Razões para a pesquisa antártica pelo Brasil

A Antártica foi o último continente a ser explorado, mas sempre houve interesse na sua existência (MATTOS, 2015, p. 82). As condições extremamente adversas à navegação e à presença humana ajudam a entender porque, somente a partir do século XVIII, as primeiras expedições tenham finalmente chegado ao continente. O Oceano Austral, que circunda as terras antárticas, é formado pela união dos três oceanos principais e sempre se impôs como a defesa natural do continente contra aventureiros. A navegação naquelas águas

está sujeita às ondas provocadas pelos ventos constantes de Oeste que predominam entre as latitudes de 30°S e 60°S (MIGUENS, 1993, p. 260) – que é a única região do globo terrestre em que é possível completar-se uma volta inteira sobre um paralelo de latitude pelo mar sem encontrar gelo ou terra firme. As ondas geradas nessa região tendem a ganhar altura com a falta de obstáculos e os ventos persistentes, ou seja, que sopram da mesma direção, e são especialmente perigosas nos pontos de constrição do fluxo de água, como a conhecida Passagem Drake entre as pontas da América do Sul e da Península Antártica. Ainda que a travessia por mar à Antártica fosse uma vez vencida<sup>7</sup>, a presença humana em terra firme não era nada facilitada pelas temperaturas que até podem ser amenas na costa durante o verão, em torno de 0°C, mas podem chegar a mínimas extremas no interior durante o inverno<sup>8</sup>. Os ventos intensos, que frequentemente são comparáveis a furacões, complementam as condições inóspitas à habitação e ao trânsito ao reduzir consideravelmente a sensação térmica. Por isso, “a Antártica é o único continente que não possui população autóctone” (MATTOS, 2015, p. 81).

Contudo, existem muitas motivações para a exploração da Antártica a despeito das intempéries. Ferreira ressalta que:

Por sua posição geográfica e quadro climático únicos, o continente austral oferece condições de pesquisa que não podem ser encontradas em lugar nenhum do planeta, tampouco reproduzidas. A pesquisa científica na Antártica não é importante somente para o manejo e conservação dos recursos naturais do continente, as informações provenientes da Antártica têm relevância mundial (FERREIRA, 2009, p. 65).

A exploração dos recursos naturais foi a razão primária, se não dos exploradores, que buscavam também glória e reconhecimento, pelo menos dos seus financiadores. A caça às baleias e focas foi tão intensa que chegou a ser usada como “levantamento” das variações de extensão do gelo marinho no passado (EDINBURGH; DAY, 2016, p. 2723). A busca por riquezas minerais decorreu da existência de jazidas de diversos elementos na África e na América do Sul, e da hipótese de também existirem na Antártica em função de todas compartilharem uma origem geológica comum. Castro (1976, p. 15) informa que foram reconhecidos cerca de 167 minerais no continente. Simões (2014, p. 41) entende que essas são apenas ocorrências minerais, não recursos minerais com potencial econômico que justifiquem financeiramente sua exploração – posto que tecnologia e estrutura logística já existem. Porém, não se pode esquecer que os recursos minerais são limitados no planeta. Um aumento da

---

<sup>7</sup> Como mencionado no item 2.1, a era da exploração aérea do continente somente começou em 1929.

<sup>8</sup> A mínima observada presencialmente foi de -89,2°C na estação russa de Vostok, mas em 2010, a NASA observou remotamente por satélite a mínima de -94,7°C (COMNAP, 2017).

demanda além desse limite poderia provocar, a partir de 2048, uma solicitação de revisão da moratória em vigor pelo Protocolo de Madri (ROCHA, 2011, p. 37).

Na década de 1990, as motivações para o Brasil estar na Antártica passaram a ser as influências climáticas do continente austral no território e águas brasileiros, em contrapartida ao aproveitamento dos recursos naturais, dado que os recursos vivos estão protegidos ou com sua exploração regulada pela CCAS e pela CCAMLR no âmbito do Tratado Antártico e a exploração dos recursos minerais está congelada no médio prazo pelo Protocolo de Madri (SIMÕES, 2014, p. 41 e 42). Fenômenos meteorológicos podem influenciar as colheitas e a pecuária no Brasil e causar danos à infraestrutura do agronegócio, especialmente no corredor de produção que vai da região Sul à Amazônia, além de poder provocar desastres naturais que demandem esforços logísticos das Forças Armadas e dos órgãos de segurança pública e defesa civil, especialmente nas regiões Sul e Sudeste. Fenômenos oceanográficos podem influenciar as correntes oceânicas e causar alterações na economia da pesca. Além dessas, a pesquisa da biodiversidade antártica é relevante para que sejam entendidas as mudanças na química da atmosfera e nos níveis de radiação ultravioleta. Outras relevantes razões para a pesquisa científica na Antártica são o campo magnético do planeta, a propagação de ondas de rádio, as modificações fisiológicas e psicológicas de seres humanos em condições extremas, além do estudo das mudanças climáticas (FERREIRA, 2009, p. 65 e 66).

Dada a extensa gama de objetivos da pesquisa antártica brasileira atualmente, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2016-2019 estabeleceu algumas diretrizes, que foram mantidas em sua versão em vigor atualmente para o período 2016-2022. Segundo Duhá (2014, p. 34 a 38), a implementação e o fomento do “Plano de Ação da Ciência Antártica para o Brasil – 2013-2022” (BRASIL, 2016b, p. 92), que já vinha sendo elaborado pelo então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação<sup>9</sup> (MCTI) desde 2011, instou o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) a reavaliar seu conteúdo científico com vistas a elaborar seu planejamento estratégico. Pontua-se que isto ocorreu no contexto da inclusão da Antártica no entorno estratégico do Brasil na PND de 2012 e que, durante o andamento da revisão solicitada ao PROANTAR, ocorreu o incêndio de grandes proporções na EACF em fevereiro de 2012, o qual ceifou a vida de dois militares e destruiu cerca de 70% das instalações (DUHÁ, 2014, p. 38). Estes pontos deram maior relevância à revisão em curso, provocando a criação de um programa antártico atualizado tanto no aspecto

---

<sup>9</sup> O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) foi transformado em Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) por meio da Lei n° 13.341 de 29 de setembro de 2016.

científico quanto no logístico, especialmente com a construção da nova estação antártica segundo concepções mais modernas, que se iniciou em dezembro de 2016. O Plano de Ação 2013-2022: Ciência Antártica para o Brasil (BRASIL, 2014a), lançado em 5 de maio de 2014 pelo MCTI durante a XXXVII ATCM, foi elaborado por um grupo de trabalho com a relatoria a cargo do Glaciologista Jefferson Cardia Simões, representante da comunidade científica brasileira no *Scientific Committee on Antarctic Research* (SCAR, Comitê Científico em Pesquisa Antártica) e eleito em 2016 como um de seus quatro Vice-Presidentes. A pesquisa antártica brasileira foi estruturada em cinco programas temáticos para o continente gelado que abordam os seguintes assuntos: gelo e clima; ecossistemas; Oceano Austral; Geologia e Geofísica; e alta atmosfera. Essas são todas as principais razões da presença científica brasileira na Antártica, como será notado na análise dos diversos aspectos da segurança do Brasil nos campos econômico e ambiental que podem ser influenciados por fenômenos meteorológicos que ocorrem na região austral ou lá se originam, sobre os quais versa o capítulo 3.

### **3 A METEOROLOGIA ANTÁRTICA E A SEGURANÇA DO BRASIL**

A Antártica ganhou importância no texto da PND de 2012 e as razões da presença científica brasileira naquele continente foram elencadas nos programas temáticos do Plano de Ação 2013-2022 (BRASIL, 2014a, p. 6). Como documento de mais alto nível da defesa do nosso país, a PND é expressão oficial da vontade nacional. Estando o Poder Político e, por conseguinte, a própria nação, preocupados com a Antártica, passa a ser relevante contribuir para o desenvolvimento das razões que levaram à inclusão da Antártica no entorno estratégico e o que deve ser feito em sua decorrência. Elaborar essa contribuição é o objetivo deste capítulo. Isto será feito estabelecendo-se ligações entre a Meteorologia Antártica e diversos aspectos da segurança do Brasil nos campos econômico e ambiental. O ponto de partida foi entender os objetivos dos programas temáticos do Plano de Ação 2013-2022 para definir quais aspectos deveriam ser abordados. Após essa definição no item 3.1, seguirá a análise dos aspectos nos campos econômico e ambiental nos itens seguintes, sem esquecer que a ligação com a segurança do Brasil se dá por meio da definição de segurança apontada na PND.

#### **3.1 Aspectos da segurança do Brasil influenciados pela Meteorologia Antártica**

Os aspectos da segurança do Brasil influenciados pela Meteorologia Antártica que serão abordados neste trabalho são a pesca, a defesa civil, o agronegócio e a Amazônia. Esses

aspectos apresentam diferentes formas e níveis de relevância entre a região costeira e o interior do país. O extenso litoral brasileiro o torna vocacionado à pesca, logo é importante compreender como sua produtividade está relacionada às condições impostas pela circulação oceânica que se origina na Antártica. Além disso, a costa atlântica da América do Sul tem sua defesa civil frequentemente ameaçada na porção Sudeste, que envolve o Centro-Norte da Argentina, o Uruguai, os estados brasileiros do Sul e do Sudeste, e o Sul da Bahia, devido à vulnerabilidade a eventos extremos de precipitação e temperatura que muitas vezes são correlacionados com o deslocamento de massas de ar de origem polar (VALENTE, 2015, p. 16). Ainda em relação à defesa civil, as cidades costeiras também estão expostas à elevação do nível dos mares decorrente do derretimento do manto de gelo mundial, do qual a maior parte se encontra na Antártica, que é uma das consequências das mudanças climáticas apontadas pelo relatório mais atual do Grupo de Trabalho I do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC, 2014, p. 1153).

Voltando-se a atenção ao interior do Brasil, Pezza (2003, p. 16) observa que o clima da América do Sul é determinado pelo deslocamento das massas de ar e da interação entre elas. Isto ocorre em especial no inverno, quando a menor radiação solar no Hemisfério Sul dá espaço ao avanço do ar polar para Norte sobre o continente. As massas de ar polar passam por toda a Argentina, Bolívia, Paraguai e as regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil, já tendo sido registrada sua chegada ao Sul da Venezuela em torno da latitude de 5°N (MYERS, 1964, p. 513). Este é o fenômeno da friagem, que derruba temperaturas e causa mortes por hipotermia em comunidades indígenas e de moradores de rua (CAVALCANTI, 2009, p. 153) – mais um ponto relevante à defesa civil. Em um país onde o agronegócio corresponde a 23% do PIB total segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2017, p. 20), é grande a preocupação com as variações do clima que controlam a sua produtividade e com as geadas que podem congelar os solos e as plantações, provocando severos danos (CAVALCANTI, 2009, p. 150), ou ainda com o gado que pode perder muito peso ou morrer pela escassez de pastagens no inverno (PEGORARO, 2016, p. 1). Pezza vai mais além e observa que o Brasil é

particularmente sensível a flutuações deste tipo, e a maior parte das demais atividades sócio-econômicas desenvolvidas na região, como o vestuário, os transportes, o fornecimento de energia elétrica, o turismo, a saúde pública e outros também são afetadas por este fenômeno (PEZZA, 2003, p. 16).

Ainda no interior, a Amazônia pode ser influenciada pela intensificação dos ventos de Oeste que depende do contraste de temperatura entre as regiões tropical e polares. Modelos computacionais preveem que as mudanças climáticas decorrentes da degradação da camada de ozônio sobre a Antártica podem incrementar o contraste de temperatura entre aquelas regiões (MAYEWSKI et al, 2015, p. 391) e atuar reduzindo a disponibilidade de umidade na floresta. Todos esses aspectos podem ser incluídos nas análises de ambos os campos econômico e ambiental em diferentes proporções. Desta forma, os dois itens seguintes desenvolvem as razões que podem justificar a inclusão da Antártica no entorno estratégico na PND de 2012 sob a ótica de que a Meteorologia Antártica tem influência sobre a segurança do Brasil.

### 3.2 Influências da Meteorologia Antártica no campo econômico

Antes de passar à análise das influências da Meteorologia Antártica no campo econômico, é preciso definir três termos: tempo severo, tempo adverso e vulnerabilidade. Cavalcanti (2009, p. 149) explica que fenômenos meteorológicos severos estão normalmente associados a tempestades violentas, ventos intensos, forte atividade elétrica, queda de granizo e chuvas torrenciais. Estes fenômenos causam grandes prejuízos econômicos frequentemente (VALENTE, 2015, p. 13), porém existem outros que podem ser tão devastadores quanto a pior das tempestades: os adversos, tais como as secas, as ondas de calor, as geadas e as friagens. Por último, a vulnerabilidade de um local corresponde à sua propensão a eventos severos ou adversos que possam causar impactos como, por exemplo, precipitações excessivas ou períodos de calor intenso (OBERMAIER, 2011, p. 31).

A abordagem do campo econômico engloba os prejuízos advindos dos eventos severos, dos eventos adversos e das mudanças climáticas. As duas primeiras categorias escolhidas tiveram como base a categorização das catástrofes naturais do *Natural Catastrophe Service* (NatCatSERVICE)<sup>10</sup> em eventos hidrológicos (inundações e movimentos de massa por saturação do solo), eventos meteorológicos (tempestades tropicais, extratropicais e locais), eventos climatológicos (temperaturas extremas, secas e incêndios) e eventos geofísicos (terremotos, erupções e movimentos de massa por razões geológicas). Um exemplo dessa divisão está em um relatório do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina que aponta prejuízo total de 17,6 bilhões de reais no estado de Santa Catarina no período de 1995 a 2014 (BRASIL, 2016a, p. 47). Os danos e

---

<sup>10</sup> O NatCatSERVICE é um dos maiores bancos de dados sobre catástrofes naturais do mundo e referência global para avaliações de riscos de seguradoras.

prejuízos foram categorizados por tipologia do desastre entre decorrentes de desastres hidrológicos (inundações, enxurradas, alagamentos, chuvas intensas e os relacionados a movimentos de massa), de desastres meteorológicos (ciclones, ressacas, frentes frias, tornados, tempestades de raios, granizo e vendaval), de desastres climatológicos (ondas de calor, friagem, geadas, estiagem e seca) e de desastres geológicos ou biológicos.

Pelas definições anteriormente apresentadas, as categorias dos eventos hidrológicos e meteorológicos do NatCatSERVICE estão associadas aos eventos severos, ao passo que a categoria dos eventos climatológicos está associada aos eventos adversos. Em termos do prejuízo total analisado naquele relatório, 55,7% do prejuízo total decorreu de desastres hidrológicos, 35,0% de desastres climatológicos, 9,2% de desastres meteorológicos e 0,1% de desastres geológicos e biológicos. Em termos da quantidade de desastres no período, a distribuição foi 47,1% de origem hidrológica, 31,6% climatológica, 20,9% meteorológica e 0,4% geológica ou biológica. Pelas reduzidas proporções em ambas distribuições, a categoria dos eventos geofísicos do NatCatSERVICE (desastres geológicos ou biológicos) será descartada no presente trabalho. Tomando por base o exemplo analisado, os eventos severos provocam desastres mais frequentemente por causa de inundações e deslizamentos de terra (desastres hidrológicos). Contudo, os eventos adversos (desastres climatológicos) provocam mais que o triplo do prejuízo causado por tempestades (desastres meteorológicos). Acrescenta-se que o relatório mostra uma maior incidência dos desastres hidrológicos no litoral e dos climatológicos no interior, enquanto os meteorológicos foram bem distribuídos por todo o estado de Santa Catarina, assumindo-se que seja uma amostra do que se espera em toda a região Sul e Sudeste.

As mudanças climáticas foram separadas dos eventos severos e adversos em uma terceira categoria porque podem causar prejuízos ainda considerados como potenciais. Apesar de não haver uma quantificação já plenamente observada, o Programa Água Brasil apresentou a expectativa de perdas econômicas anuais da ordem de 7 bilhões de reais no Brasil até 2020 com a deterioração da disponibilidade de água, da produção de alimentos e das condições de saúde da população (PROGRAMA ÁGUA BRASIL, 2015, p. 3). Vale ressaltar que este material foi direcionado ao mercado financeiro e apontou também oportunidades de investimento que podem ser geradas pelas mudanças climáticas. Está assim demonstrada mais uma razão econômica para compreender como a Antártica pode influenciar o ambiente brasileiro.

Uma vez estruturada como será a abordagem do campo econômico, é possível analisar as influências da Meteorologia Antártica em cada um dos aspectos da segurança do

Brasil. Isto será feito nos três próximos parágrafos, um para cada categoria de influências da Meteorologia Antártica. Começando pelas influências da Meteorologia Antártica nos eventos severos, a defesa civil é frequentemente ameaçada pela passagem de frentes frias. Os estados do Sul e Sudeste do Brasil são monitorados constantemente por instituições responsáveis pela defesa civil nas esferas municipal, estadual e federal. O mecanismo da passagem das frentes frias será explicado no item 4.1, mas é relevante saber no campo econômico que esse fenômeno é frequentemente associado a intensa precipitação e ventos fortes. Portanto, tem relação com os desastres naturais de origem hidrológica e meteorológica. O Serviço Meteorológico Marinho (SMM), operado pela Marinha do Brasil (MB) por meio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), emite avisos de mau tempo alertando sobre a ocorrência de ventos intensos, mar agitado, ressacas e baixa visibilidade. Esses avisos são associados muitas vezes à passagem de frentes frias. A Defesa Civil de Santa Catarina apresenta, em sua página da internet, as estatísticas anuais de 1999 a 2013 dos desastres naturais decretados pelos municípios catarinenses (SANTA CATARINA, 2017, p. 1). Os principais são as enxurradas e as estiagens em anos diferentes, seguidos por granizo em alguns anos. As enxurradas decorrem, em geral, das cheias dos rios após intensa precipitação, como ocorreu no vale do rio Itajaí nos anos de 1983, 1984, 2001, 2008 e 2011. As estiagens são eventos adversos e serão analisados no próximo parágrafo.

Passando às influências nos eventos adversos, a análise envolve a dependência da produtividade da agricultura e da pecuária em relação às variações climáticas impostas pela Meteorologia Antártica, entre outras origens, além dos aspectos da defesa civil e do agronegócio que são frequentemente ameaçados pela ocorrência de geadas e friagens. A ampla variabilidade anual dos rendimentos da produção agrícola podem atingir níveis por vezes desastrosos devido à sua dependência direta da disponibilidade hídrica (OLIVEIRA; SILVA, 2016, p. 404). Como visto no parágrafo anterior, as estiagens são frequentes nos estados do Sul do Brasil e variações da precipitação a longo prazo podem estar associadas com os ciclos de fenômenos como o *El Niño* e a Oscilação Antártica, que serão comentados no item 3.3. Um exemplo da ocorrência de geadas e friagens também será apresentado no item citado, mas é relevante saber, no campo econômico, que esses fenômenos são frequentemente associados a mortes por hipotermia. Em 2010, 2.700 bois morreram por causa da queda brusca da temperatura em Mato Grosso do Sul quando a temperatura do ar chegou a 3°C (VARGAS; BRASIL, 2010). Em 2013, seis cidades catarinenses decretaram situação de emergência por causa da friagem associada à previsão de temperaturas entre 0°C e 4°C, que levou a óbito três pessoas nas cidades de Joinville, Biguaçu e Criciúma (MAJOR...2013). Em

2016, o excesso de chuvas e a ocorrência de geadas em um ano de *El Niño* provocaram grandes prejuízos à produção de hortaliças no Paraná porque “muitas plantas foram queimadas pelas geadas, e outras vão demorar a crescer devido à friagem”, segundo o produtor rural Ivan Ito (CARVALHO, 2016).

Na análise da terceira categoria das influências da Meteorologia Antártica, se observa que as mudanças climáticas causam insegurança à pesca, à defesa civil e podem reduzir o regime de precipitação na Amazônia. A preocupação brasileira com a produtividade pesqueira no Atlântico Sul não é recente. O programa da MB no AGI constou de diversas ações dentre as quais foram realizadas 100 estações oceanográficas em 1956 para estudar o avanço, na costa brasileira, da relevante corrente das Falklands/Malvinas para a produtividade pesqueira (CASTRO, 1976, p. 142), corrente esta que é desdobrada da Corrente Circumpolar Antártica. Segundo o então Ministério da Pesca e Agricultura (MPA)<sup>11</sup>, a atividade pesqueira brasileira gera um PIB nacional de R\$ 5 bilhões, mobiliza 800 mil profissionais e proporciona 3,5 milhões de empregos diretos e indiretos (BRASIL, 2014b, p. 13). Por depender da circulação oceânica meridional global, que se inicia com a formação da Água Antártica de Fundo que provém do Oceano Austral (CAVALCANTI, 2009, p. 389), a pesca no Atlântico Sul está sujeita a alguns dos temas relacionados às mudanças climáticas como a acidificação dos oceanos, que pode alterar a disponibilidade de nutrientes. Outro desses temas é a elevação dos níveis dos mares, a partir do degelo do manto antártico provocado pelo aquecimento global, que pode impactar a defesa civil nas cidades litorâneas. Por último, a redução do regime de precipitação na Amazônia pode proporcionar alterações no clima do Brasil e do mundo pelo mecanismo que será detalhado no item 4.3, dada sua importância tão relevante quanto a Antártica na regulação do clima em termos globais, segundo Jefferson Simões (ver Apêndice A).

### 3.3 Influências da Meteorologia Antártica no campo ambiental

A compreensão dos aspectos da segurança do Brasil influenciados pela Meteorologia Antártica no campo ambiental será iniciada pela caracterização geográfica dos ambientes antártico e brasileiro. Tradicionalmente, divide-se o globo terrestre entre a região tropical, ou seja, entre os paralelos dos Trópicos de Câncer e Capricórnio (aproximadamente 23°N e 23°S, respectivamente), as regiões subtropicais e as polares, essas ao Norte do paralelo

---

<sup>11</sup> O Ministério da Pesca e Agricultura (MPA) foi extinto por meio da Lei n° 13.266 de 5 de abril de 2016 e suas atividades foram assumidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

do Círculo Polar Ártico e ao Sul do Antártico (aproximadamente 66°N e 66°S, respectivamente). O Brasil se estende do paralelo do Equador, que corta o Amapá, ao paralelo de 33°S. Logo, está distribuído entre as regiões tropical e subtropical. Contudo, é o sétimo país mais próximo geograficamente da Antártica (MATTOS, 2015, p. 105), contida quase integralmente ao Sul do Círculo Polar Antártico. A cordilheira dos Andes desvia as massas de ar polar que se deslocam a partir da Península Antártica para o norte, em direção ao centro da América do Sul e às regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil. Assim, a proximidade da América do Sul, e particularmente a do Brasil, em relação à Antártica, ajuda a entender porque há tantas influências da Meteorologia Antártica no ambiente brasileiro.

As influências no campo ambiental também serão categorizadas para orientar a análise. As categorias escolhidas dizem respeito à escala temporal que essas influências precisam para se manifestarem no ambiente, conhecidas no meio acadêmico como tempo e clima. Vale então observar o que foi posto por Jefferson Simões (ver Apêndice A) relativo à diferença entre Meteorologia (tempo) e Climatologia (clima). A primeira, também associada ao que se considera como tempo ou *weather* em sua versão inglês (CAVALCANTI, 2009, p. 15), se refere ao comportamento da pressão, do vento, da temperatura do ar e das demais variáveis meteorológicas no dia a dia, que apresentam oscilações em frequência mais alta que a média chamada de clima. Em contrapartida, o clima se refere ao comportamento das variáveis meteorológicas medido ao longo de décadas, geralmente a média ao longo de 30 anos. Será procedida a abordagem do campo ambiental com base nessas escalas de tempo nos dois próximos parágrafos.

A análise das influências da Meteorologia Antártica no tempo do Brasil é uma particularização das influências sobre o tempo da América do Sul e, em algumas condições, no tempo de todo o Hemisfério Sul. A Antártica é a geradora das massas de ar polar que avançam em direção ao paralelo do Equador. Esses fenômenos meteorológicos se deslocam pela América do Sul durante todo o ano, sendo mais frequentes no inverno quando a radiação solar incide prioritariamente sobre o Hemisfério Norte. Especialmente nessa época do ano, as massas de ar das latitudes altas, chamadas de massas de ar polar, causam geadas e friagens (CAVALCANTI, 2009, p. 135). As frentes são as superfícies de contato entre duas massas de ar de características diferentes, tais como a temperatura e a umidade. As frentes frias marcam o avanço das massas de ar frio sobre as de ar quente. A defesa civil é frequentemente ameaçada pela passagem de frentes frias e pela ocorrência de geadas e friagens. As geadas acontecem quando há congelamento da umidade na superfície do solo, nas plantas e nos objetos causado pelo resfriamento do ar abaixo do ponto de congelamento da água. A geada

branca é a mais comum e ocorre quando a água se congela sobre a superfície; a geada negra só ocorre quando a disponibilidade de água é muito reduzida ou o vento é muito intenso, mas é a mais agressiva porque as plantações ficam totalmente expostas às temperaturas negativas. As friagens são a chegada de massas de ar polar provenientes da Antártica que podem reduzir a temperatura do ar a 0°C e congelar a vegetação ao longo de grandes áreas do Pantanal Mato-grossense (CAVALCANTI, 2009, p. 149 a 151).

As influências da Meteorologia Antártica no clima do Brasil podem ser subdivididas entre aquelas que determinam as médias climáticas hoje existentes e as mudanças climáticas que podem estabelecer novas médias no longo prazo. Em relação às médias climáticas hoje existentes, a Oscilação Antártica (AAO na sigla em inglês para diferenciar da Oscilação do Ártico), que é uma das teleconexões<sup>12</sup> de maior escala temporal e espacial no mundo, precisa ser constantemente monitorada<sup>13</sup>. Segundo Firpo (2012, p. 2), a AAO pode provocar alterações das trajetórias dos centros de baixa pressão que se deslocam da Península Antártica para a América do Sul e intensificar ou enfraquecer a precipitação e os ventos por ocasião da passagem de frentes frias. Em algumas análises, essas teleconexões apresentam relações com o fenômeno *El Niño – Southern Oscillation* (ENSO) e podem ser consideradas como parte integrante do mesmo (MO, 2000, p. 3599).

Em relação às mudanças climáticas que podem estabelecer novas médias no longo prazo, a Antártica é o lugar a ser estudado para compreender suas tendências de alterar significativamente o clima do Brasil. Os mantos de gelo conservam as características climáticas de épocas passadas (AQUINO, 2016, p. 10) por meio dos testemunhos – espécie de cilindro de gelo extraído da superfície antártica – que permitem calcular os níveis de alguns elementos e inferir o comportamento das variáveis meteorológicas no passado. Com base nesse conhecimento, sabe-se que há sinais de aquecimento global, dentre os quais se destacam: o Norte da Península Antártica registra os maiores aumentos de temperatura média superficial do planeta ao longo dos últimos 60 anos; e o manto de gelo antártico apresenta balanço de massa global negativo, contribuindo para o aumento do nível do mar (BRASIL, 2014a, p. 4). Aqui se enquadram os aspectos da segurança do Brasil ligados à Amazônia e à defesa civil – elevação do nível dos mares. Primeiro, as mudanças climáticas podem gerar redução da umidade do ar na Amazônia por influência da Meteorologia Antártica como foi comentado no item 3.1. Segundo, o aumento do nível dos mares foi considerado um risco

---

<sup>12</sup> As teleconexões se manifestam por padrões recorrentes em grande escala na pressão atmosférica e nas variações dos ventos (SANTOS; FRANCO, 2011, p. 1).

<sup>13</sup> Essas teleconexões são acompanhadas em instituições como o *Climate Prediction Center* (CPC), por meio de índices da intensidade e da fase, se positiva, neutra ou negativa.

cumulativo e progressivo por Nicolodi e Peterman (2010, p. 154), dado o extenso litoral do país e a concentração da população na faixa costeira. O IPCC (2014, p. 1140) expõe que em rodadas de modelos numéricos voltados para o clima, as mudanças climáticas respondem por 65% do aumento dos níveis dos mares observado de 1901 a 1990 e 90% do observado nos períodos de 1971 a 2010 e de 1993 a 2010. Além disso, o IPCC (2014, p. 1204) mostra a elevação do nível médio do mar global esperada em torno de 1,0 m até o ano de 2100. Em conjunto, esses estudos apontam vulnerabilidade das áreas metropolitanas litorâneas brasileiras à elevação dos nível dos mares.

Por fim, podem ser elencadas algumas outras influências da Meteorologia Antártica no campo ambiental que são relevantes à segurança do país, mas que não atendem a uma escala de tempo específica. Um exemplo é o reboque de icebergs para regiões secas que pode se tornar realidade a partir de 2018 (CREW, 2017). Talvez não seja tecnologicamente ou economicamente viável no presente, mas o Deputado Cardoso de Menezes vislumbrou essa possibilidade para aliviar a seca na zona semiárida do Nordeste no seu discurso de despedida ao fim do seu mandato em 1974 (CASTRO, 1976, p. 154). Nesse mesmo discurso, se preocupou em alertar sobre outra influência: se fosse autorizado o depósito de lixo atômico no solo austral, o que não o é segundo o Tratado Antártico, os resíduos poderiam chegar ao Brasil por meio dos icebergs (CASTRO, 1976, p. 154). Estes são apenas exemplos da complexidade e da grande gama de possibilidades da pesquisa científica brasileira que é relevante para assegurar domínio desse conhecimento. No próximo capítulo serão apresentados eventos recentes para incrementar a argumentação da importância dessas influências na segurança do Brasil.

#### **4 EVENTOS METEOROLÓGICOS RECENTES**

A influência da Meteorologia Antártica na pesca, na defesa civil, no agronegócio e na Amazônia foram analisadas no capítulo anterior para sustentar argumentos que justifiquem a inclusão da Antártica no entorno estratégico do país por ameaçar a sua segurança nos campos econômico e ambiental. Assim, as influências no âmbito geopolítico estariam já suficientemente embasadas. Contudo, resta apresentar situações que comprovem estes argumentos objetivamente. Isso será feito por meio da descrição de eventos meteorológicos recentes ocorridos ou que se vislumbre que possam ocorrer no Brasil por influência da Meteorologia Antártica, agrupados pelos eventos com origens primordialmente

meteorológicas no item 4.1, primordialmente oceanográficas no item 4.2 e, por último, causados pelas mudanças climáticas em curso ou previstas no item 4.3.

#### 4.1 Ocorrência de geadas e sistemas frontais de origem polar

As massas de ar polar, em seu deslocamento para Norte passando pela América do Sul, dão origem aos sistemas frontais, às friagens e a geadas. Segundo Cavalcanti (2009, p. 150), as geadas ocorrem diversas vezes por ano na região Sul do Brasil quando os sistemas frontais frios e anticiclones migratórios<sup>14</sup> interagem com a topografia em áreas superiores a 1.000 m. Reis Jr. (2006, p. 18) observou que o agronegócio é o “setor econômico mais sensível às condições meteorológicas”. Um exemplo dessa sensibilidade está na produção cafeeira da espécie *Coffea Arabica*. Assad et al (2004, p. 1058) apontaram que a temperatura ótima dessa cultura está entre 18°C e 22°C, enquanto a mínima tolerável sem causar danos às folhas está entre 0°C e 1°C. Dessa forma, geadas expõem as plantações de café a temperaturas negativas que podem acabar com toda uma safra.

A onda de frio de 1975 foi uma das mais intensas já registradas no Brasil, tendo chegado a Roraima e causado prejuízos que mudaram a história da cultura cafeeira no Paraná, em decorrência da geada de 18 de julho que foi analisada por Panobianco (2010) e Antonelli (2015). A safra daquele ano já estava encerrada, mas no ano seguinte praticamente não houve colheita. Segundo a Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do estado do Paraná (SEAB), a queda do percentual do café brasileiro produzido no estado foi de 48,18% em 1975 para 0,06% em 1976 (PARANÁ, 2013, p. 6). O governador à época, Jayme Canet Júnior, declarou uma redução de 20% no orçamento estadual. Outros produtos estaduais também sofreram redução na participação nacional como a cevada (40,75% para 29,24%), a mamona (27,35% para 17,88%) e a cebola (10,05% para 5,99%), mas a redução do café foi emblemática. Os efeitos combinados da geada de 1975, da construção da barragem da usina hidrelétrica de Itaipu de 1975 a 1982 e da ascensão da rentabilidade da cultura da soja desde os anos 1960 levaram a um êxodo do estado do Paraná para as regiões Centro-Oeste e Norte. Tal êxodo é evidente no fato das famílias de origem paranaense terem sido o maior grupo não-natural em Mato Grosso e em Rondônia e o segundo maior em Mato Grosso do Sul, ao final da década de 1990 (IBGE, 2001). Este evento de 1975 demonstra a relevância do

---

<sup>14</sup> Anticiclones migratórios correspondem à circulação de ar frio que progride sobre o terreno atrás da frente fria, que por sua vez é a região de contato entre as massas de ar polar provenientes de mares subantárticos, e massas de ar mais quentes posicionadas nas médias e baixas latitudes.

entendimento das massas de ar polar para a correta previsão de fatores geradores de insegurança à economia brasileira.

As frentes frias que se deslocam ao longo da costa atlântica da América do Sul são fenômenos meteorológicos que atuam durante todo o ano (CAVALCANTI, 2009, p. 135). Essas frentes são regiões de maior gradiente térmico que o centro das massas de ar que elas separam, logo apresentam ventos e precipitação mais intensos que provocam riscos à defesa civil. Ciclones extratropicais são frequentemente correlacionados ao avanço das frentes frias ao longo da costa Sul e Sudeste do Brasil. Seu modelo conceitual de formação possui duas regiões de convergência de massa chamadas de frente fria e frente quente formadas ao longo de uma linha de descontinuidade chamada de frente polar (CAVALCANTI, 2009, p. 111). Em 27 de março de 2004, o registro inédito de ventos com intensidade de um furacão, correspondente à passagem de um ciclone extratropical entre Laguna (SC) e Torres (RS), colocou em risco a segurança da defesa civil. O furacão Catarina matou 11 pessoas em terra e no mar (MARENGO, 2006, p. 74). Provocou que 20 municípios decretassem estado de calamidade pública (POSSIDONIO, 2011, p. 32). Os prejuízos foram da ordem de 200 milhões de reais ao estado de Santa Catarina. A análise dos impactos no município de Criciúma (SC) mostrou que os danos foram mais significativos nos bairros litorâneos, reduzindo-se o impacto em direção ao interior. Foram registrados ventos de até 120 km/h e chuva torrencial que atingiu o município durante 9 horas (POSSIDONIO, 2011, p. 43 e 44). As características do furacão Catarina foram extremas para a média climatológica brasileira e da região Sul – o índice das condições que originaram o bloqueio e desvio do fenômeno para o continente estavam, estatisticamente, no percentil 0,6% mais elevado da média dos 25 anos anteriores – e, ainda que invulgar, não se descarta a possibilidade de que o fenômeno se repita em vista da tendência das mudanças climáticas, o que mantém ameaçada a segurança da defesa civil (PEZZA; SIMMONDS, 2005, p. 1).

#### 4.2 Variação da extensão do gelo marinho antártico

A formação de gelo a partir da água do mar, chamado de gelo marinho, é um dos principais fenômenos do ambiente antártico. Sua importância reside na redução da absorção da radiação solar pelo oceano no entorno do sexto continente, especialmente quando a neve se acumula sobre o gelo marinho. Nessa situação, sua coloração mais clara que a do oceano apresenta maior albedo e reflete até 90% da radiação solar incidente. Caso não houvesse gelo marinho, a camada superficial do oceano refletiria apenas entre 10% e 15%. Essa tampa que cobre o oceano reduz significativamente a troca de calor entre a água do mar e a atmosfera

antártica, podendo chegar a 1% da troca que ocorreria durante os meses de inverno se não houvesse o gelo marinho (KING; TURNER, 1997, p. 120 e 121). A importância da formação de gelo marinho fica ainda mais evidente quando a variação da sua área de 3 milhões km<sup>2</sup> no verão para 19 milhões km<sup>2</sup> no inverno é comparada à área do continente de 14 milhões de km<sup>2</sup>, que corresponde à área do manto e das plataformas de gelo (KING; TURNER, 1997, p. 1). Essa gigantesca tampa que se forma e desaparece a cada seis meses altera a formação de nuvens e a estabilidade da atmosfera, tendo assim um importante papel no controle da precipitação líquida e de neve na Antártica, que resulta no controle do clima na região.

Existe uma correlação da extensão e da concentração do gelo marinho antártico com as temperaturas mínimas na América do Sul (BLANK, 2009, p. 20). Justino e Peltier (2006, p. 1) apontam correlações entre essa extensão e o Modo Anular do Hemisfério Sul/Oscilação Antártica (SAM/AAO), mencionado no item 3.3. Com base nessas relações, é necessário entender a variação da extensão do gelo marinho antártico porque pode influenciar o agronegócio e a defesa civil na medida em que permitiria antecipar as previsões do tempo e as médias climatológicas esperadas para cada ano. Um exemplo recente da necessidade de se conhecer essa variação foi observado entre os anos de 2014 e 2017, quando a variabilidade anual da extensão do gelo marinho antártico foi excepcional. O *National Snow & Ice Data Center* (NSIDC, 2017) edita mensalmente o gráfico da anomalia da extensão do gelo marinho em relação à média climatológica. Enquanto os anos de 2014 e 2015 apresentaram as maiores extensões de gelo marinho antártico de toda a série histórica que se iniciou em 1979, o ano de 2016 foi marcado por extensão abaixo da média (em valores absolutos, foi equivalente ao quanto a extensão foi acima da média em 2015), e o ano de 2017 vem apresentando, mês a mês, a segunda menor extensão da série, sendo maior apenas que a do ano de 2002. Interessante notar que a tendência da série é de incremento da extensão do gelo marinho antártico em detrimento do aquecimento global amplamente divulgado. Neste cenário, a pesquisa científica antártica tem muito espaço para evoluir o entendimento da conexão climática entre a variabilidade da extensão do gelo marinho antártico e as condições climáticas do hemisfério Sul (BLANK, 2009, p. 54).

#### 4.3 Impactos na produtividade pesqueira e seca na Amazônia

A acidificação dos oceanos foi uma das preocupações da Convenção da Diversidade Biológica assinada na Rio-92 e pode impactar a produção pesqueira nacional. O aumento da acidez é a redução do potencial Hidrogeniônico (pH) da camada superficial dos oceanos. O pH da água do mar é reduzido quando há aumento da concentração de íons de

Hidrogênio dissolvidos na água. Isto ocorre após a geração de ácido carbônico pela reação química do gás carbônico com a água do mar. Como a disponibilidade de gás carbônico na atmosfera tem aumentado desde a Revolução Industrial com a queima de combustíveis fósseis, a acidificação dos oceanos acompanha o movimento. A consequência é a disfunção causada em algumas espécies de mariscos, algas, corais, plânctons e moluscos que dificulta sua capacidade de formar conchas. A redução destes organismos causa dois impactos: redução de alimentos na base da cadeia alimentar oceânica e erosão das plataformas continentais, habitat de grande parte dos recursos pesqueiros nacionais, pela ausência de corais para fixar suas encostas. Cabe ressaltar que outros organismos, como algumas espécies de plâncton, podem se beneficiar da acidez excedente em um primeiro momento, porém no longo prazo, os efeitos são maléficos à biodiversidade marinha (SECRETARIADO DA CONVENÇÃO DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA, 2014, p. 42 a 45).

A Meteorologia Antártica não tem relação direta com a acidificação dos oceanos, mas é o ponto de partida da circulação termohalina que, se alterada, pode variar os efeitos da acidificação dos oceanos no Atlântico Sul. Garrison (2010, p. 180) explica que a circulação termohalina é provocada pelas diferenças de densidade das massas de água na direção vertical, distintamente das correntes oceânicas horizontais provocadas pelo vento. Começa com a formação da Água de Fundo Antártica no oceano próximo ao continente austral, que submerge até o leito submarino e se desloca até o Hemisfério Norte por ser a mais fria e salina do planeta, logo a mais densa. As interações com as parcelas de água em seu deslocamento dão origem a todas as demais massas de água. A correlação da circulação termohalina com a acidificação dos oceanos advém destas interações. Variações na circulação termohalina iniciada na Antártica, especialmente em regiões onde massas de água com menor pH se formam naturalmente, associadas à intensificação dos regimes de ventos, podem incrementar os efeitos da acidificação dos oceanos (IPCC, 2014, p. 292) e provocar prejuízos à produção pesqueira nacional.

Por sua vez, a intensificação nos regimes dos ventos predominantes de Oeste nas médias latitudes pode causar impactos na precipitação sobre a Amazônia. Mayewski et al (2015) observaram por meio de modelos climáticos que os ventos predominantes de Oeste podem aumentar sua intensidade e mudar sua posição média em direção ao Polo Sul. Isto ocorreria por causa do aumento da diferença de temperatura entre as regiões tropical e polar como consequência do resfriamento da região central da Antártica decorrente da degradação da camada de Ozônio (CIENTISTAS...2014). O resultado seria redução da disponibilidade de umidade em áreas fora da região polar como a Amazônia. Contudo, essa preocupação foi

minimizada por John Turner (ver Apêndice B) ao afirmar que o maior problema não é o contraste de temperatura, mas o aquecimento global, que pode aumentar a temperatura em toda a superfície terrestre entre 3°C e 4°C até o ano de 2100, sem ser possível precisar de quanto seria o aumento em cada local. Aliás, Dias (2006, p. 12) indica que “os diferentes modelos de previsão usados pelo IPCC apresentam cenários contrastantes para a Amazônia, em que alguns deve chover mais no futuro e em outros a previsão é de uma tendência à seca”. Logo, fica mostrado que ainda há muito o que estudar sobre a influência da Meteorologia Antártica na segurança da Amazônia no campo ambiental.

## 5 CONCLUSÃO

A importância da Meteorologia Antártica para a segurança do Brasil foi apresentada nesse trabalho a partir da percepção de que a PND não desenvolveu nem as razões que levaram à inclusão da Antártica no entorno estratégico, nem o que deve ser feito em sua decorrência. A solução foi estabelecer ligações entre a Meteorologia Antártica e a segurança do Brasil. Isto foi possível porque a PND ampliou o conceito de segurança, passando a abranger outros campos, entre eles o econômico e o ambiental, que agrupam diversas influências da Meteorologia Antártica. Essa abrangência mais ampla do conceito de segurança se mostrou particularmente adequada ao continente austral porque as dimensões ambiental e científica dos assuntos antárticos podem ser consideradas mais relevantes atualmente que a dimensão econômico-territorial (neste caso, a dimensão econômica é a da exploração dos recursos naturais da Antártica, ainda insipiente nos dias de hoje, que não deve ser confundida com o campo econômico das influências antárticas no Brasil).

A partir da compreensão de que o Brasil está hoje na Antártica para estudar as influências climáticas do continente austral no território e águas brasileiros, ainda que não possa ser descartada a necessidade geopolítica de lá estar presente para garantir assento nas mesas que decidirão o futuro do continente, se passou a verificar as diretrizes das ações do país sobre o assunto. O Plano de Ação 2013-2022 é o documento oficial que norteia a pesquisa científica brasileira na Antártica atualmente. A análise de seus cinco programas temáticos levaram à escolha dos quatro aspectos da segurança do Brasil influenciados pela Meteorologia Antártica: a pesca, a defesa civil, o agronegócio e a Amazônia. Em cada um desses aspectos há influências em ambos os campos econômico e ambiental.

Para organizar a compreensão, diversas categorizações foram implementadas. Primeiro, foram apresentadas as influências na região costeira em que a pesca depende da

circulação oceânica que se origina na região austral e a defesa civil é frequentemente ameaçada tanto pela passagem de sistemas meteorológicos de origem polar, quanto pela possível elevação do nível dos mares relacionada às mudanças climáticas. Em contrapartida, o interior do país tem de lidar com as friagens que ceifam vidas por hipotermia, as geadas que destroem plantações e criações de gado e, em uma abordagem mais ampla, moldam o clima do qual depende a produção agrícola, isso tudo sem esquecer que as mudanças climáticas podem alterar significativamente a disponibilidade de umidade da Amazônia. Após definir as influências que seriam analisadas, foi possível entrar em cada um dos campos, nos quais se seguiu nova organização por categorias. No campo econômico, os prejuízos foram divididos entre os relacionados com eventos extremos, com eventos severos e os decorrentes das mudanças climáticas. No campo ambiental, a categorização foi implementada entre as influências que determinam as médias climáticas hoje existentes, e as decorrentes das mudanças climáticas que podem estabelecer novas médias climáticas no longo prazo e alterar significativamente o clima do Brasil. A essas últimas se somaram as influências que não atendem a uma escala de tempo específica, mas tem relevância ao país no campo ambiental.

O que se conclui, à luz das influências analisadas e dos eventos meteorológicos recentes que a elas dão corpo, é que a inclusão da Antártica no entorno estratégico na PND pode ser sustentada pela importância das suas condições meteorológicas para a segurança do Brasil. Não é novidade que a Sociedade Brasileira precisa de fomentadores da importância das terras do Polo Sul para o Brasil – já o sabia Therezinha de Castro desde 1956. A Antártica não está ao alcance da vista corriqueiramente. Por esse motivo, a soma das contribuições de cada um dos entusiastas que a ela se seguiram já levou o país muito mais longe do que se sonhava até 1975. Agora, se deve olhar para o futuro, e se preparar para ele, a fim de garantir que o Brasil seja efetivamente um local seguro para se viver e para se desempenhar atividades econômicas que sustentem o desenvolvimento. Os recursos de toda ordem sempre serão insuficientes porque as necessidades são ilimitadas e os recursos restritos aos disponíveis, mas são contribuições como a que se intencionou nesse trabalho que levam à elaboração das justificativas que cativam corações e mentes a investir no futuro do país.

## REFERÊNCIAS

ANTONELLI, Diego. O dia antes do fim: 40 anos da geada negra. *Gazeta do Povo*, Londrina, 2015. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/especiais/40-anos-da-geada-negra/o-dia-antes-do-fim-0cq6bwgyf403z8w3q8e5k6ow5>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

AQUINO, Francisco Eliseu. *Mudanças Climáticas e seus Impactos na Agricultura*. Trabalho apresentado no Seminário Agricultura, Desenvolvimento e Combate à Crise do Sindicato dos Engenheiros do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/sengrsestaticos/noticias/2505/francisco-aquino-seminario-agricultura-senge-junho2016.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/113093/impacto-das-mudancas-climaticas-no-zoneamento-agroclimatico-do-cafe-no-brasil>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

BLANK, Dionis Mauri Penning. *Relação entre a concentração de gelo marinho antártico e a temperatura mínima na América do Sul*. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

BORGES, Durval Rosa. *Um brasileiro na Antártida: crônicas de uma viagem ao redor do mundo*. [s.n.], 1959 apud FERREIRA, Felipe Rodrigues Gomes. *O Sistema do Tratado Antártico: evolução do regime e seu impacto na política externa brasileira*. Brasília: Fundação Alexandre Gusmão, 2009. 248 p.

BRASIL. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina – CEPED UFSC. *Relatório dos danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina: 1995 – 2014*. Florianópolis: Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016a. Disponível em: <[http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2016/04/Relatório-Danos-e-Prejuízos-SC\\_290316-BAIXA.pdf](http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2016/04/Relatório-Danos-e-Prejuízos-SC_290316-BAIXA.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2016b. Disponível em: <<https://portal.inpa.gov.br/images/documentos-oficiais/ENCTI-MCTIC-2016-2022.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Plano de Ação 2013-2022: Ciência Antártica para o Brasil*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014a. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/inctcriosfera/arquivos/231154.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Pesca e Agricultura. *1º Anuário Brasileiro da Pesca e Agricultura*. Brasília: Ministério da Pesca e Agricultura, 2014b. Disponível em: <[http://formsus.datasus.gov.br/novoimgarq/16061/2489520\\_218117.pdf](http://formsus.datasus.gov.br/novoimgarq/16061/2489520_218117.pdf)>. Acesso em: 16 jul. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. *Estratégia Nacional de Defesa*. Brasília: Ministério da Defesa, 2012a. Disponível em: <<http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/end.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. *Livro Branco de Defesa Nacional*. Brasília: Ministério da Defesa, 2012b. Disponível em: <<http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/lbndn.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Defesa. *Política Nacional de Defesa*. Brasília: Ministério da Defesa, 2012c. Disponível em: <<http://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/pnd.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

CARVALHO, Luiz de. Chuvas e geadas derrubam produção de hortaliças. *O Diário*, Maringá, 14 jun. 2016. Disponível em: <<http://maringa.odiario.com/agribusiness/2016/06/chuvas-e-geadas-derrubam-producao-de-hortalicas/2175233/>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

CASTRO, Therezinha de. *Rumo à Antártica*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 458 p.

CIENTISTAS do país estudam interação entre a Antártica e a Amazônia. *GI*, [s.l.], 31 mar. 2014. Seção Natureza. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2014/03/cientistas-do-pais-estudam-interacao-entre-antartica-e-amazonia.html>>. Acesso em: 29 jul. 2017.

COELHO, Aristides Pinto. *Nos confins dos três mares... a Antártida*. Rio de Janeiro: Bibliex, 1983. 358 p.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. *PIB e Performance do Agronegócio: Balanço 2016, Perspectivas 2017*. [S.l.]: CNA, 2017. Disponível em: <[http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02\\_pib.pdf](http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/02_pib.pdf)>. Acesso em: 17 jul. 2017.

*COUNCIL OF MANAGERS OF NATIONAL ANTARCTIC PROGRAM – COMNAP*. Antarctic Information. Disponível em: <<https://www.comnap.aq/Information/SitePages/Home.aspx>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

CREW, Bec. A United Arab Emirates Company Wants to Tow Icebergs From Antarctica to Combat Drought. *Science Alert*, [s.l.], 13 maio 2017. Disponível em: <<https://www.sciencealert.com/a-united-arab-emirates-company-wants-to-tow-icebergs-from-antarctica-to-combat-drought>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. Meteorologia e Sociedade. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n 2-3, p. 9-13, 2006. Disponível em: <[http://www.sbmec.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/5\\_2006\\_\\_\\_Volume\\_30\\_No\\_2\\_e\\_3.pdf](http://www.sbmec.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/5_2006___Volume_30_No_2_e_3.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2017.

DUHÁ, Janice R. Trotte. Novos rumos para a pesquisa antártica no Brasil. In: SEMINÁRIO ANTÁRTICA, 2048: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EQUILÍBRIO GLOBAL, 2013, Porto Alegre. São Paulo: MarinaBooks, 2014. p. 32-39.

EDINBURGH, Tom; DAY, Jonathan J. Estimating the extent of Antarctic summer sea ice during the Heroic Age of Antarctic Exploration. *The Cryosphere*, v. 10, n. 6, p. 2721–2730, 2016. Disponível em: <<http://www.the-cryosphere.net/10/2721/2016/tc-10-2721-2016.pdf>>. Acesso em: 4 jun. 2017.

FERREIRA, Felipe Rodrigues Gomes. *O Sistema do Tratado Antártico: evolução do regime e seu impacto na política externa brasileira*. Brasília: Fundação Alexandre Gusmão, 2009. 248 p.

FILGUEIRAS, Carlos A. L. D. Pedro II e a Química. *Revista Química Nova*, v. 11, n. 2, p. 210-214, 1988. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/default.asp?ed=158>>. Acesso em: 10 jun 2017.

FIORI, José Luís. O Brasil e seu Entorno Estratégico na Primeira Década do Século XXI. In: SADER, Emir (Org). *10 Anos de Governos Pós-neoliberais no Brasil: Lula e Dilma*. São Paulo: Boitempo Editorial, 2013, p. 31-51.

FIRPO, Mári Ândrea Feldman. *Influência remota da TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e da Oscilação Antártica na variabilidade climática interanual no Rio Grande do Sul e suas inter-relações*. 200 f. Dissertação (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.19.19.14/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

GARRISON, Tom. *Fundamentos de Oceanografia*. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 426 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD*. [S.l.]: IBGE, 2001. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2001/default.shtm>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Working Group I Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis"*. [S.l.]: IPCC, 2014. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)>. Acesso em: 7 jul. 2017.

JUSTINO, Flávio; PELTIER, W. Richard. Influence of present day and glacial surface conditions on the Antarctic Oscillation/Southern Annular Mode. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 22, 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006GL027001/full>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

KING, J. C.; TURNER, J. *Antarctic Meteorology and Climatology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 409 p.

- MAJOR Vieira e Ipuacu decretam situação de emergência pela friagem. *GI SC*, [s.l.], 26 jul. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2013/07/major-vieira-e-ipuacu-decretam-situacao-de-emergencia-pela-friagem.html>>. Acesso em: 15 jul. 2017.
- MARENCO, Jose A. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <<http://www.sifloresta.ufv.br/handle/123456789/4806>>. Acesso em: 29 jul. 2017.
- MATTOS, Leonardo Faria de. *O Brasil e a Adesão ao Tratado da Antártica*. 244 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Estratégicos) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
- \_\_\_\_\_. A inclusão da Antártica no conceito de Entorno Estratégico Brasileiro. *Revista da Escola de Guerra Naval*, v. 20, n. 1, p. 165-191, 2014. Disponível em: <<https://revista.egn.mar.mil.br/index.php/revistadaegn/article/view/193/155>>. Acesso em: 12 maio 2017.
- MAYEWSKI, Paul A. et al. Potential for Southern Hemisphere climate surprises. *Journal of Quaternary Science*, v. 30, n. 5, p. 391–395, 2015. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jqs.2794/full>>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- MINGUENS, Altineu Pires. *Navegação: A Ciência e a Arte*, v. 1. Rio de Janeiro: DHN, 1993. 509 p.
- MO, Kingtse C. Relationships between Low-Frequency Variability in the Southern Hemisphere and Sea Surface Temperature Anomalies. *J. Climate*, n. 13, p. 3599-3610, 2000. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442\(2000\)013%3C3599%3ARBLFVI%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442(2000)013%3C3599%3ARBLFVI%3E2.0.CO%3B2)>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- MYERS, Vance A. A Cold Front Invasion of Southern Venezuela. *Mon. Weather Rev.*, v. 92, n. 11, p. 513-521, 1964. Disponível em: <[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1964\)092%3C0513:ACFIOS%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1964)092%3C0513:ACFIOS%3E2.3.CO;2)>. Acesso em: 11 jul. 2017.
- NATIONAL SNOW & ICE DATA CENTER – NSIDC. Monthly Sea Ice Extent Anomaly Graph. [S.l.]: NSIDC, 2017. Disponível em: <[http://nsidc.org/data/seaice\\_index/](http://nsidc.org/data/seaice_index/)>. Acesso em: 30 jul. 2017.
- NICOLODI, João Luiz; PETERMAN, Rafael Mueller. Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 10, n. 2, p. 151-177, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/3350>>. Acesso em: 13 jul. 2017.
- OBERMAIER, Martin. *Velhos e Novos Dilemas nos Sertões: Mudanças Climáticas, Vulnerabilidade e Adaptação no Semiárido Brasileiro*. 98 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ppe.ufjf.br/pppe/production/tesis/obermaier.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2017.
- OLIVEIRA, Kyssyanne Samihra Santos; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da. Onda Circumpolar Antártica: Influência na Variabilidade Climática do Estado do Rio Grande do

Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, p. 403-414, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v31n4/0102-7786-rbmet-0102-778631231420150010.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

PANOBIANCO, Daniel. Especial 35 Anos da Geada de 1975. *Revista Cafeicultura*, 2010. Disponível em: <<http://revistacafeicultura.com.br/?mat=34022>>. Acesso em: 26 Jul. 2017.

PARANÁ. Secretaria de Agricultura e do Abastecimento. *Evolução da área colhida, produção, rendimento, participação e colocação Paraná/Brasil*. [S.l.]: SAEB, 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/cprbr.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

PEGORARO, Ivo. Inverno Rigoroso Causa Prejuízos à Pecuária. *Jornal de Beltrão*, Francisco Beltrão (PR) , 23 jul. 2016. Disponível em: <<http://www.jornaldebeltrao.com.br/noticia/247392/inverno-rigoroso-causa-prejuizos-a-pecuaria>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

PEZZA, Alexandre Bernardes. *Ondas de frio na América do Sul e as trajetórias dos ciclones e anticiclones extratropicais: Climatologia sinótica*. 369 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <[ftp://ftp.iag.usp.br/private/adm/jeniffer/teses/aca/d\\_alexandre\\_b\\_pezza.pdf](ftp://ftp.iag.usp.br/private/adm/jeniffer/teses/aca/d_alexandre_b_pezza.pdf)>. Acesso em: 8 jul. 2017.

\_\_\_\_\_ e SIMMONDS, Ian. The first South Atlantic hurricane: unprecedented blocking, low shear and climate change. *Geophysical Research Letters*, v. 32, n. 15, 2015. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GL023390/full>>. Acesso em: 29 jul. 2017.

POSSIDONIO, Taise Martins. *Danos Ocasionados pela Passagem do Furacão Catarina em Março de 2004: Estudo de Caso do Município de Criciúma – SC*. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

PROGRAMA ÁGUA BRASIL. *As Mudanças Climáticas - Riscos e Oportunidades*. [S.l.]: BB/WWF-BRASIL, 2015. Disponível em: <<http://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/uds/dwn/mudclimatica.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

REIS JR., Dirceu Silveira. Aplicações da Meteorologia na Economia. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n 2-3, p. 18-20, 2006. Disponível em: <[http://www.sbmet.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/5\\_2006\\_\\_\\_Volume\\_30\\_No\\_2\\_e\\_3.pdf](http://www.sbmet.org.br/portal/publisher/uploads/publicacoes/5_2006___Volume_30_No_2_e_3.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2017.

ROCHA, Flávio Augusto Viana. *O Sistema do Tratado da Antártica: Aspectos geopolíticos e econômicos decorrentes de uma crescente internacionalização do Continente Antártico e seus reflexos para o Brasil e para a MB*. 150 f. Monografia (Curso de Política e Estratégia Marítima) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2011.

SANTA CATARINA. Defesa Civil. *Defesa Civil em Dados*. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/2011-12-19-19-29-58/estatisticas.html>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

SANTOS, Isimar de A.; FRANCO, Nilo J. do N. *Anomalias da precipitação no sul do Brasil e as teleconexões*. Trabalho apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia do SESC Centro de Turismo de Guarapari, 2011. Disponível em: <[http://www.sbagro.org.br/anais\\_congresso\\_2011/cba2011/trabalhos/06/cba06\\_23\\_21.pdf](http://www.sbagro.org.br/anais_congresso_2011/cba2011/trabalhos/06/cba06_23_21.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2017.

SANTOS, Leo Evandro Figueiredo dos. Territorialismo x Internacionalismo: o futuro do Tratado Antártico. In: SEMINÁRIO ANTÁRTICA, 2048: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EQUILÍBRIO GLOBAL, 2013, Porto Alegre. São Paulo: MarinaBooks, 2014. p. 24-31.

SECRETARIADO DA CONVENÇÃO DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA. *An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine*. Montreal: Eds, S. Hennige, J.M. Roberts & P. Williamson, 2014. 99 p. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-75-en.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2017.

SILVA, Golbery do Couto. *Conjuntura política nacional, o Poder Executivo & Geopolítica do Brasil*. 3 ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1981 apud MATTOS, Leonardo Faria de. *O Brasil e a Adesão ao Tratado da Antártica*. 244 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Estratégicos) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

SIMÕES, Jefferson Cardia. Uma política científica para a Antártica. In: SEMINÁRIO ANTÁRTICA, 2048: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EQUILÍBRIO GLOBAL, 2013, Porto Alegre. São Paulo: MarinaBooks, 2014. p. 40-49.

VALENTE, Pedro Teixeira. *Identificação das Áreas mais Sujeitas a Eventos Extremos de Temperatura e Precipitação no Sudeste da América do Sul*. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141340>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

VARGAS, Rodrigo; BRASIL, Kátia. Tempo frio causa morte de 2.700 bois em MS. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 20 jul. 2010. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff2007201020.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

## APÊNDICE A

### PESQUISA DE CAMPO DE MONOGRAFIA (ENTREVISTA)

ENTREVISTADO: Sr. Jefferson Cardia Simões, Glaciologista e Geólogo, Vice-Presidente do *Scientific Committee on Antarctic Research/International Council for Science (SCAR/ICSU)*, Fundador do Centro Polar Climático e Professor Titular de Geografia Polar e Glaciologia da UFRGS. Currículo completo disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/4515182387382674>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

DATA: 13 de julho de 2017.

A Política Nacional de Defesa (PND), documento de mais alto nível da defesa do nosso país, teve sua versão em vigor aprovada em 2013. Ela ampliou o conceito de segurança, que era ligada à confrontação entre nações, passando a abranger os campos político, militar, econômico, psicossocial, ambiental e científico-tecnológico, entre outros. A PND também incluiu a Antártica no entorno estratégico brasileiro. Percebendo estes dois pontos, resolvi compreender por que motivo a Antártica ganhou importância e passou a ser relevante para a nossa segurança.

Durante a revisão bibliográfica, verifiquei que há influências da Meteorologia Antártica no ambiente brasileiro e que estas poderiam ter sido a motivação anteriormente mencionada. Como eu poderia considerar que parte dessas influências estão no campo econômico, e parte no campo ambiental, elas influenciariam em última análise, por definição na PND, a segurança do país. No campo econômico, o agronegócio e a pesca abastecem o mercado interno e compõem parcela significativa da balança comercial. Em relação ao primeiro, as massas de ar de origem polar podem prejudicar a produção devido às friagens no Centro-Oeste, onde se concentra a agricultura e a pecuária. Por outro lado, estima-se que 75% da produtividade pesqueira ao norte de 30°S dependa da circulação oceânica meridional que provém do Oceano Austral, mas a acidificação dos oceanos pode alterar a disponibilidade de nutrientes. No campo ambiental, a disponibilidade de umidade na Amazônia é a fonte da exuberância da floresta, mas depende da intensidade dos ventos de Oeste na região subtropical que é correlacionada com o contraste de temperatura entre o Equador e o Polo Sul. A depleção da camada de ozônio sobre a Antártica pode incrementar tal contraste. Outro ponto no campo ambiental é a defesa civil, em particular nas regiões Sul e Sudeste, que se preocupa constantemente com fenômenos meteorológicos gerados no Oceano Austral

(sistemas frontais e ressacas a eles associados). Em caráter nacional, a defesa civil de toda a costa brasileira pode vir a ser ameaçada com o aumento do nível do mar correlacionado ao derretimento do manto de gelo antártico decorrente das mudanças climáticas.

A introdução anterior visa a expor a motivação da minha pesquisa. A minha monografia busca responder a pergunta: "Como a Meteorologia Antártica pode influenciar a Segurança do Brasil?". Meu objetivo é explicar as influências climáticas com origem antártica que podem interferir com o agronegócio, a pesca, a Amazônia e a defesa civil. Isto posto, seguem algumas questões que preencherão lacunas da minha pesquisa, e pelas quais agradeço, desde já, a cordialidade em dispor do seu tempo para responder-me.

PERGUNTA 1: O senhor concorda que o agronegócio, a pesca, a Amazônia e a defesa civil sofrem ou podem sofrer influências correlacionadas com a Meteorologia Antártica?

RESPOSTA: Sim, e é mais amplo. Vejamos: O sistema climático é integral e acoplado. De uma maneira básica, a circulação geral da atmosfera-oceano basicamente é o transporte de energia daquelas regiões que recebem mais energia solar do que perdem para o espaço (mais ou menos do equador até 35°S e N) para as regiões que recebem menos energia solar do que perdem para o espaço exterior. Destas regiões, a Antártica é que perde mais (por isso dizemos que a Antártica é o maior sorvedouro de energia da Terra).

O que implica isso? Que mesmo pequenas mudanças ou variações que afetem o clima da Antártica afetam a circulação global. Vejamos alguns exemplos: (1) A frequência e força das frentes frias (friagens) formadas no Oceano Austral (e incorretamente chamadas de frentes polares no Brasil) são relacionadas a variação na extensão do gelo marinho ao redor da Antártica. Hoje, alguns pesquisadores brasileiros tentam colocar esta variabilidade do gelo marinho nos modelos numéricos para o clima brasileiro. É claro, a maior ou menor frequência de friagens afeta o tipo de cultura agrícola. Melhor exemplo: Café no norte do Paraná que na década de 1970 perdeu muito a produtividade devido a maior frequência dessas frentes.

Ainda temos que avançar no entendimento sobre a gênese dos ciclones extratropicais (um fenômeno meteorológico caracterizado por fortes tempestades e ventos em larga escala espacial). Ocorrem nas regiões de latitudes médias, onde constituem uma parte importante da circulação atmosférica ao contribuírem para o equilíbrio térmico das regiões equatoriais e das regiões polares.

Finalmente, temos que incluir a variabilidade do gelo marinho nos modelos numéricos do clima para o Brasil. Acredite, há uma década os modelos de previsão meteorológica e climática basicamente desconsideravam a variabilidade deste que o

fenômeno sazonal de maior variabilidade de área em todo mundo (vai de 2 para 20 milhões de km<sup>2</sup> entre verão e inverno!).

Em termos globais, a Antártica é tão importante quanto a Amazônia para a regulação do clima. Isso é algo difícil para ser absorvido pelo brasileiro, que foi em grande parte criado no mito do país tropical não afetado por processos extraterritoriais.

Ponto importante para suas conclusões: Os cientistas do clima diferenciam os temas meteorologia e clima. Clima é caracterizado pelas características de vários elementos (variáveis) do clima medidos ao longo de décadas, geralmente a média ao longo de 30 anos.

PERGUNTA 2: O senhor concorda com as influências da Antártica no ambiente brasileiro mencionadas na introdução, ou deseja corrigir ou acrescentar algum ponto não observado?

RESPOSTA: Concordo, estão corretas.

PERGUNTA 3: Existem outras influências da Meteorologia Antártica no ambiente brasileiro que o senhor considere relevantes para a segurança do país nos campos político, militar, econômico, psicossocial, ambiental e científico-tecnológico, entre outros?

RESPOSTA: Creio que o PROANTAR deva lutar para que os formadores de opinião entendam que o sistema ambiental é um só, e que a questão não envolve só a Amazônia (o mito do país tropical, isolado, sem desastres naturais está finalmente caindo. Mas temos que trabalhar mais isso na mídia e escola, valorizando nosso Atlântico Sul e a Antártica). Ou seja, temos que mudar a questão de percepção ambiental.

PERGUNTA 4: Após 57 anos da assinatura do Tratado Antártico, as pretensões territoriais sobre o continente gelado se encontram dormentes. Os seus recursos vivos estão protegidos ou com sua exploração regulada pela CCAS e pela CCAMLR. A exploração dos recursos minerais está congelada no médio prazo pelo Protocolo de Madri. Logo, as motivações para um Estado investir na Antártica na primeira metade do século XXI repousam nas dimensões ambiental e científica. O senhor mencionou essa mudança de motivação no Seminário Antártica, 2048 (publicado pela editora MarinaBooks em 2014), que foi corroborada pela Sra. Janice Duhá na mesma ocasião.

O senhor também mencionou que o artigo IX do Tratado Antártico, realizar pesquisas substanciais para manter o status, precisa ser atendido no século XXI por meio de uma pesquisa antártica de excelência e pretensa ao reconhecimento internacional. Logo, o investimento estatal precisa ser compatível com essa realidade.

Contudo, o governo brasileiro precisa justificar à Sociedade o investimento na Antártica. O PROANTAR foi criado a partir de justificativas que envolveram a pretensão territorial e a participação nas decisões da exploração econômica da Antártica. Na visão do senhor, a divulgação das influências climáticas no ambiente brasileiro é a forma mais apropriada do governo brasileiro justificar o investimento na pesquisa antártica à Sociedade atualmente?

RESPOSTA: Sim, cada vez mais justifica-se a presença do Brasil na Antártica pela questão ambiental (não só a preservação, mas também para entender melhor como o sistema ambiental afeta e é afetado pelos processos físico-químicos e biológicos da América do Sul), como estamos alterando aquele ambiente e se existe algum limiar acima do qual não devemos ultrapassar, caso queiramos evitar processos que poderiam desestabilizá-lo (por exemplo, até onde o gelo antártico pode ser afetado por um aquecimento sem sofrer algum processo "catastrófico"; e.g. algumas partes do manto de gelo da Antártica Ocidental são potencialmente instáveis e sensíveis e poderiam contribuir de maneira rápida (200 a 500 anos!) para o aumento de até 6m do nível médio dos mares. Outro exemplo: - Até onde poderemos alterar a teia alimentar antártica, quer pela sobre pesca ou por poluição, sem causarmos um colapso global).

O grande problema que vejo é que a POLANTAR não foi atualizada e desconsidera o avanço do conhecimento do ambiente antártico nestes 35 anos. Vejamos alguns exemplos: (1) Recursos minerais: - Muito do envolvimento do Brasil deveu-se a questão da negociação de uma convenção para exploração de possíveis recursos minerais. Ora, primeiramente a convenção entrou em colapso e foi abandonada.

Mas o mais importante, não existe "recursos" minerais como tecnicamente definido na Antártica. Em Geologia econômica, para termos a caracterização de "recursos minerais" devemos ter conhecimento das reservas (ou seja, elas devem ser medidas) e sua exploração deve ser economicamente viável com a tecnologia existente. O que temos na Antártica, como seria de esperar por tratar-se de um continente, são ocorrências minerais (e de dezenas de tipos de minerais!), mas isso não quer dizer que sejam exploráveis (retiradas e comercializadas) devido a razões econômicas, tecnológicas, ambientais e políticas.

Finalmente, o mineral mais provável de exploração no futuro na Antártica chama-se "água", 70% da água potável do mundo está na forma de gelo na Antártica!

O surgimento da questão das mudanças ambientais globais também não é refletido na POLANTAR. Aliás, a POLANTAR apresenta uma visão ainda do tempo da "Guerra Fria" (1947-1991), dando muita atenção a presença física na Antártica per si. Hoje muito da ciência

pode ser realizada por sensoriamento remoto e por automatização de equipamentos. Até o momento, espero que mude com a nova EACF, a presença do Brasil no inverno antártico justificava exclusivamente pelo aspecto político, pois a qualidade dos projetos de pesquisa de inverno estava aquém de nosso potencial.

Comentário final: A ciência antártica certamente é importante para o conhecimento dos processos do sistema Terra, e tem impacto no desenvolvimento socioeconômico, mas achar que este é o motivo básico (ou mesmo único) seria de tremenda ingenuidade. A excelência científica na Antártica é antes de tudo uma maneira de promover os objetivos da política externa brasileira. Em suma, um programa científico fraco enfraquece o Brasil nos fóruns internacionais!

PERGUNTA 5: O Grupo de Trabalho que o senhor liderou em 2013 produziu o Plano de Ação Ciência Antártica para o Brasil 2013-2022. A pesquisa antártica brasileira foi estruturada em 5 programas temáticos que definem as áreas prioritárias de investigação. O entendimento das influências climáticas da Antártica no Brasil, tanto passadas, como presentes ou que possam vir a ocorrer no futuro, aparecem entre os objetivos específicos de todos os programas.

Na introdução do Plano de Ação, é mencionado que “as áreas prioritárias de investigação deverão ser revisadas cinco anos após sua implementação”. Isso se daria no próximo ano, em 2018. O senhor vislumbra que alguma área prioritária da investigação científica antártica poderia deixar de abranger as influências climáticas da Antártica no Brasil em uma futura revisão?

RESPOSTA: Devido a atual crise econômica mal conseguimos implantar as primeiras ações do plano de ação. Creio que só poderemos fazer tal revisão em 2020 ou 2021 (se houver um novo edital de financiamento das pesquisas antárticas). Por outro lado, alguns tópicos cresceram desde então e deverão receber mais atenção, por exemplo, a questão da bioprospecção, a busca de extremófilos, as interações trópicos-regiões polares e mesmo as conexões Ártico-Antártica (tópico do simpósio conjunto SCAR-IASC - o Comitê Científico Ártico Internacional a ser realizado em 2018). Creio que esta revisão ficará para 2020!

PERGUNTA 6: O módulo CRIOSFERA 1 é o posto avançado da pesquisa antártica brasileira a 84°S desde 12/jan/2012. Não pude encontrar naquele site, ou no site do Centro Polar Climático, informações sobre a instalação do módulo CRIOSFERA 2 no Monte Johns, a 80°S.

Notícias foram veiculadas sobre a instalação no verão de 2015/2016 (<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2015/01/travessia-na-antartica-alcanca-regiao-de-montagem-do-criosfera-2>), e depois no verão de 2016/2017 (<https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/poluicao-do-ar-para-gelo-18494884>). O senhor poderia descrever qual a situação atual da instalação do módulo CRIOSFERA 2?

RESPOSTA: O módulo Criosfera 2 está pronto no Brasil (no RS), mas não temos recursos financeiros para sua instalação. Devido as cortes orçamentários e falta de novos investimentos, estamos atrasados (são necessários US\$ 700.000 para transporte e instalação do módulo).

## APÊNDICE B

### PESQUISA DE CAMPO DE MONOGRAFIA (ENTREVISTA)

ENTREVISTADO: Mr. John Turner, Presidente da International Association of Meteorological and Atmospheric Sciences (IAMAS), ex-Presidente da International Commission on Polar Meteorology (1995-2003), co-autor de uma das principais referências mundiais sobre Meteorologia Antártica (King; Turner, 1997) segundo a resenha do livro publicada pela World Meteorological Organization no World Meteorological Bulletin v. 47 n. 3, 1998, chefe e participante de diversos grupos e programas do Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) desde 1990, e agraciado em 2010 com a SCAR's Medal for Excellence in Antarctic Research (até 2016, somente 8 pesquisadores foram agraciados). Currículo completo disponível em: <<https://www.bas.ac.uk/profile/jtu/>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

DATA: 26 de julho de 2017.

#### ENTREVISTA TRADUZIDA PARA O PORTUGUÊS PELO AUTOR

Os ventos predominantes de Oeste, que são a circulação geral de ventos na região subtropical, são peças-chave do transporte de calor ao longo de um meridiano entre as latitudes tropicais e polares. As mudanças climáticas poderiam agir para modificar o contraste de temperatura entre essas regiões. A degradação da camada de Ozônio sobre a Antártica poderia incrementar esse contraste e modificar os ventos predominantes de Oeste.

O Dr Paul Mayewski, primeiro vencedor da Medalha da Excelência em Pesquisa Antártica do SCAR em 2006, publicou em 2015 (MAYEWSKI et al, “Potencial para surpresas climáticas no Hemisfério Sul” (tradução nossa), Journal of Quaternary Science, v. 30, n. 5, p. 391–395) que resultados de modelos climáticos sugerem que haverá intensificação e contração na direção polar dos ventos predominantes de Oeste sobre o Oceano Austral. Além disso, ele mencionou que registros paleoclimáticos concordam com esses resultados. As consequências, nas suas palavras, poderiam ser “alterações notáveis na disponibilidade de umidade em regiões extra-Antárticas, incremento da desintegração do manto de gelo da Antártica e elevação mais rápida do nível dos mares” (tradução nossa).

QUESTÃO 1: Na sua opinião, o quanto o Brasil deveria estar preocupado sobre as alterações no contraste de temperaturas entre a Floresta Amazônica e a Antártica? Quais poderiam ser as

consequências dessas mudanças para a Floresta Amazônica? Seria possível saber a escala de tempo em que estas consequências poderiam ocorrer?

RESPOSTA: Eu não acredito que o contraste de temperatura entre a Floresta Amazônica e a Antártica seja um problema, mas são as mudanças na Floresta Amazônica e na Antártica o mais preocupante. Se a concentração dos gases de efeito estufa continuarem a aumentar na razão atual, esperamos que as temperaturas superficiais nas áreas terrestres (incluindo a Antártica e a Amazônia) aumentem entre 3°C e 4°C até o ano de 2100. No entanto, valores como estes se referem a médias entre todas as áreas terrestres, e temos pouca habilidade em prevê-los em escala regional.

QUESTÃO 2: Algumas das cidades brasileiras mais relevantes economicamente estão localizadas ao longo do litoral de 7.500 km. Um rápido aumento do nível dos mares poderia por em risco essas cidades? O quão alto poderia ser o aumento do nível dos mares? O quão rápido os oceanos estão subindo hoje em dia? Até que ponto a comunidade científica internacional concorda com o esperado aumento do nível dos mares, com a velocidade desse aumento e com a altura a que esse aumento deve atingir?

RESPOSTA: Para conhecer o consenso, você deve observar o mais recente relatório do IPCC que está na internet e francamente disponível. O nível global dos mares está atualmente aumentando a uma razão de 3,3 milímetros por ano. Até o ano de 2100, estima-se que o nível dos mares tenha aumentado em 1 metro. No entanto, há muita incerteza nisso. Espera-se que cerca de metade do aumento venha da expansão térmica. No entanto, é o papel da criosfera que representa a maior parte dos problemas. Retração de geleiras em áreas como o Alasca serão significantes. Entretanto, é difícil de estimar o quando será acrescentado devido ao derretimento do manto de gelo da Antártica.

QUESTÃO 3: Fenômenos meteorológicos com variabilidade de baixa frequência como o *El Niño*-Oscilação Sul (ENSO), a Oscilação Antártica (AAO) e a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) podem ser considerados os principais fenômenos que governam o clima da Terra na medida em que eles modulam diversos outros eventos meteorológicos de menor período. Algumas dessas influências sobre o Sul do Brasil foram publicadas em 2017 por Alves et al (“A influência da Oscilação Antártica (AAO) nas Ondas de Frio e a Ocorrência de geadas no Estado de Santa Catarina, Brasil (tradução nossa)”, *Climate*, v. 5, n. 1).

Sua publicação de 2004 (“*El Niño*-Oscilação Sul (ENSO) e a Antártica” (tradução nossa), *International Journal of Climatology*, v. 24, n. 1, p. 1–31) menciona que a transmissão

de efeitos do ENSO do Oceano Pacífico tropical para a Antártica são reconhecidos nos registros meteorológicos, de gelo marinho, de testemunhos de gelo e biológicos antárticos.

A agricultura e a pecuária brasileiros são bastante afetados por eventos meteorológicos em escala sinótica que englobam massas de ar polar antártico movendo-se sobre a região Sul e Central do país. Assim como teleconexões entre áreas afastadas da Antártica e o próprio continente são responsáveis por impactos na Antártica, o senhor poderia comentar sobre como seria esperado que a Meteorologia Antártica impacte áreas afastadas dela, especialmente na América do Sul? A ocorrência de eventos meteorológicos, em escala sinótica, originados de massas de ar polar antártico, poderia ser mais frequente ou mais intensa devido às mudanças climáticas?

RESPOSTA: Essa é uma questão difícil e eu não acredito que haja alguma resposta fácil. Nas próximas décadas, conforme as concentrações de gases de efeito estufa continuem a aumentar, esperamos que haja mais eventos extremos, incluindo mais sistemas meteorológicos extremos na escala sinótica. Intuitivamente, esperamos que mais massas de ar frio da Antártica cheguem na América do Sul, apesar de que é impossível quantificar no momento. Seria um projeto interessante observar algumas projeções do modelo CMIP5 do IPCC para examinar possíveis mudanças especificamente no Brasil.

QUESTÃO 4: Após quase 60 anos do estabelecimento do Tratado Antártico, e mais de 25 anos do Protocolo de Madri de 1991, a exploração antártica é baseada em grande parte na pesquisa científica. A CCAS e a CCAMLR regulam a exploração de praticamente todos os recursos não-minerais, enquanto o Protocolo de Madri adiou o início da exploração dos recursos minerais até pelo menos 2048. As cooperações internacionais são a forma comum de relacionamento entre as estações antárticas nos dias de hoje.

Baseado na sua experiência após vários anos tanto como delegado quanto como dirigente de diversos grupos e programas no SCAR, que apoia os ATCM com orientação científica independente, qual é o seu entendimento sobre a necessidade de patrocínio e implementação de pesquisa científica relevante pelos países com *status* consultivo no Tratado Antártico, para cumprirem o seu artigo IX, item 2 nos dias de hoje (“Cada Parte Contratante que tenha se tornado uma parte do presente Tratado por adesão ao Artigo XIII deve ter o direito de apontar representante para participar dos encontros a que refere o parágrafo 1 do presente Artigo, enquanto essa Parte Contratante demonstrar seus interesses na Antártica por meio da condução de atividades de pesquisa substancial, como o estabelecimento de uma estação científica ou o envio de uma expedição científica” (tradução nossa))? Quais são os

objetivos principais que poderiam efetivamente motivar os governos daqueles países a gastar com pesquisa antártica nos dias de hoje?

RESPOSTA: Eu penso que é imperativo que patrocínio adequado seja concedido à pesquisa antártica por causa da importância global de algumas das mudanças que vemos na Antártica. Quanto o manto de gelo antártico irá derreter nas próximas décadas, e portanto sua contribuição para a elevação do nível dos mares, é uma questão de grande relevância. No momento, a redução do gelo na região banhada pelo Mar de Amundsen está contribuindo com 10% do aumento global do nível dos mares e o manto de gelo da Antártica Ocidental tem o potencial de contribuir com diversos metros se houver uma desintegração de maiores proporções. No entanto, entender o futuro do manto de gelo exige uma iniciativa multidisciplinar de maior vulto, envolvendo meteorologistas, oceanógrafos e glaciologistas. Eu penso que os governos investirão em tal pesquisa se eles forem informados dos danos potenciais a suas infraestruturas e economias nas próximas décadas.

#### ENTREVISTA ORIGINAL

*The westerlies, the general subtropical wind circulation, are key features on the meridional transport of heat between tropical and polar latitudes. Climate change could act to modify the temperature contrast between those regions. Ozone depletion over Antarctica could increment such contrast and modify the westerlies.*

*Dr Paul Mayewski, 2006 and very first awardee of the SCAR's Medal for Excellence in Antarctic Research, published in 2015 (MAYEWSKI et al, "Potential for Southern Hemisphere climate surprises", Journal of Quaternary Science, Volume 30, Issue 5, pages 391–395) that climate model results suggest the westerly wind belt strengthening and poleward contraction over the Southern Ocean. In addition, he mentioned that paleoclimate records agree with such results. The consequences, on his own words, could be "notable changes in moisture availability for extra-Antarctic regions, increased Antarctic ice sheet disintegration and more rapid sea-level rise".*

*QUESTION 1: In your opinion, how much worried should Brazil be about changes of the temperature contrast between the Amazon Rainforest and Antarctica? What would be the consequences of such changes to the Amazon Rainforest? Would it be possible to know a time scale to expect those consequences to take place?*

*ANSWER: I don't think it's the temperature contrast between the Amazon rainforest and Antarctica that's the problem, rather it's the changes that may occur across Antarctic and the Amazon that is most worrying. If greenhouse gas concentrations continue to rise at the current rate we expect surface temperatures across land areas (including the Antarctic and the Amazon) to increase by 3-4 degrees C by 2100. However, a figure like this is a mean of all land areas and we have little skill in prediction at the regional scale.*

*QUESTION 2: Some of the most economically relevant Brazilian cities are positioned along the 7.500-km-long shore line. Could some rapid sea-level rise put those cities at risk? How high could the sea-level rise? How fast are the oceans rising nowadays? To what extent does the international scientific community agree to the expected sea-level rise and the speed and elevation height of such rise?*

*ANSWER: As a general point, you should have a look at the latest IPCC report which is online and freely available. Global sea level is currently rising at a rate of about 3.3 mm per year. By 2100 it is estimated that sea level could rise by up to 1 m. However, there is a lot on uncertainty in this. About half the rise is expected to come from thermal expansion. But it is the role of the cryosphere that presents the most problems. Retreat of glaciers in areas like Alaska will be significant. However, it's very difficult to estimate how much melting of the Antarctic ice sheet will add.*

*QUESTION 3: Weather phenomena of low-frequency variability such as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), the Antarctic Oscillation (AAO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO) can be regarded as some of the main governing phenomena of the Earth's climate in the sense that they modulate many other shorter-period meteorological events. Some of those influences over Southern Brazil were published in 2017 by Alves et al ("The Influence of the Antarctic Oscillation (AAO) on Cold Waves and Occurrence of Frosts in the State of Santa Catarina, Brazil", *Climate*, Volume 5, Issue 1).*

*Your 2004 publication ("The El Niño-Southern Oscillation and Antarctica", *International Journal of Climatology*, Volume 24, Issue 1, pages 1–31) mentions that the transmission of ENSO effects from the tropical Pacific Ocean to the Antarctic are recognizable on Antarctic meteorological, sea ice, ice core and biological records.*

*Brazil's agriculture and cattlestock are largely affected by meteorological events at synoptic scales that encompasses antarctic polar air masses moving over the South and Central regions of the country. As well as teleconnections between areas away from Antarctica*

*and the continent itself are responsible for impacts on Antarctica, could you comment on how it would be expected that Antarctic Meteorology could impact areas away from it, specially in South America? Could the occurrence of meteorological events at synoptic time scales originated from antarctic polar air masses be more frequent or more intense due to climate changes?*

*ANSWER: This is a difficult question and I don't think there are any easy answers. Over the coming decades as greenhouse gas concentrations continue to rise we expect that there will be more extreme events, including more extreme synoptic-scale weather systems. Intuitively we would expect there to be more cold, Antarctic airmasses arriving in South America, although it's impossible to quantify this at present. It would be an interesting project to look at some of the IPCC CMIP5 models projections to examine possible changes specifically in Brazil.*

*QUESTION 4: After nearly 60 years from the establishment of the Antarctic Treaty, and more than 25 years from the 1991's Protocol of Madri, the Antarctic exploration is largely based on scientific research. The CCAS and the CCAMLR regulate the exploration of nearly all non-mineral resources whilst the Protocol of Madri postponed the beginning of mineral resources exploration until at least 2048. International cooperations are the regular proceedings among antarctic stations nowadays.*

*Based on your past experience through multiple years both as delegate and chairman of different groups and programmes at the SCAR, which supports the Antarctic Treaty Consultative Meetings (ATCM) with independent scientific advice, what are your thoughts about the need of funding and implementation of relevant antarctic research by the countries with consultative status on the Antarctic Treaty, in order to comply with its article IX, item 2 in the current days ("Each Contracting Party which has become a party to the present Treaty by accession under Article XIII shall be entitled to appoint representatives to participate in the meetings referred to in paragraph 1 of the present Article, during such time as that Contracting Party demonstrates its interest in Antarctica by conducting substantial scientific research activity there, such as the establishment of a scientific station or the despatch of a scientific expedition")? What are the main goals that could effectively motivate the government of those countries to spend on antarctic research these days?*

*ANSWER: I think that it's imperative that adequate funding is put into Antarctic research because of the global importance of some of the changes we see in the Antarctic. How much the Antarctic ice sheet will melt over the coming decades, and therefore its contribution to sea*

*level rise, is a major question. At the moment the ice fringeing the Amundsen Sea Embayment is contributing about 10% of global sea level rise and the West Antarctic Ice Sheet has the potential to contribute several metres if there is a major disintegration. However, understanding the future of the ice sheet requires a major cross disciplinary initiative, involving meteorologists, oceanographers and glaciologists. I think the governments will invest in such research if they are made aware of the potential damage to their infrastructure and economies over the coming decades.*