



MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE



ALEXSANDER MARQUES PUPE



**NAVEGAÇÃO NA ANTÁRTICA:
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E UMA PROJEÇÃO PARA O FUTURO**

RIO DE JANEIRO

2013

ALEXSANDER MARQUES PUPE

NAVEGAÇÃO NA ANTÁRTICA: mudanças climáticas e uma projeção para o futuro

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: 1T(RM2-T) Vinicius Oliveira

Rio de Janeiro
2013

ALEXSANDER MARQUES PUPE

NAVEGAÇÃO NA ANTÁRTICA: mudanças climáticas e uma projeção para o futuro

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: 1T(RM2-T) Vinicius Oliveira

Graduação em Meteorologia e Mestrado em Meteorologia

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Aos homens e mulheres do mar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que plantou em mim um sonho que hoje se materializa.

Aos meus pais, que foram o instrumento para concretizar o precioso dom que recebi do universo: “a vida”.

A todos os amigos e familiares que compartilharam da minha caminhada e àqueles que mesmo distantes torceram por mim.

Ao mestre Vinicius Oliveira pela sua orientação para que eu pudesse realizar este trabalho.

Finalmente, a todos que fizeram parte desta longa jornada, os meus mais sinceros agradecimentos.

Sei que meu trabalho é uma gota no oceano, mas sem ele, o oceano seria menor.

(MADRE TERESA DE CALCUTÁ)

RESUMO

É um desafio dizer como a Antártica se apresentará nas próximas décadas. Com o ambiente mudando, tais mudanças são fundamentais para cientistas e até para políticos, visto que questões como a elevação e a poluição dos mares contribuem para o desenvolvimento de populações. É estudando o passado que os cientistas podem fazer uma projeção de como será o futuro do planeta Terra. Embora haja uma escassez de estações e recursos para os cientistas, os mesmos utilizam-se de modelos pra se ter uma boa noção e realizar projeções para a mudança climática na região Antártica, região essa ímpar e importante para o equilíbrio do clima das outras regiões do globo. Para entender como funciona o planeta Terra tem-se que estudá-lo cada vez mais como um sistema, uma coleção de partes interdependentes ou esferas, como a litosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera e atmosfera. Entender como essas esferas estão ligadas e como elas interagem melhora a nossa capacidade de prever como uma ou uma combinação delas pode mudar em resposta a forças externas causadas por exemplo, pelo advento de erupções vulcânicas, variabilidade solar ou atividades humanas. Para tentar preencher tais lacunas, as várias bases internacionais na Antártica buscam dados sobre o passado do continente. Retirando cilindros de gelo, os cientistas encontram pistas sobre como era o clima há várias décadas. Eles chamam esses blocos de “testemunhas”. Uma das partes mais remotas do sistema terrestre é a Antártica, um continente maior do que a Austrália ou a Europa. Nós não seremos capazes de entender completamente como o sistema Terra funciona sem o conhecimento abrangente dos processos físicos, biológicos, químicos e geológicos que ocorrem dentro e sobre a Antártica e no seu entorno Oceano Antártico. Este é um grande desafio, uma vez que esses processos ocorrem em alguns dos ambientes mais remotos e hostis na superfície da Terra. Correntes e ondas no oceano global e a atmosfera asseguram que a Antártica é afetada pelo que acontece em outros lugares do planeta. Da mesma forma, os processos oceânicos e atmosféricos garantem que o que acontece na Antártica pode afetar o resto do mundo. É o congelador do mundo. Como conclusão, mesmo com modernas tecnologias disponíveis, ainda tem-se um atraso no desenvolvimento e manutenção para que essas tecnologias sejam usadas para o levantamento de dados climáticos sobre a região Antártica. Uma iniciativa internacional e uma cooperação entre governos tornará viável a implementação de um sistema de observação, fazendo com que dados importantes cheguem aos cientistas e o processo de estudo seja mais eficiente.

Palavras-chave: Navegação na Antártica. Clima na Antártica. Regiões polares.

ABSTRACT

It is a challenge to say how Antarctica will be presented in the coming decades. With the environment changing, such changes are critical to scientists and even politicians, as issues such as pollution and high seas, contribute to the development of populations. Studying the past scientists can make a projection of how the future of planet Earth will be. Although there is a scarcity of stations and resources to the scientists, models are used to get a good feeling and perform projections for climate change in the Antarctic region, unique and important to the balance of the climate of other regions of the globe. To understand how planet Earth works we study it increasingly as a system, a collection of interdependent parts or spheres such as the lithosphere, hydrosphere, cryosphere, biosphere and atmosphere. Understanding how these spheres are connected and how they interact improves our ability to forecast how one or a combination of them may change in response to external forcings caused, for example, by the advent of volcanic eruptions, solar variability or human activities. To try to fill these gaps, several international bases in Antarctica seek information about the past of the continent. Removing ice cores, scientists find clues about how the climate was decades ago. They call these blocks of "witnesses". One of the remotest parts of the Earth system is Antarctica, a continent larger than either Australia or Europe. We will not be able to fully understand how the Earth system works without comprehensive knowledge of the physical, biological, chemical and geological processes taking place within and above Antarctica and its surrounding Southern Ocean. That is a huge challenge given that these processes can take place among some of the remotest and harshest environments anywhere on the Earth's surface. Currents and waves in the global ocean and the atmosphere ensure that Antarctica is affected by what happens elsewhere on the planet. Equally, ocean and atmospheric processes ensure that what happens in Antarctica may affect the rest of the world. It is the world's freezer. In conclusion, even with modern technology available, yet it has been a delay in the development and maintenance for these technologies to be used for data collection on climate Antarctic region. An international initiative and cooperation between governments make feasible the implementation of an observation system, so that important data come to scientists and so study process can be more efficient.

Keywords: Navigation in Antarctica. Climate in Antarctica. Polar regions.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de costa ao longo da Antártica. Fonte: Drewry, 1983.....	22
--	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Superfície do Oceano Pacífico encontrando a Camada Limite Planetária (CLP) e a troposfera. Fonte: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/	16
Figura 2: A divisão do oceano em zonas. Fonte: http://kingfish.coastal.edu/	18
Figura 3: O Oceano Glaciar Antártico. Fonte: http://go.hrw.com/atlas/	19
Figura 4: O relevo ao redor da Antártica. Fonte: http://go.hrw.com/atlas/	20
Figura 5: Localização as regiões polares. Fonte: http://www.grida.no/polar/	21
Figura 6: Imagem colorida da elevação e do relevo do continente. Fonte: http://www.zonu.com/	23
Figura 7: Mapa do continente Antártico. Fonte: http://www.nationsonline.org/	24
Figura 8: Estação Polo Sul Amundsen-Scott durante a longa noite antártica. Fonte: http://www.southpolestation.com/	26
Figura 9: Navio navegando no gelo. Fonte: http://www.martechpolar.com/	27
Figura 10: Navio enfrentando o gelo. Fonte: http://shipbuildingtribune.com/	28
Figura 11: Navio navegando rodeado por gelo. Fonte: http://www.nrcan.gc.ca/	29
Figura 12: Estaleiro construindo um navio quebra-gelo. Fonte: http://www.marinelink.com/	30
Figura 13: Visibilidade reduzida na Antártica. Fonte: http://www.martechpolar.com/	30

Figura 14: Navio quebra-gelo russo Krasin abrindo caminho para um navio de suprimento dos Estados Unidos até a estação McMurdo, Antártica. Fonte: http://www.martechpolar.com/	33
Figura 15: Tendência de temperatura em °C/década de 1960-2000 para o inverno (Junho-Agosto). Fonte: http://www.scar.org/	36
Figura 16: Tendências de temperatura da superfície em °C/década de 1960-2000 para o inverno (Junho-Agosto). Os quatro quadros diferentes seguem o clima previsto pelo IPCC para o século XXI e usa as mesmas variáveis antropogênicas. Fonte: http://www.scar.org/	37
Figura 17: Tendência de temperatura superficial ao longo do século XXI em °C/década. Fonte: http://www.scar.org/	39
Figura 18: Mudança de temperatura superficial ao longo do século XXI em °C/década. (a) Dezembro-Fevereiro, (b) Março-Maio, (c) Junho-Agosto e (d) Setembro-Novembro. Fonte: http://www.scar.org/	40
Figura 19: A diferença zonal média entre (a) temperatura (°C) e (b) salinidade (psu) e a média dos 19 modelos para o período 1981-2000 sobreposta sobre a batimetria. Fonte: World Ocean Atlas, 2001	41
Figura 20: Mudança da temperatura da superfície do mar (TSM) para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100. Fonte: http://www.scar.org/	43
Figura 21: Mudança da salinidade da superfície do mar (SSM) para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100. Fonte: http://www.scar.org/	44
Figura 22: Mudança da temperatura do oceano a 200 metros para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2100. Fonte: http://www.scar.org/	45
Figura 23: Mudança da salinidade a 200 metros para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100. Fonte: http://www.scar.org/	46

Figura 24: Corte transversal zonal médio da diferença de temperatura do oceano para o (a) verão e para o (b) inverno, entre 2000 e 2100, sobrepostas sobre a batimetria. Fonte: <http://www.scar.org/>47

Figura 25: Corte transversal zonal médio da diferença de salinidade para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100, sobrepostas sobre a batimetria. Fonte: <http://www.scar.org/>48

Figura 26: Mudança na concentração de banquias no século XXI para (a) Dezembro-Fevereiro, (b) Março-Maio, (c) Junho-Agosto e (d) Setembro, mostrando a diferença entre a média de 2080-2099 e a média 2004-2023. As mudanças são representadas em termos de fração da superfície coberta pela banquisa, ao invés de porcentagem da banquisa, uma vez que esta mostraria infinitos aumentos onde concentrações eram inicialmente inexistentes (ou muito pequenas). Fonte: <http://www.scar.org/>50

Figura 27: Relação sinal-ruído de projeções da redução da banquisa. Fonte: <http://www.scar.org/>51

Figura 28: Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para o período de 1948-2010 para o Hemisfério Norte. Fonte: ESRL/PSD/NOAA55

Figura 29: Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para o período de 1948-2010 para o Hemisfério Sul. Fonte: ESRL/PSD/NOAA56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo	15
2 OS OCEANOS	16
2.1 O Oceano Glaciar Antártico	19
3 AS REGIÕES POLARES	21
3.1 A Antártica	21
3.2 Pesquisa na Antártica.....	25
4 NAVEGAÇÃO NAS REGIÕES POLARES	27
4.1 Resistência do navio	27
4.2 Manobrabilidade do navio	28
4.3 Capacidade estrutural	29
4.4 Fatores meteorológicos que afetam a navegação nas regiões polares	30
4.5 Operações com navios quebra-gelo	32
5 ANTÁRTICA: O CLIMA	34
5.1 Mudanças climáticas na Antártica: os próximos 100 anos.....	35
5.1.1 Gases do efeito estufa.....	35

5.1.2 Temperatura.....	35
5.1.3 Circulação atmosférica	36
5.1.4 Mudança de temperatura para o século XXI	38
5.1.5 Projeções da circulação oceânica e massas de água para o século XXI.....	40
5.1.6 Mudanças nas banquisas ao longo do século XXI	49
5.1.7 A criosfera terrestre	51
5.1.8 Projeções do nível do mar na Antártica e nas águas do Oceano Antártico até 2100.....	52
5.1.9 A influência do ciclo lunar para o aumento do nível do mar	54
5.1.10 A influência do El Niño na variação da massa de gelo da Antártica.....	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

Determinar como o ambiente da Antártica irá evoluir ao longo do século XXI apresenta muitos desafios, mas é uma questão de grande interesse para os cientistas e políticos preocupados com questões tão diversas como a elevação do nível do mar e a população de peixes. Muito já foi alcançado ao adquirir conhecimento dos processos físico, biológico, químico e geológico da Antártica, especialmente uma vez que foi estabelecida uma rede de estações científicas permanentes pela primeira vez no continente durante o Ano Geofísico Internacional de 1957-1958.

Um grande problema é que ainda temos uma má compreensão dos mecanismos por trás de muitas das mudanças observadas nas últimas décadas. Este é particularmente o caso do oceano, onde temos algumas longas séries de medições físicas e notavelmente poucas espacialmente e temporalmente bem separadas das observações da biota marinha. Mais resultados surgirão a partir do Ano Polar Internacional de 2007-2008, recentemente completado. No entanto, os aspectos práticos e despesas envolvidas em se levar cientistas a esses lugares remotos e hostis significa que esta região ficará sub-amostrada para os próximos anos, restringindo o que pode ser conseguido ao que será visto usando tanto a compreensão quanto a previsão.

A evolução do clima da Antártica durante os próximos 100 anos, só pode ser projetada através da utilização de modelos atmosfera-oceano-gelo interligados. Estes têm os seus limites em simular corretamente as mudanças observadas que já ocorreram, por isso ainda há um grau de incerteza sobre as projeções de modelos, especialmente na escala regional. Os modelos utilizados no Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR4) (IPCC, 2007) trouxe uma ampla gama de projeções para alguns aspectos do sistema climático da Antártica. Neste caso, da extensão da banquisa (bancos de gelo) que não era inteiramente surpreendente, uma vez que esta é muito sensível a mudanças nas condições tanto atmosféricas quanto oceânicas. O relatório do IPCC tomou uma estimativa média de 20 Modelos de Circulação Geral Atmosfera-Oceano (MCGAOs) sem levar em conta como os modelos individuais atuavam globalmente ou regionalmente. As projeções do modelo de temperatura e precipitação foram usadas para estimar o quanto o nível do mar subiria sob vários cenários de emissões de gases de efeito estufa. Com uma quantidade tal como a temperatura do ar perto da superfície é possível utilizar as projeções dos vários modelos diferentes para se obter estimativas de como a temperatura pode variar na terra e no mar.

O componente atmosférico da próxima geração de modelos climáticos deve ser interativo se quisermos obter projeções significativas da futura extensão e espessura da camada de ozônio sobre a Antártica, o que terá um impacto claramente no clima futuro da superfície na Antártica, como mostrado por Perlwitz et al. (2008).

Uma questão extremamente importante para os cientistas e formuladores de políticas, uma vez que se determina que o nível do mar pode mudar, é como o manto de gelo da Antártica vai mudar nas próximas décadas. Os modelos podem estimar como a precipitação sobre o continente pode mudar, mas a atual geração de modelos de manto de gelo não pode ajudar a respeito de possíveis mudanças dinâmicas que possam ocorrer no fluxo das geleiras e correntes de gelo, ou o derretimento induzido pelo oceano na margem de gelo.

Neste estudo será considerado como o ambiente físico da Antártica pode mudar ao longo do próximo século.

1.1 Objetivo

Este estudo tem por objetivo fornecer uma ideia atualizada de como o ambiente físico do continente Antártico e do Oceano Austral mudou desde os anos passados até os dias atuais, em um mundo onde as concentrações de gases de efeito estufa estão muito mais elevadas em comparação com as concentrações nos últimos séculos. A Antártica é um sistema altamente interligado com interações não-lineares entre atmosfera, oceano, gelo e biota, juntamente com ligações complexas com o resto do sistema Terra. Na preparação deste estudo a abordagem tem sido altamente dedicada a navegação nas regiões polares e ao estudo climático para o século XXI na região da Antártica, com o objetivo de refletir a importância do continente em questões globais, como a elevação do nível do mar.

2 OS OCEANOS

Um oceano é um corpo de água salina que compõe uma grande parte da hidrosfera de um planeta. No contexto da Terra, refere-se a uma ou a todas as principais divisões do oceano global, que em ordem decrescente de área são: o Oceano Pacífico, o Oceano Atlântico, o Oceano Índico, o Oceano Glaciar Antártico e o Oceano Glaciar Ártico. A palavra “mar” é frequentemente usada para se referir a um corpo de água salina (possivelmente uma divisão do oceano global) envolta parcialmente ou totalmente por terra.

Figura 1: Superfície do Oceano Pacífico encontrando a Camada Limite Planetária (CLP) e a troposfera



Fonte: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>

A Terra é o único dos planetas conhecidos a ter um oceano ou qualquer grande quantidade de água líquida na superfície. Aproximadamente 70,8% da superfície do planeta (aproximadamente $3,6 \times 10^8$ quilômetros quadrados) é coberta por água salina, que é costumeiramente dividida em muitos oceanos principais e mares menores. Em termos de hidrosfera da Terra, o oceano contém 97% da água do planeta. Oceanógrafos afirmam que desses 97%, apenas 5% do oceano como um todo tem sido realmente explorado. Por ser o principal componente da hidrosfera terrestre, o oceano global é parte integrante de toda forma de vida conhecida, forma parte do ciclo do carbono e influencia nos padrões climáticos e de tempo. O volume total é de aproximadamente 1,4 bilhões de quilômetros cúbicos com uma

profundidade média de aproximadamente 3.800 metros. É o habitat de 230.000 espécies conhecidas, embora muito do que há no fundo do oceano ainda permaneça inexplorado. A origem dos oceanos da Terra é ainda desconhecida, mas acredita-se que tenha sido formado no período Hadeano (que começou há cerca de 4,57 bilhões de anos, com o princípio do processo de formação dos planetas do Sistema Solar, e terminou, na Terra, há aproximadamente 3,85 bilhões de anos, quando surgiram as primeiras rochas) e pode ter sido o impulso para o surgimento da vida.

Embora geralmente descrito como muitos oceanos separados, essas águas compreendem um corpo de água salina interconectado globalmente e às vezes referido como oceano global ou oceano mundial. Este conceito de um corpo de água contínuo com contato relativamente livre entre suas partes é de fundamental importância para a oceanografia.

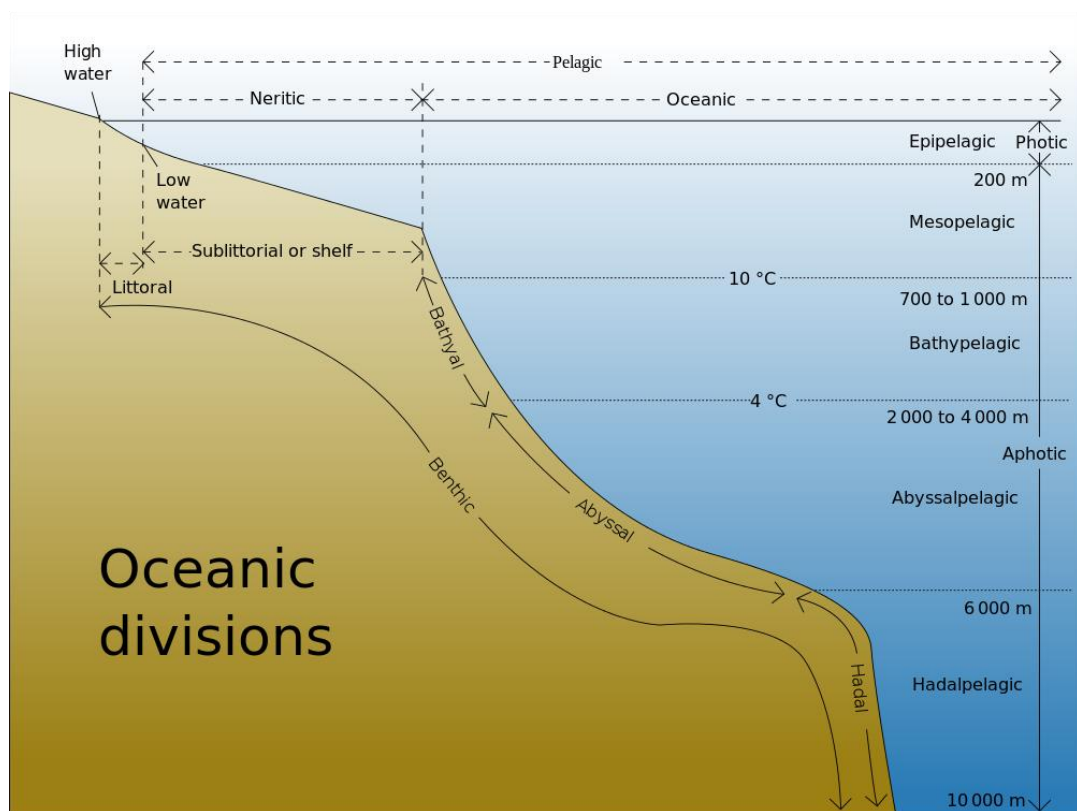
A massa total da hidrosfera é de aproximadamente $1,4 \times 10^{18}$ toneladas, que é aproximadamente 0,023% da massa total da Terra. Sua profundidade máxima é de 10.971 metros. Quase metade das águas marinhas está a mais de 3.000 metros de profundidade. As vastas extensões de oceano profundo (qualquer profundidade maior que 200 metros) cobrem aproximadamente 66% da superfície do planeta. Isto não inclui mares não conectados ao oceano global, como o Mar Cáspio. A água possui uma mistura de vários agentes que contribuem para que ela tenha essa cor azulada. Tais agentes incluem matéria orgânica dissolvida e clorofila.

Oceanógrafos dividem o oceano em diferentes zonas, dependendo das condições físicas e biológicas presentes. A zona pelágica inclui todas as regiões da superfície do oceano e pode ser dividida em mais regiões, categorizadas pela profundidade e abundância de luz. A zona eufótica cobre os oceanos do nível da superfície a 200 metros de profundidade. Esta é a região onde a fotossíntese pode ocorrer e, portanto, é a mais biodiversa. Uma vez que as plantas requerem fotossíntese, a vida encontrada em profundidades maiores do que esta deve ou depender de materiais que afundaram ou encontrar outra fonte de energia. Ventos hidrotermais são a opção primária naquela que é conhecida como zona afótica (profundidades acima de 200 metros). A parte pelágica da zona fótica é conhecida como a epipelágica. A parte pelágica da zona afótica pode ser dividida em regiões que se sucedem verticalmente de acordo com a temperatura. A mesopelágica é a região mais superior. Seu limite mais inferior está em uma termoclina de 12 °C (54 °F), que, nos trópicos, geralmente permanecem a 700-1.000 metros de profundidade. A próxima é a batipelágica, permanecendo entre 10 e 4 °C (50 e 39 °F), geralmente entre 700-1.000 metros e 2.000-4.000 metros de profundidade. Assentando-se ao longo do topo da planície abissal está a abissopelágica, cujo limite mais

inferior permanece a aproximadamente 6.000 metros. A última zona inclui as fossas profundas e é conhecida como a hadopelágica. Esta se assenta entre 6.000-11.000 metros e é a zona oceânica mais profunda.

Junto com as zonas afóticas pelágicas existem também zonas afóticas bentônicas. Estas correspondem às três zonas mais profundas do fundo do oceano. A zona batial cobre o talude continental até aproximadamente 4.000 metros. A zona abissal cobre a planície abissal entre 4.000 e 6.000 metros de profundidade. Por último, a zona hadal corresponde à zona hadopelágica que é encontrada nas fossas oceânicas. A zona pelágica pode também ser dividida em duas sub-regiões, a zona nerítica e a zona oceânica. A nerítica engloba a massa de água diretamente acima da plataforma continental, enquanto a zona oceânica inclui toda a massa de água que não faz parte da zona nerítica, ou seja, afastada da costa e estando em oceano aberto. Em contraste, a zona litorânea cobre a região entre as marés alta e baixa e representa a área de transição entre condições marinhas e terrestres. É também conhecida como a zona intertidal porque é a área onde a altura da maré afeta as condições da região.

Figura 2: A divisão do oceano em zonas



Fonte: <http://kingfish.coastal.edu/>

Viagens percorrendo o oceano remontam aos tempos pré-históricos, mas somente nos tempos modernos que as viagens realizadas abaixo da superfície dele têm se tornado possível. O ponto mais profundo do oceano é a Fossa das Marianas, localizada no Oceano Pacífico perto das Ilhas Marianas do Norte. Sua profundidade máxima é estimada ser de 10.971 metros. O navio britânico Challenger II mapeou a fossa em 1951 e nomeou a parte mais profunda dela como Challenger Deep (Depressão Challenger). Em 1960, o batiscafo Trieste alcançou o fundo da fossa manobrado por uma tripulação de dois homens.

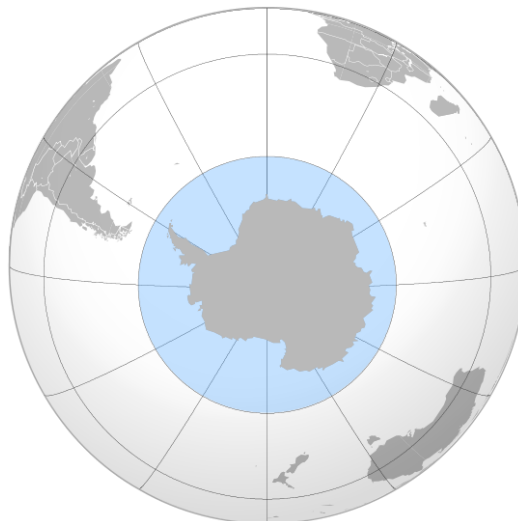
Muito do fundo do oceano permanece ainda inexplorado e não mapeado.

2.1 O Oceano Glaciar Antártico

O Oceano Glaciar Antártico, Oceano Austral ou apenas Oceano Antártico, é o conjunto das águas que banham o continente Antártico, mas que em realidade constituem o prolongamento meridional do Oceano Atlântico, do Oceano Pacífico e do Oceano Índico. Muitos cientistas, oceanógrafos e geógrafos não reconhecem a existência do Oceano Antártico, considerando-o como uma junção de partes dos outros oceanos.

O Oceano Antártico se estende desde a costa da Antártica até a latitude de 60° Sul, limite convencional com o Oceano Atlântico, o Oceano Pacífico e o Oceano Índico. É o penúltimo oceano em extensão (apenas o Oceano Ártico é menor). Formalmente, sua extensão foi definida pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI) no ano 2000 e coincide com os limites fixados pelo Tratado da Antártica.

Figura 3: O Oceano Glaciar Antártico



Fonte: <http://go.hrw.com/atlas/>

O Oceano Antártico é o único a rodear o globo de forma completa, e circula completamente a Antártica. Tem uma superfície de 20.327.000 quilômetros quadrados, que abrange: o Mar de Amundsen, o Mar de Bellingshausen, parte da Passagem de Drake, o Mar de Ross e o Mar de Weddell. A terra firme que tem contato com o oceano tem 17.968 quilômetros de costa.

Juridicamente, pelo Tratado da Antártica, assinado no dia 1 de janeiro de 1956, o Oceano Antártico e o continente Antártico seriam de responsabilidade dos seguintes países, para usos pacíficos e científicos: Chile, Argentina, Austrália, Bélgica, Estados Unidos, Brasil, França, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido, África do Sul e Rússia (como herdeira da União Soviética).

Os glaciares e mantos de gelo antárticos que se estenderam e flutuam sobre a superfície do oceano formam um amplo sistema de plataformas de gelo. Pedacos dessas plataformas que estão ligadas aos glaciares em terra firme se rompem e formam campos de gelo e icebergs.

O Oceano Antártico, com uma profundidade geralmente compreendida entre 4.000 e 5.000 metros, é um oceano profundo com poucas zonas estreitas de águas pouco profundas. A plataforma continental Antártica é estreita e relativamente profunda em relação às outras: dos 400 aos 800 metros contra uma média mundial de 133 metros.

Figura 4: O relevo ao redor da Antártica



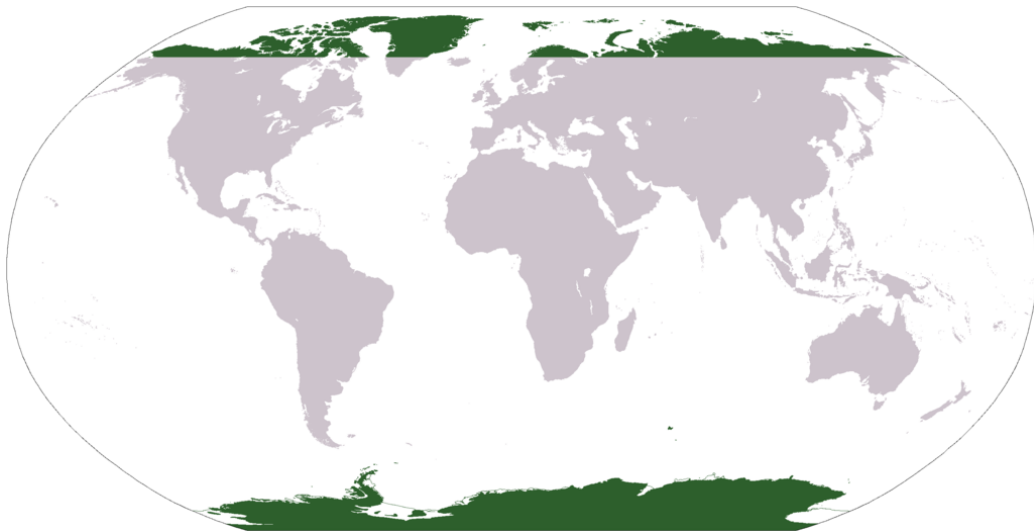
Fonte: <http://go.hrw.com/atlas/>

3 AS REGIÕES POLARES

As regiões polares ou zonas polares são zonas térmicas da Terra, e constituem-se nas regiões compreendidas ao norte do Círculo Polar Ártico ($66^{\circ} 33' 44''$ N), e ao sul do Círculo Polar Antártico ($66^{\circ} 33' 44''$ S). Nas zonas polares a radiação UV que se recebe é mínima, o índice UV não ultrapassa o valor de 5. Além disso, os valores de 5 ocorrem por um período de tempo relativamente curto (somente do final de maio até meados de julho).

Nas zonas polares o dia tem 24 horas de duração no solstício de verão enquanto que, no Solstício de inverno, o Sol somente chega ao horizonte durante o meio-dia. À medida que viajamos mais para o norte, os valores máximos do índice diminuem notavelmente. Por exemplo, na latitude 75° o índice máximo é de 1, no solstício de verão. No período que vai do equinócio de outono ao equinócio de primavera o Sol se encontra abaixo do horizonte no Polo Norte e é dia no Polo Sul.

Figura 5: Localização as regiões polares



Fonte: <http://www.grida.no/polar/>

3.1 A Antártica

Do grego *ανταρκτικός* (*antarktikos*), que quer dizer "oposto ao ártico". Também chamado de Antártida, embora neste trabalho apenas seja usado o termo Antártica. É o mais meridional dos continentes e um dos menores, com uma superfície de 14 milhões de quilômetros quadrados. Rodeia o Polo Sul, e, por esse motivo, está quase completamente coberto por enormes geleiras (glaciares), exceção feita a algumas zonas de elevado aclive nas

cadeias montanhosas e à extremidade norte da península Antártica. Sua formação se deu pela separação do antigo supercontinente Gondwana há aproximadamente 100 milhões de anos e seu resfriamento aconteceu nos últimos 35 milhões de anos.

É o continente mais frio, mais seco, com a maior média de altitude e de maior índice de ventos fortes do planeta. A temperatura mais baixa da Terra (-89,2 °C) foi registrada na Antártica, sendo a temperatura média na costa, durante o verão, de apenas -10 °C; no interior do continente, é de -40 °C. Muitos autores o consideram um grande deserto polar, pela baixa taxa de precipitação no interior do continente. A altitude média da Antártica é de aproximadamente 2.000 metros. Ventos com velocidades de aproximadamente 100 km/h são comuns e podem durar vários dias. Ventos de até 320 km/h já foram registrados na área costeira.

Juridicamente, a Antártica está sujeita ao Tratado da Antártica, pelo qual as várias nações que reivindicavam territórios no continente (Argentina, Austrália, Chile, França, Noruega, Nova Zelândia e Reino Unido) concordam em suspender as suas reivindicações, abrindo o continente à exploração científica.

Por esse motivo e pela dureza das condições climáticas, não tem população permanente, embora tenha uma população provisória de cientistas e pessoal de apoio nas bases polares, que oscila entre mil (no inverno) e quatro mil pessoas (no verão). Dois destes assentamentos com uma população regular (incluindo crianças) são Villa Las Estrellas (do Chile) e Base Esperanza (da Argentina).

Sua costa mede 17.968 quilômetros e é caracterizada por formações de gelo, como mostra a tabela:

Tabela 1: Tipos de costa ao longo da Antártica

Tipo	Ocorrência
Plataforma de gelo (gelo flutuante)	44%
Paredes de gelo (sobre o solo)	38%
Correntes de gelo (limite do gelo ou parede de gelo)	13%
Rocha	5%
Total	100%

Fonte: Drewry, 1983

Aproximadamente 98% da Antártica está coberta por um manto de gelo, que possui em média dois quilômetros de espessura, sendo 4.776 metros sua espessura máxima. Essa cobertura de gelo tem um volume estimado em 25,4 milhões de quilômetros cúbicos, contendo 70% de toda a água doce do planeta sendo assim o continente de maior altitude média. O gelo advindo do manto forma barreiras que se estendem para além da costa, conhecidas como plataformas de gelo, a maior das quais é a de Ross (com 800 quilômetros de largura e estendendo-se por 1000 quilômetros em direção ao Polo Sul). Os icebergs são blocos de gelo flutuantes formados pela neve, desprendidos das geleiras ou das plataformas de gelo. Embora a maior parte da massa continental da Antártica se encontre acima do nível do mar, uma grande parte da pequena Antártica Ocidental encontra-se abaixo do nível do mar.

Figura 6: Imagem colorida da elevação e do relevo do continente



Fonte: <http://www.zonu.com/>

Em grande parte do interior do continente a precipitação média anual fica entre 30 e 70 milímetros; em algumas áreas de "gelo azul" a precipitação é mais baixa do que a perda de massa pela sublimação e, assim, o balanço local é negativo. Nos vales secos o mesmo efeito ocorre sobre uma base de rochas, conduzindo a uma paisagem esturricada.

Abriga o polo geográfico Sul do planeta, a 90° de latitude Sul, e o polo magnético, cuja localização não é fixa. Apenas a península Antártica, com 1.000 quilômetros de extensão, não está sempre coberta por gelo. O relevo é marcado pelos montes Transantárticos, prolongamento geológico dos Andes. Eles dividem o continente em Antártica Oriental, ou Maior, com planícies, colinas baixas e a geleira Lambert (a maior do mundo), e Antártica Ocidental, ou Menor, com arquipélagos ligados pela cobertura de gelo permanente. As banquisas formadas por água do mar congelado se confunde com o contorno do continente.

alguns rios no continente, o maior dos quais é o rio Onyx, com 30 quilômetros de extensão, que deságua no lago Vanda a 75 metros de profundidade.

3.2 Pesquisa na Antártica

Hoje, 29 países possuem bases científicas na Antártica. São eles: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, Brasil, Bélgica, Bulgária, Chile, China, Coreia do Sul, Equador, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Índia, Itália, Japão, Nova Zelândia, Noruega, Peru, Polônia, Reino Unido, República Tcheca, Romênia, Rússia, Suécia, Ucrânia e Uruguai.

Cientistas conduzem experimentos de reprodução impossível em outros lugares do mundo. No verão mais de quatro mil cientistas operam estações de pesquisa e este número diminui para quase mil no inverno. A estação McMurdo é capaz de abrigar mais de mil cientistas, visitantes e turistas. Entre os cientistas, incluem-se biólogos, geólogos, oceanógrafos, físicos, astrônomos, glaciólogos e meteorologistas. Geólogos estudam em geral o tectonismo das placas na região Antártica, meteoritos do espaço e vestígios do período da divisão da Gondwana; mais de nove mil fragmentos de meteoritos já foram recolhidos na Antártica, dentre eles um meteorito de 4 bilhões de anos que, aparentemente, se despreendeu de Marte.

Glaciólogos ocupam-se com o estudo da história e da dinâmica do gelo flutuante, da neve, das geleiras, e dos mantos de gelo. Já os biólogos, além de estudar os animais selvagens, estão interessados em como as baixas temperaturas e a presença dos seres humanos afetam a sobrevivência de uma grande variedade de espécies. Médicos fizeram descobertas a respeito da propagação de viroses e da resposta do corpo às temperaturas extremas. Astrofísicos da Estação Polo Sul Amundsen-Scott podem estudar o céu e a radiação cósmica de fundo em micro-ondas por causa do buraco na camada de ozônio e do ambiente seco. O gelo Antártico serve como meio de proteção para o maior telescópio de detecção de neutrinos do mundo, construído dois quilômetros abaixo da estação Amundsen-Scott.

Desde os anos 70 um foco importante de estudos tem sido a camada de ozônio acima da Antártica. Em 1985, três cientistas britânicos que trabalhavam com dados que haviam recolhido na Estação Halley descobriram a existência de um buraco nessa camada. Em 1998, informações de satélites da NASA mostraram que o buraco na camada de ozônio era o maior desde que foi notado, cobrindo 27 milhões de quilômetros quadrados.

Figura 8: Estação Polo Sul Amundsen-Scott durante a longa noite antártica



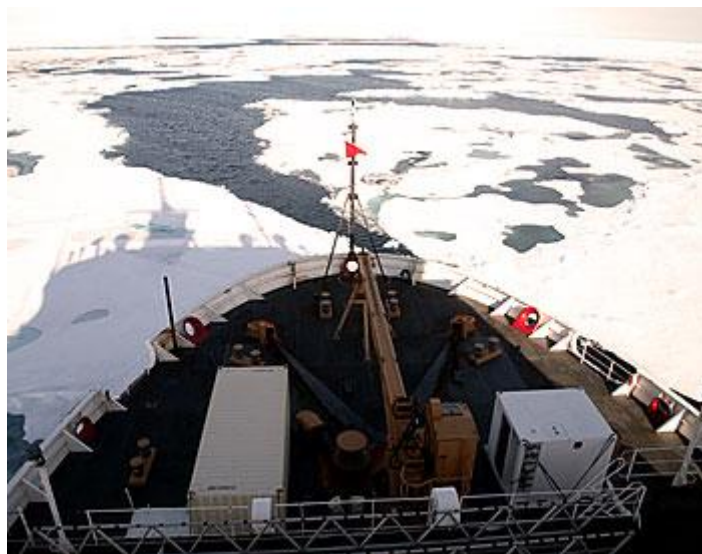
Fonte: <http://www.southpolestation.com/>

4 NAVEGAÇÃO NAS REGIÕES POLARES

As condições de gelo são afetadas pelo vento e número de dias abaixo do ponto de congelamento da água. A água pura mantida a 1 atmosfera, congela a 0 °C (273 Kelvin); quando está impura e as proporções de impurezas são baixas, o congelamento acontece inferior a 273 Kelvin. Isso acontece porque o conceito de solidificação é a estrutura geométrica organizada das moléculas, e estruturas impuras possuem uma complicação na hora de se organizarem, precisando diminuir mais ainda, nesse caso, para o líquido solidificar-se. Por isso apresentam desafios especiais em termos de assegurar uma navegação segura e manter prazos de tempo precisos. Estas condições, nos seus piores momentos, podem obstruir inteiramente a passagem e até mesmo amassar ou causar severos danos ao casco de embarcações que trafegam nas regiões com ocorrência de gelo.

A habilidade de selecionar a melhor derrota é fundamentalmente afetada pelas propriedades do gelo. O gelo pode ser estriado e pode fazer com que o navio fique preso por ele ou pode ser um banco de gelo sólido de até um metro de espessura. A navegação no gelo é também afetada pelo tamanho de um determinado campo de gelo, a espessura do gelo e a direção e velocidade do vento nessa região. Uma navegação no gelo segura somente pode ser garantida com larga experiência na navegação no inverno e informações de tempo e gelo confiáveis e em tempo real. Tripulantes experientes na navegação no gelo estão hábeis a “ler” as condições de gelo e a prever o movimento e o comportamento do mesmo.

Figura 9: Navio navegando no gelo



Fonte: <http://www.martechpolar.com/>

4.1 Resistência do navio

A resistência de um navio é maior quando se navega no gelo. Conforme a espessura do gelo aumenta, o navio aumenta a força para manter sua velocidade. No entanto, em concentrações de gelo mais pesado e na superfície, a tripulação do navio deve estar atenta para evitar uma velocidade excessiva.

Quando a espessura do gelo excede aquela na qual o navio consegue progredir continuamente, o navio pode forçar a passagem se sua estrutura permitir.

A influência do gelo sobre o desempenho do navio varia diretamente com a espessura e o tipo de gelo, e aumenta em muito a resistência do navio. O coeficiente de fricção entre o gelo e o casco do navio varia com a consistência e umidade do gelo; gelo mais úmido tem um coeficiente de fricção maior. Em certas condições ambientais o gelo será bastante “pegajoso”, enquanto que, em outras, ele será muito seco e quebradiço. Revestimentos de baixo atrito e forma do casco são elementos importantes no desempenho do navio no gelo coberto por neve.

Figura 10: Navio enfrentando o gelo



Fonte: <http://shipbuildingtribune.com/>

4.2 Manobrabilidade do navio

As características da forma do casco que influenciam a manobrabilidade no gelo na maioria das vezes são a razão comprimento-boca, seção a meio-navio e formas da proa e da popa. A manobrabilidade também é muito influenciada pelas condições de gelo, tais como: espessura, cobertura, pressão e condições da zona de cisalhamento. O diâmetro da curva de giro de um navio aumenta conforme a espessura o gelo aumenta. A guinada em outras condições é geralmente influenciada pelo grau de confinamento imposto pelo gelo ao redor. No entanto, guinadas francas e positivas raramente são usadas no gelo, devido aos obstáculos encontrados.

Figura 11: Navio navegando rodeado por gelo



Fonte: <http://www.nrcan.gc.ca/>

4.3 Capacidade estrutural

O desempenho de um navio no gelo pode ser limitado pela capacidade da estrutura em resistir a impactos de gelo. Diferentes tipos de operação e regimes de gelo irão gerar diferentes magnitudes de forças de impacto. Por exemplo, um navio encontrando gelo de apenas um ano experimentará forças de impacto mais baixas do que um navio encontrando gelo antigo, ou um navio que precisa forçar sua passagem agressivamente com a intenção de proteger navios ou estruturas menos capazes. Em termos gerais, forçar a passagem através de uma região com gelo gera as maiores forças sobre a estrutura do navio.

Figura 12: Estaleiro construindo um navio quebra-gelo



Fonte: <http://www.marinelink.com/>

4.4 Fatores meteorológicos que afetam a navegação nas regiões polares

Com o passar do tempo, foi-se aprimorando as antigas técnicas e criando novas, em especial para as condições só encontradas nas regiões polares, que são de alta latitude. Algumas condições surgem devido aos fatores meteorológicos.

Embora os polos sejam frios, a temperatura na água em geral não é tão extrema, não chegando a congelar durante o verão Antártico devido à temperatura da água ainda estar acima do ponto de congelamento (0 °C). Nessas regiões é grande a incidência de nebulosidade e cerração. O ar muito frio sobre o oceano aberto algumas vezes produz vaporização na superfície, podendo alcançar uma grande altura, fenômeno esse chamado de fumaça gelada ou fumaça do mar, e que diminui a visibilidade e a distância de propagação do som. Ventos fortes são comuns e inversões de temperatura ou fortes descontinuidades no gradiente térmico produzem, às vezes, miragens e valores extremos de refração.

Figura 13: Visibilidade reduzida na Antártica



Fonte: <http://www.martechpolar.com/>

Nas regiões polares e subpolares, o principal perigo para os navios ainda é o gelo, pois este pode ser formado pelo congelamento da água do mar ou até mesmo formado em terra e se desprender e derivar pelo oceano. Quando o céu é coberto por uma camada uniforme de nuvens cirrostratus ou altostratus e os acidentes de superfície são mascarados pela neve, a linha do horizonte deixa de existir e tudo o que se vê é uma extensão branca sem interrupções, tornando-se impossível estimar distâncias. Na Antártica, as correntes marítimas podem ser fortes e a circulação geral ao largo é para leste, ou no sentido horário, em torno do continente. Próxima da costa, entretanto, uma corrente mais fraca, fluindo para oeste, ou no sentido anti-horário, pode ser encontrada. Além disso, há também muitas correntes locais.

Alguns dos principais problemas para a navegação nas regiões polares (MIGUENS, 1996):

- a) altas latitudes;
- b) rápida convergência dos meridianos (as noções de hora e longitude perdem sua correlação normal);
- c) movimento diurno dos astros quase horizontal;
- d) períodos prolongados de claridade, crepúsculos e semi-escuridão;
- e) temperaturas médias muito baixas;
- f) verões curtos e frios; invernos longos e rigorosos;
- g) sensação térmica elevada (“wind-chill factor”);
- h) razão de evaporação baixa;
- i) pouca precipitação;
- j) ar seco (umidade absoluta baixa);
- k) condições excelentes de propagação do som;
- l) cerração e nebulosidade intensas;
- m) períodos de excelente visibilidade;
- n) grande número e variedade de miragens;
- o) refração anormal e falsos horizontes;
- p) perigo constante de gelo no mar;
- q) áreas de gelo permanente marítimo e terrestre;
- r) áreas de solo permanentemente congelado;
- s) congelamento de parte do oceano;
- t) atividade auroral intensa;
- u) grandes áreas com fraca intensidade horizontal do campo magnético terrestre;
- v) tempestades magnéticas intensas;

- w) propagação incerta das ondas eletromagnéticas;
- x) ventos fortes e mares tempestuosos (na região antártica);
- y) tempestades de neve;
- z) cartas náuticas não confiáveis;
- aa) limitações da agulha giroscópica nas altas Latitudes;
- bb) imprecisões da agulha magnética nas regiões polares;
- cc) limitações da projeção de Mercator nas altas Latitudes;
- dd) ausência de auxílios à navegação nas regiões polares.

4.5 Operações com navios quebra-gelo

Um navio quebra-gelo é um navio especialmente projetado, cuja proa tem um formato apropriado para a quebra de gelo, que o permite navegar através de águas cobertas por gelo.

Enquanto um navio normal de alto mar tem um proa mais ou menos vertical, geralmente com um bulbo submerso, os navios quebra-gelo têm uma proa semelhante a uma rampa invertida. Ao forçar caminho com máquinas a vante, esta rampa impele a proa do navio para cima. Existe uma altura em que o peso do navio é tão grande que o gelo não suporta mais e quebra.

Atualmente, existem novos tipos de navios quebra-gelo equipados com azipods, montados a vante, funcionando como propulsor e como picador de gelo. Existem também os navios quebra-gelo com propulsão nuclear.

Embora às vezes usado para pesquisa polar, a maioria dos navios quebra-gelo hoje são necessários para manter as rotas de comércio abertas, onde há condições de gelo sazonal ou permanente, bem como para escolta de navios mercantes em águas infestadas de gelo. Navios quebra-gelo são caros de se construir e muito caro para ser mantido, seja o navio alimentado por motores a diesel, turbinas a gás ou a energia nuclear. Eles são desconfortáveis para se viajar pois, devido ao constante movimento causado pela quebra do gelo grosso contínuo, causam ruído e vibração.

Navios quebra-gelo modernos podem ter uma ou mais das seguintes características especiais destinadas a impedir que o navio fique preso no gelo ou ajudá-lo a libertar-se se isto ocorrer: hélices tanto na proa quanto na popa, propulsores azimutais, bombas para mover o lastro de um lado para o outro, e furos no casco abaixo da linha d'água para ejetar as bolhas de ar. Muitos navios quebra-gelo também carregam helicópteros para auxiliar no reconhecimento e ligação com outros navios e instalações de terra.

Figura 14: Navio quebra-gelo russo Krasin abrindo caminho para um navio de suprimento dos Estados Unidos até a estação McMurdo, Antártica



Fonte: <http://www.martechpolar.com/>

5 ANTÁRTICA: O CLIMA

O clima da Antártica é o mais frio da Terra, sendo a menor temperatura já documentada de $-89.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ela também é extremamente seca, com uma média anual de precipitação entre 30 e 70 milímetros; contudo, na maior parte do continente, a neve nunca derrete e é comprimida até transformar-se em geleiras que formam plataformas de gelo.

As temperaturas médias em sua região central ficam entre $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo a menor temperatura do mundo, $-89\text{ }^{\circ}\text{C}$, muito gelado, documentada na base russa de Vostok, a aproximadamente 3.400 metros de altitude no dia 21 de Julho de 1983. Devido à influência das correntes marítimas, as zonas costeiras apresentam temperaturas entre os $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Estima-se que apesar dos seis meses de escuridão do inverno, a incidência da energia solar no Polo Sul seja semelhante à recebida anualmente no Equador, mas 75% dessa energia é refletida pela superfície de gelo.

A Antártica Oriental é mais fria que a Ocidental por ser mais elevada. Massas de ar raramente penetram muito no continente, deixando seu interior frio e seco. O gelo no interior do continente dura muito, apesar da falta de precipitação para renová-lo. A queda de neve não é incomum no litoral, onde já se registrou a queda de 1,22 metros em 48 horas. Também é um continente com ventos fortes, registrando-se ventos com velocidades superiores a 140 km/h nas costas. No interior, entretanto, as velocidades são tipicamente moderadas.

A Antártica é mais fria do que o Ártico por dois motivos: em primeiro lugar, grande parte do continente está a mais de três quilômetros acima do nível do mar. Em segundo lugar, a área do Polo Norte é coberta pelo Oceano Ártico e o relativo calor do oceano é transferido através do gelo, impedindo que as temperaturas nas regiões árticas alcancem os extremos típicos da superfície da Terra no Sul.

A precipitação média anual na Antártica fica entre 30 e 70 milímetros, mas ela varia largamente de região para região, da grande quantidade na península Antártica (metros por ano) a valores muito baixos, semelhantes aos de um deserto (décimos de milímetros por ano) no interior. A maior parte da precipitação na Antártica se dá na forma de neve.

5.1 Mudanças climáticas na Antártica: os próximos 100 anos

5.1.1 Gases do efeito estufa

Dada a informação sobre o clima contida em relatórios do IPCC (IPCC, 2007), o grau ao qual o clima da Terra irá mudar durante o próximo século dependerá quase que exclusivamente do sucesso dos esforços para se reduzir a taxa de emissões de gases do efeito estufa. A Antártica está muito longe dos centros principais de população, mas os gases do efeito estufa estão bem misturados em meio a sua atmosfera. Mesmo com drásticas reduções agora na produção dos gases do efeito estufa, levará algum tempo para que os níveis desses gases diminuam. Por exemplo, mesmo se emissões antropogênicas de CO₂ fossem interrompidas agora, estudos recentes indicam que 25% do CO₂ dos combustíveis fósseis persistiriam indefinidamente na atmosfera (ARCHER, 2005; MATHEWS e CALDERIA, 2008), e Salomon et al., 2009, mostra que a mudança climática resultante dos aumentos em concentração de CO₂ na atmosfera é irreversível até 1.000 anos depois que a emissão para.

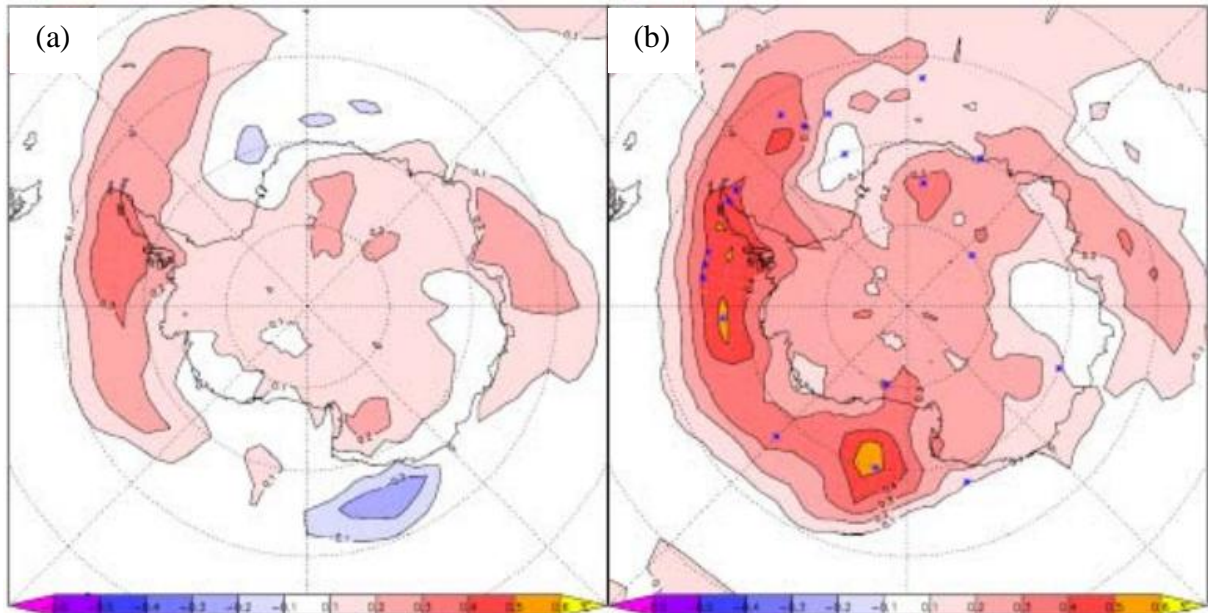
Futuros níveis de emissão de gases do efeito estufa serão determinados pelas complexas interações entre muitos fatores, tais como mudanças na indústria do petróleo, gás, nuclear e renováveis, a busca por uma eficiência energética, o aumento da população, o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, o tamanho do desmatamento e reflorestamento e desenvolvimentos econômicos – notadamente o crescimento de maiores economias na China, Índia e Brasil. O caminho da evolução futura de gases do efeito estufa e aerossóis é portanto incerta. Não obstante, algumas suposições precisam ser feitas para efeitos de determinação de como a Antártica pode ser afetada pela mudança climática.

5.1.2 Temperatura

Observações de estações (TURNER et al., 2005) mostram uma tendência máxima de aumento de temperatura desde 1958 no lado oeste da península Antártica, com mudanças menores e geralmente insignificantes na parte oriental. Como não há muitas estações de observação na parte ocidental, dados de satélites têm sido interpolados para se avaliar as mudanças de temperatura na região. Estudos em andamento mostram tendências significantes de aquecimento que se estende para além da região da península até grande parte do território da parte ocidental (MONAGHAN et al., 2008; STEIG et al., 2009). Uma vez que observações a longo prazo estejam disponíveis para tendências de temperatura, usa-se dados de 1960 em

diante para se acompanhar as tendências de temperatura. A média do modelo, para Junho-Agosto de 1960-2000, reproduz um aquecimento máximo no inverno sobre a península, mas não se estendendo até o continente em si.

Figura 15: Tendência de temperatura em °C/década de 1960-2000 para o inverno (Junho-Agosto)



Fonte: <http://www.scar.org/>

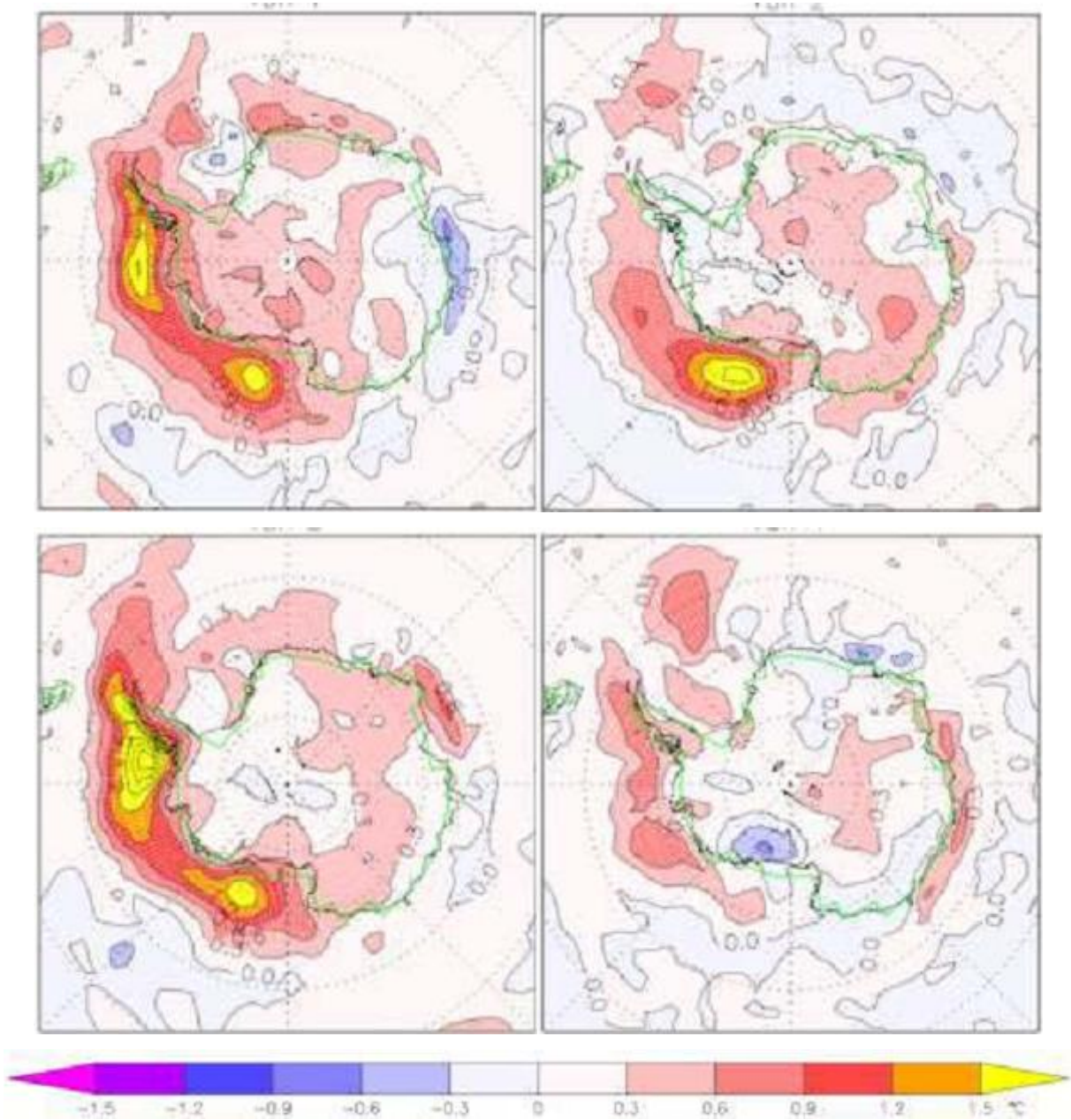
A tendência de temperatura durante o inverno para o período entre 1960 e 2000 é mostrada na Figura 15. A Figura (a), representa a média não ponderada de 19 modelos, já em (b), representa a média ponderada, usando ponderações de acordo com os modelos individuais. Pontos azuis na Figura (b) são as localizações das tendências máximas dos modelos individuais; quatro modelos posicionam a tendência máxima a oeste da península; dois a leste da península; quatro no Mar de Weddell; três nos mares ao redor da Antártica Oriental; três sobre o próprio continente (embora as magnitudes dessas três tendências sejam pequenas); uma na plataforma de gelo Ross e duas no Mar de Ross (adaptado de CONNOLLEY e BRACEGIRDLE, 2007).

5.1.3 Circulação atmosférica

A circulação atmosférica sobre a Antártica e o Oceano Antártico é crítica para a evolução futura do clima global em vários aspectos. Talvez, o mais importante seja o papel da

circulação em definir o acúmulo sobre o manto de gelo Antártico. Outros aspectos de importância incluem o papel da circulação no aquecimento da península Antártica, a distribuição de banquisas, e as variabilidades sazonal e interanual do Hemisfério Sul.

Figura 16: Tendências de temperatura da superfície em °C/década de 1960-2000 para o inverno (Junho-Agosto). Os quatro quadros diferentes seguem o clima previsto pelo IPCC para o século XXI e usa as mesmas variáveis antropogênicas

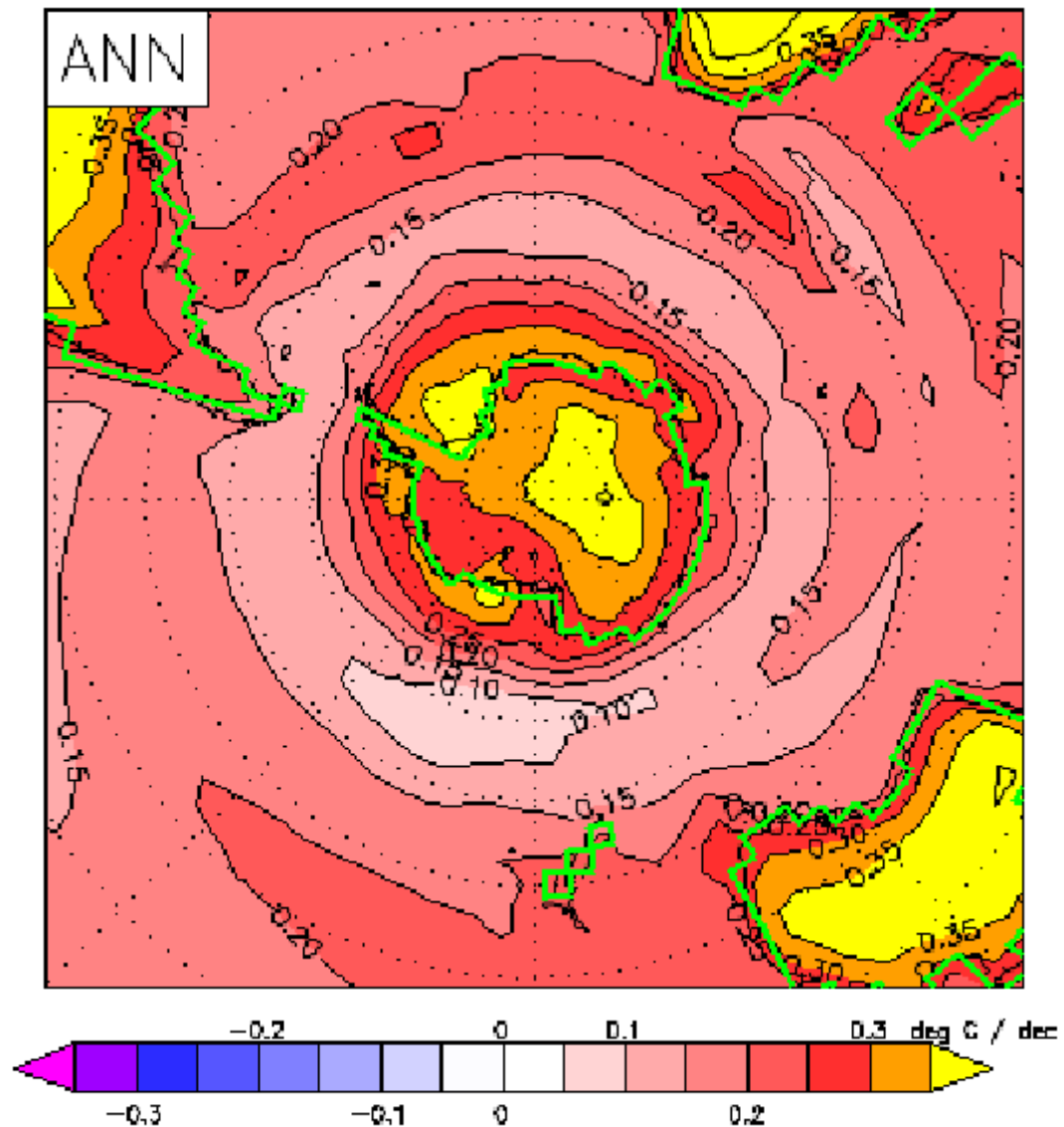


Fonte: <http://www.scar.org/>

5.1.4 Mudança de temperatura para o século XXI

Um aquecimento significativo na superfície é esperado sobre a Antártica para o século XXI. Devido ao recuo da borda da banquisa induzida pelo aquecimento global, o maior aquecimento da superfície projetado ocorre durante o inverno quando a extensão da banquisa aproxima do seu máximo. No interior, longe das regiões costeiras, há muito pouca dependência sazonal da tendência de aquecimento, que em todas as estações é maior sobre o interior da parte leste, que é mais elevada. Apesar deste grande aumento de temperatura, a temperatura da superfície até o ano de 2100 irá permanecer abaixo de zero na maior parte da Antártica e, portanto, não irá contribuir significativamente para o derretimento. O padrão de aquecimento para os próximos 100 anos é diferente entre as simulações e observações de variação de temperatura para a última parte do século XX. A diferença mais notável é que as máximas observada e simulada de aquecimento ao longo da península Antártica para a última parte do século XX não está presente em projeções de mudança ao longo do século XX. Isto porque, embora a península continue a aquecer, outras partes da Antártica se aquecem com ela.

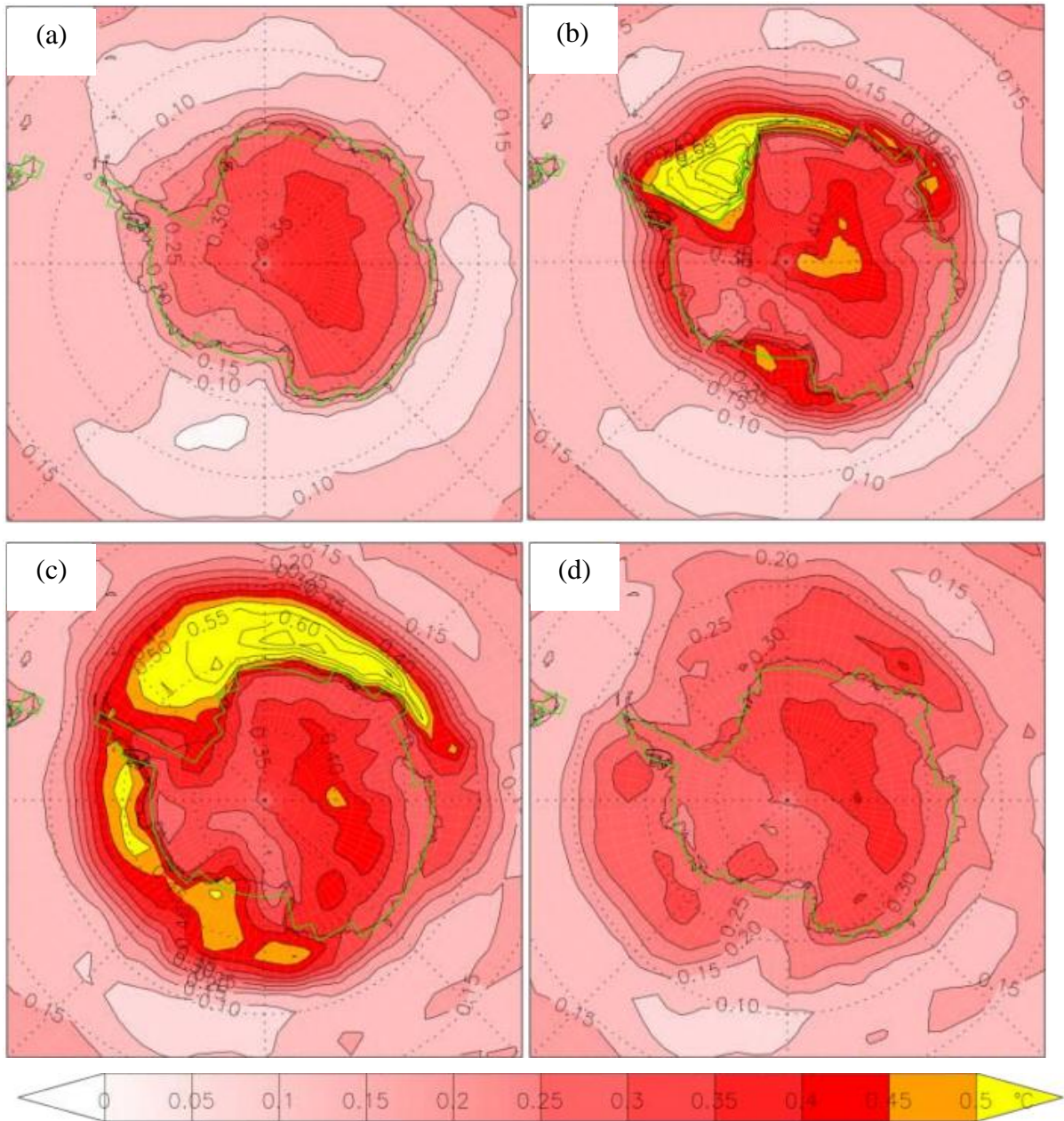
Figura 17: Tendência de temperatura superficial ao longo do século XXI em °C/década



Fonte: <http://www.scar.org/>

De acordo com o relatório do IPCC o aquecimento do continente Antártico é 0,5-1,0 °C menor do que sobre a maioria das outras massas de terra ao redor do mundo (além do sudeste da Ásia e sul da América do sul, onde os aumentos são os mesmos). As razões para isso não são conhecidas. O aquecimento da superfície projetado sobre o Oceano Antártico é muito menor do que a média global devido a grande absorção de calor pelo oceano.

Figura 18: Mudança de temperatura superficial ao longo do século XXI em °C/década. (a) Dezembro-Fevereiro, (b) Março-Maio, (c) Junho-Agosto e (d) Setembro-Novembro



Fonte: <http://www.scar.org/>

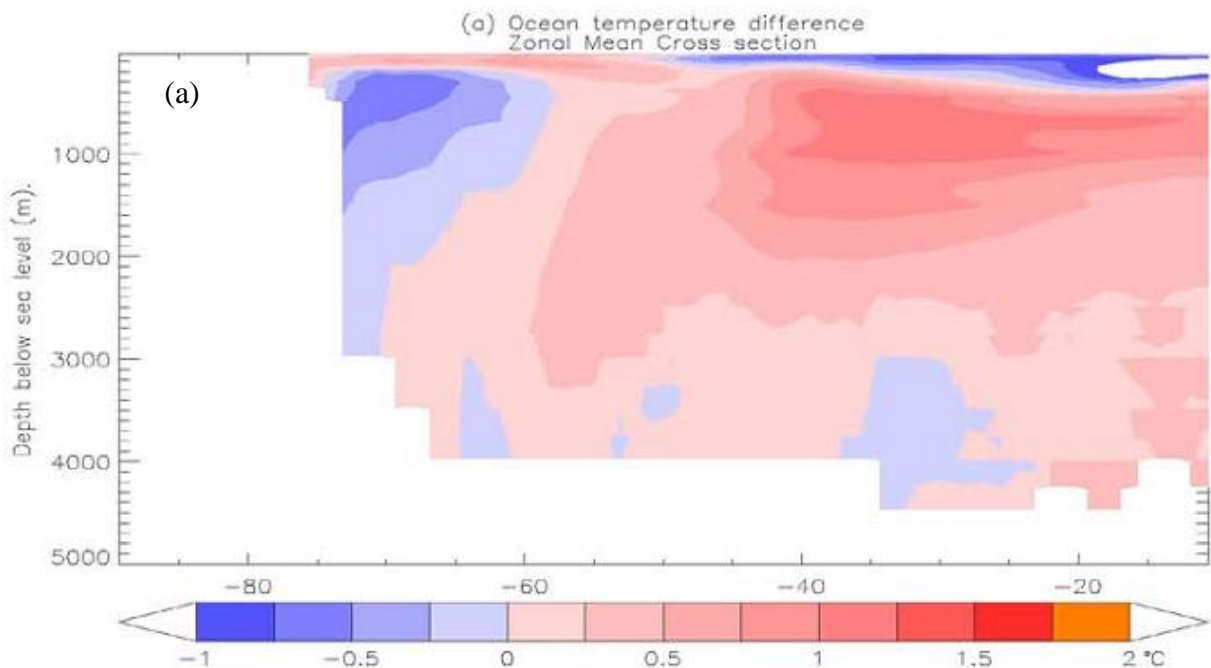
5.1.5 Projeções da circulação oceânica e massas de água para o século XXI

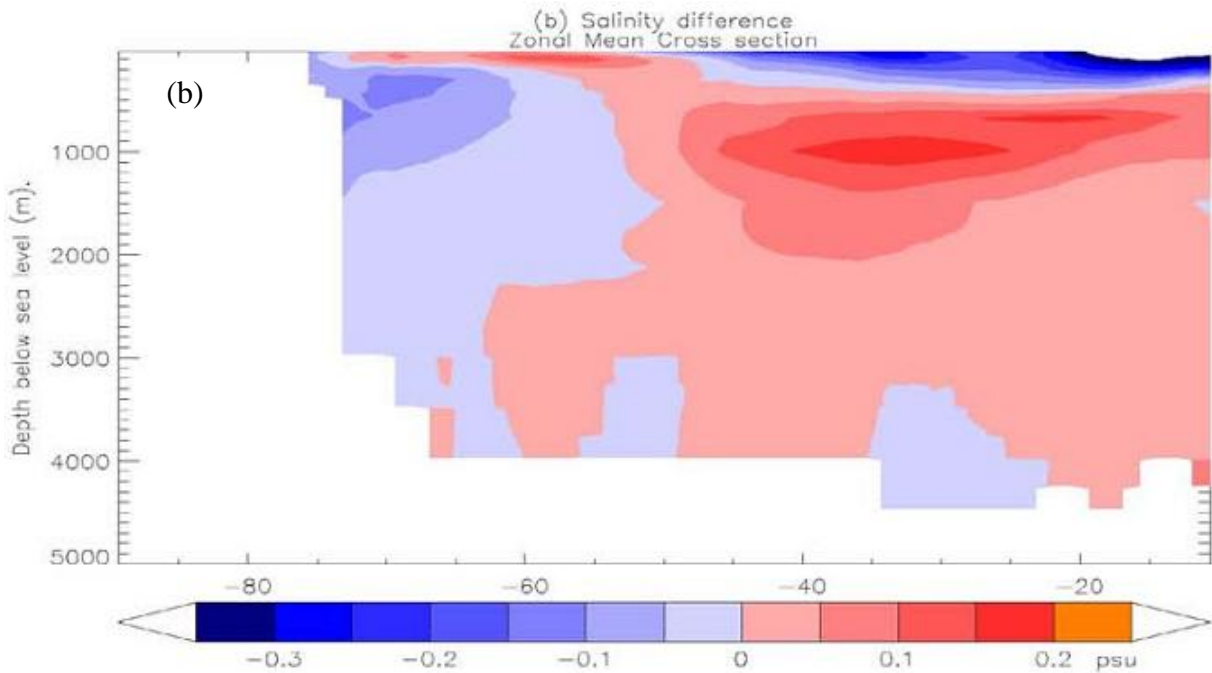
Um estudo de observação recente sobre a evolução do transporte da Corrente Circumpolar Antártica (CCA) ao longo das muitas décadas passadas revelou que não há aumento na inclinação de isopycnals. Isto indica que o transporte de CCA não é sensível à intensificação significativa dos ventos de oeste do Hemisfério Sul durante as muitas décadas

passadas, aumentando as incertezas na evolução futura do transporte de CCA (BÖNING et al., 2008).

O giro subpolar do Hemisfério Sul ao longo do século XXI se torna intensificado (WANG e MEREDITH, 2008). Isto é uma consequência do vento ao longo da região subpolar se tornando mais ciclônico, associado à intensificação do desvio para o sul dos ventos de oeste circumpolares. Inversamente, as mudanças na água doce e no transporte da CCA adjacente exercem apenas influências pequenas. O fortalecimento dos giros subpolares provavelmente terá fortes impactos sobre o balanço de massa de plataformas de gelo e a estabilidade dos mantos de gelo Antárticos, e poderia também impactar fortemente sobre as transformações de massas de água dentro dos giros subpolares e o transporte de águas densas para latitudes mais baixas.

Figura 19: A diferença zonal média entre (a) temperatura (°C) e (b) salinidade (psu) e a média dos 19 modelos para o período 1981-2000 sobreposta sobre a batimetria



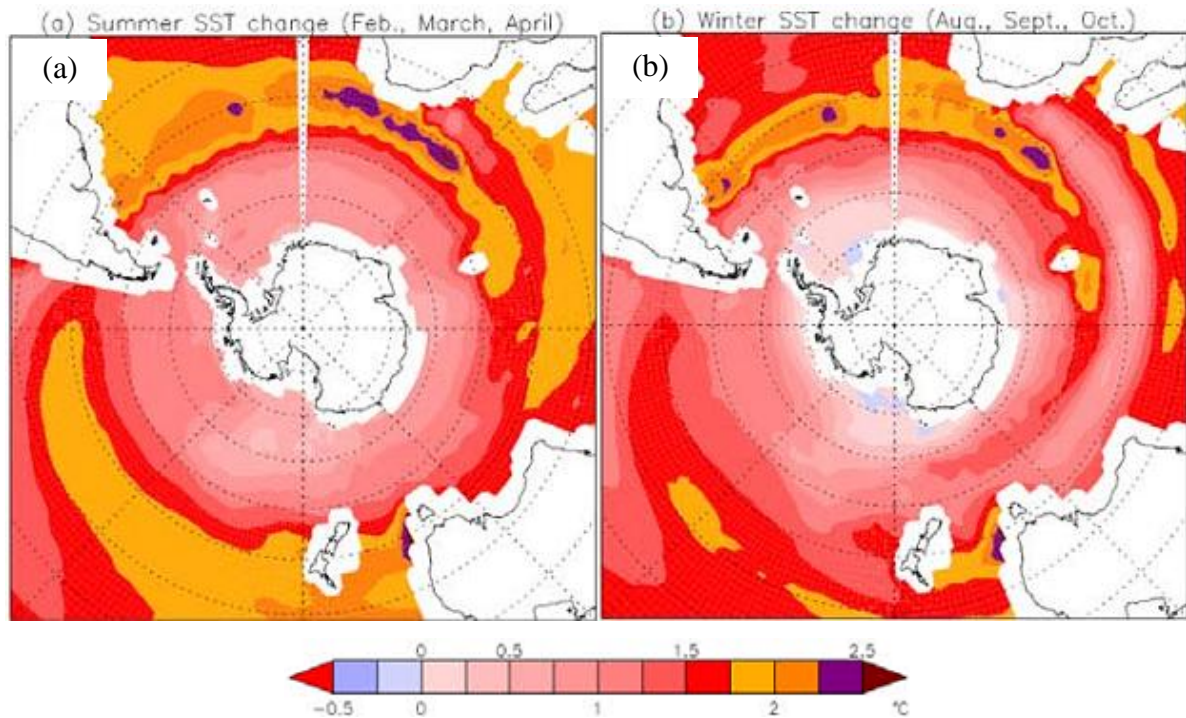


Fonte: World Ocean Atlas, 2001

As mudanças da temperatura e salinidade do oceano são apresentadas em pares de verão-inverno nas Figuras 20 a 25. Para efeitos de cálculo da média, o inverno é considerado como a época de pico de banquisas (Agosto, Setembro e Outubro), e o verão como o mínimo de banquisas (Fevereiro, Março e Abril).

As mudanças da temperatura da superfície do mar (TSM) são menores em comparação com as observadas na temperatura do ar na superfície, porque a capacidade térmica do oceano é muito maior do que a da atmosfera. No entanto, tanto a temperatura da atmosfera quanto a do oceano terão um efeito sobre a banquisa. A Figura 20(a) mostra que ao sul de 60° S, no verão, as TSMs tendem a ser mais quentes do que no presente em 2100 entre 0,5 e 1,0 °C, exceto no Mar de Amundsen onde elas são suscetíveis a serem mais quentes entre 1,0 e 1,25 °C. Ao sul de 60° S no inverno (Figura 20(b)) as TSMs são suscetíveis de estarem perto do que estão agora, ou seja, entre até 0,5 °C mais quente ou -0,25 °C mais frio do que estão no momento, exceto distante da Terra da Rainha Maud, distante da Antártica Ocidental, onde elas podem aquecer de 0,5 a 1,0 °C.

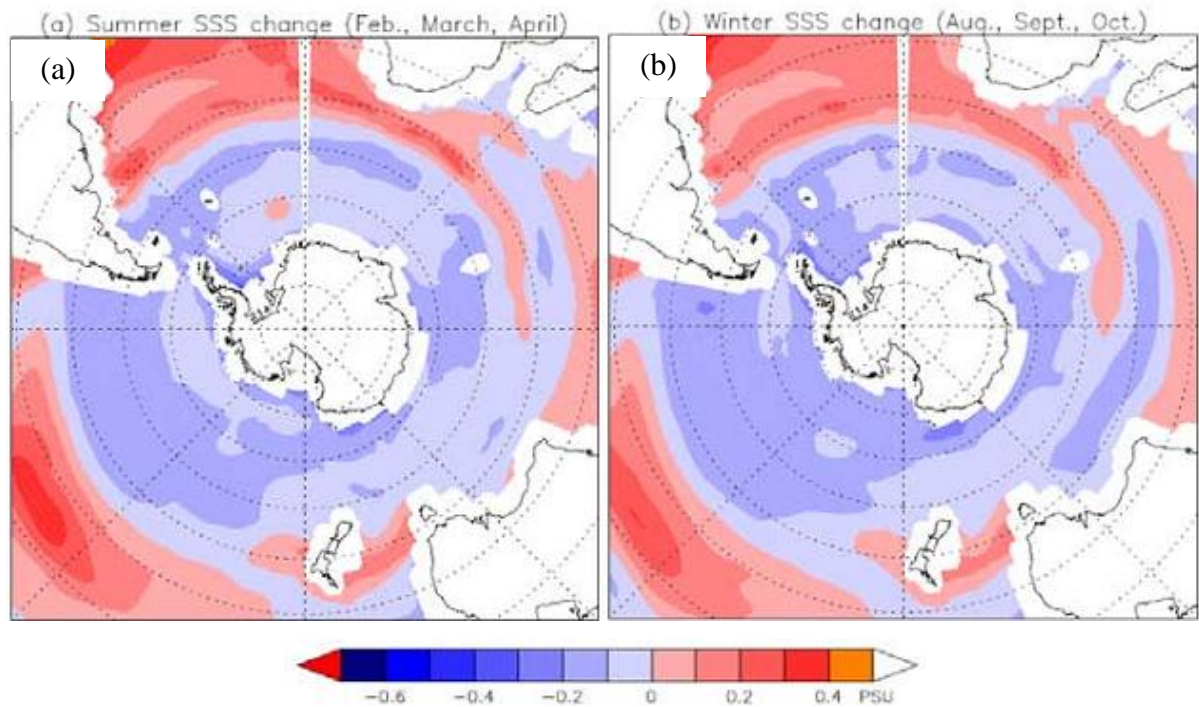
Figura 20: Mudança da temperatura da superfície do mar (TSM) para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100



Fonte: <http://www.scar.org/>

A Figura 21(a) mostra que ao sul de 60° S no verão, as águas da superfície estarão mais doce em 0,1 a 0,2 unidades, com alguns lugares com 0,3 mais doce no Mar de Weddell, no Mar de Ross e em alguns lugares ao longo da costa. A Figura 21(b) mostra que ao sul de 60° S no inverno o padrão é muito similar, mas as águas da superfície são mais doce ao longo de uma área maior e há salinidades de até 0,3 unidades mais doce a oeste da península.

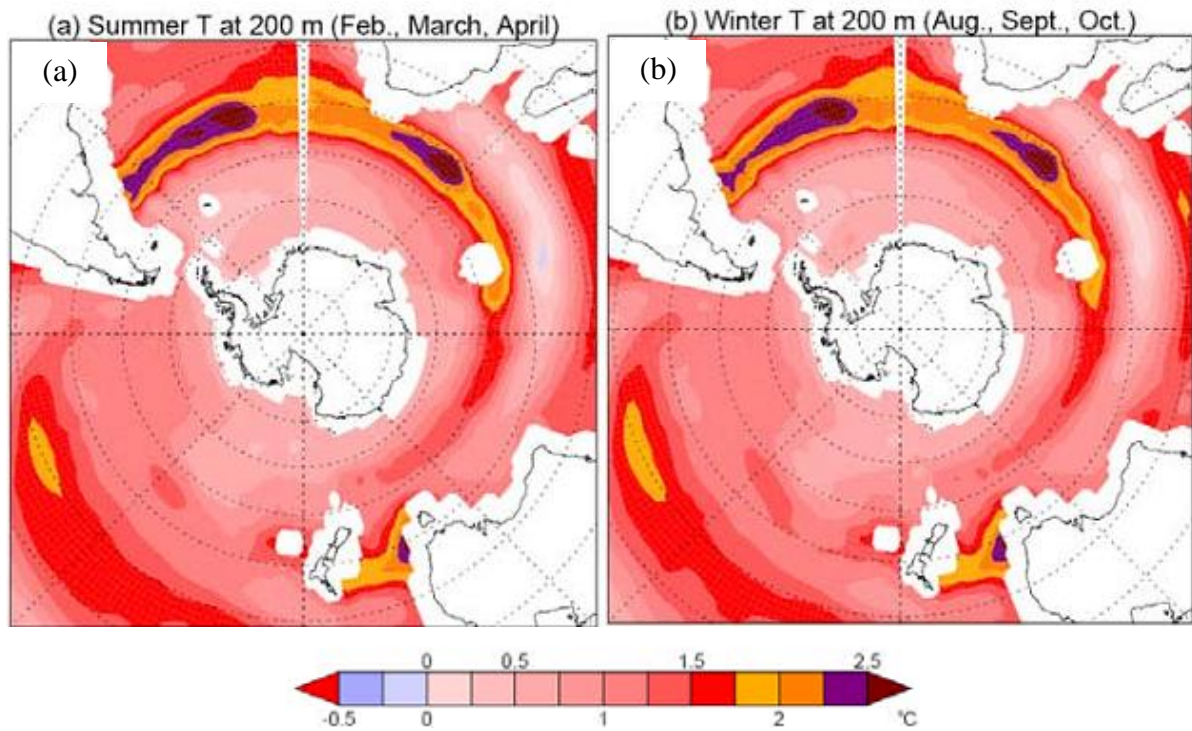
Figura 21: Mudança da salinidade da superfície do mar (SSM) para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100



Fonte: <http://www.scar.org/>

A Figura 22(a) mostra que tanto no verão (a) quanto no inverno (b) as temperaturas da água no fundo sobre a plataforma continental a 200 metros em 2100 são prováveis de estar mais quentes entre 0,5 e 0,75 °C, exceto no Mar de Weddell, onde o aquecimento é menor (entre 0 e 0,5 °C).

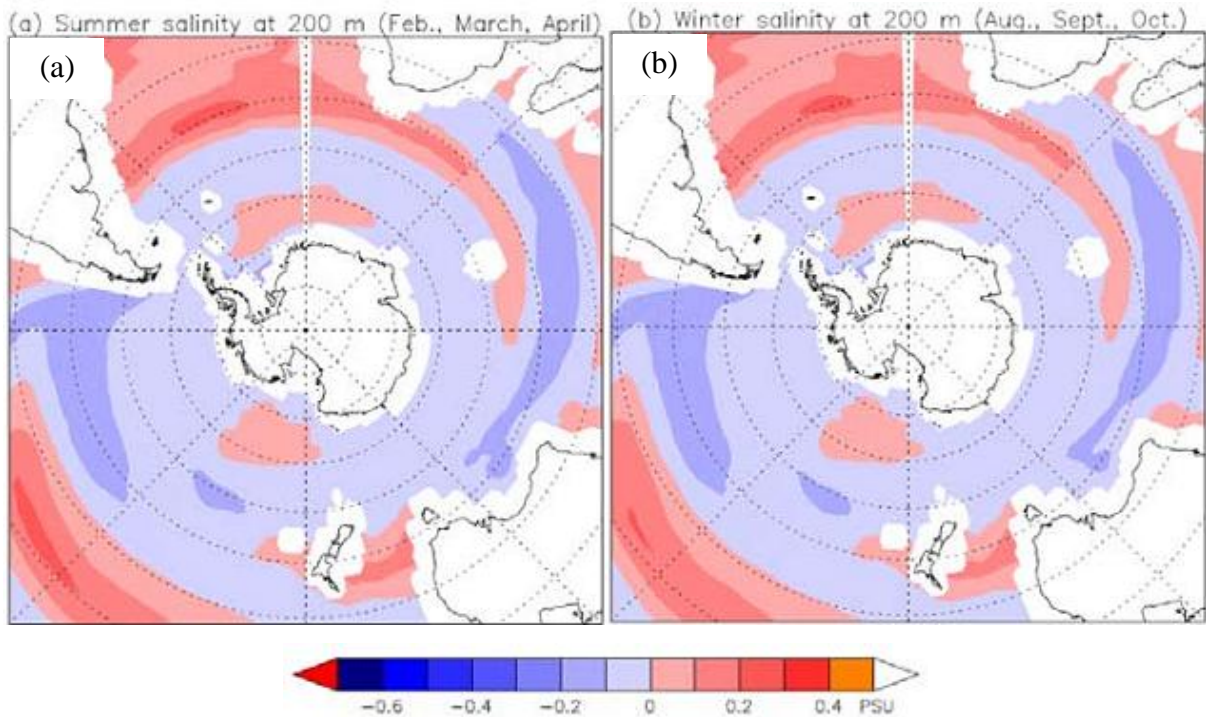
Figura 22: Mudança da temperatura do oceano a 200 metros para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2100



Fonte: <http://www.scar.org/>

A Figura 23 mostra que tanto no verão (a) quanto no inverno (b) as salinidades da água no fundo sobre a plataforma continental em 2100 são prováveis estar até 0,1 unidade mais doce do que elas estão agora, e até 0,2 mais doce no Mar de Weddell.

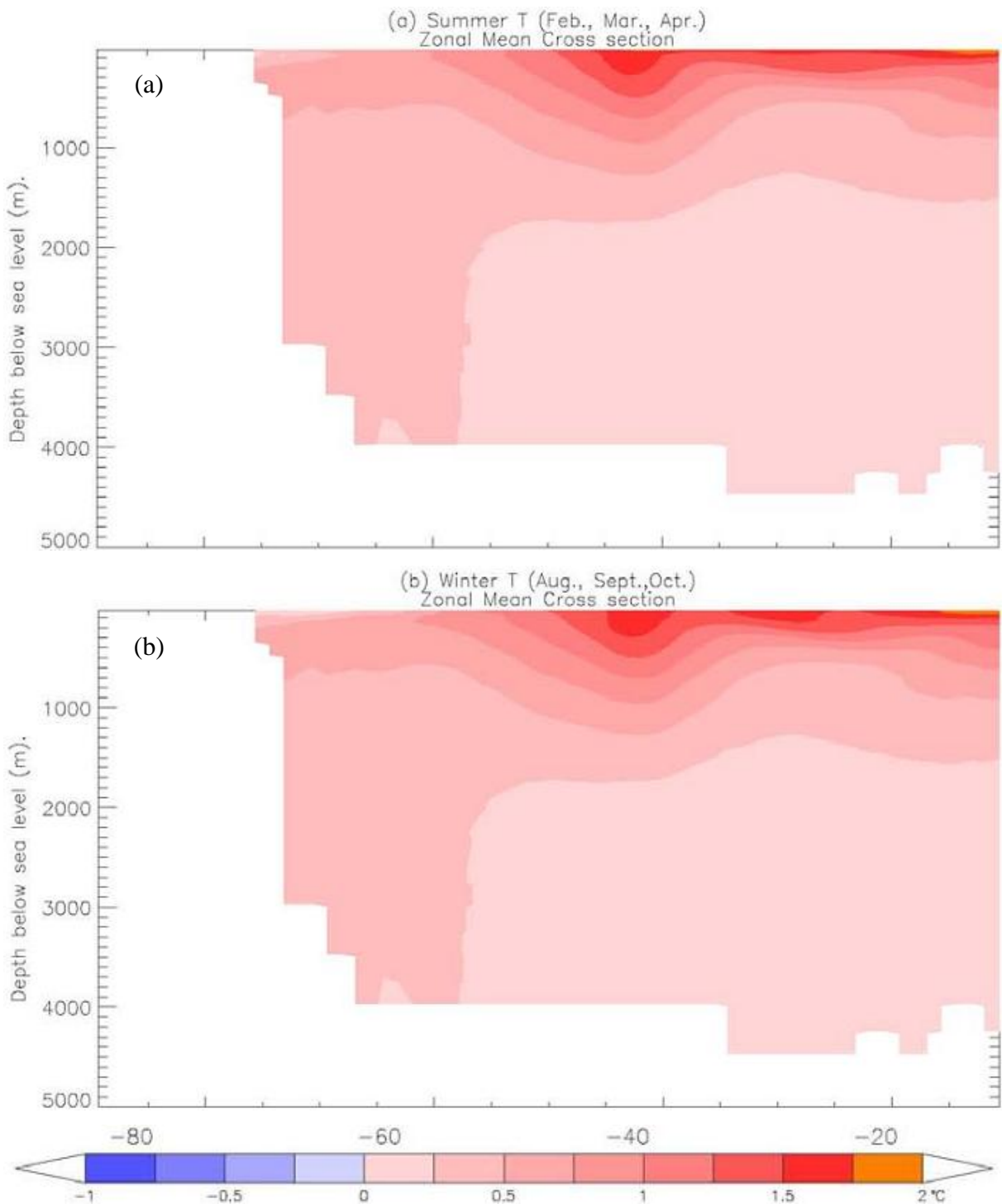
Figura 23: Mudança da salinidade a 200 metros para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100



Fonte: <http://www.scar.org/>

Como mostrado na Figura 24, independente da estação, as águas da superfície até 4.000 metros de profundidade ao longo da margem continental irão aquecer no inverno e no verão em aproximadamente 0,25 °C, com a possibilidade de aquecimento em até 0,5 °C ou levemente maior a profundidades de 200 a 500 metros. Há um significativo aquecimento (0,75 a quase 2,0 °C em todas as estações) na superfície entre 40 e 60° S nas regiões de núcleo da Corrente Circumpolar Antártica. Perto da superfície, o aquecimento do Oceano Antártico durante o século XXI é mais fraco do que em outras regiões. Isto está parcialmente relacionado ao grande calor armazenado pelo oceano, que remove uma grande quantidade de calor da atmosfera em uma área onde o oceano cobre quase todas as longitudes e onde camadas relativamente profundas e misturadas ocorrem.

Figura 24: Corte transversal zonal médio da diferença de temperatura do oceano para o (a) verão e para o (b) inverno, entre 2000 e 2100, sobrepostas sobre a batimetria

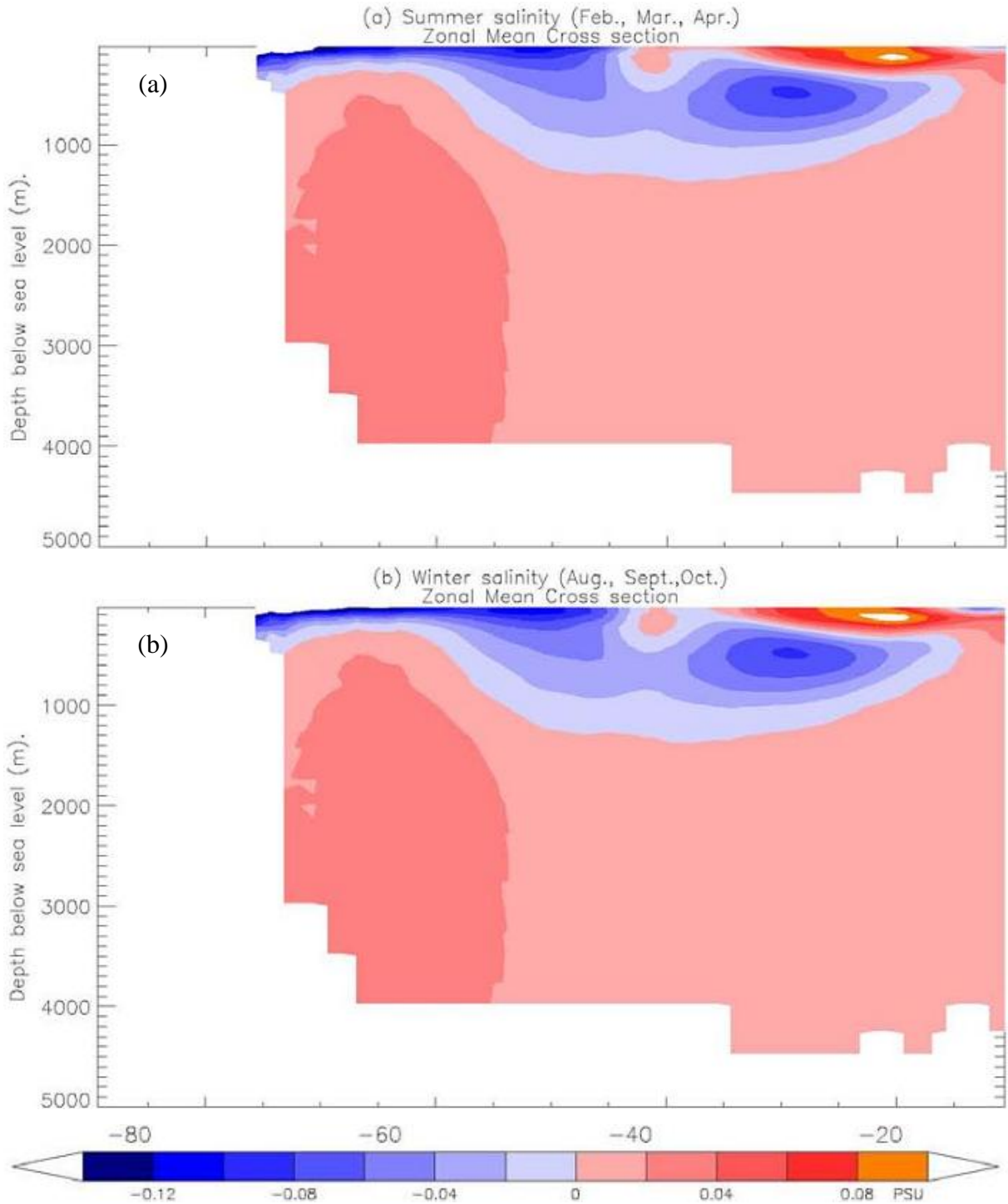


Fonte: <http://www.scar.org/>

Como mostrado na Figura 25, ao longo da margem continental não há maior mudança na salinidade, exceto acima de profundidades de aproximadamente 400 metros, acima do qual águas da superfície são mais doce do que no presente em até quase 0,2 na superfície entre a

costa e aproximadamente 45° S. O adoçamento é claramente um fenômeno da superfície, embora a Água Intermediária Antártica seja também levemente mais doce.

Figura 25: Corte transversal zonal médio da diferença de salinidade para o (a) verão e o (b) inverno, entre 2000 e 2100, sobrepostas sobre a batimetria



Fonte: <http://www.scar.org/>

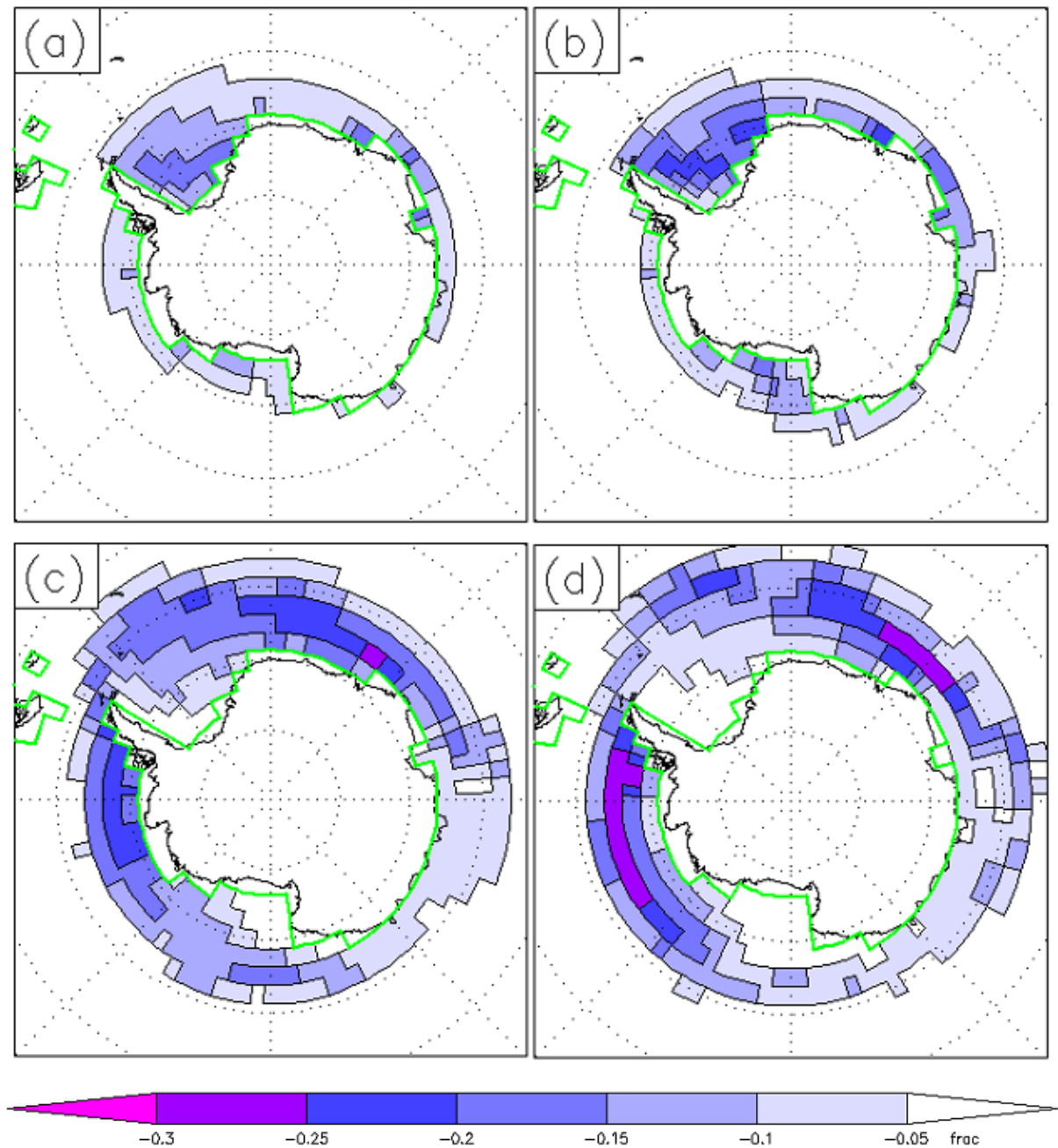
5.1.6 Mudanças nas banquias ao longo do século XXI

Modelos mostram que ao longo do século XXI espera-se que a média anual da área total da banquisa diminua em $2,6 \times 10^6$ quilômetros quadrados, ou 33% (BRACEGIRDLE et al., 2008). Há um forte consenso entre os modelos para uma diminuição na banquisa da Antártica; o desvio padrão inter-modelo é baixo em $0,73 \times 10^6$ quilômetros quadrados (9%). Arzel et al., 2006, avaliou diferentes medidas de quantidade de banquisa e achou no século XXI uma queda de 34% para o volume e 24% em extensão da banquisa.

A maioria do recuo do gelo simulado ocorre no inverno e na primavera, quando a extensão da banquisa é maior. A amplitude do ciclo sazonal da área da banquisa irá, portanto, diminuir. A menor quantidade de derretimento e congelamento sazonal irá afetar o oceano devido a mudanças nos processos tais como a rejeição de salmoura.

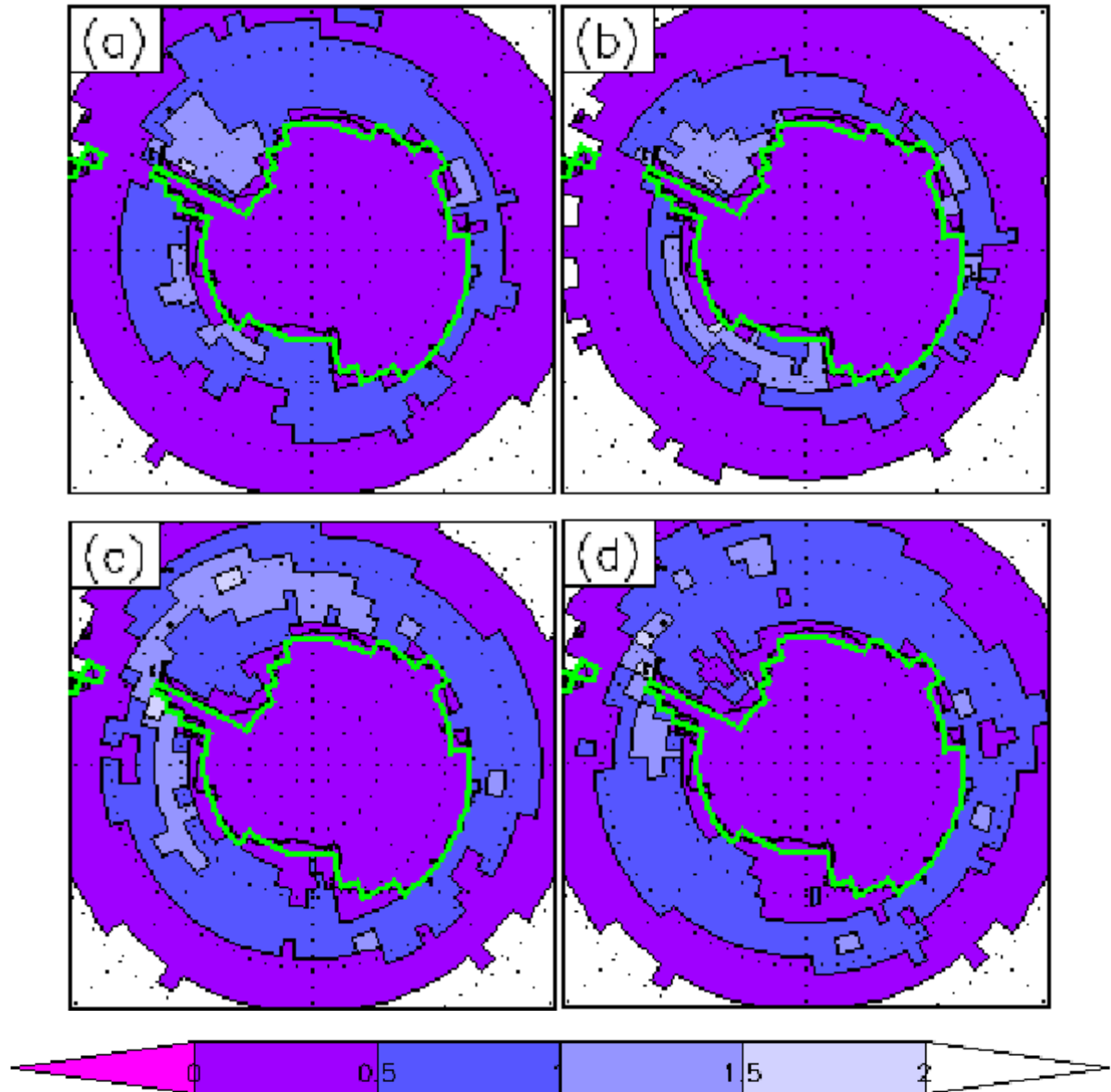
Há uma forte confiança nas diminuições projetadas para a extensão da banquisa na Antártica. Em um nível mais regional, essas diminuições são menos significantes (LEFEBVRE e GOOSSE, 2008). Nas regiões onde a banquisa atualmente permanece presente em todo o verão, em particular no Mar de Weddell, grandes reduções da extensão da banquisa são projetadas. Por isso, há um consenso muito forte entre os modelos, com as reduções médias do modelo maiores do que o desvio padrão inter-modelo.

Figura 26: Mudança na concentração de banquisas no século XXI para (a) Dezembro-Fevereiro, (b) Março-Maio, (c) Junho-Agosto e (d) Setembro, mostrando a diferença entre a média de 2080-2099 e a média 2004-2023. As mudanças são representadas em termos de fração da superfície coberta pela banquisa, ao invés de porcentagem da banquisa, uma vez que esta mostraria infinitos aumentos onde concentrações eram inicialmente inexistentes (ou muito pequenas)



Fonte: <http://www.scar.org/>

Figura 27: Relação sinal-ruído de projeções da redução da banquisa



Fonte: <http://www.scar.org/>

5.1.7 A criosfera terrestre

Esforços para medir o balanço de massa das banquisas deram frutos nos últimos anos com várias metodologias que forneceram um quadro do aumento da perda de gelo nas últimas duas décadas. O ritmo acelerado das mudanças torna difícil de extrapolar essas informações no futuro. Essas mesmas observações revelaram fraquezas inquietantes na maioria dos modelos, reduzindo a confiança em suas previsões do futuro da banquisa da Antártica.

No entanto, uma expectativa conservadora de mudanças não maiores do que aquelas já observadas resulta em uma crescente perda de gelo na península Antártica e no Mar de

Amundsen na parte oeste, mais do que compensando o crescimento lento na parte leste. Mais preocupante é a possibilidade, ainda que impossível de se quantificar neste momento, de uma série de influências climáticas que poderiam ampliar a perda do gelo Antártico e acelerar o futuro aumento no nível do mar.

Esforços preditivos mais antigos sobre o aumento do nível do mar, tais como aqueles realizados pelo IPCC, apontaram para os componentes preditivos, se afastando dos componentes menos preditivos, especialmente a resposta sobre a banquisa continental para a mudança climática. Esforços agora estão sendo feitos para desenvolver modelos mais integrados que incorporam algumas das interações climáticas do gelo que agora são inferidas como central para mudanças recentes. Em alguns casos, é necessário mais trabalho de campo antes que uma compreensão suficientemente profunda do processo seja possível. No entanto, esquemas simplificados podem ser introduzidos para modelos numéricos agora para uso em futuras avaliações pelo IPCC e outros. No momento não há projeções objetivas e compreensivas que possam ser citadas, e a evolução futura da banquisa da Antártica é mais bem descrita através de uma abordagem mais subjetiva.

5.1.8 Projeções do nível do mar na Antártica e nas águas do Oceano Antártico até 2100

As duas principais razões para o aumento do nível do mar são a expansão das águas do oceano enquanto elas aquecem (e um decréscimo associado na densidade do oceano) e um aumento na massa do oceano, principalmente pelo derretimento de fontes terrestres de gelo (glaciares, calotas de gelo e plataformas de gelo da Antártica e da Groelândia). A quantidade de expansão térmica (dilatação) não é uniforme devido à influência das correntes oceânicas e variações de espaço no aquecimento do oceano. O aquecimento global a partir de concentrações de gases do efeito estufa é um causador significativo das duas contribuições.

O IPCC fornece as informações mais fidedignas sobre as mudanças no nível do mar projetadas. Church et al., 2001, projetou um aumento médio global do nível do mar variando de 9 a 88 centímetros entre 1990 e 2100 usando toda a gama de cenários de gases do efeito estufa, uma gama de modelos climáticos e uma incerteza adicional para mudanças de gelo terrestre. Para o IPCC, o alcance das projeções do nível do mar, usando uma gama maior de modelos, era de 18 a 59 centímetros (com limites de confiança de 90%) ao longo do período de 1980-1999 a 2090-2099 (MEEHL et al., 2007). Este aumento no nível do mar é principalmente um resultado da expansão térmica da superfície do oceano e de glaciares e calotas de gelo, com pouca contribuição da Antártica e da Groelândia. No entanto, como

mencionado anteriormente, os modelos da plataforma de gelo são incompletos e não permitem uma resposta dinâmica rápida das plataformas de gelo.

Desde 1993, houve observações de alta qualidade por parte de altímetros dos satélites do nível do mar na maior parte do globo (aproximadamente 65° N a 65° S), permitindo estimativas precisas de mudanças tanto da média global quanto regional do nível do mar. Padrões de correlação global (funções ortogonais empíricas) estimados a partir de registros de altímetros de satélites foram combinados com dados de marés na costa para estimar os níveis do mar médio global desde 1870 (CHURCH e WHITE, 2006). Os resultados mostram que, de 1870 ao presente, o nível do mar global aumentou em aproximadamente 20 centímetros, a uma taxa média de 1,7 mm/ano durante o século XX, com um aumento na taxa de crescimento ao longo deste período. Jevrejeva et al., 2006, e Holgate e Woodworth, 2004, utilizaram técnicas de análise de dados bastante diferentes e acharam taxas históricas do aumento do nível do mar bastante similares. Para o período moderno de satélites (desde 1993), o nível do mar tem crescido mais rapidamente a uma taxa média de 3,1 mm/ano (IPCC 2007). As estimativas recentes do aumento do nível do mar, para 2003-2008, mostram que essa taxa agora diminuiu para 2,5 mm/ano (CAZENAVE et al., 2009). Nota-se que essas taxas de aumento são de uma ordem de magnitude mais rápida do que a taxa média do aumento ao longo dos últimos milhares de anos, mas significativamente mais lentos do que as taxas de aumento no final do Último Máximo Glacial (período correspondente à maior extensão dos mantos de gelo durante o último período glacial, há aproximadamente 20.000 anos) e no final do evento Dryas recente.

Aproximadamente de um terço a metade do aumento do nível do mar durante a primeira década pode ser atribuído a expansão térmica devido ao aquecimento dos oceanos; as outras maiores contribuições incluem os efeitos combinados do derretimento dos glaciares e plataformas de gelo. Mudanças no armazenamento de água em terra permanecem muito incertas.

A preocupação de que as projeções do nível do mar do IPCC possam ser tendenciosas foi reforçada pelo aumento da taxa de aumento do nível do mar desde o início da década de 90. A taxa de 3,1 mm/ano observada no relatório do IPCC (2007) é mais rápida do que a faixa central das projeções do IPCC (RAHMSTORF et al., 2007). Isto sugere que uma ou mais das contribuições do modelo para o aumento do nível do mar é subestimada. Dada essas observações, Rahmstorf et al., 2007, projetou um aumento máximo do nível do mar de 1,4 metros até 2100. Futuros aumentos no nível do mar projetados pelo IPCC (2007) não incluem contribuições possivelmente grandes resultantes da instabilidade dinâmica das plataformas de

gelo durante o século XXI. Levando tais variáveis em consideração, Pfeffer et al., 2008, estima um limite máximo de 2 metros para o aumento do nível do mar até 2100.

O deslizamento de geleiras na superfície do continente Antártico é mais variável do que se acreditava, segundo um estudo publicado na revista "Nature" em 2006 e que questiona as previsões de evolução do nível dos marés causada pela desagregação das geleiras.

Os pesquisadores descobriram, depois de acompanharem por dois meses uma corrente formada a partir de geleiras, a Rutford, que sua velocidade na superfície oscila em 20% a cada duas semanas (13,66 dias), uma variação que seria influenciada pelo ciclo das marés.

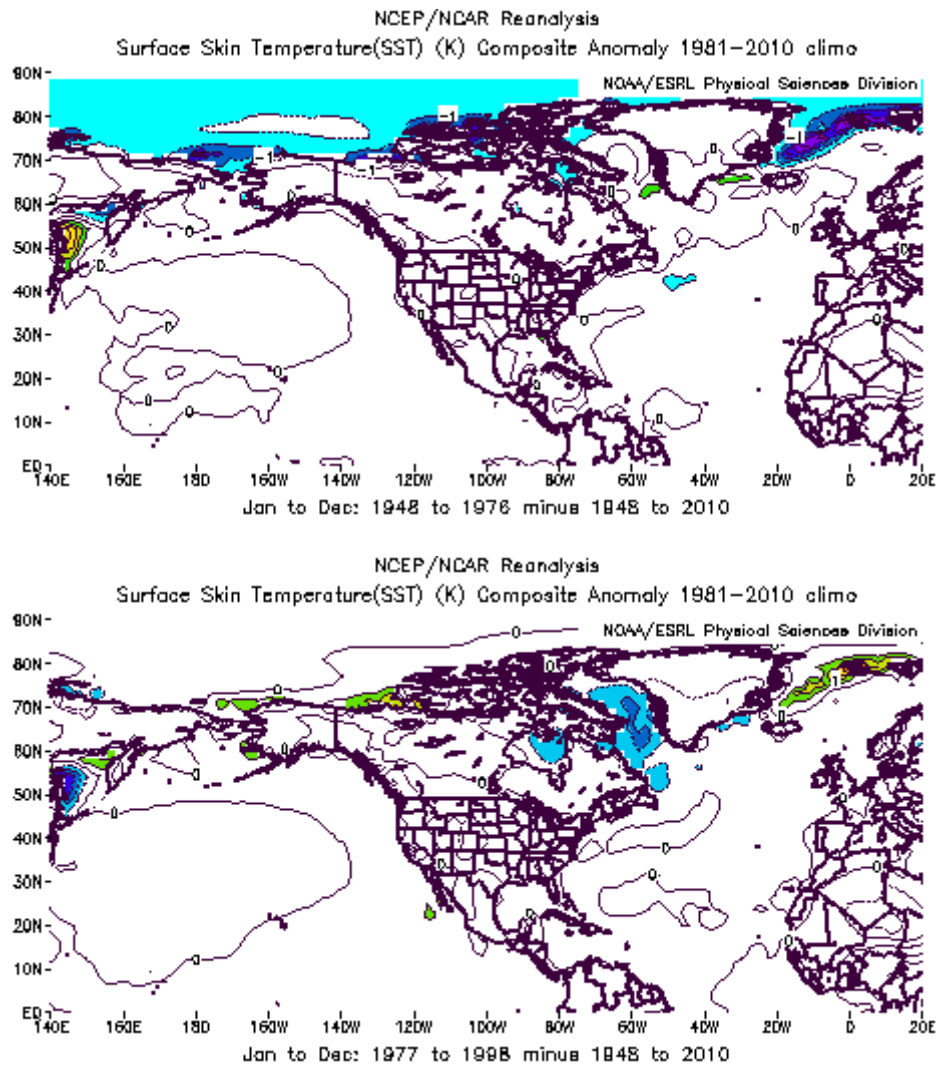
Projeções do nível do mar para e além de 2100 são dependentes das futuras emissões de gases do efeito estufa, com tanto a expansão térmica do oceano quanto as plataformas de gelo contribuindo em metros ao longo dos séculos com emissões maiores desses gases. Há uma aceitação generalizada de que os últimos aquecimentos globais interglaciais de 2 a 3 °C levaram a aumentos do nível do mar de 4 a 6 metros (IPCC, 2007; GREGORY e HUYBRECHTS, 2006). Não se sabe muito sobre os processos modernos ou sobre as taxas futuras para dizer o quão cedo tais aumentos no nível do mar podem ocorrer novamente (e se vão realmente acontecer), mas eles não parecem prováveis dentro das próximas centenas de anos com relação ao que pode-se dizer de tudo o que se sabe atualmente. Portanto, a atual meta deve ser de no máximo 2 metros, com uma probabilidade dele ser menor.

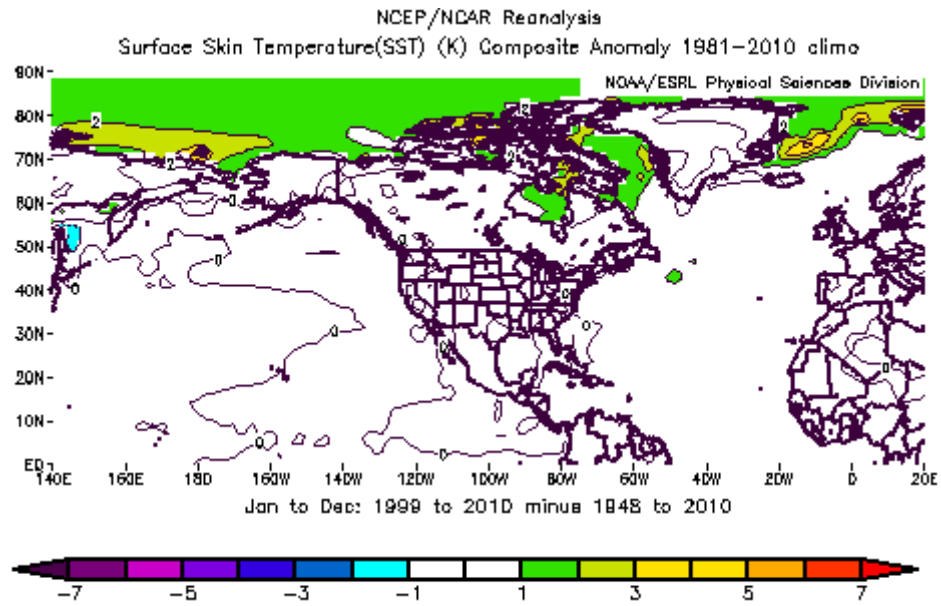
5.1.9 A influência do ciclo lunar para o aumento do nível do mar

Molion, 2005, diz que existe um ciclo lunar que é chamado precessão da órbita lunar ou dos nodos lunares, ou seja, à medida que a Lua revolve em torno da Terra, o plano de sua órbita vai girando no espaço e completa 360° em 18,6 anos. A Lua tem seu eixo de rotação inclinado em 5,1° com relação ao plano da eclíptica (plano em que se encontram o Sol e os planetas) e o da Terra é 23,5°. Quando os dois eixos apontam em direções opostas, eles fazem um ângulo de 28,6° (23,5°+5,1°) e a Lua, relativamente à superfície terrestre, se desloca na faixa entre 28,6° N e 28,6° S de latitude. Quando os eixos estão na mesma direção, a área varrida está entre 18,4°N e 18,4°S (23,5° - 5,1°). Considerando que 1° de latitude é equivalente a 110 km nas regiões tropicais, vê-se que a distância percorrida no máximo lunar é cerca de 12.000 quilômetros (4x28,6°x110 quilômetros), enquanto, no mínimo lunar, é cerca de 8.000 quilômetros, ou seja, 4.000 quilômetros de diferença nos mesmos 28 dias do ciclo das fases da Lua amplamente conhecido. Ou seja, a velocidade relativa da Lua é muito maior no máximo do ciclo e cria marés mais altas nos trópicos. No máximo de seu ciclo nodal, como ocorreu

entre 2006-2007, a Lua levanta a superfície do mar, entre o equador e 40° de latitude, por sua atração gravitacional. Esse desnível (ou gradiente) hidráulico aumenta ligeiramente a velocidade das correntes marinhas que levam mais calor dos trópicos para os polos.

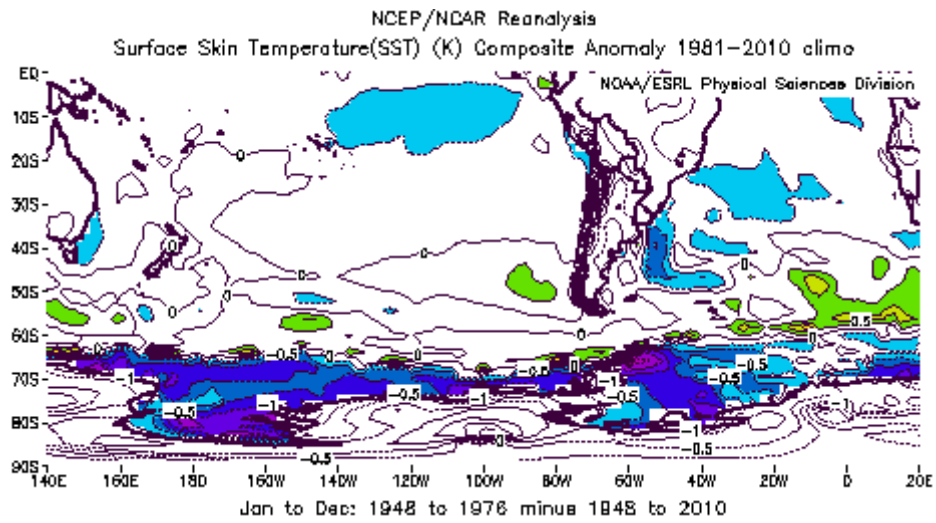
Figura 28: Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para o período de 1948-2010 para o Hemisfério Norte

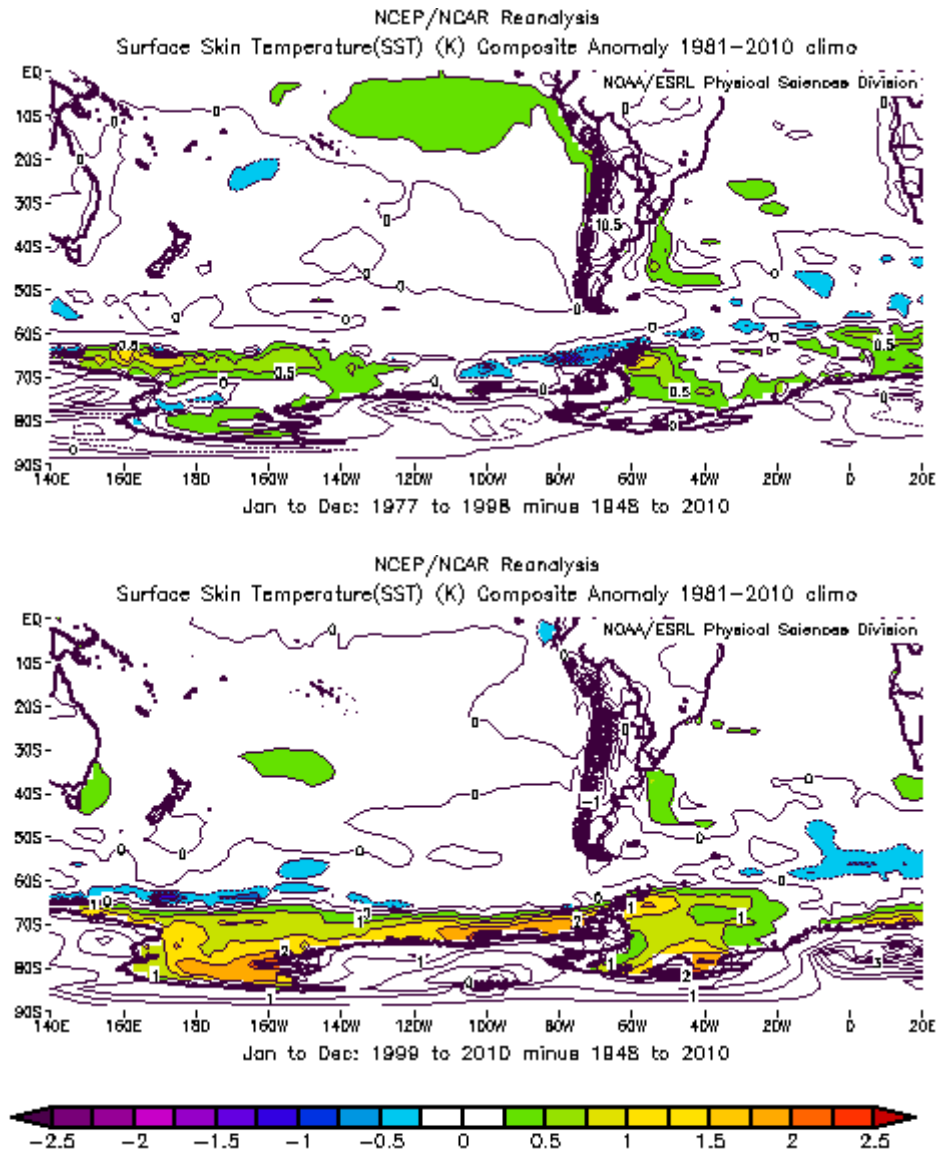




Fonte: ESRL/PSD/NOAA

Figura 29: Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para o período de 1948-2010 para o Hemisfério Sul





Fonte: ESRL/PSD/NOAA

Nas Figuras 28 e 29, vê-se a variação das anomalias padronizadas da temperatura da superfície do mar (TSM) com relação à média do período 1948-2010 para ambos os hemisférios. Observa-se, claramente, o aumento da TSM ocorrido a partir do período de 1977-1998, confirmando que o mar na região próxima aos polos se aqueceu a partir daquele período. Nota-se, também, que o intervalo entre o início do resfriamento (1977/78) e o aquecimento (1995/96) é cerca de 19 anos (setas), muito próximo do ciclo nodal lunar. Como foi dito, o nível do mar fica um pouco mais elevado, em média, até 40° de latitude no máximo lunar, fato registrado pelos satélites (e marégrafos).

Molion também mostra que, em 1956, os cientistas russos Maksimov e Smirnov, 1965, analisando mais de 100 anos de registros de marégrafos no Atlântico, mostraram que o nível do mar poderia variar em mais ou menos 6 centímetros dentro do ciclo nodal lunar. Ou seja, o

fato de o nível do mar oscilar com o ciclo nodal lunar já é conhecido há mais de 60 anos. Yendstad, 2006, confirmou a existência do ciclo nodal lunar no clima, aparente em variáveis como temperatura da superfície do mar, nível do mar e cobertura de gelo. Mas, sugeriu que outro ciclo, de 74 anos (4x18,6 anos), possa interferir e introduzir mudanças de amplitude, ou de fase, que mascare a influência contínua do ciclo nodal lunar. Müller et al., 2011, também confirmou sua existência nas análises da temperatura do Atlântico e do Pacífico Norte. Como é usual, usaram-se as taxas de variação do nível do mar atuais para projetar seu nível no ano 2100, afirmando que o aumento é devido ao derretimento das geleiras pelo aquecimento global antropogênico.

5.1.10 A influência do El Niño na variação da massa de gelo da Antártica

Os cientistas observaram como a massa de gelo variava na Antártica, devido às variações na precipitação de ano para ano. Usando os dados, os pesquisadores foram capazes de controlar a quantidade de massa de gelo perdida devido a mudanças nos níveis de precipitação impactadas pelo fenômeno El Niño, um evento cíclico que causa águas mais quentes do que o normal no leste do Oceano Pacífico.

Enquanto é provável que o El Niño tenha influência no derretimento de gelo da Antártica, muitos pesquisadores acreditam que o evento não pode ser totalmente atribuído ao fenômeno.

O El Niño é um fenômeno oceânico-atmosférico, interanual que afeta o tempo e o clima em diversos locais do planeta, e envolve interações oceânicas e atmosféricas associadas a alterações na circulação de Walker no Pacífico (PHILANDER, 1990; NEELIN et al., 1998), mas não é possível que ele contribua com o aquecimento médio visto ao longo das últimas décadas.

Estas "correntes" se formam a partir do derretimento das geleiras da Groenlândia ou da Antártica e correm em direção aos oceanos. Elas parecem ser as responsáveis pelas mudanças no nível dos mares.

As observações realizadas na corrente Rutford, que tem 52.000 quilômetros quadrados, ou seja, uma superfície superior à da Holanda, e que está situada na parte ocidental do continente Antártico, mostram que ela avança, em média, um metro por dia, uma velocidade que pode variar. O principal autor do estudo, Hilmar Gudmundsson, do British Antarctic Survey (BAS), manifesta sua completa surpresa ao descobrir que o ciclo das marés de águas-mortas (as de pequena amplitude, ou seja, quando é pequena a diferença de altura

entre a maré alta e maré baixa) exerce influência sobre uma corrente glacial situada a dezenas de quilômetros de distância.

Ele destaca que o fato de a massa de gelo responder desta forma à influência das marés do oceano ilustra a sensibilidade da calota polar antártica às mudanças ambientais e que os estudiosos de geleiras devem repensar a reação das massas de gelo às forças externas.

As variações em curso da corrente Rutford – com 150 quilômetros de comprimento, 25 quilômetros de largura e de 2 a 3 metros de espessura – estão ligadas ao movimento vertical do oceano, causado pelos efeitos gravitacionais do sol e da lua. Os cientistas esperavam que as marés tivessem um efeito sobre as massas de gelo, o gelo que se forma no próprio oceano, mas não sobre as geleiras que se encontram no continente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que, com o aquecimento e derretimento do gelo nos polos, novas rotas marítimas estão sendo abertas e conseqüentemente novas oportunidades de comércio estão sendo criadas. A elevação da temperatura do planeta e as taxas de emissão dos gases do efeito estufa tornam algumas rotas previamente navegáveis acessíveis durante um maior número de meses do ano. Não só a navegação em si é beneficiada, mas sim também a pesca industrial, em que barcos de pesca passam semanas em alto mar em busca de áreas prováveis de terem grandes cardumes, e ainda, o turismo, em que cruzeiros poderão ser feitos chegando-se perto de terras geladas usando rotas antes nem sequer imaginadas.

A navegação nas regiões polares está e se mostrará ainda mais proveitosa se levada em conta as mudanças climáticas para este século. Dificuldades enfrentadas pelos navios não serão nas mesmas proporções que em séculos passados.

O ciclo lunar com certeza interferiu nas marés e conseqüentemente nos aumentos de temperatura por causa do transporte de calor sensível da região equatorial em direção as regiões polares, fazendo com que a temperatura nessas regiões aumentasse. Este ciclo lunar se repete a cada 18,6 anos aproximadamente e influencia de um modo geral em outro ciclo, em que há um aumento do nível do mar que ocorre paralelamente e que nada tem a ver com o aquecimento global. Este aumento tem a ver apenas com a influência do ciclo lunar no transporte de calor sensível.

Previsões das condições futuras são feitas utilizando-se modelos interligados. O grande alcance de resultados obtidos por esses modelos indica que ainda há deficiências significantes nos diferentes modelos – principalmente devido às representações inadequadas de processos relevantes (através de parametrização inapropriada, por exemplo) ou à resolução insuficientemente alta. Para um modelo de grande extensão a validação ocorre através da intercomparação, simplesmente porque observações são escassas, o que significa que argumentos podem ser indiretos. Dados de superfície vindo de satélites estão disponíveis para alguns parâmetros com cobertura suficiente no tempo e espaço, mas dados locais do interior do oceano ainda são incompatíveis no espaço e intermitente no tempo. Nas áreas cobertas por gelo no Oceano Antártico, os dados locais ainda são quase que exclusivamente coletados no contexto de expedições de pesquisa determinadas no espaço e no tempo por iniciativas para estudar processos ao invés de fazer repetidas medições, e limitada por ciclos de financiamento. Observações operacionais de dados climáticos relevantes ainda estão começando, mesmo que o sistema Argo seja um grande passo a frente. Embora excelentes

tecnologias estejam disponíveis, com uma vasta variedade de dispositivos autônomos, tais como sistemas ancorados, sistemas flutuantes, planadores, ou sensores transportados por animais, o desenvolvimento e a manutenção dessas tecnologias de uma forma autossustentada ainda está longe de acontecer.

Para alcançar esse ponto, um Sistema de Observação do Oceano Antártico (SOOA) deve ser implementado. Isto irá requerer a cooperação de agências e instituições de pesquisa para coordenar o uso de seus recursos, mas requer ao mesmo tempo maior desenvolvimento de instrumentação para reduzir o esforço necessário para se obter as medições necessárias com a resolução apropriada de espaço e de tempo. O fornecimento de observações relevantes ao clima de uma rede implementada lançará fontes da comunidade de pesquisa que possa ser usada para estudos de processo para melhor representação daqueles processos nos modelos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCHER, D. 2005. Fate of fossil fuel CO₂ in geologic time, *J. Geophys. Res.*, DOI: 10.1029/2004JC002625.
- ARZEL, O., FICHIFET, T. AND GOOSSE, D.H. 2006. Sea ice evolution over the 20th and 21st centuries as simulated by current AOGCMs. *Ocean Modelling*, 12, 401-415.
- BÖNING, C. W., A. DISPERT, M. VISBECK, S. R. RINTOUL, and F. SCHWARZKOPF, 2008. Observed multi-decadal ocean warming and density trends across the Antarctic Circumpolar Current, Submitted.
- BRACEGIRDLE, T.J., CONNOLLEY, W.M. and TURNER, J. 2008. Antarctic climate change over the Twenty First Century, *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 113, D03103, doi:03110.01029/02007JD008933.
- CAZENAVE, A., DOMINH, K., GUINEHUT, S., BERTHIER, E., LLOVEL, W., RAMILLIEN, G., ABLAIN, M. and LARNICOL, G. 2009. Sea level budget over 2003–2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo, *Global and Planetary Change*, 65, 83-88.
- CHURCH, J.A., GREGORY, J.M., HUYBRECHTS, P., KUHN, M., LAMBECK, K. NHUAN, M.T., QIN, D. and WOODWORTH, P.L. 2001. Changes in sea level. In *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, eds. Cambridge University Press, Cambridge, 881pp.
- CHURCH, J.A. and WHITE, N.J. 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise, *Geophysical Research Letters*, 33, L01602, 10.1029/2005GL024826.
- CONNOLLEY, W.M. and BRACEGIRDLE, T.J. 2007. An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled models, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22505, doi:10.1029/2007GL031648.
- HOLGATE, S.J. and WOODWORTH, P.L. 2004. Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990s, *Geophysical Research Letters*, 31, 07305, doi:10.1029/2004GL019626.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- JEVREJEVA, S., GRINSTED, A., MOORE J.C. and HOLGATE, S. 2006. Nonlinear trends and multi-year cycle in sea level records, *Journal of Geophysical Research*, 111, 2005JC003229.

LEFEBRE, W. and GOOSSE, H. 2008. Analysis of the projected regional sea-ice changes in the Southern Ocean during the twenty-first century, *Climate Dynamics*, 30, 59-76, DOI 10.1007/s00382-007-0273-6.

MAKSIMOV, I.V. and SMIRNOV N.P., 1965. A contribution to the study of causes of long-period variations in the activity of the Gulf Stream. *Oceanology* 5:15-24 (versão do original russo publicado em 1956).

MATTHEWS, H.D. and CALDEIRA, K. 2008. Stabilizing climate requires near-zero emissions, *Geophysical Research Letters*, 35, L04705, doi:10.1029/2007GL032388.

MEEHL, G.A., T.F. STOCKER, W.D. COLLINS, P. FRIEDLINGSTEIN, A.T. GAYE, J.M. GREGORY, A. KITOH, R. KNUTTI, J.M. MURPHY, A. NODA, S.C.B. RAPER, I.G. WATTERSON, A.J. WEAVER, and Z.-C. ZHAO, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 749-845.

MIGUENS, A.P. 1996. *Navegação: A Ciência e a Arte*.

MOLION, L.C.B. 2005. O nível do mar e o degelo no Ártico.

MONAGHAN, A.J., BROMWICH, D.H., CHAPMAN, W. and COMISO, J.C. 2008. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature, *J. Geophys. Res.*, 113D04105, doi:10.1029/2007JD009094.

MÜLLER, R.A. et al. 2011. Decadal variations of global atmospheric land temperature, submetido *Jour. Geophys. Res.*

NEELIN, J.D.; BATTISTI, D.S.; HIRST, A.C.; JIN, F.F; WAKATA, Y.; YAMAGATA, T.; AND ZEBIAK, S.E. ENSO. 1998. Theory. *J. Geophys. Res.*, 103, 14 261–14 290.

PERLWITZ, J., PAWSON, S., FOGT, R.L., NIELSEN, J.E. and NEFF, W.D. 2008. Impact of stratospheric ozone hole recovery on Antarctic climate, *Geophysical Research Letters*, 35, L08714, doi:10.1029/2008GL033317.

PFEFFER, W.T, HARPER, J.T. and O'NEILL, S. 2008. Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise, *Science*, 321, 1340-3.

PHILANDER, S.G.H. 1990. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*, Academic Press, San Diego, CA.

RAHMSTORF, S., CAZENAVE, A., CHURCH, J.A., HANSEN, J.E., KEELING, R., PARKER, D.E. and SOMERVILLE, R.C.J. 2007. Recent climate observations compared to projections, *Science*, 316, 709, doi:10.1126/science.1136843.

SOLOMON, S. 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions, 55, 78-80.

STEIG, E.J., SCHNEIDER, D.P., RUTHERFORD, S.D., MANN, M.E., COMISO, J. C. and SHINDELL, D.T. 2009. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year, *Nature*, 457, 459-462.

TURNER, J., COLWELL, S.R., MARSHALL, G.J., LACHLAN-COPE, T.A., CARLETON, A.M., JONES, P.D., LAGUN, V., REID, P.A. and IAGOVKINA, S. 2005a. Antarctic climate change during the last 50 years, *International Journal of Climatology*, 25, 279-294.

WANG, Z. and MEREDITH, M.P. 2008. Density-driven Southern Hemisphere subpolar gyres in coupled climate models, *Geophysical Research Letters*, 35(14) 5, pp. 10.1029/2008GL034344.

YNDESTAD, H., 2006. The influence of the nodal cycle on Arctic climate. *ICES Journal of Marine Science* 63: 401-420.