UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

FRANCO NADAL JUNQUEIRA VILLELA

**ANÁLISE DECADAL DO FLUXO DE CO₂ ENTRE O OCEANO E A
ATMOSFERA NA PASSAGEM DE DRAKE, OCEANO AUSTRAL**

São Paulo

2011

FRANCO NADAL JUNQUEIRA VILLELA

**ANÁLISE DECADAL DO FLUXO DE CO₂ ENTRE O OCEANO E A ATMOSFERA
NA PASSAGEM DE DRAKE, OCEANO AUSTRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência Ambiental da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Ciência Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joseph Harari

São Paulo

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob a responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 26 de outubro de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

Villela, Franco Nadal Junqueira

Análise decadal do fluxo de CO₂ entre o oceano e a atmosfera na passagem de Drake, Oceano Austral / Franco Nadal Junqueira Villela; orientador Joseph Harari. – São Paulo, 2011.
148f.:Il.;30cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental). Universidade de São Paulo.

1.Dióxido de carbono 2.Pressão parcial de CO₂ 3.Fluxo de CO₂ mar-ar
4.Passagem de Drake 5.Oceano Austral 6.Península Antártica 7.Antártida
I.Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Franco Nadal Junqueira Villela

Título da dissertação: Análise decadal do fluxo de CO₂ entre o oceano e a atmosfera na passagem de Drake, Oceano Austral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Rubens e Marqueza,
que desde cedo
me aguçaram a curiosidade
pelos lugares recônditos
deste e de todos os Mundos*

AGRADECIMENTOS

Ao meu Pai, pela inestimável ajuda e referência.

À minha Mãe, com sua sempre maternal e zelosa alquimia-médica de cuidar-me.

Ao meu Irmão Fernando e minha cunhada Liz, pela força e perfis geográficos.

À Maria, há 34 anos um exemplo de fortaleza para mim;

À Juliana “Tarta”, pelo carinho, companheirismo e paciência que foram fundamentais ;

À Dona Lou, Mariana, Thiago, Ana, Luís, André, Célia, Tatá e Vitor pela amizade e hospitalidade;

Aos meus eternos amigos e amigas de indelével amizade do SWAY;

Aos amigos de jornadas, algumas escabrosas, que foram muito além dos muros da USP: Marcelo, Marina e Mayté (salvadora da minha pele);

À minha família tanto a que está ao norte quanto a que está ao sul de nós: revê-los carrega minhas energias;

Ao Prof. Joseph pela orientação e à sua formidável equipe, sem os quais não teria processado um bit sequer, em especial: Sílvio, Vilberto, Nair, Mariana, Adelite, Cristiano e Vanilde.

À Profa. Rosane pelas imprescindíveis aulas e ajuda; ao Prof. Vicente e Profa. Zezé pelas aulas e lições da vida antártica e de vida; Às Profas. Sônia e Sueli pelas orientações e conselhos nos comitês;

À todos amigos e colegas do PROCAM; e aos que fazem e fizeram tanto por todos nós: Luciano e Priscila;

A todos da APG, gestão 2009, em meio a tantos gases lacrimogêneos;

Aos colegas do INMET, que me deram o apoio para prosseguir.

À equipe Meteoro, INPE , CNPq e Proantar que viabilizaram trabalhar (e como) na Antártida, especialmente: Setzer, Hb, Marilene, Gabriel e Romão.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente nesta dissertação, aqui vão alguns: Maíra de Sorocaba, à famigerada turma da Mayté: Maíra, Ian, Carol e Camis; à Tereza, Silene, Sandra, Kleber, Sumiê, Marcela, Bruno, Felipe, Rogério, Philippe , Alê, Foca e uma galera!

À Ciça, com quem cinco minutos de brincadeira me aliviavam de cinco horas na cadeira;

Ao Sr. dos mares, Poseidon, filho do Tempo, que desistiu de levar às profundezas abissais um navegante, Homem do Tempo, que cruzava seus domínios em uma nau azul-celeste, quando este que escreve tinha metade de suas décadas.

*“Quando a criança era criança
andava com os braços a balançar.
Queria que o riacho fosse um rio,
que o rio fosse uma corredeira,
e que esta poça fosse o mar”.*

*Trecho de “Canção da Infância”
De Peter Handke,
Abertura do Filme “Asas do Desejo”
De Wim Wenders*

RESUMO

VILLELA, FRANCO N. J. **Análise decadal do fluxo de CO₂ entre o oceano e a atmosfera na passagem de Drake, Oceano Austral**. 2011. 148 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Para a área delimitada pelos paralelos 60°S e 62,5°S e pelos meridianos 60°W e 65°W, localizada no sul da Passagem de Drake, no Oceano Austral, próximo à Península Antártica, foram calculadas as distribuições médias de 2000 a 2009, sazonais e anual, do fluxo de CO₂ na interface oceano-atmosfera e de suas variáveis associadas: a pressão parcial de CO₂ na superfície marinha (PCO_{2sw}), a pressão parcial de CO₂ na atmosfera (PCO_{2ar}), a diferença da pressão parcial de CO₂ entre o oceano e a atmosfera (Δ PCO₂) e a taxa de transferência gasosa (TR), que é produto do coeficiente solubilidade do CO₂ na água do mar pela velocidade de transferência gasosa. A parametrização utilizada no cálculo dos fluxos foi a de Takahashi *et al.* (2009) com TR dependente da velocidade do vento ao quadrado multiplicada por um fator de escala 0,26. A área de estudo tem cerca de 75 mil km² e foi dividida em uma grade espacial de 0,5° x 0,5°, resultando em 50 quadrículas. Foram utilizados mais de 46 mil medições de PCO_{2sw}, que na média espacial variou de 362,7 ± 11,2 a 371,9 ± 17,5 μ atm, no verão e primavera respectivamente. A Δ PCO₂ variou de -0,4 a 5,7 μ atm no outono e primavera, respectivamente. A TR variou de 0,065 ± 0,04 a 0,088 ± 0,002 g_C.mês⁻¹.m⁻². μ atm⁻¹, no verão e inverno, respectivamente. O fluxo líquido, se tomando a concentração de gelo como negligenciável, variou de -0,039 ± 0,865 a 0,456 ± 1,221 g_C.m⁻².mês⁻¹, no outono e inverno, respectivamente. O fluxo total anual de carbono, estimado através da média espacial por quadrícula, foi de 95 Gg_C.ano⁻¹. Dessa maneira, na estimativa anual, a superfície do mar se comporta como fonte de CO₂ para a atmosfera, principalmente devido à região da plataforma continental com PCO_{2sw} consideravelmente maior que o da atmosfera. Sazonalmente sugere-se que no verão a maior disponibilidade de radiação solar, a temperatura da superfície do mar (TSM) mais elevada e os ventos mais fracos favorecem a produção de biomassa fitoplancônica, fazendo com que a bomba biológica seja o processo dominante na diminuição da PCO_{2sw} e na absorção de CO₂ atmosférico pela superfície marinha. Já no inverno, os ventos se intensificam e, associados com o forte resfriamento da TSM, promovem a mistura com águas profundas ricas em carbono inorgânico dissolvido, levando a superfície marinha a um estado de supersaturação de CO₂ em relação à atmosfera. Ventos circumpolares de oeste mais intensos e deslocados para sul tem sido apontados como a causa do aumento da PCO_{2sw} em igual ou maior taxa do que ocorre na atmosfera. Na área de estudo foi levantada uma tendência média da intensidade do vento de 0,23 ± 0,03 m.s⁻¹.década⁻¹ e um aumento na frequência da componente zonal de oeste (positiva) de 1,47 ± 1,13 % .década⁻¹. Sugere-se que estas tendências estejam relacionadas com o Modo Anular Austral (SAM). Entretanto, a tendência decadal estimada para a PCO_{2sw} foi menor que para a atmosfera, apesar de ambas indicarem tendência de aumento. Acredita-se que a grande variabilidade e distribuição esparsa de dados tenham mascarado a magnitude da estimativa da tendência de PCO_{2sw}.

Palavras-chave: dióxido de carbono, pressão parcial de CO₂, fluxo de CO₂ mar-ar, Passagem de Drake, Oceano Austral, Península Antártica, Antártida

ABSTRACT

VILLELA, FRANCO N. J. **Decadal analysis of the CO₂ sea-air flux in the Drake Passage, Southern Ocean** 2011. 148 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

For the area bounded by parallels 60°S and 62.5°S and meridians 60°W and 65°W, located in the southern Drake Passage in the Southern Ocean, near the Antarctic Peninsula, mean seasonal and annual distributions of CO₂ flux at the ocean-atmosphere interface, from 2000 to 2009, have been computed, as well as their associated variables: the CO₂ partial pressure at sea surface (PCO_{2sw}), the CO₂ partial pressure in atmosphere (PCO_{2ar}), the CO₂ pressure difference between ocean and atmosphere (Δ PCO₂), and the gas transfer rate (TR), which is the product of the CO₂ solubility coefficient in sea water by the gas transfer velocity. The parameterization used to calculate fluxes was that of Takahashi et al. (2009) with TR depending on the squared wind speed multiplied by a scale factor 0.26. The study area has about 75,000 km² and was divided into a grid of 0.5° x 0.5°, resulting in 50 area boxes. Over 46,000 PCO_{2sw} measurements were used, which in the spatial mean varied from 362.7±11.2 to 371.9±17.5 μ atm, in summer and spring, respectively. The Δ PCO₂ varied from -0.4 to 5.7 μ atm in autumn and spring, respectively. TR varied from 0.065±0.04 to 0.088±0.002 g_C.month⁻¹.m⁻². μ atm⁻¹, in summer and winter, respectively. The net flux, taking ice concentration as negligible, varied from -0.039±0.865 to 0.456±1.221 g_C.month⁻¹.m⁻², in autumn and winter, respectively. The total annual carbon flux, estimated through the spatial mean per square, was 95 Gg_C.y⁻¹. Thus, in the annual estimate the region acts as a source to the atmosphere, mainly due to the continental shelf having PCO_{2sw} considerably greater than that of the atmosphere. Seasonally, it is suggested that in summer the greater availability of solar radiation, warmer sea surface temperature (SST), and weaker winds favor the production of phytoplanktonic mass, making the biological pump the dominating process in lowering the PCO_{2sw} and the absorption of atmospheric CO₂ by the sea surface. On the other hand, in winter winds intensify and, in association with the strong cooling of the SST, promote mixing with deep waters rich in dissolved inorganic carbon, leading the sea surface to a state of supersaturation in CO₂ relative to the atmosphere. Stronger circumpolar west winds and displaced to the south have been pointed as the cause for the increase of PCO_{2sw} at a rate equal to or greater than that occurring in the atmosphere. In the study area it has been detected a mean trend of wind intensity 0.23±0.03 m.s⁻¹.decade⁻¹ and an increase in the western zonal component of 1.47±1.3%.decade⁻¹. It is suggested that these trends are related to the Southern Annular Mode (SAM). However, the decadal trend estimated for the PCO_{2sw} was smaller than for the atmosphere, in spite of both indicating increasing tendencies. It is believed that the great variability and scatter distribution of the data have masked the magnitude of the PCO_{2SW} trend estimate.

Key-words: carbon dioxide, CO₂ partial pressure, CO₂ sea-air flux, Drake Passage, Southern Ocean, Antarctic Peninsula, Antarctica

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACC	CCA – <i>Antarctic Circumpolar Current</i>
BAS	Centro Britânico de Pesquisa Antártica - <i>British Antarctic Survey</i>
CCA	Corrente Circumpolar Antártica
CDIAC	Centro de análise e Informação de Dióxido de Carbono dos EUA - <i>Carbon Dioxide Information Analysis Center</i>
DNA	Departamento Nacional Antártico Argentino
DOE	Departamento de Energia dos EUA
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
GAW	Observatório da Atmosfera Global da ONU - <i>Global Atmosphere Watch</i>
GCOS	Sistema de Observação do clima Global da ONU - <i>Global Climate Observation System</i>
IOCCP	Projeto Internacional de Coordenação do Carbono Oceânico da ONU - <i>International Ocean Carbon Coordination Project</i>
IPCC	Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas da ONU - <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LDEO	Observatório Lamont-Doherty da Universidade de Columbia dos EUA - <i>Lamont-Doherty Earth Observatory</i>
NCAR	Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica dos EUA - <i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	Centros Nacionais de Previsão para o Meio Ambiente dos EUA- <i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NDP	Pacote de Dados Numéricos – <i>Numeric Data Package</i>
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos EUA - <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>

OMM	Organização Meteorológica Mundial da ONU
ONU	Organização das Nações Unidas
PC	Computador Pessoal - <i>personal computer</i>
PCO _{2sw}	Pressão Parcial de Dióxido de Carbono na Superfície da Água do Mar
PCO _{2ar}	Pressão Parcial de Dióxido de Carbono no ar
PNM	Pressão atmosférica ao Nível médio do Mar
PPM	Partes por Milhão (por Volume)
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
SAM	Modo Anular Austral - <i>Southern Annular Mode</i>
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNFCCC	Quadro de Convenções Sobre Mudanças Climática da ONU - <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
WDCGG	Centro Mundial de Dados de Gases Estufa da ONU - <i>World Data Centre For Greenhouse Gases</i>
WMO	OMM - <i>World Meteorological Organization</i>
XBT	Bati-termógrafo descartável - <i>Expendable Bathythermograph</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CO ₂ e o balanço energético	1
1.2. Mudanças Climáticas na Antártida.....	2
1.3. Papel dos Oceanos e Vulnerabilidade	4
1.4. Algumas Pesquisas Brasileiras na Antártida	7
1.5. Objetivos.....	8
2. CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS, METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS NO DRAKE	9
2.1. Histórico de navegação do Drake	9
2.2. A área de Estudo	10
2.3. Características gerais	13
2.4. Elementos climatológicos e oceanográficos	16
2.4.1. Tabelas e gráficos de Teniente Cámara	16
2.4.2. Elementos no Drake e na área de estudo	18
2.5. Sistemas Meteorológicos e Climáticos Peculiares	27
2.5.1 O cavado circumpolar antártico.....	27
2.5.2. O jato frio inercial.....	28
2.6. Variabilidade e Mudança Climática	29
2.6.1 Aquecimento do Oceano Austral.....	31
3. BASE DE DADOS E MÉTODOS	32
3.1. Vento	33
3.2. Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar	35
3.3. Temperatura da Superfície do Mar	36
3.4. Salinidade da Superfície do Mar	37
3.5. CO ₂ Atmosférico	38
3.6. CO ₂ Oceânico	41
3.7. Fluxo de CO ₂	43

3.8. Solubilidade.....	43
3.9. Taxa de transferência gasosa	45
4. RESULTADOS	47
4.1. PCO_{2sw}	47
4.2. ΔPCO_2	55
4.3. TR	63
4.4. FCO_2	71
4.5. Vento	79
5. DISCUSSÃO	82
5.1. PCO_{2ar}	82
5.2. PCO_{2sw}	83
5.3. Fluxo	90
5.4. Tendências	95
6. CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS	102
ANEXOS	110
ANEXO 1: Tabelas Estatísticas por ponto de grade.....	111
ANEXO 2A: Cálculo das áreas por quadrícula	131
ANEXO 2B: Quadro de cálculo de fluxo total por quadrícula.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de nebulosidade de 1954 a 1956	17
Tabela 2. Variação Norte-Sul da temperatura do ar no Drake e Área de Estudo	18
Tabela 3. Variação Norte-Sul da TSM no Drake e Área de Estudo	18
Tabela 4. Variação e diferença Norte-Sul da PNM no Drake e Área de Estudo	19
Tabela 5. Sumário da velocidade escalar do vento em superfície, média da área de estudo.	35
Tabela 6. Sumário da pressão ao nível médio do mar, média da área de estudo	36
Tabela 7. Sumário da temperatura da superfície do mar (TSM), média da área de estudo.	36
Tabela 8. Sumário da Salinidade em superfície, média da área de estudo	37
Tabela 9. Sumário de PCO_2 na atmosfera (superfície), média da área de estudo.....	41
Tabela 10. Constantes para o cálculo da solubilidade de CO_2 em unidades molares.....	44
Tabela 11. Valores de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ em μatm , encontrados neste estudo (AE) e derivados de Takahashi <i>et. al</i> (2009).	88
Tabela 12. Fluxos sazonais médios e variáveis correlatas de 2000 a 2009 para a Área de Estudo	91
Tabela 13. Fluxos médios e variáveis correlatas recalculados para as médias sazonais, a partir da climatologia mensal de Takahashi (2009) para o ano de referência 2000.	92
Tabela 14. Valores de fluxo de CO_2 médio de 2000 a 2009 estimados para a Área de Estudo.	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da região da passagem de Drake, com a área de estudo em vermelho	10
Figura 2. Mapa com os limites da Área de Estudo (em vermelho) e principais topônimos.	11
Figura 3. Topografia da região do setor sul-americano do Oceano Austral com área de estudo em destaque (A); perfil vertical de corte noroeste-sudeste da área de estudo (B).	12
Figura 4. Mapas Esquemáticos: (a) Corrente Circumpolar Antártica (ACC) e das principais correntes (C), Giros (G) e frentes (F), que interagem com ela; (b) Temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Austral e Convergência Antártica (Frente Polar Antártica).	14
Figura 5. Localização de Teniente Cámara (Ilha Meia Lua).	16
Figura 6. Anemogramas mensais para Teniente Cámara.	17
Figura 7. Climatologia da extensão e concentração do gelo marinho no seu mínimo (a) e máximo (b)	21
Figura 8. Posição sazonal da Convergência Antártica.	22
Figura 9. Posição da Principais frentes antárticas e topografia (a); estrutura vertical de temperatura (b-cima) e salinidade (b-baixo) ao longo das frentes.	23
Figura 10. Correntes geostróficas na área das Shetland do Sul, onde se notam os <i>eddies</i> de mesoescala.	24
Figura 11. Trajetória típica de centro de baixa pressão no Drake.	26

Figura 12. Perfil latitudinal da pressão à superfície no hemisfério sul.....	28
Figura 13. Trajetórias do jato inercial e convergência com vento W.	29
Figura 14. Pontos de grade de interpolação da área de estudo	33
Figura 15. Distribuição da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sazonal para: (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro).	37
Figura 16. Série temporal diária (azul) e tendência linear (verde) da concentração de CO ₂ em Jubany, Antártida.....	39
Figura 17. Locais de amostragem de PCO ₂ sw por estação do ano; onde N representa o número total de medições ao longo da década dentro da Área de Estudo [AE].	42
Figura 18. Mapa da distribuição da pressão de CO ₂ média anual na superfície da água do mar,... ..	47
Figura 19. Distribuição da pressão de CO ₂ sazonal na superfície da água do mar, para (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro).	49
Figura 20. Mosaico das séries temporais e tendências lineares da pressão de CO ₂ , médias sazonais de 2000 a 2009.	50
Figura 21. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de PCO ₂ sw para o Verão.....	51
Figura 22. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de PCO ₂ sw para o Outono....	52
Figura 23. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de PCO ₂ sw para o Inverno..	53
Figura 24. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de PCO ₂ sw para a Primavera	54
Figura 25. Mapa da distribuição da diferença de pressão de CO ₂ média anual.....	55
Figura 26. Distribuição da diferença pressão de CO ₂ (mar- ar) sazonal. ..	57
Figura 27. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔPCO ₂	58
Figura 28. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔPCO ₂ sw para o Verão. ..	59
Figura 29. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔPCO ₂ sw para o Outono.	60
Figura 30. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔPCO ₂ sw para o Inverno.	61
Figura 31. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔPCO ₂ sw para a Primavera.	62
Figura 32. Mapa da distribuição do coeficiente da taxa de transferência gasosa (TR) média anual.....	63
Figura 33. Distribuição do coeficiente da taxa de transferência gasosa (TR)	65
Figura 34. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR,	66
Figura 35. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para o Verão..	67
Figura 36. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para o Outono..	68
Figura 37. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para o Inverno..	69
Figura 38. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para a Primavera.	70
Figura 39. Mapa da distribuição da média decadal do Fluxo líquido de CO ₂	71
Figura 40. Distribuição Fluxo líquido de CO ₂ média sazonal	73
Figura 41. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de Fluxo Líquido de CO ₂	74
Figura 42. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO ₂ para o Verão.	75
Figura 43. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO ₂ para o Outono.	76
Figura 44. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO ₂ para o Inverno.....	77
Figura 45. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO ₂ para a Primavera....	78

Figura 46. Rosas dos ventos do período 2000 a 2009	79
Figura 47. Distribuição das frequências relativas e tendência decadal da componente zonal do vento	80
Figura 48. Série temporal e tendência decadal da velocidade escalar do vento.	81
Figura 49. Evolução mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> , PCM (a), TSM e velocidade do vento (b) para o Oceano Austral.....	86
Figura 50. A área delimitada da climatologia de Takahashi (2009) usada para comparação com a área de estudo deste trabalho	89
Figura 51. Ciclo mensal da ΔPCO_2 para o Oceano Austral entre 50° e 62°S segundo Takahashi <i>et al.</i> , 2009.....	91

1. INTRODUÇÃO

1.1. CO₂ e o balanço energético

A atmosfera é um dos principais componentes da biosfera responsáveis pela manutenção da vida no planeta Terra. São os gases da atmosfera, em particular os chamados gases estufa, que conservam grande parte da energia fornecida pelo sol ao planeta. O sol emite radiação em comprimentos de onda proporcionais à sua temperatura (radiação de onda curta); essa radiação chega à atmosfera, que absorve somente uma pequena parte dessa radiação; portanto, a despeito dos aerossóis e de nuvens, parte da radiação incide na superfície, que a absorve e passa a emitir radiação proporcionalmente à sua temperatura (radiação de onda longa). Se não fosse a propriedade desses gases estufa de absorver radiação, muito pouco dessa radiação, e conseqüentemente dessa energia, ficaria retida na atmosfera, resultando em temperaturas extremamente baixas, inadequadas à sustentação da vida como a conhecemos.

Os principais gases estufa presentes na atmosfera são: vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Dentre os gases antropogênicos o que tem maior peso na potencialização do efeito estufa é o CO₂. Análises de testemunhos de geleiras antárticas e medições recentes demonstraram que a concentração do dióxido de carbono passou de cerca de 280 ppm no período pré-industrial para 379 ppm em 2005, valor muito maior que o máximo da variação natural nos últimos 650 mil anos (IPCC, 2007).

O aumento, nos últimos dois séculos, nos níveis de CO₂ na atmosfera é majoritariamente devido à queima de combustíveis fósseis em grande escala, iniciado com a revolução industrial. A maior concentração de gases estufa e aerossóis na atmosfera aliados às alterações na superfície terrestre, além de flutuações na radiação solar, promovem uma mudança no balanço de energia do sistema climático. Com vistas ao sinal das mudanças climáticas, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), incumbido da responsabilidade de avaliar os trabalhos científicos publicados no tema de clima e áreas correlatas e de recomendar políticas públicas para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Uma das avaliações feitas no relatório do IPCC de 2007 considera que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, como é evidente a partir de observações do aumento das temperaturas médias global do ar e dos

oceanos, do extenso derretimento de gelo e neve, e da elevação do nível médio dos oceanos (IPCC, 2007).

1.2. Mudanças Climáticas na Antártida

A Antártida tem papel fundamental no balanço energético do planeta, funcionando como o principal sorvedouro de calor planetário, porém fatores como suas próprias condições climáticas extremas, seu isolamento geográfico e sua ocupação tardia fazem com que a região não apresente uma rede de monitoramento meteorológico e climatológico que corresponda à importância desse papel.

Dados climatológicos com pequena densidade espacial e séries temporais relativamente curtas tornam difícil a tarefa de estabelecer um diagnóstico inequívoco e abrangente acerca das mudanças climáticas na Antártida, principalmente quando comparada com outras regiões do planeta, em especial ao Ártico, o qual é monitorado há mais tempo e onde os efeitos da tendência de aumento de temperatura são mais bem documentados.

De modo geral as séries de temperatura do ar na região da Península Antártica apresentam uma tendência positiva, ou seja, de aumento de temperatura, particularmente na sua porção Oeste nos últimos 50 anos (Turner *et. al*, 2005). Já no interior do continente, a tendência é negativa ou não há tendência estatisticamente relevante (Turner *et. al, op. cit*). Dados de satélite apontam também uma tendência de aquecimento da temperatura das superfícies expostas de solo, do gelo, do gelo marinho e da superfície do mar em grande parte das regiões costeiras (NASA, 2009). Parte desse comportamento contrastante de temperaturas entre o interior e zonas periféricas pode ser explicada por outras evidências: ventos troposféricos (i.e. nos baixos níveis da atmosfera) mais velozes ao redor do continente e a intensificação do Vórtice Polar (i.e. estratosférico). A explicação para a aceleração desses ventos é surpreendente e dá uma boa idéia da complexidade dos *feedbacks* do sistema climático na Antártida. A “assinatura” do efeito do aquecimento global, devido à emissão de gases de efeito estufa, tem sido pequena na maior parte da Antártida devido a outra mudança atmosférica atribuída às causas antrópicas: o buraco na camada de ozônio. Esses ventos estariam então ajudando a isolar, como uma espécie de barreira, grande parte do continente do aquecimento vindo de latitudes mais baixas (BAS, 2009).

À medida que a temperatura na camada de ozônio sobre o pólo se resfria, em consequência da menor absorção de radiação ultravioleta, anomalias negativas de temperatura e altura geopotencial (i.e. uma medida da espessura da camada troposférica, que por estar mais fria e densa possui uma dimensão vertical menor, ou seja, está mais compacta) começam a aparecer. Essas anomalias na troposfera intensificam-se com uma defasagem de cerca de dois meses em relação à estratosfera; enquanto que o pico de anomalia na estratosfera é na primavera, o da troposfera se dá nos meses de verão. Essas anomalias, por sua vez, aumentariam as diferenças de temperatura na atmosfera entre o pólo e latitudes médias a subpolares e que são responsáveis pelos ventos circumpolares.

Experimentos em lagos e tanques de geração de ondas não deixam dúvidas de que o vento tem um papel primordial na transferência gasosa (Wanninkhof, 1992). Relações entre velocidade do vento e velocidade de transferência gasosa têm sido largamente empregadas para determinação dos fluxos de CO_2 entre o ar e a água, mas sem levar em conta a duração das medidas. Por exemplo, com ventos fracos, o fluxo de CO_2 pode até se acentuar devido a efeitos químicos. Diversas equações que descrevem a transferência gasosa indicam que a distribuição de velocidade do vento não pode ser omitida. Para ventos constantes ou estáveis, uma menor dependência da taxa de transferência em função do vento deve ser usada, no lugar de médias climatológicas de força do vento. Wanninkhof (1992) considera que parte das diferenças entre modelagem e observações, quanto à taxa de transferência gasosa, resulta dos diferentes intervalos de tempo das medições do vento ou da forma em que as médias são feitas. Este autor propõe uma fórmula para obter as velocidades de transferência gasosa em ventos estáveis a partir de observações em navios com anemômetros ou de dados de satélite por técnicas de dispersão (*escaterômetros*) ou radiometria (*op. cit.*). Seus estudos mostram que a frequência em que a velocidade do vento é medida faz diferença nos resultados dos modelos, bem como conclui que velocidades acima de 15 m.s^{-1} , apesar de não serem comuns nos oceanos, contribuem significativamente para a transferência gasosa global.

Turner *et al.* (2005) analisaram as séries temporais de vento obtidas por estações meteorológicas de superfície dos últimos 50 anos no continente antártico e encontraram tendências de aumento decadal de até $0,20 \pm 0,35 \text{ m.s}^{-1}$ para a primavera (1969 a 2000) na estação de Bellingshausen, na Ilha Rei George, limite Sul do mar de Drake, e de $0,23 \pm 0,21 \text{ m.s}^{-1}$, para estação Faraday no verão (1951-2000), localizada no setor noroeste da península.

Como a camada de ozônio sobre a Antártida tende a se recuperar no próximo século pela adoção do Protocolo de Montreal, que instituiu metas de diminuição do uso de CFCs, modelos climáticos que incorporam cálculos fotoquímicos relacionados ao ozônio apresentam respostas de atenuação dos ventos circumpolares e aumento de até 3°C na temperatura média da Antártida até o fim do século XXI.

1.3.Papel dos Oceanos e Vulnerabilidade

Os oceanos são grandes absorvedouros do carbono antropogênico sendo que, desde a revolução industrial, já absorveram 48% do total das emissões de combustíveis fósseis (IOCCP, 2007 *apud*: Sabine *et al.*, 2004). As mudanças climáticas interferem e impactam a físico-química e a biologia dos oceanos, tendo alterado características como a temperatura, concentração de CO₂, alcalinidade, salinidade e processos como fotossíntese, respiração e calcificação.

Os fluxos de CO₂ em face das mudanças climáticas tem se modificado cada vez mais; regiões como o oceano austral já registram uma diminuição na eficiência do sequestro de CO₂ da atmosfera e, ao menos desde 1955, a quantidade de calor dos oceanos tem aumentado. (IOCCP, 2007).

O Oceano Austral (ao sul de 50° S) é responsável por cerca de 4% da retirada total de CO₂ atmosférico global, ou seja, -0,05 Pg_C.ano⁻¹ (-0,05. 10¹⁵ gramas de carbono por ano), estimado para o ano de 2000 (Takahashi *et al.*, 2009). Porém a região ainda apresenta lacunas observacionais e variabilidades naturais que podem ser consideráveis, haja vista que para minimizar a grande variabilidade espaço-temporal durante o período de maior atividade fotossintética, o estudo de Takahashi *et al* (*Op. Cit.*) analisou somente os dados referentes aos meses de inverno estendido (dias do ano de 172 a 326) na determinação das taxas de mudanças decadais. É importante ressaltar que as observações de CO₂ na superfície do Oceano Austral têm aumentado significativamente, resultando em estimativas de fluxos mais apuradas. Em estudo anterior, Takahashi *et al.* (2002) contavam com cerca de 400 mil observações e estimaram um fluxo de -0,39 Pg_C.ano⁻¹ para o ano de referência 1995, o que correspondia a 24% da absorção oceânica global, fluxo esse uma ordem de grandeza maior que o estimado no trabalho de 2009, que contou com uma base de dados quase três vezes

maior, de 1,1 milhão de observações . Essas diferenças na estimativa são em sua maior parte atribuídas ao refinamento das interpolações proporcionadas pelo aumento do banco de dados e não devido a mudanças ambientais.

Modelos acoplados físico-bio-geo-químicos globais sugerem que o “Oceano Antártico” pode se tornar o maior sorvedouro do CO₂ atmosférico se esse continuar crescendo em taxas atuais (Tréguer e Pondaven, 2002). Não obstante, essa capacidade pode ser contrabalançada pela tendência à estratificação, induzida por mudanças climáticas em latitudes menores que 60°S. Apesar da alta penetração do CO₂ no oceano circumpolar antártico, seu armazenamento é pequeno, pois o carbono é transportado pelas correntes para a zona de convergência subtropical ao norte (*op. Cit.*).

A região do Oceano Austral Sul é apontada como sendo uma nas quais os ecossistemas são mais vulneráveis aos impactos, devido à sensibilidade do sistema carbonato, que pode ser resumido pelos mecanismos da bomba biológica e da bomba física.

A bomba biológica é responsável pela fixação do carbono por organismos aquáticos fotossintetizadores chamados fitoplâncton, além de estar relacionada com a formação e dissolução de carbonato de cálcio (utilizado para formação de estruturas como carapaças em alguns organismos); e com a decomposição (oxidação) de matéria orgânica. A dinâmica da abundância dos organismos fotossintetizadores chamada produção primária, é de extrema importância, por ser a base da rede trófica.

Algumas previsões apontam que em 200 anos a queda do nível do pH, induzida pelo aumento do CO₂ no oceano irá ser tal, que modificará o estado de saturação do carbonato de cálcio a ponto de dissolver conchas e minerais de calcita, além de enfraquecer estruturas esqueléticas de carbonato, deixando-as mais vulneráveis à erosão e à dissolução (Millero, 2007).

Respondem pela eficiência da bomba física: a solubilidade do CO₂ na água do mar, a qual depende basicamente da temperatura e da salinidade *in situ*; o aumento do CO₂ na atmosfera e o transporte de CO₂ de outras regiões, tanto pela mistura vertical quanto pela circulação horizontal.

Através de satélites que obtém imagens coloridas do oceano, tem-se procurado estimar a produção primária em termos de clorofila. Por sua vez, da estimativa da produção primária tem se tentado derivar outro dado, o do fluxo de CO₂. Mas muito ainda tem que ser

feito para chegar a algoritmos capazes de converter dados de satélite em dados de fluxo de CO₂ sendo que, inevitavelmente, para fins de calibração e validação dos dados derivados, devem-se ter medições feitas *in situ*.

Neste contexto é importante para o conhecimento científico o estabelecimento de todos os fatores que afetam a concentração de CO₂, de qualquer origem, seja ela física, química, biológica ou geológica.

Sabe-se com segurança que a biogeoquímica do Oceano Austral é muito sensível às mudanças climáticas, mas ainda pairam incertezas sobre os fatores que influíram no passado e que poderiam ser usados como preditores no presente, entre eles o fluxo de CO₂ e sua dependência da bomba biológica e de condições físicas, como tensão do vento, circulação oceânica, extensão do gelo e temperatura (Tréguer e Pondaven, 2002). Por outro lado, já existem indícios de que a bio-geo-química do moderno Oceano Austral está mudando, e ao mesmo tempo, modelos acoplados físico-bio-químicos estão indicando que o Oceano Antártico poderá tornar-se o principal absorvedouro de CO₂ atmosférico, caso a concentração deste gás continue aumentando exponencialmente. Entretanto, tal capacidade poderia ser diminuída por uma maior estratificação do Oceano Austral, induzida pelo aquecimento global, podendo inclusive inverter o sentido do fluxo. Para melhorar a capacidade de entendimento e previsão, os modelos precisam ser relacionados com as observações (*op. Cit.*). Para isso, além do melhor entendimento dos fatores biológicos (i.e. respostas dos ecossistemas a fluxos alterados de carbono e outros elementos), recomenda-se uma determinação mais detalhada (no tempo e no espaço) dos parâmetros mais sensíveis nos modelos, como velocidade do vento (não apenas valores médios, mas sua distribuição, duração ou pista, frequência, etc).

Apesar da rede de monitoramento de concentrações e fluxos de CO₂ ter crescido apreciavelmente, a carência de séries temporais mais extensas é grande, o que não promove uma base de dados estatisticamente significativa, principalmente no que se refere às tendências dessas variáveis. Contudo, uma das variáveis de maior peso no fluxo do CO₂ é a velocidade do vento, que promove a agitação das águas e a turbulência do ar sobre a superfície marinha, sendo essa variável monitorada sistematicamente em diversas localidades desde o Século XIX.

1.4. Algumas Pesquisas Brasileiras na Antártida

Medições nos meses de verão da pressão parcial do dióxido de carbono (PCO_2) nas águas da Baía do Almirantado, que banham a área da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), apontaram os seguintes valores médios: 489,7 μatm , 559,9 μatm e 434,3 μatm , correspondentes aos anos de 1999, 2001 e 2002 respectivamente, indicando a área como fonte (fluxo positivo) de CO_2 para a atmosfera devido aos valores supersaturados (Ito *et al.*, 2005).

A análise da série temporal de dados de 1986 a 2002 de velocidade média do vento na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) do Brasil demonstrou uma tendência linear de aumento de cerca de $0,50 \text{ m.s}^{-1}$ por década (Romão e Setzer, 2003). Outro trabalho acerca dos ventos na região da península antártica apontou o ano de 2001 como sendo de ventos médios mais intensos no período de 1994 a 2001 (Setzer *et al.*, 2002). Isso pode ter por hipótese uma possível relação com a maior PCO_2 encontrada naquele ano, já que alguns estudos indicam a predominância de processos físicos de mistura vertical, do tipo ressurgência (Augusto, 2006), apesar das simulações por modelos hidrodinâmicos computacionais sugerirem que o vento tem papel pouco representativo na circulação das águas da Baía do Almirantado, onde a circulação do estreito de Bransfield a sudeste rege o influxo e o efluxo de suas águas (Weber e Montone, 2006). Não obstante, outros trabalhos indicam que a maior parte dos ventos predominantes, exceto os de direção sudoeste e oeste, levam a água para fora da baía (Pruszk, 1980 *apud* Augusto, 2006).

Como parte do Programa Antártico Brasileiro, nas campanhas de verão de 2008 e 2009 foram investigados a distribuição da pressão parcial de CO_2 e os fluxos líquidos ar-mar deste gás na região do Mar de Weddell, estreito de Bransfield e Ilha James Ross. Em 2009, numa porção desta última foram amostradas águas próximas a icebergs. As áreas de amostragem foram selecionadas com base em imagens de satélite indicando a distribuição de clorofila-a. Os fluxos líquidos de CO_2 foram calculados pelos coeficientes de transferência gasosa de Takahashi *et al.*, (2009) usando o vento observado a cada hora no navio *Ary Rongel*. Com base a resultados similares para 2008 e 2009 concluiu-se que cada região pesquisada apresenta características particulares. A região da Ilha Ross e de icebergs nas proximidades atuou como sorvedouro de CO_2 atmosférico, sendo que o principal fator atuante foi a bomba biológica. No Weddell os fluxos líquidos resultaram próximos ao equilíbrio, sendo os processos físicos determinantes. No Bransfield, a situação era de emissão de CO_2 para a

atmosfera, também com dominância de processos físicos locais, sendo as águas mais quentes e menos salinas (Camargo, Ito, Garcia e Garcia, 2008).

1.5. Objetivos

Diante da importância dos fluxos de carbono e do papel fundamental dos oceanos no processo de regulação da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, esta pesquisa buscou:

- Estabelecer, a partir de uma abordagem climatológica, a caracterização média decadal dos fluxos de CO₂ e de suas componentes em uma região do Oceano Austral, na passagem de Drake, próximo à Península Antártica;
- Identificar os principais processos e interações que atuam no sistema de fluxos de dióxido de carbono na interface oceano-atmosfera;
- Verificar como mudanças no padrão dos ventos de superfície, atribuídas às mudanças climáticas, podem influenciar no fluxo de CO₂ em uma região delimitada, dentro de águas antárticas.

2. CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS, METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS NO DRAKE

2.1. Histórico de navegação do Drake

Segundo o Roteiro de navegação da Marinha Argentina (Armada Argentina, 1970), a extensão de mar compreendida entre o extremo meridional do continente americano e as ilhas Shetland do Sul, é conhecido com o nome de Passagem de Drake (Figura 1). O nome tem ainda outras variantes: Estreito de Drake, e Mar de Drake. Ainda de acordo com o Roteiro argentino:

“Tem cerca de 430 milhas [náuticas] de largura entre os extremos de terra mencionados e em suas águas se confundem as dos oceanos Atlântico e Pacífico, ao sul do Cabo de Horn. Para o E estende-se até confundir-se com o mar Scotia. Na passagem Drake são muito frequentes os temporais (...) particularmente os de W; a fim de estabelecer a oportunidade do seu cruzamento e efetuá-lo, deve-se levar em conta esta circunstância e o fato de que se contará provavelmente com visibilidade reduzida e dificuldade para a localização astronômica, devido a fatores meteorológicos adversos. Tem sido informado em repetidas oportunidades que as correntes na passagem Drake produzem um abatimento para o E, mas não se pôde determinar seu valor exato, visto que os dados obtidos mostram notáveis discrepâncias; entretanto pode-se dizer que é proporcional à força do vento”. (Armada Argentina, 1970).

O nome Drake faz referência a Francis Drake (1541-1595), navegante e corsário inglês, que realizou a primeira viagem de circunavegação do globo. Em setembro de 1578, sua frota de 5 navios foi dispersada por grande temporal no estreito de Magalhães. A nau capitânea, empreendendo fuga, foi arrastada para o sul até a ilha que seria posteriormente redescoberta e denominada Horn. Naquele ponto parecia haver mar largo, onde o oceano Atlântico e o Mar do Sul se encontravam (Christie, 1951). Historiadores argentinos contestam a primazia de Drake, atribuindo a descoberta da passagem ao espanhol Francisco de Hoces em 1526 (Capdevila e Comerci, 1982). A primeira travessia do estreito de Drake (leste-oeste) foi feita por dois navegantes holandeses, Schouten e Le Maire, em 1615; o cabo Horn recebeu o nome de um dos navios destes navegantes, o *Cape Hoorn* (Christie, 1951). As ilhas Shetland do Sul, que marcam o limite meridional do Drake, foram descobertas pelo navegante inglês William Smith em 1819, desencadeando uma corrida à caça de focas; mas provavelmente já

eram freqüentadas por caçadores argentinos anos antes. A descoberta do arquipélago é também reivindicada por americanos (Palmer) e russos (Bellingshausen). O pioneiro navio oceanográfico inglês *Discovery II* conduziu extensa investigação na passagem Drake a partir de fins de 1933. Coube também aos ingleses estabelecer a primeira ocupação permanente das ilhas Shetland do Sul, na ilha Deception, em 1944.

Figura 1. Mapa da região da passagem de Drake, com a área de estudo em vermelho (Fonte: Adaptado de Google Earth, 2011)

2.2. A área de Estudo

A área de estudo, daqui por diante também nominada de AE, encontra-se ao Sul do Drake, junto às Ilhas Shetland Sul. Foram escolhidos os meridianos 60°W e 65°W como limites leste e oeste da área, e os paralelos 60°S e $62,5^{\circ}\text{S}$ como limites norte e sul (Figura 2). A superfície total da área de estudo é de 74.345 km^2 ; em seu setor sudeste encontram-se pequenas áreas setentrionais da ilha de Livingston, único afloramento de terra dentro do perímetro delimitado. A área de estudo foi assim delimitada por possuir as seguintes

características: 1) abranger as principais rotas dos navios de pesquisa que realizam medidas de fluxo contínuo de pressão de CO₂ na água do mar na travessia do Drake; 2) não estar muito distante da base de Jubany (Argentina) na Ilha Rei George a leste, de onde foram utilizados os valores de concentração de CO₂ no ar; 3) considerando-se os ventos predominantes do setor oeste, a AE não está a sotavento de nenhuma barreira orográfica significativa, podendo-se utilizar os dados de vento por sensoriamento remoto sem prejuízo e 4) ser predominantemente oceânica e estar em águas Antárticas, ao sul da frente polar antártica, que será descrita mais adiante.

Figura 2. Mapa com os limites da Área de Estudo (em vermelho) e principais topônimos.

A topografia da região das Ilhas Shetland do Sul, como pode ser visto na Figura 3a, é bastante peculiar com montanhas de 2105 metros de altitude (Monte Foster na Ilha Snow) e

profundidades abissais maiores que 5000 metros (Fossa das Shetland do Sul). O perfil topográfico da área de estudo, em um corte vertical no sentido de noroeste para sudeste, pode ser visto na figura 3b.

Figura 3. Topografia da região do setor sul-americano do Oceano Austral com área de estudo em destaque (A) (Fonte: Adaptado de Topex, 2011); perfil vertical de corte noroeste-sudeste da área de estudo (B).

2.3. Características gerais

Desde tempos históricos até hoje em dia, são inúmeros os relatos de enfrentamento de condições do mar e do tempo extremamente adversas nas águas do Drake, terminando várias vezes em naufrágios, especialmente nas imediações do cabo Horn. Segundo o cap. Emílio Diaz da Marinha Argentina (Diaz, 1958), a metade setentrional do Drake é mais tormentosa do que a meridional, e ele próprio enfrentou naquela parte temporal ciclônico de 30 horas de duração em dezembro de 1947 e outro de vários dias seguidos em dezembro de 1948. Na temporada 1987-88, o *Almirante Câmara*, da Marinha Brasileira, de regresso da Antártida, sob comando do cap. Monteiro, enfrentou no Drake (57°S), temporal de 36 horas de duração, com ondas de 20 metros “de todas direções”. A pressão central do ciclone era de 984 hPa, com gradiente bórico no entorno muito intenso (Villela, 1988). Em fevereiro de 1991, o meteorologista Rubens Villela com mais 3 tripulantes a bordo do veleiro *Rapa Nui* sofreram uma pane de motor na travessia do Drake e foram atingidos por uma tempestade com ondas de no mínimo 10 metros de altura, as quais vieram a tombar e emborcar o veleiro (capotar), que quase naufragou, não fosse o contra-peso da quilha ter promovido o retorno à condição de navegabilidade minutos depois (Klink, 1992 e relatos pessoais).

Ao redor da Antártida existe uma corrente que flui de oeste para leste, chamada Corrente Circumpolar Antártica (CCA ou ACC do inglês), a qual circunda todo o continente, característica não observada em nenhum outro local em tamanha extensão. A CCA (Figura 4a), ao passar pelo estreito de Drake, tem pronunciada estrutura baroclínica (i.e. campo de densidade com forte gradiente norte-sul) que a torna dinamicamente ativa, apresentando meandros, vórtices de mesoescala e acelerações concentradas em eixos estreitos (jatos). Ela transporta colossal volume de água, da ordem de 150 milhões de metros cúbicos por segundo no Drake, comparados a 190 e 180 milhões de $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ao sul da África e ao sul da Austrália, respectivamente. O Drake atua como barreira parcial ao fluxo, desviando parte da água que chega do oceano Pacífico para o norte ao longo da costa do Chile. Em média, a velocidade da corrente de superfície que entra no Drake varia de 0,26 a 0,51 m.s^{-1} (Perry e Walker, 1977).

Segundo estudos do Serviço de Hidrografia Naval argentino, na época mais favorável à navegação (dezembro-janeiro), são as seguintes as frequências de vento de temporal (18 m/s ou mais) no Drake: 13% (meridiano do Cabo Horn) e 8% (meridiano da Ilha dos Estados); a velocidade média do vento é de respectivamente 9 e 8 m/s (Schwerdtfeger, 1962).

Um aspecto descrito pelos navegantes ao cruzarem o estreito de Drake que despertou grande interesse científico é o encontro da Convergência Antártica (ou frente polar sul, ou ainda frente polar antártica), entre 56° e 60°S (Figura 4b). Antes da convergência, vindo de norte, a temperatura da água diminui lentamente, de 7 a 5°C até 60°S, para cair bruscamente, em poucas dezenas de milhas, a 0 a 2°C (Diaz, 1958). Durante viagem à Antártida a bordo do N/Oc “Prof. W. Besnard” a travessia da Convergência Antártica foi observada em cerca de 56,5°S, bem marcada em termos de temperatura de água de superfície, que caiu de 7° para 4° C em 20 milhas, , com base em lançamentos de XBTs (Villela, 1985).

Figura 4. Mapas Esquemáticos: (a) Corrente Circumpolar Antártica (ACC) e das principais correntes (C), Giros (G) e frentes (F), que interagem com ela; (b) Temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Austral e Convergência Antártica (Frente Polar Antártica). (Fonte: Adaptado de Turner *et al.*, 2009 e Barnes e Conlan., 2006, respectivamente).

A Convergência Antártica pode ser considerada como a fronteira do Oceano Austral ou Antártico, estendendo-se ao redor de todo o hemisfério, separando águas e ecossistemas de características distintas. Numa estreita faixa, águas frias e menos salinas do sul imergem sob águas mais quentes e mais salinas do norte, com o aparecimento de pingüins, baleias e o seu principal alimento, o krill.

A Corrente Circumpolar Antártica pode ser considerada como outra fronteira que contribuiu para o isolamento do continente antártico e desta forma, para o desencadeamento da sua glaciação no intervalo geológico Eoceno-Oligoceno, há cerca de 34 milhões de anos, após a separação entre Antártida e América do Sul, abrindo o estreito de Drake. Tanto os ventos de oeste como a corrente marinha são resultado da estrutura baroclínica de ambos os fluidos. A superfície do mar (e as superfícies isobáricas da atmosfera também) se inclina para baixo na direção do continente antártico e, pelo efeito de Coriolis, em equilíbrio com a força do gradiente horizontal de pressão, criam um movimento de oeste para leste, conhecido como fluxo geostrófico (Rodrigo, 2008). Entretanto, uma redução da concentração de CO₂ na atmosfera durante o Cenozóico, também teria concorrido para a rápida formação de mantos glaciais no planalto antártico (Turner *et al.*, 2009).

Como informação complementar, na latitude 62°S, as tabelas astronômicas fornecem as seguintes durações do dia (valores aproximados em torno do início do mês): julho, 5 h; agosto, 7 h; setembro, 10 h; outubro, 13 h; novembro, 16 h; dezembro, 19 h; janeiro, 20 h; fevereiro, 17 h; março, 14 h; abril, 11 h; maio, 8 h; e junho 6 h (Schwerdtfeger *et al.*, 1959).

2.4. Elementos climatológicos e oceanográficos

Foi inicialmente selecionada, como a estação de observação mais representativa da área de estudo, a de Teniente Cámara (62° 36' S 59° 54' W, altitude 22 metros), operada pelo Destacamento Naval Argentino (DNA) na pequena ilha Meia Lua, situada entre a Ilha Greenwich a leste e Ilha Livingston a oeste (Figura 5). Apesar do período curto de operação constante (1954 a 1959), os dados são consistentes quando comparados aos da série de 10 anos da ilha Decepção, também do DNA, situado pouco mais ao sul (62° 59' S) (Schwerdtfeger *et al.*, 1959).

Figura 5. Localização de Teniente Cámara (Ilha Meia Lua). (Fonte: Adaptado de Ivanov *et al*, 2004 e Schwerdtfeger *et al.*, 1959.)

2.4.1. Tabelas e gráficos de Teniente Cámara

a) Rosas do vento (Anemograma)

Prevalecem ventos de W e, em segundo lugar, ventos de E. Quanto a ventos fortes, a maior frequência relativa de ventos igual ou superiores a 37 nós é de E, exceto no inverno (junho a outubro) quando são de W. Ventos de SE e NW são a terceira prevalência (Figura 6).

Figura 6. Anemogramas mensais para Teniente Cámara. (Fonte: Schwerdtfeger et al., 1959.)

b) Temperatura

Temperatura média anual (6 anos):	- 2,9° C
Temperatura média mensal maior (janeiro):	1,0° C
Temperatura média mensal menor (julho):	-8,5° C
Temperatura máxima absoluta (11-10-1955):	11,5° C
Temperatura mínima absoluta (12-8-1954):	-30,0° C

c) Pressão ao nível do mar

Pressão média anual (1954-1956):	990,2 hPa
Pressão média mensal maior (maio de 1956):	1003,4 hPa
Pressão média mensal menor (fevereiro 1955):	981,8 hPa

d) Nebulosidade total (em oktas)

Tabela 1. Valores médios de nebulosidade de 1954 a 1956 (Predominam nuvens baixas).

	DEZ -JAN	MAR-ABR	JUN-JUL	SET-OUT	ANO
Cámara	6,8	7,0	6,1	6,4	6,6
Decepción	7,1	7,0	6,4	6,7	6,8

e) Precipitação anual (líquida equivalente)

Precipitação média anual (6 anos): 497 mm

Precipitação média mensal maior (maio): 56 mm

Precipitação média menor (dezembro): 10 mm

2.4.2. Elementos no Drake e na área de estudo

Os seguintes elementos aproximados, meteorológicos, climatológicos e oceanográficos, foram extraídos, na sua maior parte, de cartas mostrando sua distribuição geográfica na área, publicadas em fonte indicada.

a) Temperatura do ar

Tabela 2. Variação Norte-Sul da temperatura do ar no Drake e Área de Estudo

	Média Anual (° C)		Média Sazonal (° C) Dez a Jan		Média Sazonal (° C) Jun, Jul e Ago	
	N	S	N	S	N	S
AE	1,0	-2,2	4,0	1,3	-2,0	-6,2
Drake	4,7	-2,8	8,0	1,0	1,2	-7,0

Fonte: Schwerdtfeger *et al.*, 1959.

b) Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Tabela 3. Variação Norte-Sul da TSM no Drake e Área de Estudo

	Janeiro (° C)		Julho (° C)	
	N	S	N	S
AE	4,0	1,5	0,0	-2,0
Drake	7,0	1,2	6,0	-2,0

Fonte: King e Turner, 1997.

Na climatologia oceânica do hemisfério sul, o Drake apresenta notável anomalia média anual de TSM, superior a $+3^{\circ}\text{C}$, centrada no Drake Norte, ao Norte da Convergência Antártica. Ou seja, a temperatura está 3 graus acima da média latitudinal (Perry e Walker, 1977). A constrição que representa o Estreito de Drake aproxima entre si as massas de água, seus limites (frentes) e correntes de extensão zonal hemisférica (Mann e Lazier, 1991).

c) Pressão ao nível do mar (PNM) e gradiente latitudinal

Tabela 4. Variação e diferença Norte-Sul da PNM no Drake e Área de Estudo

	Média Anual (hPa)			Média Dez-Jan (hPa)			Média Mar-Abr (hPa)			Média Jun-Jul (hPa)			Média Set-Out (hPa)		
	N	S	Δ	N	S	Δ	N	S	Δ	N	S	Δ	N	S	Δ
AE	995	992	3	994	992	2	993	990	7	996	990	3	994	990	4
Drake	999	991	8	998	992	4	997	990	7	999	993	6	1001	990	4

Fonte: Schwerdtfeger *et al.*, 1959.

d) Vento

- (i) Tanto observações como cálculos do vento geostrófico a partir da diferença de pressão no sentido norte-sul demonstram que os ventos mais fortes no Drake ocorrem nos equinócios (março-abril e setembro-outubro), sobretudo neste último período (outono).
- (ii) Os maiores gradientes báricos para o sul (até 65°S) significam intensa circulação com componente de W; se na primavera o vento geostrófico é de W, no outono é mais próximo de WSW, no centro e sul do Drake (Schwerdtfeger *et al.*, 1959). Ao mesmo tempo, demonstram pela análise harmônica da variação sazonal da pressão à superfície, que a maior variação interdiurna deste parâmetro no centro e sul do setor antártico sul-americano ocorre na latitude 61°S , onde deve apresentar-se o máximo de atividade ciclônica da atmosfera subantártica. Essa atividade ciclônica está relacionada com a presença do cavado subpolar (eixo de baixa pressão), de extensão hemisférica.

- (iii) Cálculos de transferência de energia cinética dos ventos para o oceano mostram que o Drake Norte apresenta um valor máximo no hemisfério sul, de $0,04 \text{ W/m}^2$ na média anual (Peixoto e Oort, 1992)

e) Nebulosidade e radiação solar

- (i) A partir de mapas da Nebulosidade (em %) média para o verão e inverno (King e Turner, 1997), deduz-se os seguintes valores para área de estudo: verão, 75% a 80%; inverno, 65% a 70%.
- (ii) Medidas de radiação solar feitas pelo navio oceanográfico ARA *Islas Orcadas* mostraram a influência dominante da nebulosidade sobre a radiação disponível, sua qualidade e variabilidade, tanto biológica quanto física, nos balanços de energia (Franceschini, 1976). Resultados de cruzeiros na costa sul-americana, no Drake e setor antártico, na época do solstício de verão, mostraram fluxos solares em céu claro variando de $700 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$ em 45°S , a um valor de $451 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$ em 65°S ; valores correspondentes de PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa) foram 323 e $232 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Valores anormalmente baixos foram observados na faixa das trajetórias de tempestades no norte do Drake. Em outro cruzeiro através do Drake, um mês após o solstício, os valores máximos do fluxo solar variaram de $577 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em 45°S a $303 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em 60°S , correspondendo a PAR de 300 e $150 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Em ambos cruzeiros a PAR, expressa como fração do fluxo total, variou de um mínimo de 45% sob céu claro a um máximo de 62 a 67% sob céu encoberto.
- (iii) A fotossíntese pelas diferentes espécies de fitoplâncton depende da luz a diferentes partes do espectro. Portanto, um conhecimento da distribuição espectral da radiação solar recebida na superfície, que é uma função da altura do sol, da turbidez da atmosfera e da quantidade e tipo das nuvens, é essencial para um melhor entendimento da produção primária (El Sayed, 1973).

f) Salinidade

A salinidade média anual da água de superfície varia de 34,0 ‰ no Drake Norte a 33,75 ‰ no Drake Sul (Peixoto e Oort, 1992).

g) Limites do gelo marinho

São observados os seguintes valores do limite médio mensal do campo de Gelo marinho em 60° W: em setembro 62°S e em fevereiro 66°S, conforme figura 7 (Turner, *et al*, 2009) e King e Turner (1997).

Figura 7. Climatologia da extensão e concentração do gelo marinho no seu mínimo (a) e máximo (b) . (Fonte: Adaptado de Turner, *et al*, 2009).

h) Convergência Antártica (ou Frente Polar Antártica)

A figura 8 apresenta a variação do posicionamento sazonal da Convergência Antártica, sendo que próximo à AE é uma das menores em toda a sua extensão.

Figura 8. Posição sazonal da Convergência Antártica. (Fonte: Adaptado de Moore et.al, 1999.)

i) Frentes e massas de água

A figura 9 mostra a posição das principais frentes antárticas. De Norte a Sul, correspondem à STF (frente subtropical), SAF (frente subantártica), FP (frente polar ou convergência antártica), SACCF (frente sul da corrente circumpolar antártica) e SBACC (frente do limite sul da Corrente Circumpolar Antártica). Ao lado, mostra-se a estrutura vertical dessas frentes no estreito de Drake, em termos de temperatura e salinidade, conforme dados de cruzeiros oceanográficos realizados entre 1990 e 2004.

Conta-se pelo menos 5 tipos de massa de água que circundam o continente antártico e 4 frentes de caráter circumpolar, além de outras massas e frentes com caráter local. As frentes da zona antártica constituem uma espécie de linha divisória entre diferentes corpos de água

que se formaram como produto de uma intensa interação entre a superfície do oceano e a atmosfera. Neste processo, cada corpo de água adquire marcadas diferenças em suas propriedades físicas e químicas (temperatura, salinidade, conteúdo de oxigênio, etc). Várias massas de água são formadas nas vizinhanças do arco das ilhas Shetland do Sul e da Península Antártica (Hormazábal *et al.*, 2007).

Figura 9. Posição da Principais frentes antárticas e topografia (a); estrutura vertical de temperatura (b-cima) e salinidade (b-baixo) ao longo das frentes. (Fonte: Adaptado de Hormazábal *et al.*, 2007, modificada de Brandon *et al.*, 2004)

j) Correntes e variabilidade da circulação marinha

O principal sistema de circulação do oceano Austral é a Corrente Circumpolar Antártica (CCA), que flui de oeste para leste transportando um volume de 130 milhões de m^3/s na Passagem de Drake. A CCA fica localizada entre a Frente Subantártica (SAF) e a Frente Polar Antártica ou Zona de Convergência Antártica (PF). É conduzida principalmente pelos ventos da Deriva de Oeste, que determinam o seu sentido de circulação de W para E, mas além deste fluxo superficial pelo vento existe um fluxo geostrófico devido à inclinação da superfície do mar na direção do continente antártico e que, pelo efeito Coriolis (desvio à esquerda devido à rotação da Terra), produz um fluxo resultante também de W para E, estendendo-se o movimento a maiores profundidades. A distribuição de densidade sob a

camada influenciada pelo vento é tal que a força do gradiente de pressão horizontal e a força de Coriolis se equilibram e o equilíbrio geostrófico (agora baroclínico) se mantém, fazendo que quase toda a coluna de água se mova em uma só direção (Rodrigo, 2008).

l) Variabilidade de correntes e impacto biológico

Os oceanos influenciam o clima da Terra pelo armazenamento e transporte de grandes quantidades de calor, umidade e dióxido de carbono, que podem ser levados pelas correntes marinhas para distâncias de milhares de quilômetros antes de serem liberados à atmosfera.

Na variabilidade da zona frontal observada no sul do Drake, intervêm principalmente *eddies* (vórtices) e correntes de meandramento, que se classificam dentro da mesoescala, isto é, correspondem a estruturas com escalas espaciais de poucas centenas de quilômetros e duração que se estende desde poucas semanas a vários meses. Estas estruturas de mesoescala geram uma forte variabilidade na posição e intensidade das zonas frontais, além de significativo impacto na dinâmica dos organismos planctônicos (Hormazábal *et al.*, 2007).

Figura 10. Correntes geostóficas na área das Shetland do Sul, onde se notam os *eddies* de mesoescala. (Fonte: Hormazábal *et al.*, 2007)

Do ponto de vista bio-oceanográfico, Mann e Lazier (1991) propõem classificação das zonas frontais, das correntes circumpolares e das massas de água, de acordo com os resultados de pesquisas recentes como as do navio *Polarstern*, sobre o papel do ferro, como micronutriente na floração de diatomáceas, bem como o papel da irradiância solar, os fluxos de nitrato e silicato. No Drake, onde a biomassa de fitoplâncton é baixa (1 a 2 gramas de C por m²), os copépodos consomem 50% da produção diária primária. Mais voraz, entretanto, é o krill, que num dia pode consumir quase toda uma população de diatomáceas numa grande floração de verão.

m) Evolução das condições do tempo no Drake e setor antártico sul-americano

A evolução do tempo na região norte da Península antártica é dominada pela freqüente passagem de centros de baixa pressão, com deslocamento geral de W para E, variando de NW para SE e de SW para NE através da passagem de Drake, com velocidades de translação em torno de 13 m/s, variando de 8 a 21 m/s. Entretanto, no mar de Bellingshausen, uma Baixa pode permanecer estacionária durante vários dias. As Baixas são acompanhadas de mau tempo generalizado: ventos fortes ciclônicos (horários, portanto de W ao norte e de E ao sul do centro), precipitações na forma de neve, chuva, ou água-neve, e nevoeiros. Quando as Baixas são estacionárias ou são seguidas pela passagem de uma ou mais Baixas sucessivas, o mau tempo pode durar vários dias. As Baixas oclusas estacionárias são mais comuns no mar de Bellingshausen e a E das Ilhas Orcadas.

Os períodos de tempo estável em geral ocorrem à retaguarda das Baixas, depois que estas se afastam para E e o vento ronda para SW. A duração do período estável depende da extensão da crista de alta pressão que segue a Baixa, em geral projetando-se para o sul e apresentando movimento de translação de W para E a velocidades médias de 8 m/s, portanto mais lentas que as das Baixas. Excepcionalmente, uma zona de alta pressão do mar de Weddell e encostada ao leste da Península Antártica (permanentemente congelado) pode intensificar-se e expandir-se, cobrindo toda a região da Península, limpando o céu numa grande área e mantendo tempo estável por até uma semana.

Aos centros de baixa pressão estão associadas frentes de vários tipos (por ex. frias, quentes e oclusas), bem como cavados (i.e. eixos de pressão mínima ao longo do qual o vento

gira no sentido ciclônico). Estas frentes e cavados promovem alterações passageiras, porém importantes, dentro das condições genéricas que acompanham as Baixas. As frentes na Antártida são difíceis de localizar pelas observações de superfície, mas suas posições podem ser obtidas pelos satélites e são importantes para a previsão de detalhes da evolução (Villela, 1990).

A figura 11 mostra uma situação típica de uma Baixa cruzando o estreito de Drake no sentido geral de W para E (Schwerdtfeger *et. al.*, 1959). Nas Shetland do Sul os ventos seriam de SE fortes e no Drake Norte de SW, também fortes. Pesquisas com base em análises de imagens de satélite mostram a importância, para a previsão do tempo e entendimento dos processos meteorológicos no setor antártico sul-americano, dos vórtices de mesoescala, freqüentes no Drake e mar de Bellingshausen (Carrasco *et al*, 1997).

Figura 11. Trajetória típica de centro de baixa pressão no Drake. (Fonte: Schwerdtfeger et al., 1959.)

2.5. Sistemas Meteorológicos e Climáticos Peculiares

2.5.1 O cavado circumpolar antártico

O cavado circumpolar antártico é uma faixa de intensa baixa pressão em superfície que circunda o continente antártico com eixo médio na latitude 65°S. Esse cavado, que se estende por todo o hemisfério sul, ao longo da latitude média de 65°S (figura 12), constitui um marcante fenômeno observado na atmosfera do hemisfério sul, sem similar no hemisfério norte. Aparece como uma anomalia no perfil latitudinal de pressão média anual à superfície, na forma de uma abrupta queda nos valores de 1018 hPa em 31-35°S a 986 hPa em 65°S (Peixoto e Oort, 1992; Kringer *et al.*, 1997; Taljaard, 1960). Deve sua existência à grande frequência e intensidade dos ciclones que quase continuamente varrem esta faixa, deslocando-se de W para E. Tem seu correspondente num pico de máxima nebulosidade ao longo da faixa 57-59°S (King e Turner, 1997); possui uma variação sazonal, oscilando entre 67°S em março, 64°S em junho, e 68°S em outubro (*op. Cit.*); a pressão é mínima em março-abril e setembro-outubro, quando cai abaixo de 980 hPa (*op. Cit.*).

A ocorrência da intensa zona de baixa pressão no oceano Austral, associada ao cavado circumpolar antártico, deve-se à dinâmica atmosférica planetária e desempenha um papel importante tanto na circulação geral do ar como no sistema acoplado atmosfera-oceano-gelo. No hemisfério sul as ondas estacionárias (ondas de Rossby) são mais barotrópicas que no hemisfério norte e, portanto, transportam menos calor e momento para o pólo. Por consequência, grande parte do transporte de energia atmosférica dos trópicos ao pólo sul ocorre através de perturbações transientes (i.e. depressões ou centros de baixa pressão). Este transporte por *eddies* atmosféricos atua no sentido de reduzir o gradiente de temperatura equador-pólo e que é mantido pela forçante radiativa. Vale destacar nesta dinâmica o crescente papel atribuído a vórtices menores, os mesociclones de 200 a 800 km, que com certa frequência afetam a zona do Drake e Península Antártica (Carrasco, 1997).

Figura 12. Perfil latitudinal da pressão à superfície no hemisfério sul. (Fonte: Peixoto e Oort, 1992.)

2.5.2. O jato frio inercial

Deve-se ao prof. Werner Schwerdtfeger, Universidade de Winconsin em Madison, a descoberta de um sistema de circulação particular que afeta o norte e leste da Península Antártica, o estreito de Bransfield e as ilhas Shetland do Sul (Schwerdtfeger, 1976; Parish, 1977 e 1983). Constitui-se de um vento baroclínico de barreira orográfica, seguido por um jato inercial de baixos níveis, isto é, governado pelo efeito de Coriolis, sobrepujando a força do gradiente de pressão. Este jato inercial descreve, a partir da ponta norte da Península, trajetória em arco desviada acentuadamente para a esquerda, ditada pelo valor do parâmetro de Coriolis na latitude relativamente elevada (62°S). Ele traz para o Bransfield e Shetland do Sul, chegando até a Ilha Deception, a oeste, o ar muito frio originado do Mar de Weddell, a leste. O fenômeno é responsável pelas menores temperaturas observadas no inverno na região, da ordem de -30°C . Ao opor-se ao vento de W que costuma ocorrer no Drake Sul, relativamente quente e úmido, o ar frio do jato inercial (figura 13) cria uma espécie de frente que, além do resfriamento local e mudança de vento de W para E, causa nevascas na área (Villela, 1987 e 1989)

O vento de barreira, que origina o jato inercial, é criado pelo levantamento forçado do ar muito frio e estável, sobre o mar de Weddell, ao ser empurrado por ventos de E contra a encosta leste da Península Antártica, uma cordilheira de até 2000 m de altitude orientada no sentido SW-NE. O levantamento pela montanha promove o surgimento de uma circulação para NE, paralela à cordilheira, e observada na superfície pelas estações Marambio e

Esperanza como baixas temperaturas e vento forte e de SW ou SSW da ordem de 10 a 21 m/s. Este vento, ao perder o suporte da montanha, no extremo norte da Península, prossegue por inércia, curvando para a esquerda, como o *low level, cold inertial jet*. No PROANTAR, o fenômeno foi detectado e analisado em condições de verão, ao afetar a EACF e o N/Oc Prof. W. Besnard junto a Ilha Greenwich (Villela, 1986, 1987 e 1991)

Outro efeito do fenômeno é distorcer a circulação em torno de ciclones que passam pelo Drake, fazendo com que o vento pós-ciclone sopre de SE por longo tempo, ao invés de rondar para SW (Villela, 1987, 1989 e 1991).

Figura 13. Trajetórias do jato inercial e convergência com vento W. (Fonte: Villela, 1989)

2.6. Variabilidade e Mudança Climática

2.6.1 Modo Anular Austral ou Modo Anular Sul (SAM)

Ao norte do cavado subpolar antártico, entre as latitudes subpolares e as latitudes médias, prevalecem ventos de componente oeste, e ao sul, até a costa do continente antártico, ventos de componente leste. Este sistema de circulação atmosférica é na atualidade considerado parte do chamado Modo Anular Austral (*Southern Annular Mode* ou SAM) (Trenberth *et al.*, 2007). O SAM constitui o mais pronunciado modo de variabilidade climática observado nas altas latitudes do Hemisfério Sul. A configuração a ele associada é

responsável pelo deslocamento de massas de ar, e que varia de intensidade e localização conforme se altera o gradiente de pressão entre as latitudes médias (pressão alta) e a costa da Antártida (pressão baixa). Esta variação é aperiódica, através de extensa gama de escalas de tempo.

Nos últimos 50 anos o SAM tornou-se mais positivo, à medida que a pressão caiu ao redor da costa antártica e subiu nas latitudes médias. Desde o final da década de 1970, esta alteração intensificou os ventos de oeste sobre o Oceano Austral em 15-20%. Os efeitos desta alteração foram maiores no setor do mar de Amundsen e seu vizinho mar de Bellingshausen, resultando no aprofundamento da Baixa Pressão do mar de Amundsen.

O SAM pode também ser visto como uma medida da intensidade dos ventos de oeste que propulsionam a Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Quanto maior o gradiente de pressão norte-sul, mais fortes os ventos de oeste e mais intensa a CCA. Modelos acoplados oceano-atmosfera da circulação geral mostram que o SAM deve se intensificar com o aquecimento global, confirmando as observações presentes.

Entretanto, a intensidade do SAM é também modulada pelo vórtice estratosférico polar, cuja circulação de oeste é por sua vez aumentada na ocorrência do chamado “buraco de ozônio”, quando a alta atmosfera é fortemente resfriada, no período de ausência da luz solar, em que também cessam as reações fotoquímicas de reposição de ozônio (Thompson e Solomon, 2002). A intensificação dos ventos em grande altitude no inverno e na primavera se propaga às camadas atmosféricas mais baixas, intensificando por sua vez o vento de oeste em superfície na zona circumpolar, no verão e outono seguintes.

2.6.2. Vento NW e aquecimento da Península Antártica

Há 50 anos vem-se observando um aquecimento na região da Península Antártica, acelerado nos últimos 20 anos, o que tem sido sugerido para alguns estudos como mais uma evidência do aquecimento global. Dados climatológicos dessa região analisados por Schwerdtfeger (1976) já mostravam evidências da alteração ambiental na área, refletida nos dados de temperatura, vento e condições de gelo marinho. Em cada ano no período entre a década de 1940 e 1970, a temperatura média anual de Ilhas Argentinas (Faraday/Vernadski)

esteve abaixo da de Orcadas. Em cinco anos a partir de 1971 ocorreu o contrário: a temperatura média anual de Orcadas (sob advecção fria do mar de Weddell) apresentou-se 2°C mais baixa que a de Faraday. Por outro lado, entre 1971 e 1976, dados anuais de vento analisados por Schwerdtfeger mostram um aumento da frequência e intensidade da componente NW dos ventos de superfície, mais pronunciado no período junho-outubro. Isto significa aumento da advecção de ar mais quente (originado no Drake) na direção do lado oeste da Península onde se localiza a área de estudo.

Porém as evidências apontam que o aumento de temperatura na região oeste da Península Antártica está mais ligado ao modo positivo da SAM, do que diretamente com o aquecimento global (Turner et al, 2009).

2.6.1 Aquecimento do Oceano Austral

Alguns estudos mostram que a temperatura da água do mar em profundidades intermediárias (i.e. 700-1000 m) tem aumentado em cerca de 0,17°C desde a década de 1950. Este aumento está sendo mais rápido que a média dos oceanos globais e a zona mais afetada é precisamente a área da Corrente Circumpolar Antártica, onde as taxas de mudança são comparáveis às da atmosfera sobre o oceano Austral. A consequência direta destas mudanças é o deslocamento ou mudança de posição das frentes oceanográficas do oceano Austral; os limites da CCA estariam movendo-se na direção do pólo sul; no setor do Índico, este deslocamento da CCA foi de aproximadamente 50 km nos últimos 32 anos (Rodrigo, 2008).

Mudanças rápidas do clima induzidas pelo homem podem afetar o atual padrão da CCA e sua influência climática tal como é conhecida em diferentes escalas de tempo. As simulações numéricas atuais não consideram vários fatores que poderiam ser essenciais em dado momento como a incorporação de correntes de jato, vórtices ou *eddies* e a existência de frentes (Rodrigo, 2008).

3. BASE DE DADOS E MÉTODOS

A metodologia adotada para análise, medição e cálculo do efeito do vento de superfície no fluxo e intensidade da troca gasosa de CO_2 entre atmosfera e oceano é a de Takahashi *et. al.*, 2009. Ela requer observações do vento, diretas ou deduzidas de análises do campo de pressão, portanto procurou-se obter, uma pequena climatologia do vento, mas representativa da área de estudo, elaborada com dados observacionais.

Na elaboração desse trabalho foram utilizados os seguintes dados que serão descritos em suas respectivas subseções: velocidade do vento em superfície (VEL), pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNM), temperatura da superfície do mar (SST), salinidade da superfície do mar (SAL), concentração de CO_2 na atmosfera (χCO_2) e pressão parcial de CO_2 na superfície do mar ($\text{PCO}_{2\text{sw}}$). Cada uma das variáveis foram interpoladas para uma grade de 0,5 grau de longitude por 0,5 grau de latitude com limite norte em 60°S, limite sul em 62,5°S, limite leste em 60°W e limite oeste em 65°W conforme a figura 14. Somente para os dados de χCO_2 a série temporal é repetida para todos os pontos da grade 0,5 x 0,5° e posteriormente convertida em série de pressão parcial de CO_2 no ar ($\text{PCO}_{2\text{ar}}$). Os dados originários de grade uniforme foram interpolados linearmente e os dados esparsos de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ pelo método “*Nearest Neighbor*”, sendo considerados valores médios das diferentes fontes no caso de pontos coincidentes.

As séries temporais foram reduzidas a valores médios sazonais de dezembro de 1999 a novembro de 2009, considerando-se o seguinte padrão de estações do ano:

- 1) Verão: de dezembro do ano anterior a fevereiro (D*JF);
- 2) Outono: de março a maio (MAM);
- 3) Inverno: de junho a agosto (JJA);
- 4) Primavera: de setembro a novembro (SON).

O período de estudo desse trabalho (dezembro de 1999 a novembro de 2009) será denominado como 2000 a 2009, considerando o verão de 2000 à primavera de 2009.

Figura 14. Pontos de grade de interpolação da área de estudo (cruzes em vermelho) e pontos de amostragem de vento (círculos azuis).

3.1. Vento

A base de dados de ventos utilizada foi extraída da página da internet do projeto de re-análise I do NCEP/PSD (NCEP-NCAR Reanalysis I) (Kalnay, 1996). Os dados disponíveis, para todo o período considerado, foram gerados por um mesmo modelo climático através da assimilação de observações meteorológicas, diretas ou derivadas, provenientes de diversas fontes, como estações de superfície, radiossondagens, satélites e navios.

Originalmente os dados de vento estão na forma de componentes vetoriais zonais (v) e meridionais (u), referindo-se à direção Norte-Sul e Leste-Oeste, sendo que um vento “ u ”

positivo significa um vento vindo de oeste e um vento “v” negativo significa vento vindo da direção norte.

Para a região de estudo, os dados estavam disponíveis a partir de janeiro de 1948, com 4 valores diários para cada componente, correspondendo às observações meteorológicas Sinóticas das horas 0, 6, 12, e 18 UTC. Assim, para cada ponto de grade se tem cerca de 90600 pontos de dados, considerando o período completo de 1948 a 2009. No tocante à distribuição espacial, os dados estão disponíveis em uma grade de 2,5 graus de latitude por 2,5 graus de longitude. Foram incorporados os dados de latitude 60°S a 62,5°S e de longitude 60°W a 65°W, num total de 6 pontos. Devido à proximidade ao pólo, a distância meridional (leste-oeste) entre pontos de grade consecutivos é menor que a zonal (norte-sul), a qual é praticamente constante, de valor aproximadamente igual a 278 km. Longitudinalmente, pontos de grade consecutivos distam entre si aproximadamente 118 a 140 km, para os pontos ao sul e ao norte, respectivamente.

A disposição geográfica dos pontos de dados de vento coincide com os pontos 1, 6, 31, 36, 61 e 66 da grade do presente estudo, conforme apresentado na figura 14. Foram utilizados os dados referentes à superfície, no entanto como o modelo utiliza coordenadas de pressão e devido às limitações inerentes à assimilação dos dados mais antigos, a superfície em questão está a um nível de 0,995 da pressão à superfície ($\sigma=0,995$). Para fins práticos, no entanto, equivale ao vento medido a 10 metros de altura em relação ao nível médio do mar (NMM). Levando-se em conta que a grande maioria dos pontos se encontra sobre o oceano, com pouca ou nenhuma interferência orográfica, as incertezas relativas a uma tentativa de correção dos dados para uma altitude constante seriam maiores que a incerteza do dado original, que é de $\pm 2 \text{ m.s}^{-1}$.

Os dados das componentes zonais e meridionais do vento foram transformados para intensidade da velocidade e direção azimutal, referente à direção da qual o vento provém (padrão meteorológico) conforme descrito em NOAA (2010a).

Para o cálculo do fluxo líquido decadal foi utilizada a mesma base de dados para o período de 10 anos deste estudo. Na tabela 5 é apresentado o sumário, em termos de velocidade escalar, dos dados para a área de estudo.

Tabela 5. Sumário da velocidade escalar do vento em superfície, média da área de estudo.

ANO	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		ANUAL	
	Média Espacial (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Média Espacial (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Média Espacial (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Média Espacial (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Média Anual (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
2000	8.6	0.1	8.8	0.1	9.7	0.2	8.6	0.2	8.9	0.1
2001	8.1	0.4	9.7	0.1	11.7	0.1	12.2	0.3	10.4	0.2
2002	10.6	0.3	9.3	0.2	9.6	0.2	8.1	0.2	9.4	0.2
2003	8.4	0.3	10.3	0.0	11.1	0.2	9.9	0.0	9.9	0.1
2004	7.7	0.2	9.9	0.2	10.2	0.3	10.0	0.4	9.4	0.3
2005	9.6	0.3	9.0	0.4	9.8	0.2	9.3	0.2	9.4	0.3
2006	7.9	0.2	11.0	0.3	10.1	0.1	9.0	0.2	9.5	0.2
2007	7.8	0.5	9.1	0.3	9.8	0.5	9.7	0.2	9.1	0.4
2008	9.8	0.5	10.7	0.4	10.7	0.1	9.2	0.1	10.1	0.3
2009	9.7	0.5	9.4	0.4	9.5	0.5	9.8	0.3	9.6	0.4
Média/ Desvio	8.8	1.0	9.7	0.7	10.2	0.7	9.6	1.1	9.6	0.5

3.2. Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar

Os dados de Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar (PNM) são necessários para a obtenção dos valores PCO_2ar conforme a equação 1. A base de dados de pressão atmosférica ao nível médio do mar utilizada (PNMM, em hPa) é a mesma dos dados de vento, com igual espaçamento geográfico (dados do NCEP-NCAR Reanalysis I). Com relação à série temporal, foram utilizadas as médias mensais no período de dezembro de 1999 a novembro de 2009, posteriormente reduzidas à média sazonal. O sumário desses valores encontra-se na tabela 6.

Tabela 6. Sumário da pressão ao nível médio do mar, média da área de estudo

ANO	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		ANUAL	
	Média Espacial (hPa)	Desvio Padrão (hPa)	Média Espacial (hPa)	Desvio Padrão (hPa)	Média Espacial (hPa)	Desvio Padrão (hPa)	Média Espacial (hPa)	Desvio Padrão (hPa)	Média Espacial (hPa)	Desvio Padrão (hPa)
2000	986.85	0.71	995.81	0.73	997.32	0.77	994.95	0.46	993.73	0.67
2001	986.94	0.87	989.88	0.84	991.64	1.15	987.18	1.85	988.91	1.18
2002	987.12	1.44	991.10	0.45	996.31	0.85	993.29	0.64	991.96	0.85
2003	989.02	0.90	994.87	0.91	989.65	1.14	988.19	1.00	990.44	0.99
2004	993.93	0.50	991.96	0.76	991.07	0.82	989.59	1.03	991.64	0.78
2005	988.74	0.61	989.70	0.58	997.05	0.88	996.14	0.63	992.91	0.67
2006	995.58	0.57	987.93	1.16	997.84	0.33	989.12	0.78	992.62	0.71
2007	988.02	0.31	993.13	0.51	991.28	0.65	990.83	0.87	990.82	0.58
2008	988.93	1.19	991.51	1.14	994.68	1.12	990.69	1.12	991.45	1.14
2009	986.63	1.07	988.10	0.55	994.10	0.48	985.32	0.83	988.54	0.7
Média/Desvio	989.18	3.10	991.40	2.65	994.09	3.00	990.53	3.42	991.30	1.67

3.3. Temperatura da Superfície do Mar

A base de dados da temperatura da superfície do mar (SST) em graus Celsius também é proveniente do NCEP/PSD (Kalnay *et al*, 1996), porém a grade espacial original é mais refinada de $1^\circ \times 1^\circ$, perfazendo um total 28 pontos, com precisão de $\pm 0,01$ grau Celsius. Com relação à série temporal, foram utilizadas as médias mensais no período de dezembro de 1999 a novembro de 2009, posteriormente reduzidas à média sazonal (Tabela 7). Na figura 15 é apresentada distribuição média sazonal da TSM.

Tabela 7. Sumário da temperatura da superfície do mar (TSM), média da área de estudo.

ANO	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		ANUAL	
	Média Espacial (°C)	Desvio Padrão (°C)	Média Espacial (°C)	Desvio Padrão (°C)	Média Espacial (°C)	Desvio Padrão (°C)	Média Espacial (°C)	Desvio Padrão (°C)	Média Anual (°C)	Desvio Padrão (°C)
2000	2.02	0.37	1.61	0.40	-0.32	0.30	-0.43	0.26	0.72	0.33
2001	1.75	0.41	1.44	0.56	-0.57	0.34	-0.48	0.22	0.53	0.38
2002	1.77	0.31	1.16	0.38	-0.81	0.23	-0.55	0.27	0.39	0.30
2003	2.13	0.50	1.57	0.69	-0.56	0.43	-0.56	0.24	0.65	0.46
2004	1.69	0.46	1.28	0.59	-0.46	0.29	-0.58	0.23	0.48	0.39
2005	1.60	0.38	1.02	0.48	-0.68	0.40	-0.58	0.29	0.34	0.38
2006	2.64	0.51	1.89	0.59	-0.80	0.28	-0.61	0.34	0.78	0.43
2007	2.29	0.49	1.07	0.55	-0.81	0.42	-0.74	0.40	0.46	0.47
2008	1.62	0.39	1.30	0.42	-0.92	0.32	-0.49	0.35	0.38	0.37
2009	2.04	0.41	1.40	0.47	-0.72	0.37	-0.77	0.20	0.49	0.4
Média/Desvio	1.95	0.34	1.37	0.27	-0.66	0.18	-0.58	0.11	0.52	0.15

Figura 15. Distribuição da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sazonal para: (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro). (Fonte: Base de dados do NCEP).

3.4. Salinidade da Superfície do Mar

Para a salinidade da superfície do mar foram utilizados dados mensais médios (em g/kg) da climatologia oceânica “NODC_WOA98” (1900 a 1997), disponibilizada pelo NCEP (2011) com grade de 1°x1°, recalculados para a média sazonal. A precisão não foi divulgada, mas o sumário dos dados é apresentado na tabela 8.

Tabela 8. Sumário da Salinidade em superfície, média da área de estudo

ANO	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		ANUAL	
	Média Espacial (g/kg)	Desvio Padrão (g/kg)	Média Espacial (g/kg)	Desvio Padrão (g/kg)	Média Espacial (g/kg)	Desvio Padrão (g/kg)	Média Espacial (g/kg)	Desvio Padrão (g/kg)	Média Espacial (g/kg)	Desvio Padrão (g/kg)
1900 A 1997	33.83	0.04	33.80	0.06	33.82	0.03	33.88	0.02	33.83	0.03

3.5. CO₂ Atmosférico

Os dados referentes à concentração volumétrica de CO₂ na atmosfera seca (χCO_2) foram obtidos através do projeto “Global Atmosphere Watch (GAW, 2010) - World Data Centre For Greenhouse Gases (WDCGG). O GAW foi criado em 1989 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para o monitoramento da atmosfera terrestre. O programa incorporou vários bancos de dados, inclusive os da NOAA. Atualmente é o fornecedor oficial de dados de gases do efeito estufa, particularmente o CO₂, do “Global Climate Observation System” (GCOS) no âmbito do Quadro de Convenções Sobre Mudanças Climáticas da ONU (UNFCCC). Na média global, os dados de fração molar da WDCGG são maiores que os da NOAA em 0,35ppm (WMO, 2009).

A estação antártica argentina de Jubany (JBN) está situada na Ilha Rei George, no Arquipélago Shetland do Sul, ao norte da Península Antártica (62° 14'S, 58° 40'W). Foi escolhida a série temporal de dados da estação de Jubany por ser a estação fixa mais próxima da área de estudo e possuir medições contínuas desde 1994. Também estavam disponíveis os dados da região do mar de Drake, no entanto, essa base de dados foi descartada, por contar com medições esparsas tanto temporalmente como espacialmente, pois neste caso o monitoramento é esporádico e realizado através de amostras coletadas em garrafas para posterior análise.

O Programa Nacional de Pesquisa na Antártida da Itália, em parceria com Departamento Nacional Antártico Argentino (DNA), iniciou as medições contínuas de dióxido de carbono atmosférico em Jubany em 1994. O laboratório na Estação Jubany é operado durante todo o ano, com algumas interrupções de caráter técnico. O laboratório está situado a uma altitude de 15 metros, na encosta SE da baía de Potter. A baía, que tem uma largura máxima de cerca de 1 km, é cercada por geleiras permanentes, exceto pelo setor onde estão suas instalações. Em alguns anos o mar da Baía congela por 2-3 meses. O ponto de medição fica a cerca de 1000 km do Cabo de Horn, extremo sul do continente sul-americano, e o transporte de ar até o local vindo dessa região apresenta suficiente diluição para causar mínimos impactos nas concentrações de CO₂ atmosférico (Ciattaglia *et al*, 1999).

O sistema de medição é baseado em um analisador de gás infravermelho não dispersivo equipado com uma interface serial e controlado por software rodando em um PC. O vapor de água e a umidade contida nos cilindros são removidos pela passagem do ar por

aproximadamente um minuto através de um tubo de vidro em “U” colocado em uma armadilha criogênica (-70°C). A entrada de ar está localizada em um mastro de 10 metros de altura situado a 40 metros de distância do prédio do laboratório. A concentração pela escala padrão da OMM foi calibrada nos Estados Unidos, pela NOAA. A escala do analisador é automaticamente recalibrada a cada 3 horas, usando dois padrões de trabalho que diferem em cerca de 25 ppm. A precisão obtida na fase de calibração e na medição de CO_2 atmosférico permitem uma incerteza de $\pm 0,1$ ppm (CDIAC, 2010). Detalhes da metodologia de análise e amostragem estão descritos em Ciattaglia *et al* (1999) e LDEO (2010a).

Foram utilizados os dados diários de χCO_2 em JBN no período de 16 de fevereiro de 1994 a final de 2009. Os dados faltantes da série temporal foram interpolados pelo ajuste cúbico *spline*. Os dados interpolados corresponderam a 8,6% do total possível de dados no período considerado, com maiores números de dados interpolados (ausentes) nos anos de 2002 e 2005. Para o estabelecimento da ΔPCO_2 e do fluxo, os dados foram reduzidos à sua média sazonal por ano. Para melhor compreender o comportamento do CO_2 atmosférico na região, foi mantido o período integral das medições, cuja série temporal, tendência decadal e médias anuais são apresentadas na figura 16.

Figura 16. Série temporal diária (azul) e tendência linear (verde) da concentração de CO_2 em Jubany, Antártida. Obs: Os degraus horizontais em vermelho representam as médias anuais, assim como os valores inscritos nos retângulos vermelhos.

Os dados de concentração de CO₂ em ppm foram extrapolados para toda a grade da área de estudo e convertidos em valores de pressão (em μatm), após descontada a pressão parcial de vapor (considerando-se o ar saturado na interface mar-ar) e normalizados para a PNM da atmosfera padrão, pela seguinte equação:

$$P_{\text{CO}_{2\text{ar}}} = \chi_{\text{CO}_2} (PNM - P_{\text{esw}}) \cdot (1013,25^{-1}) \quad (1)$$

Onde:

χ_{CO_2} é concentração de CO₂ na atmosfera em ppm

PNM é a pressão ao nível médio do mar em hPa,

P_{esw} é a pressão de vapor de saturação sobre a água do mar à temperatura e salinidade da superfície do mar em hPa.

Para chegar ao valor de P_{esw} primeiramente foi calculado o valor da pressão de vapor sobre a água pela metodologia proposta por Ambrose e Lawrenson (1972), a qual utiliza uma equação na forma de um Polinômio de Chebyshev de grau 11. Para a faixa de TSM e considerando a composição padrão da água do mar, o valor de P_{esw} é relacionado com o da água pura, basicamente em função da salinidade conforme descrito no livro: “*Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water*” (DOE, 1994).

Tabela 9. Sumário de PCO₂ na atmosfera (superfície), média da área de estudo

ANO	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		ANUAL	
	Média Espacial (µatm)	Desvio Padrão (µatm)	Média Espacial (µatm)	Desvio Padrão (µatm)	Média Espacial (µatm)	Desvio Padrão (µatm)	Média Espacial (µatm)	Desvio Padrão (µatm)	Média Espacial (µatm)	Desvio Padrão (µatm)
2000	353.96	0.22	357.33	0.25	358.94	0.28	358.81	0.16	357.26	0.23
2001	354.79	0.39	356.27	0.34	358.68	0.38	357.87	0.67	356.90	0.44
2002	357.12	0.50	359.17	0.15	362.55	0.29	362.53	0.25	360.35	0.30
2003	359.93	0.36	361.73	0.28	361.81	0.39	361.92	0.35	361.35	0.35
2004	363.93	0.15	364.02	0.25	364.87	0.27	364.76	0.36	364.40	0.26
2005	363.68	0.21	364.44	0.22	368.71	0.28	369.50	0.21	366.58	0.23
2006	368.09	0.16	365.94	0.38	371.09	0.10	368.75	0.29	368.47	0.23
2007	367.60	0.14	370.08	0.22	370.98	0.24	371.82	0.31	370.12	0.23
2008	370.46	0.40	371.03	0.39	373.92	0.41	373.24	0.41	372.16	0.40
2009	370.80	0.35	371.96	0.19	375.65	0.20	372.92	0.31	372.83	0.3
Média/ Desvio	363.03	6.31	364.20	5.64	366.72	6.17	366.21	5.79	365.04	5.91

3.6. CO₂ Oceânico

A base de dados de pressão parcial de CO₂ na superfície do oceano utilizada foi a gerida pelo grupo de pesquisa de dióxido de carbono da *Lamont-Doherty Earth Observatory* (LDEO), versão 2009 (Takahashi *et al*, 2010). Foi obtida como pacote de dados numéricos (NDP) através da página na internet do CDIAC (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*), que é o órgão e centro de análise primária de dados de mudança climática do Departamento de Energia (DOE) dos EUA, que hospeda o Centro Mundial de Dados para Gases-traço Atmosféricos.

A base de dados LDEO conta com mais de 4,75 milhões de medições de pressão parcial de CO₂ na superfície da água do mar (PCO₂sw) obtidas em todos os oceanos de 1957 a 2009 e inclui o mar aberto e as águas costeiras. Os dados reunidos contêm apenas aqueles medidos por sistemas de injeção de fluxo contínuo com análise por equilíbrio de CO₂ e têm qualidade controlada com base na (i) estabilidade do sistema, (ii) confiabilidade das calibrações para a análise de CO₂ e (iii) consistência interna dos dados. Para permitir a aferição dos dados, outros parâmetros relevantes medidos fazem parte da base de dados, tais como: salinidade, temperatura da superfície do mar, temperatura da água no equilibrador, pressão atmosférica, entre outros. Assim sendo, a matriz inicial do banco de dados assimilado apresentava mais 66,5 milhões de elementos. A incerteza global para os PCO₂sw listados é estimada em $\pm 2,5$ µatm em média (Takahashi *et al*, 2010).

Detalhes dos métodos e sistemas de medição a bordo dos navios análogos aos que compuseram a base de dados LDEO podem ser encontradas em Bates *et. al* (1998) e Ito (1996). As particularidades dos métodos e sistemas de medição de cada cruzeiro oceanográfico da LDEO estão descritas nos relatórios disponíveis em sua página na Internet (LDEO, 2010a).

Na figura 17 são apresentados os pontos de amostragens utilizados nesse trabalho considerando uma área de domínio que abrange e ultrapassa os limites da área de estudo, para fins de interpolação e traçado de isolinhas.

Figura 17. Locais de amostragem de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ por estação do ano; onde N representa o número total de medições ao longo da década dentro da Área de Estudo [AE]. (Base de dados de Takahashi *et al*, 2010.)

Ao todo, dentro da área de estudo foram 46453 observações, das quais 16% no verão, 30% no outono, 21% no inverno e 33% na primavera. Com relação às estações do ano que não apresentaram medição, a ausência de dados foi suprida com os valores da média sazonal calculada para a década. Esse procedimento se fez necessário para os verões de 2000 e 2001 e o inverno de 2001.

3.7. Fluxo de CO₂

O fluxo líquido na interface oceano-atmosfera pode ser calculado a partir da diferença entre as pressões parciais de CO₂ na água do mar e na atmosfera, pela equação:

$$F = K_s \cdot K_v (PCO_{2sw} - PCO_{2ar}) = K_s \cdot K_v \cdot \Delta PCO_2 \quad (2)$$

Onde :

K_v é a velocidade de transferência do gás (CO₂);

K_s é a solubilidade do CO₂ na água do mar;

TR é a taxa de transferência gasosa (produto de K_s por K_v);

ΔPCO_2 é a diferença das pressões parciais de CO₂ (mar menos ar).

3.8. Solubilidade

A solubilidade do CO₂ é função da temperatura e da salinidade e foi calculada segundo Weiss (1974) em mol/ l.atm, pela equação:

$$\ln K_s = A_1 + A_2 (100/T) + A_3 \cdot \ln(T/100) + S [B_1 + B_2(T/100) + B_3(T/100)^2] \quad (3)$$

Onde:

T é a temperatura em Kelvin;

S é a salinidade em partes por mil;

A_n e B_n são constantes, as quais são apresentadas na tabela 10:

Tabela 10. Constantes para o cálculo da solubilidade de CO₂ em unidades molares, de acordo com equação 3.

Unidades de K _s	A1	A2	A3	B1	B2	B3
mol / l.atm	-58.0931	90.5069	22.2940	0.027766	-0.025888	0.0050578

É importante notar que K_s é inversamente proporcional à temperatura e à salinidade, ou seja, a solubilidade do CO₂ na água do mar diminui à medida que a água se torna mais quente ou mais salina.

Existem diversas parametrizações para a determinação de K_v que podem levar a discrepâncias significativas entre si. Ito (1996) encontrou diferenças de até 40% no fluxo utilizando das parametrizações de Liss & Merlivat (1986) e Wanninkhof (1992). Em um estudo em águas antárticas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Augusto (2006) encontrou fluxo líquido calculado por Wanninkhof (1992) 2,2 vezes maior que o fluxo calculado por Liss & Merlivat (1986) .

Wanninkhof (1992) propõe duas parametrizações diferentes que dependem da forma que é medido o vento, assumindo uma relação quadrática com a velocidade do vento. A primeira delas se refere aos ventos médios de longo período ou climatológicos; a segunda é para ventos constantes de curto período, medições por anemômetros em embarcações e medições derivadas de *escaterômetros* ou radiômetros. Wanninkhof (1992) chegou a suas parametrizações utilizando-se do inventário de ¹⁴C para taxas de invasão utilizando pressões de dióxido de carbono de 275µatm (pré-industrial) e de 314µatm (bomba-¹⁴C); ele chegou a um fator de proporcionalidade *f* de 0,39 para uma taxa de invasão média de 21 cm/h e vento médio de 7,4 m/s. Considerando a dependência da transferência gasosa com o número de Schmidt (Sc), a equação resultante para ventos climatológicos é:

$$K_v = f \cdot U^2 (Sc/660)^{-1/2} \quad (4)$$

Onde:

f é o fator de proporcionalidade;

U é a velocidade do vento, em m/s a 10 metros de altura;

Sc é o número de Schmidt;

660 é o número de Schmidt aproximado para temperatura água de 20°C e salinidade de 35‰.

Em seu estudo de 2009, Takahashi *et al.* utilizaram um valor de f de 0,26 baseando-se na climatologia dos ventos da Reanálise II (1979-2005) do NCEP. A parametrização Kv utilizada nesse trabalho é a de Wanninkhof (1992), modificada por Takahashi *et. al* (2009) onde o valor de f é 0,26. O erro total de f é estimado em $\pm 30\%$ (Takahashi *et. al, op cit*).

O número de Schmidt (Sc) é definido como a razão adimensional da viscosidade cinemática da água pelo coeficiente de difusividade do gás (Wanninkhof, 1992), que pode ser compreendido como a taxa de transferência de momento pela taxa de transferência de massa (Liss & Merlivat, *op. Cit.*). Sc foi calculado por Wanninkhof (*op. Cit*) da seguinte forma:

$$Sc = 2073,1 - 125,62T + 3,6276T^2 - 0,043219T^3 \quad (5)$$

Onde:

T é a temperatura da superfície da água em °C.

3.9. Taxa de transferência gasosa

A equação 6, do Fluxo líquido de CO₂ (F), pode ser reescrita da forma:

$$F = TR \cdot \Delta PCO_2 \quad (6)$$

Onde :

TR é a taxa de transferência gasosa (produto de Ks e Kv);

ΔPCO_2 é a diferença das pressões parciais de CO_2 (mar menos ar).

Considerou-se a massa do Carbono-12 igual a 12,011 u.m. (DOE, 1994) o ano com 365.25 dias, sendo a velocidade média mensal do vento U (em m/s), com Ks em mol/l.atm, resulta TR em gramas de Carbono-12 por metro quadrado mês microatmosfera ($\text{g}_C/\text{m}^2.\text{mês}.\mu\text{atm}$):

$$\text{TR} = 0,58566. \text{Ks}. (\text{Sc})^{-1/2}. (\text{U})^2 \quad (7)$$

Onde:

0,58566 é o fator de conversão levando em conta o fator de proporcionalidade f de 0,26 convertendo $\text{mol.l}^{-1}.\text{atm}^{-1}$ para $\text{g}_C. \text{m}^{-3}.\mu\text{atm}$; cm.h^{-1} para m.mês^{-1} e Sc normalizado a $(660^{1/2})$.

4. RESULTADOS

4.1. $\text{PCO}_{2\text{sw}}$

A distribuição média anual da pressão CO_2 para o período de 2000 a 2009 nas águas superficiais da área de estudo é apresentada na figura 18, em linhas de contorno de 5 micro atmosferas. O valor médio anual da distribuição de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ na área de estudo foi de $367,5 \pm 11,5 \mu\text{atm}$, obtido a partir da média decadal dos 66 pontos de grade. O gradiente de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ aponta para sudeste, na direção da Ilha de Livingston. O maior valor médio decadal foi de $404,1 \pm 36,0 \mu\text{atm}$, registrado para o ponto de coordenadas $62,5^\circ\text{S } 60,5^\circ\text{W}$ (ponto 60 da grade), e o menor $355,5 \pm 23,4 \mu\text{atm}$, coordenadas $62,0^\circ\text{S } 64,0^\circ\text{W}$ (ponto 17).

Figura 18. Mapa da distribuição da pressão de CO_2 média anual na superfície da água do mar, baseado em observações de dezembro de 1999 a novembro de 2009, interpoladas para uma grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude). (Base de dados de Takahashi *et al.*, 2009 (NDP-088,V2009)).

Na figura 19 é apresentada a distribuição espacial média sazonal (verão, outono, inverno e primavera) para o mesmo período de dez anos de dados. Os valores médios espaciais de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ obtidos para a área de estudo, por estação do ano foram:

Verão:	$362,7 \pm 11,2 \mu\text{atm}$
Outono:	$363,8 \pm 11,1 \mu\text{atm}$
Inverno:	$371,6 \pm 13,5 \mu\text{atm}$
Primavera:	$371,9 \pm 17,5 \mu\text{atm}$

Deve-se atentar para o fato que não houve amostragens nos dois primeiros verões do período como também no inverno de 2001, sendo que cada lacuna foi suprida com a média dos demais anos para a respectiva estação do ano.

Os valores mínimos e máximos, decadais médios, para cada estação do ano, foram:

Verão:	Mín. $341,6 \pm 31,6 \mu\text{atm}$ (62,0°S, 64,0°W; pt 17)
	Máx. $390,0 \pm 19,8 \mu\text{atm}$ (62,5°S, 60,0°W; pt 66)
Outono:	Mín. $352,6 \pm 17,8 \mu\text{atm}$ (62,0°S, 63,0°W; pt 29)
	Máx. $416,7 \pm 56,4 \mu\text{atm}$ (62,5°S, 60,5°W; pt 60)
Inverno:	Mín. $357,0 \pm 5,5 \mu\text{atm}$ (60,0°S, 64,0°W; pt 13)
	Máx. $409,0 \pm 16,6 \mu\text{atm}$ (62,5°S, 60,5°W; pt 60)
Primavera:	Mín. $354,6 \pm 13,7 \mu\text{atm}$ (60,5°S, 61,0°W; pt 50)
	Máx. $417,3 \pm 18,2 \mu\text{atm}$ (62,5°S, 65,0°W; pt 66)

As séries temporais e tendências lineares, por ponto de grade, são apresentadas nas figuras 19 (decadal) e 20 a 24 (sazonais), com a mesma disposição de pontos da grade (6 linhas por 11 colunas). No anexo 1, as tabelas apresentam as estatísticas (com coeficientes das tendências lineares) para as quatro estações do ano, considerando-se as médias decadais de 2000 a 2010 para os 66 pontos de grade da área de estudo.

Pressão de CO₂ na Água do Mar [μatm]: Média Sazonal Decadal 2000 a 2009

Figura 19. Distribuição da pressão de CO₂ sazonal na superfície da água do mar, para (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro). Baseado em observações de dezembro de 1999 a novembro de 2009, interpoladas para uma grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude). (Fonte: Base de dados de Takahashi *et al.*, 2009 (NDP-088, V2009)).

Figura 20. Mosaico das séries temporais e tendências lineares da pressão de CO₂ na superfície da água do mar, por ponto de grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude) (Fonte: Baseado nas médias sazonais de 2000 a 2009.)

Figura 21. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de PCO_{2sw} para o Verão. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 22. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para o Outono. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 23. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para o Inverno. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 24. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para a Primavera. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

4.2. ΔPCO_2

A distribuição espacial média anual da diferença de pressão de CO_2 entre águas superficiais do mar e do ar de 2000 a 2009 é apresentada na figura 25. As áreas com valores negativos são as que no balanço decadal se comportaram predominantemente como sorvedouro de carbono atmosférico, já as áreas com valores positivos são aquelas que atuam como fonte de carbono.

Figura 25. Mapa da distribuição da diferença de pressão de CO_2 média anual na superfície da água do mar, baseado em observações de 2000 a 2009, interpoladas para uma grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude). (Fonte: Base de dados de Takahashi et al., 2009 (NDP-088,V2009)).

Obs: Valores negativos representam as áreas que atuam como absorvedouro de carbono; valores positivos indicam áreas onde o oceano atua como fonte para a atmosfera.

O valor médio anual da distribuição de ΔPCO_2 na área de estudo, obtido a partir da média decadal dos 66 pontos de grade, foi de $2,5 \pm 11,5 \mu\text{atm}$. O gradiente de $\Delta\text{PCO}_{2\text{sw}}$ aponta para sudoeste, na direção da Ilha de Livingston. O maior valor decadal médio foi de

$39,2 \pm 35,7 \mu\text{atm}$, registrado para o ponto de coordenadas $62,5^\circ\text{S } 60,5^\circ\text{W}$ (ponto de grade 60), e o menor, $-9,3 \pm 11,7 \mu\text{atm}$, coordenadas $62,0^\circ\text{S } 64,0^\circ\text{W}$ (ponto 17).

A figura 26 apresenta a distribuição espacial média sazonal (verão, outono, inverno e primavera) para o mesmo período de dez anos de dados. Os valores médios espaciais de $\Delta\text{PCO}_{2\text{sw}}$ obtidos para a área de estudo, por estação do ano, foram:

Verão:	$-0,3 \pm 11,0 \mu\text{atm}$;
Outono:	$-0,4 \pm 11,1 \mu\text{atm}$;
Inverno:	$4,9 \pm 13,6 \mu\text{atm}$;
Primavera:	$5,7 \pm 17,6 \mu\text{atm}$.

Os valores mínimos e máximos de ΔPCO_2 decadais médios, para cada estação do ano, foram:

Verão:	Mín. $-21,1 \pm 31,8 \mu\text{atm}$ ($62,0^\circ\text{S}, 64,0^\circ\text{W}$; pt 17)
	Máx. $27,0 \pm 21,7 \mu\text{atm}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,0^\circ\text{W}$; pt 66,)
Outono:	Mín. $-11,4 \pm 18,1 \mu\text{atm}$ ($62,0^\circ\text{S}, 63,0^\circ\text{W}$; pt 29)
	Máx. $52,4 \pm 55,5 \mu\text{atm}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,5^\circ\text{W}$; pt 60)
Inverno:	Mín. $-9,8 \pm 7,5 \mu\text{atm}$ ($60,0^\circ\text{S}, 64,0^\circ\text{W}$; pt 13)
	Máx. $42,5 \pm 19,2 \mu\text{atm}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,5^\circ\text{W}$; pt 60)
Primavera:	Mín. $-12,0 \pm 14,2 \mu\text{atm}$ ($60,5^\circ\text{S}, 61,0^\circ\text{W}$; pt 50)
	Máx. $51,4 \pm 19,0 \mu\text{atm}$ ($62,5^\circ\text{S}, 65,0^\circ\text{W}$; pt 66)

As séries temporais e tendências lineares, por ponto de grade, são apresentadas nas figuras 27 (decadal) e 28 a 31 (sazonal), com a mesma disposição de pontos da grade (6 linhas por 11 colunas). No anexo 1 as tabelas apresentam as estatísticas (com coeficientes das tendências lineares) para as quatro estações do ano, considerando-se as médias decadais de 2000 a 2010 para os 66 pontos de grade da área de estudo.

Diferença de Pressão de CO₂ entre Água do Mar e Atmosfera [μatm]: Média Sazonal Decadal 2000 a 2009

Figura 26. Distribuição da diferença pressão de CO₂ (mar- ar) sazonal na superfície da água do mar, para (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro). Baseado em observações de dezembro de 1999 a novembro de 2009, interpoladas para uma grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude). (Fonte: Base de dados de Takahashi *et al.*, 2009 (NDP-088,V2009)).

Obs: Valores negativos representam as áreas que atuam como sorvedouro de carbono; valores positivos indicam áreas onde o oceano atua como fonte para a atmosfera.

Figura 27. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔpCO_2 , por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude) Baseado na média sazonal de 2000 a 2009.

Figura 28. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔpCO_{2sw} para o Verão. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 29. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔpCO_{2sw} para o Outono. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 30. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔpCO_{2sw} para o Inverno. Baseado na médias sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 31. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de ΔpCO_{2sw} para a Primavera. Baseado na médias sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

4.3. TR

A distribuição espacial média anual do coeficiente de taxa de transferência gasosa entre águas superficiais do mar e o ar, para período de estudo, é apresentada na figura 32. Levando em conta que, pela metodologia utilizada o cálculo, TR é função da velocidade do vento, da TSM e da salinidade, as variações intradecadais para cada estação do ano são regidas basicamente pelas variações na magnitude da velocidade do vento e da TSM, uma vez que foram utilizados os valores de salinidade iguais para todos os anos.

Figura 32. Mapa da distribuição do coeficiente da taxa de transferência gasosa (TR) média anual, baseado em observações de 2000 a 2009, interpoladas para uma grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude).

O valor médio anual da distribuição de TR na área de estudo, obtido a partir da média decadal dos 66 pontos de grade, foi de $0,077 \pm 0,017 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$. O maior valor decadal médio foi de $0,0834 \pm 0,0170 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$, registrado para coordenada $61,0^\circ\text{S } 60,0^\circ\text{W}$ (ponto 61 da grade), e o menor, $0,0736 \pm 0,0184 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ na coordenada $62,5^\circ\text{S } 62,5^\circ\text{W}$ (ponto 36).

Na figura 33 é apresentada a distribuição espacial média sazonal (verão, outono, inverno e primavera) para o mesmo período de dez anos de dados. Os valores médios espaciais de TR obtidos para a área de estudo, por estação do ano, foram:

Verão:	$0,065 \pm 0,04 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$
Outono:	$0,079 \pm 0,03 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$
Inverno:	$0,088 \pm 0,002 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$
Primavera:	$0,078 \pm 0,002 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$

Os valores mínimos e máximos de TR decadais médios, para cada estação do ano foram:

Verão:	Mín. $0,0587 \pm 0,0141 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S } 62,5^\circ\text{W}$; pt 36)
	Máx. $0,0736 \pm 0,0184 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($60,0^\circ\text{S } 60,0^\circ\text{W}$; pt 61)
Outono:	Mín. $0,0719 \pm 0,0123 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,0^\circ\text{W}$; pt 66)
	Máx. $0,0840 \pm 0,0130 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,0^\circ\text{S } 60,0^\circ\text{W}$; pt 61)
Inverno:	Mín. $0,0859 \pm 0,0103 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S } 60,0^\circ\text{W}$; pt 66)
	Máx. $0,0921 \pm 0,0122 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,0^\circ\text{S } 60,0^\circ\text{W}$; pt 61)
Primavera:	Mín. $0,0744 \pm 0,0199 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S } 65,0^\circ\text{W}$; pt 6)
	Máx. $0,0841 \pm 0,0200 \text{ g}_C.\text{mês}^{-1}.\text{m}^{-2}.\mu\text{atm}^{-1}$ ($62,0^\circ\text{S } 60,0^\circ\text{W}$; pt 61)

As séries temporais e tendências lineares, por ponto de grade, são apresentadas nas figuras 34 (decadal) e 35 a 38 (sazonal), com a mesma disposição de pontos da grade (6 linhas por 11 colunas). No anexo 1, as tabelas apresentam as estatísticas (com coeficientes das tendências lineares) para as quatro estações do ano, considerando-se as médias decadais de 2000 a 2010 para os 66 pontos de grade da área de estudo.

Coeficiente de Taxa de Transferência Gasosa [$g_{12C} \text{ m}^{-2} \text{ mês}^{-1} \mu\text{atm}^{-1}$]: Média Sazonal Decadal 2000 a 2009

Figura 33. Distribuição do coeficiente da taxa de transferência gasosa (TR) para (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro). (Fonte: Baseado em observações de dezembro de 1999 a novembro de 2009, interpoladas para uma grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude)).

Figura 34. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR, por ponto de grade (canto inferior direito) de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude) Baseado nas médias sazonais de 2000 a 2009.

Figura 35. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para o Verão. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 36. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para o Outono. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 37. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para o Inverno. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude).

Figura 38. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de TR para a Primavera. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

4.4. FCO₂

A distribuição espacial média anual do fluxo líquido CO₂ entre águas superficiais do mar e o ar, para período de 2000 a 2009 é apresentada na figura 39.

Figura 39. Mapa da distribuição da média decadal do Fluxo líquido de CO₂ na interface oceano-atmosfera, baseado em observações de 2000 a 2009, interpoladas para uma grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude). (Fonte: Base de dados de Takahashi *et al.*, 2009 (NDP-088,V2009)).

Obs: Valores negativos representam as áreas que atuam como absorvedouro de carbono; valores positivos indicam áreas onde o oceano atua como fonte para a atmosfera.

O valor médio anual da distribuição de FCO₂ na área de estudo, obtido a partir da média decadal dos 66 pontos de grade, foi de $0,203 \pm 0,904 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$. O gradiente de FCO₂sw aponta para sudeste, na direção da Ilha de Livingston. O maior valor decadal médio foi de $3,019 \pm 2,788 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$, registrado para o ponto de coordenadas 62,5°S 60,5°W

(ponto de grade 60), e o menor, $-0,711 \pm 0,963 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$, coordenadas $61,5^\circ\text{S } 64,0^\circ\text{W}$ (ponto16).

Na figura 40 é apresentada a distribuição espacial média sazonal (verão, outono, inverno e primavera) para o mesmo período de dez anos de dados. Os valores médios espaciais de $\text{FCO}_{2\text{sw}}$ obtidos para a área de estudo, por estação do ano, foram:

Verão:	$-0,010 \pm 0,701 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$
Outono:	$-0,039 \pm 0,865 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$
Inverno:	$0,456 \pm 1,221 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$
Primavera:	$0,403 \pm 1,401 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$

Os valores mínimos e máximos de FCO_2 decadais médios, para cada estação do ano, foram:

Verão:	Mín. $-1,215 \pm 1,866 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($62,0^\circ\text{S}, 64,0^\circ\text{W}$; pt 17)
	Máx. $1,575 \pm \text{g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,0^\circ\text{W}$; pt 66,)
Outono:	Mín. $-0,863 \pm 1,471 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($62,0^\circ\text{S}, 63,0^\circ\text{W}$; pt 29)
	Máx. $3,814 \pm 4,263 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,5^\circ\text{W}$; pt 60)
Inverno:	Mín. $-0,861 \pm 0,688 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($60,0^\circ\text{S}, 64,0^\circ\text{W}$; pt 13)
	Máx. $3,856 \pm 1,978 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S}, 60,5^\circ\text{W}$; pt 60)
Primavera:	Mín. $-1,125 \pm 1,243 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($60,5^\circ\text{S}, 61,0^\circ\text{W}$; pt 50)
	Máx. $3,995 \pm 1,808 \text{ g}_C \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mês}^{-1}$ ($62,5^\circ\text{S}, 65,0^\circ\text{W}$; pt 66)

As séries temporais e tendências lineares, por ponto de grade, são apresentadas nas figuras 41 (decadal) e 42 a 45 (sazonal), com a mesma disposição de pontos da grade (6 linhas por 11 colunas). No anexo 1, as tabelas apresentam as estatísticas (com coeficientes das tendências lineares) para as quatro estações do ano, considerando-se as médias decadais de 2000 a 2010 para os 66 pontos de grade da área de estudo.

Fluxo Líquido de CO_2 mar-ar [$\text{g}_{12\text{C}} \text{ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$]: Média Sazonal Decadal 2000 a 2009

Figura 40. Distribuição Fluxo líquido de CO_2 na interface oceano-atmosfera para (a) verão (dezembro a fevereiro), (b) outono (março a maio), (c) inverno (junho a agosto) e (d) primavera (setembro a novembro). Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, interpoladas para uma grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 41. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de Fluxo Líquido de CO₂ entre a superfície da água do mar e a atmosfera, por ponto de grade (canto inferior direito) de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude) Baseado nas médias sazonais de 2000 a 2009.

Figura 42. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de F_{CO_2} para o Verão. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de $0,5^\circ$ (latitude) x $0,5^\circ$ (longitude).

Figura 43. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO₂ para o Outono. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude).

Figura 44. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO₂ para o Inverno. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude).

Figura 45. Mosaico das séries temporais e tendências lineares de FCO₂ para a Primavera. Baseado na média sazonal de 2000 a 2009, por ponto de grade de 0,5° (latitude) x 0,5° (longitude)

4.5. Vento

Na figura 46 são apresentadas as Rosas dos Ventos, com a distribuição dos ventos no período de 2000 a 2009 para os 6 pontos de amostragem originais (sem interpolação) .

Figura 46. Rosas dos ventos do período 2000 a 2009 (base de dados NCEP-NCAR Reanalysis I).

O vento zonal de W está diretamente relacionado com a baroclinicidade da região antártica e, conseqüentemente, ao gradiente de temperatura N-S na AE. A figura 47 apresenta a distribuição de frequência do vento zonal climatológica (1948-2010) e a tendência nas frequências relativas da componente positiva (oeste) e negativa (leste).

Na figura 48 estão apresentadas as séries temporais da velocidade escalar do vento com suas respectivas tendências decadais de 1948 a 2010.

Figura 47. Distribuição das frequências relativas e tendência decadal da componente zonal do vento (base de dados NCEP-NCAR Reanalysis I, de 1948 a 2010).

Figura 48. Série temporal e tendência decadal da velocidade escalar do vento. (base de dados NCEP-NCAR Reanalysis I, de 1948 a 2010).

5. DISCUSSÃO

5.1. PCO₂ar

Os dados de PCO₂ na atmosfera no período analisado variaram na média anual-espacial de 357,3 μatm (2000) a 372,8 μatm (2009). Para este período, a tendência linear de aumento foi de 1,94 $\mu\text{atm.ano}^{-1}$ ($R^2=0,98$), que é consistente com a tendência linear encontrada para Ushuaia, na Terra do Fogo, no extremo Sul da América do Sul, de 2,0 $\mu\text{atm.ano}^{-1}$ (Bianchi *et al.*, 2009). Em termos de concentração molar, a tendência encontrada para a série de 1994-2009 de Jubany é de 1,89 ppm.ano^{-1} , muito próxima da tendência média global para os mesmos anos de 1,91 ppm.ano^{-1} (NOAA, 2011), estando também dentro da faixa de flutuação das tendências encontrada por Takahashi *et al.* (2009), que globalmente, entre 1970 e 2006, variaram de 0,8 a 2,9 ppm.ano^{-1} .

Na média sazonal, os valores da PCO₂ na atmosfera apresentam mínimo no verão e máximo no inverno (amplitude média de 3,7 ppm) e estão em fase oposta com a atividade biológica hemisférica sazonal, que intensifica a absorção e a fixação do carbono pela biosfera no verão austral. Os processos locais e regionais relacionados com o próprio fluxo mar-ar também influenciam nessa sazonalidade evidente e serão abordados ao longo deste capítulo. Comparativamente, a amplitude interanual no hemisfério norte, mais precisamente em Mauna Loa no Havaí, é ainda maior, apresentando amplitude verão-inverno de cerca de 6 ppm; já no Pólo Sul ela é mínima, em torno de 1 ppm (Dettinger e Ghil, 1998).

As taxas de crescimento da concentração de CO₂ na atmosfera obtidas neste estudo são praticamente iguais às taxas de aumento das emissões resultantes do uso de combustíveis fósseis (Millero, 2007). No entanto, o armazenamento na atmosfera é somente metade do total estimado das emissões da era industrial (Millero, *op. Cit.*, Bianchi *et al.*, 2009, Siegenthaler e Sarminento, 1993). O restante das emissões está sendo armazenado nos oceanos e nas áreas terrestres. As variabilidades das taxas de emissão e de concentração de CO₂ na atmosfera estão relacionadas com a economia mundial e com o fenômeno *El Niño*. Na ocorrência do *El Niño*, as taxas médias de acumulação no oceano e em terra diminuem (Millero, *op. Cit.*). Em períodos de recessão econômica a utilização de combustíveis fósseis também sofre redução.

5.2. $\text{PCO}_{2\text{sw}}$

Nos oceanos, as variações sazonais e geográficas da pressão de CO_2 em águas superficiais são sensivelmente maiores que as encontradas na atmosfera, sendo a magnitude e a direção do fluxo mar-ar de CO_2 principalmente governadas pela $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ (Takahashi *et al.*, 2002). A $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ é resultado da interação com a atividade biológica, mistura vertical e transporte lateral, além de variar com a salinidade e com a temperatura. Para o Oceano Austral, a correlação da temperatura com a $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ é baixa, mesmo em regiões de notáveis gradientes térmicos, como nas imediações da Frente Polar (Schneider e Morlang, 1995). Caso a $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ se comportasse conservativamente, era de se esperar que na AE no verão, em face da TSM mais elevada, as pressões fossem maiores, a uma taxa de $\partial \ln \text{PCO}_{2\text{sw}} / \partial T = 0,0423^\circ\text{C}^{-1}$ (Takahashi *et al.*, *op. cit.*). Entretanto, é no verão que os valores de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ na AE são mínimos, ao passo que no inverno e início da primavera, quando a TSM é menor, são encontrados os valores máximos (tabela 7); portanto, a correlação é inversa, indicando que a variabilidade sazonal é regida por processos que alteram a concentração do CO_2 dissolvido na superfície da água, ao invés de uma variação promovida termodinamicamente. Apesar da complexidade dessas interações, estatísticas relativamente simples podem ser aplicadas a fim de indicar os principais processos controlando a distribuição da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ no tempo e no espaço (Schneider e Morlang, 1995).

Neste trabalho, os valores pontuais médios decadais de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ variaram de 355,5 a 404,4 μatm ; em termos de valores absolutos pontuais, variaram de 273,3 a 526,1 μatm . Na distribuição espacial média da década, nota-se uma variação de 40 μatm entre as regiões de máxima e mínima $\text{PCO}_{2\text{sw}}$. A região sudoeste da área de estudo, próximo à Ilha Greenwich, apresenta os maiores valores, ligeiramente acima de 400 μatm , enquanto que na região oeste-noroeste a distribuição é quase homogênea, em torno de 360 μatm . A orientação das isóbaras (linhas de mesma pressão) de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ (figura 18) acompanham a orientação da plataforma continental – que por sua vez orienta as isotermas de TSM (figura 15) – de modo que o gradiente está orientado no sentido noroeste-sudeste nessa região, apontando para sudeste. Do centro da área de estudo ao vértice sudeste, a magnitude do gradiente encontrado na média decadal foi de 2,1 μatm a cada 10 km. Dessa forma, os maiores valores são encontrados em águas mais rasas da área de estudo e os mais baixos nas águas mais profundas, após o talude

continental. A isolinha de 390 μatm é muito próxima da localização sobreposta do fim da plataforma e início do talude, de modo que na média decadal (unicamente) as isóbaras maiores que 390 μatm indicariam as águas costeiras relativamente rasas (profundidade até 200m) e isóbaras abaixo desse valor seriam de águas de profundidade maior que 3000 m.

Uma distribuição horizontal semelhante ($\text{PCO}_{2\text{sw}}$ mais elevada próximo à linha de costa e diminuindo perpendicularmente à plataforma no sentido do talude) foi encontrada por Bianchi *et al.* (2009) na região do mar da Patagônia – notoriamente de elevada produtividade primária; nos meses de outono essa configuração abrangeu toda a costa no sentido norte-sul, com valores elevados de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ em uma faixa (oeste-leste) de até 230 km; nas demais estações do ano ela também se fez presente, mas com área de abrangência menor. Em uma das etapas de medição, a variação espacial ao longo da plataforma continental até o talude foi de 45 μatm , medida na época do equinócio de outono de 2006.

Na AE os maiores valores de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ junto à costa das Ilhas Livingston e Greenwich são provavelmente explicados pela ressurgência de água mais profunda desencadeada pelos fortes ventos de componente oeste – frequência de 64% dos ventos acima de 0,5 m/s na região costeira. Esses ventos frequentes geram um transporte de Ekman (resultante vetorial de transporte máximo da coluna d'água a 90° à esquerda do vento no hemisfério sul) de massa na direção norte (Turner *et al.*, 2009) promovendo uma menor pressão hidrostática na superfície junto à costa, que desencadeia o afloramento de água rica em CO_2 pela presença de grandes quantidades de carbono inorgânico dissolvido de maiores profundidades. Em outras regiões do oceano, esse afloramento normalmente favorece uma produção primária significativa, devido à abundância de nutrientes transportados em direção à superfície, mas os valores discretos de clorofila-*a* (indicador qualitativo da atividade fitoplanctônica) em águas superficiais da AE sugerem que outros processos estão atuando no sentido de limitar a biomassa fitoplanctônica.

O fator apontado como o maior limitante à produção primária em todo Oceano Austral é a baixa disponibilidade de ferro como nutriente essencial para o crescimento fitoplanctônico. Entretanto, as pesquisas se desenvolveram nas águas mais profundas (pelágicas), não havendo ainda dados suficientes para a mesma afirmação em relação às águas costeiras (Hansen *et al.*, 2004). Dessa forma as águas antárticas são classificadas como *High Nutrient Low Chlorophyll* (HNLC), ou seja, concentrações elevadas de nutrientes e baixas de clorofila (Turner *et al.*, 2009 e Basterretxea e Aristegui, 1999).

Na média sazonal, é no verão que são encontrados os valores máximos de clorofila-*a* na AE (e menor $\text{PCO}_{2\text{sw}}$); em particular, na área costeira, são menores ou iguais a $1,0 \text{ mg/m}^3$ (Hansen *et al.*, 2004 e NASA, 2011). Para a mesma época, em região antártica adjacente, os valores podem ultrapassar $8,0 \text{ mg/m}^3$ como no caso do estreito de Gerlache, Mar de Scotia, mar de Bellingshausen e Plataforma leste da Península Antártica (Alvarez *et al.* 2002, Hansen *et al.*, *op. Cit.* e NASA, *op. Cit.*). No estreito de Bransfield, próximo à Ilha Snow, os valores podem chegar a 5 mg/m^3 (Basterretxea e Aristegui, 1999).

O processo de resfriamento das águas superficiais – a TSM próximo à linha da costa variou de $-0,8$ a $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$, no inverno e verão respectivamente – induz à instabilidade termodinâmica da coluna d'água, gerando afundamento por aumento de densidade, que em conjunto com a ressurgência promove turbulência e intensifica a mistura vertical. Essa circulação vertical causa inibição da formação de camadas estáveis e, por conseguinte, efeitos deletérios para o crescimento do fitoplâncton (Camargo *et al.*, 2008, Bianchi *et al.*, 2009, Augusto, 2006, Basterretxea e Aristegui, 1999).

É no verão que a velocidade do vento apresenta a menor intensidade, o que reduziria a ressurgência, conforme descrito anteriormente. No mesmo período, a TSM se encontra mais elevada, reduzindo a instabilidade da coluna ou, em outros termos, criando uma maior possibilidade de estratificação próximo à superfície, que por sua vez favoreceria o desenvolvimento fitoplanctônico *in situ*. No entanto, pesquisas no estreito de Bransfield (Basterretxea e Aristegui, *op. Cit.*) sugerem que as maiores concentrações de clorofila-*a* encontradas no setor sudoeste, adjacente à AE, são devidas à advecção (transporte lateral) de fitoplâncton pela corrente predominante vinda do mar de Bellingshausen. A julgar pela configuração da distribuição da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ no verão, que tem seus menores valores no oeste da AE e vão aumentando no sentido zonal para leste, sugere-se que a advecção predomina em relação à produção primária *in situ*. Ademais, as isóbaras de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ não se orientam em congruência com a topografia oceânica nem tampouco com as isotermas de TSM e, conseqüentemente, com as frentes oceânicas presentes na AE.

A despeito do que ocorre com as frentes subtropical e subantártica, o papel da Frente Polar como fronteira física, química e biológica tem sido questionado. Alguns experimentos com modelos de circulação, ratificados por sensoriamento remoto, têm demonstrado uma maior importância do acoplamento físico-biológico de mesoescala (com extensão de poucos a centenas de quilômetros e duração de dias a semanas), que teriam papel fundamental na

dinâmica e na biogeoquímica do Oceano Austral (Tréguer e Pondaven, 2002 e Woloszyn, *et al.*, 2011, no prelo).

Com relação à variabilidade sazonal média decadal de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ na AE, a variação foi de 362,7 μatm no verão a 371,9 μatm na primavera. Os valores elevados na primavera ainda são resultado dos fortes ventos do equinócio de primavera em setembro (‘*equinoctial gales*’, King e Turner, 1997) e da baixa TSM em setembro-outubro, o que se reflete na máxima Profundidade da Camada Mistura (PCM – profundidade na qual os gradientes das propriedades físico-químicas da água são mínimos devido à forte mistura vertical); dessa forma, apesar da concentração de Clorofila-*a* estar em franca elevação, a $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ ainda é elevada. Neste trabalho as médias sazonais mascaram a variabilidade intra-sazonal na escala mensal, que serviria para ilustrar mais nitidamente os comportamentos das variações anuais da TSM, da velocidade dos ventos, da concentração de clorofila-*a* e da PCM. Na figura 49 são apresentadas as evoluções mensais médias para o Oceano Austral conforme apresentado por Metzel *et al.*, (2006).

Figura 49. Evolução mensal da concentração de clorofila-*a*, PCM (a), TSM e velocidade do vento (b) para o Oceano Austral (Fonte: Metzel *et al.*, 2006).

As variações espaciais sazonais de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ encontradas neste estudo possuem boa concordância com as medições realizadas em novembro de 1992 no lado sul da Ilha Livingston, no estreito de Bransfield (Bellerby *et al.*, 1995), que na faixa de longitude de 60°W a 65°W (trajeto cerca de 30 a 60 km ao sul da AE) encontraram valores decrescentes de 370 a 325 μatm , respectivamente. Considerando a tendência de aumento global da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ encontrada por Takahashi *et al.* (2009) de 1,5 μatm ao ano, os valores absolutos se aproximam consideravelmente aos deste estudo.

Na região costeira da área de estudo existem outros processos de menor escala que podem influenciar na variabilidade pontual da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$, mas que requerem levantamento de outros dados, de caráter mais localizado, que não foram contemplados por este trabalho. Um desses processos diz respeito ao degelo em terra, o qual pode influenciar tanto a composição termohalina da água, através do aporte de água de degelo com temperatura diferente da TSM e menos salina, como a própria concentração de carbono na superfície, devido à lixiviação de sedimento e solo, repletos de material orgânico ou decomposto, derivado da fauna, de fungos, de líquens e de outras atividades microbiológicas.

Outra componente da sazonalidade à qual a AE está sujeita é a formação do gelo marinho. Os impactos do gelo marinho na físico-química e na vida marinha do Oceano Austral são bastante complexos, mas em relação à $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ ele favorece seu aumento, pois em seu processo de formação ele intensifica e aprofunda a mistura vertical (Turner *et al.*, 2009). A rejeição salobra durante o congelamento da água do mar também pode contribuir para o aumento da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ (Nomura *et al.*, 2006). Climatologicamente o gelo marinho atinge sua maior extensão e fronteira norte em setembro (King e Turner, 1997, NSIDC, 2011a). Dados de satélite apontam uma grande variabilidade interanual na AE tanto na extensão como na concentração do gelo marinho na AE (NSIDC, 2011a). Segundo a climatologia de Takahashi *et al.* de 2009 - a partir de dados de gelo marinho da reanálise II do NCEP de 2005 - a região de 58°S a 60°S e com limite zonal igual à AE tem concentração de gelo marinho menor que 10% e foi considerada como sendo livre de gelo em suas análises. A faixa da AE compreendida entre 60°S e 62.5°S corresponde a 19% da superfície total da AE e para ela encontramos, a grosso modo, concentração do gelo marinho acima de 10% somente para os meses de julho, agosto e setembro, ficando em torno de 30%. A maior

concentração média foi a oeste da Ilha Livingston, entre 63°W e 64°W, onde o valor médio aproximado ficou em torno de 43% (NCEP, 2011, Turner *et al.*, 2009 e NSIDC, 2011b).

Na tabela 11, são apresentados os valores de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ sazonais e anual encontrados neste estudo, os valores da climatologia por Takahashi *et al.* (2009) para o ano de referência 2000 e os seus valores atualizados para média decadal seguindo a tendência de aumento global da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ de 1,5 $\mu\text{atm/ano}$. Os dados no original de Takahashi estão expressos como médias mensais, calculadas em área oceânica de 4° (latitude) x 5° (longitude) centrada em 60°S-62,5°W e aqui foram recalculados como valores médios sazonais. As diferenças são primordialmente devido às particularidades e abrangência das duas áreas. Na figura 50 são apresentadas ambas as áreas sobrepostas. Destaca-se que a área da climatologia de Takahashi é em torno de 66% maior que a área do presente estudo; ela abrange latitudes com TSM mais elevadas, chegando a interceptar a frente polar, além de estar mais distante da plataforma continental da Península Antártica (0,5° mais ao norte), local onde as interações físicas e biogeoquímicas tendem a ser mais complexas em relação ao oceano profundo. Além disso, dados por satélite da cor do oceano (NASA, 2011), na porção mais ao norte da área de estudo de Takahashi, sugerem uma produção primária menos significativa do que a encontrada dentro da AE, reduzindo assim os efeitos da absorção de carbono pelos organismos autotróficos, o que resultaria em valores mais elevados de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$.

Tabela 11. Valores de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ em μatm , encontrados neste estudo (AE) e derivados de Takahashi *et. al* (2009) para as áreas da figura 50.

	Takahashi ano referência 2000	Takahashi recalculado média 2000 a 2009 tend. 1,5 $\mu\text{atm/ano}$	AE média 2000 a 2009
Verão	355,7	362,5	362,7
Outono	364,5	371,2	363,8
Inverno	373,6	380,3	371,6
Primavera	379,5	386,2	371,9
Anual	368,3	375,1	367,5

Figura 50. A área delimitada em azul representa a área da climatologia de Takahashi (2009) usada para comparação com a área de estudo deste trabalho (vermelho tracejado).

5.3. Fluxo

A diferença de pressão de CO_2 entre a superfície do oceano e o ar logo acima representa o potencial que governa a transferência de CO_2 nessa interface (Takahashi *et al.*, 2009). Dessa forma, quando ΔPCO_2 é negativa a superfície de água é potencialmente absorvedora de CO_2 e pode-se dizer que o oceano está subsaturado em relação à atmosfera. De maneira análoga, quando ΔPCO_2 é positiva a superfície do oceano está supersaturada e atua como fonte de CO_2 para o ar logo acima.

A partir das equações 6 e 7, fica claro que, se não houver vento, não se estabelece o fluxo. Assim sendo, o vento pode ser considerado como o gatilho para que a transferência de CO_2 realmente ocorra. A velocidade do vento também modula a intensidade do fluxo, assim como a solubilidade do CO_2 na superfície marinha e a ΔPCO_2 (responsável pelo sentido do fluxo).

Na tabela 12 são apresentados os valores médios para as variáveis e outros parâmetros correlatos utilizados para obtenção do fluxo líquido de CO_2 neste trabalho. Para efeito de comparação, na tabela 13, são apresentadas as mesmas variáveis encontradas por Takahashi *et al.* (2009) em sua climatologia global normalizada ao ano de referência de 2000 para a área mostrada na figura 50. Em ambos os estudos, os sentidos dos fluxos encontrados ao longo do inverno, primavera e verão foram os mesmos, apesar de magnitudes com uma ordem de grandeza maiores no inverno e primavera no estudo de Takahashi. O outono apresentou comportamento oposto, com fluxo positivo de $0,619 \text{ g}_\text{C}/\text{m}^2.\text{mês}$ no trabalho de Takahashi e negativo de $-0,039 \text{ g}_\text{C}/\text{m}^2.\text{mês}$ neste estudo. As diferenças no fluxo são basicamente explicadas pelos valores positivos maiores de ΔPCO_2 ($\text{PCO}_{2\text{sw}} > \text{PCO}_{2\text{ar}}$) no outono, inverno e primavera, uma vez que não há diferenças tão significativas nas demais variáveis. Considerando a média anual, a área de estudo de Takahashi apresenta fluxo positivo assim como este trabalho, mas com valor cerca de 80% menor (por unidade de área). Apesar dos trabalhos serem de períodos diferentes, acredita-se que as diferenças sejam de caráter geográfico, principalmente pelo fato da área de estudo de Takahashi se estender mais a norte e abranger a frente polar, TSM mais elevada e águas com menor produtividade primária, como discutido anteriormente em relação à $\text{PCO}_{2\text{sw}}$.

Com relação aos sinais dos fluxos sazonais encontrados neste trabalho, os resultados são congruentes com a variação global do Oceano Austral entre 50° e 62°S (Metzel *et al.*,

2006 e Takahashi *et al.*, 2009), conforme apresentado na figura 51. Nota-se que o oceano se comporta como fonte ($\Delta\text{PCO}_2 > 0$) nos meses de inverno e de primavera e como sorvedouro nos de verão e de outono, assim como encontrado para a AE neste trabalho.

Figura 51. Ciclo mensal da ΔPCO_2 para o Oceano Austral entre 50° e 62°S segundo Takahashi *et al.*, (2009). Adaptado de Turner *et al.* (2009).

Tabela. Fluxos sazonais médios e variáveis correlatas de 2000 a 2009 para a Área de Estudo (AE).

	PCO_2 Sw (μatm)	PCO_2 ar (μatm)	ΔP (μatm)	PNM (hPa)	TSM (°C)	SAL (‰)	VEL (m/s)	TR (g.mês. m ² . μatm)	Fluxo (mol/ m ² .mês)	Fluxo (g _C / m ² .mês) *
Verão	362,7	363,0	-0,3	989,2	1,95	33,83	8,8	0,065	-0,001	-0,010
Outono	363,8	364,2	-0,4	991,4	1,37	33,80	9,7	0,079	-0,003	-0,039
Inverno	371,6	366,7	4,9	994,1	-0,66	33,82	10,2	0,088	0,038	0,456
Primavera	371,9	366,2	5,7	990,1	-0,58	33,88	9,6	0,078	0,034	0,403
Anual	367,5	365,0	3,7	991,3	0,52	33,83	9,6	0,077	0,027	0,203

* $\text{g}_C/\text{m}^2.\text{mês} = \text{Mg}_C/\text{km}^2.\text{mês}$

Tabela 12. Fluxos médios e variáveis correlatas recalculados para as médias sazonais, a partir da climatologia mensal de Takahashi (2009) para o ano de referência 2000.

	PCO ₂ Sw (μ atm)	PCO ₂ ar (μ atm)	Δ P (μ atm)	PNM (hPa)	TSM (°C)	SAL (‰)	VEL (m/s)	TR (g.mês. m ² . μ atm)	Fluxo (mol/ m ² .mês)	Fluxo (gC/ m ² .mês)
Verão	355,7	355,7	0,0	991,4	2,76	33,87	8,6	0,061	-0,002	-0,023
Outono	364,5	356,4	8,1	993,7	2,10	33,87	9,7	0,077	0,052	0,619
Inverno	373,6	357,9	15,7	994,7	0,29	33,89	10,4	0,090	0,120	1,447
Primavera	379,5	357,6	21,9	991,8	0,27	33,89	10,2	0,087	0,161	1,928
Anual	368,3	356,9	11,4	992,9	1,36	33,88	9,7	0,079	0,083	0,993

Os mapas de Δ PCO₂ sazonais da AE (figura 26) mostram que, na média decadal, tanto o verão quanto o outono apresentaram maior área subsaturada (valores negativos) do que área supersaturada, o que se refletiu na média espacial com valores ligeiramente negativos de -0,3 e -0,4 μ atm, respectivamente. No outono a TR é maior que no verão, devido aos ventos mais intensos e TSM mais baixa, fazendo com que o fluxo no outono seja mais negativo (-0,039 gC/m².mês) e absorvendo mais carbono que no verão (-0,010 gC/m².mês), apesar dos valores de Δ PCO₂ serem muito próximos.

No inverno e na primavera as superfícies da AE que se comportam como fonte (Δ PCO₂ > 0) e como sorvedouro (Δ PCO₂ < 0) são equivalentes, porém os valores de Δ PCO₂ positivos são, em termos absolutos, muito maiores que os negativos. O resultado é que, na média dos meses de junho a novembro, a AE se comporta como fonte de CO₂ para a atmosfera, com valores de fluxo de 0,456 gC/m².mês no inverno e de 0,403 gC/m².mês na primavera, ambos uma ordem de grandeza maior que os fluxos no verão e outono, em valores absolutos. Nota-se que, apesar da primavera apresentar uma Δ PCO₂ maior (5,7 μ atm) do que no inverno (4,9 μ atm), o fluxo é consideravelmente maior no inverno devido à TR ser máxima (0,088) em virtude da TSM menor e dos ventos mais intensos nesta estação do ano.

No balanço anual do fluxo líquido, a AE se comportou como fonte de carbono para atmosfera de 0,203 gC/m².mês. No entanto, a média linear simples a partir dos valores calculados por ponto de grade pode superestimar o fluxo total, já que atribui pesos iguais para todos os pontos de grade, independentemente de posição dentro do domínio espacial. Uma forma de refinar o cálculo do fluxo total é realizar a média por quadrícula de pontos de grade e totalizar o fluxo por quadrícula.

Contudo, para o cálculo do fluxo total da AE, há que se compensar o efeito da diminuição da área de cada célula de $0,5^\circ$ de latitude x $0,5^\circ$ de longitude à medida que a latitude aumenta (convergência dos meridianos) (Anexo 2). Para tanto, foi calculado o fluxo médio por quadrícula de $0,5^\circ$, perfazendo um total de 50 quadrículas. Na tabela 14 são apresentados os valores de fluxo líquido por unidade de área e o fluxo total para a AE, calculado pela média linear simples (por ponto de grade) e pela média quadricular, compensada pelo efeito da convergência dos meridianos (Anexo 2). Dado que os maiores valores de fluxo pontuais se encontram na margem do domínio e mais ao sul da AE, delimitando áreas relativamente menores, o fluxo total calculado considerando a convergência dos meridianos é consideravelmente menor do que o calculado pela média dos valores pontuais multiplicados pela área total da AE.

A AE foi responsável pela emissão de cerca de 95 mil toneladas de carbono por ano para a atmosfera ($95 \text{ Gg}_C.\text{ano}^{-1}$ ou $0,095 \text{ Tg}_C.\text{ano}^{-1}$). A superfície da AE, com $0,074.10^6 \text{ km}^2$, representa 0,17% do Oceano Austral, com $44,9.10^6 \text{ km}^2$ (Takahashi *et al.*, 2009), praticamente a mesma proporção (0,19%) de seu fluxo anual de $0,095 \text{ Tg}_C.\text{ano}^{-1}$ relativo ao valor absoluto ao fluxo total do Oceano Austral de $-50 \text{ Tg}_C.\text{ano}^{-1}$ (Takahashi *et al.*, 2009). Vale a pena ressaltar que o Oceano Austral apresenta fluxo líquido anual médio por área de $-1,1 \text{ Mg}_C.\text{km}^{-2}$ enquanto que a AE tem fluxo de $1,3 \text{ Mg}_C.\text{km}^{-2}$, fazendo com que esta última não sirva de paradigma para o Oceano Austral. Não obstante, a área estudada demonstra a importância das águas costeiras na região, pois apesar da superfície onde os fluxos são negativos ser menor que a superfície de fluxos positivos, os valores absolutos do fluxo positivo na plataforma continental chegam a ser uma ordem de grandeza maior que os fluxos negativos na zona pelágica, sendo o processo de mistura vertical na plataforma – que abrange menos de 25% da AE – o principal responsável pelos valores positivos de fluxo.

Tabela 13. Valores de fluxo de CO₂ médio de 2000 a 2009 estimados para a Área de Estudo.

	Fluxo Total por média simples dos pontos de grade (Mg _C /mês) **	FluxoTotal por área quadricular compensada (Mg _C /mês) **
Verão	-708	-6.003
Outono	-2.886	-7.349
Inverno	33.923	25.380
Primavera	29.932	19.561
Média Anual (Mg _C /mês)	15.065	7.887
Total Anual (Mg _C /ano)	180.782	94.648

** 1 Mg_C = 1.000 kg de Carbono = 1 tonelada (ton) de Carbono

Quanto aos valores de fluxo encontrados há que se fazer uma consideração em relação ao inverno e ao início da primavera no que se refere à cobertura do gelo marinho, que ocorre basicamente durante esse período. O gelo marinho reduz a superfície de troca mar-ar, acarretando em uma diminuição da magnitude dos fluxos. A AE encontra-se de forma marginal dentro da extensão do gelo marinho, numa zona sujeita a grande variabilidade inter-anual (NSIDC, 2011a) onde em alguns anos ela pode até ser desconsiderada para fins de fluxo (abaixo de 10% de concentração de gelo) conforme metodologia de Takahashi *et al.* (2009). A partir dos mapas por sensoriamento remoto do período de estudo e do campo climatológico de gelo marinho (NCEP, 2011, Turner *et al.*, 2009 e NSIDC, 2011b) pode-se considerar de forma simplificada uma cobertura de cerca de 18% no inverno (27% em julho e agosto; e menos de 10% em junho, a qual é computada como zero) e de 12% na primavera (36% em setembro e menos de 10% em outubro e novembro).

No entanto, optou-se por não utilizar fatores de correção dos fluxos na presença de gelo, pois essa parametrização ainda carece de dados empíricos mais confiáveis para suportá-la. Pela metodologia adotada assume-se que mesmo com dados indicando cobertura de 100% de gelo marinho, o fluxo de CO₂ entre o oceano e atmosfera não cessa, devido à existência de canais, ranhuras e rachaduras no gelo além de polínias - áreas não lineares de águas abertas em meio ao gelo marinho (Simões, 2004) - as quais muitas vezes não são detectadas por sensoriamento remoto. Ademais, a extensão de gelo marinho no oeste da Península Antártica, assim como nos mares de Bellingshausen e Amundsen, tem diminuído ao longo dos últimos trinta anos (aproximadamente 20%) em uma tendência particularmente oposta ao que se

observa na tendência geral das águas antárticas (Turner *et al.*, 2009 e NSIDC, 2011b). Estudos sugerem que a retração na extensão do gelo nesse setor estaria ligada a uma maior advecção quente, promovida por ventos de noroeste mais intensos (NSIDC, 2011b).

5.4. Tendências

A tendência linear média da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ na área de estudo encontrada para a série sazonal de 2000 a 2009 foi de $6,3 \pm 7,0 \mu\text{atm.década}^{-1}$ (ou $0,63 \mu\text{atm.ano}^{-1}$). Os valores das tendências calculadas individualmente para os 66 pontos de grade da área de estudo variaram de $-7,0$ a $22,3 \mu\text{atm.década}^{-1}$ (Figura 20). Foram 24 os pontos com tendências decadais mais significativas, acima de $10 \mu\text{atm.década}^{-1}$, perfazendo 36% do total de pontos. Apesar das grandes incertezas, principalmente pela interpolação utilizada e pelas variabilidades temporais e espaciais, as tendências podem ser analisadas pelo critério qualitativo, que apontam para um incremento da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ condizente com outros estudos regionais (i.e. Metzel *et al.*, 2009 e Takahashi *et al.*, 2009).

Takahashi *et al.* (2009) encontraram para o Oceano Austral uma tendência de $21,3 \pm 6,4 \mu\text{atm.década}^{-1}$ ($2,13 \pm 0,64 \mu\text{atm.ano}^{-1}$) – calculada apenas com dados obtidos ao sul de 50°S durante os meses do que consideraram o inverno austral (dias do ano de 172 a 326) – a fim de minimizar a grande variabilidade espaço-temporal causada pelo rebaixamento fotossintético da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$. Suas observações de inverno abrangem um período de 20 anos, de 1986 a 2006, e são para todo o entorno do continente, embora sejam mais frequentes nas áreas das Ilhas Kerguelen, Passagem Drake e Nova Zelândia-Mar de Ross. Entretanto, os autores não utilizaram a taxa de aumento específica encontrada para a região em sua normalização de dados, pois não consideraram a mesma como firmemente estabelecida, devido a vários graus de deficiência de amostragem no tempo e no espaço, incluindo a variabilidade dependente do tempo assumida na sua delimitação de grade, de modo que a incerteza encontrada na taxa média de mudança da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ é uma estimativa mínima. Como taxa de tendência na normalização de dados para o ano 2000, foi utilizada a média global oceânica, encontrada no mesmo trabalho, de $15 \mu\text{atm.década}^{-1}$.

Metzl (2009) analisou as tendências lineares de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ de 1991 a 2007 do Sul do Oceano Índico até o Oceano Austral e encontrou, para as latitudes maiores que 50°S , uma

taxa de aumento de $23,9 \pm 1,6 \mu\text{atm.década}^{-1}$ para o verão e de $21,0 \pm 2,6 \mu\text{atm.década}^{-1}$ para o inverno.

As tendências sazonais na AE variaram de $-1,1$ a $9,6 \mu\text{atm.década}^{-1}$ para o inverno e primavera respectivamente, tendências estas significativamente mais baixas do que as encontradas em geral para o Oceano Austral, chegando a ser oposta no caso do inverno. Uma possível explicação para isso é a grande influência das águas da plataforma continental, da qual os estudos de tendências de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ em bacias oceânicas mais abrangentes procuram evitar, justamente devido à grande variabilidade anual e às interações com o fundo oceânico. Porém é mais provável que as tendências encontradas neste estudo estejam prejudicadas pela baixa densidade de amostragens para o estabelecimento de uma série temporal consistente. Como havia ausência de dados em algumas estações do ano, as lacunas foram substituídas pela média sazonal do período completo, o que não interfere significativamente na média decadal; contudo, em uma série temporal de dez anos, com espaçamento temporal de três meses, sujeita a grande variabilidade anual e sazonal, o efeito pode ser significativo. Além disso, como foi utilizada a média sazonal, alguns meses nos anos podem ter tido mais amostragens que outros, gerando uma assimetria na média sazonal apesar de haver um bom equilíbrio entre os meses na média decadal. A densidade amostral é mais baixa nos primeiros anos do período de estudo, mas melhora consideravelmente nos últimos, o que indica que, se os navios operando na região continuarem realizando as medições de CO_2 por fluxo contínuo, as séries temporais serão melhor resolvidas em um período de alguns anos a uma década.

Neste trabalho não foi utilizada a “dessazonalização” da série temporal obtida, como em alguns outros estudos, o que ajudaria a filtrar as grandes variações de ano para ano. Porém, questiona-se aqui o método de Takahashi *et. al* (2009) de calcular a tendência da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ a partir dos dados somente do inverno por ele considerado (fins de junho a fins de novembro); acreditamos, através das análises de desvio padrão da média espacial na presente área de estudo, que a variabilidade espacial neste período de inverno-primavera (desvio padrão da média espacial de 13,5 e 17,5 μatm , no inverno e na primavera) é maior do que no verão e outono (11, 2 e 11,1 μatm). Porém, em relação à média do desvio padrão da média temporal, o verão apresenta variabilidade muito maior, de 24,1 μatm , contra 11,0 no inverno. Isto nos leva a crer que, para melhor compreender a evolução da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ na AE ao longo dos anos, melhor seria dividi-la em duas ou três subregiões oceanográficas, contemplando a plataforma continental, o oceano profundo e uma terceira faixa, de transição, ou uma zona sujeita a maior advecção de biomassa fitoplanctônica.

Nos estudos de recentes de Takahashi *et al.* (2009) e Metzl (2009) as taxas de aumento na $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ encontradas para o Oceano Austral foram iguais ou maiores que as taxas encontradas para a atmosfera, causando uma diminuição na diferença de pressão entre os dois meios e, conseqüentemente, sugerindo uma diminuição na capacidade de absorção de CO_2 pelos oceanos, que por fim acarreta um fluxo menos intenso de CO_2 da atmosfera para a superfície marítima. Neste trabalho, apesar da tendência linear de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ encontrada ter sido de aumento, ela é de magnitude menor do que o aumento na pressão parcial de CO_2 na atmosfera, o que levaria a uma aumento do potencial sorvedouro do oceano, como pode ser verificado nas figuras 27 a 31 e 41 a 45 e nas tabelas do anexo 1, referentes às tendências sazonais e anual da ΔPCO_2 e do fluxo líquido.

O cálculo da frequência de ocorrência da direção e intensidade do vento ao longo da década de 2000 (figura 46), a partir da base de dados do NCEP (Reanalysis I), apresentou predominância dos ventos de NW a SW condizente com a distribuição esperada para a faixa de latitude (i.e. King e Turner, 1997) e com Teniente Cámara (figura 6). Para o período de 1948 a 2010, foi encontrada uma tendência decadal da velocidade do vento, média para a área de estudo, de $0,23 \pm 0,03 \text{ m.s}^{-1}.\text{década}^{-1}$ (figura 48), que parece concordar com os dados da base Faraday (antiga Vernadsky) mais ao sul da área de estudo ($65,4^\circ\text{S } 64,4^\circ\text{W}$, 11m) que, em sua série de 1951 a 2000 (uma das séries mais longas da Antártida), apresentou tendência de $0,14 \text{ m.s}^{-1}.\text{década}^{-1}$ (Tuner *et al.*, 2005). Também aparenta ser coerente com os relatos da literatura (i.e. Turner *et al.*, 2009) a tendência positiva encontrada na frequência de ocorrência de vento com componente vetorial de oeste (figura 47), que pra o mesmo período de 62 anos, aumentou $1,47 \pm 1,13\%$ por década na AE; a tendência é ainda mais significativa se considerarmos os pontos do limite Sul da área de estudo, que na média apresentaram tendência de $2,45 \pm 0,32\%$ por década.

Sobre águas antárticas, a aceleração e a migração no sentido do pólo sul dos ventos circumpolares de oeste tem sido apontadas como a principais causas da taxa de elevação da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ acima da média atmosférica. Esses ventos estariam promovendo um maior afloramento de água circumpolar de fundo carregada de CO_2 (Doney *et. al.*, 2009, Lé Quéré *et.al.*, 2007, Turner *et. al.*, 2009). Conduzindo as mudanças no padrão de vento está o SAM, que por sua vez está associado a mudanças no Vórtice Antártico em resposta ao decaimento fotoquímico do ozônio estratosférico e aumento da concentração de gases estufa. Quando o SAM está positivo, as temperaturas polares, a altura geopotencial e as pressões da superfície tendem a serem mais baixas e fortes ventos circumpolares são encontradas perto de 60°S .

Porém, existem outros modos climáticos de variabilidade que podem ter efeitos na região e no próprio SAM, através de interações e teleconexões complexas, tais quais El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Índico (Turner *et. al*, 2009). Embora o ENOS seja apontado como responsável por variabilidades da circulação oceânica e dos campos de gelo do Oceano Austral, nenhuma diferença discernível de PCO_2 oceânica é observada para períodos ENOS positivo ou negativo (Takahashi *et. al*, 2009).

6. CONCLUSÕES

A pressão parcial de dióxido de carbono na superfície da água do mar ($\text{PCO}_{2\text{sw}}$), em uma escala decadal de tempo, resulta principalmente das interações com a atmosfera, com a biota oceânica e com a circulação oceânica, que determinam o transporte de CO_2 vertical e lateral de outras regiões; a $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ também é função de variáveis físico-químicas da água do mar que determinam a solubilidade do CO_2 , como a temperatura e a salinidade

O fluxo (como taxa de transferência de massa) de CO_2 na interface oceano-atmosfera foi calculado a partir da diferença de pressão parcial, do oceano menos a da atmosfera (ΔPCO_2), multiplicada pela taxa de transferência gasosa (TR). A TR, por sua vez, é produto do coeficiente solubilidade do CO_2 na água do mar pela velocidade de transferência gasosa, sendo esta última proporcional à velocidade quadrática do vento. A $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ é a variável principal que regula a direção e o fluxo de CO_2 na interface oceano-atmosfera, porém suas variações geográficas, sazonais e anuais são bem mais pronunciadas e heterogêneas que as variações da pressão parcial de CO_2 na atmosfera.

Os fluxos líquidos sazonais médios na década de 2000 encontrados para a área de estudo foram : $-0,010 \pm 0,701 \text{ g}_\text{C}.\text{m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ para o verão, $-0,039 \pm 0,865 \text{ g}_\text{C}.\text{m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ para o outono, $-0,456 \pm 1,221 \text{ g}_\text{C}.\text{m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ para o inverno e $0,403 \pm 1,401 \text{ g}_\text{C}.\text{m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ para a primavera. Em termos de fluxo total, para toda a região, estimou-se um fluxo de $-6.003 \text{ Mg}_\text{C}.\text{mês}^{-1}$ no verão, $-7.349 \text{ Mg}_\text{C}.\text{mês}^{-1}$ no outono, $25.380 \text{ Mg}_\text{C}.\text{mês}^{-1}$ no inverno e $19.561 \text{ Mg}_\text{C}.\text{mês}^{-1}$ na primavera. Os fluxos sazonais estão em fase com os fluxos médios para o Oceano Austral (ao sul de 50°S), obtidos para períodos maiores que dez anos, a partir de 1970 até 2007, por Metzl (2009) e Takahashi *et al.* (2009).

Isto significa que o fluxo líquido para os meses de junho a novembro (inverno e primavera) é positivo, ou seja, o oceano atua como fonte de CO_2 para a atmosfera, enquanto que de dezembro a maio (verão e outono), o fluxo se inverte e o oceano passa a absorver CO_2 . Uma vez que as magnitudes dos fluxos positivos são no mínimo dez vezes maiores que os negativos, no balanço integrado anual, considerando uma concentração de gelo marinho menor que 10%, a área deste estudo se comporta como fonte de CO_2 para a atmosfera, emitindo $94,6.10^9$ gramas de carbono a cada ano. Diferentemente, o Oceano Austral no fluxo total anual é um sorvedouro discreto de CO_2 , que responde por 4% da absorção global dos oceanos, apesar de ser 24% da superfície oceânica global (Takahashi *et al.*, 2009). Fosse pela

potencialidade da taxa de transferência gasosa, os fluxos entre o Oceano Austral e a atmosfera seriam os mais elevados da superfície oceânica global, devido à associação dos intensos ventos circumpolares de oeste e das mais baixas temperaturas superficiais oceânicas de grande escala; no entanto, isto não ocorre devido à elevada PCO_2 na água do mar em relação ao PCO_2 no ar.

No verão, a maior disponibilidade de radiação solar, as temperaturas mais elevadas à superfície e os ventos menos intensos favorecem a produção de biomassa fitoplanctônica, fazendo com que a bomba biológica seja o processo dominante na diminuição da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ e na absorção de CO_2 atmosférico pela superfície marinha. É provável que grande parte do fitoplâncton responsável pelo rebaixamento da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ esteja sendo advectada de regiões adjacentes, como do Mar de Bellingshausen, sujeito a ventos menos intensos e onde a concentração de clorofila-*a* é mais significativa. No outono o comportamento é similar mas, dentro da área de estudo, a superfície com valores subsaturados de CO_2 diminui, de maneira que a região com fluxos positivos começa a ter o mesmo alinhamento da plataforma continental. No inverno, os ventos são máximos e promovem uma intensificação da ressurgência de água profunda, ademais a mistura vertical é ainda mais acentuada pela instabilidade termodinâmica, induzida pelas mínimas temperaturas da superfície marinha no ano. Dessa forma, no inverno se dá o maior fluxo de CO_2 para a atmosfera, promovido pelas águas supersaturadas, especialmente na faixa da plataforma continental. Desse modo, no inverno e na primavera, a bomba física governa o fluxo de CO_2 que é positivo. Dentro da área de estudo, a plataforma continental se comporta como região de fonte de CO_2 para a atmosfera praticamente todo o ano; somente no verão a área voltada ao setor oeste muda seu comportamento, provavelmente devido ao *bloom* da produção primária, relativamente tardio (fins da primavera).

As tendências decadais encontradas na tentativa de se estabelecer uma série temporal decadal para área de estudo apontam para um aumento da $\text{PCO}_{2\text{sw}}$, estando em concordância qualitativa com outros estudos (Metzl, 2009 e Takahashi *et. al.*, 2009) embora não concordem em relação à taxa desse aumento, menores neste estudo. Pela taxa encontrada, a $\text{PCO}_{2\text{ar}}$ estaria crescendo mais rapidamente que no oceano, fazendo com que esse venha a se tornar um potencial sorvedouro de carbono atmosférico nos próximos anos. No entanto, séries temporais advindas de estudos mais abrangentes e de processos estatísticos mais elaborados apontam no sentido oposto: a pressão de CO_2 na superfície do mar cresce mais rapidamente que na atmosfera. Esse crescimento estaria sendo imposto pelo Modo Anular

Austral (SAM) ao acelerar os ventos de oeste. Isto leva a suspeitar que a baixa densidade amostral e a assimetria temporal não permitem formar uma única série temporal que contemple de forma significativa toda a área de estudo.

A área de estudo apresentou tendência decadal da velocidade do vento de $0,23 \pm 0,03$ m.s⁻¹.década⁻¹, considerando a série temporal completa, de 1948 a 2010, mais que a utilizada no cálculo da TR. Outra tendência estimada para a série de vento estendida diz respeito à componente zonal de oeste do vento, que tem se tornado mais freqüente, especialmente no sul da AE, a uma taxa máxima de 2,74 %.década⁻¹.

Na área de estudo, similarmente ao Oceano Austral, sugere-se que os ventos de superfície mais fortes e freqüentes, com componente de oeste, promovem maior mistura com águas profundas saturadas de carbono inorgânico dissolvido, limitando a capacidade do oceano de absorver CO₂ da atmosfera.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, M., RÍOS, A. F and ROSÓN, G. 2002. Spatio-temporal variability of air–sea fluxes of carbon dioxide and oxygen in the Bransfield and Gerlache Straits during Austral summer 1995–96. **Deep-Sea Research II**, 49: 643–662.
- AMBROSE, D. e LAWRENSON, I. J. 1972. The vapour pressure of water. **J. Chem. Thermodynamics**, 4: 755-761.
- ARMADA ARGENTINA, 1970. República argentina – armada argentina – servicio de hidrografía naval. Publ. H205. Derrotero Argentino Parte V Antártida y archipiélagos subantárticos argentinos, Tomo II, 1970, 443p.
- ASTOR, Y., FUENTES, G., LORENZONI, L., GUZMAN, L. and MULLER-KARGER, F. 2007. **Air-sea CO₂ fluxes at Cariaco Basin**. In: IOCCP - International Ocean Carbon Coordination Project. Surface Ocean CO₂ Variability and Vulnerabilities Workshop: Paris, UNESCO (IOCCP Report No. 7), p. 51.
- AUGUSTO, C. G. 2006. **Distribuição e fluxos de CO₂ na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica**. São Paulo: Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- BARNES, D. K. A. AND CONLAN, K. E. 2004. Disturbance, colonization and development of Antarctic benthic communities. **Phil. Trans. R. Soc. B** 2007 362: 11-38.
- BAS, 2009. Science Briefing - Antarctica and climate change”. Disponível em: http://www.antarctica.ac.uk/press/journalists/resources/science/antarctica_and_climate_change_2009.pdf. Acessado em 19/09/2009.
- BASTERRETXEA, G. and ARISTEGUI, J. 1999. Phytoplankton biomass and production during late austral spring (1991) and summer (1993) in the Bransfield Strait. **Polar Biology**, (1):11
- BATES, N. R., TAKAHASHI, T., CHIPMAN, D. W. and KNAPP, A. H. 1998. Variability of P CO₂ on diel to seasonal time scales in the Sargasso Sea. **Jour. Geophys. Res.**, 103: 15567-15585.
- BELLERBY, R. G. J., TURNER, D. R. and ROBERTSON, J. E. 1995. Surface pH and pCO₂ distributions in the Bellingshausen Sea, Southern Ocean, during the early Austral summer. **Deep-Sea Research II**, Vol. 42, No. 4-5, pp. 1093-1 107.
- BIANCHI, A. A., D. R. PINO, H. G. I. PERLENDER, A. P. OSIROFF, V. SEGURA, V. LUTZ, M. L. CLARA, C. F. BALESTRINI, and A. R. PIOLA. 2009. Annual balance and seasonal variability of sea-air CO₂ fluxes in the Patagonia Sea: Their relationship with fronts and chlorophyll distribution. **J. Geophys. Res.**, Vol. 114.

- BRANDON, M. A., NAGANOBU, M., DEMER, D. A., CHERNYSHKOV, P., TRATHAN, P. N., THORPE, S. E., KAMEDA, T., BEREZHINSKIY, O. A., HAWKER, E. J. and GRANT, S. 2004 Physical oceanography in the Scotia Sea during the CCAMLR 2000 survey, austral summer 2000. **Deep-Sea Research II**, 51: 1301–1321.
- CAMARGO, D. P., ITO, R. G., GARCIA, V. M. T. e GARCIA, C. A. E. 2008. Distribuição da pressão parcial do CO₂ na superfície marinha e fluxos de troca com a atmosfera na Península Antártica. **XVII Simpósio Bras. sobre Pesq. Antártica**, São Paulo, pp. 143-144.
- CAPDEVILA, R. e COMERCIO, S. M. 1982. História antártica Argentina. Direccion Nacional del Antártico, s/d. Buenos Aires: 125p.
- CARRASCO, J. F. 2008. La Antártica no es un continente aislado. **Bol. Antco. Chileno**, 27(2): 123-14.
- CARRASCO, J. F., BROMWICH, D. H. and LIU, Z. 1997. Mesoscale cyclone activity over Antarctica during 1991. 2. Near the Antarctic peninsula. **JGR**, 102(D12):19939-19954.
- CDIAC. 2010. **Atmospheric CO₂ Record from Continuous Measurements at Jubany Station, Antarctica**. Disponível em: <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/jubany.html>. Acessado em 28/09/2010.
- CIATTAGLIA, L., COLOMBO, T. and MASARIE, K. A.. 1999. Continuous measurement of atmospheric CO₂ at Jubany Station, Antarctica. **Tellus**, 51B: 713-721.
- CHRISTIE, HUNTER E.W. **The Antarctic Problem**. George Allen & Unwin Ltd, London, 1951, 336 p.
- DETTINGER, M. D. and GHIL, M. 1998. Seasonal and interannual variations of atmospheric CO₂ and climate. **Tellus**, Ser. B, 50: 1–24.
- DIAZ, E. L. 1958. **Relatos antárticos**. Buenos Aires: Editorial Losada, 272p.
- DOE 1994. **Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water**, version 2, Dickson, A. G. e Goyet, C. (Eds), ORNL/CDIAC-74.
- DONEY, S. C.; TILBROOK, B.; ROY, S.; METZL, N.; LE QUÉRÉ, C.; HOOD, M.; FEELY, R. A.; BAKKER, D. 2009 Surface-ocean CO₂ variability and vulnerability. **Deep-Sea Research Part II**, 56 (8-10). 504-511.
- DURIGON, P. E. R. 2005. **Distribuição e fluxos de CO₂ no sistema estuarino-lagunar de Cananéia**. São Paulo: Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

EL-SAYED, Sayed Z. Biological oceanography, **Antc. Jl. of the U.S.**, vol. VIII no. 3, pp. 93-100 (May-June 1973)

FRANCESCHINI, G. A. 1976. Solar radiation program aboard ARA Islas Orcadas. **Antc. Jl. of the U.S.**, XI(3): 152-153.

GAW, 2010. **World Data Centre For Greenhouse Gases (WDCGG)** Disponível em: <http://gaw.kishou.go.jp/cgi-bin/wdcgg/accessdata.cgi?index=JBN762S00-IAA-ISAC&select=inventory> Acessado em 27/05/2010.

HANSEN, O., NAGANOBU, M., KAWAGUCHI, S., KAMEDA, T., KRASOVSKI, I., TCHERNYSHKOV, P., PRIDDLE, J., KORB, R., BRANDON, M., DEMER, D., HEWITT, R. P., KAHRU, M. and HEWES, C. D. 2004. Factors influencing the distribution, biomass, and productivity of phytoplankton in the Scotia Sea and adjoining waters, **Deep-Sea Research II**, 51: 1333–1350.

HORMAZÁBAL, S., HENRÍQUEZ, C., SILVA, N. and YURAS, G. 2007. Fluctuaciones decadales e interanuales de las masas de agua cercanas a la Península Antártica. **Bol. Antco. Chileno**, 26(2):9-10.

IOCCP, 2007. **Surface Ocean CO₂ Variability and Vulnerabilities**. IOCCP- International Ocean Carbon Coordination Workshop: Paris, UNESCO (Project Report No. 7).

IPCC, 2007. **Climate Change: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers**. Genebra: WMO-UNEP, Intergovernmental Panel on Climate Change.

ITO, R. G. 1996. Determinação da pressão parcial de CO₂ atmosfera e em água do mar por injeção em fluxo contínuo, com detetor espectrofotométrico. Tese de Doutorado, IQUSP, área de Química Analítica, São Paulo: 1996.

ITO, R. G., AUGUSTO, C. G., SETZER, A.; OLIVEIRA, L. F. and DECHICHE, A. G. P. 2005. **Summertime distribution of surface carbon dioxide and sea-air gas exchange in Admiralty Bay, Antarctic Peninsula**. IX SCAR International Biology Symposium – Evolution and Biodiversity in Antarctica, Curitiba, Brazil.

IVANOV, L., GLAVINCHEV, N., TOSHEVA, R., NAYDENOV, S., 2004. **Mapa; Antarctica, Livingston Island, South Shetland Islands**. Designed and Printed in Bugaria by Geototal Ltd.

JONES, E., HARDMAN-MOUNTFORD, N., BAKKER, D. and WATSON, A. 2007. Remote sensing as a tool for quantifying oceanic carbon dioxide sinks and sources in the Atlantic Sector of the Southern Ocean. *In*: IOCCP- International Ocean Carbon Coordination Workshop: Paris, UNESCO (Project Report No. 7).

- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K.C., ROPELEWSKI, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, R. and JOSEPH, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 77: 437-470.
- KING, J.C. e J. TURNER. 1997. **Antarctic meteorology and climatology**. Cambridge University Press, 409 p.
- KLINK, A. 1992. **Paratii: entre dois pólos**. Companhia das Letras. 228p.
- KRINGER, G., GENTHON, C., ZHAO-XIN LI and LE VAN, P. 1997. Studies of the Antarctic climate with a stretched-grid general circulation model. **JGR**, 102(D12): 13731-13745.
- KYLE, T. H. e SCHWERDTFEGER W. 1974. Synoptic scale wind effects on the ice cover of the western Weddell Sea. **Antc. Jl. of the U.S.**, IX(5): 212.
- LDEO, 2010a. Methods Used in Measuring Surface Seawater pCO₂ Aboard RVIB Nathaniel B. Palmer. Disponível em:
<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/CO2/carbondioxide/pages/pCO2data.html>.
 Acessado em 22/09/2010.
- LE QUÉRE, C., RODEMBECK, C., BUITENHUIS, E., CONWAY, T., LANGENFELDS, R., GOMEZ, A., LABUSCHAGNE, C., RAMONET, M., NAKAZAWA, T., METZL, N., GILLET, N. and HEIMANN, M. 2007. Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change. **Science**, 316: 1735–1738.
- LISS, P. S. and MERLIVAT, L. 1986. Air-sea gas exchange rates: Introduction and synthesis. In: BUAT-MÉNARD, P. (Ed.). The role of air-sea exchange in geochemical cycling, Adv. Sci. Inst. Ser. C, vol. 185, pp. 113-127.
- MANN, K.H. e LAZIER, J.R.N. 1991. **Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the sea**. Boston: Blackwell Scientific Publications, 466p.
- METZL, N. 2009. Decadal Increase of ocean carbon dioxide in the Southwest Indian Ocean Surface Waters (1991-2007). **Deep Sea Research II**, special issue SOCOVV, disponível em: doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.007.
- METZL, N., BRUNET, C., JABAUD-JAN, A., POISSON, A. and SCHAUER, B. 2006. Summer and Winter Air-Sea CO₂ Fluxes in the Southern Ocean, **Deep-Sea Research I**, 53.
- MILLERO, F. J. 2007. The Marine Inorganic Carbon Cycle. **Chem Inform**, 38.

- MOORE, J. K., ABBOTT, M. R. and RICHMAN, J. G. 1999. Location and dynamics of the Antarctic Polar Front from satellite sea surface temperature data. **Journal Of Geophysical Research**, 104 (C2): 3059–3073.
- NASA, 2009 <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=36736> Acessado em 15/12/2009.
- NASA, 2011. Disponível em <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/> Acessado em 23/05/2011.
- NCEP, 2011. Disponível em <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/tables/ocean.html> Acessado em 23/01/2011.
- NOAA, 2010a. **Transport Winds Fire Weather**. Disponível em www.wrh.noaa.gov/sew/fire/olm/transport.htm. Acessado em 22/06/2010.
- NOAA, 2011. Disponível em <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> Acessado em 15/02/2011.
- NOMURA, D., YOSHIKAWA-INOUE, H. and TOYOTA, T., 2006. The effect of sea-ice growth on air–sea CO₂ flux in a tank experiment. **Tellus**, 58B, 418–426.
- NSIDC, 2011a Disponível em <http://nsidc.org/sotc/> Acessado em 28/02/2011.
- NSIDC, 2011b, Disponível em <http://nsidc.org/arcticseaicenews/faq.html> Acessado em 28/02/2011.
- PARISH, T. R. 1977. **A low-level jet of cold air near the tip of the Antarctic Peninsula: an example of inertial winds**. Madison, Wisconsin: Department of Meteorology, U. of Wisconsin-Madison, 47p.
- PARISH, T. R. 1983. The influence of the Antarctic Peninsula on the wind field over the western Weddell Sea. **JGR**, 88(C4): 2684-2692.
- PEIXOTO, J. P. e OORT, A.H. 1992. **Physics of climate**. New York: American Institute of Physics, 520p.
- PERRY, A.H. e WALKER, J.M. 1977. **The ocean-atmosphere system**. Londres e New York: Longman, 160p.
- PRUSZAK, Z. 1980. Currents Circulation in the waters of admiralty Bay (region of Arctowski Station on King George Island). **Pol. Polar Res.** 1 (1): 55-74.
- RODRIGO, C. 2008. La corriente circumpolar antártica y su influencia en el clima. **Boletín Antártico Chileno**, 27(2):15-16.
- ROMÃO, M. e SETZER, A. 2003. **Série meteorológica da EACF, 1986-2002**. XI Seminário sobre Pesquisas Antárticas, Instituto de Geociências – USP, p.19.

- SABINE, C. S., FEELY, R. A., GRUBER, N., KEY, R. M., LEE, K., BULLISTER, J. L., WANNINKHOF, R., WONG, C. S., WALLACE, D. W. R., TILBROOK, B., MILLERO, F. J., PENG, T. H., KOZYL, A., ONO, T. and RIOS, A. F. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. **Science**, 305: 367-371.
- SCHNEIDER, B. e MORLANG, J. 1995. Distribution of the CO₂ partial pressure in the Atlantic Ocean between Iceland and the Antarctic peninsula . **Tellus** **47B**. 93-102.
- SCHWERDTFEGGER, W. 1962. **Meteorologia del area del Pasaje Drake**. Buenos Aires: Republica Argentina, Secretaria de Marina, Serviço de Hidrografia Naval, Pub. H. 410.
- SCHWERDTFEGGER, W. 1976. Annual temperature and ice condition changes in the Antarctic Peninsula area. **Antc. JI. of the U.S.**, XI(3): 152.
- SCHWERDTFEGGER, W., CANAL, L. M. e SCHOLTEN, J. 1959. **Meteorologia descriptiva del sector antártico sudamericano**. Buenos Aires: Instituto Antártico Argentino Publicación, n.o 7, 425p.
- SETZER, A., ROMÃO, M. e AQUINO, F. E. 2002. Ventos de superfície na Península Antártica, 1994-2001. X Seminário sobre Pesquisas Antárticas, Instituto de Geociências – USP, p.30.
- SIEGENTHALER, U. e SARMINENTO, J. 1993. Atmospheric carbon dioxide and the ocean. **Nature**, vol 365: 119-125.
- SIMÕES, J. C. 2004. **Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos Pesquisa Antártica Brasileira**. Brazilian Antarctic Research, 4: 119-154 (ISSN 0103-4049). Disponível em www.cnpq.br/areas/terra_meioambiente/proantar/
- TAKAHASHI *et al.* (2011) Disponível em: http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/CO2/carbondioxide/air_sea_flux/month_flux_2006c.txt Acessado em 13/05/2011
- TAKAHASHI, T., SUTHERLAND, S. C., WANNINKHOF, R., SWEENEY, C., FEELY, R. A., CHIPMAN, D. W., HALES, B., FRIEDERICH, G., CHAVEZ, F., SABINE, C., WATSON, A., BAKKER, D. C. E., SCHUSTER, U., METZL, N., YOSHIKAWA-INOUE, H., ISHII, M., MIDORIKAWA, T., NOJIRI, Y., KORTZINGER, A., STEINHOFF, T., HOPPEMA, M., OLAFSSON, J., ARNARSON, T. S., TILBROOK, B., JOHANNESSEN, T., OLSEN, A., BELLERBY, R., WONG, C. S., DELILLE, B., BATES, N. R. AND DE BAAR, H. J. W. 2009. Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂ and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. **Deep-Sea Research II**, 56: 554-577.

- TAKAHASHI, T., SUTHERLAND, S., SWEENEY, C., POISSON, A., METZL, N., TILBROOK, B., BATES, N., WANNINKHOF, R., FEELY, R. and SABINE, C. 2002. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. **Deep-Sea Research II**, (49): 1601-1622.
- TAKAHASHI, T.; SUTHERLAND, S.C. and KOZYR, A. 2010. Global Ocean Surface Water Partial Pressure of CO₂ Database: Measurements Performed During 1957-2009 (Version 2009). ORNL/CDIAC-152, NDP-088(V2009). Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee, doi: 10.3334/CDIAC/otg.ndp088(V2009).
- TALJAARD, J.J. 1960. **Antarctic meteorology**. Oxford, Londres, N. York, Paris: Pergamon Press.
- THOMPSON, D. and SOLOMON, S. 2002. Interpretation of recent southern hemisphere climate change, **Science**, 296(5569), 895-899.
- TOPEX, 2011. Disponível em: http://topex.ucsd.edu/marine_topo/ Acessado em 23/02/2011.
- TRÉGUER, P. e PONDAVEN, P. 2002. Climatic changes and the carbon cycle in the Southern Ocean: a step forward. **Deep-Sea Research II**, 49: 1597-1600.
- TRENBERTH, K.E., P.D. JONES, P. AMBENJE, R. BOJARIU, D. EASTERLING, A. KLEIN TANK, D. PARKER, F. RAHIMZADEH, J.A. RENWICK, M. RUSTICUCCI, B. SODEN and P. ZHAI, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. 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** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- TURNER, J., BINDSCHADLER, R., CONVEY, P., DI PRISCO, G., FAHRBACH, E., GUTT, J., HODGSON, D., MAYEWSKI, P. AND SUMMERHAYES, C.P. 2009. **Antarctic Climate Change and the Environment: A contribution to the International Polar Year 2007-2008**. ISBN 978-0-948277-22-1.
- TURNER, J., COLWELL, S. R., MARSHALL, G. J., LACHLAN-COPE, TOM A., CARLETON, A. M., JONES, P. D., LAGUN, V., REID, P. A. and IAGOVKINA, S. 2005. Antarctic Climate Change During the Last 50 Years. **Int.J. Climatol.**, 25: 279-294
- VILLELA, R. J. 1985. A difícil jornada do N/Oc. "Prof. W. Besnard" durante o PROANTAR III (1985). **Jornal do IOUSP**, ano III n.o 8/11, pp. 7-9.

- VILLELA, R. J. 1985b. Notas sobre o lançamento de XBT's na etapa Rio Grande-Antártica (PROANTAR III)". **Jornal do IOUSP**, ano III n.o 8/11, pp. 36-38, jun./jul.
- VILLELA, R. J. 1986. Results of synoptic analysis aboard R/V Prof. W. Besnard in the I and II Brazilian Antarctic Expeditions. **An. Acad. Brasil. Ciên.**, 58, (Suplemento): 187-204.
- VILLELA, R. J. 1987. Some observations of the inertial cold jet north of the Antarctic Península. II Congr. Interamericano de Met. – V Congr. Arg. de Met.. Anais, pp. 9.3.1-9.3.5.
- VILLELA, R. J. 1988. *Notas pessoais sobre o I Seminário sobre Ciências Atmosféricas e Espaciais do PROANTAR*. INPE, S. José dos Campos: exposição do comandante Danel Cesar Monteiro.
- VILLELA, R. J. 1989. O jato frio inercial da Península Antártica, uma nova descoberta da meteorologia. I Seminário sobre Ciências Atmosféricas e Espaciais do Programa Antártico Brasileiro. Anais:162-174, 317 p.
- VILLELA, R. J. 1990. Situações sinóticas e evolução do tempo no setor antártico sul-americano. VII Congr. Brasil. Met., Salvador. Anais: 524-527.
- VILLELA, R. J. 1991. Radio weather transmissions in the Antarctic. **Polar Record** (Cambridge U. Press), 27(161):103-114.
- WANNINKHOF, R. 1992. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. **Journal of Geophysical Research**, 97 (No. C5): 7373-7382.
- WEBER, R e MONTONE, R. (coords.).2006. Gerenciamento ambiental na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica: Rede 2, PROANTAR – Relatório, 2006 (digital).
- WEISS, R. F. 1974. Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas. **Marine Chemistry**, 2 (1974) 203-215.
- WMO, 2009. World Data Center for Greenhouse Gases Data Submission and Dissemination Guide, GAW: Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases Research and Monitoring Reports No. 184.
- WOLOSZYN, M., MAZLOFF, M. and ITO, T. 2011. Testing an eddy-permitting model of the Southern Ocean carbon cycle against observations. In press. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500310001800> Acessado em 22/02/2011.

ANEXOS

ANEXO 1: Tabelas Estatísticas por ponto de grade

Tabela de Estatísticas de PCO₂sw Anual, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO ₂ sw [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]
1	60.0	65.0	360.4	14.2	396.7	303.1	19.9
2	60.5	65.0	361.8	17.5	403.9	292.3	16.2
3	61.0	65.0	357.9	17.4	409.6	294.5	6.8
4	61.5	65.0	357.4	18.0	397.7	296.7	14.9
5	62.0	65.0	358.0	23.2	419.5	300.9	8.6
6	62.5	65.0	360.5	26.4	419.5	280.9	6.4
7	60.0	64.5	360.9	14.2	396.7	307.7	15.8
8	60.5	64.5	361.7	15.2	401.8	309.2	13.1
9	61.0	64.5	359.5	15.1	390.2	301.8	10.0
10	61.5	64.5	357.7	15.7	397.7	299.7	13.6
11	62.0	64.5	357.7	22.4	404.8	299.7	13.2
12	62.5	64.5	359.2	29.1	419.5	280.9	11.2
13	60.0	64.0	364.1	15.0	414.9	343.9	1.6
14	60.5	64.0	361.9	17.2	401.8	303.2	11.3
15	61.0	64.0	358.1	13.9	390.2	303.6	12.4
16	61.5	64.0	355.5	13.5	381.0	307.2	13.6
17	62.0	64.0	355.5	23.4	397.7	273.7	10.0
18	62.5	64.0	362.7	26.8	404.8	280.9	18.8
19	60.0	63.5	363.9	14.4	416.0	334.9	1.5
20	60.5	63.5	361.7	15.1	409.6	323.4	6.8
21	61.0	63.5	357.8	14.4	382.5	304.3	16.0
22	61.5	63.5	360.3	15.0	383.7	303.2	15.4
23	62.0	63.5	361.0	21.2	397.7	303.2	17.0
24	62.5	63.5	368.8	24.5	429.3	307.7	11.9
25	60.0	63.0	366.3	13.7	409.8	343.9	-0.5
26	60.5	63.0	362.0	11.0	391.5	342.6	7.0
27	61.0	63.0	359.7	14.8	395.6	321.8	12.0
28	61.5	63.0	362.0	16.0	402.4	312.7	10.2
29	62.0	63.0	364.8	24.2	409.2	306.4	1.4
30	62.5	63.0	374.4	25.3	450.6	309.3	2.7
31	60.0	62.5	361.2	13.1	404.4	336.5	-0.3
32	60.5	62.5	359.8	11.7	381.4	333.5	5.4
33	61.0	62.5	360.1	14.0	410.3	331.7	6.2
34	61.5	62.5	358.4	14.6	385.1	312.1	3.1
35	62.0	62.5	370.3	19.3	399.2	305.5	-3.5
36	62.5	62.5	375.1	21.0	415.1	320.8	7.3
37	60.0	62.0	362.2	13.5	406.2	336.2	1.9

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO ₂ sw [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]
38	60.5	62.0	362.3	13.4	394.6	333.5	5.7
39	61.0	62.0	359.1	18.1	412.4	320.1	4.4
40	61.5	62.0	361.5	20.3	412.4	310.4	2.1
41	62.0	62.0	376.0	25.5	430.0	288.5	-1.9
42	62.5	62.0	380.9	29.5	462.8	297.9	14.1
43	60.0	61.5	364.9	10.5	388.4	346.7	3.7
44	60.5	61.5	362.6	18.5	416.4	320.2	-7.0
45	61.0	61.5	363.3	19.7	429.6	326.1	-4.1
46	61.5	61.5	371.6	24.0	428.4	324.4	3.4
47	62.0	61.5	380.1	24.1	430.4	305.2	22.3
48	62.5	61.5	390.4	25.7	450.2	314.9	6.5
49	60.0	61.0	364.4	10.7	392.9	343.4	0.9
50	60.5	61.0	362.5	13.3	386.6	331.1	0.5
51	61.0	61.0	362.9	19.0	404.3	309.1	4.0
52	61.5	61.0	374.5	23.0	427.0	323.1	3.8
53	62.0	61.0	384.7	25.7	454.5	309.5	15.8
54	62.5	61.0	391.8	31.7	454.2	286.8	-2.3
55	60.0	60.5	363.7	15.4	423.2	327.9	-1.6
56	60.5	60.5	365.4	17.7	423.2	329.9	0.1
57	61.0	60.5	367.9	16.1	423.2	332.2	0.7
58	61.5	60.5	378.4	21.7	424.8	313.0	-2.6
59	62.0	60.5	391.3	23.5	456.5	333.2	-2.7
60	62.5	60.5	404.1	36.0	526.1	333.2	10.9
61	60.0	60.0	367.0	18.4	450.8	332.6	0.8
62	60.5	60.0	366.2	16.8	423.2	322.7	0.1
63	61.0	60.0	373.2	23.9	423.2	309.5	-6.0
64	61.5	60.0	384.4	22.0	440.2	333.2	-6.2
65	62.0	60.0	399.0	23.5	454.0	350.4	5.2
66	62.5	60.0	401.0	20.3	448.2	345.7	7.4
Média			367.5	19.1	415.4	315.5	6.3
Desvio P.			11.5	5.5	25.2	18.4	7.0
Máximo			404.1	36.0	526.1	350.4	22.3
Mínimo			355.5	10.5	381.0	273.7	-7.0

Tabela de Estatísticas de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para o Verão, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]				
1	60.0	65.0	359.8	23.9	383.8	303.1	39.4		38	60.5	62.0	364.4	19.7	394.6	333.5	4.1				
2	60.5	65.0	361.2	29.3	387.8	292.3	45.0		39	61.0	62.0	357.4	24.4	405.7	320.1	-13.4				
3	61.0	65.0	350.0	24.1	374.8	294.5	18.1		40	61.5	62.0	352.6	23.7	398.0	310.4	-12.7				
4	61.5	65.0	345.8	25.0	377.5	296.7	22.9		41	62.0	62.0	357.3	33.9	408.5	288.5	16.9				
5	62.0	65.0	342.9	25.2	373.7	300.9	15.8		42	62.5	62.0	357.4	25.2	386.2	297.9	8.3				
6	62.5	65.0	348.4	27.9	394.6	302.9	8.5		43	60.0	61.5	372.5	7.3	388.4	361.9	4.2				
7	60.0	64.5	361.1	23.3	387.4	307.7	38.0		44	60.5	61.5	362.9	24.9	396.2	320.2	-28.9				
8	60.5	64.5	362.0	24.3	389.1	309.2	35.2		45	61.0	61.5	361.2	25.1	401.4	326.1	-14.5				
9	61.0	64.5	356.0	23.0	382.5	301.8	30.2		46	61.5	61.5	366.4	30.1	402.6	324.4	-0.5				
10	61.5	64.5	348.1	19.3	369.6	299.7	24.1		47	62.0	61.5	367.8	30.2	400.8	305.2	32.5				
11	62.0	64.5	345.7	25.1	376.6	299.7	17.9		48	62.5	61.5	375.8	30.4	408.4	314.9	33.2				
12	62.5	64.5	343.7	27.3	379.1	291.4	13.5		49	60.0	61.0	375.7	9.0	392.9	364.3	5.1				
13	60.0	64.0	379.0	16.2	414.9	351.6	-2.2		50	60.5	61.0	366.6	15.7	386.6	331.1	-0.2				
14	60.5	64.0	365.3	26.7	388.2	303.2	36.0		51	61.0	61.0	355.2	30.9	404.3	309.1	-8.9				
15	61.0	64.0	356.0	23.2	379.4	303.6	28.4		52	61.5	61.0	367.0	27.4	412.7	323.1	7.8				
16	61.5	64.0	351.4	22.3	381.0	307.2	29.0		53	62.0	61.0	366.3	33.3	409.4	309.5	41.1				
17	62.0	64.0	341.6	31.6	378.0	273.7	13.7		54	62.5	61.0	369.9	36.3	411.9	309.5	20.4				
18	62.5	64.0	349.1	27.2	382.0	303.1	16.2		55	60.0	60.5	374.0	24.8	423.2	327.9	-13.8				
19	60.0	63.5	376.5	19.7	416.0	334.9	-4.9		56	60.5	60.5	376.3	24.9	423.2	333.2	-7.8				
20	60.5	63.5	360.3	20.5	385.9	323.4	14.6		57	61.0	60.5	371.0	25.5	423.2	332.2	-9.9				
21	61.0	63.5	355.0	24.2	379.5	304.3	24.7		58	61.5	60.5	372.4	29.9	412.7	313.0	-24.0				
22	61.5	63.5	357.6	24.4	380.5	303.2	24.5		59	62.0	60.5	379.4	24.7	412.7	333.2	14.1				
23	62.0	63.5	349.3	27.4	383.3	303.2	18.8		60	62.5	60.5	378.5	27.7	409.4	333.2	27.7				
24	62.5	63.5	355.0	26.1	393.2	307.7	16.1		61	60.0	60.0	377.1	29.8	450.8	333.4	-19.5				
25	60.0	63.0	382.9	10.7	409.8	369.7	-1.2		62	60.5	60.0	370.1	26.9	423.2	322.7	-10.5				
26	60.5	63.0	366.5	12.2	382.9	342.6	12.6		63	61.0	60.0	371.4	29.7	423.2	314.6	-2.4				
27	61.0	63.0	362.1	23.0	395.6	321.8	9.0		64	61.5	60.0	374.2	25.2	423.2	333.2	-13.4				
28	61.5	63.0	359.3	26.6	402.4	312.7	3.3		65	62.0	60.0	388.3	20.3	417.1	359.6	-1.9				
29	62.0	63.0	352.5	28.8	394.4	306.4	4.2		66	62.5	60.0	390.0	19.8	413.0	345.7	-18.3				
30	62.5	63.0	357.8	27.4	391.5	309.3	12.8		Média							362.7	24.1	397.2	318.2	8.8
31	60.0	62.5	370.3	19.0	404.4	336.5	-15.5		Desvio P.							11.2	5.7	16.4	19.6	17.6
32	60.5	62.5	360.5	14.7	381.4	333.5	16.3		Máximo							390.0	36.3	450.8	369.7	45.0
33	61.0	62.5	357.7	16.1	381.7	331.7	9.9		Mínimo							341.6	7.3	369.6	273.7	-28.9
34	61.5	62.5	354.4	21.8	383.1	312.1	4.2													
35	62.0	62.5	355.0	26.4	389.8	305.5	2.7													
36	62.5	62.5	355.3	21.8	389.0	320.8	2.1													
37	60.0	62.0	365.9	19.3	406.2	347.3	-16.5													

Tabela de estatísticas de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para o Outono, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]
1	60.0	65.0	360.0	6.3	374.2	350.6	1.8		38	60.5	62.0	361.2	10.5	377.0	345.5	13.8
2	60.5	65.0	358.8	8.3	371.6	345.3	1.3		39	61.0	62.0	358.4	9.8	367.6	337.2	-1.0
3	61.0	65.0	360.0	13.1	390.2	342.9	-3.2		40	61.5	62.0	360.1	12.1	382.5	343.3	-20.3
4	61.5	65.0	358.4	12.0	390.2	347.3	-4.2		41	62.0	62.0	371.9	22.5	423.2	343.3	-13.1
5	62.0	65.0	355.8	10.5	374.9	342.8	4.2		42	62.5	62.0	366.1	23.9	399.3	310.9	38.0
6	62.5	65.0	355.3	12.9	374.9	332.9	-10.1		43	60.0	61.5	365.8	12.5	384.0	347.4	2.3
7	60.0	64.5	361.9	7.1	373.3	350.6	-0.8		44	60.5	61.5	362.3	13.2	376.8	343.0	2.3
8	60.5	64.5	358.5	7.9	369.5	345.3	3.4		45	61.0	61.5	361.9	11.7	377.1	342.9	6.1
9	61.0	64.5	360.6	13.0	390.2	341.9	-3.4		46	61.5	61.5	367.0	23.9	428.4	343.3	14.5
10	61.5	64.5	358.6	11.9	390.2	347.3	-5.2		47	62.0	61.5	380.1	22.8	426.9	343.3	29.5
11	62.0	64.5	353.6	14.9	374.9	320.4	-1.2		48	62.5	61.5	382.0	28.1	426.9	343.3	-13.5
12	62.5	64.5	354.3	24.9	397.7	313.4	13.4		49	60.0	61.0	362.6	11.5	376.1	343.4	4.7
13	60.0	64.0	356.4	6.4	371.9	348.8	-3.8		50	60.5	61.0	363.3	12.3	378.1	341.4	8.4
14	60.5	64.0	357.8	10.1	379.3	345.3	-4.1		51	61.0	61.0	361.6	8.4	377.1	347.5	5.3
15	61.0	64.0	359.8	13.8	390.2	341.9	-3.5		52	61.5	61.0	369.3	22.4	426.5	343.3	20.1
16	61.5	64.0	355.3	4.2	361.2	348.5	0.6		53	62.0	61.0	385.6	19.0	428.8	367.8	16.5
17	62.0	64.0	354.1	15.5	374.9	322.4	5.2		54	62.5	61.0	383.3	37.7	429.3	286.8	-39.5
18	62.5	64.0	358.7	21.5	387.0	321.0	19.8		55	60.0	60.5	362.6	10.3	379.3	343.2	4.5
19	60.0	63.5	358.0	7.7	376.4	349.8	-1.9		56	60.5	60.5	360.4	10.0	376.6	344.7	0.6
20	60.5	63.5	357.4	8.2	372.6	345.3	-1.8		57	61.0	60.5	360.3	8.3	376.9	348.9	-7.4
21	61.0	63.5	356.0	7.7	372.5	342.6	1.8		58	61.5	60.5	375.1	19.8	424.8	355.4	16.9
22	61.5	63.5	358.3	6.3	369.7	350.7	1.5		59	62.0	60.5	380.8	18.6	427.7	364.8	-2.3
23	62.0	63.5	357.8	13.3	374.9	326.8	11.7		60	62.5	60.5	416.7	56.4	526.1	367.8	23.4
24	62.5	63.5	354.2	22.1	381.7	313.4	3.9		61	60.0	60.0	360.8	10.4	376.9	345.2	-2.2
25	60.0	63.0	361.3	9.0	376.4	348.1	-3.2		62	60.5	60.0	358.9	12.3	376.0	337.0	-3.1
26	60.5	63.0	357.7	9.1	372.7	342.6	-1.1		63	61.0	60.0	358.8	19.2	378.1	309.5	-7.4
27	61.0	63.0	356.4	7.7	371.5	342.8	1.6		64	61.5	60.0	376.7	21.3	427.1	355.6	8.8
28	61.5	63.0	362.6	7.1	371.8	352.8	2.0		65	62.0	60.0	386.7	26.9	425.5	350.4	4.1
29	62.0	63.0	352.6	17.8	373.1	323.8	8.5		66	62.5	60.0	394.2	19.6	425.7	367.8	52.5
30	62.5	63.0	362.1	15.9	380.9	330.5	19.1		Média			363.8	14.6	389.1	341.3	2.8
31	60.0	62.5	358.7	9.6	375.5	345.3	-7.3		Desvio P.			11.1	8.3	26.4	14.0	13.3
32	60.5	62.5	355.4	11.8	372.7	333.7	-1.7		Máximo			416.7	56.4	526.1	367.8	52.5
33	61.0	62.5	356.0	11.2	368.4	336.7	6.4		Mínimo			352.6	4.2	361.2	286.8	-39.5
34	61.5	62.5	356.6	13.5	376.6	332.1	-22.4									
35	62.0	62.5	366.7	11.1	385.8	345.3	-14.7									
36	62.5	62.5	366.0	10.2	378.7	346.2	1.2									
37	60.0	62.0	366.7	12.0	384.4	345.5	7.1									

Tabela de estatísticas de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para o Inverno, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]
1	60.0	65.0	358.8	5.8	366.9	348.6	11.6		38	60.5	62.0	364.6	7.1	374.1	349.1	1.8
2	60.5	65.0	360.8	8.8	380.4	345.9	-2.6		39	61.0	62.0	361.3	3.8	367.1	354.7	9.3
3	61.0	65.0	359.0	9.7	382.2	344.1	-1.5		40	61.5	62.0	368.1	15.4	400.7	352.8	3.5
4	61.5	65.0	364.1	14.8	397.7	351.2	2.1		41	62.0	62.0	383.8	13.4	402.7	358.4	-19.7
5	62.0	65.0	370.3	17.1	400.4	353.9	9.6		42	62.5	62.0	393.1	17.3	420.1	364.0	-14.4
6	62.5	65.0	374.3	17.0	406.3	356.7	8.5		43	60.0	61.5	361.6	4.9	367.2	352.3	3.0
7	60.0	64.5	357.7	5.3	363.6	348.6	7.3		44	60.5	61.5	363.5	6.0	370.8	350.9	2.5
8	60.5	64.5	362.7	8.7	382.0	347.3	-0.1		45	61.0	61.5	364.1	9.5	384.9	352.7	1.5
9	61.0	64.5	360.5	9.9	380.9	344.1	2.2		46	61.5	61.5	376.5	17.4	409.2	358.5	-9.1
10	61.5	64.5	365.3	14.2	397.7	351.5	5.0		47	62.0	61.5	387.4	18.0	413.1	356.6	8.8
11	62.0	64.5	371.2	17.7	404.8	353.8	15.3		48	62.5	61.5	397.5	12.8	416.7	381.4	-11.3
12	62.5	64.5	374.7	16.6	404.8	356.7	7.9		49	60.0	61.0	360.5	5.4	367.4	348.1	4.3
13	60.0	64.0	357.0	5.5	363.6	346.1	2.9		50	60.5	61.0	365.6	9.0	385.7	353.6	0.3
14	60.5	64.0	363.4	11.8	384.9	347.3	4.7		51	61.0	61.0	368.5	9.4	384.5	355.5	7.3
15	61.0	64.0	358.9	6.0	365.7	344.1	5.5		52	61.5	61.0	380.1	16.1	407.2	357.8	-9.3
16	61.5	64.0	359.0	6.8	373.6	350.5	-1.5		53	62.0	61.0	390.5	15.9	413.6	368.7	1.9
17	62.0	64.0	366.8	15.2	397.7	353.5	-3.2		54	62.5	61.0	401.7	12.0	420.5	380.9	-14.1
18	62.5	64.0	374.3	16.3	404.8	356.7	6.4		55	60.0	60.5	363.2	3.9	366.9	353.6	2.6
19	60.0	63.5	360.7	8.4	380.0	347.9	-2.1		56	60.5	60.5	367.2	10.2	385.0	350.6	13.2
20	60.5	63.5	364.8	11.0	383.0	349.7	2.9		57	61.0	60.5	371.9	10.9	387.2	353.1	-1.1
21	61.0	63.5	361.2	8.6	375.6	344.1	6.0		58	61.5	60.5	386.4	16.5	414.2	360.7	-0.6
22	61.5	63.5	358.6	7.4	375.6	350.1	-1.3		59	62.0	60.5	392.7	14.6	425.1	376.1	-26.6
23	62.0	63.5	369.8	12.5	397.7	356.7	-2.3		60	62.5	60.5	409.0	16.6	435.1	379.2	-15.1
24	62.5	63.5	376.2	11.5	397.7	362.4	-0.9		61	60.0	60.0	369.4	8.0	385.7	358.1	13.1
25	60.0	63.0	360.4	6.0	375.6	351.5	-0.2		62	60.5	60.0	369.3	10.2	385.7	355.0	12.4
26	60.5	63.0	361.2	8.3	382.4	350.2	-5.0		63	61.0	60.0	382.8	17.0	414.2	355.5	10.5
27	61.0	63.0	363.5	10.5	381.3	347.6	5.1		64	61.5	60.0	393.3	11.7	408.8	374.5	-21.6
28	61.5	63.0	363.1	7.3	382.2	356.9	-2.1		65	62.0	60.0	405.6	15.2	425.1	382.4	-10.4
29	62.0	63.0	373.2	14.2	396.4	352.2	-19.2		66	62.5	60.0	402.6	14.0	426.7	377.5	-18.0
30	62.5	63.0	383.0	17.7	414.2	356.5	-34.6		Média			371.6	11.0	391.2	355.8	-1.1
31	60.0	62.5	359.9	4.8	366.6	349.6	3.1		Desvio P.			13.5	4.4	19.0	9.6	10.4
32	60.5	62.5	363.6	7.9	379.7	352.3	-5.6		Máximo			409.0	18.0	435.1	382.4	15.3
33	61.0	62.5	360.4	4.6	365.2	348.2	8.0		Mínimo			357.0	3.8	363.6	344.1	-34.6
34	61.5	62.5	359.1	4.5	368.8	354.8	4.9									
35	62.0	62.5	375.8	9.6	389.4	360.1	-23.1									
36	62.5	62.5	389.7	14.8	415.1	368.2	-13.7									
37	60.0	62.0	360.9	5.6	370.8	351.9	5.5									

Tabela de Estatísticas de $\text{PCO}_{2\text{sw}}$ para a Primavera, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	PCO _{2SW} [µatm]	σ [µatm]	MAX [µatm]	MIN [µatm]	TEND [µatm/déc]
1	60.0	65.0	363.0	14.6	396.7	343.9	26.3		38	60.5	62.0	359.0	14.5	379.9	335.6	5.5
2	60.5	65.0	366.2	17.2	403.9	343.9	19.1		39	61.0	62.0	359.3	26.4	412.4	332.5	21.6
3	61.0	65.0	362.4	19.2	409.6	343.5	8.7		40	61.5	62.0	365.4	26.1	412.4	331.0	30.9
4	61.5	65.0	361.3	13.9	383.0	343.5	31.5		41	62.0	62.0	390.9	16.1	430.0	371.5	-8.7
5	62.0	65.0	363.0	29.1	419.5	307.5	-6.1		42	62.5	62.0	406.9	22.2	462.8	386.2	-1.8
6	62.5	65.0	364.2	37.1	419.5	280.9	8.8		43	60.0	61.5	359.6	11.6	378.7	346.7	11.9
7	60.0	64.5	362.7	15.5	396.7	343.9	19.3		44	60.5	61.5	361.9	25.6	416.4	328.8	-3.8
8	60.5	64.5	363.6	16.1	401.8	343.9	12.9		45	61.0	61.5	365.8	28.3	429.6	335.1	-11.9
9	61.0	64.5	360.9	13.1	389.6	343.5	9.2		46	61.5	61.5	376.5	24.5	422.5	336.3	2.8
10	61.5	64.5	358.9	13.3	382.9	340.7	25.1		47	62.0	61.5	385.0	22.6	430.4	338.6	10.2
11	62.0	64.5	360.0	24.8	387.5	307.5	12.0		48	62.5	61.5	406.3	17.9	450.2	391.0	1.7
12	62.5	64.5	364.3	37.8	419.5	280.9	-2.0		49	60.0	61.0	359.0	7.4	368.6	347.9	-2.7
13	60.0	64.0	363.9	16.5	399.7	343.9	16.3		50	60.5	61.0	354.6	13.7	380.2	332.9	-1.5
14	60.5	64.0	361.1	16.8	401.8	343.9	10.3		51	61.0	61.0	366.2	18.1	391.4	336.3	6.3
15	61.0	64.0	357.8	7.8	368.3	343.5	19.0		52	61.5	61.0	381.8	24.4	427.0	332.9	-11.7
16	61.5	64.0	356.3	14.1	379.3	336.4	24.0		53	62.0	61.0	396.3	23.9	454.5	366.9	-10.0
17	62.0	64.0	359.4	23.2	387.5	307.5	14.5		54	62.5	61.0	412.2	17.2	454.2	396.3	2.0
18	62.5	64.0	368.4	35.2	401.7	280.9	22.3		55	60.0	60.5	355.3	9.4	368.1	342.8	8.7
19	60.0	63.5	360.2	11.7	377.6	343.9	21.8		56	60.5	60.5	357.6	17.5	391.7	329.9	1.9
20	60.5	63.5	364.2	18.3	409.6	343.5	8.9		57	61.0	60.5	368.7	13.8	389.5	335.4	20.5
21	61.0	63.5	359.1	12.2	382.5	339.8	29.6		58	61.5	60.5	379.8	18.9	420.0	350.4	-8.1
22	61.5	63.5	366.6	15.2	383.7	337.8	33.2		59	62.0	60.5	412.4	21.1	456.5	382.9	-12.8
23	62.0	63.5	367.1	24.0	397.0	321.2	30.3		60	62.5	60.5	412.0	20.2	460.6	390.1	-6.2
24	62.5	63.5	389.8	17.4	429.3	359.8	9.9		61	60.0	60.0	360.7	14.4	384.2	332.6	18.0
25	60.0	63.0	360.5	13.2	389.3	343.9	12.7		62	60.5	60.0	366.4	12.8	382.6	335.7	1.6
26	60.5	63.0	362.8	13.3	391.5	343.1	22.9		63	61.0	60.0	379.8	23.2	422.3	356.0	-32.4
27	61.0	63.0	356.9	14.4	382.0	331.5	33.9		64	61.5	60.0	393.4	22.5	440.2	368.3	-10.0
28	61.5	63.0	363.1	16.9	383.4	333.9	36.1		65	62.0	60.0	415.4	19.9	454.0	383.6	14.2
29	62.0	63.0	380.8	22.1	409.2	335.7	-3.9		66	62.5	60.0	417.3	18.2	448.2	392.1	0.1
30	62.5	63.0	394.6	20.9	450.6	374.5	-6.3		Média			371.9	18.3	405.7	343.3	9.6
31	60.0	62.5	356.1	11.5	372.7	339.6	24.7		Desvio P.			17.5	6.4	26.2	23.8	14.1
32	60.5	62.5	360.0	11.6	379.5	343.7	11.7		Máximo			417.3	37.8	462.8	396.3	36.1
33	61.0	62.5	366.5	19.4	410.3	342.4	-3.8		Mínimo			354.6	7.4	368.1	280.9	-32.4
34	61.5	62.5	363.6	14.1	385.1	337.1	21.2									
35	62.0	62.5	383.6	14.3	399.2	351.5	6.4									
36	62.5	62.5	389.6	10.4	402.9	371.0	20.6									
37	60.0	62.0	355.4	12.2	375.0	336.2	17.1									

Tabela de estatísticas de $\Delta\text{PCO2}_{\text{mar-ar}}$ Anual, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	ΔPCO2MAR-AR [μatm]	σ [μatm]	MAX [μatm]	MIN [μatm]	TEND [μatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	ΔPCO2MAR-AR [μatm]	σ [μatm]	MAX [μatm]	MIN [μatm]	TEND [μatm/déc]
1	60.0	65.0	-4.6	13.2	24.9	-54.3	0.1		38	60.5	62.0	-3.0	14.1	34.5	-32.4	-13.9
2	60.5	65.0	-3.2	17.0	41.7	-64.9	-3.6		39	61.0	62.0	-6.1	18.4	49.8	-48.1	-15.2
3	61.0	65.0	-7.0	17.5	47.4	-62.4	-12.9		40	61.5	62.0	-3.5	20.5	49.8	-57.7	-17.5
4	61.5	65.0	-7.3	17.1	28.8	-60.0	-4.8		41	62.0	62.0	11.0	26.0	67.4	-79.5	-21.4
5	62.0	65.0	-6.6	23.2	62.4	-61.8	-11.0		42	62.5	62.0	16.1	28.8	100.3	-70.0	-5.4
6	62.5	65.0	-4.0	26.7	62.7	-88.3	-13.2		43	60.0	61.5	-0.5	12.2	21.8	-25.9	-16.0
7	60.0	64.5	-4.2	13.8	24.8	-49.8	-4.0		44	60.5	61.5	-2.7	20.0	53.6	-48.1	-26.6
8	60.5	64.5	-3.3	14.9	39.5	-48.0	-6.7		45	61.0	61.5	-2.0	20.5	66.8	-44.8	-23.7
9	61.0	64.5	-5.4	15.1	28.7	-55.2	-9.7		46	61.5	61.5	6.5	24.1	62.4	-46.3	-16.2
10	61.5	64.5	-7.1	14.8	28.8	-57.0	-6.0		47	62.0	61.5	15.1	23.1	67.8	-62.9	2.7
11	62.0	64.5	-7.0	21.9	34.1	-61.8	-6.4		48	62.5	61.5	25.6	25.7	87.7	-53.0	-13.0
12	62.5	64.5	-5.3	28.9	62.7	-88.3	-8.4		49	60.0	61.0	-1.1	12.6	21.7	-26.0	-18.8
13	60.0	64.0	-1.0	16.6	55.3	-21.2	-18.2		50	60.5	61.0	-2.9	14.5	22.4	-37.2	-19.2
14	60.5	64.0	-3.2	17.1	39.4	-54.1	-8.4		51	61.0	61.0	-2.4	19.0	33.6	-61.9	-15.6
15	61.0	64.0	-6.8	13.7	28.6	-53.5	-7.2		52	61.5	61.0	9.4	23.2	64.2	-45.1	-15.8
16	61.5	64.0	-9.3	12.9	14.1	-49.6	-6.0		53	62.0	61.0	19.7	25.1	91.8	-54.4	-3.8
17	62.0	64.0	-9.3	23.3	30.3	-94.2	-9.6		54	62.5	61.0	26.9	31.9	91.6	-85.2	-21.8
18	62.5	64.0	-2.0	26.3	37.5	-88.3	-0.7		55	60.0	60.5	-1.8	17.0	62.8	-40.5	-21.2
19	60.0	63.5	-1.3	16.0	56.3	-33.3	-18.3		56	60.5	60.5	-0.1	18.8	62.8	-39.3	-19.5
20	60.5	63.5	-3.4	15.3	47.2	-36.8	-12.9		57	61.0	60.5	2.6	17.0	62.8	-36.0	-18.9
21	61.0	63.5	-7.2	13.7	16.4	-52.9	-3.6		58	61.5	60.5	13.2	22.6	58.6	-55.2	-22.2
22	61.5	63.5	-4.6	14.2	16.2	-53.7	-4.3		59	62.0	60.5	26.3	24.1	93.8	-34.9	-22.3
23	62.0	63.5	-3.8	20.5	32.5	-54.6	-2.6		60	62.5	60.5	39.2	35.7	155.8	-34.8	-8.7
24	62.5	63.5	4.2	23.9	67.0	-52.0	-7.6		61	60.0	60.0	1.4	19.5	90.4	-35.0	-18.8
25	60.0	63.0	1.0	15.6	50.0	-18.1	-20.3		62	60.5	60.0	0.7	17.8	62.7	-45.7	-19.5
26	60.5	63.0	-3.1	11.7	21.4	-23.5	-12.7		63	61.0	60.0	7.9	24.9	64.0	-57.0	-25.6
27	61.0	63.0	-5.3	14.7	35.8	-45.8	-7.7		64	61.5	60.0	19.2	22.9	66.7	-35.0	-25.8
28	61.5	63.0	-2.9	16.0	42.6	-55.3	-9.4		65	62.0	60.0	33.9	23.4	91.2	-21.8	-14.3
29	62.0	63.0	0.0	24.3	46.8	-61.5	-18.2		66	62.5	60.0	36.1	20.2	85.5	-24.6	-12.1
30	62.5	63.0	9.7	25.3	88.3	-54.1	-16.8		Média			2.5	19.4	51.7	-49.7	-13.3
31	60.0	62.5	-4.1	14.7	44.5	-27.3	-20.0		Desvio P.			11.5	5.3	26.0	17.4	7.0
32	60.5	62.5	-5.4	12.1	16.9	-32.5	-14.3		Máximo			39.2	35.7	155.8	-18.1	2.7
33	61.0	62.5	-5.0	14.3	47.8	-36.0	-13.4		Mínimo			-9.3	11.7	14.1	-94.2	-26.6
34	61.5	62.5	-6.6	15.2	19.3	-56.0	-16.5									
35	62.0	62.5	5.4	20.2	38.8	-62.5	-23.1									
36	62.5	62.5	10.4	20.6	44.2	-47.1	-12.3									
37	60.0	62.0	-3.1	14.9	46.2	-29.1	-17.8									

Tabela de estatísticas de $\Delta PCO2_{mar-ar}$ para o Verão, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	ΔPCO2MAR-AR [μatm]	σ [μatm]	MAX [μatm]	MIN [μatm]	TEND [μatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	ΔPCO2MAR-AR [μatm]	σ [μatm]	MAX [μatm]	MIN [μatm]	TEND [μatm/déc]
1	60.0	65.0	-3.1	21.9	14.8	-54.3	18.2		38	60.5	62.0	1.1	20.0	34.5	-32.4	-16.6
2	60.5	65.0	-1.7	27.3	20.5	-64.9	24.0		39	61.0	62.0	-5.7	26.2	45.6	-48.1	-33.9
3	61.0	65.0	-12.8	23.4	15.4	-62.4	-2.8		40	61.5	62.0	-10.5	25.6	37.9	-57.7	-33.1
4	61.5	65.0	-17.0	24.3	14.1	-60.0	2.2		41	62.0	62.0	-5.7	34.0	37.9	-79.5	-3.3
5	62.0	65.0	-19.7	24.8	6.0	-55.6	-4.7		42	62.5	62.0	-5.5	25.8	18.6	-70.0	-11.7
6	62.5	65.0	-14.2	28.1	31.3	-54.1	-11.9		43	60.0	61.5	9.1	9.2	18.2	-4.6	-16.5
7	60.0	64.5	-1.9	21.3	16.6	-49.8	16.9		44	60.5	61.5	-0.4	27.6	36.0	-48.1	-49.4
8	60.5	64.5	-0.9	22.8	21.7	-48.0	14.3		45	61.0	61.5	-2.0	26.6	41.2	-44.8	-34.9
9	61.0	64.5	-6.9	21.4	15.9	-55.2	9.4		46	61.5	61.5	3.3	30.6	34.9	-46.3	-20.8
10	61.5	64.5	-14.7	17.9	1.9	-57.0	3.5		47	62.0	61.5	4.8	29.3	31.5	-62.9	12.4
11	62.0	64.5	-17.0	24.6	13.2	-56.9	-2.6		48	62.5	61.5	12.9	29.5	38.0	-53.0	13.2
12	62.5	64.5	-18.9	27.1	15.8	-64.8	-6.8		49	60.0	61.0	12.3	9.9	21.7	-4.0	-15.6
13	60.0	64.0	16.0	18.2	55.3	-16.6	-23.2		50	60.5	61.0	3.3	17.1	22.4	-37.2	-20.7
14	60.5	64.0	2.3	25.2	20.8	-54.1	15.1		51	61.0	61.0	-8.1	31.8	33.6	-61.9	-29.2
15	61.0	64.0	-7.0	21.8	15.7	-53.5	7.7		52	61.5	61.0	3.8	27.7	52.4	-45.1	-12.4
16	61.5	64.0	-11.4	20.8	10.4	-49.6	8.4		53	62.0	61.0	3.3	32.1	39.1	-54.4	21.0
17	62.0	64.0	-21.1	31.8	14.6	-94.2	-6.7		54	62.5	61.0	7.0	36.2	48.2	-54.3	0.4
18	62.5	64.0	-13.5	26.9	18.6	-54.2	-4.0		55	60.0	60.5	10.5	26.7	62.8	-40.5	-34.3
19	60.0	63.5	13.4	21.7	56.3	-33.3	-25.9		56	60.5	60.5	12.9	26.3	62.8	-35.2	-28.3
20	60.5	63.5	-2.7	20.4	26.1	-36.8	-6.1		57	61.0	60.5	7.6	27.2	62.8	-36.0	-30.2
21	61.0	63.5	-8.0	23.2	14.2	-52.9	4.0		58	61.5	60.5	9.2	32.4	52.3	-55.2	-44.2
22	61.5	63.5	-5.3	22.9	16.2	-53.7	4.0		59	62.0	60.5	16.4	24.9	52.3	-34.9	-5.9
23	62.0	63.5	-13.5	27.0	19.8	-54.6	-1.5		60	62.5	60.5	15.5	27.1	45.9	-34.8	7.8
24	62.5	63.5	-7.8	25.8	33.5	-48.7	-4.1		61	60.0	60.0	13.6	31.8	90.4	-35.0	-40.0
25	60.0	63.0	19.7	12.9	50.0	9.7	-22.0		62	60.5	60.0	6.7	28.6	62.7	-45.7	-30.9
26	60.5	63.0	3.3	12.1	21.4	-14.9	-8.1		63	61.0	60.0	8.1	30.8	62.7	-53.6	-22.6
27	61.0	63.0	-1.0	22.8	35.8	-45.8	-11.6		64	61.5	60.0	11.0	27.2	62.7	-35.0	-33.5
28	61.5	63.0	-3.6	27.4	42.6	-55.3	-17.2		65	62.0	60.0	25.2	21.4	50.5	-11.0	-21.9
29	62.0	63.0	-10.4	29.4	34.6	-61.5	-16.1		66	62.5	60.0	27.0	21.7	52.6	-24.6	-38.1
30	62.5	63.0	-5.0	27.3	31.7	-54.1	-7.3		Média	-0.3	24.4	33.5	-45.9	-11.6		
31	60.0	62.5	7.1	21.3	44.5	-27.3	-36.3		Desvio P.	11.0	5.5	18.1	17.8	17.6		
32	60.5	62.5	-2.7	13.8	15.2	-25.1	-4.4		Máximo	27.0	36.2	90.4	9.7	24.0		
33	61.0	62.5	-5.4	16.1	15.5	-36.0	-10.6		Mínimo	-21.1	9.2	1.9	-94.2	-49.4		
34	61.5	62.5	-8.7	22.6	12.4	-56.0	-16.2									
35	62.0	62.5	-8.0	27.1	29.9	-62.5	-17.5									
36	62.5	62.5	-7.5	22.7	29.1	-47.1	-18.0									
37	60.0	62.0	2.6	21.8	46.2	-22.5	-37.2									

Tabela de estatísticas de $\Delta PCO2_{mar-ar}$ para o Outono, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	ΔPCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND		PONTO	LAT	LON	ΔPCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm/déc]			[°S]	[°W]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm/déc]
1	60.0	65.0	-4.1	8.6	18.4	-12.5	-16.8		38	60.5	62.0	-3.2	10.6	14.0	-19.0	-4.6
2	60.5	65.0	-5.2	10.0	15.8	-18.1	-17.2		39	61.0	62.0	-5.9	11.7	11.2	-28.9	-19.4
3	61.0	65.0	-3.9	15.0	28.7	-17.4	-21.6		40	61.5	62.0	-4.1	16.0	23.3	-26.8	-38.6
4	61.5	65.0	-5.4	13.7	28.8	-21.0	-22.5		41	62.0	62.0	7.7	24.5	57.4	-20.6	-31.3
5	62.0	65.0	-7.9	11.5	13.7	-22.7	-14.0		42	62.5	62.0	2.0	21.8	28.6	-48.3	19.8
6	62.5	65.0	-8.4	15.3	13.8	-32.2	-28.3		43	60.0	61.5	1.2	14.1	21.8	-22.9	-16.2
7	60.0	64.5	-2.2	9.7	16.8	-12.9	-19.4		44	60.5	61.5	-2.1	14.4	19.8	-22.6	-16.1
8	60.5	64.5	-5.6	9.2	12.5	-18.2	-15.0		45	61.0	61.5	-2.5	12.4	14.1	-23.3	-12.3
9	61.0	64.5	-3.3	14.9	28.7	-18.4	-21.8		46	61.5	61.5	2.7	24.2	62.4	-22.0	-3.8
10	61.5	64.5	-5.3	13.8	28.8	-21.0	-23.5		47	62.0	61.5	15.9	21.5	61.1	-20.7	11.3
11	62.0	64.5	-10.2	16.0	13.6	-45.0	-19.5		48	62.5	61.5	17.9	29.7	67.1	-23.2	-31.7
12	62.5	64.5	-9.4	24.6	27.5	-51.8	-4.8		49	60.0	61.0	-2.0	12.6	17.0	-23.2	-13.8
13	60.0	64.0	-7.8	9.8	15.9	-21.2	-22.3		50	60.5	61.0	-1.2	12.9	19.7	-16.7	-9.9
14	60.5	64.0	-6.3	12.5	17.5	-23.8	-22.6		51	61.0	61.0	-2.9	9.6	15.1	-14.5	-13.0
15	61.0	64.0	-4.2	15.6	28.6	-18.5	-21.8		52	61.5	61.0	4.9	22.1	60.4	-20.8	1.8
16	61.5	64.0	-8.6	7.0	1.4	-21.1	-17.7		53	62.0	61.0	21.3	18.4	62.8	3.9	-1.8
17	62.0	64.0	-9.8	15.9	13.5	-43.0	-13.0		54	62.5	61.0	19.1	39.7	63.6	-85.2	-57.7
18	62.5	64.0	-5.1	20.8	16.9	-44.3	1.6		55	60.0	60.5	-2.1	11.6	17.0	-14.5	-14.0
19	60.0	63.5	-6.3	10.4	20.3	-20.3	-20.4		56	60.5	60.5	-4.2	11.7	14.4	-21.8	-17.7
20	60.5	63.5	-6.8	10.6	16.5	-19.2	-20.2		57	61.0	60.5	-4.3	11.4	14.8	-21.4	-25.8
21	61.0	63.5	-8.1	9.8	16.4	-16.2	-16.6		58	61.5	60.5	10.7	19.5	58.6	-5.9	-1.4
22	61.5	63.5	-5.7	8.4	13.7	-15.8	-16.8		59	62.0	60.5	16.5	19.7	61.7	-5.7	-20.6
23	62.0	63.5	-6.2	13.5	13.5	-30.3	-6.5		60	62.5	60.5	52.4	55.5	155.8	1.1	5.1
24	62.5	63.5	-9.6	22.5	20.4	-52.0	-14.3		61	60.0	60.0	-3.9	12.5	14.7	-23.1	-20.6
25	60.0	63.0	-3.1	11.4	20.2	-18.1	-21.7		62	60.5	60.0	-5.7	14.2	13.8	-29.6	-21.5
26	60.5	63.0	-6.6	11.4	16.5	-23.5	-19.5		63	61.0	60.0	-5.8	20.6	16.0	-57.0	-25.7
27	61.0	63.0	-7.8	9.8	15.3	-16.8	-16.8		64	61.5	60.0	12.2	21.7	60.9	-11.6	-9.5
28	61.5	63.0	-1.4	9.2	15.7	-16.0	-16.3		65	62.0	60.0	22.3	27.1	57.7	-21.8	-14.2
29	62.0	63.0	-11.4	18.1	11.7	-41.8	-9.7		66	62.5	60.0	29.9	15.7	53.5	11.0	34.2
30	62.5	63.0	-1.8	15.0	19.5	-26.6	0.9		Média			-0.4	15.8	27.6	-23.7	-15.6
31	60.0	62.5	-5.7	12.6	19.2	-21.1	-25.8		Desvio P.			11.1	7.7	23.7	14.5	13.3
32	60.5	62.5	-8.9	13.6	16.4	-32.5	-20.1		Máximo			52.4	55.5	155.8	11.0	34.2
33	61.0	62.5	-8.3	11.8	9.1	-29.4	-12.0		Mínimo			-11.4	7.0	1.4	-85.2	-57.7
34	61.5	62.5	-7.5	16.9	19.3	-33.8	-40.7									
35	62.0	62.5	2.6	14.5	20.1	-24.8	-33.0									
36	62.5	62.5	2.0	11.2	15.0	-14.6	-17.0									
37	60.0	62.0	2.3	13.0	22.3	-16.3	-11.4									

Tabela de estatísticas de $\Delta PCO2_{mar-ar}$ para o Inverno, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	ΔPCO2MAR-AR [μatm]	σ [μatm]	MAX [μatm]	MIN [μatm]	TEND [μatm/déc]		PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	ΔPCO2MAR-AR [μatm]	σ [μatm]	MAX [μatm]	MIN [μatm]	TEND [μatm/déc]
1	60.0	65.0	-8.0	5.8	0.7	-14.6	-8.2		38	60.5	62.0	-2.4	9.4	11.9	-15.6	-18.2
2	60.5	65.0	-5.8	11.0	17.6	-20.4	-22.5		39	61.0	62.0	-5.6	4.7	2.5	-12.0	-10.7
3	61.0	65.0	-7.6	11.6	19.5	-19.9	-21.4		40	61.5	62.0	1.4	15.7	29.6	-12.0	-16.6
4	61.5	65.0	-2.4	15.0	26.7	-18.1	-17.9		41	62.0	62.0	17.3	16.7	40.4	-17.3	-39.9
5	62.0	65.0	3.9	16.8	29.8	-19.5	-10.5		42	62.5	62.0	26.7	19.6	58.0	-6.8	-34.3
6	62.5	65.0	8.1	17.0	35.8	-16.5	-11.6		43	60.0	61.5	-5.5	7.1	2.7	-20.8	-16.9
7	60.0	64.5	-9.1	6.6	1.1	-19.3	-12.5		44	60.5	61.5	-3.5	8.3	8.5	-16.9	-17.5
8	60.5	64.5	-4.0	10.5	19.2	-18.4	-20.0		45	61.0	61.5	-2.7	10.7	13.7	-18.4	-18.5
9	61.0	64.5	-6.1	11.2	18.2	-20.2	-17.7		46	61.5	61.5	9.8	19.1	46.7	-10.9	-29.3
10	61.5	64.5	-1.3	14.1	26.7	-17.3	-15.0		47	62.0	61.5	20.8	18.2	50.8	-7.0	-11.5
11	62.0	64.5	4.8	16.8	34.1	-17.7	-4.8		48	62.5	61.5	31.1	15.5	54.6	5.6	-31.7
12	62.5	64.5	8.4	16.7	34.2	-16.5	-12.2		49	60.0	61.0	-6.7	7.3	4.4	-18.1	-15.6
13	60.0	64.0	-9.8	7.5	1.7	-20.4	-16.9		50	60.5	61.0	-1.5	10.7	14.5	-17.7	-19.7
14	60.5	64.0	-3.4	12.2	19.2	-17.4	-15.2		51	61.0	61.0	1.6	9.5	13.3	-15.7	-12.8
15	61.0	64.0	-7.8	7.5	0.8	-19.0	-14.5		52	61.5	61.0	13.3	18.4	44.7	-11.2	-29.4
16	61.5	64.0	-7.6	8.8	11.0	-16.9	-21.5		53	62.0	61.0	23.9	17.2	51.3	4.2	-18.4
17	62.0	64.0	0.4	16.0	26.7	-16.8	-23.3		54	62.5	61.0	35.3	15.0	53.1	5.0	-34.5
18	62.5	64.0	8.0	16.6	34.2	-16.6	-13.7		55	60.0	60.5	-4.1	6.7	3.9	-14.8	-17.3
19	60.0	63.5	-6.2	10.6	17.0	-20.7	-21.9		56	60.5	60.5	0.1	9.4	13.7	-17.3	-6.7
20	60.5	63.5	-2.0	12.0	20.1	-16.5	-17.0		57	61.0	60.5	4.9	12.8	24.9	-18.2	-21.2
21	61.0	63.5	-5.5	9.3	12.9	-17.1	-13.9		58	61.5	60.5	19.5	18.1	49.3	-3.6	-20.8
22	61.5	63.5	-8.0	9.5	13.1	-20.2	-21.3		59	62.0	60.5	26.0	18.7	62.9	7.6	-47.0
23	62.0	63.5	3.4	13.8	26.7	-16.8	-22.4		60	62.5	60.5	42.5	19.2	64.1	8.2	-35.5
24	62.5	63.5	9.9	12.7	30.5	-13.1	-21.1		61	60.0	60.0	2.2	7.5	11.5	-9.4	-6.8
25	60.0	63.0	-6.6	8.5	12.7	-16.9	-20.0		62	60.5	60.0	2.2	9.4	12.9	-16.4	-7.6
26	60.5	63.0	-5.7	11.1	19.5	-20.7	-24.8		63	61.0	60.0	15.9	17.6	49.1	-12.8	-9.6
27	61.0	63.0	-3.3	11.0	18.6	-17.1	-14.9		64	61.5	60.0	26.5	15.9	46.4	5.8	-41.8
28	61.5	63.0	-3.6	9.7	19.7	-15.2	-22.1		65	62.0	60.0	38.9	17.6	63.0	6.4	-30.8
29	62.0	63.0	6.7	17.0	31.4	-18.6	-39.4		66	62.5	60.0	36.1	17.4	62.2	1.5	-38.5
30	62.5	63.0	16.6	21.7	49.7	-15.7	-54.8		Média			4.9	12.6	25.6	-13.5	-21.1
31	60.0	62.5	-7.2	7.0	0.9	-20.8	-16.8		Desvio P.			13.6	4.4	18.7	8.0	10.6
32	60.5	62.5	-3.4	11.1	16.9	-18.0	-25.6		Máximo			42.5	21.7	64.1	8.2	-4.8
33	61.0	62.5	-6.4	6.0	3.3	-13.5	-12.0		Mínimo			-9.8	4.7	0.5	-20.8	-54.8
34	61.5	62.5	-7.6	6.2	0.5	-17.2	-15.2									
35	62.0	62.5	9.3	14.6	30.5	-13.5	-43.2									
36	62.5	62.5	23.3	17.2	44.2	-7.5	-33.9									
37	60.0	62.0	-6.2	6.9	2.5	-16.5	-14.4									

Tabela de estatísticas de $\Delta\text{PCO2}_{\text{mar-ar}}$ para a Primavera, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	ΔPCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND	PONTO	LAT	LON	ΔPCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm/déc]		[°S]	[°W]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm]	[μatm/déc]
1	60.0	65.0	-3.3	12.1	24.9	-14.5	7.8	38	60.5	62.0	-7.6	14.5	17.2	-29.6	-13.1
2	60.5	65.0	0.0	15.9	41.7	-14.2	0.6	39	61.0	62.0	-7.1	24.9	49.8	-29.6	3.0
3	61.0	65.0	-3.7	19.1	47.4	-22.5	-9.8	40	61.5	62.0	-0.9	24.0	49.8	-26.8	12.3
4	61.5	65.0	-4.6	11.2	11.5	-25.7	13.0	41	62.0	62.0	24.9	17.7	67.4	2.6	-27.3
5	62.0	65.0	-2.7	31.0	62.4	-61.8	-24.6	42	62.5	62.0	41.1	22.5	100.3	22.5	-20.4
6	62.5	65.0	-1.5	38.3	62.7	-88.3	-9.7	43	60.0	61.5	-7.1	11.4	12.8	-25.9	-6.6
7	60.0	64.5	-3.6	13.8	24.8	-21.8	0.8	44	60.5	61.5	-4.7	26.2	53.6	-33.9	-22.3
8	60.5	64.5	-2.6	15.4	39.5	-14.3	-5.6	45	61.0	61.5	-0.6	29.1	66.8	-29.8	-30.5
9	61.0	64.5	-5.2	13.0	27.3	-22.5	-9.3	46	61.5	61.5	10.2	24.0	59.8	-21.6	-15.8
10	61.5	64.5	-7.1	11.3	11.3	-25.7	6.6	47	62.0	61.5	18.9	21.8	67.8	-18.8	-8.4
11	62.0	64.5	-5.8	25.5	30.3	-61.8	-6.5	48	62.5	61.5	40.5	18.3	87.7	22.5	-17.0
12	62.5	64.5	-1.4	39.5	62.7	-88.3	-20.5	49	60.0	61.0	-7.8	9.8	4.7	-26.0	-21.2
13	60.0	64.0	-2.6	15.6	37.4	-18.1	-2.2	50	60.5	61.0	-12.0	14.2	17.3	-29.4	-20.0
14	60.5	64.0	-5.2	16.6	39.4	-20.5	-8.2	51	61.0	61.0	-0.2	17.7	32.4	-27.7	-12.3
15	61.0	64.0	-8.4	5.0	-1.7	-15.8	0.5	52	61.5	61.0	15.5	24.9	64.2	-25.0	-30.3
16	61.5	64.0	-9.7	12.2	14.1	-25.7	5.5	53	62.0	61.0	30.2	24.8	91.8	-1.7	-28.6
17	62.0	64.0	-6.5	24.0	30.3	-61.8	-4.0	54	62.5	61.0	46.3	17.4	91.6	28.0	-16.7
18	62.5	64.0	2.7	35.6	37.5	-88.3	3.8	55	60.0	60.5	-11.5	8.8	4.9	-25.9	-9.8
19	60.0	63.5	-6.3	9.8	15.1	-17.7	3.3	56	60.5	60.5	-9.1	17.8	26.6	-39.3	-16.6
20	60.5	63.5	-2.1	18.0	47.2	-14.8	-9.6	57	61.0	60.5	2.2	11.6	17.3	-22.8	1.9
21	61.0	63.5	-7.2	9.2	9.6	-19.9	11.1	58	61.5	60.5	13.5	19.6	57.2	-7.5	-26.7
22	61.5	63.5	0.5	11.8	12.1	-20.9	14.7	59	62.0	60.5	46.3	22.4	93.8	10.1	-31.5
23	62.0	63.5	1.2	23.0	32.5	-41.1	11.8	60	62.5	60.5	46.2	21.1	97.9	18.4	-24.9
24	62.5	63.5	24.1	17.2	67.0	1.2	-8.6	61	60.0	60.0	-6.2	12.7	11.7	-26.5	-0.6
25	60.0	63.0	-6.0	12.5	26.8	-15.3	-5.8	62	60.5	60.0	-0.3	13.1	19.6	-23.0	-17.0
26	60.5	63.0	-3.6	11.0	19.5	-15.3	4.3	63	61.0	60.0	13.3	26.1	64.0	-8.7	-51.1
27	61.0	63.0	-9.4	12.1	9.0	-31.0	15.4	64	61.5	60.0	27.1	23.7	66.7	-0.5	-28.6
28	61.5	63.0	-3.0	13.4	14.6	-24.8	17.6	65	62.0	60.0	49.3	18.8	91.2	21.9	-4.5
29	62.0	63.0	14.8	23.0	46.8	-23.0	-22.4	66	62.5	60.0	51.4	19.0	85.5	20.3	-18.6
30	62.5	63.0	28.9	21.9	88.3	13.2	-24.9	Média			5.7	17.9	41.3	-20.3	-8.9
31	60.0	62.5	-10.5	8.8	4.5	-22.8	6.2	Desvio P.			17.6	7.3	28.1	23.9	14.1
32	60.5	62.5	-6.5	10.4	16.8	-17.1	-6.9	Máximo			51.4	39.5	100.3	28.0	17.6
33	61.0	62.5	0.2	20.0	47.8	-16.4	-22.4	Mínimo			-12.0	5.0	-1.7	-88.3	-51.1
34	61.5	62.5	-2.5	12.1	13.3	-21.7	2.6								
35	62.0	62.5	17.6	14.7	38.8	-7.3	-12.2								
36	62.5	62.5	23.8	8.7	37.6	8.6	2.0								
37	60.0	62.0	-11.3	11.0	6.6	-29.1	-1.5								

Tabela de estatísticas de TR Anual, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND	PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/mes/m ² /μatm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]		[°S]	[°W]	[gC/mes/m ² /μatm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	0.079	0.016	0.114	0.050	0.016	38	60.5	62.0	0.080	0.016	0.125	0.051	0.007
2	60.5	65.0	0.078	0.016	0.116	0.050	0.012	39	61.0	62.0	0.078	0.017	0.126	0.049	0.003
3	61.0	65.0	0.077	0.016	0.118	0.050	0.008	40	61.5	62.0	0.077	0.017	0.128	0.048	-0.001
4	61.5	65.0	0.076	0.016	0.121	0.049	0.004	41	62.0	62.0	0.076	0.018	0.130	0.045	-0.005
5	62.0	65.0	0.076	0.017	0.123	0.047	0.000	42	62.5	62.0	0.074	0.019	0.131	0.042	-0.009
6	62.5	65.0	0.075	0.017	0.125	0.045	-0.004	43	60.0	61.5	0.082	0.016	0.125	0.052	0.010
7	60.0	64.5	0.079	0.016	0.115	0.051	0.015	44	60.5	61.5	0.080	0.017	0.127	0.051	0.006
8	60.5	64.5	0.078	0.016	0.117	0.050	0.011	45	61.0	61.5	0.079	0.017	0.128	0.050	0.002
9	61.0	64.5	0.077	0.016	0.119	0.049	0.007	46	61.5	61.5	0.078	0.017	0.130	0.048	-0.002
10	61.5	64.5	0.076	0.016	0.122	0.049	0.003	47	62.0	61.5	0.076	0.018	0.131	0.045	-0.006
11	62.0	64.5	0.075	0.017	0.124	0.047	-0.001	48	62.5	61.5	0.074	0.019	0.132	0.042	-0.009
12	62.5	64.5	0.075	0.018	0.126	0.044	-0.005	49	60.0	61.0	0.082	0.017	0.127	0.052	0.010
13	60.0	64.0	0.080	0.016	0.116	0.051	0.014	50	60.5	61.0	0.081	0.017	0.129	0.051	0.006
14	60.5	64.0	0.078	0.016	0.119	0.050	0.010	51	61.0	61.0	0.080	0.017	0.130	0.050	0.002
15	61.0	64.0	0.077	0.016	0.120	0.049	0.006	52	61.5	61.0	0.078	0.018	0.132	0.048	-0.002
16	61.5	64.0	0.076	0.017	0.123	0.048	0.002	53	62.0	61.0	0.076	0.018	0.133	0.045	-0.006
17	62.0	64.0	0.075	0.017	0.125	0.046	-0.002	54	62.5	61.0	0.074	0.019	0.134	0.042	-0.009
18	62.5	64.0	0.074	0.018	0.127	0.043	-0.006	55	60.0	60.5	0.083	0.017	0.128	0.052	0.009
19	60.0	63.5	0.080	0.016	0.118	0.051	0.013	56	60.5	60.5	0.082	0.017	0.131	0.051	0.005
20	60.5	63.5	0.079	0.016	0.120	0.050	0.009	57	61.0	60.5	0.080	0.017	0.132	0.050	0.001
21	61.0	63.5	0.077	0.016	0.122	0.049	0.005	58	61.5	60.5	0.078	0.018	0.133	0.048	-0.002
22	61.5	63.5	0.076	0.017	0.123	0.048	0.001	59	62.0	60.5	0.076	0.019	0.134	0.045	-0.006
23	62.0	63.5	0.075	0.017	0.126	0.046	-0.003	60	62.5	60.5	0.074	0.019	0.135	0.042	-0.009
24	62.5	63.5	0.074	0.018	0.128	0.043	-0.007	61	60.0	60.0	0.083	0.017	0.130	0.052	0.009
25	60.0	63.0	0.080	0.016	0.119	0.051	0.012	62	60.5	60.0	0.082	0.017	0.132	0.051	0.005
26	60.5	63.0	0.079	0.016	0.121	0.050	0.008	63	61.0	60.0	0.080	0.018	0.133	0.049	0.001
27	61.0	63.0	0.078	0.016	0.123	0.049	0.004	64	61.5	60.0	0.078	0.018	0.134	0.048	-0.002
28	61.5	63.0	0.076	0.017	0.125	0.048	0.000	65	62.0	60.0	0.076	0.019	0.135	0.045	-0.006
29	62.0	63.0	0.075	0.017	0.127	0.045	-0.004	66	62.5	60.0	0.074	0.020	0.136	0.042	-0.010
30	62.5	63.0	0.074	0.018	0.129	0.042	-0.008	Média			0.077	0.017	0.126	0.048	0.002
31	60.0	62.5	0.081	0.016	0.121	0.051	0.011	Desvio P.			0.003	0.001	0.006	0.003	0.007
32	60.5	62.5	0.079	0.016	0.123	0.050	0.007	Máximo			0.083	0.020	0.136	0.052	0.016
33	61.0	62.5	0.078	0.017	0.124	0.049	0.003	Mínimo			0.074	0.016	0.114	0.042	-0.010
34	61.5	62.5	0.076	0.017	0.126	0.048	-0.001								
35	62.0	62.5	0.075	0.018	0.128	0.045	-0.005								
36	62.5	62.5	0.074	0.018	0.129	0.042	-0.009								
37	60.0	62.0	0.081	0.016	0.123	0.051	0.011								

Tabela de estatísticas de TR para o Verão, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND	PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/mes/m2/ μ atm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]		[°S]	[°W]	[gC/mes/m2/ μ atm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	0.069	0.017	0.091	0.050	0.023	38	60.5	62.0	0.069	0.017	0.095	0.051	0.013
2	60.5	65.0	0.067	0.016	0.089	0.050	0.018	39	61.0	62.0	0.066	0.016	0.094	0.049	0.009
3	61.0	65.0	0.065	0.015	0.087	0.050	0.014	40	61.5	62.0	0.064	0.015	0.092	0.048	0.005
4	61.5	65.0	0.064	0.014	0.085	0.049	0.010	41	62.0	62.0	0.062	0.015	0.090	0.045	0.000
5	62.0	65.0	0.062	0.013	0.083	0.047	0.006	42	62.5	62.0	0.059	0.015	0.089	0.042	-0.003
6	62.5	65.0	0.060	0.012	0.081	0.045	0.001	43	60.0	61.5	0.072	0.018	0.098	0.052	0.018
7	60.0	64.5	0.070	0.017	0.092	0.051	0.022	44	60.5	61.5	0.070	0.017	0.097	0.051	0.013
8	60.5	64.5	0.067	0.016	0.091	0.050	0.017	45	61.0	61.5	0.067	0.016	0.095	0.050	0.009
9	61.0	64.5	0.065	0.015	0.089	0.049	0.013	46	61.5	61.5	0.064	0.015	0.093	0.048	0.004
10	61.5	64.5	0.063	0.014	0.086	0.049	0.009	47	62.0	61.5	0.062	0.015	0.092	0.045	0.001
11	62.0	64.5	0.062	0.013	0.084	0.047	0.005	48	62.5	61.5	0.059	0.015	0.091	0.042	-0.003
12	62.5	64.5	0.060	0.013	0.082	0.044	0.001	49	60.0	61.0	0.073	0.018	0.099	0.052	0.017
13	60.0	64.0	0.070	0.017	0.093	0.051	0.021	50	60.5	61.0	0.070	0.017	0.098	0.051	0.013
14	60.5	64.0	0.067	0.016	0.092	0.050	0.016	51	61.0	61.0	0.067	0.016	0.096	0.050	0.008
15	61.0	64.0	0.065	0.015	0.090	0.049	0.012	52	61.5	61.0	0.065	0.016	0.095	0.048	0.004
16	61.5	64.0	0.063	0.014	0.088	0.048	0.008	53	62.0	61.0	0.062	0.016	0.094	0.045	0.001
17	62.0	64.0	0.061	0.014	0.086	0.046	0.004	54	62.5	61.0	0.059	0.015	0.092	0.042	-0.003
18	62.5	64.0	0.059	0.013	0.083	0.043	0.000	55	60.0	60.5	0.073	0.018	0.101	0.052	0.017
19	60.0	63.5	0.070	0.017	0.094	0.051	0.020	56	60.5	60.5	0.071	0.017	0.099	0.051	0.013
20	60.5	63.5	0.068	0.016	0.093	0.050	0.015	57	61.0	60.5	0.068	0.017	0.098	0.050	0.008
21	61.0	63.5	0.065	0.015	0.091	0.049	0.011	58	61.5	60.5	0.065	0.016	0.097	0.048	0.005
22	61.5	63.5	0.063	0.015	0.089	0.048	0.007	59	62.0	60.5	0.062	0.016	0.095	0.045	0.001
23	62.0	63.5	0.061	0.014	0.087	0.046	0.003	60	62.5	60.5	0.059	0.016	0.094	0.042	-0.003
24	62.5	63.5	0.059	0.013	0.085	0.043	-0.001	61	60.0	60.0	0.074	0.018	0.102	0.052	0.017
25	60.0	63.0	0.071	0.017	0.095	0.051	0.019	62	60.5	60.0	0.071	0.018	0.101	0.051	0.013
26	60.5	63.0	0.068	0.016	0.093	0.050	0.015	63	61.0	60.0	0.068	0.017	0.100	0.049	0.009
27	61.0	63.0	0.066	0.015	0.092	0.049	0.010	64	61.5	60.0	0.065	0.017	0.098	0.048	0.005
28	61.5	63.0	0.063	0.015	0.090	0.048	0.006	65	62.0	60.0	0.062	0.016	0.097	0.045	0.001
29	62.0	63.0	0.061	0.014	0.088	0.045	0.002	66	62.5	60.0	0.059	0.016	0.096	0.042	-0.003
30	62.5	63.0	0.059	0.014	0.086	0.042	-0.002	Média			0.065	0.016	0.092	0.048	0.008
31	60.0	62.5	0.071	0.017	0.096	0.051	0.018	Desvio P.			0.004	0.001	0.005	0.003	0.007
32	60.5	62.5	0.068	0.016	0.094	0.050	0.014	Máximo			0.074	0.018	0.102	0.052	0.023
33	61.0	62.5	0.066	0.016	0.093	0.049	0.009	Mínimo			0.059	0.012	0.081	0.042	-0.003
34	61.5	62.5	0.063	0.015	0.091	0.048	0.005								
35	62.0	62.5	0.061	0.014	0.089	0.045	0.001								
36	62.5	62.5	0.059	0.014	0.088	0.042	-0.003								
37	60.0	62.0	0.071	0.017	0.097	0.051	0.018								

Tabela de estatísticas TR para o Outono, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND		PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[g _C /mes/m2/μatm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]			[°S]	[°W]	[g _C /mes/m2/μatm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	0.082	0.014	0.108	0.064	0.026		38	60.5	62.0	0.081	0.013	0.104	0.064	0.018
2	60.5	65.0	0.081	0.013	0.106	0.065	0.022		39	61.0	62.0	0.079	0.012	0.101	0.064	0.014
3	61.0	65.0	0.081	0.013	0.104	0.066	0.018		40	61.5	62.0	0.078	0.012	0.098	0.064	0.009
4	61.5	65.0	0.080	0.012	0.101	0.066	0.014		41	62.0	62.0	0.076	0.012	0.095	0.062	0.004
5	62.0	65.0	0.079	0.012	0.099	0.067	0.010		42	62.5	62.0	0.074	0.012	0.091	0.058	0.000
6	62.5	65.0	0.078	0.012	0.097	0.064	0.006		43	60.0	61.5	0.083	0.013	0.108	0.064	0.023
7	60.0	64.5	0.082	0.014	0.108	0.064	0.026		44	60.5	61.5	0.082	0.013	0.105	0.064	0.018
8	60.5	64.5	0.081	0.013	0.105	0.064	0.021		45	61.0	61.5	0.080	0.012	0.101	0.064	0.013
9	61.0	64.5	0.080	0.013	0.102	0.065	0.017		46	61.5	61.5	0.078	0.012	0.098	0.064	0.009
10	61.5	64.5	0.079	0.012	0.100	0.066	0.013		47	62.0	61.5	0.076	0.012	0.095	0.062	0.004
11	62.0	64.5	0.078	0.012	0.098	0.065	0.009		48	62.5	61.5	0.073	0.012	0.091	0.058	0.000
12	62.5	64.5	0.077	0.012	0.096	0.063	0.005		49	60.0	61.0	0.084	0.013	0.108	0.064	0.023
13	60.0	64.0	0.083	0.014	0.108	0.064	0.025		50	60.5	61.0	0.082	0.013	0.105	0.064	0.018
14	60.5	64.0	0.081	0.013	0.105	0.064	0.020		51	61.0	61.0	0.080	0.012	0.102	0.065	0.013
15	61.0	64.0	0.079	0.012	0.101	0.064	0.015		52	61.5	61.0	0.078	0.012	0.098	0.064	0.008
16	61.5	64.0	0.078	0.012	0.099	0.065	0.011		53	62.0	61.0	0.075	0.012	0.094	0.062	0.004
17	62.0	64.0	0.077	0.012	0.097	0.064	0.007		54	62.5	61.0	0.073	0.012	0.090	0.058	0.000
18	62.5	64.0	0.076	0.012	0.095	0.062	0.004		55	60.0	60.5	0.084	0.013	0.108	0.064	0.022
19	60.0	63.5	0.083	0.014	0.108	0.063	0.025		56	60.5	60.5	0.082	0.012	0.105	0.065	0.017
20	60.5	63.5	0.081	0.013	0.104	0.064	0.020		57	61.0	60.5	0.080	0.012	0.101	0.065	0.013
21	61.0	63.5	0.079	0.012	0.101	0.064	0.015		58	61.5	60.5	0.077	0.012	0.097	0.064	0.008
22	61.5	63.5	0.077	0.012	0.098	0.064	0.010		59	62.0	60.5	0.075	0.012	0.093	0.061	0.004
23	62.0	63.5	0.076	0.012	0.096	0.063	0.006		60	62.5	60.5	0.072	0.012	0.090	0.058	0.000
24	62.5	63.5	0.076	0.012	0.094	0.061	0.002		61	60.0	60.0	0.084	0.013	0.108	0.065	0.022
25	60.0	63.0	0.083	0.014	0.108	0.063	0.024		62	60.5	60.0	0.082	0.012	0.104	0.065	0.017
26	60.5	63.0	0.081	0.013	0.104	0.063	0.019		63	61.0	60.0	0.079	0.012	0.100	0.064	0.013
27	61.0	63.0	0.079	0.012	0.101	0.064	0.014		64	61.5	60.0	0.077	0.012	0.097	0.064	0.008
28	61.5	63.0	0.077	0.012	0.098	0.064	0.010		65	62.0	60.0	0.074	0.012	0.093	0.061	0.004
29	62.0	63.0	0.076	0.012	0.095	0.062	0.005		66	62.5	60.0	0.072	0.012	0.089	0.058	0.000
30	62.5	63.0	0.075	0.012	0.093	0.060	0.001		Média			0.079	0.012	0.100	0.063	0.012
31	60.0	62.5	0.083	0.014	0.107	0.063	0.024		Desvio P.			0.003	0.001	0.005	0.002	0.008
32	60.5	62.5	0.081	0.013	0.104	0.063	0.019		Máximo			0.084	0.014	0.108	0.067	0.026
33	61.0	62.5	0.079	0.012	0.101	0.063	0.014		Mínimo			0.072	0.012	0.089	0.058	0.000
34	61.5	62.5	0.077	0.012	0.098	0.064	0.009									
35	62.0	62.5	0.076	0.012	0.095	0.062	0.005									
36	62.5	62.5	0.074	0.012	0.092	0.059	0.000									
37	60.0	62.0	0.083	0.013	0.108	0.063	0.023									

Tabela de estatísticas de TR para o Inverno, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND		PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[g _c /mes/m2/μatm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]			[°S]	[°W]	[g _c /mes/m2/μatm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	0.087	0.011	0.106	0.074	0.006		38	60.5	62.0	0.090	0.011	0.114	0.078	-0.005
2	60.5	65.0	0.087	0.011	0.108	0.073	0.001		39	61.0	62.0	0.089	0.013	0.115	0.078	-0.010
3	61.0	65.0	0.087	0.011	0.110	0.073	-0.004		40	61.5	62.0	0.088	0.014	0.117	0.074	-0.016
4	61.5	65.0	0.087	0.012	0.112	0.073	-0.009		41	62.0	62.0	0.088	0.015	0.118	0.070	-0.021
5	62.0	65.0	0.087	0.013	0.113	0.072	-0.015		42	62.5	62.0	0.086	0.016	0.118	0.065	-0.025
6	62.5	65.0	0.087	0.015	0.115	0.072	-0.020		43	60.0	61.5	0.091	0.011	0.114	0.077	-0.001
7	60.0	64.5	0.088	0.010	0.107	0.074	0.005		44	60.5	61.5	0.090	0.012	0.115	0.077	-0.006
8	60.5	64.5	0.087	0.011	0.109	0.075	0.000		45	61.0	61.5	0.089	0.013	0.116	0.077	-0.011
9	61.0	64.5	0.087	0.011	0.110	0.074	-0.005		46	61.5	61.5	0.089	0.014	0.118	0.073	-0.016
10	61.5	64.5	0.087	0.012	0.112	0.074	-0.010		47	62.0	61.5	0.087	0.015	0.118	0.069	-0.021
11	62.0	64.5	0.087	0.013	0.114	0.074	-0.016		48	62.5	61.5	0.086	0.017	0.117	0.064	-0.025
12	62.5	64.5	0.087	0.015	0.116	0.072	-0.021		49	60.0	61.0	0.091	0.011	0.115	0.076	-0.002
13	60.0	64.0	0.088	0.010	0.108	0.074	0.004		50	60.5	61.0	0.091	0.012	0.116	0.076	-0.007
14	60.5	64.0	0.088	0.011	0.110	0.075	-0.001		51	61.0	61.0	0.090	0.013	0.118	0.077	-0.012
15	61.0	64.0	0.087	0.012	0.111	0.076	-0.006		52	61.5	61.0	0.089	0.015	0.118	0.072	-0.017
16	61.5	64.0	0.087	0.013	0.113	0.075	-0.011		53	62.0	61.0	0.087	0.016	0.117	0.068	-0.021
17	62.0	64.0	0.087	0.014	0.114	0.073	-0.017		54	62.5	61.0	0.086	0.017	0.117	0.063	-0.026
18	62.5	64.0	0.087	0.015	0.116	0.070	-0.022		55	60.0	60.5	0.092	0.012	0.116	0.075	-0.003
19	60.0	63.5	0.089	0.010	0.109	0.075	0.003		56	60.5	60.5	0.091	0.013	0.117	0.075	-0.008
20	60.5	63.5	0.088	0.011	0.111	0.076	-0.002		57	61.0	60.5	0.090	0.014	0.117	0.075	-0.013
21	61.0	63.5	0.088	0.012	0.112	0.076	-0.007		58	61.5	60.5	0.089	0.015	0.117	0.071	-0.017
22	61.5	63.5	0.087	0.013	0.113	0.075	-0.012		59	62.0	60.5	0.087	0.016	0.117	0.067	-0.022
23	62.0	63.5	0.087	0.014	0.115	0.072	-0.018		60	62.5	60.5	0.086	0.017	0.117	0.062	-0.026
24	62.5	63.5	0.087	0.015	0.117	0.069	-0.023		61	60.0	60.0	0.092	0.012	0.117	0.074	-0.004
25	60.0	63.0	0.089	0.010	0.111	0.075	0.002		62	60.5	60.0	0.091	0.013	0.117	0.074	-0.009
26	60.5	63.0	0.089	0.011	0.112	0.076	-0.003		63	61.0	60.0	0.090	0.014	0.117	0.074	-0.013
27	61.0	63.0	0.088	0.012	0.113	0.077	-0.008		64	61.5	60.0	0.088	0.015	0.117	0.070	-0.018
28	61.5	63.0	0.087	0.013	0.114	0.074	-0.014		65	62.0	60.0	0.087	0.016	0.117	0.066	-0.022
29	62.0	63.0	0.087	0.014	0.116	0.070	-0.019		66	62.5	60.0	0.086	0.018	0.117	0.061	-0.026
30	62.5	63.0	0.086	0.016	0.117	0.068	-0.024		Média			0.088	0.013	0.114	0.073	-0.012
31	60.0	62.5	0.090	0.010	0.112	0.076	0.001		Desvio P.			0.002	0.002	0.003	0.004	0.009
32	60.5	62.5	0.089	0.011	0.113	0.076	-0.004		Máximo			0.092	0.018	0.118	0.078	0.006
33	61.0	62.5	0.089	0.012	0.114	0.077	-0.009		Mínimo			0.086	0.010	0.106	0.061	-0.026
34	61.5	62.5	0.088	0.013	0.115	0.074	-0.015									
35	62.0	62.5	0.087	0.015	0.117	0.070	-0.020									
36	62.5	62.5	0.086	0.016	0.118	0.066	-0.025									
37	60.0	62.0	0.090	0.011	0.113	0.077	0.000									

Tabela de estatísticas de TR para a Primavera, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND	PONTO	LAT	LON	TR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/mes/m2/ μ atm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]		[°S]	[°W]	[gC/mes/m2/ μ atm]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	0.077	0.017	0.114	0.053	0.006	38	60.5	62.0	0.080	0.019	0.125	0.057	-0.005
2	60.5	65.0	0.077	0.017	0.116	0.055	0.002	39	61.0	62.0	0.079	0.019	0.126	0.056	-0.008
3	61.0	65.0	0.076	0.018	0.118	0.055	-0.001	40	61.5	62.0	0.078	0.020	0.128	0.055	-0.012
4	61.5	65.0	0.076	0.018	0.121	0.053	-0.004	41	62.0	62.0	0.077	0.020	0.130	0.053	-0.015
5	62.0	65.0	0.075	0.019	0.123	0.052	-0.008	42	62.5	62.0	0.076	0.021	0.131	0.052	-0.018
6	62.5	65.0	0.074	0.020	0.125	0.051	-0.011	43	60.0	61.5	0.081	0.019	0.125	0.058	-0.003
7	60.0	64.5	0.077	0.017	0.115	0.055	0.004	44	60.5	61.5	0.081	0.019	0.127	0.057	-0.006
8	60.5	64.5	0.077	0.018	0.117	0.056	0.001	45	61.0	61.5	0.080	0.020	0.128	0.056	-0.009
9	61.0	64.5	0.076	0.018	0.119	0.055	-0.002	46	61.5	61.5	0.079	0.020	0.130	0.055	-0.012
10	61.5	64.5	0.076	0.019	0.122	0.054	-0.005	47	62.0	61.5	0.078	0.021	0.131	0.054	-0.015
11	62.0	64.5	0.075	0.019	0.124	0.052	-0.009	48	62.5	61.5	0.077	0.021	0.132	0.052	-0.018
12	62.5	64.5	0.075	0.020	0.126	0.051	-0.012	49	60.0	61.0	0.082	0.019	0.127	0.058	-0.004
13	60.0	64.0	0.078	0.017	0.116	0.056	0.003	50	60.5	61.0	0.082	0.020	0.129	0.057	-0.007
14	60.5	64.0	0.077	0.018	0.119	0.057	0.000	51	61.0	61.0	0.081	0.020	0.130	0.056	-0.010
15	61.0	64.0	0.077	0.018	0.120	0.055	-0.003	52	61.5	61.0	0.080	0.020	0.132	0.055	-0.013
16	61.5	64.0	0.076	0.019	0.123	0.054	-0.007	53	62.0	61.0	0.078	0.021	0.133	0.054	-0.016
17	62.0	64.0	0.075	0.019	0.125	0.053	-0.010	54	62.5	61.0	0.077	0.022	0.134	0.053	-0.019
18	62.5	64.0	0.075	0.020	0.127	0.051	-0.013	55	60.0	60.5	0.083	0.020	0.128	0.058	-0.004
19	60.0	63.5	0.078	0.018	0.118	0.057	0.001	56	60.5	60.5	0.083	0.020	0.131	0.057	-0.007
20	60.5	63.5	0.078	0.018	0.120	0.057	-0.002	57	61.0	60.5	0.081	0.020	0.132	0.056	-0.011
21	61.0	63.5	0.077	0.018	0.122	0.056	-0.005	58	61.5	60.5	0.080	0.021	0.133	0.055	-0.014
22	61.5	63.5	0.076	0.019	0.123	0.054	-0.008	59	62.0	60.5	0.079	0.021	0.134	0.054	-0.017
23	62.0	63.5	0.076	0.020	0.126	0.053	-0.011	60	62.5	60.5	0.078	0.022	0.135	0.053	-0.019
24	62.5	63.5	0.075	0.020	0.128	0.051	-0.015	61	60.0	60.0	0.084	0.020	0.130	0.059	-0.005
25	60.0	63.0	0.079	0.018	0.119	0.058	0.000	62	60.5	60.0	0.083	0.020	0.132	0.058	-0.008
26	60.5	63.0	0.078	0.018	0.121	0.057	-0.003	63	61.0	60.0	0.082	0.021	0.133	0.056	-0.011
27	61.0	63.0	0.077	0.019	0.123	0.056	-0.006	64	61.5	60.0	0.081	0.021	0.134	0.055	-0.014
28	61.5	63.0	0.077	0.019	0.125	0.054	-0.009	65	62.0	60.0	0.080	0.022	0.135	0.054	-0.017
29	62.0	63.0	0.076	0.020	0.127	0.053	-0.013	66	62.5	60.0	0.078	0.022	0.136	0.053	-0.020
30	62.5	63.0	0.075	0.020	0.129	0.052	-0.016	Média			0.078	0.019	0.126	0.055	-0.008
31	60.0	62.5	0.079	0.018	0.121	0.058	-0.001	Desvio P.			0.002	0.001	0.006	0.002	0.006
32	60.5	62.5	0.079	0.018	0.123	0.057	-0.005	Máximo			0.084	0.022	0.136	0.059	0.006
33	61.0	62.5	0.078	0.019	0.124	0.056	-0.008	Mínimo			0.074	0.017	0.114	0.051	-0.020
34	61.5	62.5	0.077	0.019	0.126	0.054	-0.011								
35	62.0	62.5	0.076	0.020	0.128	0.053	-0.014								
36	62.5	62.5	0.075	0.021	0.129	0.052	-0.017								
37	60.0	62.0	0.080	0.018	0.123	0.058	-0.002								

Tabela de estatísticas de FCO₂ mar-ar Anual, período 2000 a 2009

PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	FCO2MAR-AR [gC/m2/mes]	σ [*]	MAX [*]	MIN [*]	TEND [*/déc]	PONTO	LAT [°S]	LON [°W]	FCO2MAR-AR [gC/m2/mes]	σ [*]	MAX [*]	MIN [*]	TEND [*/déc]
1	60.0	65.0	-0.392	1.103	2.046	-4.956	0.068	38	60.5	62.0	-0.258	1.137	2.097	-2.739	-1.103
2	60.5	65.0	-0.321	1.325	2.336	-5.791	-0.188	39	61.0	62.0	-0.531	1.301	2.778	-3.066	-0.896
3	61.0	65.0	-0.565	1.319	2.595	-5.440	-0.897	40	61.5	62.0	-0.294	1.449	2.722	-3.432	-1.051
4	61.5	65.0	-0.525	1.306	2.535	-5.100	-0.303	41	62.0	62.0	0.989	1.865	5.460	-3.904	-1.529
5	62.0	65.0	-0.333	1.936	7.670	-4.605	-1.105	42	62.5	62.0	1.327	2.036	5.240	-3.315	-0.509
6	62.5	65.0	-0.117	2.174	7.858	-6.086	-1.277	43	60.0	61.5	-0.061	0.967	1.882	-1.848	-1.226
7	60.0	64.5	-0.367	1.145	2.044	-4.593	-0.234	44	60.5	61.5	-0.234	1.472	3.061	-3.961	-2.164
8	60.5	64.5	-0.319	1.126	2.228	-4.360	-0.434	45	61.0	61.5	-0.201	1.472	3.739	-3.591	-1.756
9	61.0	64.5	-0.442	1.194	2.523	-4.889	-0.634	46	61.5	61.5	0.461	1.867	6.133	-3.478	-0.957
10	61.5	64.5	-0.525	1.192	2.529	-4.929	-0.464	47	62.0	61.5	1.172	1.767	5.772	-3.122	0.530
11	62.0	64.5	-0.432	1.715	3.761	-4.792	-0.628	48	62.5	61.5	1.972	1.923	5.561	-2.540	-1.014
12	62.5	64.5	-0.190	2.383	7.908	-6.100	-0.893	49	60.0	61.0	-0.127	1.023	2.044	-2.498	-1.516
13	60.0	64.0	-0.178	1.198	3.514	-1.917	-1.266	50	60.5	61.0	-0.269	1.152	1.556	-3.310	-1.350
14	60.5	64.0	-0.322	1.313	2.225	-4.961	-0.513	51	61.0	61.0	-0.204	1.447	2.813	-4.985	-1.041
15	61.0	64.0	-0.538	1.128	2.517	-4.813	-0.500	52	61.5	61.0	0.719	1.816	5.902	-3.285	-0.836
16	61.5	64.0	-0.711	0.963	0.830	-4.358	-0.344	53	62.0	61.0	1.580	1.787	5.903	-2.550	-0.273
17	62.0	64.0	-0.565	1.680	3.781	-4.601	-0.859	54	62.5	61.0	2.153	2.286	6.001	-5.416	-1.659
18	62.5	64.0	-0.009	1.966	3.760	-6.109	-0.263	55	60.0	60.5	-0.201	1.204	3.804	-2.340	-1.506
19	60.0	63.5	-0.167	1.144	3.563	-1.800	-1.284	56	60.5	60.5	-0.049	1.412	3.706	-2.819	-1.298
20	60.5	63.5	-0.315	1.108	2.672	-3.145	-0.840	57	61.0	60.5	0.189	1.276	3.556	-3.010	-1.267
21	61.0	63.5	-0.574	1.092	1.261	-4.805	-0.137	58	61.5	60.5	1.103	1.735	5.698	-2.904	-1.542
22	61.5	63.5	-0.373	1.088	1.055	-4.796	-0.263	59	62.0	60.5	2.058	1.880	6.903	-1.772	-1.829
23	62.0	63.5	-0.133	1.512	3.803	-4.652	-0.408	60	62.5	60.5	3.019	2.788	13.531	-1.704	-1.136
24	62.5	63.5	0.354	1.772	3.780	-4.885	-0.666	61	60.0	60.0	0.052	1.405	5.421	-3.451	-1.243
25	60.0	63.0	-0.037	1.143	3.152	-1.952	-1.477	62	60.5	60.0	0.013	1.334	3.616	-3.089	-1.319
26	60.5	63.0	-0.306	0.945	1.593	-2.449	-0.890	63	61.0	60.0	0.705	2.197	8.521	-5.716	-2.225
27	61.0	63.0	-0.406	1.030	2.141	-2.821	-0.590	64	61.5	60.0	1.629	1.919	7.125	-1.862	-2.120
28	61.5	63.0	-0.227	1.055	2.478	-2.787	-0.512	65	62.0	60.0	2.661	1.974	7.208	-1.465	-1.164
29	62.0	63.0	0.093	1.823	4.894	-3.977	-1.465	66	62.5	60.0	2.741	1.782	7.858	-1.611	-1.239
30	62.5	63.0	0.798	1.776	4.569	-4.063	-1.306	Média			0.203	1.482	3.985	-3.632	-0.998
31	60.0	62.5	-0.423	1.147	2.794	-2.307	-1.608	Desvio P.			0.904	0.412	2.294	1.270	0.555
32	60.5	62.5	-0.483	1.021	1.289	-3.388	-1.064	Máximo			3.019	2.788	13.531	-1.465	0.530
33	61.0	62.5	-0.402	1.030	2.657	-2.970	-1.026	Mínimo			-0.711	0.945	0.830	-6.109	-2.225
34	61.5	62.5	-0.475	1.043	1.231	-3.311	-1.214								
35	62.0	62.5	0.526	1.481	4.963	-3.016	-1.774								
36	62.5	62.5	0.929	1.586	3.960	-2.754	-0.998								
37	60.0	62.0	-0.268	1.153	2.873	-2.632	-1.342								

Tabela de estatísticas de FCO₂mar-ar para o Verão, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	Lon	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND		PONTO	LAT	Lon	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]			[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	-0.237	1.833	1.199	-4.956	1.960		38	60.5	62.0	-0.033	1.577	2.097	-2.739	-0.903
2	60.5	65.0	-0.173	2.188	1.395	-5.791	2.398		39	61.0	62.0	-0.412	1.640	2.695	-2.506	-1.906
3	61.0	65.0	-0.892	1.854	0.968	-5.440	0.250		40	61.5	62.0	-0.663	1.469	2.179	-2.919	-1.748
4	61.5	65.0	-1.062	1.758	1.048	-5.100	0.622		41	62.0	62.0	-0.235	1.881	2.649	-3.904	0.646
5	62.0	65.0	-1.171	1.613	0.430	-4.605	0.271		42	62.5	62.0	-0.330	1.316	0.992	-3.315	-0.470
6	62.5	65.0	-0.805	1.825	2.189	-4.307	-0.196		43	60.0	61.5	0.720	0.716	1.790	-0.260	-0.922
7	60.0	64.5	-0.133	1.784	1.505	-4.593	1.930		44	60.5	61.5	-0.055	1.901	2.167	-3.961	-3.499
8	60.5	64.5	-0.114	1.735	1.211	-4.360	1.559		45	61.0	61.5	-0.248	1.836	2.412	-3.591	-2.072
9	61.0	64.5	-0.486	1.720	0.976	-4.889	1.274		46	61.5	61.5	0.065	1.993	2.369	-3.478	-1.163
10	61.5	64.5	-1.010	1.481	0.114	-4.929	0.572		47	62.0	61.5	0.281	1.717	2.232	-3.122	1.298
11	62.0	64.5	-1.024	1.686	0.949	-4.792	0.419		48	62.5	61.5	0.734	1.783	2.523	-2.540	1.374
12	62.5	64.5	-1.124	1.855	1.103	-5.323	0.199		49	60.0	61.0	0.895	0.697	2.044	-0.230	-0.662
13	60.0	64.0	1.129	1.121	3.514	-0.896	-1.017		50	60.5	61.0	0.260	0.969	1.141	-2.060	-1.039
14	60.5	64.0	0.058	1.976	1.197	-4.961	1.810		51	61.0	61.0	-0.603	2.289	2.813	-4.985	-1.717
15	61.0	64.0	-0.477	1.735	1.054	-4.813	1.179		52	61.5	61.0	0.239	1.743	2.912	-2.402	-0.022
16	61.5	64.0	-0.706	1.535	0.779	-4.358	1.203		53	62.0	61.0	0.208	1.851	2.867	-2.550	1.730
17	62.0	64.0	-1.215	1.866	1.049	-4.601	0.201		54	62.5	61.0	0.435	2.075	3.342	-2.467	0.323
18	62.5	64.0	-0.770	1.730	1.297	-4.442	0.458		55	60.0	60.5	0.750	1.603	3.804	-2.340	-1.809
19	60.0	63.5	0.978	1.308	3.563	-1.800	-1.231		56	60.5	60.5	0.906	1.639	3.706	-1.981	-1.265
20	60.5	63.5	-0.199	1.432	1.614	-3.145	0.224		57	61.0	60.5	0.596	1.633	3.556	-1.961	-1.551
21	61.0	63.5	-0.538	1.778	1.092	-4.805	1.006		58	61.5	60.5	0.800	2.123	3.942	-2.904	-2.723
22	61.5	63.5	-0.423	1.726	0.945	-4.796	0.979		59	62.0	60.5	0.963	1.317	2.719	-1.772	-0.066
23	62.0	63.5	-0.784	1.796	1.421	-4.652	0.679		60	62.5	60.5	0.894	1.568	3.176	-1.704	0.818
24	62.5	63.5	-0.463	1.704	1.916	-4.133	0.394		61	60.0	60.0	0.929	1.904	5.421	-2.054	-2.234
25	60.0	63.0	1.319	0.758	3.152	0.497	-1.159		62	60.5	60.0	0.551	1.754	3.616	-2.599	-1.590
26	60.5	63.0	0.217	0.844	1.314	-1.390	-0.085		63	61.0	60.0	0.608	1.860	3.468	-2.952	-0.757
27	61.0	63.0	-0.126	1.473	2.141	-2.821	-0.174		64	61.5	60.0	0.813	1.615	3.323	-1.862	-1.791
28	61.5	63.0	-0.219	1.627	2.478	-2.787	-0.427		65	62.0	60.0	1.529	1.336	3.195	-0.776	-1.566
29	62.0	63.0	-0.613	1.811	1.957	-3.961	-0.288		66	62.5	60.0	1.575	1.435	3.501	-1.611	-2.464
30	62.5	63.0	-0.331	1.746	1.774	-4.063	0.246		Média			-0.010	1.603	2.117	-3.180	-0.294
31	60.0	62.5	0.357	1.585	2.794	-2.307	-2.739		Desvio P.			0.701	0.341	1.070	1.430	1.326
32	60.5	62.5	-0.233	1.027	0.933	-2.267	0.140		Máximo			1.575	2.289	5.421	0.497	2.398
33	61.0	62.5	-0.376	1.055	0.925	-2.203	-0.240		Mínimo			-1.215	0.697	0.114	-5.791	-3.499
34	61.5	62.5	-0.482	1.196	0.920	-2.786	-0.529									
35	62.0	62.5	-0.445	1.523	1.684	-3.016	-0.427									
36	62.5	62.5	-0.431	1.316	1.592	-2.754	-0.520									
37	60.0	62.0	0.201	1.555	2.873	-2.019	-2.592									

Tabela de estatísticas de FCO₂mar-ar para o Outono, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND	PONTO	LAT	LON	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]		[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	-0.360	0.697	1.375	-1.270	-1.499	38	60.5	62.0	-0.241	0.838	1.094	-1.570	-0.434
2	60.5	65.0	-0.473	0.878	1.201	-1.913	-1.626	39	61.0	62.0	-0.517	1.062	0.878	-2.930	-1.701
3	61.0	65.0	-0.297	1.254	2.530	-1.260	-1.966	40	61.5	62.0	-0.365	1.245	1.677	-1.838	-2.993
4	61.5	65.0	-0.429	1.195	2.535	-1.838	-1.937	41	62.0	62.0	0.685	2.084	5.460	-1.663	-1.925
5	62.0	65.0	-0.629	0.972	1.198	-2.188	-1.299	42	62.5	62.0	0.216	1.615	2.400	-3.264	1.529
6	62.5	65.0	-0.655	1.300	1.206	-3.127	-2.346	43	60.0	61.5	0.110	1.129	1.882	-1.705	-1.426
7	60.0	64.5	-0.204	0.753	1.263	-1.046	-1.632	44	60.5	61.5	-0.232	1.266	1.559	-2.365	-1.518
8	60.5	64.5	-0.497	0.817	0.946	-1.904	-1.442	45	61.0	61.5	-0.239	1.094	1.219	-2.363	-1.186
9	61.0	64.5	-0.251	1.241	2.523	-1.309	-1.966	46	61.5	61.5	0.373	2.223	6.133	-1.718	-0.067
10	61.5	64.5	-0.417	1.198	2.529	-1.828	-1.996	47	62.0	61.5	1.302	1.967	5.772	-1.680	1.264
11	62.0	64.5	-0.844	1.486	1.192	-4.412	-1.788	48	62.5	61.5	1.384	2.314	5.561	-1.642	-1.929
12	62.5	64.5	-0.684	2.117	2.541	-4.975	-0.368	49	60.0	61.0	-0.212	1.131	1.337	-2.498	-1.347
13	60.0	64.0	-0.677	0.813	1.205	-1.575	-1.993	50	60.5	61.0	-0.113	1.076	1.556	-1.748	-1.023
14	60.5	64.0	-0.511	1.046	1.540	-1.717	-2.035	51	61.0	61.0	-0.222	0.786	1.306	-1.016	-1.152
15	61.0	64.0	-0.330	1.318	2.517	-1.877	-1.988	52	61.5	61.0	0.518	2.071	5.902	-1.734	0.296
16	61.5	64.0	-0.699	0.597	0.107	-1.704	-1.451	53	62.0	61.0	1.704	1.725	5.903	0.260	0.073
17	62.0	64.0	-0.779	1.432	1.187	-4.177	-1.224	54	62.5	61.0	1.560	2.834	5.737	-5.416	-3.365
18	62.5	64.0	-0.413	1.735	1.480	-4.206	-0.288	55	60.0	60.5	-0.187	0.957	1.462	-1.072	-1.364
19	60.0	63.5	-0.522	0.809	1.550	-1.507	-1.760	56	60.5	60.5	-0.368	1.034	1.242	-2.290	-1.626
20	60.5	63.5	-0.572	0.887	1.265	-1.898	-1.819	57	61.0	60.5	-0.352	0.948	1.288	-1.666	-2.108
21	61.0	63.5	-0.663	0.806	1.261	-1.600	-1.511	58	61.5	60.5	0.971	1.854	5.698	-0.535	0.029
22	61.5	63.5	-0.441	0.666	1.055	-1.471	-1.312	59	62.0	60.5	1.364	1.769	5.761	-0.383	-1.115
23	62.0	63.5	-0.432	1.007	1.182	-1.971	-0.726	60	62.5	60.5	3.814	4.263	13.531	0.090	-0.449
24	62.5	63.5	-0.774	1.918	1.780	-4.885	-1.539	61	60.0	60.0	-0.335	1.038	1.248	-1.724	-1.868
25	60.0	63.0	-0.296	0.995	1.555	-1.952	-1.938	62	60.5	60.0	-0.512	1.269	1.191	-3.089	-1.969
26	60.5	63.0	-0.585	0.998	1.276	-2.449	-1.792	63	61.0	60.0	-0.563	1.971	1.393	-5.716	-2.233
27	61.0	63.0	-0.643	0.826	1.185	-1.697	-1.548	64	61.5	60.0	1.084	2.024	5.875	-1.029	-0.592
28	61.5	63.0	-0.076	0.686	1.218	-1.082	-1.244	65	62.0	60.0	1.763	2.188	5.358	-1.465	-0.272
29	62.0	63.0	-0.863	1.471	0.908	-3.977	-0.979	66	62.5	60.0	2.179	1.280	4.627	0.813	2.503
30	62.5	63.0	-0.074	1.100	1.705	-1.734	-0.159	Média			-0.039	1.331	2.406	-2.079	-1.305
31	60.0	62.5	-0.531	1.115	1.493	-2.263	-2.337	Desvio P.			0.865	0.607	2.192	1.270	1.007
32	60.5	62.5	-0.799	1.255	1.278	-3.388	-1.909	Máximo			3.814	4.263	13.531	0.813	2.503
33	61.0	62.5	-0.689	1.070	0.711	-2.970	-1.193	Mínimo			-0.863	0.597	0.107	-5.716	-3.365
34	61.5	62.5	-0.645	1.388	1.231	-3.311	-3.129								
35	62.0	62.5	0.246	1.065	1.910	-1.614	-2.168								
36	62.5	62.5	0.167	0.833	1.179	-0.926	-1.215								
37	60.0	62.0	0.205	1.042	1.925	-1.213	-1.046								

Tabela de estatísticas de FCO₂mar-ar para o Inverno, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	Lon	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND		PONTO	LAT	Lon	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]			[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	-0.683	0.525	0.065	-1.433	-0.901		38	60.5	62.0	-0.171	0.842	1.205	-1.271	-1.688
2	60.5	65.0	-0.522	0.910	1.290	-1.722	-1.994		39	61.0	62.0	-0.457	0.400	0.284	-0.930	-0.956
3	61.0	65.0	-0.668	0.933	1.424	-1.808	-1.831		40	61.5	62.0	0.137	1.330	2.556	-1.057	-1.438
4	61.5	65.0	-0.232	1.266	2.238	-1.615	-1.529		41	62.0	62.0	1.586	1.384	3.203	-1.204	-3.436
5	62.0	65.0	0.336	1.440	2.489	-1.794	-0.961		42	62.5	62.0	2.441	1.762	4.641	-0.475	-3.139
6	62.5	65.0	0.719	1.428	2.880	-1.491	-1.162		43	60.0	61.5	-0.472	0.627	0.273	-1.776	-1.560
7	60.0	64.5	-0.781	0.579	0.104	-1.677	-1.254		44	60.5	61.5	-0.273	0.728	0.863	-1.374	-1.598
8	60.5	64.5	-0.351	0.852	1.435	-1.529	-1.760		45	61.0	61.5	-0.207	0.900	1.201	-1.422	-1.594
9	61.0	64.5	-0.528	0.910	1.354	-1.653	-1.524		46	61.5	61.5	0.911	1.637	3.738	-1.055	-2.698
10	61.5	64.5	-0.129	1.210	2.230	-1.640	-1.310		47	62.0	61.5	1.947	1.655	4.108	-0.506	-1.325
11	62.0	64.5	0.396	1.445	2.784	-1.643	-0.535		48	62.5	61.5	2.781	1.498	4.628	0.360	-3.097
12	62.5	64.5	0.742	1.402	2.684	-1.509	-1.254		49	60.0	61.0	-0.587	0.636	0.353	-1.538	-1.478
13	60.0	64.0	-0.861	0.688	0.158	-1.917	-1.621		50	60.5	61.0	-0.098	0.960	1.286	-1.480	-1.821
14	60.5	64.0	-0.318	1.022	1.441	-1.535	-1.382		51	61.0	61.0	0.157	0.851	1.177	-1.253	-1.250
15	61.0	64.0	-0.657	0.642	0.065	-1.648	-1.302		52	61.5	61.0	1.249	1.674	3.653	-1.083	-2.936
16	61.5	64.0	-0.664	0.747	0.830	-1.615	-1.753		53	62.0	61.0	2.212	1.643	4.384	0.331	-1.966
17	62.0	64.0	0.021	1.335	2.254	-1.574	-1.932		54	62.5	61.0	3.144	1.478	5.117	0.318	-3.462
18	62.5	64.0	0.719	1.396	2.614	-1.526	-1.408		55	60.0	60.5	-0.343	0.611	0.455	-1.251	-1.631
19	60.0	63.5	-0.561	0.881	1.277	-1.787	-1.976		56	60.5	60.5	0.041	0.829	1.234	-1.428	-0.754
20	60.5	63.5	-0.187	1.011	1.523	-1.618	-1.546		57	61.0	60.5	0.513	1.203	2.607	-1.423	-2.086
21	61.0	63.5	-0.485	0.789	0.987	-1.660	-1.263		58	61.5	60.5	1.790	1.705	4.578	-0.355	-2.396
22	61.5	63.5	-0.692	0.801	1.003	-1.945	-1.759		59	62.0	60.5	2.324	1.706	5.294	0.517	-4.445
23	62.0	63.5	0.311	1.182	2.244	-1.593	-1.971		60	62.5	60.5	3.856	1.978	5.962	0.515	-3.656
24	62.5	63.5	0.885	1.042	2.311	-0.900	-1.865		61	60.0	60.0	0.231	0.728	1.196	-0.849	-0.805
25	60.0	63.0	-0.599	0.717	0.955	-1.455	-1.808		62	60.5	60.0	0.214	0.848	1.208	-1.334	-0.834
26	60.5	63.0	-0.503	0.917	1.486	-1.700	-2.170		63	61.0	60.0	1.482	1.708	4.661	-1.258	-1.462
27	61.0	63.0	-0.283	0.906	1.425	-1.339	-1.266		64	61.5	60.0	2.380	1.477	4.085	0.478	-3.949
28	61.5	63.0	-0.309	0.815	1.518	-1.470	-1.885		65	62.0	60.0	3.520	1.817	5.533	0.422	-3.091
29	62.0	63.0	0.603	1.400	2.507	-1.413	-3.268		66	62.5	60.0	3.213	1.716	5.804	0.092	-3.876
30	62.5	63.0	1.526	1.788	4.200	-1.063	-4.717					0.456	1.112	2.169	-1.180	-1.968
31	60.0	62.5	-0.634	0.626	0.072	-1.789	-1.570		Média			1.221	0.413	1.643	0.674	0.955
32	60.5	62.5	-0.283	0.970	1.289	-1.475	-2.293		Desvio P.			3.856	1.978	5.962	0.517	-0.535
33	61.0	62.5	-0.531	0.528	0.338	-1.191	-1.100		Máximo			-0.861	0.400	0.062	-1.945	-4.717
34	61.5	62.5	-0.632	0.543	0.062	-1.654	-1.301		Mínimo							
35	62.0	62.5	0.854	1.286	2.444	-1.291	-3.843									
36	62.5	62.5	2.114	1.503	3.723	-0.494	-3.094									
37	60.0	62.0	-0.542	0.609	0.189	-1.409	-1.339									

Tabela de estatísticas de FCO₂mar-ar para a Primavera, período 2000 a 2009

PONTO	LAT	LON	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND	PONTO	LAT	LON	FCO2MAR-AR	σ	MAX	MIN	TEND
	[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]		[°S]	[°W]	[gC/m2/mes]	[*]	[*]	[*]	[*/déc]
1	60.0	65.0	-0.288	1.007	2.046	-1.649	0.785	38	60.5	62.0	-0.587	1.230	1.452	-2.600	-1.189
2	60.5	65.0	-0.117	1.039	2.336	-1.653	0.445	39	61.0	62.0	-0.740	1.814	2.778	-3.066	1.085
3	61.0	65.0	-0.402	1.189	2.595	-1.690	-0.243	40	61.5	62.0	-0.286	1.806	2.722	-3.432	1.686
4	61.5	65.0	-0.379	0.906	0.920	-1.774	1.280	41	62.0	62.0	1.923	1.464	5.278	0.200	-2.576
5	62.0	65.0	0.133	3.000	7.670	-4.262	-3.210	42	62.5	62.0	2.980	1.301	5.240	1.659	-1.818
6	62.5	65.0	0.274	3.410	7.858	-6.086	-2.151	43	60.0	61.5	-0.604	0.803	0.743	-1.848	-0.354
7	60.0	64.5	-0.350	1.148	2.044	-1.906	0.198	44	60.5	61.5	-0.376	1.893	3.061	-2.751	-1.972
8	60.5	64.5	-0.316	1.005	2.228	-1.678	-0.039	45	61.0	61.5	-0.113	2.001	3.739	-2.591	-2.306
9	61.0	64.5	-0.502	0.892	1.504	-1.713	-0.294	46	61.5	61.5	0.497	1.759	3.274	-2.806	-0.216
10	61.5	64.5	-0.544	0.783	0.902	-1.780	0.606	47	62.0	61.5	1.157	1.552	3.630	-2.470	0.405
11	62.0	64.5	-0.254	2.057	3.761	-4.275	-1.169	48	62.5	61.5	2.989	1.133	5.024	1.608	-1.680
12	62.5	64.5	0.307	3.500	7.908	-6.100	-3.051	49	60.0	61.0	-0.607	0.841	0.600	-1.868	-1.896
13	60.0	64.0	-0.301	1.059	2.149	-1.713	0.196	50	60.5	61.0	-1.125	1.243	0.992	-3.310	-0.943
14	60.5	64.0	-0.518	1.089	2.225	-1.709	-0.232	51	61.0	61.0	-0.149	1.471	2.134	-2.862	-0.350
15	61.0	64.0	-0.688	0.512	-0.111	-1.734	0.240	52	61.5	61.0	0.871	1.874	3.529	-3.285	-1.114
16	61.5	64.0	-0.775	0.860	0.761	-1.785	0.638	53	62.0	61.0	2.195	1.331	4.936	-0.112	-1.917
17	62.0	64.0	-0.289	1.983	3.781	-4.281	-1.056	54	62.5	61.0	3.474	1.195	6.001	2.085	-1.815
18	62.5	64.0	0.429	2.676	3.760	-6.109	-0.543	55	60.0	60.5	-1.024	0.801	0.319	-2.091	-0.447
19	60.0	63.5	-0.564	0.768	0.873	-1.745	0.490	56	60.5	60.5	-0.774	1.573	2.479	-2.819	-0.893
20	60.5	63.5	-0.301	1.165	2.672	-1.782	-0.263	57	61.0	60.5	0.000	1.177	1.141	-3.010	0.767
21	61.0	63.5	-0.612	0.845	0.785	-2.221	1.219	58	61.5	60.5	0.851	1.214	3.155	-0.992	-1.286
22	61.5	63.5	0.063	0.856	0.968	-1.256	0.847	59	62.0	60.5	3.581	1.738	6.903	0.791	-3.094
23	62.0	63.5	0.373	1.787	3.803	-2.175	-0.267	60	62.5	60.5	3.511	1.535	6.574	1.345	-2.496
24	62.5	63.5	1.769	1.116	3.780	0.075	-0.944	61	60.0	60.0	-0.616	1.332	0.992	-3.451	0.505
25	60.0	63.0	-0.571	0.894	1.547	-1.775	-0.154	62	60.5	60.0	-0.201	1.259	1.130	-3.034	-0.703
26	60.5	63.0	-0.352	0.940	1.593	-1.859	0.700	63	61.0	60.0	1.292	2.794	8.521	-0.687	-5.155
27	61.0	63.0	-0.573	0.852	0.944	-1.725	0.753	64	61.5	60.0	2.238	2.230	7.125	-0.034	-3.072
28	61.5	63.0	-0.303	1.001	0.921	-1.794	1.563	65	62.0	60.0	3.833	1.530	7.208	1.812	-1.082
29	62.0	63.0	1.244	1.914	4.894	-1.505	-2.444	66	62.5	60.0	3.995	1.808	7.858	1.477	-2.424
30	62.5	63.0	2.072	1.248	4.569	0.968	-1.980	Média			0.403	1.401	3.099	-1.753	-0.724
31	60.0	62.5	-0.884	0.763	0.260	-1.834	0.732	Desvio P.			1.359	0.628	2.297	1.776	1.377
32	60.5	62.5	-0.619	0.835	0.957	-1.814	-0.137	Máximo			3.995	3.500	8.521	2.085	1.686
33	61.0	62.5	-0.013	1.335	2.657	-1.234	-1.799	Mínimo			-1.125	0.512	-0.111	-6.109	-5.155
34	61.5	62.5	-0.140	0.935	1.136	-1.360	-0.101								
35	62.0	62.5	1.450	1.482	4.963	-0.461	-1.678								
36	62.5	62.5	1.865	0.990	3.960	0.448	-0.539								
37	60.0	62.0	-0.935	0.904	0.384	-2.632	0.189								

* = gC/m2/mes

ANEXO 2A: Cálculo das áreas por quadrícula

ANEXO 2B: quadro de cálculo de fluxo total por quadrícula

quad	FLUXO LÍQUIDO:MÉDIA POR QUADRÍCULA [g.m ⁻² .mes ⁻¹]					(Km ² =10 ⁶ m ²)	FLUXO TOTAL POR QUADRÍCULA [10 ⁶ . g.mes ⁻¹]				
	VER	OUT	INV	PRI	ANO		VER	OUT	INV	PRI	ANO
1	-0.164	-0.383	-0.584	-0.268	-0.350	1534.1	-252	-588	-896	-411	-537
2	-0.416	-0.380	-0.517	-0.334	-0.412	1510.6	-629	-573	-781	-505	-622
3	-0.862	-0.348	-0.389	-0.456	-0.514	1487	-1282	-518	-579	-679	-765
4	-1.067	-0.580	0.093	-0.261	-0.454	1463.3	-1561	-848	136	-382	-664
5	-1.031	-0.703	0.548	0.115	-0.268	1439.5	-1484	-1012	789	165	-385
6	0.235	-0.472	-0.578	-0.371	-0.297	1534.1	361	-724	-886	-570	-455
7	-0.254	-0.397	-0.464	-0.506	-0.405	1510.6	-384	-600	-700	-764	-612
8	-0.670	-0.424	-0.495	-0.627	-0.554	1487	-996	-631	-736	-933	-824
9	-0.989	-0.685	-0.094	-0.466	-0.558	1463.3	-1447	-1002	-138	-681	-817
10	-1.033	-0.680	0.470	0.048	-0.299	1439.5	-1488	-979	676	70	-430
11	0.492	-0.571	-0.482	-0.421	-0.245	1534.1	754	-875	-739	-646	-376
12	-0.289	-0.519	-0.412	-0.530	-0.437	1510.6	-436	-784	-622	-800	-661
13	-0.536	-0.533	-0.624	-0.503	-0.549	1487	-797	-793	-928	-748	-817
14	-0.782	-0.588	-0.256	-0.157	-0.446	1463.3	-1145	-860	-374	-230	-652
15	-0.808	-0.599	0.484	0.571	-0.088	1439.5	-1163	-863	697	821	-127
16	0.579	-0.494	-0.462	-0.447	-0.206	1534.1	888	-758	-709	-685	-316
17	-0.161	-0.616	-0.364	-0.459	-0.400	1510.6	-243	-930	-550	-694	-605
18	-0.327	-0.456	-0.442	-0.356	-0.395	1487	-486	-677	-657	-530	-588
19	-0.510	-0.453	-0.022	0.344	-0.160	1463.3	-746	-663	-31	504	-234
20	-0.548	-0.536	0.831	1.364	0.278	1439.5	-789	-771	1197	1964	400
21	0.415	-0.553	-0.505	-0.606	-0.312	1534.1	637	-848	-774	-930	-479
22	-0.129	-0.679	-0.400	-0.389	-0.399	1510.6	-195	-1026	-604	-588	-603
23	-0.301	0.513	-0.439	-0.257	-0.378	1487	-447	-763	-652	-383	-561
24	-0.440	-0.335	0.129	0.563	-0.021	1463.3	-644	-490	189	824	-30
25	-0.455	-0.131	1.274	1.658	0.586	1439.5	-655	-189	1835	2386	844
26	0.073	-0.341	-0.407	-0.756	-0.358	1534.1	112	-523	-625	-1160	-549
27	-0.263	-0.561	-0.360	-0.490	-0.419	1510.6	-398	-848	-544	-740	-632
28	-0.483	-0.554	-0.371	-0.295	-0.426	1487	-718	-824	-551	-438	-633
29	-0.456	-0.020	0.486	0.737	0.187	1463.3	-668	-29	712	1078	273
30	-0.360	0.328	1.749	2.054	0.943	1439.5	-519	473	2517	2957	1357
31	0.208	-0.039	-0.364	-0.625	-0.205	1534.1	320	-61	-559	-960	-315
32	-0.187	-0.307	-0.277	-0.454	-0.306	1510.6	-282	-464	-418	-686	-463
33	-0.314	-0.187	0.096	-0.160	-0.141	1487	-468	-278	143	-239	-210
34	-0.138	0.499	1.145	0.823	0.582	1463.3	-202	730	1676	1204	852
35	0.112	0.897	2.189	2.262	1.365	1439.5	162	1291	3151	3256	1965
36	0.455	-0.112	-0.357	-0.678	-0.173	1534.1	698	-171	-548	-1040	-265
37	-0.161	-0.201	-0.105	-0.441	-0.227	1510.6	-244	-304	-159	-666	-343
38	-0.137	0.108	0.528	0.277	0.194	1487	-203	160	784	411	288
39	0.198	0.974	1.580	1.180	0.983	1463.3	290	1426	2312	1727	1438
40	0.414	1.488	2.521	2.454	1.719	1439.5	597	2141	3629	3532	2475
41	0.703	-0.220	-0.247	-0.883	-0.161	1534.1	1079	-337	-378	-1354	-248
42	0.290	-0.263	0.153	-0.512	-0.083	1510.6	438	-398	231	-773	-126
43	0.258	0.229	0.927	0.393	0.452	1487	384	340	1379	585	672
44	0.553	1.139	1.894	1.874	1.365	1463.3	809	1667	2771	2743	1997
45	0.625	2.111	2.884	3.190	2.202	1439.5	900	3038	4152	4592	3170
46	0.784	-0.351	0.036	-0.654	-0.046	1534.1	1203	-538	55	-1003	-71
47	0.665	-0.449	0.562	0.079	0.215	1510.6	1005	-678	850	120	324
48	0.704	0.285	1.541	1.095	0.906	1487	1047	424	2291	1629	1348
49	1.026	1.295	2.504	2.625	1.863	1463.3	1502	1896	3663	3842	2726
50	2.620	1.240	2.280	3.228	3.730	1439.5	1785	3282	4647	5369	3771
						TOTAL (media mensal)	-6003	-7349	25340	19561	7887
						sazonal (3meses)	-18009	-22047	76020	58684	
						ANUAL (12meses)					94648