



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Elaine Alves dos Santos

**Razão isotópica de Sr/Nd e composição elementar em aerossóis
identificando fontes e potencial processo de fertilização no Atlântico Sul**

Rio de Janeiro

2014

Elaine Alves dos Santos

Razão isotópica de Sr/Nd e composição elementar em aerossóis identificando fontes e potencial processo de fertilização no Atlântico Sul



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Biociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Claudio de Morisson Valeriano

Rio de Janeiro

2014

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CB-A

S237 Santos, Elaine Alves dos.

A Razão isotópica de Sr/Nd e composição elementar em aerossóis identificando fontes e potencial processo de fertilização no Atlântico Sul / Elaine Alves dos Santos. – 2014.

170 f.

Orientador: Heitor Evangelista da Silva.

Coorientador: Claudio de Morisson Valeriano.

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. Pós-graduação em Biociências.

1. Aerossóis - Aspectos ambientais - Teses. 2. Aerossóis Antártida - Teses. 3. Mudanças climáticas - Atlântico Sul, Oceano. 4. Atmosfera - Transporte - Teses. 5. Monitoramento ambiental - Teses. 6. Patagônia (Argentina e Chile). 7. Marcação por Isótopo - Instrumentação. I. Silva, Heitor Evangelista da. II. Valeriano, Claudio de Morisson. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. IV Título.

CDU 544.772

Autorizo apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Elaine Alves dos Santos

Razão isotópica de Sr/Nd e composição elementar em aerossóis identificando fontes e potencial processo de fertilização no Atlântico Sul

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Biociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 21 de Agosto de 2014.

Orientador: Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Coorientador: Claudio de Morinson Valeriano
Universidade do Estado do rio de Janeiro - UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva
Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes – UERJ

Prof. Dr. Miguel Antonio Tupinamba Araujo Souza
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Sambasiva Rao Patchineelam
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Abdelfettah Sifeddine
Universidade Federal Fluminense

Rio de Janeiro

2014

DEDICATÓRIA

Ao meu amado Griebeler por ter vivido minhas alegrias e angústias e sempre ter me transmitido esperança e otimismo nos momentos difíceis. Por ter aceitado a distância física que nos separou para que eu pudesse concretizar este objetivo. E o mais importante por me fazer muito feliz. E com um carinho especial para nosso filhinho Thales que foi nosso maior presente. Aos meus amados, pais Eduardo e Elizabetepor sempre acreditarem junto comigo nos meus ideais. Por terem apoiado as minhas decisões e o meu tempo, sempre. Agradeço imensamente o apoio no cumprimento de mais esta etapa. As minhas queridas irmãs Elisiane e Eduarda pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Melhor que buscar o conhecimento é encontrar parcerias que tornam esse momento agradável. Algumas pessoas se tornaram muito especiais para a consolidação da minha formação pessoal e profissional, porque nos ajudam na construção de um projeto, outras porque nos apresentam oportunidades de aprendizagem e crescimento e outras ainda porque nos motivam a construí-los. Sendo assim, a vocês meus sinceros agradecimentos.

A Deus especialmente por me abençoar todos os dias me proporcionando experiências para me tornar uma pessoa mais corajosa, paciente e forte para enfrentar os problemas e seguir em frente e principalmente pelos momentos de felicidades. Ao Espírito Santo, Consolador que me ajuda a enxergar escapes e saídas em momentos de tribulação. Parceria excelente para seguir em frente! Muito obrigada Pai celestial por ter sido meu bom pastor.

Aos meus familiares e amigos, por se preocuparem e também incentivarem alcançar voos cada vez mais altos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Heitor Evangelista da Silva, por entregar em minhas mãos um projeto tão bonito e por todas as oportunidades oferecidas. Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Claudio Valeriano por acreditar que eu poderia atender as expectativas do projeto no seu laboratório, pelos ensinamentos e por todo o suporte necessário dado pelo LAGIR para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao Gilberto Vaz e Carla Neto que estavam sempre aptos a me auxiliar de forma incondicional durante as análises e que desenvolvi profunda admiração com a forma como conduzem a rotina laboratorial com técnica e conhecimento científico.

Ao professor Ricardo Godoi pela recepção no seu laboratório na UFPR e sua equipe de alunos que me fizeram com que em pouco tempo eu aprendesse muito. Os 4 cruzeiros a Antártica me remetem automaticamente ao esforço da tripulação para que os experimentos tivessem êxito, então dedico profundos agradecimentos aos navios Ary Rongel e Almirante Maximiano além do amplo apoio da inesquecível equipe de oceanografia da FURG pela parceria de trabalho no PATEX 7. Em todos excelentes recordações de profundo conhecimento e sorrisos. A APECS- Brasil pois em momentos decisivos teve um peso importante pelo simples fato de me alocar em salas de aula desempenhando projetos com os quais me sinto profundamente abençoada.

Aos amigos por estarem sempre dispostos a me ajudar, sendo fundamentais e com quem tenho o prazer de dividir experiências, objetivos e projetos de vida e pesquisa como Tatiana Oliveira, Alessandra Mendonca, Letícia Melo, Castagna, Anne, Cataldo, Alencar, Saulo, Bia, Eduardo Sodre, Luciane (a Lu), e ao professor amigo Antonio Carlos de Freitas.

Serei eternamente grata a vocês!!!

Paciência: O intervalo entre a semente e a flor.

(Ana Jácomo)

RESUMO

SANTOS, Elaine Alves. **Razão isotópica de Sr/Nd e composição elementar em aerossóis identificando fontes e potencial processo de fertilização no Atlântico Sul**. 2014. 170 f. Tese (Doutorado em Biociências)-Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Devido às condições semi-áridas da Patagônia, a emissão de poeira mineral, é um processo importante ocasionada pelos ventos de oeste dominantes responsáveis pelos depósitos no Oceano Atlântico Sul e no gelo da Antártica. Amostras de aerossóis, coletadas a bordo do navio polar Almirante Maximiano em cruzeiros ao longo da Patagônia foram analisados para isótopos de Sr e Nd. Na caracterização elementar representada por metais traço e terrígenos funcionando em adição como indicadores de transporte continental além de contribuir para a determinação de elementos que atuam diretamente na atividade fotossintética. Para determinar efetivamente a assinatura isotópica foi feito um extenso inventário de América do Sul e do continente antártico, totalizando 583 locais investigados. A partir de coleta de água na Quebra da Plataforma Argentina durante 6 estações oceanográficas realizadas a bordo do navio de apoio oceanográfico Ary Rongel foi feito intenso estudo atmosférico para avaliar a influência na concentração de clorofila-*a*. Todos os resultados serão associados aos estudos climatológicos a partir de modelagem atmosférica as retro-trajetórias obtidas através do modelo *HYSPLIT* da NASA e outros sensores de satélite. O conjunto de dados obtidos implicarão na acurácia dos modelos climáticos e principalmente contribuir para a compreensão quanto ao limite latitudinal das áreas fonte que aportam, significativamente, material particulado e elementos traço para o manto de gelo antártico.

Palavras-chave: Patagônia. Aerossóis. Razão Sr/Nd. Metais. Poeira mineral. Produtividade primária.

ABSTRACT

SANTOS, Elaine Alves. *Isotope ratio of Sr / Nd and elemental composition aerosols identifying potential sources and fertilization process in the South Atlantic*. 2014. 170 f. Tese (Doutorado em Biociências). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Due to arid conditions of Patagonian desert, the emission of mineral dust, is an important process caused by dominant winds responsible for deposited in the South Atlantic Ocean and the Antarctic ice. Aerosol samples collected aboard the Polar ship Admiral Maximiancruise along the Patagonia have their origin determined by Sr and Nd isotopes. In the elementary characterization represented by trace metals and functioning as indicators of terrigenous continental transport and contribute to the determination of elements that act directly on photosynthetic activity. To effectively determine the isotopic signature was made an extensive inventory of South America and the Antarctic continent, totaling 583 sites investigated. From sampling water in south of Argentine Shelf Break Platform for 6 oceanographic stations carried on board the oceanographic vessel Ary support Rongel intense atmospheric study was done to evaluate the influence of the concentration of chlorophyll-a. All results will be associated with climatological studies from atmospheric modeling the retro-trajectories obtained from NASA through the HYSPLIT model and other satellite sensors. The data set obtained imply the accuracy of climate models and mainly contribute to the understanding about the latitudinal limits of source areas, significantly, they provide particulate matter and trace elements for the Antarctic ice sheet.

Keywords: Patagonia. Aerosols. Ratio Sr/Nd. Metals. Mineral Dust. Primary productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Registro do testemunho de gelo de Vostok engloba o período de 400kyr....	17
Figura 2-	Situação de gelo na Antártica e aridez no semi-deserto da Patagônia.....	18
Figura 3-	Comparação entre a razão isotópica de Sr e Nd	20
Figura 4-	Contribuição relativa do aporte de poeira mineral.....	22
Figura 5-	Simulação da média de poeira anual.....	23
Figura 6-	Modelo conceitual desta proposta de trabalho.....	25
Figura 7-	Imagem do satélite Modis.....	27
Figura 8-	Fluxograma informativo.....	30
Figura 9-	Cruzeiros oceanográficos visando a amostragem de aerossóis	33
Figura 10	Pontos das estações oceanográficas durante o cruzeiro PATEX VII.....	35
Figura 11-	Detalhamento dos componentes do sistema de amostragem.....	37
Figura 12-	Espectrômetro de massa.....	41
Figura 13-	Quadro esquemático sintético	42
Figura 14-	Média da composição isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $\epsilon\text{Nd}(0)$	45
Figura 15-	Espectrômetro de bancada por Fluorescência de Raios-X.....	46
Figura 16-	Interpolação linear	49
Figura 17-	Sistema Roseta-CTD.....	53
Figura 18-	Pontos de coleta	55
Figura 19-	Seleção de retro – trajetórias de massas de ar.....	56
Figura 20-	Composição mensal da concentração de clorofila- <i>a</i>	57
Figura 21-	Composição mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> - 2010	58
Figura 22-	Seleção de retro – trajetórias de massas de ar -2011	59
Figura 23-	Composição mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> 2011.....	59
Figura 24-	Seleção de retro-trajetórias de massas de ar -2012.....	60
Figura 25-	Seleção de retro – trajetórias 2012.....	61
Figura 26-	Composição mensal da concentração de clorofila- <i>a</i> -2011.....	62
Figura 27-	Pontos de coleta de aerossóis.....	64
Figura 28-	Mapa ilustrativo do inventário.....	66
Figura 29-	Mapa ilustrativo do inventário.....	67
Figura 30-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S695.....	68

Figura 31-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S696.....	69
Figura 32-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S697.....	70
Figura 33-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S698.....	71
Figura 34-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S699.....	72
Figura 35-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S701.....	73
Figura 36-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S666.....	74
Figura 37-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S671.....	75
Figura 38-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S706.....	76
Figura 39-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S708.....	77
Figura 40-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S713.....	78
Figura 41-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S667.....	79
Figura 42-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S669.....	80
Figura 43-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S704.....	81
Figura 44-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S711.....	82
Figura 45-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S709.....	83
Figura 46-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S674.....	84
Figura 47-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S630.....	85
Figura 48-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S631.....	86
Figura 49-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S632.....	87
Figura 50-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S634.....	88
Figura 51-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S665.....	89
Figura 52-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra S663.....	90
Figura 53-	Trajectoria realizada pelo navio_Amostra 633.....	91
Figura 54-	Base de dados do inventário das PSA.....	92
Figura 55-	Base de dados do inventário das PSA e resultados sobrepostos.....	93
Figura 56-	Simulação da emissão da pluma vulcânica do Planchon-Peteroa.....	95
Figura 57-	Simulação da emissão da pluma vulcânica do Puyehue-Cordón Caulle.....	96
Figura 58-	Fluxograma da técnica EDX/IDAS.....	98
Figura 59-	Análise de agrupamento para clorofila- <i>a</i>	102
Figura 60-	Imagem eletrônica do fitoplankton	103
Figura 61-	Frequência relativa retro- trajetórias.....	104
Figura 62-	Mapade AOD.....	104
Figura 63-	Índice de Aerossol (AI).....	106

Figura 64-	Média OMI AI sobre o local de estudo 2004-2013.....	107
Figura 65-	Séries temporais de concentração de clorofila- <i>a</i>	108
Figura 66-	Gráfico sintético dos resultados.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	Aerosol índice
Al	Alumínio
ANBC	Alta concentração de nutrientes e baixa concentração de clorofila
AOD	Profundidade ótica do aerossol
Ca	Calcio
Cl	Cloro
CO ₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
EPICA	<i>European Project for Ice Coring in Antarctica</i>
Fe	Ferro
FeII	Óxido de ferro (II)
FeIII	Óxido de ferro (III)
FRX	Fluorescência de raios X
GFDL	<i>Fluid Dynamics Laboratory Atmospheric Model</i>
GFDLS	<i>Modelo de circulação geral da atmosfera -stateof-art</i>
HYSPLIT	<i>Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory</i>
IDAS	Sistema Integrado de Análise de Dados
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Painel Intergorvenamental sobre Mudanças Climáticas</i>
LAMIR	Laboratório de Análises de Minerais e Rochas
LGM	<i>Last glacial maximum</i>
MC	Corrente das Malvinas
Mg	Magnésio
MITAC	Centro de análises micro e traço
Nd	Neodmio
Ni	Níquel
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
P	Fosforo
PATEX	<i>Patagonian Experiment</i>
Pb	Chumbo

PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
PSA	Potenciais áreas fontes
S	Enxofre
SeaWiFS	<i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i>
Si	Silício
Sr	Estrôncio
SSPA	Setor sul da Quebra da Plataforma Argentina
Ti	Titânio
V	Vanádio
Z	Zinco
AI	<i>Aerosol index</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	16
1	OBJETIVOS	31
1.1	Geral	31
1.2	Especificos	32
2	MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1	A coleta de aerossóis	36
2.2	Abertura química das amostras para análise isotópica	37
2.3	Procedimentos para separação de Sr e ETR em colunas primárias	38
2.4	Separação química de ETR	39
2.5	Análise por espectrometria de ionização térmica	39
2.6	Rotina de análise espectrométrica do método Sm-Nd	40
2.7	Rotina de análise espectrométrica do método Sr-Sr	42
2.8	Correção granulométrica na razão isotópica de Sr	43
2.9	Caracterização elementar dos aerossóis por fluorescência de raios-X	45
2.9.1	<u>Caracterização da origem das massas de ar durante o período de coleta de aerossóis</u>	47
2.9.2	<u>Estimativa da concentração de clorofila- <i>a</i> para a associação com os metais</u>	49
2.9.3	<u>Estimativa do <i>Aerosol Index</i> (AI)</u>	50
2.9.4	<u>Ajuste <i>lognormale</i> intervalo de confiança</u>	51
2.9.5	<u>Coleta de água durante as estações oceanográficas</u>	52
3	RESULTADOS	54
3.1	Análise de composição elementar dos aerossóis sobre o Atlântico Sul e Oceano Austral	54
3.2	Isótopos radiogênicos de Sr e Nd: inventários e assinatura atmosférica	63
3.3	Inventário de assinaturas isotópicas para América do Sul e Antártica	65
34	Eventos de transporte e associação isotópica	67

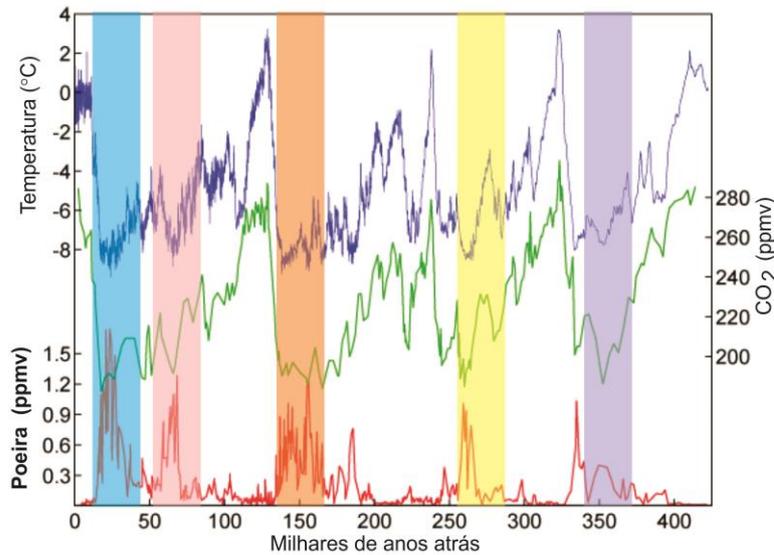
3.5	Estudo dos resultados por regiões geográficas	91
3.6	Influencia do vulcanismo andino	94
3.7	Determinação elementar e mineralógica.....	97
3.8	A análise da associação entre a clorofila -a e os metais traço	99
3.9.	Determinação na fonte de partículas e dados auxiliares	99
3.9.1	<u>Clorofila-a, cocolitoforideos e micropartículas insolúveis na coluna d'água</u>	100
3.9.2	<u>As fontes de particulados para a SSPA</u>	103
3.9.3	<u>Comportamento temporal Clorofila-a durante as estações oceanográficas</u>	107
4	DISCUSSÃO	109
	CONCLUSÃO	112
	REFERENCIAS	113
	ANEXO A - Dados referentes aos cruzeiros 2010, 2011 e 2012	122
	ANEXO B - Sequência de resultados da caracterização química	128
	ANEXO C - Inventário com as razões isotópicas da América do Sul	132
	ANEXO D - Sequência de resultados das análises de metais	162
	ANEXO E - Dados de concentração de clorofila-a	170

INTRODUÇÃO

A poeira continental transportada pela atmosfera pode ser usada como traçador da dinâmica das massas de ar (DELMONTE *et al.*, 2004) e servir como indicador de regimes climáticos de suas áreas fonte (WEBER *et al.*, 2012; CHOOBARI *et al.*, 2014). A presença de poeira na atmosfera exerce considerável influência sobre o clima, processos biogeoquímicos e na qualidade do ar (IPCC, 2007), que de forma geral (1) espalha e/ou absorve a radiação solar; (2) está relacionada a formação de nuvens; (3) considerando-se que cerca de 25% da emissão global depositada sobre os oceanos (RODRÍGUEZ *et al.*, 2012), esta potencialmente desempenha papel no suprimento de nutrientes para as águas superficiais oceânicas podendo aumentar a produtividade biológica (DUCE & TINDALE, 1991; GROUSSET & BISCAIYE, 2005; LEE *et al.*, 2010; CHOOBARI *et al.*, 2014). Este último com consequências sobre o ciclo global do CO₂.

A fim de se compreender as análises atuais sobre a dinâmica dos aerossóis na atmosfera é interessante levantar um histórico sobre como era no passado e neste sentido a estratigrafia e a química do gelo polar constituem os melhores arquivos sobre a evolução do clima e da atmosfera ao longo de milhares de anos provendo dados com resolução sazonal. Um dos primeiros registros sobre a deposição de poeira em escala intercontinental está registrado nos testemunhos de gelo de Vostok e Dome-C, ambos estão entre os mais antigos testemunhos datados na Antártica. A partir do testemunho de Vostok destacamos a variabilidade da poeira mineral encontrada na granulometria de 2µm com proveniência característica continental (figura 1). PETIT (1999) sugere que a fonte de poeira neste testemunho localizado no planalto leste da Antártida possa ser a América do Sul, provavelmente a planície da Patagônia. O outro importante testemunho de gelo datado de 740.000 anos, o Dome C do projeto *European Project for Ice Coring in Antarctica* (EPICA) localizado no platô Antártico revelou através de análise de Pb na poeira mineral depositada, que a América do Sul pode ter sido importante fonte de micropartículas para o setor Leste da Antártica durante os dois últimos máximos glaciais (VALLELONGA *et al.*, 2010).

Figura 1 - Registro do testemunho de gelo de Vostok engloba o período de 400kyr.



Fonte: Adaptado de PETIT, 1999

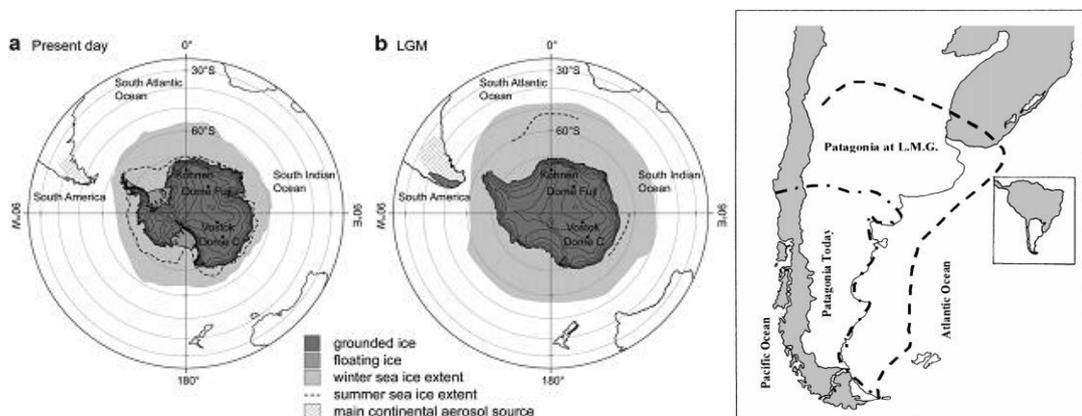
De acordo com a composição isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ dos testemunhos de Vostok e Dome- C, BASILE (1997) categorizou a África do Sul, Austrália e América do Sul como áreas fontes potenciais (PSA) para explicar a poeira mineral depositada no gelo de ambos os testemunhos. O resultado desta intercomparação determinou a predominância da América do Sul (especificamente a Patagônia) como maior responsável pelo aporte de poeira. As assinaturas isotópicas dos outros continentes não se ajustam as assinaturas dos testemunhos.

IRIONDO (2000) cita o trabalho de BASILE (1997) com os dois testemunhos e explica essa predominância de aerossóis que chegam a Antártica em função dos ventos de oeste (*westerlies*). Os *westerlies* são formados por estruturas ciclônicas, que normalmente elevam as massas de ar e aerossóis para a troposfera superior. Lá, os fenômenos de compensação em massa ocorrem juntamente com o anticiclone Antártico, que (como qualquer anticiclone) arrasta o ar e os aerossóis para a superfície. Grandes quantidades de sedimentos superficiais soltos e poeira atmosférica típicos da Patagônia podem facilmente ser carregados pelo vento a partir desse mecanismo. A Patagônia é a única massa de terra considerável localizado na faixa de ventos de oeste no hemisfério sul. A circulação atmosférica da Austrália e África do Sul não é favorecida quanto ao carregamento de aerossóis para a

Antártica, porque esses territórios estão localizados no cinturão de alta pressão subtropical (IRIONDO, 2000).

Durante o período glacial a área da Patagônia compreendia o dobro dos tempos atuais (figura 2). O rebaixamento do nível do mar e a mudança do clima na Patagônia promoveu o aumento de cerca de 1 milhão de km de superfície até o presente. A principal característica ambiental da região era a secura do ar, o que impedia o crescimento de vegetação arbórea e do desenvolvimento de geleiras no arquipélago das Malvinas / Falkland (IRIONDO, 2000).

Figura 2 - Situação de gelo na Antártica e aridez no semi-deserto da Patagônia



Nota: Direita: detalhamento da área fonte de poeira mineral na Patagônia durante o LG

Fonte: IRIONDO (2000).

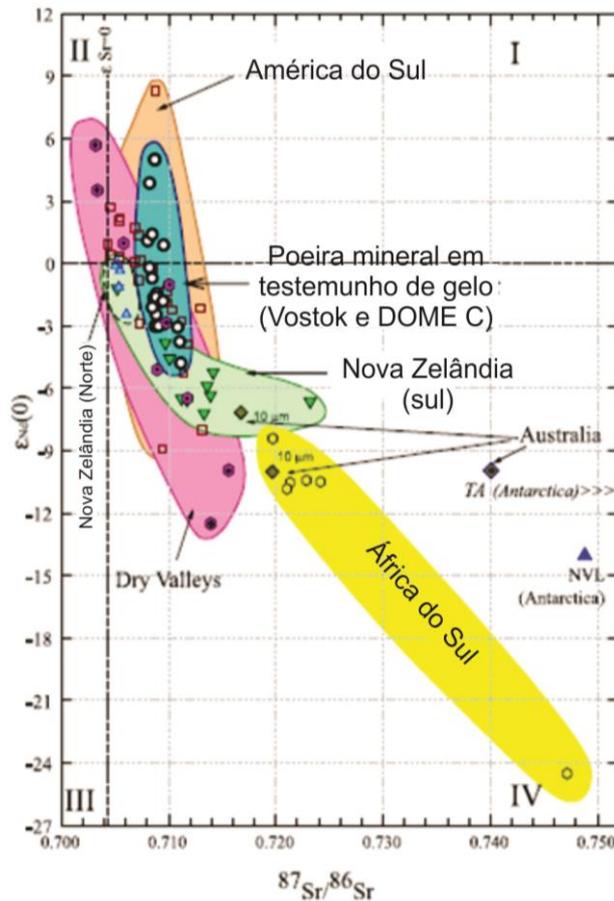
Para identificar a proveniência continental das massas de ar em lugares remotos vários autores utilizaram traçadores tais como o *black carbon* e o ^{222}Rn (PEREIRA *et al.*, 2006), o elemento Pb (GROUSSET & BISCAYE, 2005) e metais como Fe, Si, Ti e Al (DAMMSHÄUSER *et al.*, 2008). Entretanto, tais traçadores apenas indicam a influencia continental como um todo, sem especificação regional na maioria dos casos. Neste contexto, a combinação das assinaturas dos isótopos radiogênicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ é uma das mais qualificadas, devido, entre outros fatores, suas razões típicas em determinados domínios geológicos (LEE *et al.*, 2010). Essas razões não estão sujeitas ao fracionamento isotópico decorrente do intemperismo quando aplicado aos estudos de curta escala de tempo (GAIERO *et al.*, 2004). Além disso, a composição dos isótopos radiogênicos de Sr e Nd da litosfera são significativamente diferentes do manto, o que permite a distinção entre as suas origens

litológicas das zonas vulcânicas jovens e dos velhos escudos continentais, (GROUSET & BISCAYE, 2005).

As características isotópicas do Nd além do comportamento geoquímico deste elemento tem ampla aplicação em estudos petrogenéticos (GERALDES, 2010) e se comparados com o método Sr/Sr podemos determinar a origem do material particulado nas amostras (GROUSSET & BISCAYE, 2005; DELMONTE *et al.*, 2004). Os minerais e as rochas tem razões distintas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, de acordo com a derivação geológica. Estas razões isotópicas estão menos sujeitas a outras interferências e fontes do que os elementos químicos como o Fe, Ti e Al. No estudo hidrológico as diferenças na composição isotópica do Sr e Nd no material particulado em suspensão carregados pelos rios que alimentam os oceanos, revelam uma sobreposição da assinatura, refletindo a heterogeneidade das rochas fontes na escala de cada bacia de drenagem (WALTER *et al.*, 2000; GOLDSTEIN & JACOBSEN, 1988). Da mesma forma para o estudo das poeiras na atmosfera derivadas da erosão eólica dos terrenos aflorantes, sua assinatura isotópica pode exibir a mesma heterogeneidade. Entretanto, LEE (2010) determinou a proveniência de poeira mineral sobre a região da Coreia Ocidental durante o período de intensas tempestades de areia a partir de isótopos de Sr–Nd, imagens de satélite, retro- trajetórias além de inferir sobre a produtividade primária oceânica local.

Aerossóis podem alcançar distâncias intercontinentais especialmente na fração fina (< 2 μm). Isto sugere que houve necessidade de um período maior para a poeira chegar no interior da Antártica, porque as partículas menores tendem a ser removidos mais lentamente durante o transporte devido ao assentamento gravitacional e, assim, tem um maior tempo de vida durante o transporte na atmosfera (LI *et al.*, 2010). A análise de poeira no testemunho de gelo Dome-C no Leste da Antártica indicou que a área fonte de poeira durante o Último Máximo Glacial era indubitavelmente a Patagônia e Argentina (BASILE *et al.*, 1997; SMITH *et al.*, 2003). Este resultado corroborado por DELMONTE (2004) que revisou os dados das potenciais áreas fontes de aerossóis da América do Sul especialmente para o setor Leste da Antártica para comparação com os resultados dos testemunhos de gelo além de padronizar a granulometria das amostras para até 5 μm a fim de se aproximar da granulometria encontrada no gelo da Antártica. Em seus resultados, África do Sul e Austrália foram excluídas como fontes dominantes de aerossóis, mas existe uma pequena fração destes que podem ser detectados através das sobreposições de PSA (figura 3).

Figura 3 - Comparação entre a razão isotópica de Sr e Nd



Fonte: DELMONTE *et al.*, 2004

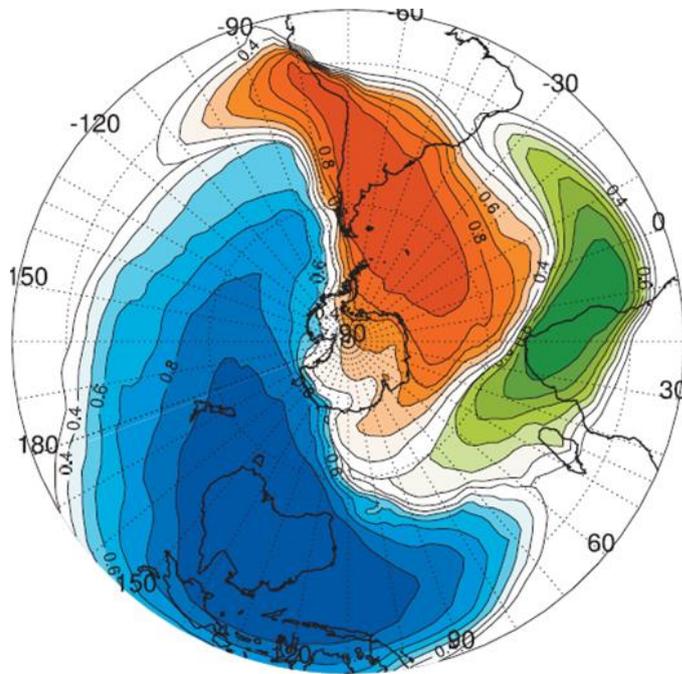
Apesar da Patagônia ser intensamente estudada e citada como fonte principal de aerossóis para o Atlântico Sul e Antártica, testemunhos de gelo também evidenciam um claro registro da variabilidade interanual do ciclo das queimadas na América do Sul, especialmente na Bacia Amazônica, no gelo da Antártica (MOUILLOT & FIELD, 2005) e levantam questões sobre as fontes de poeiras na América do Sul, ou seja, sobre uma contribuição do aporte de material particulado de zonas tropicais sobre o manto de gelo Antártico. Assim persistem, ainda, dúvidas quanto ao limite latitudinal das áreas fonte que aportam, significativamente, materiais particulados e elementos traço para o manto de gelo antártico (GAIERO *et al.*, 2007). As localizações das áreas de origem da poeira emanadas da América do Sul para a Antártica estão ainda sujeitas a debates (GAIERO, 2007; SUGDEN *et al.*, 2009; WALTER *et al.*, 2000; BORY *et al.*, 2010; DELMONTE *et al.*, 2010; WEBER *et al.*, 2012).

O nível de detalhamento para o período interglacial (ou seja, quando depósitos de poeira no gelo Antártico são baixos) é bastante escasso quando comparado ao glacial (DELMONTE *et al.*, 2008). Além disso, há um relativo desconhecimento da alteração dos padrões de circulação atmosférica na escala milenar, que modulam fluxos de poeira mineral no interior continental da Antártica. Vale ressaltar que a existência de um “forte sinal” da América do Sul no gelo da Antártica, evidenciada pela análise dos isótopos radiogênicos, faz do continente antártico um “potencial testemunho” da variabilidade ambiental/climática do Hemisfério Sul. Portanto o gelo Antártico constitui-se em importante registro paleoclimático de interesse para o Brasil.

As determinações das razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ sobre o conteúdo mineral nos depósitos glaciais tem sido considerado fator chave para a compreensão de condições climáticas pretéritas (VALLELONGA *et al.*, 2010). O registro glaciológico mostra que o fluxo de aerossóis varia grandemente na escala milenar e depende das variações na intensidade dos ventos de superfície e nas extensões das regiões áridas na escala glacial-interglacial (GROUSSET & BISCAYE, 2005). Atualmente, a resposta a esta questão tornou-se mais elaborada, em virtude de inventários mais detalhados, melhor caracterização das áreas fonte emissoras (GAIERO, 2007) e uso de modelos numéricos de transporte sofisticados (LI *et al.*, 2008). A maioria das análises das amostras de gelo da Antártica indicam que a poeira se origina essencialmente da América do Sul (especificamente Patagônia) com uma pequena fração de outras fontes (por exemplo, pelo menos 85% de poeira no núcleo de gelo Vostok é da Patagônia (GROUSSET *et al.*, 1992; BASILE *et al.*, 1997; DELMONTE *et al.*, 2004; MCCONNELLE *et al.*, 2007). No entanto, outros estudos parecem contradizer estes resultados, em especial, sobre a contribuição das fontes de poeira australianas. GAUDICHET (1992) e REVEL-ROLLAND (2006) mostraram que a origem da poeira no leste da Antártida podem mudar com o clima, com maior contribuição da Austrália no clima atual. LI (2008) quantificou a contribuição de cada fonte continental (Austrália, América do Sul e África do Sul) sobre a emissão, a distribuição de concentração, massa e deposição de poeira no Oceano Austral e da Antártica, utilizando o modelo de circulação geral da atmosfera GFDL *state-of-art*. O resultado da modelagem corroborou com os resultados analíticos de estudos anteriores quanto a predominância da América do Sul, porém as simulações incluíram Austrália como segunda principal fonte de deposição de poeira para a Antártica, mas restrita ao setor compreendido entre 120°E- 60°W do continente antártico além de parte do oceano Pacífico

enquanto a contribuição da África do Sul é desprezível para oceano Austral e Antártica (figura 4).

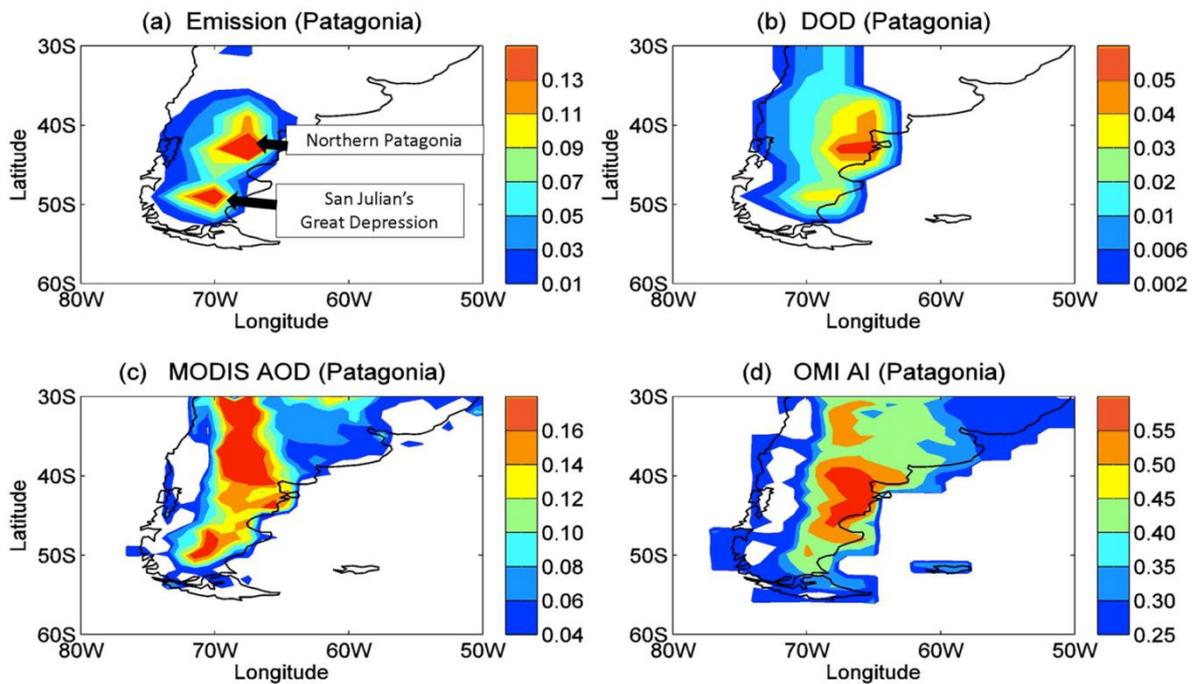
Figura 4 - Contribuição relativa do aporte de poeira mineral



Fonte: LI *et al.*, 2008.

LI (2008) teve como foco as características gerais de poeira no Hemisfério Sul e LI (2010) identificou as áreas da Patagônia de acordo com a emissão de poeira a partir dos modelos *Fluid Dynamics Laboratory Atmospheric Model* (GFDL), retro- trajetórias de massas de ar calculadas a partir do modelo *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT) e dados obtidos através de sensores de satélite. No presente estudo, foram caracterizadas duas fontes emissoras predominantes na Patagônia: Norte da Patagônia e Depressão de San Julian (figura 5).

Figura 5 - Simulação da média de poeira anual



Legenda: A – n emissão de poeira ($\text{kg m}^{-2} \text{ano}^{-1}$); B – profundidade ótica de poeira; C – profundidade ótica de aerossóis; D – índice de aerossol .

Fonte: SANTOS, 2014

O estudo dos metais traçadores no gelo e aerossóis Antárticos é importante, não somente pela evidência de transporte atmosférico continental, mas por esses metais conterem micronutrientes essenciais (inclusive Fe) para as águas remotas. ARTAXO (1992) identificou cerca de 23 elementos em suas coletas na península Antártica e constatou que partículas finas eram consideradas poeira mineral com proveniência continental enquanto as partículas mais grosseiras eram apenas sal marinho além disso a presença de metais pesados o que pode ser justificado a emissão por poluentes provenientes do continente mais próximo.

CATALDO (2013) apresentou dados da variabilidade da poeira mineral incluindo Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn e Pb depositada no testemunho de gelo coletado em Mount Johns ($79,55^{\circ}\text{S}$, $94,23^{\circ}\text{W}$), na Antártica Ocidental abrangendo as últimas cinco décadas. Os resultados permitiram identificar que os diâmetros destas micropartículas insolúveis presentes no testemunho são significativamente correlacionadas com a intensidade do vento em torno da Antártica e que ocorreu um pequeno declínio se comparado com MCCONNELL (2007) que indicou aumento de deposição poeira na Ilha James Ross a partir de meados do século 20 até o presente. Independente da contradição o

importante é verificar que esses particulados traçadores são provenientes de regiões continentais para regiões remotas e que tem grande probabilidade de ser da América do Sul.

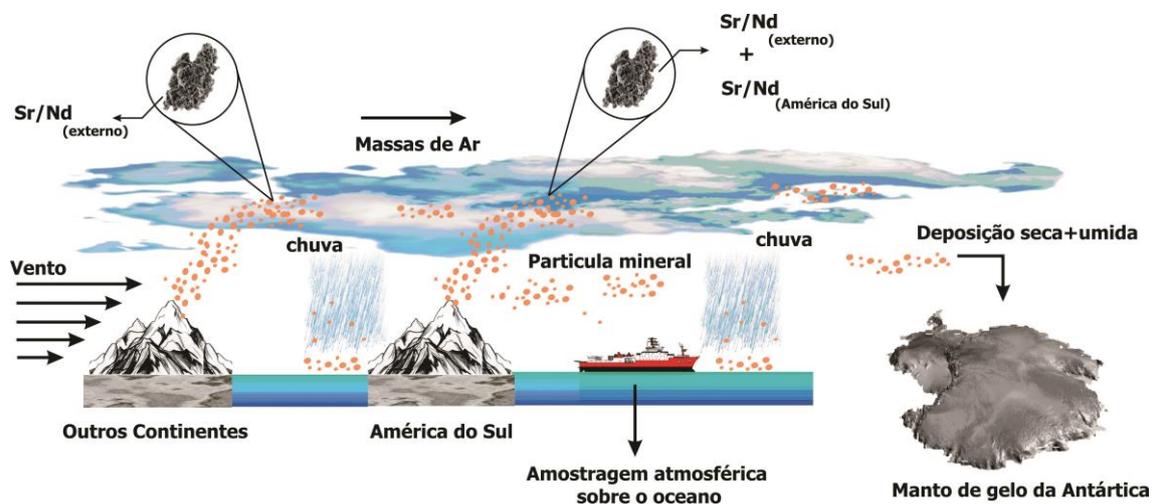
Em FIEBIG (2009) pode-se identificar a primeira evidência direta que o Continente antártico é suscetível às emissões de tão longe como as latitudes tropicais especificamente a região norte da América do Sul. Esta pesquisa realizada no observatório atmosférico da Noruega *Troll Research Station* localizado na plataforma continental da Antártida, a cerca de 220 km da costa utilizou como ferramenta a modelagem atmosférica com plumas de retro-trajetórias do modelo de transporte lagrangiano FLEXPART do MODIS, exclusivo para estudo de incêndios florestais e identificou uma relação receptor-fonte estabelecida entre eventos de queima de biomassa no Brasil Central e aerossol detectados na estação Troll.

Outros fatores são motivadores para a determinação da concentração de elementos traço em gelo na Antártica para confirmar aporte de outros continentes pois o material que foi depositado no mar certamente colaborou positivamente para a produtividade primária. Isto porque alguns metais traço, tais como Fe, Ni, Cu, Zn são essenciais para o crescimento do fitoplâncton (MOREL *et al.*, 1991). Tanto quanto sabemos, a absorção de todos os metais traço necessários pelo fitoplâncton ocorre através da conexão a um ligante de superfície de transferência e subsequente através da membrana celular (MOREL *et al.*, 1991). As concentrações destes oligoelementos essenciais na água do mar se em baixa concentração afetam a microbiota aquática pois exercem um importante papel biológico fundamental atuando como cofatores de metaloenzimas e proteínas; estão envolvidos em todos os processos metabólicos do fitoplâncton, incluindo fotossíntese e respiração. Estes nutrientes mantêm as conformações e a estrutura terciária de algumas proteínas que atuam nestes processos metabólicos; em algumas enzimas, metais estão presentes no sítio catalítico para facilitar as reações de oxidação-redução, a transferência de elétrons a partir de um outro par redox.

Esse levantamento sobre o aporte atmosférico de aerossóis torna-se importante para subsidiar a importância deste estudo visto que a maioria dos dados são provenientes de testemunhos de gelo enquanto a coleta realizada neste trabalho identifica os aerossóis antes do depósito e na fração granulométrica ideal. Portanto uma nova abordagem para a especificação das fontes de poeira mineral na Antártica baseada na análise isotópica em aerossóis será realizada neste estudo na qual, a análise climatológica acompanhará o estudo geoquímico. Este trabalho engloba os dois formatos de estudo associando o modelo climático (neste caso o *Hysplit*) com as análises isotópicas de Sr e Nd a fim de determinar a

proveniência dos aerossóis coletados a bordo do navio de acordo com o modelo conceitual detalhado na figura 6. Na qual a proposta inclui a premissa (1) os aerossóis encontram-se em frações mais finas; (2) os aerossóis representam o resultado da ressuspensão do solo e as misturas atmosféricas. Isto porque o modelo atual é deficiente em: (i) número limitado de amostras de solo; (ii) incompatibilidade das granulometrias entre o material de solo e os depósitos glaciares; (iii) abrangência geográfica limitada das amostras. Além disso é necessária a caracterização química dos elementos traçadores e a avaliação da sua relação com a concentração de clorofila-*a* que será realizado com a análise por XRF.

Figura 6 - Modelo conceitual desta proposta de trabalho.



Nota: Aqui se objetiva investigar enriquecimento de poeira mineral Patagônica sobre massas de ar do Pacífico que atingem a Antártica.

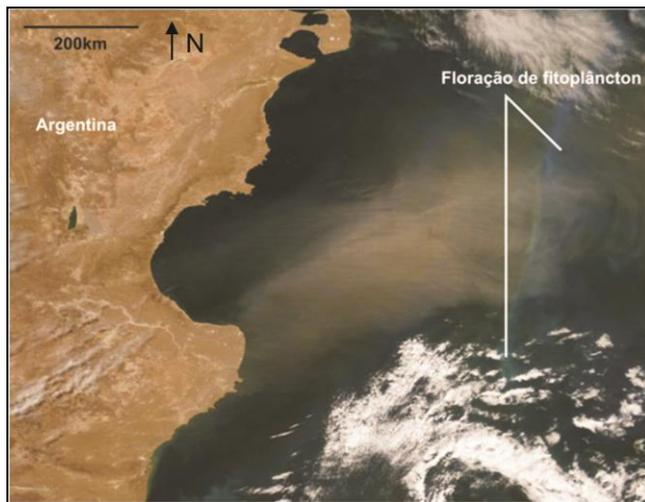
Fonte: SANTOS, 2014

A poeira mineral em suspensão na atmosfera é um ativo componente no sistema climático da Terra e participa do sistema biogeoquímico dos oceanos (MAHOWALD *et al.*, 2005). Os elementos que deflagram os processos biogeoquímicos na água do mar constituem-se na matéria orgânica e nas partículas minerais provenientes da atmosfera (FALKOWSKI *et al.*, 1998) e das águas de fundo oceânico (ROMERO *et al.*, 2006). A descarga dos rios e eventos de precipitação também contribuem para este aporte, introduzindo partículas dissolvidas e nutrientes como estimuladores biológicos. Esta contribuição é favorável especialmente em águas costeiras, em deltas e estuários pois uma parte desses nutrientes ficam retidos nas zonas costeiras e apenas uma pequena fração chega ao oceano aberto. A

partir dessa premissa e a constatação da presença de minerais terrígena em áreas oligotróficas dos oceanos globais, presume-se que as massas de ar tenham papel importante no aporte de nutrientes (e especialmente o ferro) para as regiões remotas dos oceanos (DUCE, 1986; DUCE *et al.*, 1991a,b; YOUNG *et al.*, 1991). As principais fontes de poeira mineral são os desertos, semi- desertos globais e suas áreas adjacentes, geralmente cobertas por dunas de areia, solos áridos e lagos secos que em conjunto agem como fontes de aerossóis (GROUSSET & BISCAYE, 2005). Estima-se que as concentrações de poeira na atmosfera podem variar de $< 10^{-2} \mu\text{g m}^{-3}$ nas regiões polares até concentrações $> 10^2 \mu\text{g/m}^{-3}$ sobre as áreas desérticas (GROUSSET & BISCAYE, 2005). As estimativas baseadas em modelos mais recentes, indicam que as emissões globais de poeira mineral variam entre 1000 e 3000 Tg/ano (FORMENTI *et al.*, 2010) onde cerca da metade deste conteúdo é introduzido para o interior da baixa atmosfera redistribuindo-se em escala intercontinental (IRIONDO 2000; DELMONTE *et al.*, 2013).

O Atlântico Sul é um cenário de intenso debate a respeito desta questão, pois é uma região de intensa produtividade primária no hemisfério sul. Embora o transporte atmosférico e deposição de poeira sejam apontados como uma importante via para o transporte de Fe para as águas superficiais do Atlântico Sul e oceano Austral (BAKER & CROOT de 2010), processos como ressurgência de águas profundas, ressuspensão de sedimentos no interior da plataforma continental, processos de remineralização de material e liberação de Fe biodisponível provenientes de geleiras e *icebergs* tem sido frequentemente proposto como potenciais fornecedores de Fe (DE BAAR *et al.*, 1999; MESKHIDZE *et al.*, 2007). A Imagem do satélite MODIS que captou um evento de poeira do semi-deserto da Patagônia e uma mancha na cor verde turquesa que indica grande floração de fitoplâncton pode estar associada ao aporte de nutrientes proveniente da atmosfera (figura 7).

Figura 7 - Imagem do satélite Modis



Nota: Dia 24 de Janeiro de 2010. Tempestade de poeira na Patagônia (América do Sul) em direção ao oceano. A seta branca indica a florações de algas (*bloom*) no Atlântico destacadas pelas cores verde e azul-turquesa.

Fonte: SANTOS, 2014

O oceano Atlântico tem alta relevância ecológica devido a sua produtividade primária e até o momento existem poucas medidas *in situ* da estrutura da comunidade fitoplanctônica e produtividade primária ao longo a fim de identificar os parâmetros precursores do *bloom* (ROMERO *et al.*, 2006; GARCIA *et al.*, 2008). Portanto, os mecanismos físicos e químicos que impulsionam e sustentam o *bloom* não são completamente compreendidos (GARCIA *et al.*, 2008). O *bloom* fitoplanctônico está associado à presença de coccolitoforídeos, principalmente a espécie *Emiliana huxleyi* (*Ehux*), que fazem parte de um grupo de fitoplâncton produtor de calcita (GARCIA *et al.*, 2008). De acordo com ROMERO (2006), os principais fatores que favorecem o desenvolvimento e manutenção de *bloom* são o fornecimento de nutrientes pelas correntes das Malvinas (MC), ressurgência e estabilidade da coluna d' água. Outros processos, como as taxas de mistura da coluna d' água ou pastagem do zooplâncton desempenham um papel importante na modulação da biomassa algal marinha na região, além da postulada deposição atmosférica de nutrientes (ERICKSON *et al.*, 2003; FRANCO *et al.*, 2008; EVANGELISTA *et al.*, 2010). Instaura-se a partir de então um grande debate se este suprimento é via atmosférica ou via oceânica (MESKHIDZE *et al.*, 2007) e portanto existem lacunas para responder a questão paradoxal para compreender a alta concentração de nutrientes e a baixa concentração de clorofila (ANBC) (ALVAIN *et al.*, 2008). A solubilidade do aerossol Fe na água do mar continua a ser um fator de incerteza fundamental na nossa compreensão do ciclo do Fe, e através das ligações com a produção

primária (BAKER & CROOT, 2010). O interesse em estudar a plataforma continental da Argentina é estratégico uma vez que ambos ressurgência e deposição atmosférica são igualmente postulados como precursores de *blooms* regionais. A análise de água coletada no setor sul da Quebra da Plataforma Argentina (SSPA) poderá colaborar para compreensão deste paradoxo.

Parece ser improvável que o Fe, o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, seja considerado um elemento escasso e limitante para os processos bioquímicos da produtividade primária oceânica. A explicação tem início no evento da evolução da fotossíntese aeróbica em que o oceano era anóxico e levemente redutor; neste cenário o Fe estava presente em concentrações muito elevadas (estimada em cerca de 25 μM). O advento da fotossíntese aeróbica levou à oxidação e posterior precipitação de Fe. No oceano contemporâneo, as concentrações de Fe solúveis raramente ultrapassam alguns nanomolares (FALKOWSKI *et al.*, 1998).

A precipitação maciça de Fe por fotoautótrofos aeróbios é um exemplo claro de uma retroalimentação negativa na evolução dos ciclos biogeoquímicos da Terra. A questão cerne do Fe no oceano moderno está na biodisponibilidade do Fe que é criticamente dependente do seu estado redox: se reduzido (FeIII- ferroso) é altamente insolúvel em água do mar, ao passo que a forma oxidada (FeII- férrico) é praticamente solúvel. Assim, o estado de oxidação do oceano, que em escalas de tempo geológicas é determinada pela razão da evolução do oxigênio fotossintético somado ao da respiração biológica e químicas funcionam como redutores o que é um fator crítico na determinação deste elemento traço (FALKOWSKI *et al.*, 1998). Portanto desde o advento da fotossíntese espera-se que haja uma retroalimentação do sistema biológico impulsionado pela necessidade de sobrevivência, caráter adaptativo que constituam possibilidades na assimilação do Fe no oceano principalmente pelo fitoplâncton devido às implicações climáticas. Portanto o Ferro (Fe) cuja deposição no oceano está intrinsecamente ligada à absorção global de CO_2 e a fotossíntese tem sido intensivamente estudado nas duas últimas décadas em relação ao fornecimento de aerossol de ferro para o oceano, particularmente em regiões ANBC (MARTIN *et al.*, 1990; DE BAAR & Boyd, 1999; MESKHIDZE *et al.*, 2006; BAKER & CROOT, 2010). Um fator-chave neste processo é a melhor compreensão da solubilidade de ferro em águas oceânicas (HUTCHINS *et al.*, 1993; HUTCHINS & BRULAND 1994; BAKER & CROOT, 2010; BOYD *et al.*, 2010).

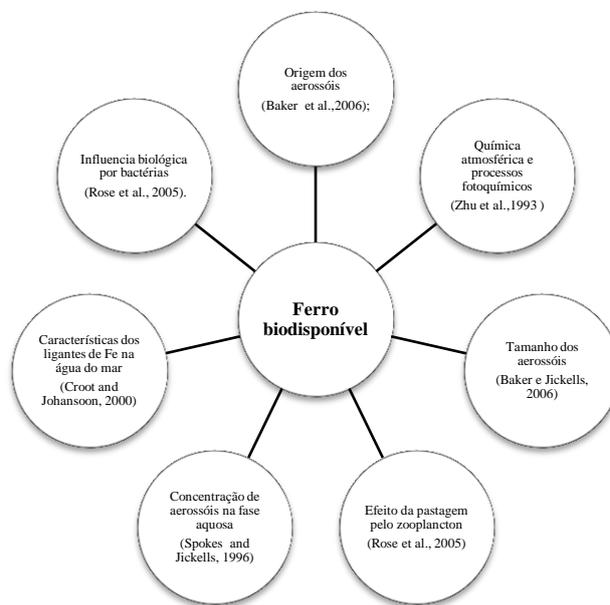
Grande parte destas pesquisas tem focado em três temas – (i) a quantidade de ferro contido na poeira que é fornecido para o oceano, (ii) onde este aerossol é

depositado (modelos deposicionais); (iii) e modelo do impacto biogeoquímico do aporte de ferro ao oceano no passado, presente e futuro (BOYD *et al.*, 2010). Essa discussão é um grande paradoxo nas ciências oceanográficas e atmosféricas, pois ainda na atmosfera os compostos de ferro contendo ferro cristalino podem sofrer foto-redução através da radiação ultravioleta (UV) e solubilizar-se dependendo das condições de pH atmosféricos (RIJKENBERG *et al.*, 2005). Além disso, a passagem dos aerossóis através das nuvens favorecem a dissolução de minerais de ferro na superfície das partículas e a subsequente precipitação de ferro menos estruturado e de partículas mais solúveis (BAKER & CROOT, 2010). A quantificação da fração de ferro contido na deposição atmosférica e que seja solúvel na água do mar ou que esteja disponível para o fitoplâncton é necessária pois os dados são modelados e as medidas *in situ* são escassas. (BAKER *et al.*, 2010). Outra questão que acrescenta a discussão, relevante e pouco compreendida são os microorganismos marinhos que tem a capacidade de utilizar o ferro insolúvel de forma direta assim como as bactérias denominadas sideróforos (ROSE *et al.*, 2005).

De acordo com BAKER (2006) solubilidade é definida como a porcentagem da concentração de metal solúvel dividida pela concentração total (particulado mais o solúvel). A dissolução dos metais pode ser influenciada por parâmetros tais como: químico, biótico, e processos físicos como exemplos o pH, a presença de ligantes e complexantes orgânicos dissolvidos, o tamanho da partícula, a concentração, as bactérias, o fitoplâncton e a temperatura (CHESTER *et al.*, 1990; LIM *et al.*, 1994; BONNET & GUIEU, 2004). Após o contato com a água do mar a solubilidade dos metais pode ser influenciada por parâmetros físicos e a assinatura química das fontes biogênicas tornam-se diferentes de acordo com os traçadores de metais contidos. Metais associados com aerossóis podem alcançar a superfície do oceano por deposição úmida e seca. Durante a deposição seca os aerossóis são direcionados para a superfície do oceano e a maioria dos metais traço podem solubilizar-se para diferentes extratos (THEODOSI *et al.*, 2010). Grande parte do ferro dissolvido é complexado por ligantes orgânicos no oceano e uma fração significativa do ferro dissolvido (30 a 70% em águas profundas) é apresentado na fração coloidal, pequenas partículas que passam através de filtros de 0,4 μ m e 0,2 μ m. Estes conceitos são determinantes na compreensão dos resultados dos perfis oceânicos coletados neste trabalho e que associaram medidas de clorofila e também na escolha da porosidade dos filtros utilizados nas coletas atmosféricas e oceânicas. PRICE & MOREL (1998) estimou que 83% da absorção total de ferro por microorganismos, na zona eufótica do Pacífico equatorial, era originária da

regeneração biológica, enquanto que os restantes 17% deriva principalmente a partir de fontes externas, tais como a poeira eólica. Em síntese, a solubilidade global do Fe na água do mar é controlada por uma série de interações complexas na atmosfera e no oceano como no fluxograma na figura 8. A partir dessa composição de transformadores de FeIII em FeII é interessante o estudo do efeito direto da poeira e sua relação com concentração de clorofila-*a* no oceano.

Figura 8 - Fluxograma informativo sobre as formas alternativas de solubilização do ferro III.



Fonte:SANTOS, 2014.

1 OBJETIVOS

1.1 Geral

De acordo com BORY (2010) é necessário melhorar a compreensão em relação a proveniência da poeira depositada sobre o continente antártico, tanto no presente quanto ao longo dos últimos ciclos climáticos. Portanto neste projeto será realizado um estudo de caso entre os aerossóis desde o Brasil até a Antártica a partir de coletas de aerossóis estrategicamente situadas ao longo da principal área emissora (a Patagônia). Os resultados de coleta serão confrontados com um inventário de razões isotópicas (o maior disponível para a América do Sul e realizado para este fim) para consolidar o emprego da razão isotópica de Sr-Nd classicamente utilizados, para que possam caracterizar, importantes processos biogeoquímicos como a relação da poeira com a produtividade primária oceânica.

As investigações sobre proveniência de aerossóis para a região da Patagônia tem se focado nas comparações com o gelo antártico e constituem uma abordagem pretérita com implicações na climatologia do ultimo glacial e Quaternário. Este trabalho investiga a proveniência dos aerossóis a bordo de navios constituindo um resultado inédito no que tange a riqueza de dados *in situ* e a abordagem moderna que corrige a granulometria das assinaturas isotópicas das potenciais áreas fontes. Embora os locais de fontes de aerossóis patagônicos modernos sejam conhecidos (LI *et al.*, 2011) as vias de dispersão atmosférica antigos e modernos tem lacunas e precisam ser melhores investigados pois trabalha-se com estimativas baseadas em modelos e estes apesar de toda a tecnologia podem não retratar o que realmente ocorre na natureza. Os dados *in situ*, portanto são esclarecedores, principalmente por ser dedicada neste projeto a coleta de aerossóis que compreendem a moda fina que é a fração que chega ao continente antártico evitando problemas de análise em relação a granulometria do estrôncio.

Em síntese o estudo com os traçadores permitem elucidar o percurso das massas de ar atuais e pretéritas. A magnitude de cada um dos possíveis impactos desta poeira ainda é incerto (DELMONTE *et al.*, 2004, IPCC, 2007) e necessita de maiores dados *in situ* para aferir as modelagens atmosféricas e paleoclimáticas.

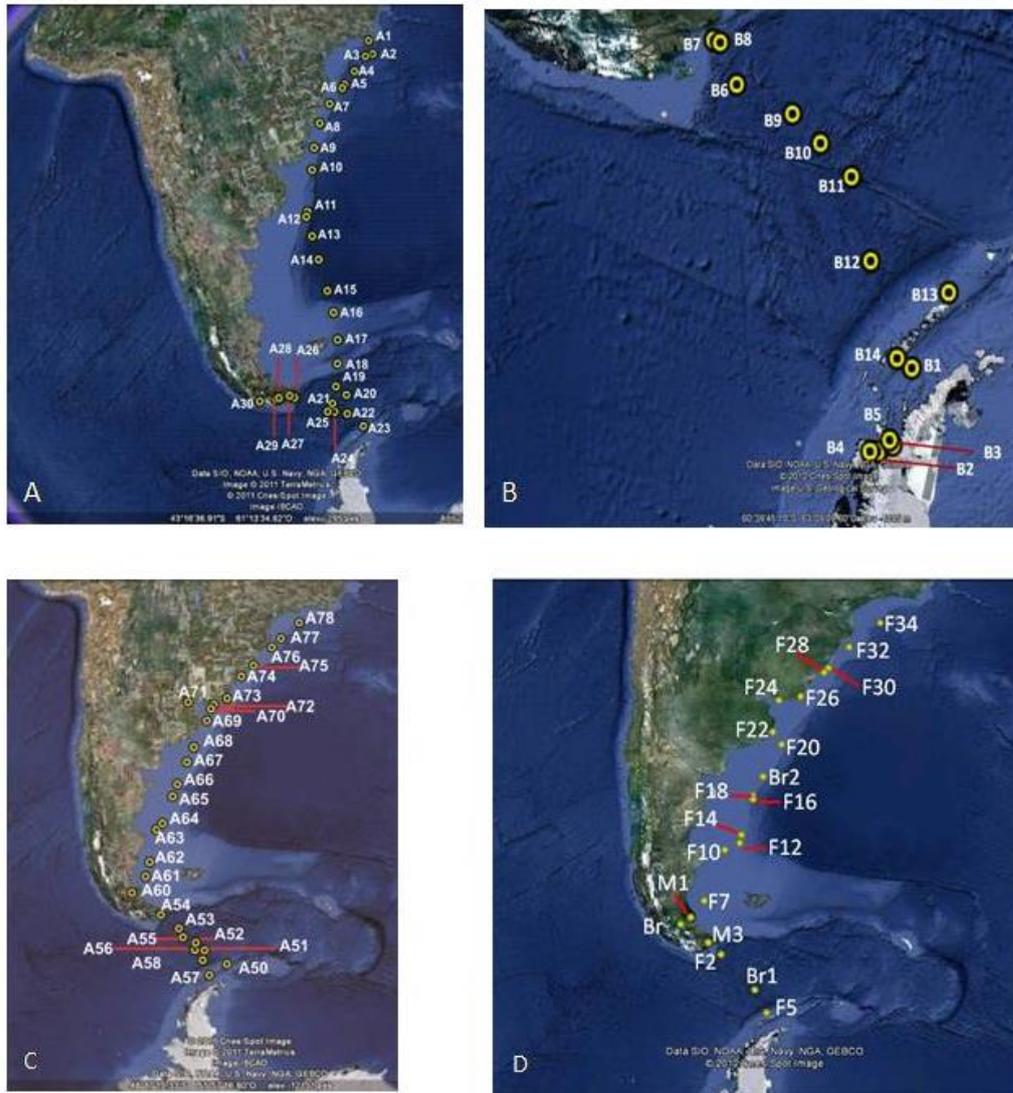
1.2 Específicos

1. Realizar a caracterização dos isótopos radiogênicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ em aerossóis sobre o Atlântico Sul (trecho Rio de Janeiro – Norte da Península Antártica) como marcadores de massas de ar naquela região;
2. Estabelecer um inventário para as fontes dos isótopos radiogênicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ para a América do Sul como um todo, visando sua potencial contribuição ao aerossol na atmosfera entre a América do Sul e a Antártica;
3. Empregar combinadamente a análise dos isótopos radiogênicos e um modelo de transporte atmosférico (Hysplit) no sentido de caracterizar fontes potenciais emissoras de poeiras na região da Patagônia;
4. Explorar a análise de elementos predominantemente terrígenos na atmosfera do Atlântico Sul (Fe, Al, Si, Pb, Cd, Zn, Ni, Mn, e Ti) e sua associação com dados de clorofila-*a*.
5. Empregar um estudo de caso, para investigar a relação entre a deposição dos aerossóis contendo o ferro (escasso em algumas regiões do oceano) e processos biogeoquímicos na quebra da Plataforma Argentina.

A área de estudo compreende o Oceano Atlântico (entre as latitudes 22 e 61°S), abrangendo o setor geográfico entre a cidade do Rio de Janeiro e o Norte da Península Antártica. Os cruzeiros foram realizados a bordo do Navio Polar Almirante Maximiano da Marinha do Brasil com o apoio do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR)/CNPq. O oceano Atlântico é conhecido como uma região de alta concentração de nutrientes e baixa concentração de clorofila (região ANBC) e associa-se a este paradoxo a limitada concentração do nutriente ferro cujo aporte atmosférico é indicado como importante fonte com procedência no semi deserto da Patagônia. O clima da Patagônia é controlado pela dinâmica dos ventos de oeste, que chegam do Oceano Pacífico, atravessam os Andes e continuam como ventos secos para o leste (IRIONDO, 2000). O esforço amostral está destacado nos pontos localizados no mapas da figura 9 em que cada ponto significam dois filtros coletados. O equipamento coletor de aerossóis funciona simultaneamente coletando dois filtros. Neste caso um filtro será utilizado para o estudo de metais e o outro para análise

isotópica de Sr e Nd. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam o delineamento da amostragem (Anexo A).

Figura 9- Cruzeiros oceanográficos visando a amostragem de aerossóis



Legenda: A – Trajeto: Rio de Janeiro – Península Antártica realizado em Dezembro de 2010 (tabela 1); B e C– Trajeto: Antártica – Ushuaia- Rio Grande realizado nos meses de janeiro a abril (tabela 2) D– Trajeto: Punta Arenas- Antártica - Montevideú- Rio Grande-Rio de Janeiro realizado no mês de Abril de 2012

Nota: As tabelas estão no anexo A.

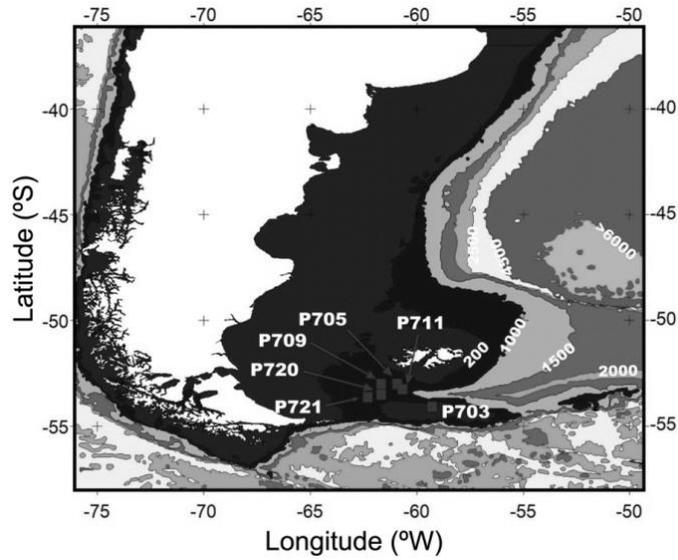
Fonte: SANTOS, 2014

A área de estudo da coleta de água está restrita a um setor do oceano Atlântico denominado setor sul da Quebra da Plataforma Argentina (SSPA) que apesar da alta relevância ecológica e biogeoquímica até o momento existem poucas medidas *in situ* da

estrutura da comunidade fitoplanctônica e da produção primária a fim de identificar os parâmetros precursores do *bloom* (ROMERO *et al.*, 2006; GARCIA *et al.*, 2008). Portanto, os mecanismos físicos e químicos que impulsionam e sustentam o *bloom* não são completamente compreendidos (GARCIA *et al.*, 2008). O *bloom* fitoplanctônico da SSPA está associada principalmente à presença abundante de coccolitoforídeos, principalmente a espécie *Emiliana huxleyi* (*Ehux*), que faz parte de um grupo de fitoplâncton produtor de calcita (GARCIA *et al.*, 2008). De acordo com ROMERO (2006), os principais fatores que favorecem o desenvolvimento e manutenção de *bloom* são o fornecimento de nutrientes pelas correntes das Malvinas (MC), ressurgência e estabilidade da coluna d' água. Outros processos, como as taxas de mistura da coluna d' água ou pastagem do zooplâncton desempenham um papel importante na modulação da biomassa algal marinha na região, além da postulada deposição atmosférica de nutrientes (ERICKSON *et al.*, 2003; FRANCO *et al.*, 2008; EVANGELISTA *et al.*, 2010). Instaura-se a partir de então um grande debate se este suprimento é via atmosférica ou via oceânica (MESKHIDZE *et al.*, 2007) e portanto existem lacunas para responder a questão paradoxal ANBC (ALVAIN *et al.*, 2008). A solubilidade do aerossol Fe na água do mar continua a ser um fator de incerteza fundamental na nossa compreensão do ciclo do Fe, e através das ligações com a produção primária (BAKER & CROOT, 2010). O interesse de estudar a plataforma continental da Argentina é estratégico uma vez que ambos ressurgência e deposição atmosférica são igualmente postulados como precursores de *blooms* regionais.

A coleta de água foi realizada a bordo do navio de apoio oceanográfico Ary Rongel no mês de janeiro de 2009 e concentrou-se no SSPA totalizando seis pontos de coleta (intitulados de estações oceanográficas) que podem ser visualizados no mapa da figura 10. A coleta durou 3 dias e foi realizados duas estações oceanográficas por dia, detalhes estão na tabela 4.

Figura 10 - Pontos das estações oceanográficas durante o cruzeiro Patex



Nota: VII (5 - 7 de janeiro de 2009), no sul da quebra da Plataforma Argentina. A batimetria é apresentada no mapa de fundo.

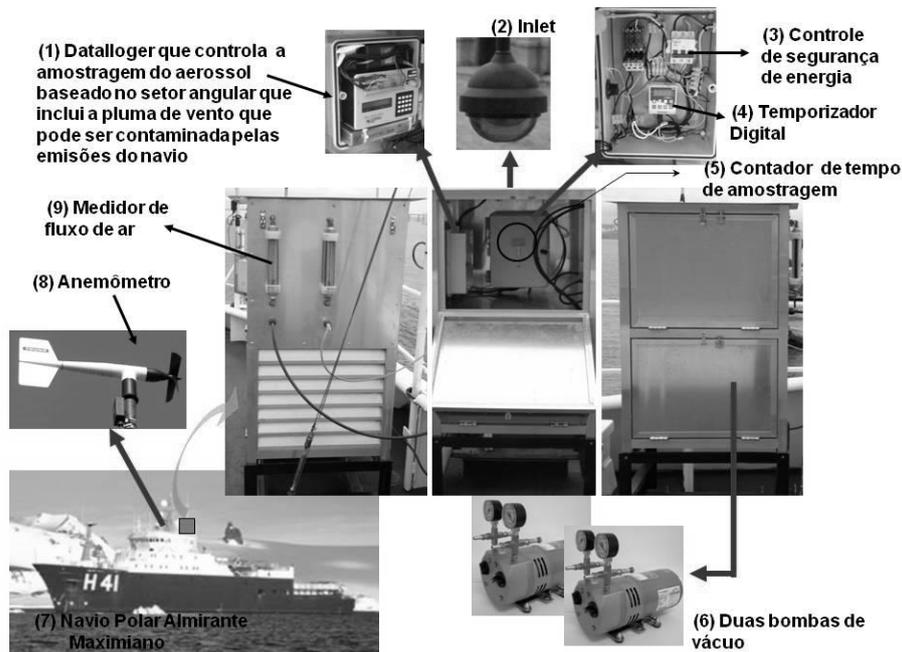
Fonte: SANTOS, 2014

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 A coleta de aerossóis

A coleta de aerossóis foi realizada a bordo do Navio Polar Almirante Maximiano com um coletor de aerossóis (figura 11) desenvolvido para esta tese pelo Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais (LARAMG) e construído na própria Universidade evitando gastos com estações meteorológicas e acoplamentos. Desde o primeiro desenho do equipamento até a instalação no navio foram necessários cerca de 8 meses e foi instalado para a expedição de dezembro de 2010. Este, é composto por um anemômetro e um sistema eletrônico acoplado ao equipamento coletor de aerossóis instalado na parte mais alta e externa do navio, denominada tijupá, para que evitasse ao máximo a contaminação da chaminé e da circulação de pessoas. Um componente fundamental que assegurou a qualidade da coleta é o sistema *windloco* desenvolvido através de uma parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). O sistema permite a detecção dos eventos cuja direção do vento resultante está na direção da popa do navio carreando contaminação proveniente da chaminé. O equipamento funcionou satisfatoriamente mesmo exposto a variações bruscas de temperatura durante o período de 6 meses a bordo do navio.

Figura 11 - Detalhamento dos componentes do sistema de amostragem



Fonte: SANTOS, 2014

A coleta dos aerossóis teve duração de 24h, porém existiram situações em que houve coleta de apenas 40 minutos devido à eficiência do *Windloco* em proteger as amostras de contaminações o que justifica a variação no resultado do volume de ar amostrado. Foram utilizados membranas de policarbonato Whatman de $47\mu\text{m}$ e bombas para sucção do ar com vazão máxima de 127l/min. As tabelas 1 a 3 do anexo A, contém as informações detalhadas de cada cruzeiro realizado.

2.2 Abertura química das amostras para análise isotópica

Samário (Sm) e o Neodmio (Nd) são ETR (Elementos terras raras) leves do grupo dos lantanídeos. Ocorrem como elementos-traço nos minerais formadores de rocha. A concentração de ambos em silicatos cresce na medida que a cristalização do magma evolui. Nas rochas ígneas, a concentração é proporcional com o grau de diferenciação magmática (FAURE, 1986). Existem sete isótopos de Sm (^{144}Sm , ^{147}Sm , ^{148}Sm , ^{149}Sm , ^{150}Sm , ^{152}Sm e

¹⁵⁴Sm) e sete de Nd (¹⁴²Nd, ¹⁴³Nd, ¹⁴⁴Nd, ¹⁴⁵Nd, ¹⁴⁶Nd, ¹⁴⁸Nd e ¹⁵⁰Nd). O ¹⁴⁷Sm é radioativo, com uma meia-vida de 106 Ga e decai para ¹⁴³Nd a partir da emissão de uma partícula α , (núcleo de He duplamente ionizado).

O estrôncio (Sr) está presente como elemento traço (medido em ppm) na maioria das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, entretanto a concentração desse elemento raramente ultrapassa a 1%. O Sr participa na formação do carbonato estroncianita e do sulfato celestita, os quais são encontrados em alterações hidrotermais e rochas sedimentares como nos carbonatos (GERALDES, 2010). O elemento Sr pode formar diversos minerais próprios, dos quais somente a estroncianita (SrCO₃) e a celestita (SrSO₄) tem abundâncias significativas. O Sr apresenta quatro isótopos de ocorrência natural: ⁸⁴Sr, ⁸⁶Sr e ⁸⁸Sr (não radiogênicos) e ⁸⁷Sr (radiogênico). As razões isotópicas ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr versus ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd quando descritas num plano cartesiano são usadas como referência para estudos de proveniência. No trabalho investigativo ao determinar a razão isotópica de uma amostra confronta-se seu valor com as assinaturas das áreas que tem a maior probabilidade de serem consideradas áreas emissoras de aerossóis.

Para a realização das análises isotópicas é necessário ter cuidados especiais desde o preparo para a coleta e que perdure durante todo o procedimento. Por se tratar de ETR não pode haver qualquer tipo de contaminação, portanto este procedimento foi conduzido em sala limpa classe 100 e os ácidos utilizados são bidestilados em equipamento de purificação por destilação sub-boiling para obtenção de ácidos de alta pureza.

2.3 Procedimentos na separação de Sr e ETR em colunas primárias

Previamente a digestão da amostra é realizado o procedimento de pesagem que consiste de: (i) pesagem do Béquer de teflon (recipiente) com tampa; (ii) pesagem da membrana de policarbonato; (iii) anota se o valor no caderno de pesagem. Encerrado este processo inicia-se a etapa de digestão das amostras cuja elaboração do protocolo de abertura foi de extrema complexidade devido a problemas de resíduo gerado pelas membranas de policarbonato e a possibilidade de perder frações da amostra, dificuldades geradas devido ao escasso material isotópico coletado, portanto a análise do branco foi fundamental para avaliar a eficiência da abertura química. Para a estruturação da metodologia desde os testes até os resultados finais foram necessários dois anos, apesar dos protocolos já disponíveis no LAGIR

foram feitos ajustes e dezenas de testes para minimizar a perda de filtros. Finalmente o protocolo de abertura foi baseado a partir da técnica já estabelecida por GIOIA (2010) que sofreu pequenas modificações referentes ao volume de ácido utilizado e tempo de permanência na chapa quente. Entretanto após muito filtros serem perdidos por não haver detectabilidade de sinal no momento da espectrometria decidiu-se optar pela junção de filtros (detalhes na tabela 8). Dessa forma, de um total de 94 pontos de coleta representados pelas tabelas 1, 2 e 3 utilizou-se apenas 50 filtros pois os outros foram perdidos durante a análise por não terem detectabilidade. Finalmente a metodologia aplicada na digestão dos filtros permite uma abertura bastante eficiente.

2.4 Separação química ETR

A amostra é depositada em béquer de teflon e fechado. O mesmo é colocado em uma chapa quente à 110°C durante 72 horas ou até a completa solubilização da membrana. Após este período, o béquer é aberto e deixado na chapa quente até a evaporação de todo o conteúdo;

1. Após a evaporação, o resíduo é re-dissolvido adicionando-se 2 mL de HCL 6 N;
2. Adição de 2,5 mL com pipeta volumétrica no resíduo e homogeneização da solução.
3. Após a abertura completa, transferem-se 3 mL da solução para um tubo de ensaio limpo e centrifuga-se por 15 minutos em velocidade intermediária.

2.5 Análise por espectrometria por ionização térmica

A separação química de ETR é feita em colunas primárias contendo a resina de troca aniônica BioRad AG1-X8. Para a realização dessa etapa são seguidos os procedimentos abaixo:

- (i) Condicionamento da resina na coluna através da adição de 15 mL de HCl 2,5N.
- (ii) Após a passagem da solução por toda a coluna, adição de 1 mL de solução da amostra em HCl 2,5N obtidos na etapa de digestão, na coluna.

(iii) Após a introdução da amostra e sua completa distribuição pela resina, procede-se a sua lavagem. Este procedimento consiste na adição de 1 mL de HCl 2,5N por três vezes, e, por fim, são descartados 21 mL de HCl 2,5N.

Até essa etapa, todos os eluídos do processo são desprezados.

(iv) A coleta de Sr é feita através da adição de 8 mL de HCl 2,5N na coluna e posterior coleta em béquer de teflon. Adiciona-se 3 mL de HCl 2,5N e descarta-se.

4. Coloca-se o béquer de teflon em chapa quente a 110°C até evaporação completa

5. Para a coleta do Nd ainda na mesma coluna primária adiciona-se 15 mL HCl 6N e coleta em béquer de teflon .

6. O béquer de teflon é colocado em chapa quente a 110°C até evaporação completa

Para a separação do Nd e do Sm, utiliza-se o resíduo obtido na separação de ETR na primeira coluna, submetendo o mesmo, à segunda coluna

O procedimento utilizado é descrito abaixo:

(i) Limpeza da coluna através da adição de 5 mL de HCl 0,18N.

(ii) Adição de 0,2 mL de HCl 0,18N no Béquer de teflon que contém os resíduos de ETR, homogeneização e adição deste conteúdo de solução na coluna.

(iii) Lavagem da amostra através da adição de três vezes de 0,2 mL de HCl 0,18N e posterior adição de 10 mL de HCl 0,18N.

Desprezar todos os eluídos até o momento.

(iv) Coleta de Nd em béquer de teflon através da adição de 3 mL de HCl 0,18 N. O béquer de teflon é colocado em chapa quente 110°C até evaporação completa.

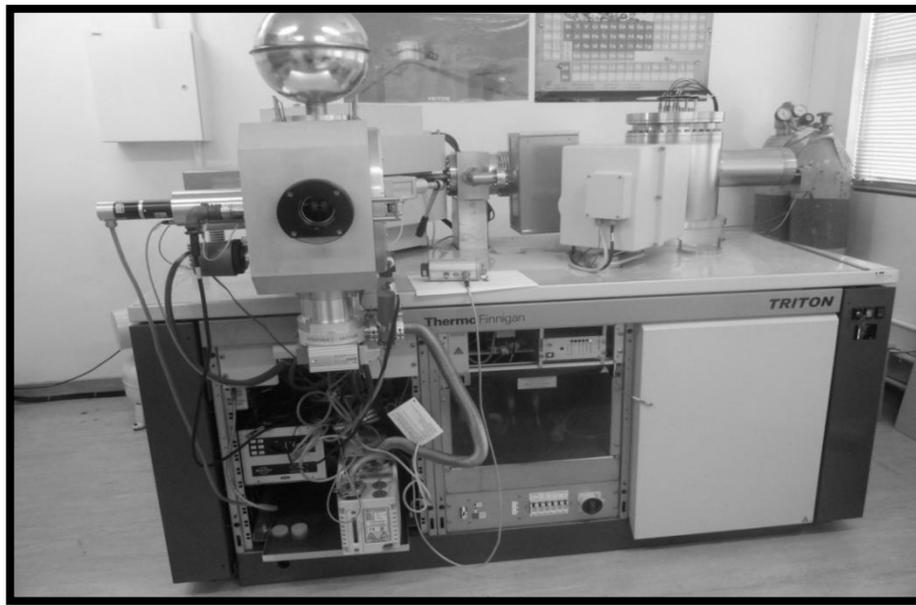
As etapas da separação química foi elaborada com base na metodologia utilizada por VALERIANO (2008).

2.6 Rotina de análise espectrométrica do método Sm-Nd

Os resíduos provenientes da coleta de Sr e Nd são depositados em filamentos de rênio e estão prontos para serem analisados no espectrômetro de massa multicoletor por ionização térmica (TIMS) TRITON – Thermo Finnigan (figura 11). A espectrometria baseia-se na ionização de amostras por meio térmico através de uma injeção corrente elétrica em que os feixes de íons são acelerados por uma diferença de potencial para atravessar um campo

magnético e são separados por suas diferenças de massa criando uma trajetória individual para serem coletados por copos Faraday e contadores de íons (SEM e MIC). Todas as análises são realizadas utilizando o arranjo de filamento duplo devido a grande facilidade do Nd e Sr serem oxidados em pressões elevadas, com isso o filamento de ionização é aquecido a uma elevada corrente para dissociar molécula de oxigênio garantindo a medida dos isótopos de Nd sob a forma de metal.

Figura 12-Espectrômetro de massa



Fonte:SANTOS,2014.

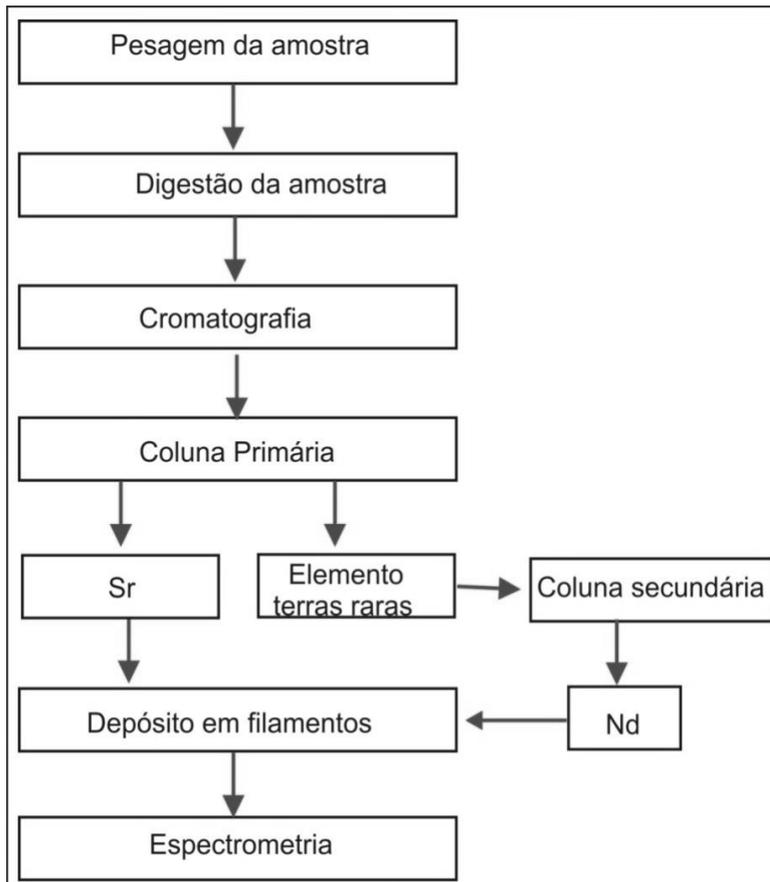
A medida do $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ e do $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foi corrigida pelo fracionamento de massa e normalização para $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=8,3752$ e $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$, respectivamente. Dados de neodímio são reportados no formato de ϵNd e o desvio padrão para o tempo presente é o Chondritic Uniform Reservoir (CHUR) (0.512638) em partes por 10^4 pela equação 1:

$$\epsilon_{\text{Nd}} = \left[\frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}} - 1 \right] \times 10^4$$

(1)

Em suma, todas as etapas referentes a Caracterização isotópica foram realizadas no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos (LAGIR) (VALERIANO *et al.*, 2003) conforme quadro esquemático da figura 13.

Figura 13- Quadro esquemático sintético de trabalho para a caracterização isotópica.



Fonte: SANTOS, 2014.

2.7 Rotina de análise espectrométrica do método Sr-Sr

Para as análises de Nd utiliza-se o arranjo de filamento duplo em que a amostra é submetida a uma corrente de 1800-2200 mA e o filamento de ionização de 4500 mA proporcionando condições estáveis e livres de elementos interferentes nas análises adquiridas. As análises espectrométricas são realizadas em um modo estático com o arranjo de 8 coletores de Faraday para a aquisição das razões isotópicas, obtendo-se um mínimo de 160

ciclos. Porém em casos de concentrações na ordem de grandeza de “ppb” muda-se, no momento da análise, para o modo dinâmico no sistema *peak jumping*, que alterna os picos das massas ^{143}Nd , ^{144}Nd e ^{146}Nd na multiplicadora secundária de elétrons (SEM) adquirindo as razões isotópicas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ normalizadas para a razão natural $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ obtendo-se aproximadamente 500 ciclos. Esta metodologia também é empregada durante a leitura do Sm e o Sr só é lido utilizando o modo estático. A certificação de que a química do processo está limpa é feita verificando-se o sinal do isótopo ^{147}Sm no coletor H1 o que garante que os isóbaros ^{144}Sm , ^{148}Sm , ^{150}Sm não estejam presentes. Podem ser obtidas as razões isotópicas no método neodímio: 142/144, 143/144, 145/144, 148/144, 150/144 (todas são normalizadas).

O arranjo dos coletores para o método Nd-Sm é respectivamente L4 (^{142}Nd), L3 (^{143}Nd), L2 (^{144}Nd), L1 (^{145}Nd) Central (^{146}Nd), H1 (^{147}Sm), H2 (^{148}Nd), H3 (^{150}Nd) e para o método Sr-Sr é L3 (^{84}Sr), L2 (^{85}Rb), L1 (^{86}Sr), Central (^{87}Sr) e H1 (^{88}Sr).

Para análises de Sr utiliza-se o arranjo de filamento duplo em que o de evaporação (amostra) é submetido a uma corrente de 1700-2300 mA e o filamento de ionização de 3200 mA, proporcionando condições estáveis e livres de elementos interferentes nas análises adquiridas (NETO *et al.*, 2009). As análises espectrométricas são realizadas em um modo estático com o arranjo de 5 coletores de Faraday para a aquisição das razões isotópicas, obtendo-se um mínimo de 100 ciclos. A certificação de que a química do processo está limpa é feita verificando-se o sinal do isótopo ^{85}Rb no coletor L2 o que garante que o isóbaro ^{87}Rb esteja presente. Podem ser obtidas as razões isotópicas no método Sr: 87/86 (normalizada e com correção de interferência isobárica). As razões isotópicas naturais determinadas são $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e o $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e as razões isotópicas resultantes serão expressas na forma “Sr versus ϵNd ”.

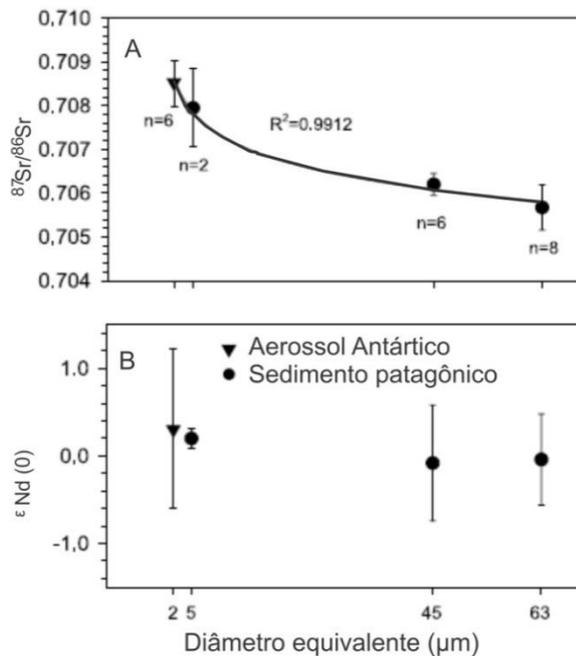
2.8 Correção granulométrica na razão isotópica de Sr

Estudos de GOLDSTEIN (1984), NAKANO (2005) e GAIERO (2007) indicaram que a composição isotópica de Sr, em amostras de solos, sedimentos, rochas e loess, pode ser fortemente afetada pela granulometria enquanto o Nd é mais uniforme perante esta variável. Esta questão tornou-se crucial para validar as associações entre as assinaturas isotópicas dos termos-fonte continentais postulados para a Antártica, e aquela referente ao conteúdo mineral

integrado para os testemunhos de gelo da Antártica Central. Isto porque as curvas de distribuição granulométrica dos sedimentos finos e do material particulado depositado longe das fontes continentais diferem significativamente. Ao trabalhar diretamente com aerossóis esse problema é minimizado pelo fato de a maioria dos aerossóis não ocorrem como grãos individuais, mas na forma de agregados de partículas com uma gama de tamanhos de grão em que os mesmos têm uma granulometria média de até $5\mu\text{m}$ (GROUSET & BISCAYE, 2005). A granulometria do aerossol torna-se mais fina quando é transportado por longa distância por alterar a mineralogia do material, inclusive a composição isotópica do Sr. Portanto ao comparar os resultados com os fingerprints existe uma divergência entre as razões isotópicas do Sr que podem interferir na determinação da proveniência e uma abordagem interessante elaborada por GAIERO (2007) cujo foco concentrou-se nos registros do loess do setor Sul da América do Sul e comparou com testemunhos de gelo foi a constatação de que ocorreu intensa atividade de ventos que carregavam poeiras da América do Sul para a Antártica durante o último glacial Máximo.

Mas a maior contribuição de Gaiero (2007) é a proposta de correção das assinaturas isotópicas das potenciais áreas fontes com a finalidade de uma comparação compatível com a mineralogia e composição isotópica que verdadeiramente chega aos locais remotos. Pode-se identificar claramente em seus estudos o caráter conservativo do $\epsilon\text{Nd}(0)$ do solo da Patagônia e a poeira mensurada no gelo do setor Leste da Antártica que apresenta uma faixa de composição isotópica com um claro deslocamento no Eixo $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em comparação com amostras de sedimentos mais grosseiros de diferentes ambientes do sul. GAIERO (2007) compara as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $\epsilon\text{Nd}(0)$ em diferentes granulometrias e propõe um fator de correção (figura 14).

Figura 14- Média da composição isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $\epsilon\text{Nd}(0)$



Legenda: A- Os valores médios de $\epsilon\text{Nd}(0)$ B-razões isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Fonte:GAIERO *et al.*, 2007.

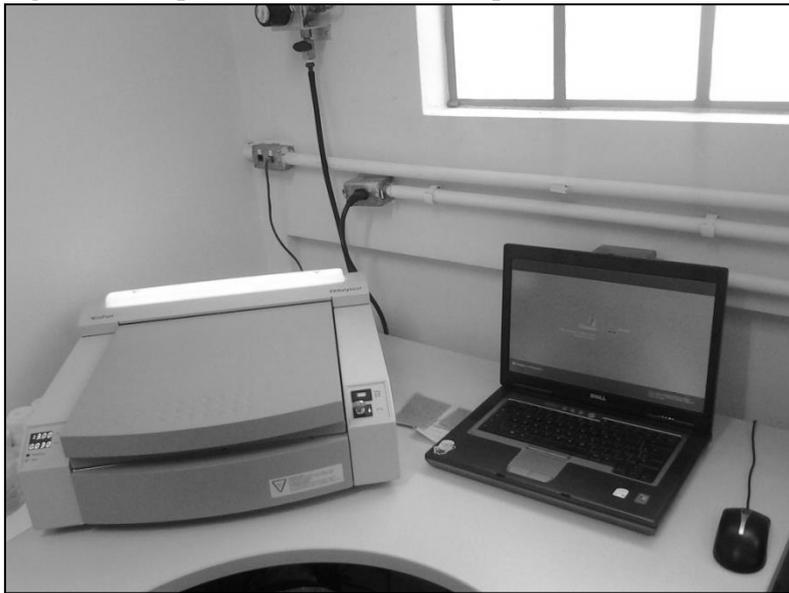
A composição isotópica Sr é bastante afetado por processos de fracionamento durante processos de processos de intemperismo, transporte e deposição. De acordo com LEE (2010) a forma ideal para o Sr ser usado como um monitor de proveniência é apenas quando as amostras são cuidadosamente pré tratadas selecionando frações de tamanho de grão adequado para eliminar a influência de separação mineral e utilizando fração de silicato por meio de lixiviação de um ácido fraco para excluir a influência de mineral de carbonato formado durante o intemperismo e pedogênese. Este trabalho levou em consideração esse fator de correção para se aproximar da fração granulométrica que chega ao continente Antártico.

2.9 Caracterização elementar dos aerossóis por Fluorescência de Raios-X

O equipamento utilizado para as análises é um espectrômetro de bancada EDXRF MiniPal 4, da empresa PANalytical. Um *software* (MiniPal Software) desenvolvido pela

própria PANalytical acompanha o equipamento, permitindo a escolha das melhores condições (voltagem, corrente e atmosfera de trabalho) para análise das amostras. Também através do *software* faz-se o processamento dos resultados obtidos, com a possibilidade de cálculo de média, desvio padrão e análise gráfica. O *software* está instalado em um notebook conectado ao espectrômetro MiniPal 4. O sistema, apresentado na Figura 15, está montado no LAMIR – Laboratório de Análises de Minerais e Rochas, na UFPR.

Figura 15- Espectrômetro de bancada por Fluorescência de Raios-X MiniPal 4.



Fonte: SANTOS, 2014

O *software* utilizado permite definir voltagem (máximo de 30 kV), corrente (máxima de 1 mA) e o meio (ar ou hélio). A multiplicação da voltagem com a corrente não pode estar acima de 9W, pois este é o máximo de potência que é fornecido pelo tubo de raios X. Além disso, pode ser selecionado, através do *software*, um dos 5 filtros internos do espectrômetro para minimizar os efeitos de radiação de fundo. A intensidade de detecção de um determinado elemento depende da corrente do feixe, da voltagem de aceleração e do número atômico. Quanto maior a corrente, maior será a excitação dos átomos, sendo que há um limite máximo no qual há saturação do detector. A voltagem está relacionada com a profundidade de excitação do elemento na amostra. Elementos de maior número atômico (mais pesados) têm maior profundidade de excitação e exigem maior voltagem para serem detectados com maior intensidade.

O uso de filtros internos foi descartado inicialmente devido à baixa concentração dos elementos nos padrões (que torna difícil a detecção), porém com alguns testes viu-se necessário o seu uso nas rotinas de análise para elementos pesados para minimizar a radiação de fundo (ruídos) causada pelo espalhamento da radiação. Devido às pequenas concentrações dos elementos nas amostras de aerossol, a diminuição da radiação de fundo é importante para obtenção de resultados mais precisos e acurados, com pouco desvio. Elementos presentes no ar, como o argônio, também podem gerar radiação de fundo, o que explica o uso de gás hélio que, por ser um gás nobre, é um elemento não detectável pela técnica de fluorescência de raios X.

As condições estabelecidas para análise dos elementos leves (de Na a Cl) foram: corrente de 1 mA, voltagem de 9 kV, sem uso filtro interno. Para os elementos médios (a partir de K) a corrente de 0,3 mA, voltagem de 30 kV. O tempo de análise de ambas condições foi de 600 segundos.

O modelo *Hysplit* desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dos Estados Unidos, é um sistema que calcula trajetórias, campos de dispersão e deposição de partículas e gases utilizado como ferramenta para produzir retrotrajetórias de massas de ar e estimar a origem do aerossol coletado em superfície, servindo de subsídio para a identificação das fontes. O modelo encontra-se disponível online e pode ser executado de modo interativo no sítio eletrônico da NOAA¹, sendo este de aplicação simples e na versão para *download* em computador que requer maior conhecimento e habilidade em programação. Para a composição das plumas vulcânicas foi utilizada a versão online (<https://ready.arl.noaa.gov/READYVolcAsh.php>) enquanto para o estudo climatológico, foi utilizado o programa *HYSPLIT* versão 4.1 para computador a fim de calcular as retro- trajetórias de partículas de ar de modo a determinar a sua origem a partir de dados globais do sistema de dados meteorológicos GDAS (DRAXLER *et al.*, 2011).

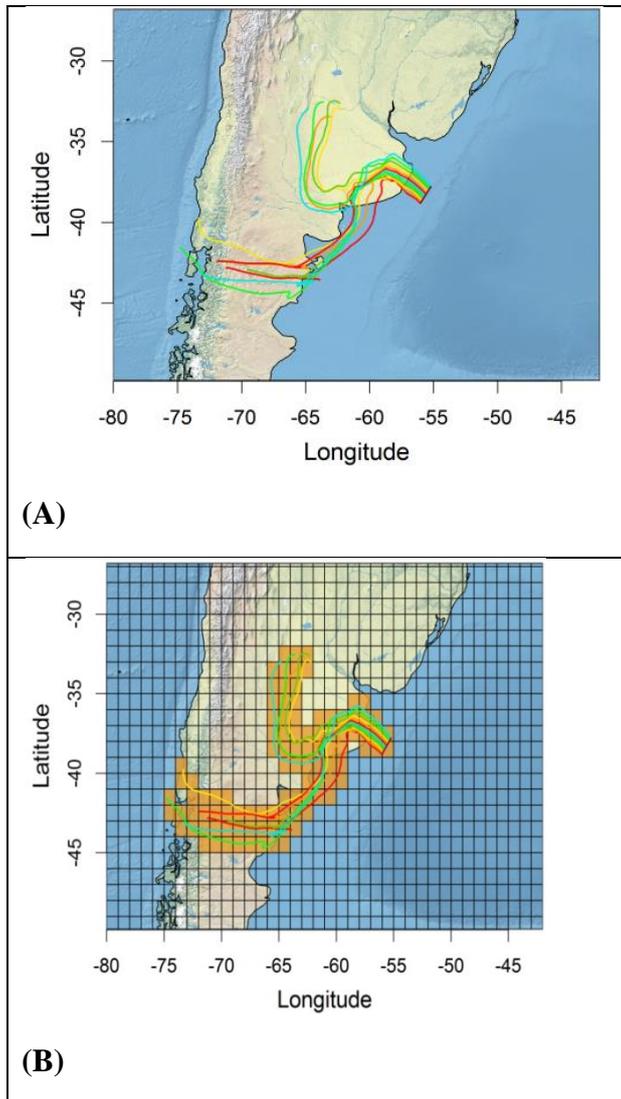
2.9.1 Caracterização da origem das massas de ar durante o período de coleta de aerossóis

O programa HYSPLIT/NOAA fornece como possibilidades de saída arquivos com extensão kmz, pdf, Gis e gif. Utilizou-se as extensões kmz e Gis para as plumas vulcânicas e a extensão gif para a visualização da trajetória calculada. Esses arquivos possibilitam fazer

uma investigação mais detalhada do evento, tal como analisar exatamente o caminho de uma massa de ar. O modelo HYSPLIT versão 4.1 foi aplicado para altitudes de massas de ar de 10m e para um período limítrofe de 5 dias.

Para aferir maior confiabilidade na modelagem atmosférica foi utilizada as seguintes etapas: traçado os pontos iniciais e finais de cada ponto de coleta da membrana (data inicial até a data final) foram projetados 12 pontos intermediários os quais foram calculadas a retrospectivas de massas de ar com duração de 120 horas cada uma. Cobrindo desta forma em resolução fina uma maior probabilidade de chegada de massas de ar durante a amostragem do filtro. Na figura 16A observa-se o traçado correspondente ao percurso do navio no período da coleta. Em 16B observa se que as massas de ar foram suavizadas. E por fim são agrupados todos os pontos do inventário (anexo D) que estavam sob domínio dessas massas de ar e confrontados com a razão isotópica correspondente em que pode ser feito a comparação dos valores medidos nos filtros com os valores das áreas sobre as quais passaram as trajetórias.

Figura 16- Interpolação linear



Legenda: A – compreendendo o início e fim da filtragem, obtendo 12 pontos usados para modelar trajetórias reversas de 5 dias; B – Intercepção das trajetórias por uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$
 Fonte: SANTOS, 2014.

2.9.2 Estimativa da concentração de clorofila- *a* para a associação com os metais.

A absorção seletiva da radiação solar dos comprimentos de onda nas faixas do azul e verde do espectro eletromagnético pelos pigmentos fotossintéticos, principalmente pela clorofila- *a*, possibilita a quantificação da biomassa fitoplanctônica oceânica através de medidas da cor do oceano obtidas por satélite (KAMPEL *et al.*, 2005). Nesse contexto, o sensor orbital *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS), lançado em agosto de

1997, tem o propósito de fornecer dados quantitativos das propriedades bio-ópticas dos oceanos, examinando os fatores oceânicos que afetam as mudanças globais. As estimativas de produtos derivados, tais como, a concentração de clorofila- *a*, radiância e produtividade primária, obtidos com a utilização de algoritmos desenvolvidos para dados orbitais da cor do oceano, devem ser comparados e validados em relação a medidas *in situ*. Entretanto, as propriedades bio-ópticas da água do mar nas regiões do Atlântico Sul permanecem pouco conhecidas, apesar dos esforços isolados de alguns pesquisadores (OMACHI & GARCIA, 2000; GARCIA *et al.*, 2008). A concentração de clorofila-*a* em mg/m³ foi compilada utilizando o GLOBColour (<http://hermes.acri.fr/GlobColour/index.php>) que consiste na fusão dos dados dos sensores MERIS, SeaWiFS e MODIS nível 2. O resultado destes modelos estão nos resultados no item 6.1 e a sequência de imagens de clorofila que serviram de apoio para associação com metais estão no anexo C.

2.9.3 Estimativa do Aerosol Index (AI)

A utilização do sensoriamento remoto para a investigação climatológica da região de coleta e monitorar os aerossóis torna-se difícil devido à persistente presença de nuvens e, portanto prejudica a avaliação das plumas vulcânicas e aerossóis (GASSÓ & STEIN 2007; GASSÓ *et al.*, 2010). Apesar desta dificuldade, um conjunto diversificado de modelos de sensoriamento remoto é utilizado associado a este estudo *in situ* para determinar a origem de partículas encontradas na área de amostragem. O índice de aerossol, mais conhecido por *aerosol index* (AI), consiste em um indicador de aerossol absorvente; é um índice que detecta a presença de aerossóis de absorção de UV, tais como poeira e fuligem; baseia-se num método de contraste na região espectral UV onde a absorção do ozônio é muito pequena. Para os sensores TOMS e OMI, AI é definido tal como na eq. 1:

$$AI = 100 [\log_{10} (I_{360}/I_{331})_{medida} - \log_{10} (I_{360}/I_{331})_{calculado}] \quad (1)$$

Os valores positivos do AI geralmente representam aerossóis absorventes (poeira e fumaça), enquanto valores pequenos ou negativos representam aerossóis dissipadores e nuvens. O índice pode ser interpretado em termos de profundidade óptica se o índice de refração e a distribuição de tamanho de partícula, e a altura da camada de aerossol são conhecidos a partir de outras medições. A interpretação dos valores do AI tem as seguintes

aplicações (i) a correção atmosférica de características de superfície de sensoriamento remoto (ii) qualidade do ar; (iii) acompanhamento das fontes e sumidouros de aerossóis; (iv) saúde e meio ambiente; (v) monitoramento de erupções vulcânicas e incêndios florestais, (vi) balanço global de energia e (vii) mudanças climáticas. Para a compilação dos dados deste trabalho utilizou-se a resolução mensal de acordo com a campanha do PATEX 2007 a fim de buscar uma associação entre os metais do perfil de água e avaliação do particulado na época visto que não houve coletas de aerossóis e os resultados foram compilados.

2.9.4 Ajuste lognormal e intervalo de confiança

Visando a comparação dos dados de Sr e Nd determinados a bordo do Atlântico e o terrígeno geograficamente distribuído julgou-se necessário prosseguir com uma análise adicional estatística que corroborasse e auxiliasse na confiabilidade dos dados. De acordo com a tabela 08 identifica-se que o erro associado às análises de Nd são maiores que ao do Sr. Portanto optou-se por avaliar o enquadramento ou associação entre as razões isotópicas do Sr e as razões de Sr do inventário. Foi utilizado para esta finalidade a função lognormal com intervalo de confiança de 95%. A distribuição lognormal é um modelo de dados contínuos empregada quando desvios de um modelo são mais influenciados por fatores, proporções ou percentagens, do que por valores absolutos tais como na distribuição normal (RIBEIRO, 2005).

De um modo geral os dados isotópicos apresentam uma distribuição lognormal. A probabilidade e estatística, uma variável aleatória X tem a distribuição lognormal quando o seu logaritmo $Y = \log(X)$ tem a distribuição normal. Logo, sua função de densidade é de acordo com a eq. 3 :

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

(3) Onde σ é o desvio padrão e μ é a média da distribuição de dados.

A importância da distribuição *lognormal* se deve a um resultado análogo ao Teorema do Limite Central: assim como uma distribuição normal aparece quando são somadas variáveis independentes a distribuição *lognormal* aparece naturalmente como o produto de variáveis independentes (sempre positivas). Um intervalo de confiança (IC) é um intervalo estimado de um parâmetro de interesse de uma população. Em vez de estimar o parâmetro por um único valor, é dado um intervalo de estimativas prováveis (STATCAMP, 2010). Intervalos de confiança são usados para indicar a confiabilidade de uma estimativa, por exemplo, um IC pode ser usado para descrever o quanto os resultados de uma pesquisa são confiáveis.

A partir desses princípios foi elaborado um histograma utilizando o programa *Easyfit 5.5 professional* apresentando a densidade de probabilidades com uma curva *lognormal* e após determinado o intervalo de confiança de 95% para as razões isotópicas do Sr do banco de dados que estavam sob as massas de ar; uma barra com a razão isotópica de Sr da amostra foi inserida no gráfico para avaliar sua localização na mesma. Caso estivesse inserida no intervalo de confiança do conjunto esta amostra é considerada como parte integrante do conjunto e a análise pode caracterizar o aporte continental, já que a assinatura do conjunto é semelhante a assinatura da amostra e descarta-se por exemplo a possibilidade de ter origem oceânica, visto que contém Sr na água do mar e sua razão isotópica é conhecida (Sr =709) (FAURE, 1986).

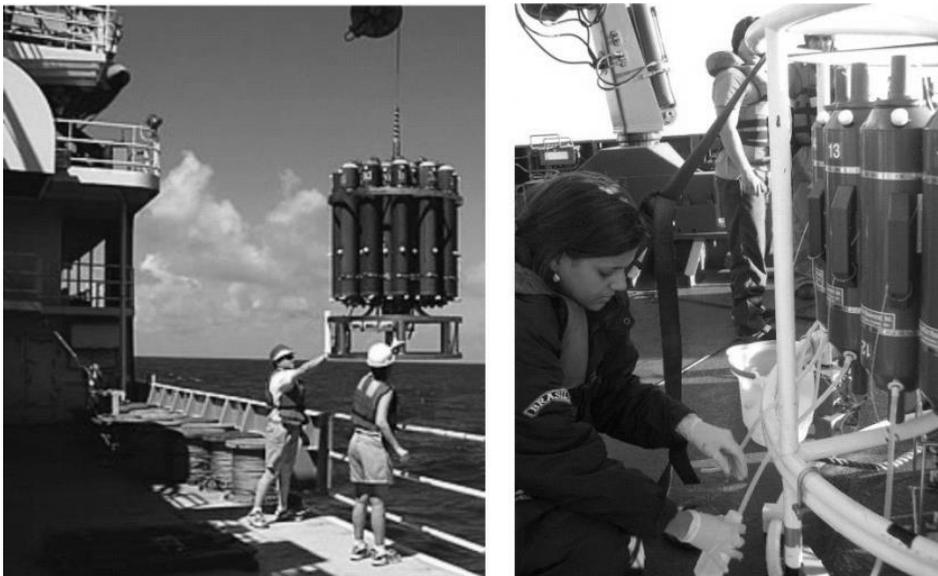
2.9.5 Coleta de água durante as estações oceanográficas

Os perfis de águas do oceano foram realizadas em seis estações oceanográficas (1 perfil por estação) durante 5-7 de janeiro de 2009. As coletas foram realizadas durante o verão austral pelo projeto Experimento da Patagônia, chamado "Patex VII" e foi conduzido pelo grupo de Oceanografia de Altas latitudes da FURG. A tabela 4 sintetiza informações sobre a localização das amostragens e seus pontos estão pautados no mapa na figura 10. A localização das estações foi definida em função de imagens de satélite (MODIS) em datas prévias ao cruzeiro, que mostravam concentrações relativamente altas de algas do grupo de interesse (cocolitoforídeos) ao sul das Ilhas Malvinas. No entanto, o posicionamento preciso das estações ficou prejudicado pela excessiva cobertura de nuvens na região, interferindo na escolha do local ideal em que ocorre o *bloom*. Assim, as posições das estações foram

finalmente definidas com a maior proximidade possível da floração de algas, observando-se os limites marítimos internacionais.

Foram filtrados para cada profundidade 500 mL de água do mar através de um filtro de policarbonato com porosidade de 0,45 μm (Nuclepore) para determinação da composição de partícula elementar, sendo esta a mesma marca de membrana utilizado na coleta de aerossóis. Os filtros foram armazenados em porta filtros a -20°C por cerca de 9 meses até a análise. Para posterior análise na Universidade da Antuérpia/ Bélgica. Outro conjunto de amostras (500mL cada) foram filtradas com filtros GF/F para a extração de clorofila-*a*. Os filtros foram embalados em papel alumínio e armazenados em nitrogênio líquido até a análise. Depois do cruzeiro, os pigmentos de clorofila-*a* foram extraídas em acetona a 90% e determinada a concentração através do método de fluorescência não- acidificada de WELSCHMEYER (1994) em um fluorímetro modelo Turner Designs TD – 700 e a clorofila-*a* foi determinada no Laboratório de Fitoplâncton e Microorganismos Marinhos /FURG.

Figura 17- Sistema Roseta-CTD



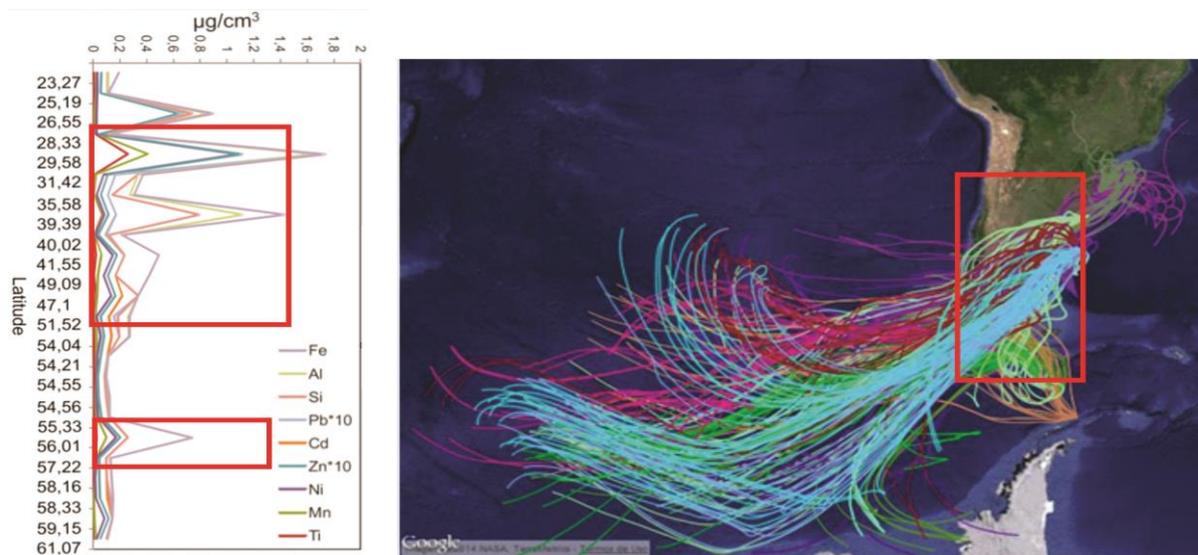
Fonte: SANTOS, 2014

3 RESULTADOS

3.1 Análise de composição elementar dos aerossóis sobre o Atlântico Sul e Oceano Austral

A composição elementar realizada com as réplicas dos filtros coletados juntamente com os utilizados para a metodologia Sr e Nd possuem o mesmo código de identificação e referem-se a mesma tabela 1 a 3; porém para a análise de metais a perda de filtros não foi significativa sendo menos de 1% filtros. A variação latitudinal dos metais Fe, Al, Si, Pb, Cd, Zn, Ni, Mn, e Ti coletados durante o cruzeiro de 2010 apresentou picos de concentração máxima na faixa latitudinal entre 26 - 39°S declinando até a latitude 51°S mas coincidindo com a maior concentração de massas de ar. Grande parte das retro- trajetórias tem início no oceano pacífico passam pela Cordilheira dos Andes e por toda a extensão da Patagônia até chegar ao oceano Atlântico e ser coletado em filtros (figura 18). Destacando-se o elemento ferro que tem influência direta na atividade biológica tem seu máximo em relação aos outros elementos chegando a $1,6 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ e a concentração de clorofila- *a* (figura 18) exibe pontos de concentração máxima variando entre 1 a $30 \text{ mg}/\text{m}^3$ sendo as concentrações maiores de pouca extensão pontuando os *blooms*. Entre as latitudes 55 e 57°S a concentração dos demais metais não tiveram aumento considerável se comparado aos outros picos de concentração porém destaca-se novamente o ferro que alcançou aproximadamente $0,8 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ embora o mapa de concentração de clorofila não apresentasse valores máximos e este leve aumento de Fe pode ser associado as retro- trajetórias que tiveram passagem pelo continente. Com a finalidade de melhor visualização das retro- trajetórias foi separado as trajetórias que foram essencialmente terrígenas das marinhas, incluindo a península Antártica.

Figura 18 – Pontos de coleta



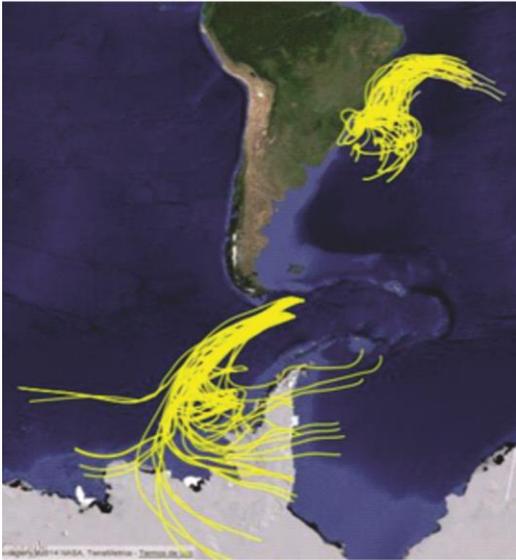
Nota: Concentração de metais classificados como fonte terrigenas de acordo com a variação latitudinal e seleção de retro – trajetórias de massas de ar com enriquecimento continental predominante, referente ao cruzeiro de 2010.

Fonte: SANTOS, 2014

A clorofila-*a* está associada a elementos terrigenos como Ti, Al, e elementos indicadores de nutrientes como Fe e N. Partículas de Ti são originárias principalmente de fontes antropogênicas como pigmentos de *spray*, produção de asfalto, usinas de energia a carvão mineral (JAMBERS *et al.*, 1997) mas ele pode também ser originário da composição do solo da Patagônia (BERTRAND *et al.*, 2012). Elementos como o Al, Si, Fe e Ti também tem origem mineralógicas, principalmente minerais de argila de argila (são conhecidos para absorver metais traço e agir como um meio de transporte destes), feldspato e outros minerais resultantes da erosão de rochas e solos (JAMBERS *et al.*, 2007). De acordo com SIGNORINI (2006) o *bloom* fitoplanctônico tem início na primavera quando a concentração de clorofila-*a* é máxima e se estende até o início do verão (dezembro e janeiro) período em que ocorre a sucessão da comunidade fitoplanctônica em que a quantidade de diatomáceas diminui dando lugar aos cocolitoforídeos, (GARCIA *et al.*, 2008). As retro -trajetórias tiveram proveniência oceânica (figura 19) portanto não se espera aumento de concentração de metais terrigenos, principalmente pelas trajetórias que tiveram seu início no continente Antártico. Interessante observar a possibilidade de ter material com proveniência Antártica no estreito de Drake até o Ushuaia. É importante mencionar que existe uma supremacia entre retro- trajetórias

com origem continental sobre as de origem estritamente oceânica ou com origem na Antártica neste trecho de estudo.

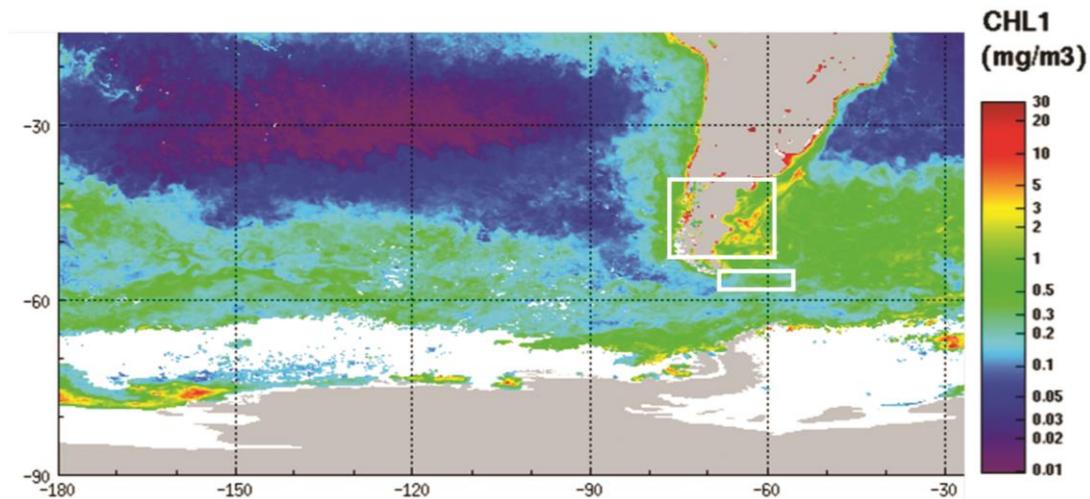
Figura 19 - Seleção de retro- trajetórias de massas de ar- 2010



Fonte: SANTOS, 2014

A Patagônia pode desempenhar no Oceano Atlântico um importante papel na regulação da atividade do fitoplâncton (GASSO *et al.*, 2005) portanto é esperado que possa haver uma associação entre estes metais coletados e concentração de clorofila-*a*. O mapa resultante dessa compilação (figura 18) tem uma escala que varia de 0,001 a 30 mg/m³ e a data é equivalente ao período de coleta. O mapa original esta no anexo C.

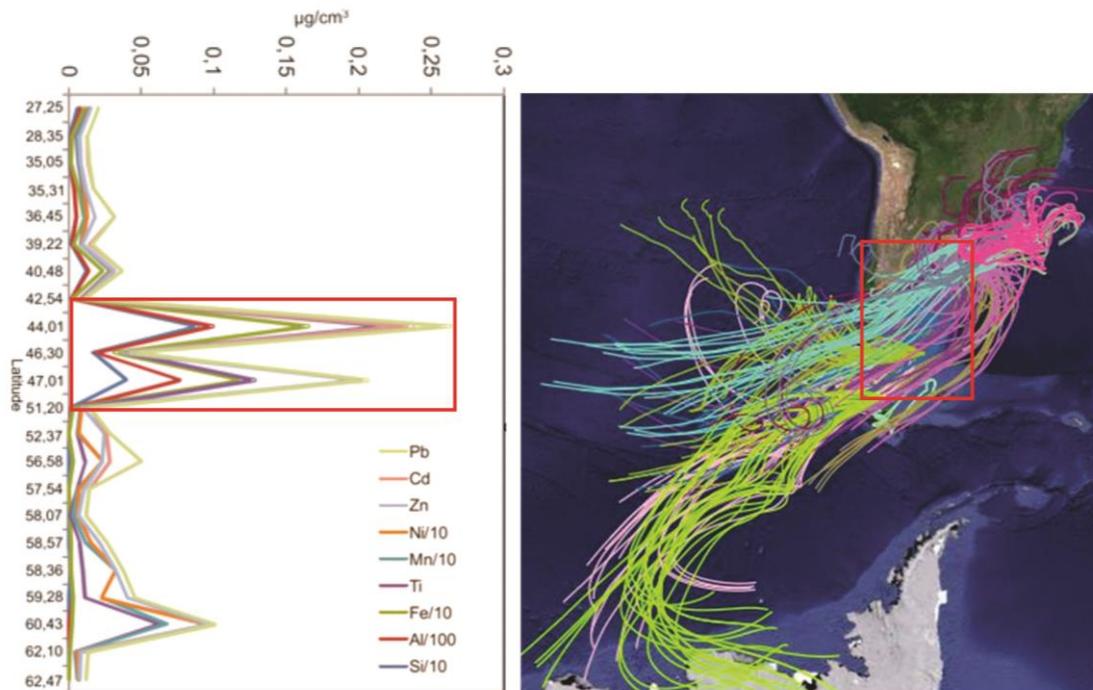
Figura 20- Composição mensal da concentração de clorofila-*a* 2010.



Fonte: SANTOS, 2014

Visualmente o comportamento das massas de ar durante o período de coleta no cruzeiro de 2011 apresentam semelhanças por também ter percorrido o percurso Oceano pacífico- Cordilheira dos Andes e Patagônia e é importante destacar que as retro- trajetórias tem início no Oceano Atlântico Sul inclusive península Antártica, percorre o estreito de Drake e chega ate as latitudes 55°S. O que diferencia bastante no cruzeiro de 2011 é a quantidade de retro- trajetórias setorizadas no oceano a partir da latitude 55°S, deve justificar o empobrecimento do carreamento de partículas para o oceano Atlântico o que podemos constatar devido a baixa concentração de particulados se comparado a 2010. Novamente o ferro ganha destaque sendo o elemento encontrado em maior concentração chegando a 0,25 mg/m³ seguido de 0,20 mg/m³ se mantendo em destaque durante todo o período de coleta chegando a atingir sua concentração máxima em torno da latitude 60°S (figura 21).

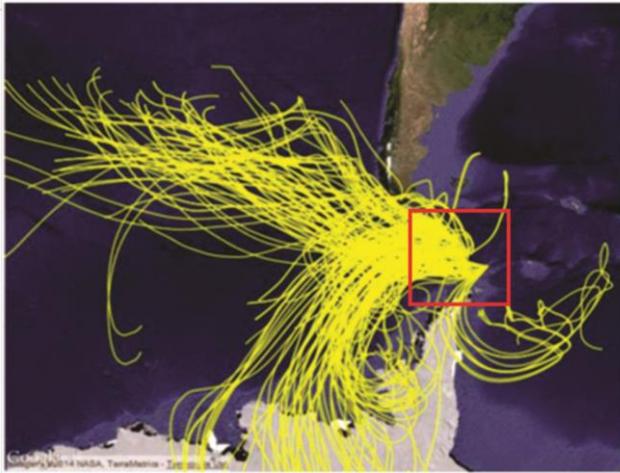
Figura 21- Composição mensal da concentração de clorofila-*a*- 2011



Fonte: SANTOS, 2014

As retro- trajetórias de predominância marinhas (figura 22) podem ser as responsáveis pelo aumento próximo a esta latitude pois parte de suas trajetórias tiveram discreta passagem pelo deserto da Patagônia e podem ter carreado algum particulado. Interessante ressaltar que todas as trajetórias foram projetadas e calculadas a partir de 10m de altura (acima do nível do mar) que era a altura estimada do local em que o equipamento coletor de aerossóis estava instalado, portanto as chances de varreduras na superfície continental são altamente consideráveis.

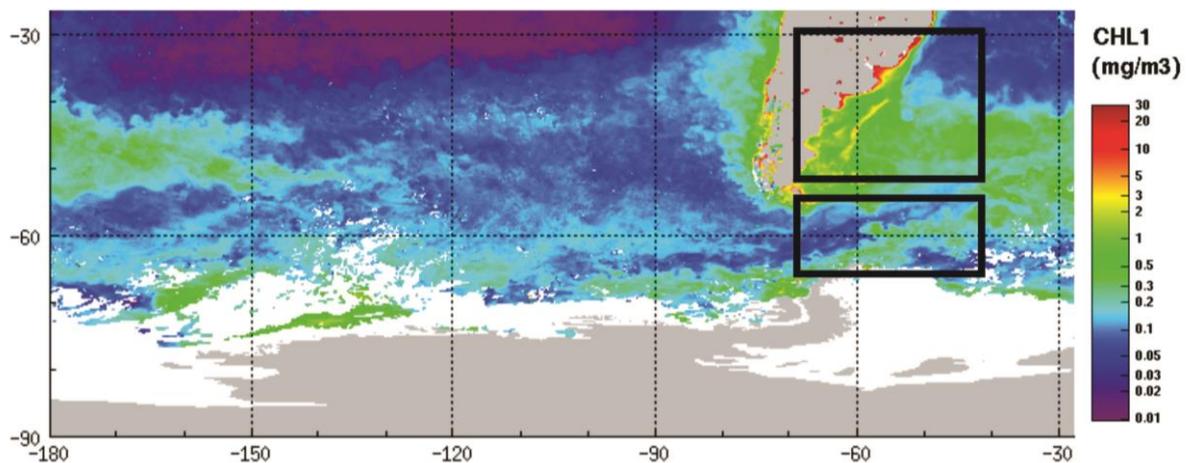
Figura 22 - Seleção de retro – trajetórias de massas de ar 2011



Fonte: SANTOS, 2014

A compilação do mapa de concentração de clorofila não apresentou *spots* de *blooms* como no cruzeiro de 2010 (figura 23). A concentração máxima resulta em torno de 3mg/m^3 assim como a concentração de ferro para este período foi ~ 7 vezes menor que a concentração de 2010. Os demais metais terrigenos traçadores também estão em menor concentração mas sua presença são altamente significativos para corroborar o transporte de poeiras.

Figura 23 - Composição mensal da concentração de clorofila-*a*- 2011



Fonte: SANTOS, 2014

O comportamento dos metais ao longo do percurso de coleta foi diferente dos anos de 2010 e 2011 não somente pelo número de coletas ser menor, mas pela variedade espacial retratada pelas massas de ar (figura 24 e 25). Cada família de trajetória (*Essemble*) tem duração de 5 dias e pode-se esperar que se uma parcela desta fosse prolongada ao menos por mais dois dias poderia chegar ao continente africano carregando aerossóis. Portanto esse comportamento das massas de ar podem ser esclarecedores quanto ao estudo dos resultados deste trabalho e a sua comparação com as potenciais áreas fontes além de encontrar resultados com assinaturas isotópicas de outros continentes como o Africano e o Australiano. Este cenário é bem comum na região Amazônica que recebe permanentemente material do deserto do Saara (TSAMALIS *et al.*, 2013) e que este foi determinado recentemente por ARANA (2014) em um estudo bem pontual especificamente em Rebio Cuieiras na Amazônia cuja as análises de trajetórias de massas de ar por meio do modelo HYSPLIT mostram claramente o transporte de poeira do deserto do Saara até esta região e que é importante ressaltar que as significativas concentrações de Al, Si, Ti, Mn e Fe observados nestes episódios de transporte ocorrem apesar da enorme distância de transporte e aos fortes processos de deposição de aerossóis típicos da Amazônia, com alta taxa de precipitação. Estas referências são importantes por serem exemplos de transporte intercontinental de aerossol e que atuam como nutrientes para diversos biomas. Além disso, de acordo com os testemunhos de gelo coletados em Vostok e Dome C que retratam a era glacial foram encontradas em menor proporção assinaturas isotópicas da África e Austrália o que corrobora a dinâmica destas partículas na atmosfera tornando cada vez mais necessário medidas *in situ* como coletas do porte desse trabalho para compreender essa dinâmica nos tempos atuais.

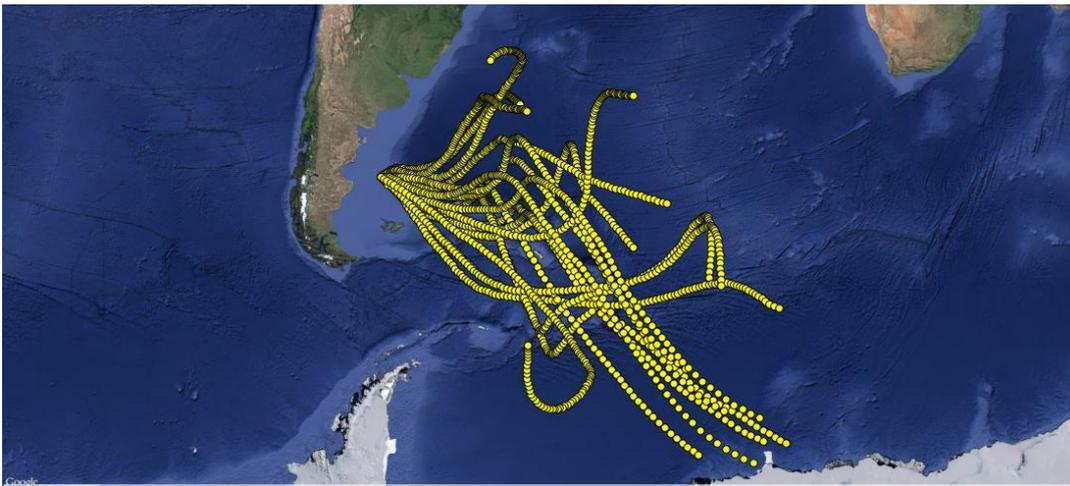
Figura 24 - Seleção de retro-trajetórias de massas de ar 2012



Fonte: SANTOS, 2014

As trajetórias com origem exclusivamente marinhas também tiveram uma proveniência diferenciada dos cruzeiros 2010 e 2011. As concentrações de metais apenas corroboram o transporte continental e a concentração de ferro esteve em menor quantidade não alcançando 1mg/m^3 . Todos os demais metais Pb, Zn, Ni, Ti, Al, e Si também estão em menor quantidade em relação aos demais cruzeiros e ao comparar com o mapa de concentração de clorofila para o mesmo período teve o menor valor não apresentando uma pequena faixa amarela (caracterizando uma concentração de clorofila de $\sim 3\text{mg/m}^3$); esta pequena faixa exibida na figura 26 é bem menos acentuada que a da figura 18 com imagem do cruzeiro de 2011 e principalmente do cruzeiro de 2010 que apresentou os maiores valores para clorofila.

Figura 25-Seleção de retro – trajetórias de massas de ar com enriquecimento marinho



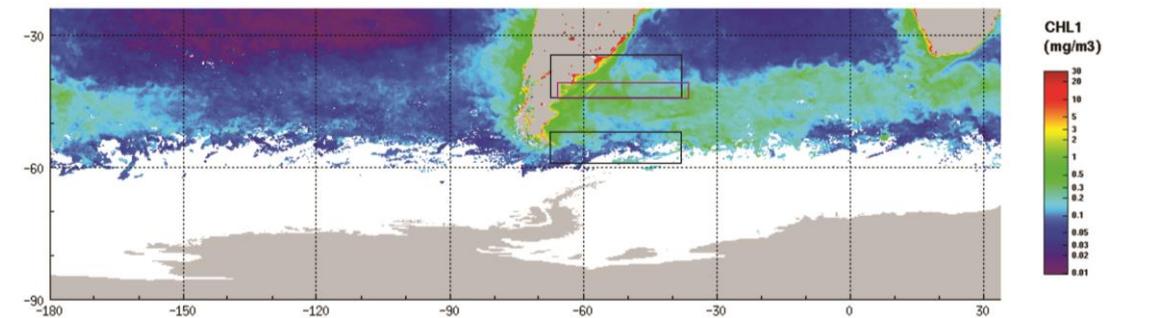
Fonte: SANTOS, 2014

Apesar do papel potencialmente importante da emissão de aerossóis (incluindo o ferro) para a produtividade primária nas águas do Oceano Atlântico (incluindo polares e subpolares), existem poucos estudos que podem ajudar a compreender os fluxos de poeira carregados de ferro para as águas superficiais do Oceano Atlântico Sul considerados regiões ANBC (JOHNSON *et al.*, 2010).

Entre as três principais regiões oceânicas ANBC (setor norte subártico do Pacífico, setor leste do Pacífico equatorial e do Oceano Austral e no Oceano Atlântico) é sugerido que

a região onde a produtividade marinha tenha maior dependência do aporte de ferro e que este seja o limitador de nutrientes seja o oceano Atlântico. Desta forma a associação entre os dados *in situ* relativos a caracterização elementar e os dados de composição de concentração de clorofila-*a* (índice de produtividade primária) corrobore isso pois a concentração dos metais traçadores (inclusive Fe) foi diretamente associado com a concentração de clorofila-*a*.

Figura 26 - Composição mensal da concentração de clorofila-*a* 2011.



Fonte: SANTOS, 2014

O persistente debate centrado no papel da deposição eólica de Fe nos ecossistemas marinhos é fundamentado pelo fato de que a produtividade primária oceânica não seja influenciada pela quantidade total de minerais, como o Fe, mas a parte deste Fe que seja solúvel em água, ou seja, biodisponível (JICKELLS & SPOKES, 2001). O outro ponto do debate é explicado pela captação biológica de ferro e liberação deste biodisponível em processos que podem durar períodos curtos (minutos a horas) ou períodos mais longos (dias a semanas) (BOYD *et al.*, 2010), portanto nem sempre o aporte atmosférico constitui no aumento imediato da concentração de clorofila-*a*. Por esse motivo, neste trabalho o mapa de concentração de clorofila foi compilado com resolução mensal para ter uma resposta do aporte durante todo o período de coleta, estudos pontuais e diários não retratariam o melhor cenário.

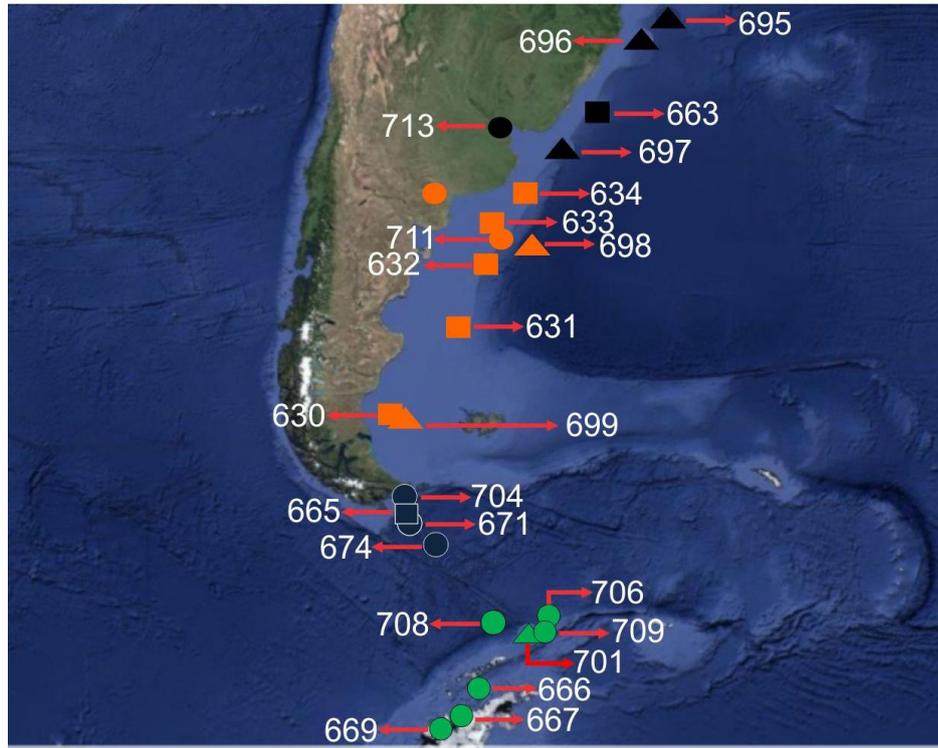
3.2 Isótopos radiogênicos de Sr e Nd: inventários e assinatura atmosférica

Os resultados serão discutidos baseados primeiramente na análise individual dos eventos de transporte atmosférico visando caracterizar a proveniência da poeira mineral a luz da aplicação direta dos modelos de retro-trajetórias e da influência continental. Nesta etapa, foram agrupados dados de assinatura isotópica, a partir de um recorte do inventário para América do Sul (limitado pelo output do modelo *Hysplit*). O intervalo de confiança obtido por estes dados foram comparados com a razão isotópica obtida no ponto flutuante de coleta. Neste caso, considerando-se as imperfeições do modelo e em alguns casos um número limitado de amostras das PSA, as comparações serão estendidas para as demais regiões geográficas da América do Sul. Os resultados das análise isotópicas estão detalhados na tabela 8.

A junção dos filtros foi então realizada de modo a agrupar filtros que tiveram coleta continuada geográfica e temporalmente. Não houve modificações na separação química e somente no procedimento das Colunas Primárias (Sr e ETR) em que os volumes de ácidos foram dobrados de acordo com a quantidade de filtros agrupados (tabela 8). O branco não sofreu alteração apesar da junção dos filtros sendo o Sm abaixo de 1,03ng e o Nd abaixo de 0,02ng.

A existência de pequenas frações de Sr na água do mar e a presença de organismos planctônicos como foraminíferos e cocolitoforídeos são potenciais candidatos para afetar a composição isotópica Sr das amostras de poeira no caso de estudos na água do mar (LEE *et al.*, 2010). No Oceano Atlântico, especialmente durante o verão identifica se presença de cocolitoforídeos tem aumento crescente (ROMERO *et al.*, 2006). Nesse sentido, a possível contaminação de carbonatos esqueléticos nas amostras de água do mar estudos não é considerada relevante por não caracterizarem contaminação ou ruídos na análise (LEE *et al.*, 2010). Portanto as análise de Sr realizadas nos filtros de aerossóis estão isentas do problema de fracionamento visto que to já esta numa granulometria de ate 0.45 μ m e o Sr da água do mar não afeta a análise.

Figura 27- Pontos de coleta de aerossóis das expedições



Nota: 2010, representada por triângulos; 2011, representada por círculos e 2012, representada por quadrados. As cores representam o agrupamento de acordo com agrupamentos de pontos por regiões de acordo com este mapa.

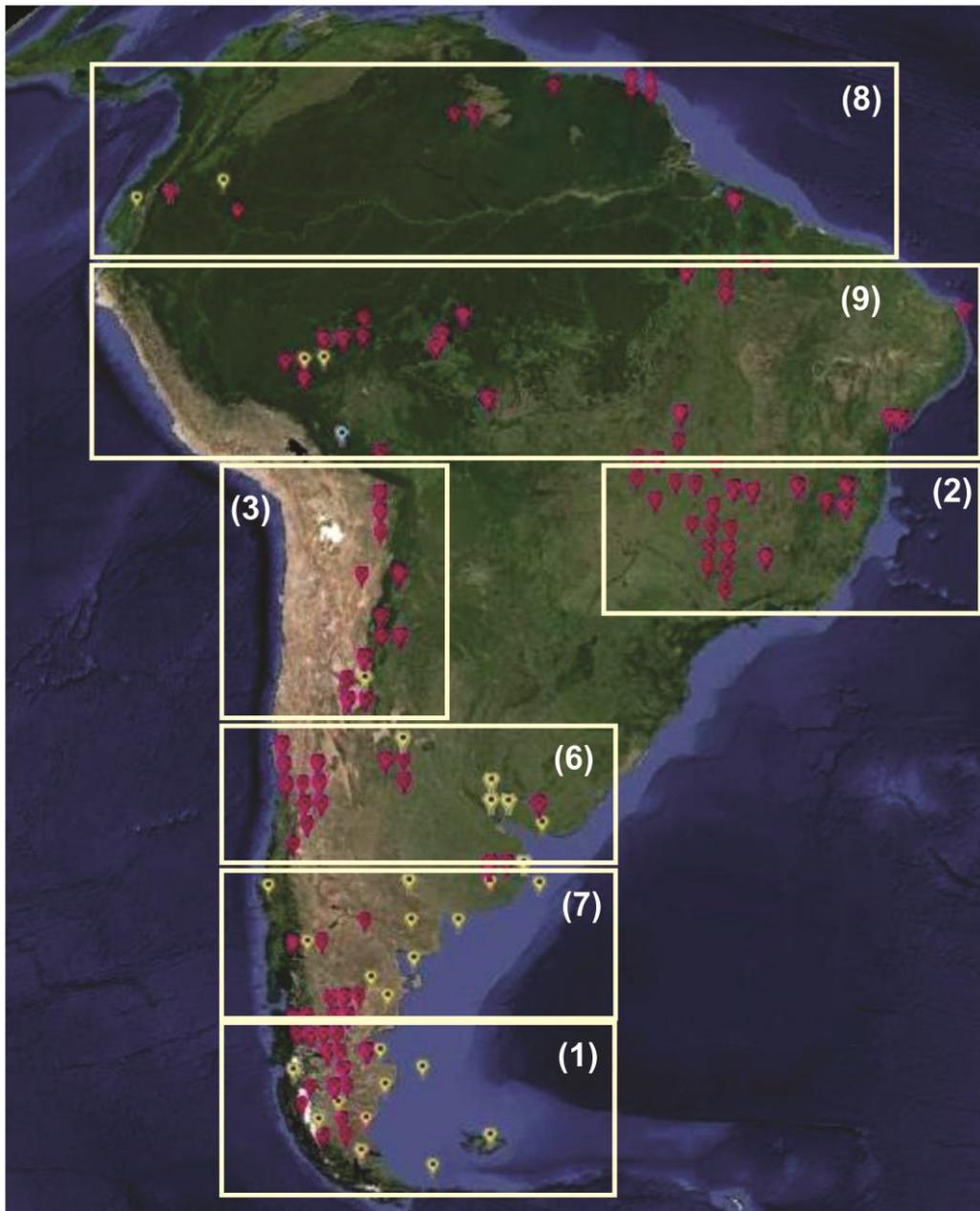
Fonte: SANTOS, 2014

Cada filtro, de acordo com sua ID está alocado no mapa (figura 27) que contém os pontos de coleta de acordo com as coordenadas iniciais. As cores diferenciadas significam pontos de coletas agrupados por setores para facilitar a discussão dos resultados.

3.3 Inventário de assinaturas isotópicas para América do Sul e Antártica

Um grande esforço de levantamento bibliográfico foi necessário para se ter como resultante, o maior inventario para a América do Sul (tabela 9- anexo D); Os pontos de cada assinatura está representado no mapa (figura 28) elaborado no programa *Google Earth*. Apesar de ter sido trabalhado em uma plataforma adequada ainda ocorre excessiva sobreposição de pontos. As definições das regiões destacadas na figura 28 e 29 foram nomeadas de acordo com a divisão por unidades de federação do Brasil, representado pelas regiões Centro Oeste, Sudeste, norte e Nordeste. E as regiões da Argentina estão agrupadas em 5 regiões geográficas sendo as representadas neste trabalho Cuyo e Pampa que englobam Buenos Aires, La pampa e Mendoza e Patagônia (Chubut, Rio Negro, Neuquem, Santa Cruz e Terra do Fogo).

Figura 28 -Mapa ilustrativo do inventário realizado com as assinaturas isotópicas

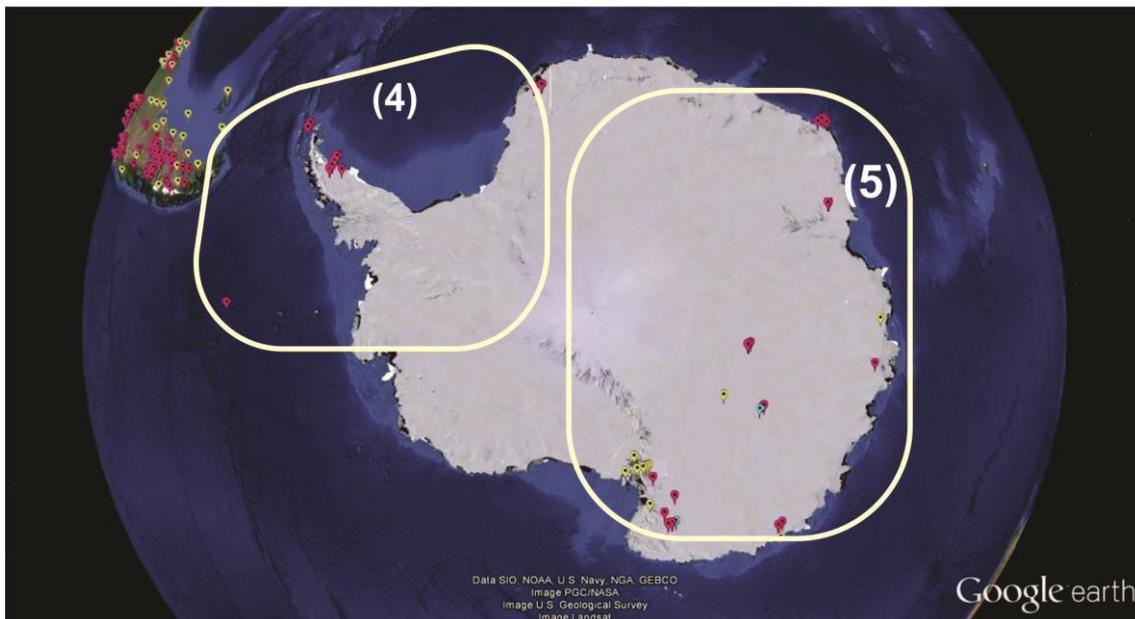


Legenda: 1– Santa Cruz e Terra do Fogo;2 – Brasil –Centro Oeste /Sudeste;3 – Altiplano Boliviano; 6 Buenos Aires/La Pampa/Mendoza; 7 – Chubut /Rio Negro /Neuquen; 8 – Equador; 9 – Brasil Norte/Nordeste.

Nota: Cada ponto representa a região em que a razão isotópica de Sr/Nd foi determinada. Este inventário é baseado na literatura científica no período compreendido entre 1994 e 2013. As linhas de contorno são representadas pelas características mais representativas.

Fonte: SANTOS, 2010

Figura 29-Mapa ilustrativo do inventário



Legenda: (4) Península Antártica, (5) Antártica –Leste / Sul
 Fonte: SANTOS, 2014

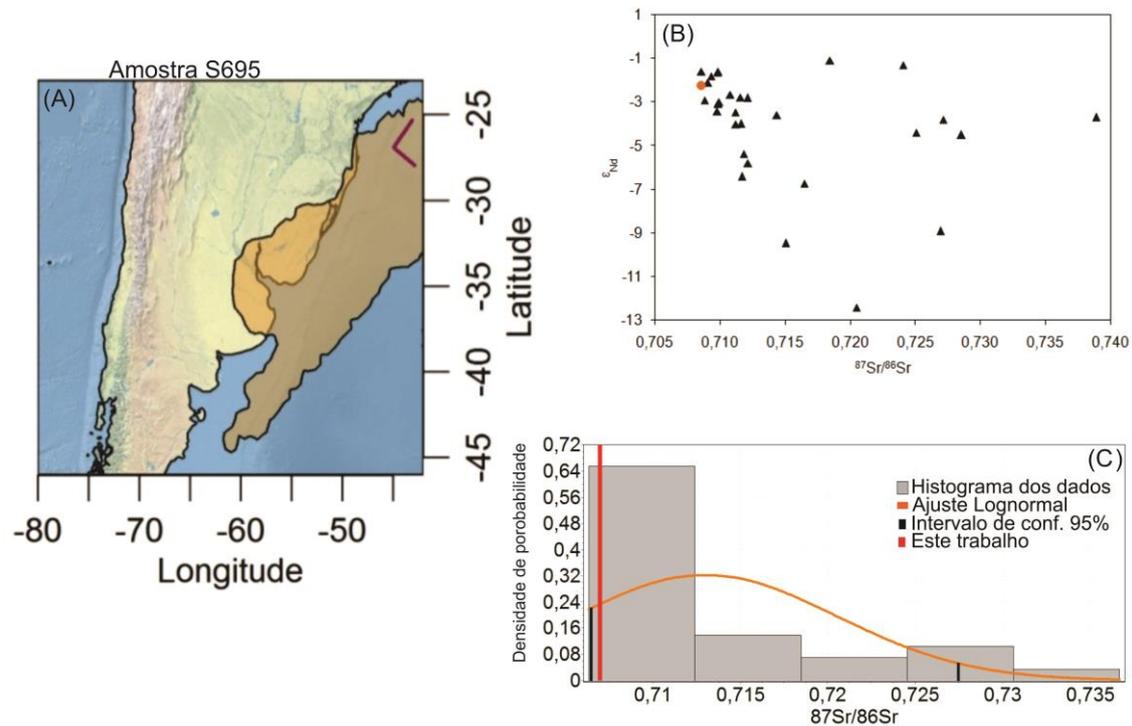
3.4 Eventos de transporte e associação isotópica

A discussão dos resultados será fundamentada na razão Sr-Sr primeiramente pela qualidade de leitura no Faraday e segundo pelo erro associado estar melhor que as análises de neodímio, portanto será avaliado através do intervalo de confiança de 95% a partir de uma curva *lognormal* se os resultados de Sr da amostra em questão tiverem seus valores inseridos no conjunto de dados que estão sob ação das trajetórias. As amostras da expedição de 2010, obtidas no percurso Rio de Janeiro- Antártica foram coletadas no mês Dezembro (tabela 1).

As assinaturas da PSA estão caracterizadas por valores médios de ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,706334$ a $0,736678$) enquanto o $\epsilon\text{Nd}(-12,4$ a $-1,1)$ o que constata que assinatura isotópica da amostra S695 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,708531$ e $\epsilon\text{Nd} = -2,2$) está compreendida entre as assinaturas isotópicas deste conjunto (figura 30 B e C). A região está bem caracterizada isotopicamente (com 29 pontos do inventário) e foi possível determinar a proveniência através da ferramenta Hysplit (figura 15A). A figura 30 C assegura que a razão isotópica da amostra tem grande probabilidade de ter origem continental por estar dentro do IC de 95%. As assinaturas

isotópicas deste conjunto compreendem morainas, areia, sedimentos sendo o loess o maior representante.

Figura 30 - Trajetoria realizada pelo navio - Amostra S695



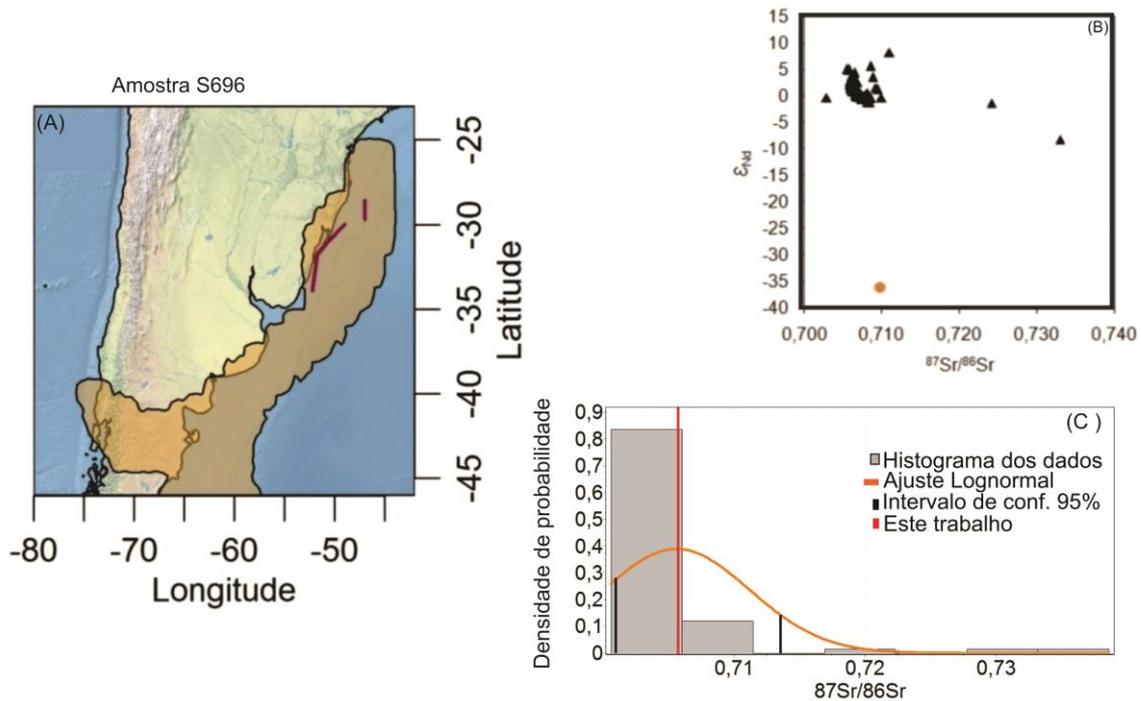
Legenda: A –Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

A razão isotópica da amostra S696 ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,709718$ e $\epsilon_{Nd}=-36,1$) não foi representada pelas retro- trajetórias que passaram por regiões cuja assinatura ficou entre ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,700642$ e $0,738596$) e ($\epsilon_{Nd} = -8,72$ e $8,31$) (figura 30 B). Um inventário bem representativo com 67 assinaturas, porém com nenhuma correspondência. A maior parte desses dados compreendem material vulcânico (sendo 41 dados) seguidos de rochas, solo, areia e sedimento. O modelo climático mostra que houve grande influencia oceânica apesar do extenso caminho percorrido entre as latitudes -40 e $-45^{\circ}S$ que poderia ter carregado aerossol desde os Andes (figura 31 A). Apesar disso os valores de estrôncio estão dentro do IC de 95% o que indica que essa amostra pode ter origem continental e que a possibilidade de ter origem marinha possa estar descartada (figura C) e que apenas o banco de dados da

amostra pode não ter sido suficiente para determinação da proveniência. Portanto a chave de identificação da proveniência desta amostra e de outras a seguir que apresentarem situação semelhante ficará associada a análise geográfica discutida no item 6.5.

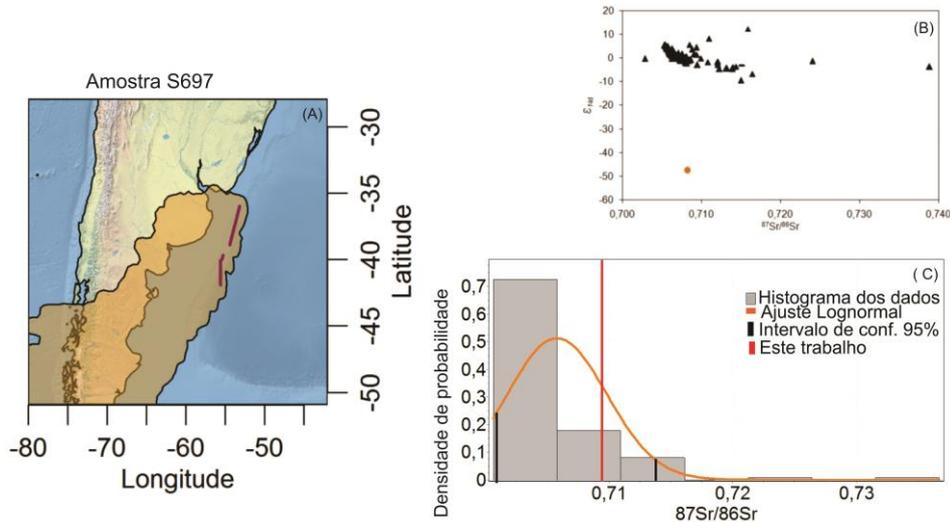
Figura 31- Trajetória realizada pelo navio - Amostra S696



Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Sr.
 Fonte: SANTOS, 2014

De acordo com os resultados do levantamento de assinaturas a amostra S697 ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,708253$ e $-\epsilon_{Nd}=47, 4$) não está inserida no grupo que estavam sob os domínios das massas de ar continental e marinha (figura 32 B e C). O conjunto com 127 assinaturas compostas por material vulcânico, rochas, loess, moraina e areia não é representando pelas massas de ar que apresentam origens continentais e oceânicas (figura 32 A). Baseado nos valores de Sr a amostra esta dentro do intervalo de confiança o que sugere ser de origem continental.

Figura 32 - Trajetória realizada pelo navio – Amostra S697

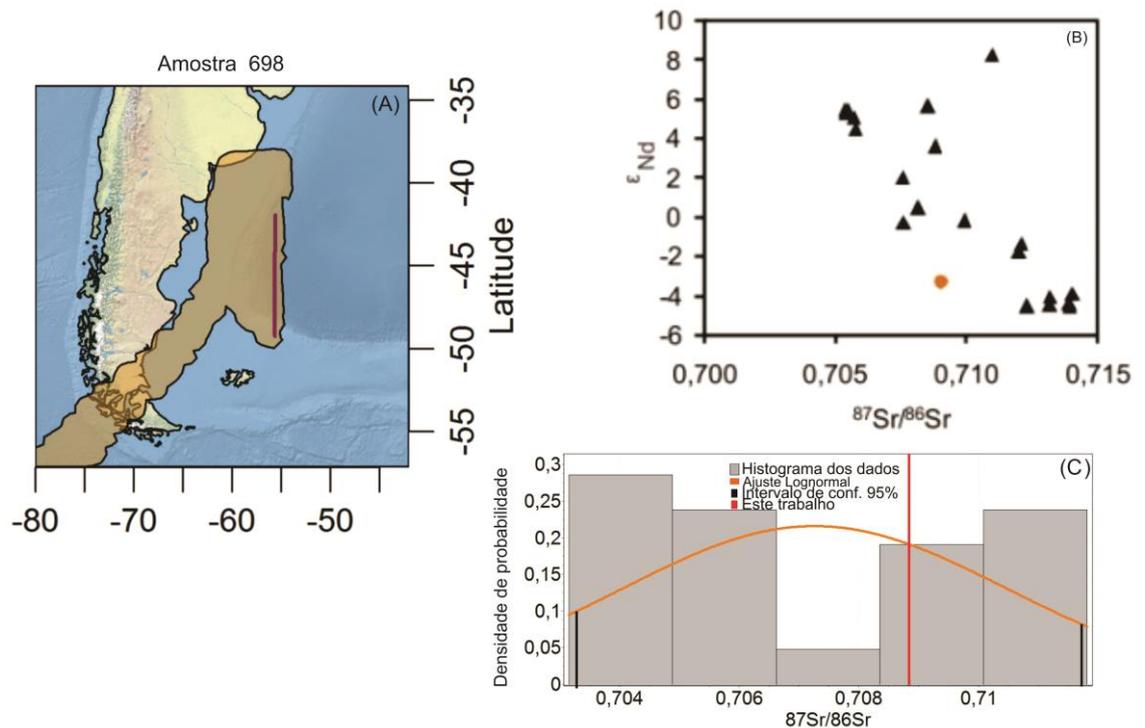


Legenda: A–Trajetória;B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

A razão isotópica da amostra 698 ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709032$ e $\epsilon_{Nd} = -3,27717$) está próxima das assinaturas isotópicas da região por onde passaram as trajetórias (figura 33A e B) e compreendem a média das assinaturas ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,70316$ a $0,711806$ e $\epsilon_{Nd} = -4,506$ e $8,31$). Apesar da predominância de massas oceânicas em comparação a continental (figura 33 C), o conjunto com 21 assinaturas contendo rocha, solo, loess e sedimentos subsidiou esta análise. O estudo do Sr (figura 33C) indicam que o conjunto e as amostras tem origem continental.

Figura 33 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S698

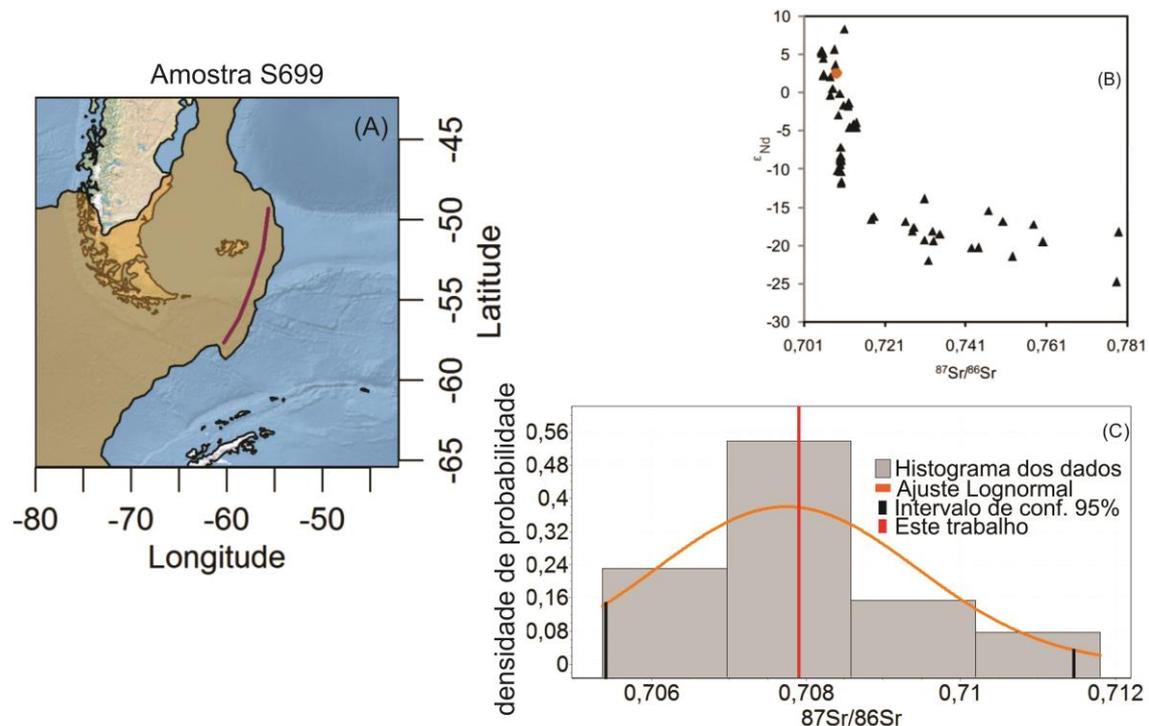


Legenda: A –Trajetória realizada pelo navio durante o período de coleta e as retro- trajetórias que atuavam durante todo o percurso;B – Banco de dados versus resultado o resultado representado pelo circulo na cor laranja; C – IC a partir dos dados de Sr do banco de dados.

Fonte: SANTOS, 2014

A razão isotópica da amostra S699 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,709196$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = 2,477782$) está de acordo com o banco de dados por onde as massas de ar passaram cujo intervalo varia de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70316$ a $0,77664$ $\epsilon_{\text{Nd}} = -24$ a $8,31$ (figura 34 B). O Inventário composto por 51 dados prevalecendo rochas, solo, sedimentos, loess, e moraina compõem as fontes de aerossóis continentais para este período de coleta e determinados elas retro- trajetórias (figura 34 A). A razão isotópica do Sr da amostra esta dentro do IC se comparado ao conjunto de dados (figura 34C) porém a amostra independente da granulometria da área fonte tem seu valor de Nd próximo das assinaturas portanto sugere se que esta amostra tenha realmente proveniência continental e tenha sua origem na região delimitada pelas retro- trajetórias entre as latitudes 50 e 55°S.

Figura 34 - Trajetória realizada pelo navio – Amostra S699

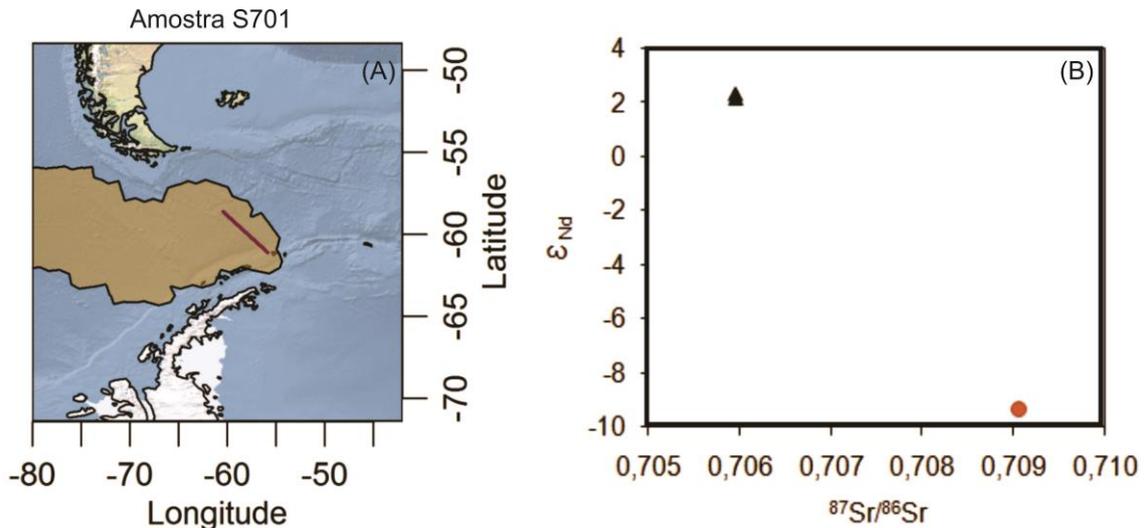


Legenda:A –Trajetória realizada pelo navio durante o período de coleta e as retro- trajetórias que atuavam durante todo o percurso;B– Banco de dados versus resultado; C– IC a partir dos dados de Sr do banco de dados.

Fonte: SANTOS , 2014

A amostra S701 de razão isotópica ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709055$) e ($\epsilon Nd = -9,32432$) apresenta um quadro difícil de se analisar devido a escassez de dados justificados devido a predominância das massas de ar ter origem oceânica (figura 35 C). Apesar de passar por uma pequena faixa continental representado por material vulcânico de ilhas próximas a Antártica foi ainda possível obter duas assinaturas isotópicas (figura 35 B). A razão isotópica da amostra coincide com a razão isotópica da água do mar ($Sr = 709$) (Faure, 1986). Portanto sugere -se que essa amostra tenha origem marinha se levarmos em consideração somente a análise das trajetórias, portanto será investigada no estudo por regiões além disso não foi possível calcular o IC devido a inexistência de assinaturas para comparação.

Figura 35 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S701



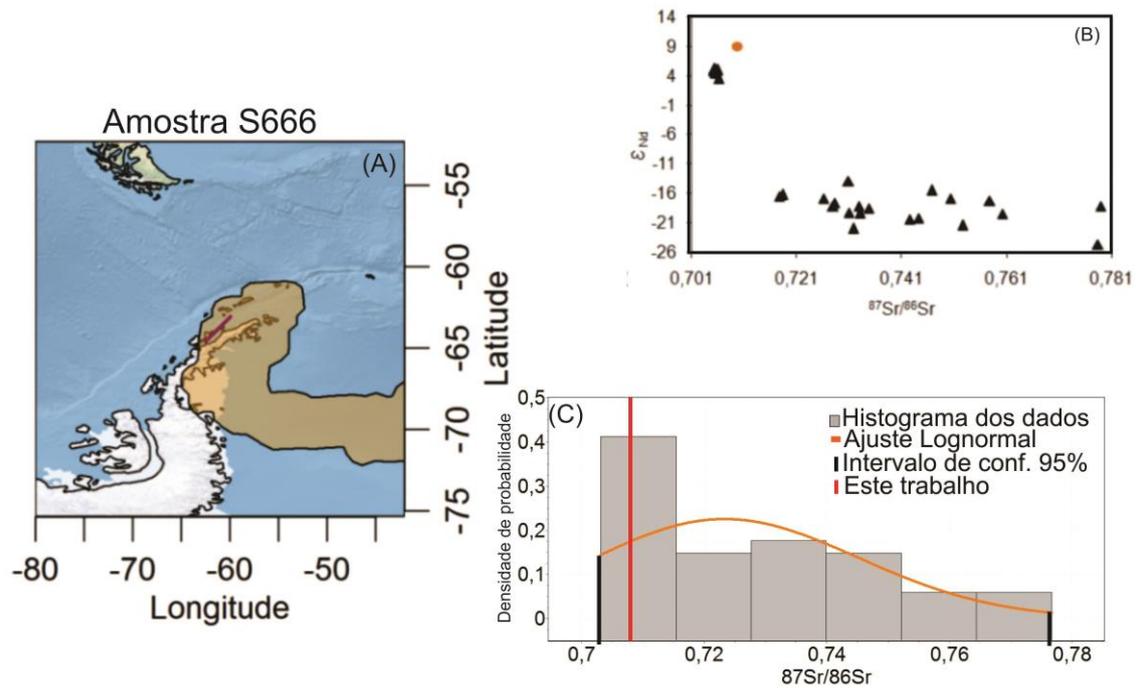
Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

As amostras da expedição de 2011, no percurso Antártica -Ushuaia -Rio de Janeiro foram coletadas no período de janeiro a Abril (tabela 2-anexo 1). A última erupção vulcânica antes da coleta ocorreu em 04/06/2011 pelo vulcão chileno Puyehue.

A amostra S666 apresenta razão isotópica ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709736$) e ($\epsilon_{Nd} = 9,051221$) e as 34 assinaturas isotópicas compostas exclusivamente por rochas estão compreendidas entre 0,709736 a 0,77664 para as razões de $^{87}Sr/^{86}Sr =$ e -24,676 a 5,208 para o ϵ_{Nd} e nos assegura que as assinaturas sejam coincidentes (figura 36 B). Associado com o resultado do Sr que corrobora que o Sr da amostra está dentro do IC garantindo que essa amostra tenha sua proveniência determinada na península Antártica (figura 36A e C).

Figura 36 - Trajetória realizada pelo navio – Amostra S666

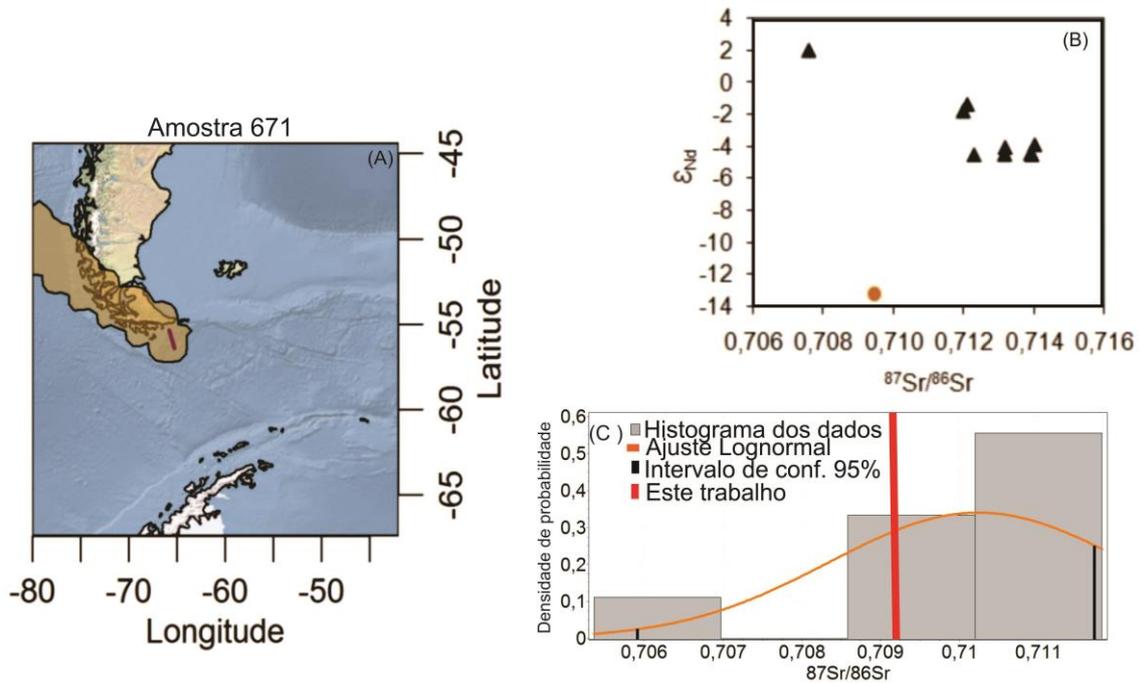


Legenda: A – Trajetória realizada pelo navio durante o período de coleta e as retro-trajetórias que atuavam durante todo o percurso; B – Banco de dados versus resultado; C – IC a partir dos dados de Sr do banco de dados.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 9 dados de assinaturas isotópicas compostas exclusivamente por sedimentos variam entre ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,705364$ a $0,711806$ e $\epsilon_{Nd} = -4,506$ a $2,05$) e compõem a base de dados de comparação com a amostra S671 de razão isotópica ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709451$ e $\epsilon_{Nd} = -13,2062$) (figura 37 B). As retro-trajetórias indicam que a amostra estava sob influência de massas de ar provenientes do Sul da América do Sul (~ 52 e $55^\circ S$) porém as razões isotópicas não coincidem com a base de dados (figura 37A). Entretanto a amostra, de acordo com o Sr pertence ao IC (figura 37C) descartando a possibilidade de ter sua origem na água do mar e poderá sua proveniência determinada através do estudo por regiões.

Figura 37 – Trajetória realizada pelo navio S671

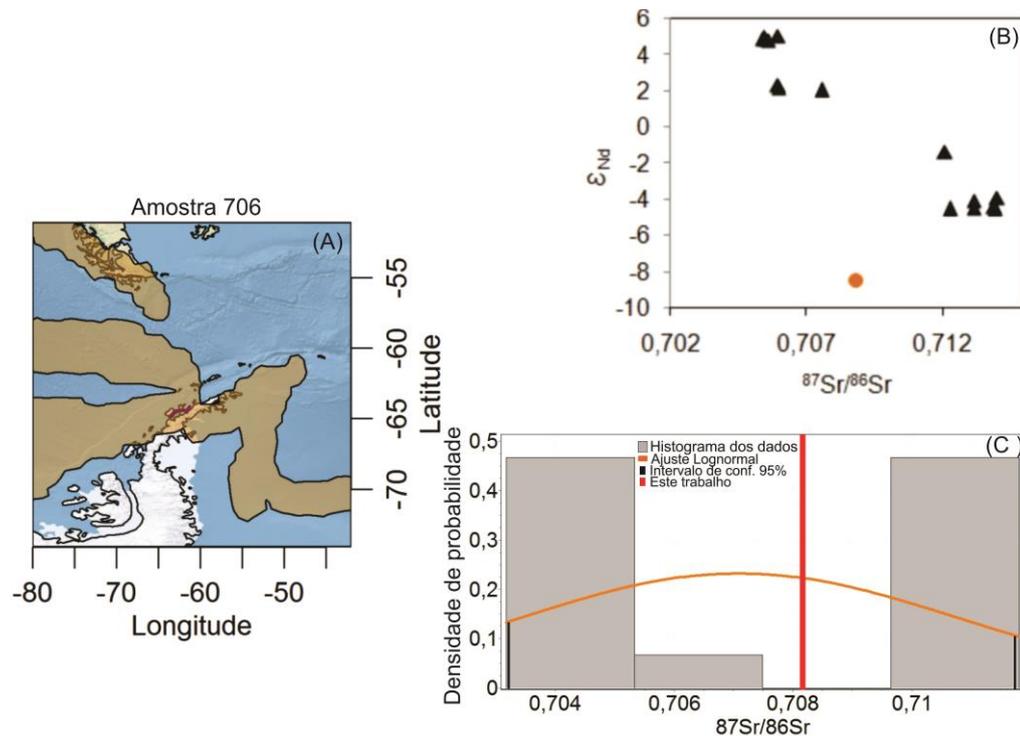


Legenda: A –Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança doEstrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 11 dados assinaturas compostas exclusivamente por sedimentos variam entre ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,703175$ a $0,711806$ e $\epsilon_{Nd}=-4,506$ a $5,033$) e são distribuídas em comparação com a amostra S706 ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,708828$ e $\epsilon_{Nd}=-8,46601$). Claramente não se identifica a sobreposição ou proximidade da base de dados com a amostra em questão (Figura B). As retro- trajetórias com extensa origem oceânica (figura 38A) tem os valores tanto do conjunto quanto da amostra pertencentes ao intervalo de confiança de 95% assegurando que a razão isotópica da amostra tem origem continental (figura 38C).

Figura 38 – Trajetória realizada pelo navio- Amostra S706

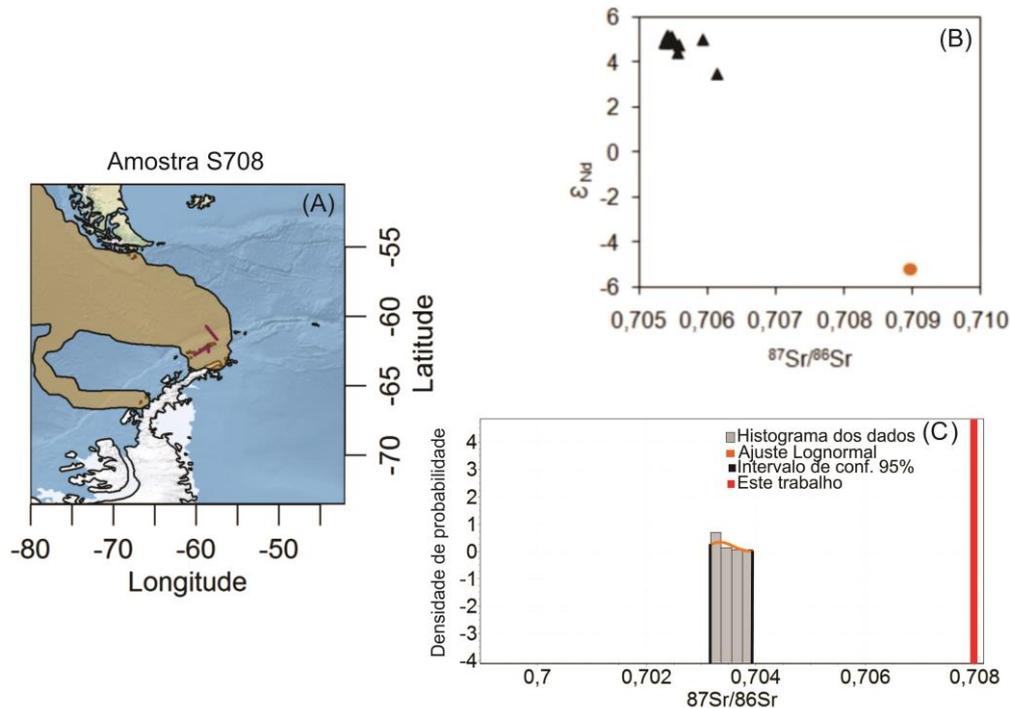


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 12 dados assinaturas de dados compostos por exclusivamente por rochas variam entre ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,703175$ a $0,703948$ $\epsilon_{Nd}=3,511$ a $5,208$) e são distribuídos juntamente com a amostra S708, de razão isotópica ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,708964$ e $\epsilon_{Nd}=-5,16934$) (figura 39B). Não há sobreposição ou proximidade entre conjunto e a amostra, portanto as retro- trajetórias (figura 39A) não são coincidentes para a determinação da proveniência dos aerossóis contidos no filtro. A razão isotópica da amostra não está dentro do IC de 95% do conjunto e razão isotópica não é equivalente a água do mar ($Sr=709$ como correspondente na figura 39C).

Figura 39 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S708

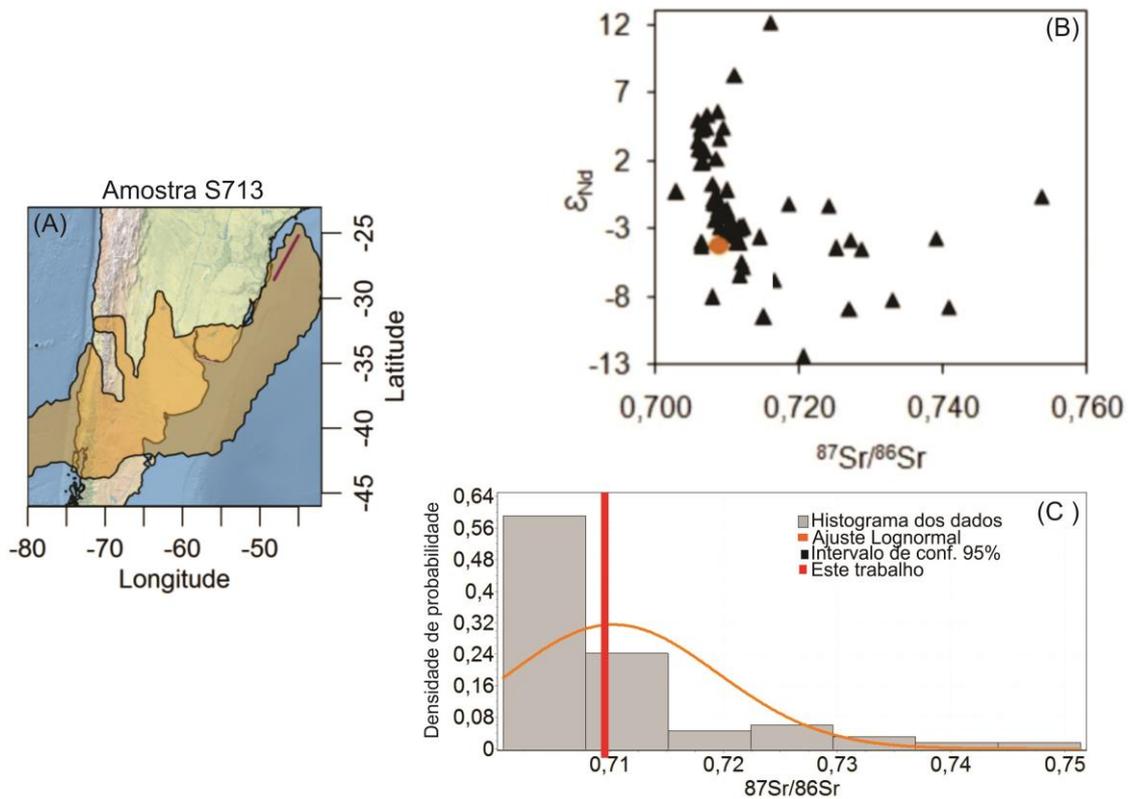


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

O conjunto de 66 dados assinaturas se caracterizam pela composição de rochas (inclusive plutônicas, que totalizam 36) e em sequência loess, sedimentos e areia que apresentam uma variação isotópica de ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,700642$ a $0,75137$ e do $\epsilon_{Nd}=-12,4$ a $12,18$). Em meio a esta diversidade de fontes de particulados encontramos a amostra S713 ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,708868$ e $\epsilon_{Nd}=-4,31103$) (figura 40B) As retro- trajetórias apresentaram origem oceânica e uma grande extensão continental principalmente entre -33 e $-43^{\circ}S$ (figura 40 A). Os dados de Sr da amostra confrontados com os do banco de dados estão dentro do IC confirmando a proveniência desta amostra (figura 40 C).

Figura 40 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S713

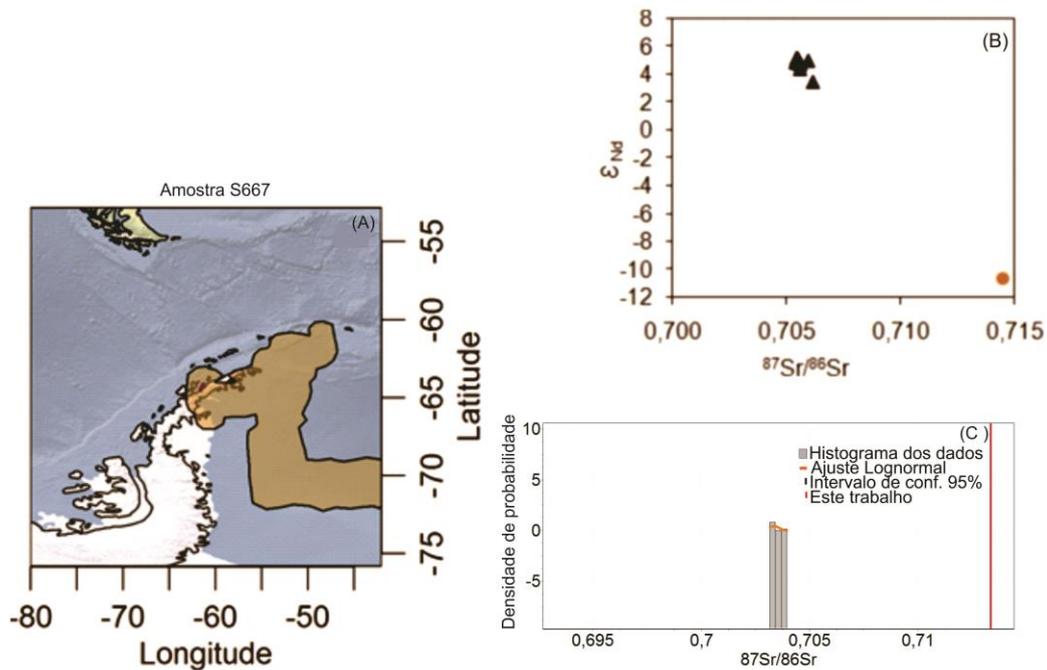


Legenda: A –Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança doEstrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 12 dados compostos exclusivamente por rochas variam entre ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}= 0,703175$ a $0,703948$ e $\epsilon_{\text{Nd}}=3,511$ a $5,208$). A amostra S667 apresenta razão isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}= 0,714486$ e $\epsilon_{\text{Nd}}=-10,6703$) e o conjunto de dados não são coincidentes portanto este resultado se soma aos exemplos que não podem ter sua proveniência assegurada pelas trajetórias (figura 41 B) que tiveram passagem concentradas na península antártica e oceânica (figura 41 A). Entretanto a razão de Sr da amostra esta dentro do intervalo de confiança do Sr do conjunto (figura 41 C).

Figura 41 – Trajetória realizada pelo navio- Amostra S667

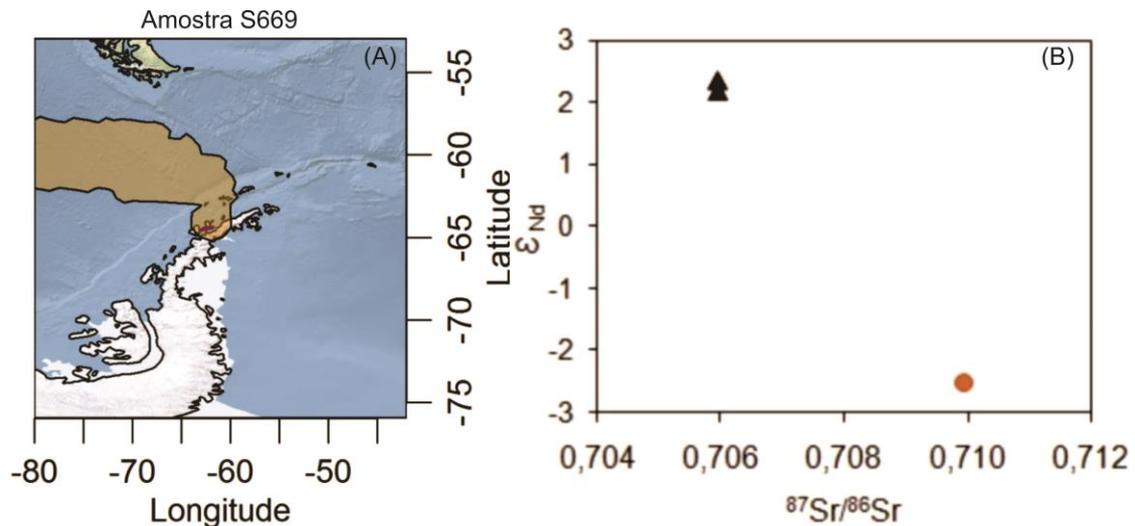


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

A amostra S699 cuja razão isotópica é $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709945$ e $\epsilon_{Nd} = -2,5164$ foi amostrada em ilhas próximas a península Antártica. O inventário é bem escasso contendo apenas dois dados de razões isotópicas cuja origem é material vulcânico (figura 42B). A escassez justifica-se pelas retro-trajetórias apresentarem proveniência oceânica (figura 42 A). O número baixo de dados não permitiu análise de IC.

Figura 42 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S669

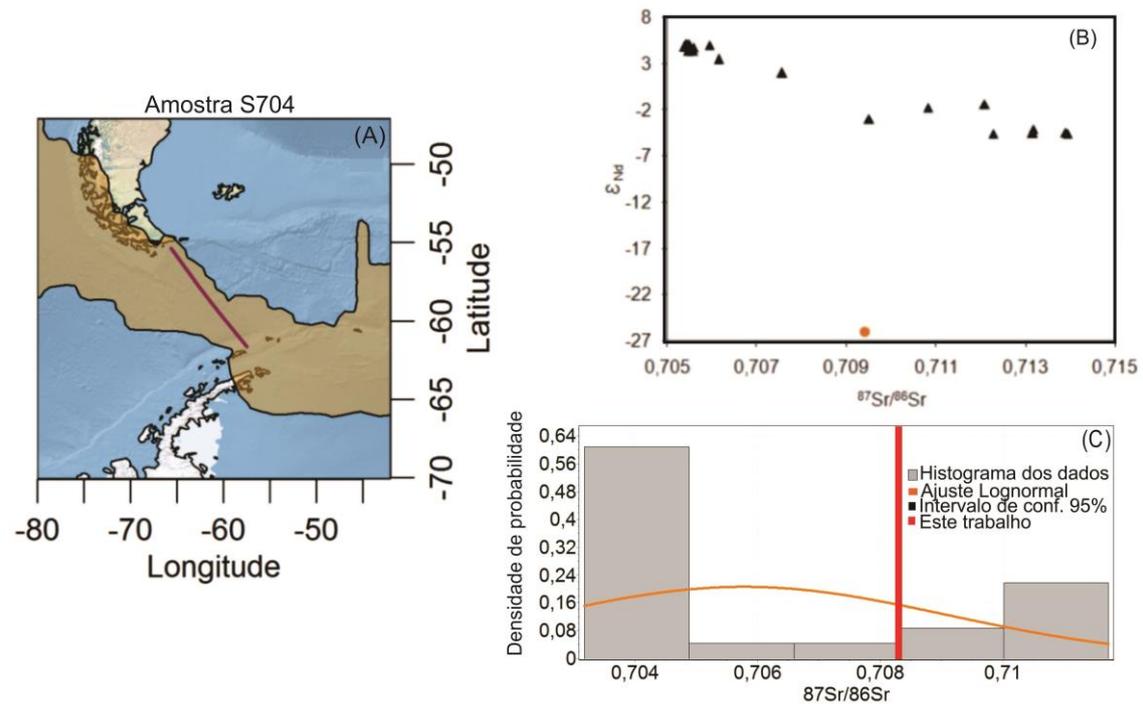


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 23 dados assinaturas compostos por rochas, sedimentos e morainas variam entre ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,703175$ a $0,711718$ e $\epsilon_{Nd} = 3,511$ a $5,208$) e a amostra S704 apresenta razão isotópica de ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709384$ e do $\epsilon_{Nd} = -25,88$) (figura 43 B). As retro- trajetórias tiveram origem oceânica e continental sendo grande parte da região andina (~ 50 e $55^{\circ}S$) de forma (figura 43 A). Essa passagem pelo continente possibilitou a aquisição de dados do inventário porém este não foi coincidente com a amostra mas através do estudo de Sr pode ser identificar que a amostra é continental por estar dentro do IC de 95% (figura 43 C).

Figura 43 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S704

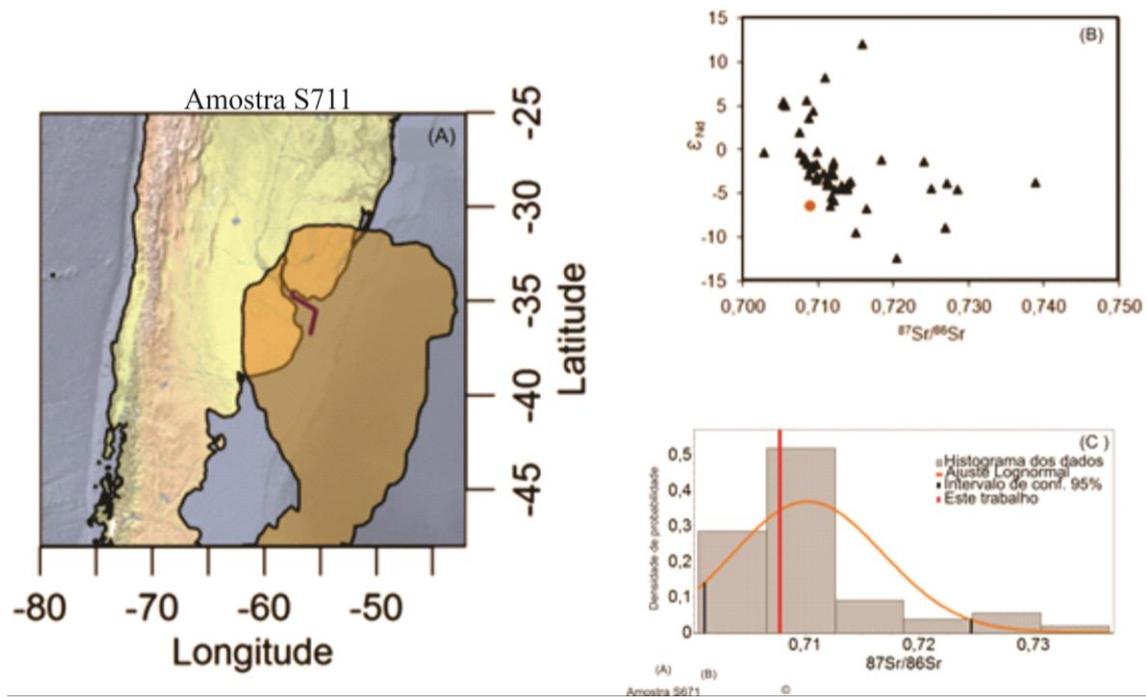


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 56 dados de assinaturas compostas por loess rochas, sedimentos e areia variam entre ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,700642$ a $0,736678$ e $\epsilon_{Nd}=-12,4$ a $12,18$). A amostra está inserida no conjunto de assinaturas (figura 44 B). As retro –trajetórias e assinaturas foram correspondentes com as amostras. A amostra S711 cuja razão isotópica é ($^{87}Sr/^{86}Sr= 0,708899$ $\epsilon_{Nd}=-6,41778$) além de ser determinada pelas retro- trajetórias (figura 44 A) tem sua análise de Sr dentro IC de 95% corroborando com a determinação da proveniência (figura 44 C).

Figura 44 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S711

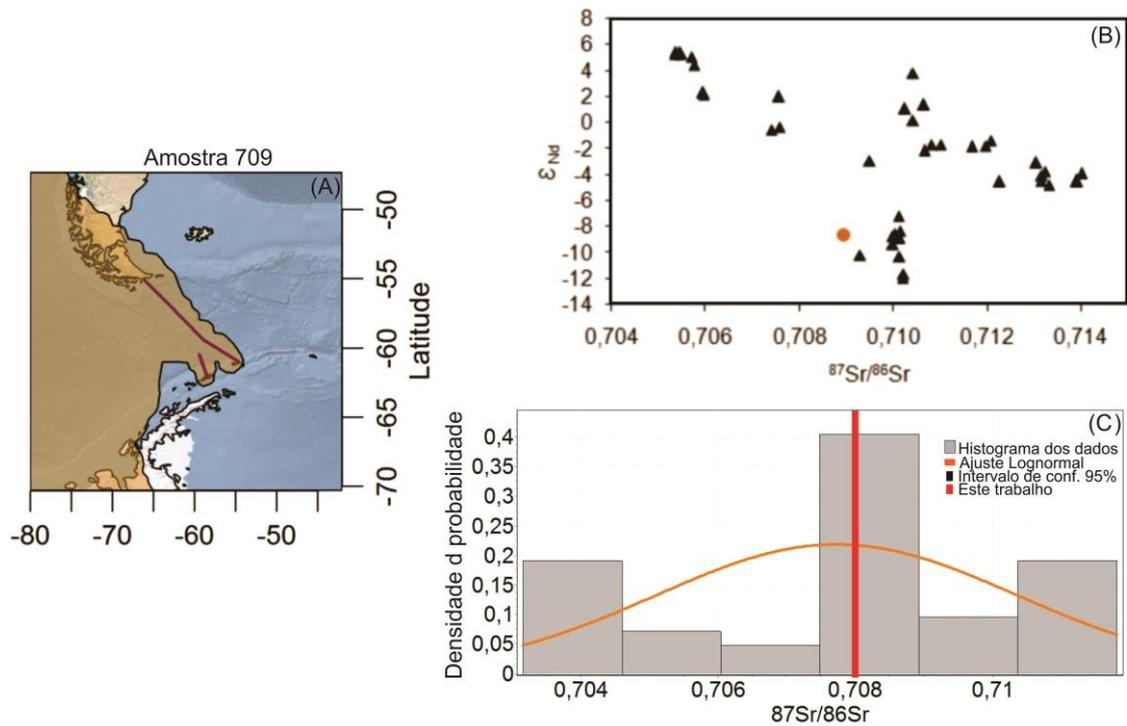


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

Os 42 dados de assinaturas compostas por sedimentos variam entre ($^{87}Sr/^{86}Sr=0,70316$ a $0,711806$ e $\epsilon_{Nd}=11,9$ a $5,5$) e este em especial contém dados de poeiras arquivados em testemunhos de gelo seguidos por rochas, sedimentos, moraina e material vulcânico. A amostra S709 tem razão isotópica $^{87}Sr/^{86}Sr=0,708954$ e $\epsilon_{Nd}=-8,68059$ e está inserida no conjunto do inventário (figura 45B), portanto as retro- trajetórias, neste caso foram satisfatórias na determinação da proveniência (figura 45 A). Os valores de Sr do conjunto engloba a razão isotópica do Sr da amostra, sugerindo proveniência determinada pelo local por onde passam as retro- trajetórias devido ao estudo estatístico do IC (figura 45 C).

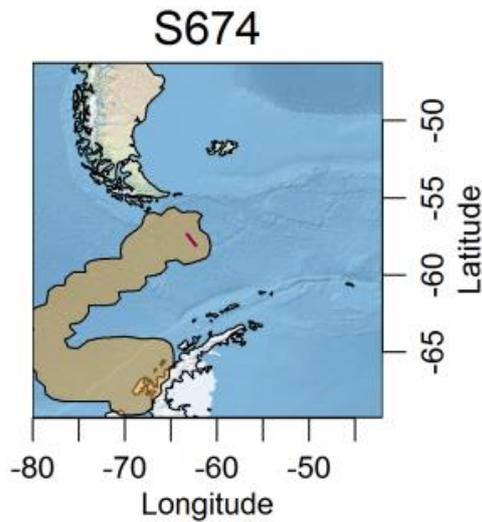
Figura 45 – Trajetória realizada pelo navio - Amostra S709



Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Não foi possível avaliar a amostra S674 com razão isotópica 0,712414 e -35,99 em relação a PSA pela ausência de dados (figura 46). As massas de ar com origem predominantemente oceânica impossibilitaram qualquer levantamento de dados para comparação. Certamente toda a expectativa de determinação da proveniência estará centrada no estudo por regiões.

Figura 46 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S674

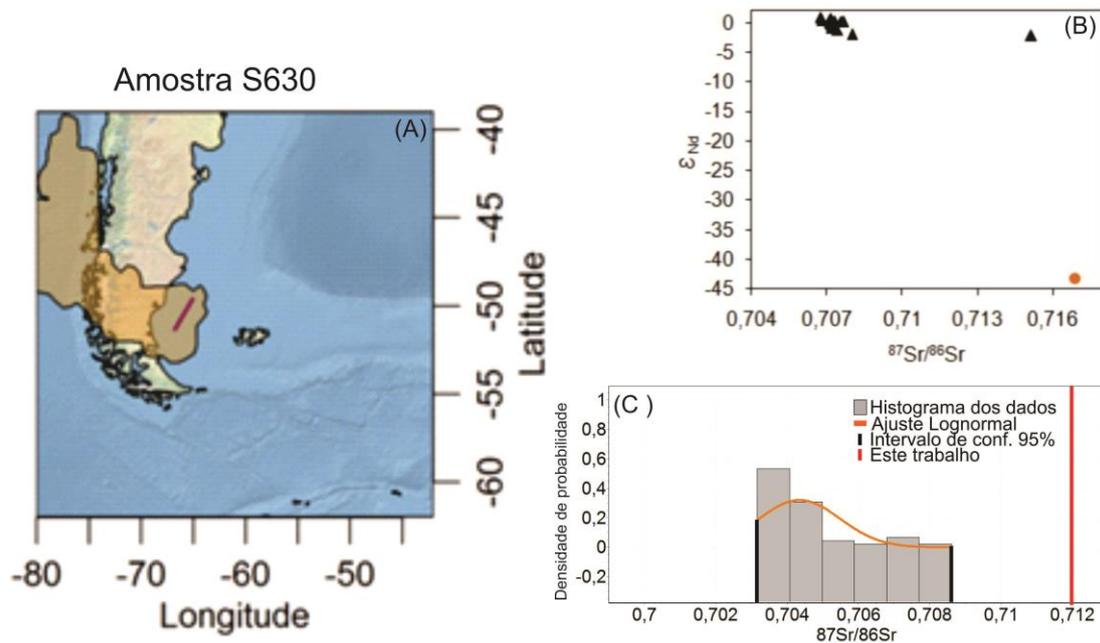


Fonte: SANTOS, 2014

As amostras da expedição de 2012, no percurso Antártica-Rio de Janeiro foram coletadas no mês de Abril (tabela 8). O registro de erupção vulcânica mais recente é do vulcão chileno Copahue em 26/12/2012.

A amostra S630 com razão isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,712191$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = -3,70105$) está afastada isotopicamente das assinaturas do conjunto portanto esta análise não culmina na determinação da proveniência através do método das análises das trajetórias (figura 47 A). As 46 assinaturas isotópicas são compostas principalmente por material vulcânico seguido de rochas, morainas e todos estão inseridos num intervalo de ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,712191$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = -3,70105$) (figura 47 B). O Sr da amostra não está compreendido no IC do Sr do conjunto de dados (figura 47 C).

Figura 47 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S630

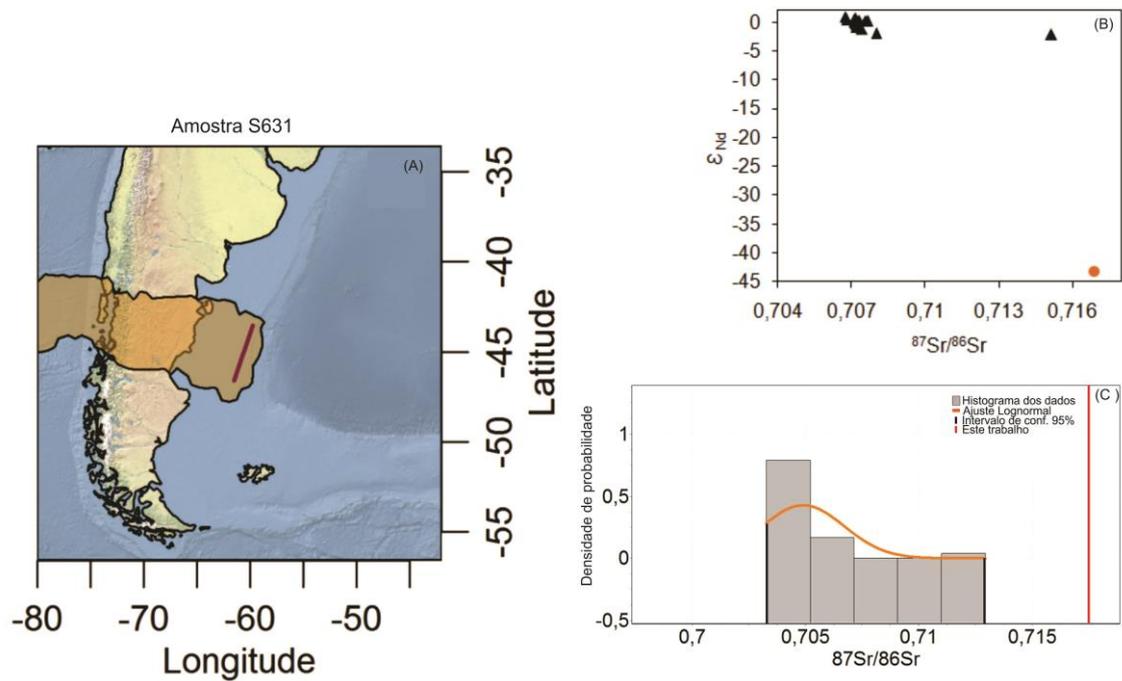


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

As 24 assinaturas isotópicas compostas predominantemente por rochas seguidos de loess e solo estão dentro do intervalo de ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70279$ a $0,71293$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = -2,15$ a $4,467$) enquanto a amostra apresenta razão isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71684$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = -43,0651$), o que faz com que fique afastada do conjunto (figura 48 B). Portanto as retro- trajetórias não explicam a proveniência (figura 48 A). O estudo de Sr do conjunto não inclui a razão de Sr da amostra diminuindo a possibilidade desta amostra ter origem continental. (figura 48A). De qualquer forma a origem desse aerossol ainda será avaliado através do estudo por regiões geográficas no item 5.6.

Legenda 48 – Trajetória realizada pelo navio –Amostra S631

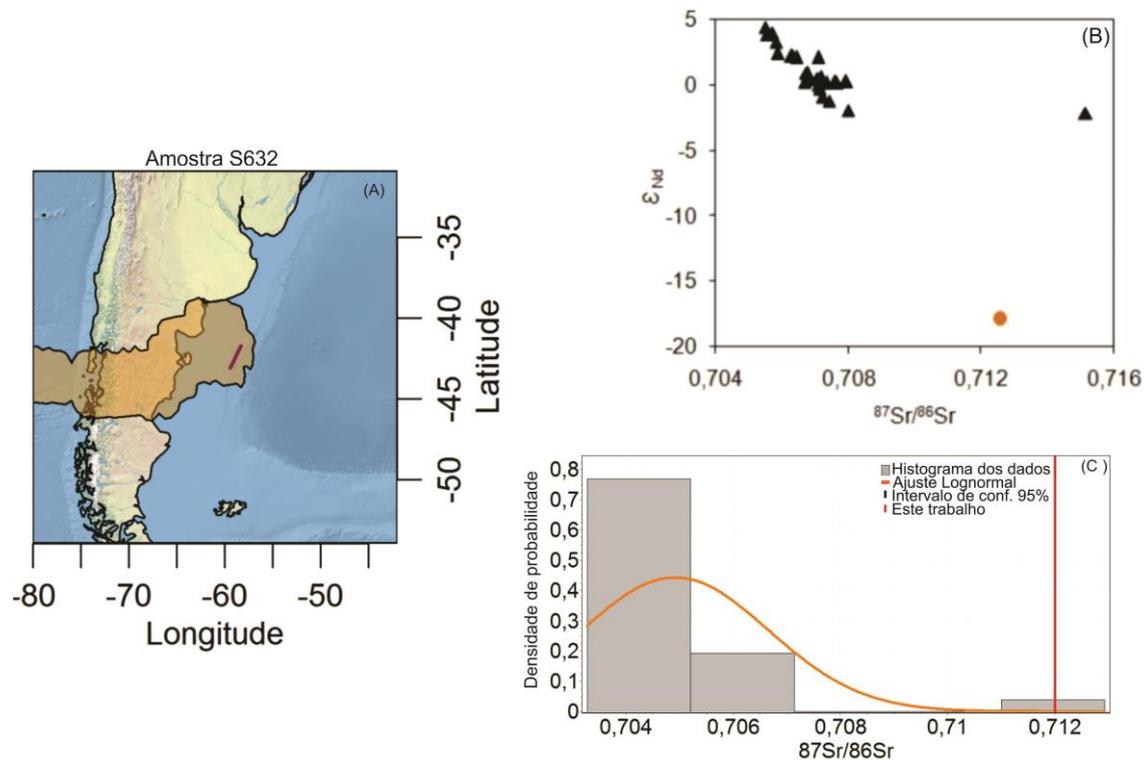


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

As 26 assinaturas isotópicas compostas predominantemente por rochas, seguidas de loess e solo variaram entre ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70279$ a $0,71293$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = -2,15$ a $4,467$) e a amostra S632, com razão isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,712582$ e $\epsilon_{\text{Nd}} = -17,8757$), não pertence a este intervalo (figura 49B). Desta forma as retro-trajetórias não corresponderam a investigação da proveniência (figura 49A). A avaliação do estudo através do Sr separa o Sr do conjunto de da razão da amostra (figura 49C).

Figura 49 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S632

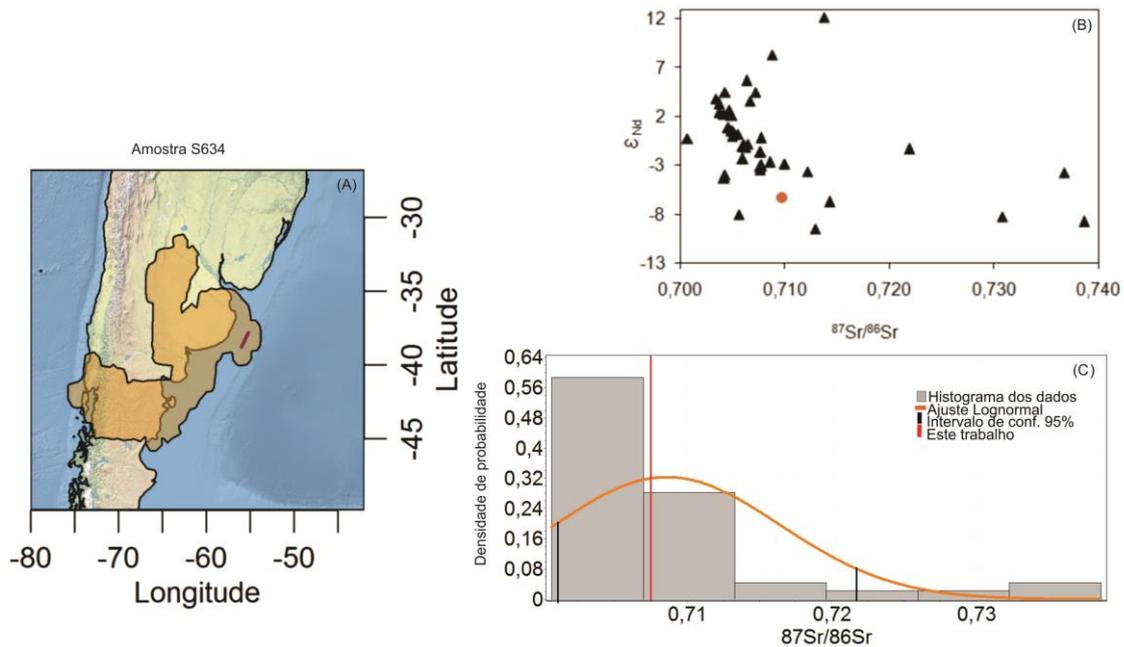


Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte: SANTOS, 2014

A amostra S634 de razão isotópica ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,709684$ e $\epsilon_{Nd} = -6,27805$) está inserida no conjunto de assinaturas (figura 50B) selecionado pelas retro- trajetórias (figura 34A). O conjunto de razões isotópicas do inventário variou ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0,700642$ a $0,738596$ e $\epsilon_{Nd} = -9,461$ a $12,18$) composto por rochas, sedimentos e loess. As retro trajetórias apesar da origem oceânica teve grande extensão continental com extensão de ~ 33 a -45 °S (figura 50C). Soma-se a esta análise a inserção do Sr da amostra no intervalo de confiança do conjunto (figura 50D)

Figura 50 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S634

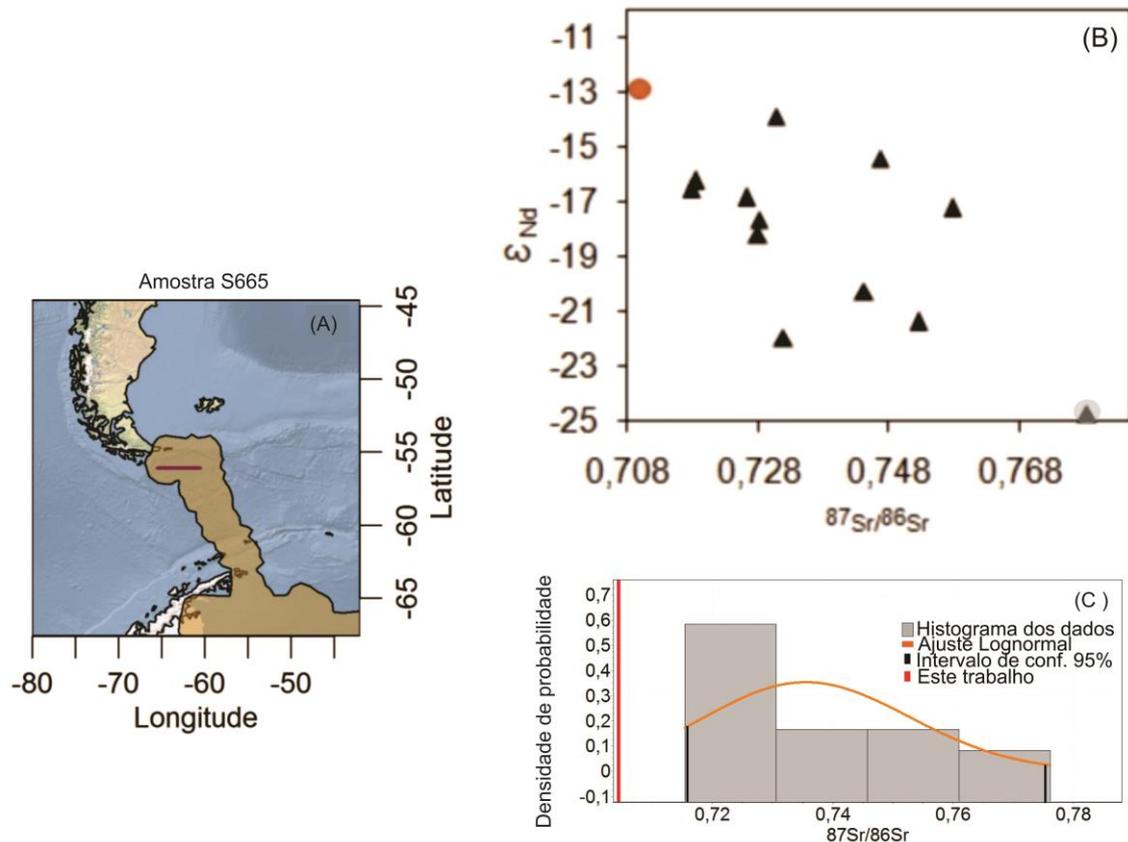


Legenda: A –Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

Fonte:SANTOS, 2014

As 12 amostras compostas unicamente por rochas apresentaram variação isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ = 0,715447 a 0,77615 e ϵ_{Nd} = -24,676 a -13,18) e a amostra S665 de razão isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ = 0,709896 e ϵ_{Nd} = -12,8746) não está inserida no conjunto seja pelo estudo do par isotópico Sr X Nd (figura 51B) seja pelo estudo isolado do Sr de acordo com o IC (figura 51C). As retro- trajetórias tiveram influencia completamente oceânica e portanto impossibilitou o levantamento de dados para comparação (figura 51 A).

Figura 51- Trajetória realizada pelo navio – Amostra S665



Legenda: A – Trajetória; B – Banco de dados versus resultado; C – Intervalo de confiança do Estrôncio.

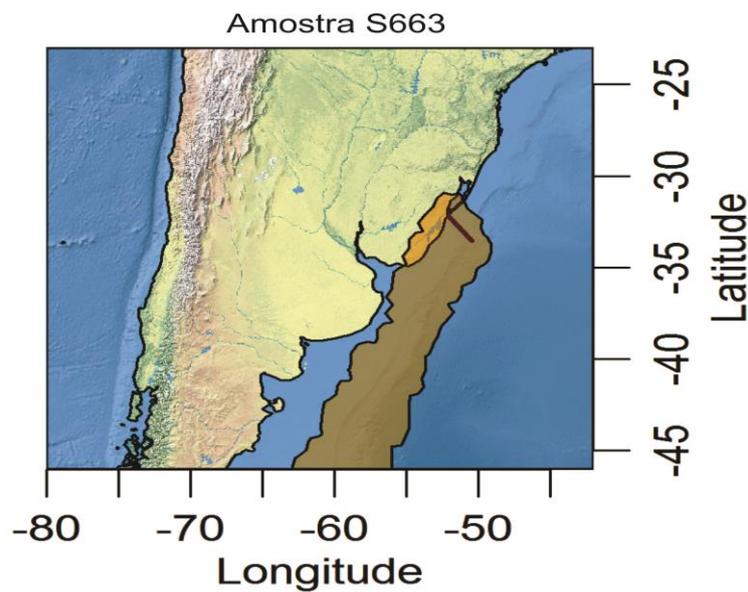
Fonte: SANTOS, 2014

A avaliação da eficiência do estudo das retro- trajetórias para explicar a proveniência dos resultados encontrados a bordo do navio estão sintetizados na tabela 6. A partir do cruzeiro de 2010 obteve-se três amostras determinadas pelo modelo *Hysplit* sendo a amostra S695, S698 e a S699 com a primeira coletada no setor geográfico 1 e as duas no setor 2 respectivamente. O cruzeiro realizado em 2011 obteve 4 amostras determinadas pelo modelo *Hysplit* sendo a amostra S713 coletadas no setor geográfico 1, a amostra S711 coletadas no setor 2 e as amostras S666 e S709 coletadas no setor 4. Apenas uma amostra (S634) teve sua proveniência determinada pelo modelo sendo todas as demais dependentes do estudo por regiões fundamentados nas razões isotópicas de Sr e Nd.

Não foi possível avaliar a amostra S663 com razão isotópica 0,709114e 23,68142822 em relação a PSA pela ausência do mesmo. As massas de ar com origem de grande abrangência

oceânica impossibilitaram qualquer levantamento de dados para comparação. Certamente toda a expectativa de determinação da proveniência estará centrada no estudo por regiões. Apesar da semelhança do percurso das trajetórias da amostra S663 (figura 52) com a amostra S633 estas foram coletadas com um intervalo de 8 dias de diferença (tabela 8).

Figura 52 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S663

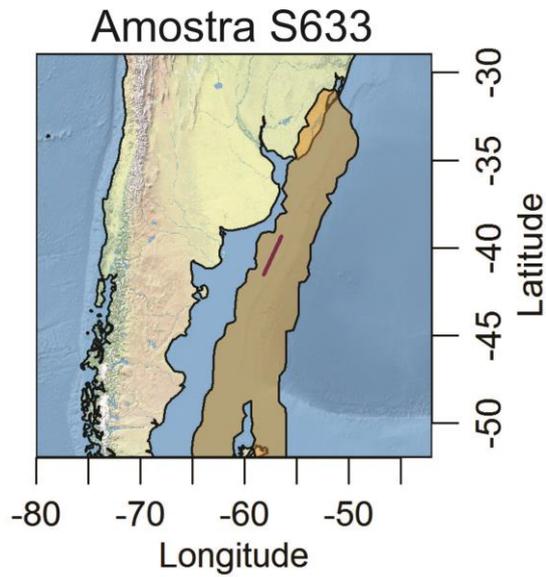


Legenda: Trajetória realizada pelo navio durante o período de coleta e as retro- trajetórias.

Fonte: SANTOS, 2014

Não foi possível avaliar a amostra S633 com razão isotópica 0,81979718 e -21,1 em relação a PSA pela ausência do mesmo. As massas de ar com origem de grande abrangência oceânica impossibilitaram qualquer levantamento de dados para comparação (figura 53). Certamente toda a expectativa de determinação da proveniência estará centrada no estudo por regiões.

Figura 53 – Trajetória realizada pelo navio – Amostra S633



Legenda: Trajetória realizada pelo navio durante o período de coleta e as retro- trajetórias.

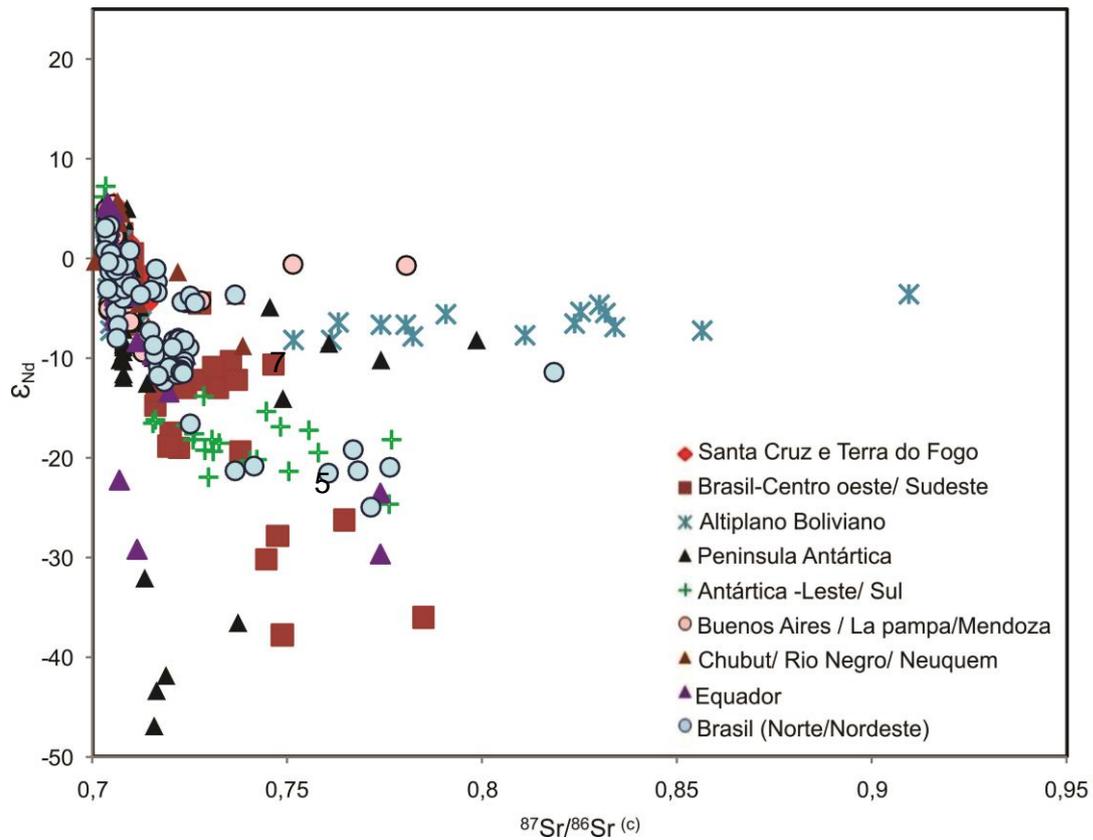
Fonte: SANTOS, 2014

A tabela 6 contém a síntese geral das amostras avaliadas e as que foram descritas somente a partir das retro- trajetória. A partir desses resultados será possível diagnosticar que os modelos são limitados e portanto a validação com dados in situ é necessária.

3.5 Estudo dos resultados por regiões geográficas

Um dos principais resultados deste trabalho que culminou no inventário com 583 assinaturas isotópicas na América do Sul a partir do Brasil está detalhado no anexo D e delineado na figura 54.

Figura 54 – Base de dados do inventário das PSA

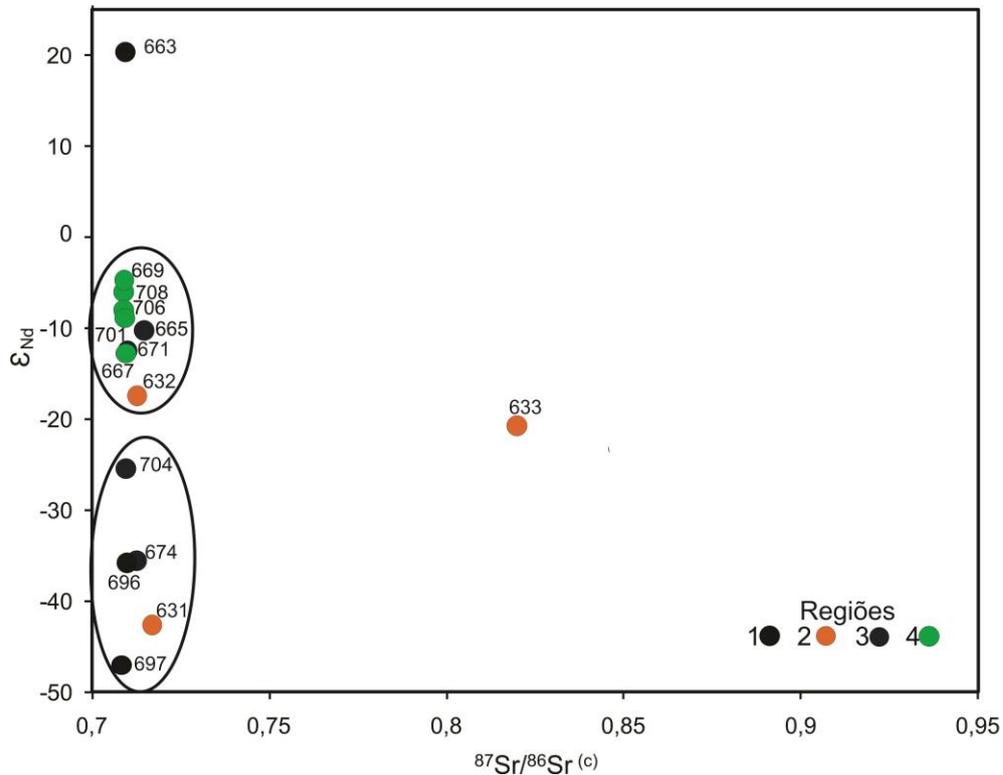


Legenda: Base de dados do inventário das PSA e resultados sobrepostos.

Nota: Os pontos deste trabalho estão separados por colorações preto, laranja, azul e verde de acordo com seu grupo geográfico delimitado de acordo com mapa na figura 38. Esta mesma classificação de regiões geográficas de acordo com as figura 28 e 29.

Fonte: SANTOS, 2014

Figura 55 – Base de dados do inventário das PSA e resultados sobrepostos



Nota: Esta mesma classificação de regiões geográficas de acordo com as figuras 28 e 29.

Fonte: SANTOS, 2014

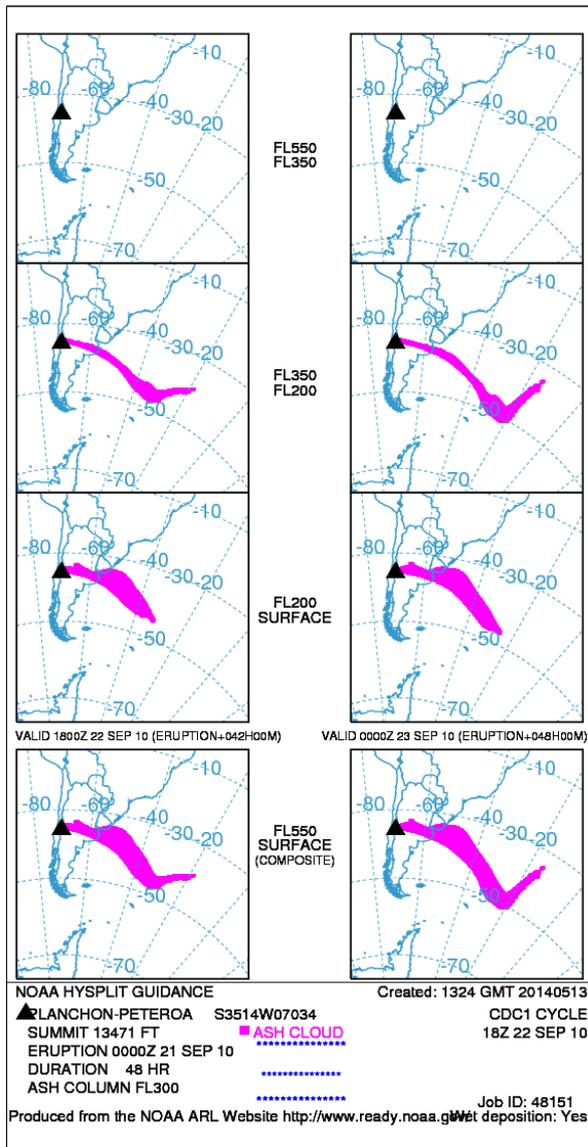
Os resultados das análises isotópicas que totalizaram 23 pares de razões Sr e Nd tiveram proveniência caracterizada de acordo com o estudo por regiões em que somente dois pontos ficaram de fora de qualquer classificação e representam o grupo (1) e (2). O mapa é corrigido pela granulometria proposta por GAIERO (2007) e assim como nos gráficos de dispersão a mudança não afetou na amostra pertencida ou não ao conjunto do inventário.

As razões de Sr do inventário variaram de 0,7 a ~ 1 (figura 54) e o resultado demonstrado na figura 55 permite que seja possível agrupar a proveniência em 3 grupos para os aerossóis no Atlântico Sul e Austral. Na figura 54 em que ocorre maior sobreposição de dados do inventário e amostra percebe-se que a variação na escala do Sr é maior que a do Nd pois a medida que este isótopo vai ficando cada vez mais radiogênicos não se tem uma variação muito grande no ϵ_{Nd} enquanto o Sr varia de (705 e 720).

3.6 Influencia do vulcanismo andino

Esta análise por utilização de modelos determinara a trajetória da pluma no momento de erupção mas não será feito de forma contínua até o dia da amostragem porque não se tem a assinatura isotópica do material resultante da pluma para acrescentar ao inventário. Porém sabe-se que tanto as análises isotópicas quanto a química representada pelos metais podem receber influência do material vulcânico, isto porque a região de amostragem está sob influência intermediária da deposição de poeira anual da Patagônia (JOHNSON *et al.*, 2010). Materiais vulcânicos também participam desse conjunto de processos emissores de material para a atmosfera e são de grande influência nesta região, como a Cordilheira dos Andes que abriga vários vulcões ativos, com erupções esporádicas (STERN, 2004). O vulcão Planchon-Peteroa, localizado na fronteira Chile: Argentina (-35.24°S , -70.57°W), entrou em erupção em 21/09/2010 sendo considerada forte, caracterizado pelo lançamento de cinzas contínuas alcançando até 8 km de altitude permanecendo em atividade até o dia 13 de janeiro de 2010. As coletas de aerossóis tiveram início em 07 de Dezembro de 2010, portanto as cinzas vulcânicas emitidas e dispersas na atmosfera são mais um fator que contribui para a heterogeneidade de assinaturas isotópicas. A imagem a seguir calculada através do programa *Hysplit* com dados modelados para as primeiras 48 horas da erupção constatam que as cinzas vulcânicas seguem em direção ao Oceano Atlântico podendo as partículas maiores serem depositadas no continente. O material que fica no continente se mistura ao solo e torna-se um potencial aerossol. Apesar de não ser possível com as análises deste trabalho identificar alguma razão isotópica deste vulcão que possa estar na atmosfera, se fez necessário incluir os vulcões nessa discussão devido à sua constante atividade potencialmente influenciadora. Conforme as imagens nas figuras 54 e 55, os últimos vulcões em erupção prévios às coletas expeliram material que seguiram para o oceano e certamente se depositaram em solo patagônico.

Figura 56 – Simulação da emissão da pluma vulcânica do Planchon-Peteroa



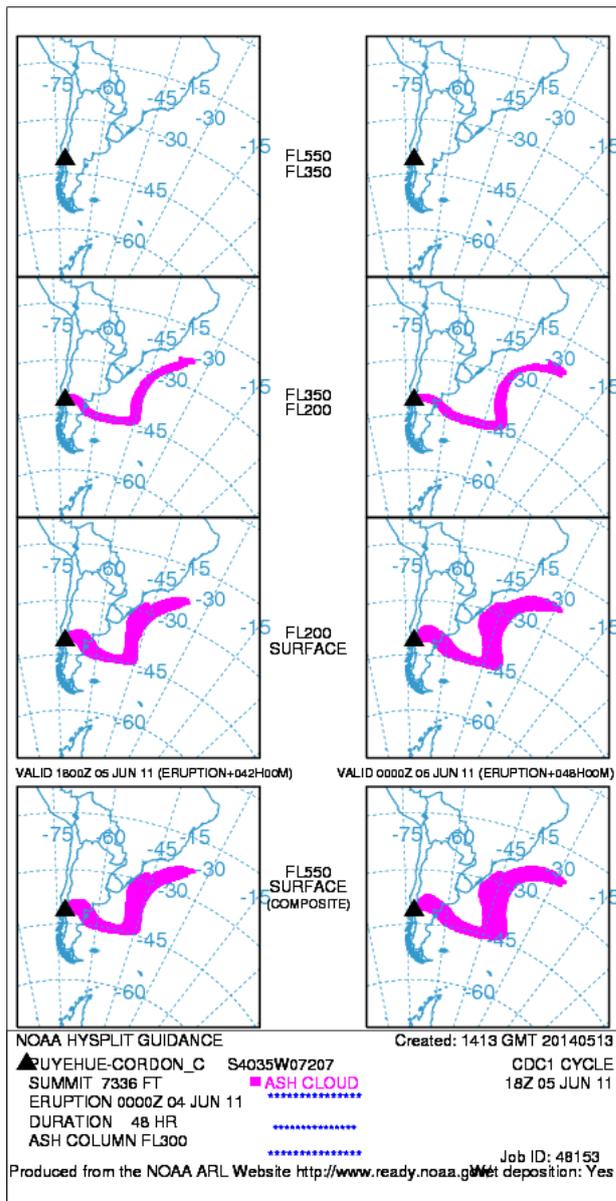
Legenda: Simulação da emissão da pluma vulcânica do Planchon-Peteroa.

Fonte: SANTOS,2014.

O Vulcão Puyehue-Cordón Caulle localizado na fronteira Chile/ Argentina (-40.59°S , -72.12°W) entrou em erupção no dia 4 de Junho de 2011, a nuvem de cinzas foi disseminada entre as cidades de todo o hemisfério sul, incluindo Bariloche, Buenos Aires, Montevideo, Stanley, Porto Alegre, Cidade do Cabo, Hobart, Perth, Adelaide, Sydney, Melbourne, Wellington e Auckland, o que levou as companhias aéreas a cancelarem centenas de vôos domésticos e internacionais além da migração de pessoas que habitavam próximas ao vulcão e

tiveram que sair. Até o dia 18 de junho, a nuvem de cinzas havia completado seu primeiro círculo do globo. Fortes ventos transportaram a nuvem de cinzas do vulcão há uma grande distância em altas altitudes e chegaram a Nova Zelândia e sul da Austrália, dificultando os voos entre Adelaide, Melbourne, Perth, e todos da Tasmânia e Nova Zelândia. As coletas de aerossóis iniciaram dia 22 de janeiro.

Figura 57 – Simulação da pluma vulcânica do Puyehue-Cordón Caulle



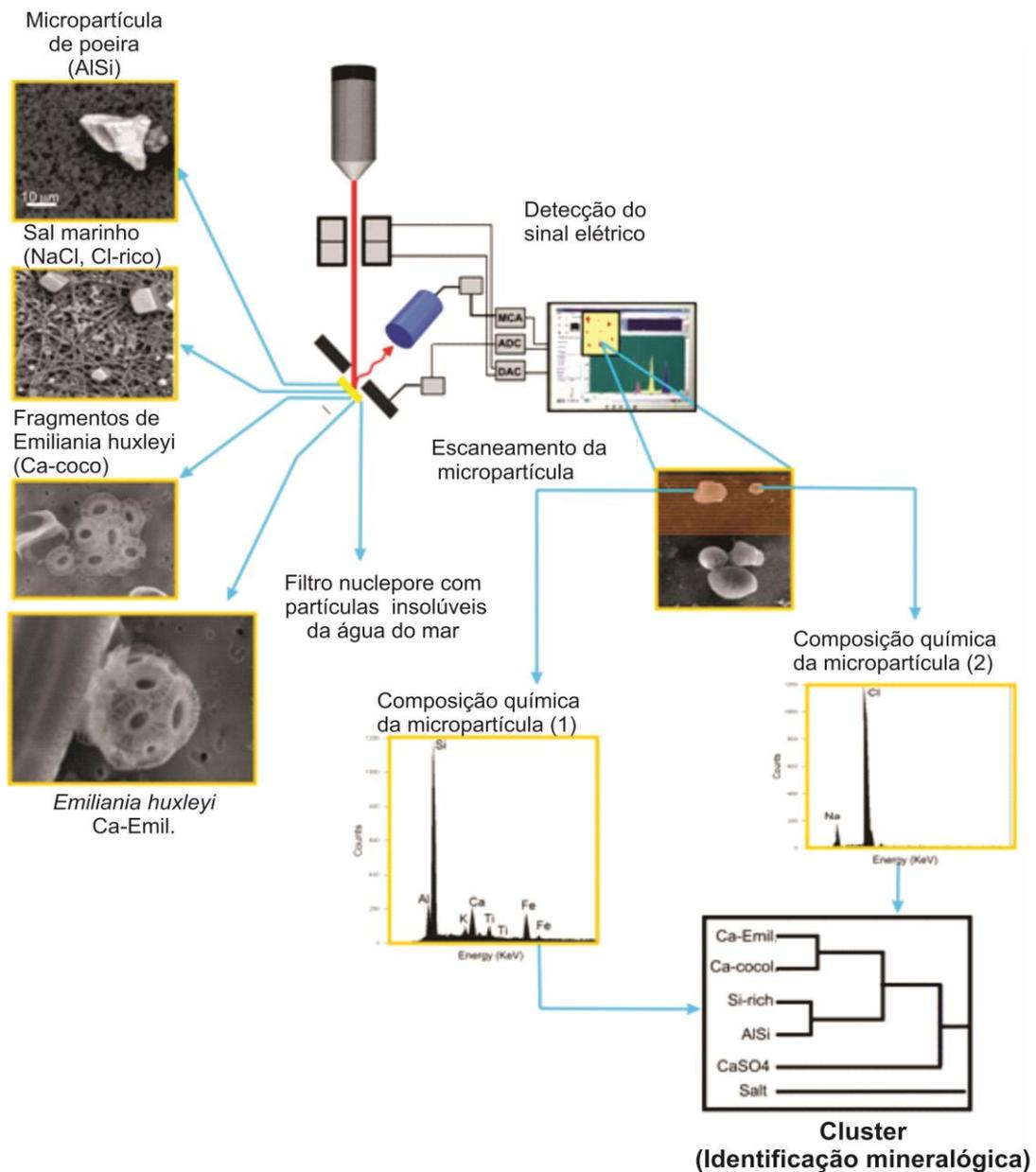
Fonte: SANTOS, 2014.

3.7 Determinação elementar e mineralógica

Desenvolvidas na Universidade de Antuérpia- Bélgica no Centro de análises micro e traço (MITAC) as micro- partículas filtradas foram submetidos a fluorescência de raios X (FRX), utilizando o equipamento PANalytical Epsilon 5 FRX para caracterizar a composição elementar (Ca, Na, Si, S, Mg, K, N, Ti, Fe e Al) através do método proposto por JAMBERS (1997). A espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) é um método para determinação precisa, rápida e não destrutiva para análises elementares, tanto quantitativas quanto qualitativas usando o princípio de medida dos comprimentos de onda e intensidade das radiações emitidas pelos elementos. Os elementos que compõem a amostra são excitados por uma fonte primária de radiação, que passam a emitir radiação com comprimento de onda na faixa de raios-X, característica de cada elemento (raios-X fluorescentes). Através de um detector apropriado, pode-se medir este comprimento de onda e, conseqüentemente, identificar os elementos (análise qualitativa). Como a intensidade dos raios-X fluorescentes é proporcional à concentração a cada desses elementos, pode-se, portanto, quantificar estes elementos (HOOG, 2005). A espectroscopia por energia dispersiva de raios-X (EDX), também foram utilizados para caracterizar as partículas individuais, através de um detector de Princeton Gamma Tech X-ray detector Li(Si) ligado a um microscópio eletrônico JEOL JSM6300. Este sistema permite uma seleção automatizada da análise de partículas dentro de uma área determinada pelo usuário. As amostras foram analisadas de acordo com a seguinte configuração: tensão de aceleração de 20 keV, corrente 1nA, 20s para a aquisição de espectro de raios X , com uma ampliação de 1000x , permitindo diâmetros entre 0,7 e 20 μ m. Foram analisados um total de 200 partículas em cada escaneamento de filtro.

As abundâncias relativas elementares das amostras mensuradas no EDX foram processadas no software IDAS (Sistema Integrado de Análise de Dados) através do método proposto por BONDARENKO (1996) para identificar a composição mineralógica. Neste método, o número total de grupos (clusters) é definida pelo critério de Akaike, que é baseada na relação entre a ordem do sistema entropia mínima (BONDARENKO *et al.*, 1996). Uma descrição esquemática do método completo é ilustrado na figura 12. Um total de nove tipos de micropartículas foram reconhecidos pelo software IDAS. A Tabela 4 mostra os critérios utilizados para a classificação das micropartículas.

Figura 58 – Fluxograma da técnica EDX/IDAS



Fonte: SANTOS, 2014.

A Identificação de cocolitoforídeos foi realizada com base na metodologia descrita por HARLAY (2009). Importante especificar que "Ca-Emil." refere-se aos cocolitoforídeos preservados, enquanto "Ca-cocco" (Ca- cocolitoforídeos) refere-se às placas de calcário. Estas duas classes foram distinguidos com um limiar de 4 mm, com base nos diâmetros médios de Cocolitoforídeos relatados para o local de estudo (GARCIA *et al.*, 2008).

3.8 A análise da associação entre a clorofila *-a* e os metais traço

Dados de Clorofila-*a* de foram adicionados ao banco de dados composição elementar de FRX como um indicador de biomassa fitoplanctônica antes de submeter-se a uma análise de cluster. Os dados de composição mineralógica relativas de EDX/IDAS também foi submetido a análise de agrupamento, com Ca-cocco e Ca-*Emil.* como indicadores para biomassa de coccolitoforídeos. O agrupamento hierárquico (figura 50) foi calculado pelo *software* Paleontológico Estatística (PAST), utilizando o método de Ward para as distância métricas (HAMMER *et al.*, 2001). O principal objetivo desta análise é fornecer uma identificação de grupos de elementos e tipos de partículas com níveis de similaridade próximos e observar em qual delas os *proxies* biológicos estão melhores associados.

3.9 Determinação na fonte de partículas e dados auxiliares

Os sedimentos na SSPA representam uma contribuição mista de aerossóis de diversas fontes (poeira, cinzas vulcânicas, loess) e por erosão costeira e fluvial (GAIERO *et al.*, 2003). No entanto, devido a corrente das Malvinas passar ao norte do local de amostragem, espera-se pouca influência de sedimentos nesta área. Portanto o foco deste estudo será a contribuição eólica direta investigada durante o período de amostragem e em dias anteriores.

A região de amostragem também está sob influência intermediária da deposição de poeira anual da Patagônia (JOHNSON *et al.*, 2010). Materiais vulcânicos participam desse conjunto de processos emissores de material para a atmosfera e são de grande influência nesta região, (STERN, 2004). O vulcão Chaitén, ativo da cordilheira sul dos Andes, manteve se ativo desde 20 de Dezembro de 2008 (Smithsonian / USGS Weekly Volcanic Activity Report - 12/31/2008 e 01/07/2009).

Neste estudo foi utilizado dados do *Goddard Earth Sciences Information Services Center*, com visualização online e interativo para programar os dados (GIOVANNI; ACKER & LEPTOUKH, 2007) para explorar diferentes indicadores de cinzas e presença de poeira. Especificamente, foi utilizado o MODIS (Terra e Aqua), SeaWiFS (DeepBlue) e MISR (banda azul). Foi adquirido a profundidade ótica do aerossol (AOD) e o índice aerossol do dia

(AI). Utilizou-se modelo *Hysplit* para calcular a concentração e modelar as plumas de cinzas da erupção do vulcão Chaitén e as massas de ar para os locais de amostragem. Embora a erupção do vulcão do Chaitén tenha ocorrido antes do período de amostragem foi feita uma modelagem intermitente da erupção que de forma contínua pode-se observar a trajetórias percorrida pelas plumas a partir de 25 dezembro ao dia 5 de janeiro. A erupção foi modelada a partir da boca do vulcão de 4,8 km (Smithsonian / USGS Weekly Volcanic Relatório de atividades - 12/31/2008 e 01/07/2009), utilizando 4 tamanhos de partículas diferentes (0,6; 2; 6 e 20 μm) além de usar dados do NCEP NCAR (Draxler, 2014). As retro trajetórias foram executados durante 5 dias, com pontos finais em 10, 1000 e 3000 m acima do nível do mar, a partir 02-07 de janeiro em intervalos de 6 horas. Semanalmente dados superficiais de Clorofila-*a* foram observados por sensores dos satélites MODIS/Aqua para avaliar o comportamento temporal, antes e após a amostragem. A análise também foi realizada com GIOVANNI (http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=SWDB_daily).

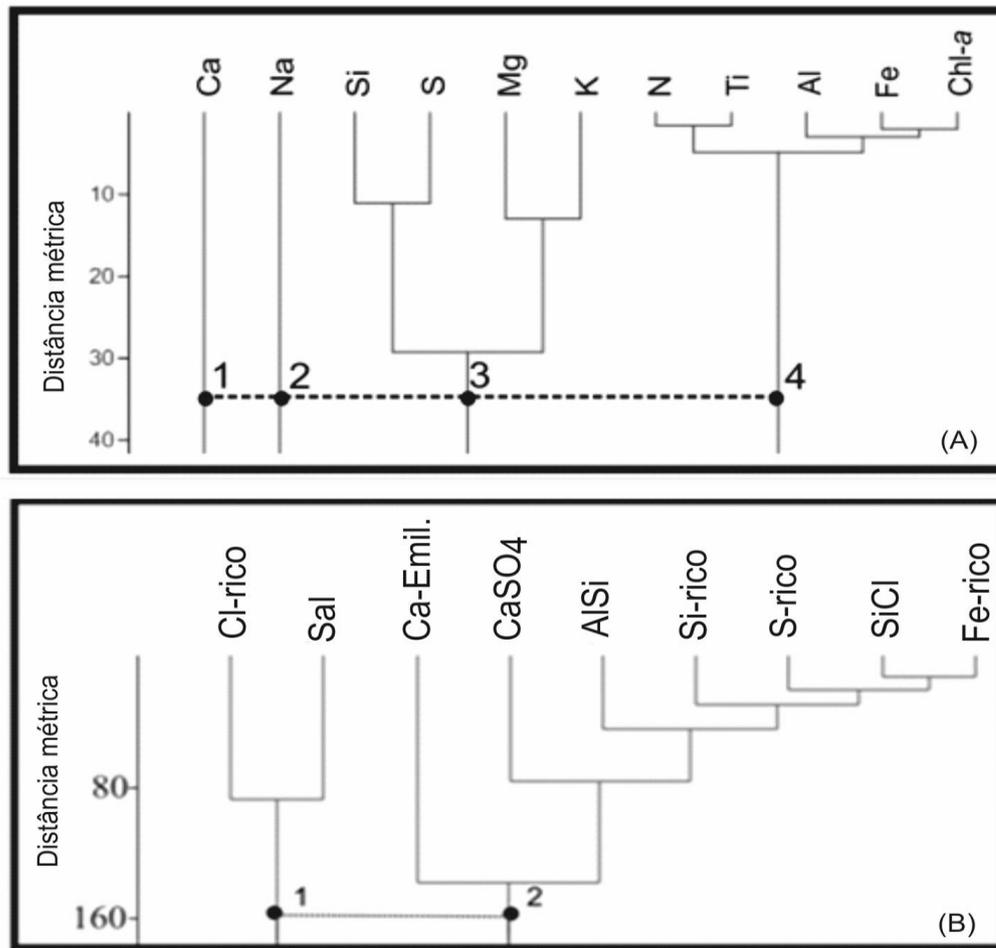
3.9.1 Clorofila-*a*, cocolitoforídeos e micropartículas insolúveis na coluna d'água

Levando em consideração o curto *espaço* de tempo entre as estações oceanográficas e seus limites relativamente próximos, empregou-se uma análise hierárquica de cluster para o conjunto de dados da composição elementar dos elementos maiores e das micropartículas insolúveis obtidos pela técnica de EDX que foram associados ao perfil da clorofila-*a* para mesmas profundidades. A partir da análise de cluster obteve-se quatro grupos (figura 59A) sendo representados por um Ca isolado, o que ocorre devido à presença de agregados de cocolitoforídeos (JAMBERS *et al.*, 2007), um segundo por Na isolado (cristais de sal marinho), um terceiro por Si, S, Mg e K (associado a origem marinha ou, provavelmente, uma mistura de micropartículas e / ou diatomáceas uma vez que as células de diatomáceas são encerrados dentro de uma parede celular feito de Si (dióxido de silício hidratado) fontes típicas de K e Mg provavelmente originam da cristalização dos sais solúveis K_2SO_4 e MgSO_4 (JAMBERS *et al.*, 1997). O Mg está também associada à produtividade carbonato no oceano, mas essa relação pode não ser válida onde a produtividade carbonato e salinidade é elevada (JAMBERS *et al.*, 1999; BERTRAND *et al.*, 2012). Um quarto grupo foi observado

por N, Ti, Al, Fe e clorofila - *a* , que é uma mistura de a atividade biológica , um macro nutriente, N, e os elementos de origem continentais como Ti , Fe e Al.

O aglomerado obtido a partir da análise de micro - mineralógica (figura 59B), derivado a partir do algoritmo de IDAS, tem também grupo distinto do sal marinho para um segundo grupo caracterizado pela presença de Ca - Emil, CaSO₄, micropartículas Fe - rico e outras partículas continentais. A fonte mais provável de Ca é o carbonato de cálcio (CaCO₃), isto é, de origem biogênica, que é esperado em regiões de bloms de cocolitoforídeos como é o exemplo da região de coleta principalmente no verão. Estas partículas também podem participar na formação de CaSO₄ cristalizado (JAMBERS *et al.*, 1997) e justificar a sua presença no cluster na figura 59B. Tipos de micropartículas de aluminossilicatos como caracterizadas pelo IDAS pode ser interpretada como de origem puramente mineralógica, descendente de minerais de argila, feldspato e outros minerais resultantes de erosões continentais (JAMBERS *et al.*, 2007). Micropartículas de Si- ricos em aglomerado (figura 59B) originam de fontes biogênicas ou mineralógicas. Si- rico é presumível a ser partículas biogênicas produzidas por diatomáceas, radiolários e silicoflagelados (JAMBERS *et al.*., 2007). Partículas de Ti são normalmente encontrados em águas de superfície e é provável que derivam de fontes minerais (tais como rutilo).

Figura 59 – Análise de agrupamento para clorofila -a

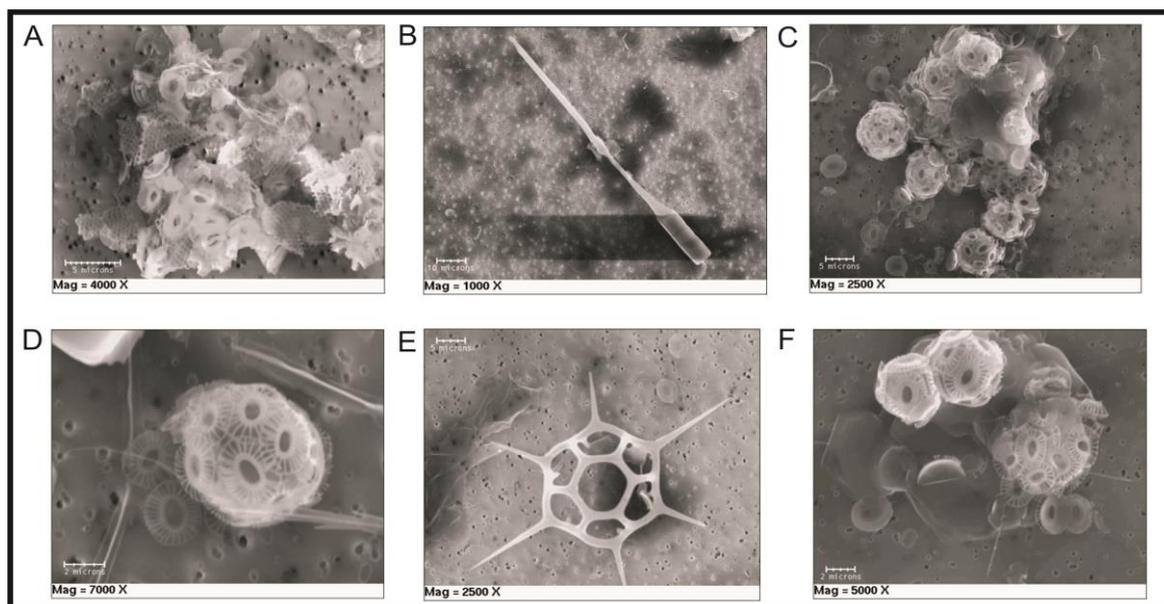


Legenda: A– A análise de agrupamento para clorofila-a e composição elementar por FRX na Tabela 1; B – O mesmo que A, mas com dados compilados pelo algoritmo EDX / IDAS .

Fonte: SANTOS, 2014

Ambos agrupamentos hierárquicos sugerem uma associação da resposta biológica a presença de entrada de materiais continentais de ordem mineralógica, aqui inferida pelo uso de um indicador (a fração insolúvel das micropartículas contendo Fe). De acordo com a figura 60 todas as estações oceanográficas continham exemplares de fitoplâncton. A metodologia de escaneamento por EDX permite o acoplamento do microscópio e chegar ao detalhamento da espécie. As espécies encontradas são exemplares típicos da sucessão ecológica que ocorre no período de interface primavera /início do verão/ápice do verão. Nesta sequência ocorre diminuição das diatomáceas e aumento dos cocolitoforídeos pois estes são mais tolerantes a deficiência de ferro e ao aumento da irradiância solar incidente. Foram encontrados 4 exemplares ou indícios de cocolitoforídeos e apenas dois de diatomáceas.

Figura 60 – Imagem eletrônica do fitoplâncton



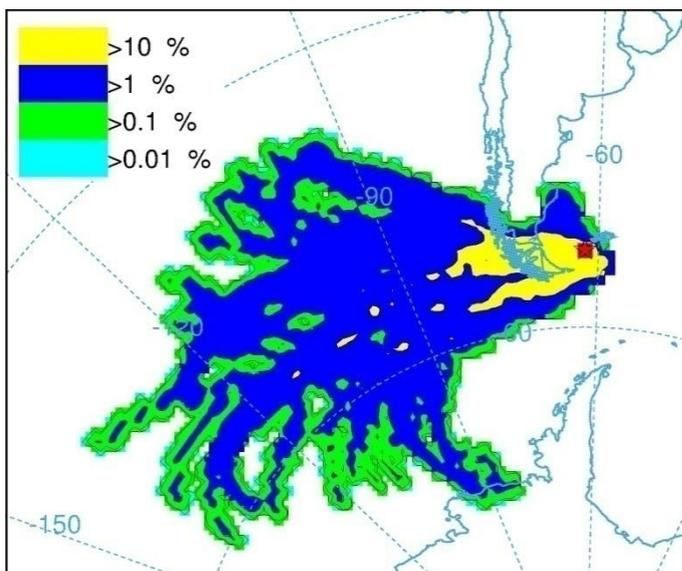
Legenda: A –Estação P703: mistura de Ca-cocco (tabela 2); B – estação P705: espécie de diatomácea; C – e (d) estação P709: Ca-cocco e Ca-Emil (tabela 2); E – em P720: espécie de diatomácea; F – em P721: Ca-cocco e Ca-Emil (ver tabela 2).

Fonte: SANTOS, 2014

3.9.2 As fontes de particulados para a SSPA

Retro- trajetórias em 10, 1000 e 3000m acima do local de amostragem foram semelhantes, mostrando as massas de ar provenientes do Pacífico e passando sobre a Patagônia em uma faixa latitudinal restrito ao sul de 50°S (figura 61). Um segundo grupo de trajetórias é proveniente mar Bellingshausen - Amundsen na Antártica. De acordo com o modelo proposto por LI (2010) a região por onde passam as massas de ar não são as maiores emissoras de poeiras como a Depressão de *San Julian* por exemplo. Porém apenas o fato da massa de ar passar por área continental aumentam suas chances de carreamento de aerossóis como mostra de forma clara a porcentagem de particulado crescendo a partir do oceano pacífico e passando pelos Andes e parte da Patagônia cuja massas passam por Punta Arenas e Ushuaia (parte de coloração amarela que representam maior aporte de particulado)

Figura 61 - Frequência relativa retro-trajetórias

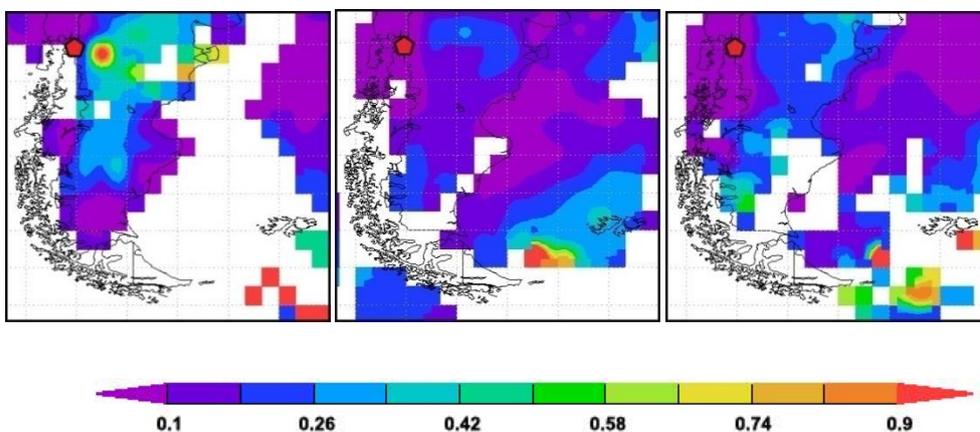


Legenda: Frequência relativa retro- trajetórias de ocorrência em um grade de $1^\circ \times 1^\circ$ de 10 m acima do nível do mar. Os cálculos para 1000 e 3000m foram semelhantes e não são mostradas.

Fonte: SANTOS, 2014

A profundidade ótica dos aerossóis conhecido como AOD indica a transparência da atmosfera e como neste caso da emissão do vulcão Chaitén pode informar o grau de turbidez atmosférica (figura 62). Dessa forma admite se que essa análise exclusiva para este fenômeno indica que o material do vulcão chegou ate a SSPA 9 dias antes das coletas.

Figura 62 – Mapa de AOD



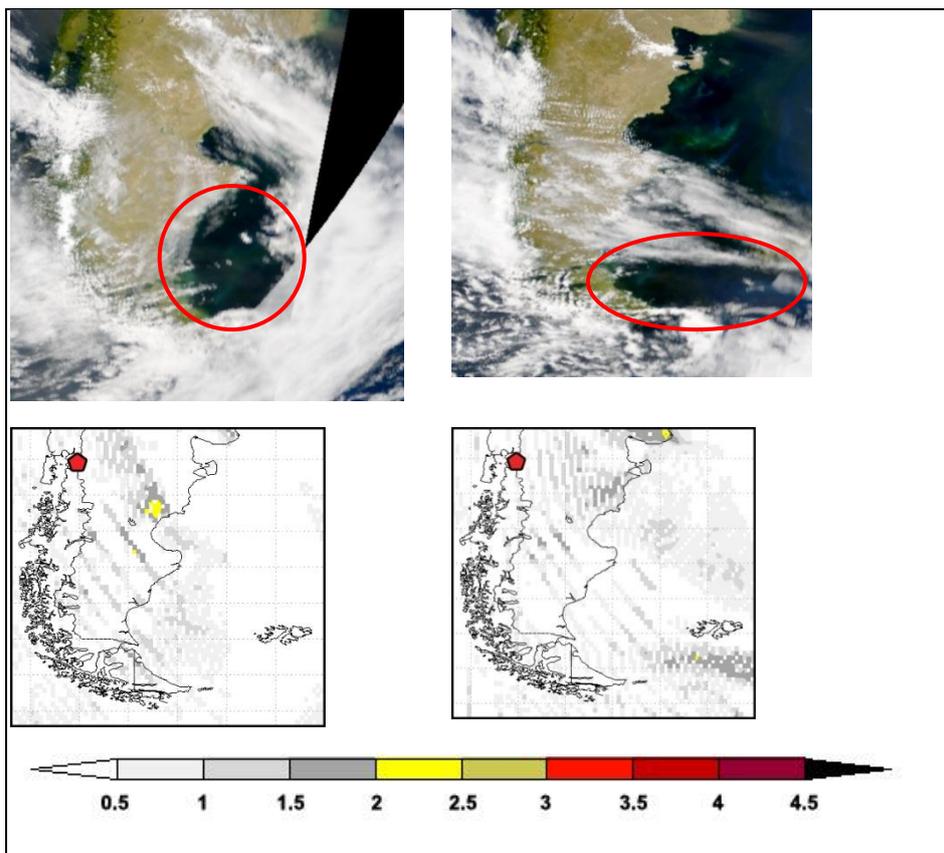
Nota: Mapa de AOD obtido através do MODIS/Terra de 29 a 30 de Dezembro de 2008 e 01 Janeiro de 2009. O vulcão Chaitén é marcado com um pentágono vermelho.

Fonte: SANTOS, 2014

A erupção do vulcão Chaitén dentro deste período foi modesta, com plumas finas subindo a um máximo de 5km acima do nível do mar (Smithsonian / USGS Weekly Volcanic Activity Report - 12/31/2008 e 01/07/2009), dificilmente distinguíveis de nuvens. Apenas durante alguns dias foi possível a identificação visual da pluma de cinzas Chaitén e foi então possível ser feita essas imagens (figura 63). Além disso, a atividade intermitente e intensa cobertura de nuvens dificulta a observar a erupção e transportar mesmo usando vários sistemas de sensores e indicadores de aerossol.

Em várias ocasiões, a partir de 28 de dezembro a 5 de janeiro plumas de poeira foram visualmente identificados no MODIS e SeaWiFS, distingue-se pela sua cor característica marrom. A maioria destes eventos não se direcionaram para os locais de amostragem, alguns foram identificados a partir de Terra do Fogo, diretamente contra o vento a partir do local de estudo. Os SeaWiFS e OMI tem a melhor janela temporal, correspondente e em apenas estes sensores são detectados esses eventos de Terra do Fogo. Embora a resolução sobre a cor quase- verdade SeaWiFS seja baixo, nota-se que a OMI AI tem menor sensibilidade para a contaminação de nuvem e responder principalmente de ferro contendo aerossol (PATTERSON 1977; HERMAN *et al.*, 1997), que certifica a presença de poeira (figura 63).

Figura 63 – Índice de Aerossol (AI)



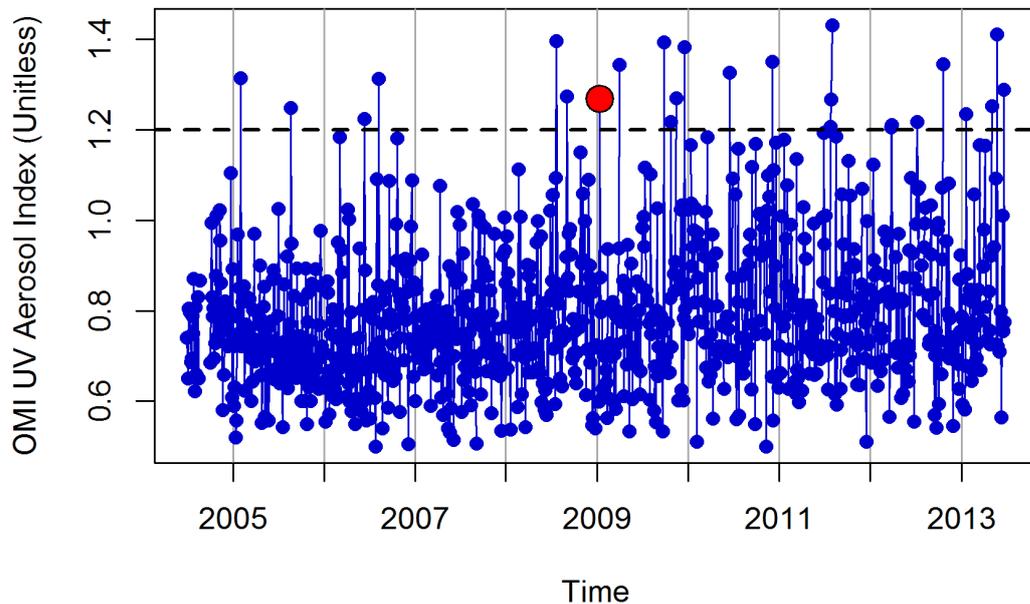
Legenda: Índice de Aerossol (AI) do sensor OMI no período de 02 a 04 de Janeiro de 2009.

Nota: O vulcão Chaitén é marcado com um pentágono vermelho.

Fonte: SANTOS, 2014

O AI (um índice que detecta a presença de aerossóis de absorção de UV, tais como poeira e fuligem) do sensor OMI apresenta ruído em altas latitudes durante o inverno, mas só raramente verão pode ser ver aumento sobre esta região e avaliar seu crescimento da ordem acima de 1,2 (figura 46). Portanto, a alta média de AI (1.28) sobre a área de amostragem no 04 de janeiro é indicação de uma forte influência mineral ocorrida no início de 2009 .

Figura 64 – Média OMI 2013

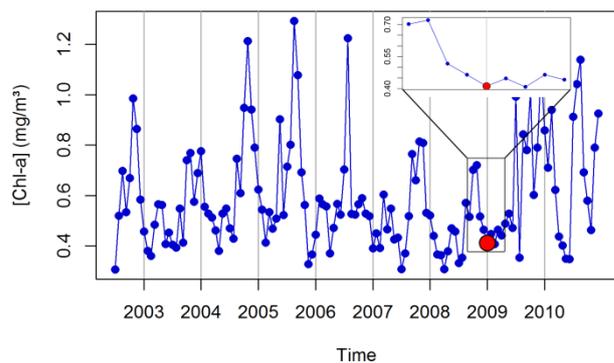


Legenda: Média OMI AI sobre o local de estudo 2004-2013 . Como não há ruído no inverno, apenas dados para novembro- fevereiro são mostrados para cada ano.

Fonte: SANTOS, 2014

3.9.3 Comportamento temporal Clorofila-*a* durante as estações oceanográficas

Após análise por sensoriamento remoto da climatologia que abrangia o período de coleta e dias anteriores, a clorofila-*a* foi analisada. O forte evento relativo de acordo com o AI do sensor OMI, e forte associação encontrada nesta análise de agrupamento entre indicadores biológicos e de sedimentos, não indica nenhuma variação que tenha afetado a associação da [Chl - *a*] observada a partir do MODIS / Aqua (figura 63) sobre escala de tempo. Desde o início de Dezembro de 2008, o *bloom* de primavera apresentou uma tendência descendente. Uma semana após os eventos de poeira um aumento muito pequeno pode ser visto que deve ser mais adequadamente atribuída ao sistema de variação natural ou ruído devido à interferência pela cobertura de nuvens.

Figura 65 – Séries temporais de concentração de clorofila-*a*

Legenda: Séries temporais de concentração de clorofila-*a* superficial com resolução semanal no período de 2002-2010. Só são apresentados dados para o período de novembro a fevereiro.

Fonte: SANTOS, 2014

4 DISCUSSAO

Face aos resultados obtidos neste estudo no que tange a coleta de aerossóis e análise dos metais pode-se fazer a associação de análise *in situ* com o sensoriamento remoto. Sabe-se que o mapa de concentração de clorofila deve ser utilizado com parcimônia e trata-se de estimativas porém a associação entre aumento de aerossóis e aumento de clorofila foi coincidente, corroborando o que se tem na literatura sobre a correlação positiva entre aporte de poeira e produtividade primária. Contudo para evidenciar com mais acurácia é preferencial extrair os dados e elaborar novos gráficos como por exemplo o gráfico elaborado na figura 65, entretanto esse tipo de utilização a partir do mapa disponível e compilado a partir do sitio eletrônico também é relevante.

Os aerossóis que chegam ao oceano Atlântico Sul representam uma contribuição mista de aerossóis de diversas fontes (poeira, cinzas vulcânicas, loess) e por erosão costeira e fluvial (GAIERO *et al.*, 2003). Sabe-se que após o contato com a água do mar, a solubilidade destes metais podem sofrer diversas alterações que podem promover sua disponibilidade para o fitoplâncton devido a existência inúmeros parâmetros químicos, bióticos, e processos físicos como pH, presença de complexantes ligantes dissolvidos, tamanho da partícula, concentração e temperatura fatores físicos como pH e até mesmo biota como as bactérias que podem atuar e disponibilizar esse material (especialmente o ferro) para a superfície do oceano. Neste estudo estes fatores não estão inseridos mas acreditamos trabalhar com os seus efeitos, principalmente por ocorrerem correlações positivas entre poeira e concentração de clorofila como no estudo dos metais e esses dados podem servir de subsídios para estudos mais avançados a partir de sensoriamento remoto.

A partir da assinatura da Patagônia grande parte da composição isotópica depositada no gelo Antártico durante o período glacial pode ser explicada. O Altiplano Boliviano, emerge como segundo grande emissor de aerossóis semelhante ao proposto por (GAIERO *et al.*, 2007). Não foi possível com os nossos dados uma comparação com o modelo proposto por LI (2010) que determina duas áreas responsáveis pela maior emissão de aerossóis para o oceano. A tabela 10 sintetiza os resultados da análise isotópica e constata-se que a investigação de proveniência requer dados extremamente acurados e um inventário suficientemente extenso para maior acurácia das comparações. As amostras que não foram determinadas pelas retro – trajetórias foram analisadas pelo estudo de regiões, restando apenas duas amostras sem

identificação sugerindo erro de análise ou até mesmo deficiência de banco de dados apesar de ser o maior inventário disponível para a América do Sul. Contudo foi possível utilizar a técnica mais moderna de estudo de proveniência (Sr x Nd) e aplicar o sensoriamento remoto para identificar a provável proveniência dos aerossóis coletados a bordo do navio.

Seguindo este desafio de determinar a proveniência buscando atingir um nível máximo de detalhamento e precisão obteve-se um universo de 50 amostras representadas por 24 pontos de amostragem a fim de terem sua origem determinada. No contexto do estudo das retro-trajetórias 3 amostras da expedição de 2010 (S695, S698, S699), 4 amostras da expedição de 2011 (S666, S711, S713, S709) e a S634 da expedição de 2012 obtiveram proveniência determinada pelas retro-trajetórias associada ao par isotópico. O rigor com que cada amostra foi julgada fundamenta-se que alguns resultados deste trabalho tem erro inferior a 6ª casa decimal. Apenas as amostras S698 (expedição 2010) e as amostras S667, S708 (expedição 2011) e S665, S630, S631 e S632 não tem razão isotópica de Sr dentro do intervalo de confiança de 95% o que poderia ser sugestivo de deficiência de banco de dados ou especialmente nos casos das amostras que tem razão isotópica próximo da faixa da razão da água do mar como a S671 e S665. Importante ressaltar que de todas o inventário o (seja o conjunto utilizado pelas trajetórias quanto o inventário de forma geral o que contem mais assinaturas isotópica é o loess. O loess origina-se a partir da poeira de outras fontes carregadas pelo vento (material vulcânico, minerais derivados de rochas andesíticas e basálticas representativas dos Andes, Mendoza e Neuquen). Apesar de existir um debate se o loess pode ser representativo geoquimicamente da superfície da crosta continental os depósitos de loess tem representado grande importância em estudos paleoclimáticos (SMITH *et al.*, 2003). Independente do debate não se pode desconsiderar o loess, pois este é representativo no percurso de estudo sendo a Argentina o abrigo da maior concentração de loess do hemisfério Sul (SMITH *et al.*, 2003).

As erupções vulcânicas foram citadas ao longo deste trabalho devido a magnitude de uma pluma vulcânica sendo transportado por longas distâncias porém não utilizamos nenhuma ferramenta que fosse possível detectar sua presença nas coletas pois seria necessário ter a sua assinatura isotópica.

A ferramenta HYSPLIT é extensamente utilizada especialmente para transporte de longa distância de massas de ar. O trabalho de LEE (2010) apontou a dificuldade de se utilizar as retro-trajetórias devido a incertezas dos dados meteorológicos especialmente por períodos de vários dias. De uma mesma forma se neste trabalho não fosse realizado o estudo

investigativo de comparações isotópicas com outras regiões teríamos somente 8 amostras com proveniência determinada de um total de 23 amostras. Nem sempre os modelos, mesmo o HYSPLIT e todos os incluídos neste trabalho garantem 100% de reprodutibilidade da dinâmica da natureza apesar de todo acervo tecnológico que os sustenta. Dessa forma os dados *in situ*, tanto de aerossóis quanto de metais na coluna d'água são extremamente raros e importantes inclusive para alimentar esses modelos climáticos.

No caso da SSPA os sedimentos que entram ao sul da quebra da plataforma Argentina, provenientes das diversas fontes e da mistura das mesmas são redistribuídos por uma corrente costeira que se direciona para o leste, uma vez que se encontra com a Corrente Circumpolar Antártica (CCA), e depois para o norte, se encontra com o fluxo da WFC. A via principal de sedimentos da quebra da plataforma Argentina localiza-se ao norte das Ilhas Malvinas (PIERCE & SEGIEL 1979). Portanto, apesar da proximidade da área de estudo a esta dinâmica de encontro de correntes, identifica-se com as análises atmosféricas que os aerossóis (que também se originam de fontes diversas) tenham uma participação importante para a entrada de micronutrientes. Apesar dos dados do AI do sensor OMI sugerir um evento relativamente forte, não há nenhuma resposta biológica clara dentro das escalas de tempo esperado da interação de poeira (BISHOP *et al.*, 2002).

As possíveis explicações para os resultados das análises de associação com a clorofila-*a* e os metais na água do mar dentro da associação observada na análise possam ser derivados de um efeito combinado de: (i) aumento da sensibilidade fisiológica da clorofila ao aumento da biodisponibilidade de ferro (WESTBERRY *et al.*, 2013); e (ii) aumento da sensibilidade a uma pequena fração de ferro adicionada após a primavera, indicando que, uma pequena entrada pode, ao mesmo tempo mostrar a associação especial -temporal curto, com pouco efeito em grande escala.

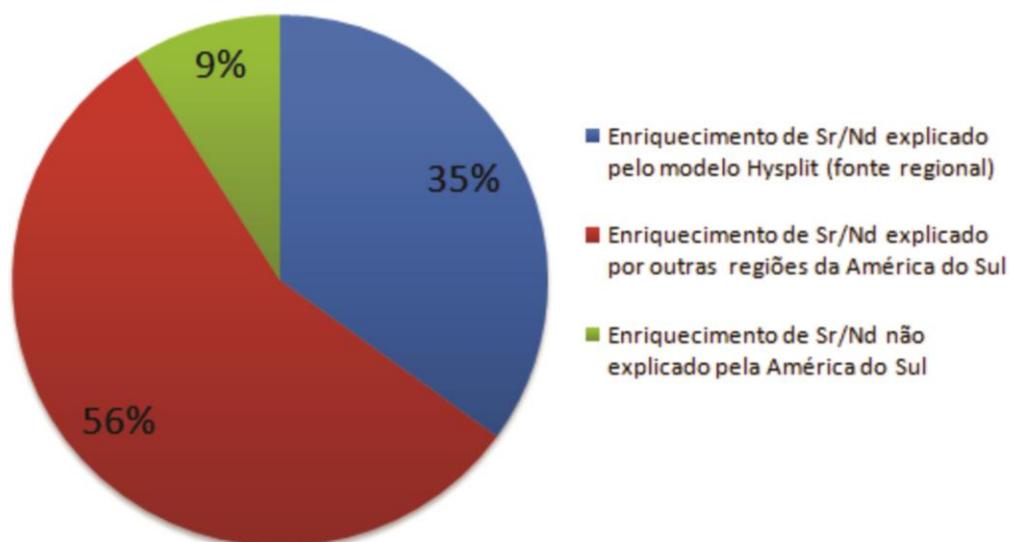
CONCLUSÃO

A análise de composição elementar dos aerossóis sobre o Atlântico Sul e Oceano Austral sugere uma relação entre o aumento da concentração de aerossóis (inclusive o ferro) na atmosfera e as concentrações de clorofila-a no Atlântico Sul.

Este trabalho produziu o maior inventário de razões isotópicas para a América do Sul.

A combinação entre as análises de Sr-Nd em aerossol e o modelo HYSPLIT explica apenas 35% das fontes postuladas para a Patagônia.

Figura 66 – Gráfico sintético dos resultados das tabelas 10 e 11



Legenda: Gráfico sintético referente as tabelas 10 e 11 indicando a utilização da análise isotópica associada ao modelo HYSPLIT no estudo de proveniência.

Fonte: SANTOS, 2014

Perfis verticais de cocolitoforídeos (inferida a partir de micropartículas de Ca-ricos com relação Ca composição > 95% e diâmetro maior que 4 μm) foram obtidos durante o cruzeiro oceanográfico Patex VII (5 a 7 de janeiro de 2009) no SSPA. Estes perfis exibiram co-ocorrência com alumínio, micropartículas Si-ricos e CaSO_4 .

A análise de cluster hierárquica da composição elementar das micropartículas (fração insolúvel) na coluna d' água e clorofila-a sugerem uma associação da materiais em suspensão de proveniência continentais com a produtividade biológica no local do estudo.

REFERÊNCIAS

- ALVAIN et. al. Seasonal distribution and succession of dominant phytoplankton groups in the global ocean : A satellite view. *global biogeochemical cycles*.v.22, p. GB3001, 2008
- ANDRONIKOV. A. V. et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic systematics of the East Antarctic Manning Massif alkaline trachybasalts and the development of the mantle beneath the Lambert-Amery rift. *Mineralogy and Petrology*, v. 63, p. 243-261, 1998.
- ARANA A.; ARTAXO P. Composição elementar do aerossol atmosférico na região central da bacia amazônica. *Quim. Nova*, v.. 37, n. 2,p.268-276, 2014
- ARTAXO P. et al. Trace elements and individual particle analysis of atmospheric aerosols from the Antarctic peninsula. *Tellus*, v. 44B, p. 318-334, 1992.
- BAKER A.R. et al. Trends in the solubility of iron, aluminium, manganese and phosphorus in aerosol collected over the Atlantic Ocean. *Marine Chemistry*.v.98, p.43-58, 2006.
- BAKER A.R. ; CROOT P.L. Atmospheric and marine controls on aerosol iron solubility in seawater. *Marine Chemistry*.v.120,n. 120, p. 4-13, 2010.
- BASILE, I. et. al. Patagonian origin of glacial dust deposited in East Antarctica (Vostok and Dome C) during glacial stages 2,4 and 6. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 146, p. 573-589,1997.
- BERTRAND, B. et al. Geochemistry of surface sediments from the fjords of Northern Chilean Patagonia (44–47_S): Spatial variability and implications for paleoclimate reconstructions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.v. 76, p. 125–146, 2012
- BASU, A. R. et al. Nd, Sr-isotopic provenance and trace element geochemistry of Amazonian foreland basin fluvial sands, Bolivia and Peru: implications for ensialic Andean orogeny. *Earth and Planetary Science Letters*, n. 100, p. 1-17, 1990.
- BISHOP, J.K.B. Robotic observations of dust storm enhancement of carbon biomass in the North Pacific. *Science*.v.298, p. 817–821, 2002.
- BONDARENKO, I. IDAS: A Windows based software package for cluster analysis. *Spectrochimica Acta Part B - Atomic Spectroscopy*.v. 51, n.4, p. 441-456,1996
- BONNET S, GUIEU C. Dissolution of atmospheric iron in seawater. *Geophys. Res. Lett.* v.31,p. L03303, 2004.
- BOYD P.W. et al. Aerosol iron deposition to the surface of ocean –Modes of iron supply and biological responses. *Marine Chemistry*.v.120, p.128–143, 2010.
- BORY et al. Multiple sources supply eolian mineral dust to the Atlantic sector of coastal Antarctica: Evidence from recent snow layers at the top of Berkner Island ice sheet. *Earth and Planetary Science Letters*.v. 238, p. 138-148, 2010.

- BRUNI, S. et al. Time-evolution of magma sources in a continental back-arc setting: the Cenozoic basalts from Sierra de San Bernardo (Patagonia, Chubut, Argentina). Cambridge University Press, *Geol. Mag.*, v. 145, n. 5, p. 714-732, 2008.
- CARLSON, R. W. et al. Chemical and isotopic relationships between peridotite xenoliths and mafic-ultrapotassic rocks from Southern Brazil. *Chemical Geology*, v. 242, p. 415-434, 2007.
- CATALDO et. al. Mineral dust variability in central West Antarctica associated with ozone depletion. *Atmos. Chem. Phys.*, v.13, p. 2165–2175, 2013
- CHOOBARI et al. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Atmospheric Research*. V.138, p. 152-165, 2014
- DAMMSHÄUSER A. et al. Atmospheric supply of Al, Fe and Ti to the Atlantic Ocean. *Geophysical Research Abstracts*, v. 13,p. EGU2011-10076, 2011.
- DECKART, K. et al. Geochemistry and Sr, Nd, Pb isotopic composition of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in Guyana and Guinea. *Lithos*, v. 82, p. 289-314, February 2005.
- DELMONTE, B. et al. Comparing the EPICA and Vostok dust records during the last 220,000 years: Stratigraphical correlation and provenance in glacial periods. *Earth Sci. Rev.*, v. 66, p. 63–87, 2004
- DELMONTE, B. et al. Aeolian dust in East Antarctica (EPICA-Dome C and Vostok): Provenance during glacial ages over the last 800 kyr. *Geophysical Research Letters*,v. 35, p. 2-7, 2008.
- DELMONTE, B. et al. Geographic provenance of aeolian dust in East Antarctica during Pleistocene glaciations: preliminary results from Talos Dome and comparison with East Antarctic and new Andean ice core data. *Quaternary Science Reviews*, v. 29, p. 256-264, 2010.
- DELMONTE, B. et al. Modern and Holocene aeolian dust variability from Talos Dome (Northern Victoria Land) to the interior of the Antarctic ice sheet. *Quaternary Science Reviews*, v. 64, p. 76-89, 2012.
- DRAHLER, R. *The NCEP/ NCAR Reanalysis Project*.Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>>.Acesso em 25 mai.2013.
- DUCE R.A.; Tindale N.W. Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean.*Limnol.Oceanogr.* v. 36, n.8, p. 715-726, 1991.
- ERICKSON, D. J. et al. Atmospheric iron delivery and surface ocean biological activity in the Southern Ocean and Patagonian region. *Geophys. Res. Lett.* v.30,n.12, p.1–4, 2003.
- FAURE G. 1986. Principles of Isotope Geology. John Wiley& Sons, United States, 588 pp

DRAXLER, R.R.; ROLPH, G.D., 2011. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD

FALKOWISK et al. Biogeochemical Controls and Feedbacks on Ocean Primary Production. *Science magazine*. v.288, p. 5374,1998.

FAURE G. Principles of Isotope Geology. John Wiley& Sons, United States, p.588, 1986

FERREIRA, V. P. et al. Contrasting sources and P-T crystallization conditions of epidote-bearing granitic rocks, northeastern Brazil: O, Sr, and Nd isotopes. *Lithos*, v. 121, p. 189-201, 2011.

FIEBIG M. et al. Tracing biomass burning aerosol from South America to Troll Research Station, Antarctica. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, v. 36, p L14815, 2009

FORMENTI, P., Schuetz, L., Balkanski, Y., Desboeufs, K., Ebert, M., Kandler, K. 2010.Recent progress in understanding physical and chemical properties of mineral dust.*Atmos. Chem. Phys. Discuss.*,10: 31187–31251.

FUTA, K. et al. Sr and Nd isotopic and trace element compositions of Quaternary volcanic centers of the southern Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 88, p. 253-262, February 1988.

GAIERO et. al. The signature of river- and wind-borne materials exported from Patagonia to the southern latitudes : a view from REEs and implications for paleoclimatic interpretations. *Earth and Planetary Science Letters*.v, 219, p.357-376, 2004.

GAIERO et. al. A uniform isotopic and chemical signature of dust exported from Patagonia: Rock sources and occurrence in southern environments. *Chemical Geology*.v, 238, 107-120, 2007.

GALLET, S. et al. Loess geochemistry and its implications for particle origin and composition of the upper continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 156, p. 157-175, January 1998.

GASSÓ, S.; STEIN, A.F. Does dust from Patagonia reach the sub-Antarctic Atlantic Ocean? *Geophysical research letters*. v.34, p. GL027693, 2007.

GARCIA, V.M.T. et al. Environmental factors controlling the phytoplankton blooms at the Patagonia shelf-break in spring. *Deep-Sea Research I*,v. 55,n. 9, p. 1150-1166, 2008.

GAUDICHET et. al. Comments on the origin of dust in East Ant- arctica for present and ice age conditions. *J. Atmos. Chem.*, v.14, p. 129–142, 1992.

GAUDETTE, H. E. et al. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of the Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *Journal of South American Earth Science*, Vol. 9, Nos 3/4, p. 183-195, 1996.

GERALDES M. C. Introdução à Geocronologia. Sociedade Brasileira de Geociências, São Paulo, p. 146, 2010

GIOIA, Simone M C L Babinski, Marly, Weiss, Dominik J. 2010. Kerr, Américo A F S Insights into the dynamics and sources of atmospheric lead and particulate matter in São Paulo, Brazil, from high temporal resolution sampling. *Atmospheric Research* 98: 478-485

GERALDES M. C. Introdução à Geocronologia. Sociedade Brasileira de Geociências, São Paulo, 146 pp. 2010.

GIRARD, V. A. V. et al. Sr Nd constraints and trace-elements geochemistry of selected Paleozoic and Mesoproterozoic mafic dikes and related intrusions from the South American Platform: Insights into their mantle sources and geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 41, p. 65-82, 2013.

GOLDSTEIN, S.J.; Jacobsen, S.B. Nd and Sr isotopic systematics of river suspended material: implications for crustal evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 87, p. 249–265, 1988

GORRING, M. L. et al. Mantle processes of sources of neogene slab window magmas from Southern Patagonia, Argentina. *Journal of Petrology*, v. 42, n. 6, p. 1067-1094, 2001.

GORRING, M. L. et al. Plio–Pleistocene basalts from the Meseta del Lago Buenos Aires, Argentina: evidence for asthenosphere–lithosphere interactions during slab window magmatism. *Chemical Geology*, v. 193, p. 215–235, 2003.

GROSSE, P. et al. Lower Carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U–Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr–Nd isotopes. *Int. J. Earth Science, Geol Rundsch*, v. 98, p. 1001–1025, 2009.

GROUSSET, F. E. et al. Antarctic (Dome C) ice-core dust at 18 k.y.B.P.: Isotopic constraints on origins. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 111, p. 175-182, 1992.

GROUSSET, F.E.; BISCAYE, P.E. Tracing dust sources and transport patterns using Sr, Nd and Pb isotopes. *Chemical Geology*, v. 222, p. 49–167, 2005.

GUARINO et al. U–Pb ages, Sr–Nd- isotope geochemistry, and petrogenesis of kimberlites, kamafugites and phlogopite-picrites of the Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil. *Chemical Geology*. v.353, p. 65-82, 2013.

HAMMER, O. et al. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. v. 4, n.1, p 178, 2001.

HARLAY J., et al. Biogeochemical study of a coccolithophore bloom in the northern Bay of Biscay (NE Atlantic Ocean) in June 2004. *Progress in Oceanography*. v. 86, p. 317–336, 2010.

HEINONEN, J. S. et al. Jurassic dikes of Vestfjella, western Dronning Maud Land, Antarctica: Geochemical tracing of ferropicrite sources *Lithos*, v. 105, p. 347–364, 2008.

HOOG, J. D. Optimization and environmental application of TWEPMMA for single particle analysis. Universiteit Antwerpen, 2005.

HUTCHINS, D. A.; BRULAND, K. W. Grazer-mediated regeneration and assimilation of Fe, Zn, and Mn from planktonic prey. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* v.110, p. 259-269, 1994

IRIONDO M. Patagonian dust in Antarctica. *Quaternary International.* v, 71, p.83-86, 2000

HILDRETH, W. et al. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contrib. Mineral Petrol.*, v. 98, p. 455-489, 1988.

IACUMIN, M. et al. Early proterozoic calc-alkaline and middle proterozoic tholeiitic dyke swarms from central-eastern Argentina: Petrology, geochemistry, Sr-Nd isotopes and tectonic implications. *Journal of Petrology*, v. 42, n. 11, p. 2109-2143, 2001.

IPCC,2007-. Disponível em http://www.natbrasil.org.br/Docs/ipcc_2007.pdf. Acessado em 27 jun2013.

JAMBERS W. et al. Characterization of Particulate matter from the Kara Sea using electron probe X-ray micro analysis. *Physicochemical and Engineering Aspects.* v.120, p. 61-75, 1997.

JICKELLS, T. D.; SPOKES L. J. Atmospheric iron inputs to the oceans. in *The Biogeochemistry of Iron in Seawater*, edited by D.R. Turner and K. A. Hunter, p. 85–n. 118, 2001.

JOHNSON, M. S. et al. Modeling dust and soluble iron deposition to the South Atlantic Ocean. *Journal of geophysical research*, v. 115, p. D15202, 2010

KAMPEL M. et al. Estimativa por satélite da concentração de clorofila a superficial na costa sudeste brasileira, região oeste do Atlântico Sul: Comparação dos algoritmos SeaWiFS. *Anais XII simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE p.3633-3641

KIPF, A. et al. Seamounts off the West Antarctic margin: A case for non-hotspot driven intraplate volcanism. *Gondwana Research*, Available online 16 July 2013.

KOSLER, J. et al. Combined Sr, Nd, Pb and Li isotope geochemistry of alkaline lavas from northern James Ross Island (Antarctic Peninsula) and implications for back-arc magma formation. *Chemical Geology*, v. 258, p. 207–218, January 2009.

LEE et al. Provenances of atmospheric dust over Korea from Sr-Nd isotopes and rare elements in early 2006. *Atmospheric Environment.* v.4, p.2401-2414, 2010.

Li, F., et al. Transport of Patagonian dust to Antarctica. *Geophysical Research Letters*,v.15,p. D10207, 2010

LUCASSEN, F et al. Pre-Cenozoic intra-plate magmatism along the Central Andes (17–34°S): Composition of the mantle at an active margin. *Lithos*, n. 99, p. 312–338, 2007.

- MAHOWALD et al. 2005. The atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean. *Glob. Biogeochem. Cycles*, v. 19, p. GB4025, 2005.
- MCCONNELL, J.R. et al. 20th-century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* v.104, n.14, p. 5743–5748, 2007.
- MESKHIDZE et al. Atlantic Southern Ocean productivity: Fertilization from above or below? *Global Biogeochemical Cycles*. v.21, p. GB002711, 2007
- MARTIN, J. H. Glacial-interglacial CO₂ change: The iron hypothesis. *Paleo-oceanography*. v. 5, p.1–13, 1990.
- MARTINS, V. T. de S et al. Sr and Nd Characteristics of Brasileiro/Pan-African Granitoid Plutons of the Araquai Orogen, Southeastern Brazil: Tectonic Implications. *Gondwana Research*, v. 7, n. 1, p. 75-89, January 2004.
- MERLE, R. et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages and Sr–Nd–Pb–Os geochemistry of CAMP tholeiites from Western Maranhão basin (NE Brazil). *Lithos*, n. 122, p. 137–151, 2011.
- MOREL et al. Limitation of productivity by trace metals in the sea. *Limnology and Oceanography*. v.36 ,n. 8, p. 1742-1755, 1991.
- MOUILLOT, F.; Field, C. B. Fire history and the global carbon budget: a 1_ × 1_ fire history reconstruction for the 20th century, *Glob. Change Biol.* V. 11, p. 398–420, 2005
- NAKANO T. et al. Source and evolution of the “perfect Asian dust storm” in early April 2001: Implications of the Sr–Nd isotope ratios. *Atmos. Envi.*, v. 39, p. 5568–5575, 2005
- NETO, C.C.A. et al. Composição Isotópica do Sr no Padrão NBS987 e nos Padrões de Rocha do USGS BCR-1, AGV-1, G-2 E GSP-1: Resultados preliminares obtidos por TIMS no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos – LAGIR – UERJ, Rio de Janeiro. *Simpósio 45 anos de Geocronologia no Brasil – CPGeo- IGc – USP. Boletim de Resumos Expandidos*, p. 72-74, 2009
- OMACHI, C. Y. and C. A. E. Garcia. Analysis of empirical algorithms of surface chlorophyll a for SeaWifs in the Southwestern Atlantic Ocean. In: *Ocean Optics XV, Proceedings...* Monaco: p. 11-14, 2000.
- PARADA, M. A. et al. Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31–34°S): geochemical and Sr–Nd isotopic evidence and tectonic implications. *Lithos*, v. 46, p. 505-521, 1999.
- PATTERSON et al. Complex index of refraction between 300 and 700 nm for Saharan aerosols. *Journal of Geophysical Research*.v.82, p. 3153–3160, 1977.
- PEREIRA, E. B., H. et al. Apportionment of black carbon in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, *J. Geophys. Res.*, v. 111, p. D03303, 2006.

- PETIT et al. Climate and atmospheric history of the past 420 , 000 years from the Vostok ice core , Antarctica. *Nature*,v.199, p. 429-436, 2009.
- PIERCE, J.W.; SIEGEL, F.R. Suspended particulate matter on the Southern Argentina Shelf. *Marine Geology*. v. 29, .73-91,1979.
- PIMENTEL, M. M. et al. Shrimp U-Pb age and Sr-Nd isotopes of the Morro do Baú mafic intrusion: implications for the evolution of the Arenópolis volcano-sedimentary sequence, Goiás Magmatic Arc. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, v. 75, n. 3, p. 331-339, 2003.
- PRICE, N.M.; MOREL, F.M.M. Biological cycling of iron in the sea. In:Iron Transport and Storage in Microorganisms, Plants, and animals. *Metal Ions in Biological systems*, v. 35, A. Sigel and H. Sigel, eds. M. Dekker, Inc. New York. 1998.
- PROSPERO J.M. The Atmospheric Transport of Particles to the Ocean Particle Flux in the Ocean Edited by V. Ittekkot, P. Schäfer, S. Honjo and P. J. Depetris SCOPE Published by John Wiley & Sons Ltda, 1996
- RIBEIRO, A. Impacto da especialização de dados de falhas em análises probabilísticas de segurança de plantas de processo, 2005 VII, 50 p. 29,750 fls. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Nuclear)-Dissertacao-Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- REVEL-ROLLAND, et al. Eastern Australia: a possible source of dust in East Antarctica interglacial ice. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 249, p. 1–13, 2006.
- RIJKENBERG, M.J.A. The influence of UV irradiation on the photoreduction of iron in the Southern Ocean. *Marine Chemistry*. v.93, p. 119-129, 2005.
- ROCHA-JÚNIOR, E. R. V. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the nature of the mantle sources involved in the genesis of the high-Ti tholeiites from northern Paraná Continental Flood Basalts (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 46, p. 9-25, March 2013.
- RODDAZ, M. et al. Provenance of late Oligocene to quaternary sediments of the Ecuadorian Amazonian foreland basin as inferred from major and trace element geochemistry and NdeSr isotopic composition. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 37, p. 136-153, 2012.
- RODRIGUES A. F., Holmes C., Marot M., Pio C.A. 2005. Utilização de isótopos naturais como traçadores da dispersão de poeiras do saara: um caso de estudo nos açores-portugal.*Eng. ambient.*,2: 085-099
- RODRÍGUEZ et al. A review of methods for long term in situ characterization of aerosol dust. *Aeolian Research*, v.6, p.55-74, 2012
- ROMERO S.I. et al. Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *Journal of Geophysical Research*.v.111,p. C05021, 2006.
- ROSE, A.L. et al. Use of superoxide as an electron shuttle for iron acquisition by the marine cyanobacterium *Lyngbya majuscula*. *Environ. Sci. Technol.* 39, 3708–3715, 2005.

SIGNORINI S.R. et al. Seasonal and interannual variability of calcite in the vicinity of the Patagonian shelf break (38°S–52°S) *Geophysical Research Letters*, v.33, n. 16, p. L16610, 2006.

SILVA, D. R. A. et al. Whole-rock geochemistry and SrNd isotopic composition of the pre-rift sequence of the Camamu Basin, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, n. 39, p. 59-71, 2012.

SOUZA, Z. S. et al. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajá's Province, Brazil): implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, n. 109, p. 293–315, 2001.

SMITH, J. et al. Isotopic constraints on the source of Argentinian loess – with implications for atmospheric circulation and the provenance of Antarctic dust during recent glacial máxima. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 212, p. 181-196, April 2003. [3]

STATCAMP, Intervalo de confiança. Disponível em:
<http://www.portalaction.com.br/content/2>. Acesso em: 25 jun.2014.

STERN, C. R. et al. Trace-element and Sr, Nd, Pb, and O isotopic composition of Pliocene and Quaternary alkali basalts of the Patagonian Plateau lavas of southernmost South America. *Contrib Mineral Petrol*, v. 104, p. 294-308, 1990.

STERN, C.R. et al. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Rev. Geol. Chile*. v.31, n. 2, p.161–206, 2004.

SUGDEN, D. E. et al. Influence of Patagonian glaciers on Antarctic dust deposition during the last glacial period. *Nature Geoscience*, Published Online, March 2009. [19]

THEODOSI et al. The significance of atmospheric inputs of soluble and particulate major and trace metals to the eastern Mediterranean seawater. *Marine Chemistry*, v.120, p.154-163, 2010.

TSAMALIS, C. et al. The seasonal vertical distribution of the Saharan Air Layer and its modulation by the wind. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 22, p. 11235-11257, 2013.

VALLELONGA, P. et al. Lead isotopic compositions in the EPICA Dome C ice core and Southern Hemisphere Potential Source Areas. *Quaternary Science Reviews*, v. 29 p. 247–255. 2010.

VALERIANO, C. M. et al. The Neodymium isotope composition of the JNdi-1 oxide reference material: results from the LAGIR Laboratory, Rio de Janeiro. In: VI South American Symposium on Isotope Geology, 2008, San Carlos de Bariloche. Proceedings of the VI South American Symposium on Isotope Geology, v. 1. p. 1-2, 2008

VALERIANO C.M. et al. A new TIMS laboratory under construction in Rio de Janeiro, Brazil. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador. Short Papers IV South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, v. 1, p. 131-133, 2003

YOUNG, D. N. et al. Geochemical and Sr-Nd isotopic mapping of source provinces for the Mawson charnockites, east Antarctica: implications for Proterozoic tectonics and Gondwana reconstruction. *Precambrian Research*, v. 86, p. 1-19, 1997. [18]

WALTER, A. V. et al. Rare-earth elements and isotopes (Sr, Nd, O, C) in minerals from the Juquti carbonatite (Brazil): tracers of a multistage evolution. *Chemical Geology*, n. 120 p. 27-44, 1995.

WALTER, H. J. W. et al. Provenance and transport of terrigenous sediment in the South Atlantic Ocean and their relations to glacial and interglacial cycles : Nd and Sr isotopic evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64 n. 22, p. 3813–3827, 2000.

WEBER et al. Dust transport from Patagonia to Antarctica – A new stratigraphic approach from the Scotia Sea and its implications for the last glacial cycle.v. 36, p. 177-188, 2012

WESTBERRY, et al. Retrospective satellite ocean color analysis of purposeful and natural ocean iron fertilization, *Deep Sea Res. Part I*, v.73,p. 1–16, 2013.

WELSCHMEYER, N.A. Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. *Limnol. Oceanogr.* v.39, n.8, p. 1985-1992,1994.

ANEXO A - Dados referentes aos cruzeiros 2010, 2011 e 2012

Tabela 1 -Dados gerais das coletas atmosféricas no Atlântico Sul e Oceano Austral referente ao cruzeiro realizado em 2010.

ID	Início	Lat (S)	Long (W)	Fim	Lat (S)	Long (W)	Volume amostrado (L)
A1	07/12/2010	23.27	042.09	08/12/2010	25.05	042.46	45.450
A2	08/12/2010	25.05	042.46	08/12/2010	25.18	042.51	21.519
A3	08/12/2010	25.19	043.07	09/12/2010	26.55	044.57	51.939
A4	09/12/2010	26.55	044.57	09/12/2010	27.57	042.51	21.519
A5	09/12/2020	28.13	046.35	10/12/2010	28.33	046.58	293.925
A6	10/12/2010	28.33	046.58	10/12/2010	29.42	046.58	49.575
A7	10/12/2010	29.58	048.58	11/12/2010	31.41	051.44	1512
A8	11/12/2010	31.42	051.45	11/12/2010	33.56	052.13	5944
A9	13/12/2010	33.56	052.13	13/12/2010	35.27	52.56	104.295
A10	13/12/2010	35.58	053.12	14/12/2010	38.11	054.25	15.725
A11	14/12/2010	39.39	055.15	14/12/2010	40.02	055.28	26.985
A12	14/12/2010	40.02	055.34	15/12/2010	41.55	055.34	2835
A13	15/12/2010	41.55	055.34	15/12/2010	44.09	055.37	2800
A14	15/12/2010	44.09	055.37	16/12/2010	47.10	055.40	4270
A16	16/12/2010	49.17	055.40	17/12/2010	51.52	056.13	2800
A17	17/12/2010	51.52	056.13	17/12/2010	54.04	057.20	32160
A18	17/12/2010	54.04	057.20	18/12/2010	56.10	058.44	10.784
A19	18/12/2010	56.10	058.44	18/12/2010	57.40	060.19	2849
A20	18/12/2010	57.40	060.19	19/12/2010	58.16	061.40	12.400
A21	19/12/2010	58.16	061.40	19/12/2010	59.58	058.15	12.460
A22	19/12/2010	59.15	058.15	20/12/2010	61.17	055.25	4640
A23	21/12/2010	61.07	055.49	22/12/2010	58.38	060.27	78.800
A24	22/12/2010	58.38	060.27	22/12/2010	57.22	062.52	20.640
A25	22/12/2010	57.22	062.52	23/12/2010	55.33	066.13	42.105
A26	23/12/2010	55.33	066.13	23/12/2010	54.56	069.11	26.985

A27	23/12/2010	54.56	069.11	24/12/2010	54.21	071.48	55.560
A28	03/01/2011	54.21	071.48	04/01/2011	54.55	068.38	33600
A29	04/01/2011	54.55	068.38	04/01/2011	55.11	066.50	70
A30	04/01/2011	55.11	066.50	05/012011	62.05	058.22	31.535

Fonte: Santos, 2014.

Tabela 2- Dados gerais das coletas atmosféricas no Atlântico Sul e Oceano Austral referente ao cruzeiro realizado em 2011.

ID	Início	Lat (S)	Long (W)	Fim	Lat (S)	Long (W)	Volume amostrado (L)
C1	22/01/2011	63.03	059.56	23/01/2011	64 36	062.28	57680
C2	23/01/2011	64.32	062.25	23/01/2011	64 33	062.35	12280
C3	25/01/2011	64.07	061.16	25/01/2011	64 30	061.41	14560
C4	27/01/2011	64.53	063.43	27/01/2011	64 26	062.59	22400
C5	28/01/2011	64.29	062.52	28/01/2011	64 23	061.48	25600
C6	30/01/2011	57.25	06447	30/01/2011	56 25	065.18	20800
C7	30/01/2011	56.25	065.18	30/01/2011	55 21	065.49	24480
C8	04/02/2011	54.49	068.13	04/02/2011	55 27	065.34	17000
C9	04/02/2011	55.27	065.34	05/02/2011	57 22	063.13	4042,5
C10	05/02/2011	57.22	063.13	05/02/2011	58 07	062.16	5
C11	05/02/2011	58.07	062.16	05/02/2011	58 57	061.11	12480
C12	05/02/2011	58.57	061.11	06/02/2011	60 43	058.48	6400
C13	06/02/2011	60.43	058.48	06/02/2011	61 42	057.28	1280
C15	09/02/2011	62.44	061.03	09/02/2011	62 47	060.14	35360
C16	09/02/2011	62.47	060.14	10/02/2011	62 05	058.22	51600
C18	19/02/2011	64.09	056.38	20/02/2011	63 21	56.55	59120
C20	21/02/2011	62.10	058.32	21/02/2011	62 35	058.29	27200
C21	21/02/2011	62.35	058.29	22/02/2011	63 15	058.01	38500
C22	24/02/2011	62.11	058.04	24/02/2011	62 45	059.45	31350
C23	01/03/2011	62.21	058.45	01/03/2011	62 58	059.38	16087,5
A50	11/03/2011	61.02	054.36	12/03/2011	59.28	058.48	95.700,0
A51	12/03/2011	59.28	058.48	12/03/2011	58.36	060.18	35.402,5
A52	12/03/2011	58.36	060.18	13/03/2011	56.06	064.25	69.402,5
A53	13/03/2011	56.58	063.00	13/03/2011	55.05	066.05	43.860,0
A54	19/03/2011	55.21	065.41	20/03/2011	57.54	062.32	47.149,5
A55	20/03/2011	57.54	062.32	20/03/2011	59.20	060.40	3.544,5

A56	20/03/2011	59.20	060.40	21/03/2011	61.39	057.30	45.942,5
A57	26/03/2011	62.08	058.27	27/03/2011	60.28	059.25	62.041,5
A58	27/03/2011	60.28	059.25	27/03/2011	50.25	060.45	2.501,3
A60	07/04/2011	52.37	069.43	08/04/2011	51.20	066.51	42.973,0
A61	08/04/2011	51.20	066.51	08/04/2011	50.01	065.45	43.231,0
A62	08/02/2011	50.01	065.45	09/04/2011	47.45	063.54	75.619,5
A63	09/04/2011	47.01	063.54	09/04/2011	46.30	062.55	3.213,0
A64	09/04/2011	46.30	062.55	10/04/2011	44.01	061.02	82.772,3
A65	10/04/2011	44.01	061.02	10/04/2011	42.54	060.13	36.752,0
A66	10/04/2011	42.54	060.13	11/04/2011	40.48	058.43	60.193,0
A67	11/04/2011	40.48	058.43	11/04/2001	39.34	057.51	3.802,5
A68	11/04/2011	39.22	057.43	12/04/2011	36.45	055.56	60.793,8
A69	12/04/2011	36.45	055.56	12/04/2011	35.31	055.23	27.654,0
A70	12/04/2011	35.31	055.23	13/04/2011	34.46	057.30	58.527,0
A71	19/04/2011	34.37	058.07	20/04/2011	35.05	055.02	76.263,0
A72	20/04/2011	35.05	055.02	20/04/2011	34.28	053.24	36.611,0
A73	20/04/2011	34.28	053.24	21/04/2011	32.17	51.24	82.581,3
A74	23/04/2011	32.05	051.42	23/04/2011	30.49	050.15	40.516,0
A75	23/04/2011	30.49	050.15	24/04/2011	28.35	048.09	33.250,0
A76	24/04/2011	28.35	048.09	24/04/2011	27.25	047.05	2.486,8
A77	24/04/2011	27.25	047.05	25/04/2011	25.11	045.01	44.047,5
A78	25/04/2011	25.11	045.01	25/04/2011	24.12	044.07	31.635,0

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 3 - Dados gerais das coletas atmosféricas no Atlântico Sul e Oceano Austral referente ao cruzeiro realizado em 2012.

ID	Início	Lat (S)	Long (W)	Fim	Lat (S)	Long (W)	Volume amostrado (L)
Br	26/02/2012	54.55	067.13	27/02/2012	58.29	062.15	75600
M1	07/04/2012	59.28	060.49	07/04/2012	58.06	062.47	36900
M3	08/04/2012	56.05	065.33	08/04/2012	564.05	060.33	54000
F2	12/04/2012	53.00	70.36	12/04/2012	52.34	069.42	19800
BR 1	12/04/2012	52.34	069.42	13/04/2012	51.22	066.45	40800
F7	14/04/2012	47.35	063.15	14/04/2012	45.53	061.46	24000
F10	14/04/2012	46.37	061.32	15/04/2012	43.30	059.45	29925
F12	15/04/2012	43.05	059.25	15/04/2012	41.42	058.17	19687
F14	15/04/2012	41.31	058.09	16/04/2012	39.20	056.26	15750
F16	16/04/2012	38.48	056.01	16/04/2012	37.46	055.13	22100
F18	16/04/2012	37.42	056.11	17/04/2012	35.59	053.54	33000
BR2	22/04/2012	34.55	056.13	23/04/2012	34.32	053.26	3250
F20	23/04/2012	34.32	053.26	23/04/2012	33.32	050.26	28750
F22	23/04/2012	33.32	050.26	24/04/2012	32.10	052.05	27000
F26	26/04/2012	31.45	051.02	27/04/2012	29.51	049.08	31000
F28	27/04/2012	29.27	048.45	27/04/2012	28.36	047.55	19350
F30	27/04/2012	28.36	047.55	28/04/2012	26.50	046.50	27000
F32	28/04/2012	26.32	045.59	28/04/2012	25.18	045.05	19600
F34	28/04/2012	25.18	045.05	29/04/2012	23.03	043.25	28200

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 4 - Identificação (ID) e localização das estações oceanográficas

ID	Data	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Profundidade (m)
P703	05/01/09	54°14′	059°47′	0, 5, 32, 50, 90, 110
P705	05/01/09	53°57′	061°06′	0, 10, 40, 19, 80
P709	06/01/09	53°38′	061°43′	0, 10, 20, 40, 60, 160
P711	06/01/09	53°18′	061°05′	0, 20, 45, 60, 80, 120
P720	07/01/09	53°47′	061°58′	0, 15, 40, 60, 80, 99
P721	07/01/09	53°39′	062°27′	0, 15, 35, 60, 90

Fonte: SANTOS, 2014

ANEXO B - Sequência de resultados da caracterização química

Tabela 5 - Resultados da análise de metais de origem terrígena e traço em aerossóis durante o cruzeiro realizado e 2010

Id	Lat.(°S)	Ti	Mn	Ni	Zn*10	Cd	Pb*10	Si	Al	Fe
A1	23,27	0,007	0,015	0,008	0,030	0,046	0,000	0,000	0,008	0,077
B3	25,19	0,009	0,018	0,003	0,023	0,055	0,000	0,000	0,003	0,002
B4	26,55	0,003	0,006	0,015	0,617	0,055	0,000	0,047	0,112	0,041
B6	28,33	0,009	0,011	0,006	0,025	0,055	0,007	0,000	0,006	0,001
B7	29,58	0,260	0,148	0,676	0,030	0,554	0,000	0,000	0,000	0,069
B8	31,42	0,008	0,015	0,053	0,033	0,055	0,000	0,173	0,000	0,033
B10	35,58	0,002	0,003	0,020	0,030	0,055	0,000	0,032	0,129	0,030
B11	39,39	0,064	0,008	0,013	0,030	0,055	0,000	0,625	0,323	0,312
B12	40,02	0,007	0,003	0,005	0,023	0,055	0,004	0,017	0,096	0,003
B13	41,55	0,019	0,042	0,085	0,030	0,055	0,000	0,000	0,258	0,001
B14	44,09	0,006	0,027	0,046	0,030	0,055	0,000	0,000	0,254	0,001
B15	47,1	0,020	0,010	0,102	0,030	0,055	0,118	0,000	0,000	0,001
B17	51,52	0,005	0,012	0,009	0,030	0,064	0,035	0,030	0,077	0,012
B18	54,04	0,003	0,024	0,027	0,030	0,055	0,058	0,000	0,072	0,001
B28	54,21	0,007	0,020	0,005	0,023	0,054	0,000	0,000	0,000	0,001
B29	54,55	0,010	0,019	0,004	0,003	0,052	0,005	0,000	0,005	0,001
A27	54,56	0,009	0,009	0,006	0,019	0,055	0,000	0,000	0,022	0,001
B26	55,33	0,008	0,017	0,009	0,030	0,054	0,004	0,000	0,000	0,001
B19	56,1	0,024	0,071	0,077	0,030	0,055	0,000	0,000	0,481	0,001
B25	57,22	0,009	0,009	0,007	0,020	0,055	0,000	0,000	0,029	0,001
B21	58,16	0,004	0,009	0,004	0,030	0,055	0,000	0,000	0,038	0,001
B24	58,38	0,006	0,000	0,016	0,030	0,055	0,024	0,000	0,019	0,001
B22	59,15	0,008	0,001	0,073	0,030	0,031	0,000	0,000	0,000	0,001
B23	61,07	0,009	0,014	0,002	0,024	0,055	0,003	0,000	0,002	0,001

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 6 - Resultados da análise de metais de origem terrígena e traço em aerossóis durante o cruzeiro realizado em 2011

Id	Lat. (°S)	Si/10	Al/100	Fe	Ti	Mn/10	Ni/10	Zn	Cd	Pb
B77	27.25	0,006	0,001	0,003	0,003	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000
B76	28.35	0,001	0,001	0,000	0,003	0,001	0,001	0,000	0,005	0,000
b72	35.05	0,001	0,000	0,000	0,005	0,001	0,001	0,000	0,005	0,001
B70	35.31	0,004	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,005	0,000
B69	36.45	0,005	0,000	0,005	0,001	0,001	0,001	0,005	0,014	0,000
B68	39.22	0,002	0,000	0,001	0,005	0,000	0,000	0,001	0,005	0,001
B67	40.48	0,012	0,001	0,010	0,005	0,001	0,001	0,002	0,005	0,000
B66	42.54	0,002	0,000	0,001	0,006	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
B65	44.01	0,089	0,010	0,066	0,054	0,010	0,000	0,003	0,005	0,026
B64	46.30	0,016	0,001	0,014	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,001
B63	47.01	0,039	0,037	0,044	0,008	0,072	0,000	0,000	0,005	0,000
B61	51.20	0,002	0,001	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000
B60	52.37	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,001	0,018	0,002	0,002
B53	56.58	0,000	0,003	0,000	0,008	0,012	0,000	0,000	0,005	0,022
B55	57.54	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,004	0,004	0,000
NB11	58.07	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,001	0,005	0,000
NB12	58.57	0,000	0,002	0,000	0,006	0,004	0,004	0,006	0,005	0,000
B52	58.36	0,002	0,000	0,000	0,008	0,022	0,000	0,000	0,005	0,000
B51	59.28	0,000	0,003	0,000	0,008	0,011	0,000	0,018	0,005	0,000
NB13	60.43	0,000	0,000	0,002	0,061	0,005	0,028	0,000	0,005	0,000
NB20	62.10	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,002	0,005	0,000
NA16	62.47	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 7 - Resultados da análise de metais de origem terrígena e traço em aerossóis durante o cruzeiro realizado em 2012

ID	Latitude	Si	Al/10	Fe	Ti	Mn	Ni	Zn	Pb*10
F3	33.32	0,042	0,014	0,015	0,006	0,023	0,014	0,000	0,037
F5	34.32	0,014	0,008	0,022	0,006	0,023	0,010	0,002	0,022
F11	37.42	0,021	0,003	0,008	0,006	0,013	0,006	0,002	0,000
F13	38.48	0,000	0,011	0,057	0,011	0,017	0,014	0,004	0,085
F15	41.31	0,000	0,008	0,003	0,007	0,043	0,020	0,024	0,048
F17	43.05	0,000	0,007	0,003	0,006	0,032	0,015	0,015	0,064
F19	46.37	0,027	0,011	0,009	0,005	0,021	0,010	0,004	0,008
F21	51.22	0,000	0,003	0,000	0,003	0,013	0,007	0,000	0,029
F23	53.00	0,000	0,001	0,000	0,007	0,027	0,016	0,010	0,000
M1	59.28	0,000	0,000	0,000	0,003	0,017	0,009	0,014	0,000

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 8-Resultados de Sr e Nd para as coletas de aerossóis das expedições 2010,2011 2012

Id	Filtro (s)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1σ	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro	ϵ_{Nd}
695	A4+A3	0,7080	0,003005	0,51252	0,000230	-2,2
696	A6+A7+A8	0,7097	0,001790	0,51078	0,000540	-36,1
697	A10+A11+A12	0,7083	0,000010	0,51021	0,000810	-47,4
698	A13+A14+A15	0,7090	0,000019	0,51247	0,000110	-3,3
699	A16+A17+A18+A19	0,7092	0,000011	0,51277	0,000390	2,5
701	A23	0,7091	0,000043	0,51216	0,005380	-9,3
665	M4	0,7099	0,000360	0,51198	0,000310	-12,9
630	F6	0,7122	0,000680	0,51245	0,000480	-3,7
631	F10	0,7168	0,000380	0,51043	0,004090	-43
632	F12	0,7125	0,000770	0,51172	0,000066	-17,9
633	F14	0,8198	0,000760	0,51156	0,000064	-21,1
634	F16	0,7097	0,000280	0,51232	0,000160	-6,3
663	F22	0,7091	0,000015	0,51385	0,000670	23,9
666	NB1	0,7097	0,000032	0,5131	0,001630	9
667	NB3	0,7145	0,000110	0,51209	0,004510	-10,6

706	NA3+NA4+NA5+NA6	0,7088	0,000031	0,5122	0,000320	-8,5
669	NB5	0,7099	0,000050	0,51251	0,000240	-2,5
671	NB7	0,7095	0,000081	0,51196	0,002580	-13,2
674	NB10	0,7124	0,000110	0,51079	0,000320	-35,5
708	NA13+NA16+NA20	0,7090	0,000037	0,51237	0,000160	-5,1
709	A50+A51+A52+A53+A57	0,7090	0,000034	0,51219	0,000380	-8,7
704	A54+A55+A56	0,7090	0,000035	0,51131	0,000630	-25,9
711	A67+A68+A69+A70	0,7089	0,000021	0,51231	0,000150	-6,4
713	A71+A76+A77	0,7089	0,000059	0,51242	0,000210	-4,3

Fonte: SANTOS,2014

ANEXO C - Inventário com as razões isotópicas da América do Sul

Tabela 9. Inventário baseado na literatura científica no período compreendido entre 1994 e 2013 com as razões isotópicas da América do Sul e Antártica.

Id	referências	Tipo	lat(S)	Long(O)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (c)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$
SA17	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Loess	- 45,57	- 72,07	0,71513	0,512528	-2,150
SA18	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Loess	- 45,57	- 72,07	0,707577	0,512655	0,330
SA19	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Loess	- 45,57	- 72,07	0,706797	0,512659	0,410
SA5	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia fina	- 33,83	- 59,52	0,711557	0,512483	-2,770
SA6	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Loess	- 31,65	- 64,13	0,711557	0,512483	-3,020
SA7	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Sedimento	- 41,16	- 71,30	0,706804	0,512777	2,710
SA8	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia fina	- 48,64	- 74,10	0,709407	0,512709	1,380
SA9	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	- 48,64	- 74,10	0,709091	0,512726	1,720
SA11	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Moraina	- 51,07	- 73,15	0,709498	0,512489	-2,910
SA12	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Moraina	- 51,07	- 73,15	0,71082	0,512552	-1,680
SA13	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Sedimento	- 53,17	- 70,92	0,71208	0,512569	-1,350
SA14	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Sedimento	- 53,31	- 70,37	0,714006	0,512439	-3,880
SA15	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Sedimento	- 53,17	- 70,92	0,707564	0,512743	2,050
TS-CAL	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	- 50,34	- 71,50	0,707398	0,51261	-0,500
TS-SJ	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	- 49,35	- 67,75	0,708122	0,512661	0,500
TS-GAR	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	- 44,08	- 66,67	0,707171	0,512669	0,600
TS-SAO	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	- 40,73	- 64,93	0,70792	0,512651	0,300

TS-FR	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	-	47,00	-	67,25	0,708521	0,512622	-0,300
TS-RC	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	-	38,98	-	64,07	0,708631	0,512593	-0,800
TS-PV	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	-	42,50	-	64,03	0,707639	0,512645	0,200
TS-GA	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Solo	-	51,63	-	69,62	0,707583	0,512622	-0,300
RCOL	GAIERO <i>et al.</i> , 2006	Sedimento	-	38,98	-	64,07	0,708129	0,51252	-2,300
H1	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	37,95	-	57,63	0,708164	0,512581	-1,070
H2	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	37,95	-	57,63	0,708186	0,512594	-0,810
H3	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	37,95	-	57,63	0,708114	0,512583	-1,040
H4	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	37,95	-	57,63	0,708407	0,512577	-1,140
G1B	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,90	-	58,02	0,709824	0,512478	-3,080
G1C	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,90	-	58,02	0,709757	0,51246	-3,430
G1F	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,90	-	58,02	0,710751	0,5125	-2,650
G2	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,90	-	58,02	0,709901	0,512482	-3,000
G3	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,90	-	58,02	0,709817	0,512554	-1,610
G4	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,90	-	58,02	0,709792	0,512552	-1,640
B2	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	33,78	-	59,50	0,712127	0,512339	-5,790
B1	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	33,78	-	59,50	0,711812	0,512361	-5,370
B3	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	33,78	-	59,50	0,711187	0,51243	-4,020
B4	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	33,78	-	59,50	0,71115	0,512459	-3,460
B5	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	33,78	-	59,50	0,711587	0,512432	-3,990

L1	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	31,65	-	65,07	0,710289	0,512458	-3,470
L2	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	31,65	-	65,07	0,71047	0,512452	-3,590
L3	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	31,65	-	65,07	0,710335	0,512469	-3,260
L4	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	31,65	-	65,07	0,710104	0,512468	-3,270
E1	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	29,17	-	66,10	0,714094	0,512308	-6,400
E2	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	29,17	-	66,10	0,713474	0,512405	-4,510
E3	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	29,17	-	66,10	0,714531	0,512316	-6,250
E4	SMITH <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	29,17	-	66,10	0,714334	0,51232	-6,170
Maipo	FUTA <i>et al.</i> 1988	Rocha	-	34,00	-	69,82	0,70712	0,512619	-0,037
Marmolejo	FUTA <i>et al.</i> 1988	Rocha	-	33,08	-	69,85	0,70701	0,512578	-0,117
NSVZ	FUTA <i>et al.</i> 1988	Rocha	-	33,35	-	69,77	0,70694	0,512598	-0,078
Hudson	FUTA <i>et al.</i> 1988	Rocha	-	45,90	-	72,97	0,70669	0,51275	0,218
LIMI-1	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,50	-	47,48	0,70743	0,51225	-5,400
TR-14	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,32	-	47,82	0,70687	0,51233	-3,900
PANT -1	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,58	-	46,83	0,70761	0,51232	-4,200
PANT-2	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,58	-	46,83	0,70761	0,5123	-4,500
LEM	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,20	-	47,55	0,70743	0,51227	-5,300
IN 1-1	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,57	-	47,47	0,70785	0,51227	-5,200
MAL	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,45	-	46,48	0,70728	0,5123	-4,600
PO2	GUARINO <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,42	-	46,43	0,70727	0,51229	-4,900

PO2	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,42	-	46,43	0,70755	0,51225	-5,700
PO3	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,42	-	46,43	0,70765	0,51222	-6,100
C2A8	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,03	-	47,87	0,70774	0,51225	-5,400
C2A18	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,03	-	47,87	0,70791	0,51221	-6,200
C2B23	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,03	-	47,87	0,70839	0,51223	-5,900
C2A10	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,03	-	47,87	0,70793	0,51223	-5,800
C2A18	GUARINO et al., 2013	Rocha	-	18,03	-	47,87	0,708	0,51219	-6,700
RO-33	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	10,82	-	61,13	0,70755	0,512699	2,500
RO-36	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	10,82	-	61,13	0,721429	0,512393	2,800
RO-24	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	10,82	-	61,13	0,70742	0,512367	0,180
RO-25A	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	10,82	-	61,13	0,71092	0,512413	-0,560
RO-25B	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	10,82	-	61,13	0,70599	0,512359	-0,520
RO-26	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	10,82	-	61,13	0,7056	0,512002	-0,860
RO-10	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,47	-	62,32	0,70557	0,512747	2,700
RO-14	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,47	-	62,32	0,70749	0,512798	-0,040
RO-18	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,47	-	62,32	0,70547	0,513287	4,100
RO-19	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,47	-	62,32	0,70729	0,513321	5,200
RO-01	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,67	-	62,32	0,713	0,512688	1,300
RO-04B	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,67	-	62,32	0,70913	0,512621	1,600
RO-05	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,67	-	62,32	0,70965	0,512604	1,100

RO-07	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	11,67	-	62,32	0,71283	0,512394	0,080
NL-14	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70803	0,512282	1,600
NL-34	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70667	0,512295	1,400
NL-48	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70619	0,512658	2,700
NL-52	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70988	0,512446	2,100
NL-53	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70926	0,512448	2,100
NL-1A	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70831	0,512262	1,100
NL-12	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70805	0,512318	1,500
NL-76	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,70652	0,51228	1,200
NL-78	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,32	-	59,60	0,71068	0,512258	1,200
DI-11	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,43	-	43,64	0,70877	0,512337	-0,790
DI-30	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,43	-	43,64	0,70928	0,512314	0,260
DI-59	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,43	-	43,64	0,7094	0,512237	-2,100
DI-48	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,43	-	43,64	0,71023	0,512281	0,460
DI-50	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,43	-	43,64	0,71025	0,512254	-1,900
DI-35	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,43	-	43,64	0,709	0,512163	-0,370
6099	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70828	0,51234	-1,200
6091	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70663	0,51246	-1,300
6383	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70769	0,51247	-1,100
6067	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70621	0,51262	2,300

6142	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70606	0,51247	2,400
6380	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70805	0,51217	-5,300
6131	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70665	0,51262	3,300
6391	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,7099	0,51234	-4,000
6346	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70747	0,5125	-3,400
6063	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70882	0,51201	-6,700
6078	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,71029	0,51234	-3,100
6125	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70604	0,51234	-3,100
6059	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,7085	0,51213	-8,000
6115	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	12,93	-	38,35	0,70555	0,51243	0,800
60	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,18	-	44,99	0,71013	0,512444	-1,300
45	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,18	-	44,99	0,70956	0,51223	-0,600
19	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,18	-	44,99	0,70913	0,512311	-1,700
100	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,18	-	44,99	0,7101	0,51256	-2,000
CR-01	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,7186	0,51156	-2,300
CR-102	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,71864	0,51149	-3,400
CR-103	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,70805	0,512601	-1,200
CR-107	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,70701	0,51156	0,500
GO-06	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,71072	0,512636	-0,700
GO-07	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,71722	0,512198	-3,200

Cr-108	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,71176	0,512488	0,800
Cr-109	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,70871	0,512538	-0,750
GO-104	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	14,53	-	49,97	0,70624	0,512614	-0,400
UR-4	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	34,05	-	56,22	0,72506	0,51176	-4,400
UR-33	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	34,05	-	56,22	0,71843	0,51181	-1,100
UR-16	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	34,05	-	56,22	0,7269	0,51173	-8,900
UR-23	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	34,05	-	56,22	0,72713	0,51176	-3,800
UR-49	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	34,05	-	56,22	0,72853	0,51178	-4,500
UR-42	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	34,05	-	56,22	0,72046	0,51179	-12,400
40	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	37,28	-	59,15	0,71207	0,511375	-2,800
41	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	37,28	-	59,15	0,71435	0,511323	-3,600
54	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	37,28	-	59,15	0,738878	0,511392	-3,700
4*6	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,65	-	59,28	0,709042	0,512531	-2,100
*14	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,65	-	59,28	0,709271	0,512545	-1,800
*26	GIRARD <i>et al.</i> , 2013	Loess	-	34,65	-	59,28	0,708534	0,512558	-1,600
52*54	GALLET <i>et al.</i> , 1998	Loess	-	34,65	-	59,28	0,711643	0,512311	-6,400
LUJA	GALLET <i>et al.</i> , 1998	Loess	-	34,65	-	59,28	0,708767	0,512491	-2,900
M-9	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,709965	0,51219	-8,700
M-21	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,709292	0,512114	-10,180
M-26	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710133	0,51211	-10,260

M-28	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,709992	0,512156	-9,360
M-32	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710222	0,512042	-11,590
M-54	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710136	0,512181	-8,880
M-77	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710211	0,512026	-11,900
M-87	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710137	0,51221	-8,310
M-99	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710103	0,51219	-8,700
M-107	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710036	0,512199	-8,520
M-111	ANDRONIKOV <i>et al.</i> , 1998	Rocha	-	70,78	-	67,50	0,710122	0,512269	-7,160
518-520	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,710795	0,512533	-1,660
570	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,711034	0,512512	-2,460
957-963	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,710643	0,512602	-0,700
996	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,711003	0,512538	-1,950
1790	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,711097	0,512564	-1,440
1880-1890	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,711737	0,512683	0,880
580-589	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,710907	0,512894	4,990
516	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	75,10	-	123,40	0,710953	0,512484	-3,000
2107 F	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,711018	0,512555	-1,620
2107	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,71042	0,512628	0,200
2054 F I	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,713235	0,512445	-3,760
1965	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,711668	0,512545	-1,810

2873	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,713329	0,512393	-4,780
3144	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,71066	0,51253	-2,110
3347	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,713046	0,512481	-3,060
905-911	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,710247	0,512694	1,090
2106-2133	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,710419	0,512836	3,860
2134-2169	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	T.G / poeira	-	78,47	-	106,80	0,710652	0,51271	1,400
A1	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,72		161,38	0,716113	0,511997	-12,500
A2	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,52		169,40	0,705394	0,512929	5,680
A3	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,28		163,25	0,711997	0,512492	-2,850
A4	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,28		163,25	0,712238	0,512585	-1,030
A5	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,50		165,00	0,705557	0,512818	3,510
A6	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,50		165,00	0,708004	0,512687	0,960
A7	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,62		163,18	0,713957	0,512306	-6,480
A8	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	77,63		162,85	0,711114	0,512376	-5,110
A9	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	74,83		164,50	0,7178	0,512129	-9,930
A10	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	Areia	-	67,00		139,00	0,751014	0,511919	-14,030
A11	DELMONTE <i>et al.</i> , 2004	moraina	-	18,55	-	41,87	0,776302	0,512117	-10,160
SM-08B	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,55	-	41,87	0,72022	0,51174	-17,517
IT-15B	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,55	-	41,87	0,716161	0,51188	-14,786
IT-16B	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,20	-	41,70	0,72221	0,51166	-19,078

IT-11	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,40	-	41,78	0,719681	0,51167	-18,883
IT-OZF	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,40	-	41,78	0,716411	0,51195	-13,421
TO-O1Aa	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,92	-	41,53	0,731152	0,51198	-12,836
TO-02A	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,92	-	41,53	0,720051	0,51201	-12,250
MU-04E	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,10	-	41,08	0,723933	0,51197	-13,031
AT-01A	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,10	-	41,08	0,728298	0,51201	-12,250
AT-01K2	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,10	-	41,08	0,738068	0,51164	-19,468
MU-12G	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,95	-	41,33	0,735652	0,51211	-10,300
MU-12.2K	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,95	-	41,33	0,720229	0,512	-12,445
MU-14	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,95	-	41,33	0,731051	0,51208	-10,885
MU-15A	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,85	-	41,28	0,746401	0,51209	-10,690
MU-08A	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,07	-	41,22	0,732273	0,51197	-13,031
MU-01A	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	17,92	-	41,17	0,736921	0,51201	-12,250
MU-10B	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,00	-	41,38	0,74755	0,51121	-27,856
MU-13	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,00	-	41,38	0,744673	0,51109	-30,197
SM-13B	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,40	-	42,42	0,764711	0,51129	-26,295
SS-01A5	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,40	-	42,42	0,748742	0,5107	-37,804
GUA-04A	MARTINS <i>et al.</i> , 2004	Rocha	-	18,40	-	42,42	0,785078	0,51079	-36,049
KS-625	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,27	-	47,75	0,708248	0,512384	-4,955
KS-649	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	20,63	-	47,20	0,708421	0,512362	-5,384

KS-684	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	20,22	-	48,15	0,70799	0,512361	-5,403
KS-695	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	19,70	-	47,92	0,708425	0,512344	-5,735
KS-700	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,90	-	48,08	0,70785	0,512359	-5,442
KS-701	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,88	-	48,33	0,708034	0,512357	-5,481
KS-746	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	19,10	-	51,73	0,708425	0,512331	-5,989
KS-747	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	19,08	-	51,77	0,708282	0,512343	-5,755
KS-749	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,58	-	52,10	0,707855	0,512301	-6,574
KS-756	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,47	-	52,06	0,708362	0,512442	-3,823
KS-772	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,48	-	49,57	0,70832	0,512362	-5,384
KS-775	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,51	-	49,78	0,708214	0,512378	-5,072
KS-778	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	18,76	-	50,93	0,708156	0,512369	-5,247
LM-2	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	22,00	-	48,00	0,708908	0,512363	-5,364
KS-624	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,28	-	47,75	0,708218	0,512382	-4,994
KS-660	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	21,74	-	47,42	0,708359	0,512385	-4,935
KS-671	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	23,00	-	47,42	0,70879	0,512344	-5,735
KS-685	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	20,26	-	48,15	0,708001	0,512379	-5,052
KS-705	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	20,30	-	49,24	0,708828	0,51236	-5,423
KS-755	ROCHA-JÚNIOR <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,94	-	51,66	0,708131	0,512361	-5,403
02PR01	CARLSON <i>et al.</i> , 2007	Rocha	-	16,97	-	50,72	0,708597	0,512489	-2,907
96AE 04	CARLSON <i>et al.</i> , 2007	Rocha	-	17,02	-	51,14	0,70746	0,512406	-4,526

96AE08	CARLSON <i>et al.</i> , 2007	Rocha	-	17,02	-	51,14	0,70718	0,512362	-5,384
96AE 11	CARLSON <i>et al.</i> , 2007	Rocha	-	17,17	-	51,35	0,70677	0,512446	-3,745
96AE 48F	CARLSON <i>et al.</i> , 2007	Rocha	-	17,02	-	51,12	0,70709	0,512436	-3,940
96AE 57	CARLSON <i>et al.</i> , 2007	Rocha		17,12	-	51,29	0,70722	0,512423	-4,194
NTH_1	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	72,98		160,33	0,727528	0,512405	-4,500
NTH_2	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	72,97		160,35	0,747729	0,512387	-4,900
NTH_3	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	72,70		160,23	0,800856	0,512216	-8,200
NTH_4	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	72,65		160,12	0,714384	0,512386	-4,900
NTH_5	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	72,60		160,50	0,720324	0,512348	-5,600
NTH_6	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	72,60		161,05	0,723312	0,512004	-12,400
DRV_1	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Dunas	-	77,37		162,17	0,71432	0,512222	-8,100
DRV_2	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Dunas	-	77,37		162,17	0,714416	0,512249	-7,600
DRV_3	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Dunas	-	77,37		161,92	0,714877	0,512244	-7,700
DRV_4	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Dunas	-	77,37		162,15	0,71513	0,512246	-7,600
DRV_5	DELMONTE <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	76,92		161,03	0,715908	0,512344	-5,700
DRV_6	[14]	Rocha	-	77,48		162,08	0,71794	0,512435	-4,000
IH_1	[14]	Rocha	-	73,03		161,17	0,716215	0,512392	-4,800
PNTK_1	[14]	Rocha	-	74,98		157,92	0,730312	0,512026	-11,900
JR1	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,80	-	57,80	0,705587	0,512884	4,799
JR16	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,81	-	57,95	0,706148	0,512818	3,511

JR52	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,78	-	57,80	0,705937	0,512896	5,033
JR53	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,82	-	57,88	0,705481	0,512903	5,169
JR59	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,81	-	57,82	0,705416	0,512891	4,935
JR61A	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,80	-	57,82	0,705481	0,512889	4,896
JR61B	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,80	-	57,82	0,705375	0,51289	4,916
JR68	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,87	-	58,10	0,705388	0,512888	4,877
JR70	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,88	-	58,07	0,705456	0,512866	4,448
JR71C	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,85	-	58,05	0,705411	0,512903	5,169
JR91	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,89	-	57,90	0,705422	0,512905	5,208
JR96	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,83	-	57,93	0,705456	0,512895	5,013
JR100	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,82	-	57,93	0,705416	0,512899	5,091
JR105	KOSLER <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	63,82	-	57,92	0,705569	0,512866	4,448
83W	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	34,57	-	69,98	0,70624	0,51279	3,000
83E	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	34,93	-	68,32	0,70651	0,51278	2,800
C	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	40,95	-	70,22	0,70643	0,51287	4,500
Futa2612	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	51,18	-	70,18	0,7057	0,5129	5,100
Futa2416	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	51,10	-	71,20	0,70576	0,51287	4,500
CH	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	44,85	-	70,20	0,70709	0,51264	0,000
PAT4	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	44,97	-	67,78	0,70732	0,51265	0,200
CL	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	46,63	-	71,60	0,70541	0,5129	5,100

AR	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	46,85	-	70,53	0,70542	0,51291	5,300
TL	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	49,47	-	70,53	0,70607	0,51276	2,400
PA3	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	52,20	-	68,72	0,70536	0,51292	5,500
PA21	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	52,20	-	68,72	0,70537	0,51291	5,300
BN31	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	52,20	-	68,72	0,70548	0,51291	5,300
PA9	STERN <i>et al.</i> , 1990	Rocha	-	52,20	-	68,72	0,70544	0,51292	5,500
PS69/244-1	KIPF <i>et al.</i> , 2013	Lava	-	60,87	-	90,45	0,705948	0,512759	2,360
PS69/244-3	KIPF <i>et al.</i> , 2013	Lava	-	60,87	-	90,45	0,705952	0,51275	2,185
maw36	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,70	-	62,78	0,750258	0,511775	-16,834
maw83	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,58	-	62,57	0,744204	0,511602	-20,209
maw93	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,82	-	62,30	0,732829	0,511708	-18,141
maw42	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,60	-	62,63	0,742519	0,511597	-20,307
maw43	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,60	-	62,63	0,733069	0,511646	-19,351
maw23	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,52	-	62,32	0,752547	0,511543	-21,360
maw31	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,43	-	62,33	0,757738	0,511756	-17,205
maw87	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,50	-	63,42	0,73088	0,511649	-19,292
maw21	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,97	-	62,23	0,77835	0,511373	-24,676
maw91	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,70	-	62,78	0,77884	0,511706	-18,180
maw19	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,55	-	63,88	0,760159	0,51164	-19,468
maw49	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,43	-	63,62	0,734677	0,51169	-18,493

maw9	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,47	-	60,80	0,72608	0,511776	-16,815
maw56	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,45	-	60,87	0,7282	0,511736	-17,595
maw75	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,48	-	60,80	0,718283	0,511808	-16,191
maw7	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,40	-	60,75	0,717647	0,511792	-16,503
maw16	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,55	-	61,13	0,727895	0,511708	-18,141
maw10	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,30	-	60,75	0,730807	0,511929	-13,830
maw11	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,30	-	60,75	0,731827	0,511513	-21,945
maw68	Young <i>et al.</i> , 1997	Rocha	-	67,43	-	60,45	0,74673	0,511848	-15,410
Id	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	53,60	-	70,50	0,0022	0,512412	-4,409
GM St	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	53,57	-	70,98	0,0022	0,512431	-4,038
AM St.	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	53,42	-	70,97	0,0022	0,512409	-4,467
OM	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	52,80	-	71,08	0,0022	0,512548	-1,756
C A N.P.I.	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	41,28	-	72,65	0,0022	0,512218	-8,193
Esmeralda, N.P.I.	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	41,28	-	72,55	0,0022	0,512191	-8,720
PHM St.	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	53,60	-	70,95	0,0022	0,512407	-4,506
St. MM St.	SUGDEN <i>et al.</i> , 2009	Sedimento	-	53,30	-	70,97	0,0022	0,512407	-4,506
AL/WM1e-98	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,73	-	15,10	0,0022	0,513008	7,218
AL/B16-98	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,02	-	13,35	0,0022	0,512958	6,242
X6-KHG-90	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,92	-	15,63	0,0022	0,512861	4,350
AL/KB5-98	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,78	-	15,63	0,0022	0,512848	4,096

ry	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,73	-	15,03	0,0022	0,512833	3,804
X2-KHG-90	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,92	-	13,55	0,0022	0,512908	5,267
AL/B20a-98	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,03	-	13,42	0,0022	0,512744	2,068
AL/B7-98	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,02	-	13,38	0,0022	0,512688	0,975
14-KHG-90e	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	73,03	-	15,63	0,0022	0,512768	2,536
28-II	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	67,92		44,63	0,7186	-	-43,400
28-III	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	67,92		44,63	0,7394	-	-36,600
28-VIII	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	67,92		44,63	0,7156	-	-32,100
28-VI	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	67,92		44,63	0,7179	-	-46,900
28-V	HEINONEN <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	67,92		44,63	0,7211	-	-41,900
D10-P	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Moraina	-	66,20		136,18	0,762816	0,512198	-8,583
D10-P	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Moraina	-	66,20		136,18	0,776302	0,512117	-10,163
TWV	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Areia	-	78,00		165,00	0,715067	0,512175	-9,032
16-18kyr	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Poeira	-	75,02	-	123,05	0,710907	0,512894	4,994
60.4-60.9kyr	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Poeira	-	78,47		10,69	0,710247	0,512694	1,092
158.8-162.2kyr	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Poeira	-	78,47		10,69	0,710419	0,512836	3,862
162.7-166.8kyr	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Poeira	-	78,47		10,69	0,710652	0,51271	1,404
AR-12-3	BASILE <i>et al.</i> , 1997	loess	-	38,98	-	59,00	0,710949	0,513064	8,310
AR-17-52	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Loess	-	38,98	-	59,00	0,708497	0,521928	5,700
AR-80	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Loess	-	38,98	-	59,00	0,708799	0,512825	3,648

Ushuaia	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Solo	-	38,98	-	59,00	0,7099	0,51263	-0,156
Punta Arenas	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Solo	-	38,00	-	59,00	0,702842	0,512625	-0,254
VM-12-23	BASILE <i>et al.</i> , 1997	Sedimento	-	36,12	-	57,12	0,71503	0,512153	-9,461
PA 425	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,73	-	69,35	0,705689	0,512844	4,018
PA 426	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,73	-	69,40	0,705479	0,512867	4,467
PA 424	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	44,95	-	69,30	0,70553	0,512836	3,862
PA 417	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	44,55	-	69,58	0,705857	0,512763	2,438
PA 393	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,12	-	69,32	0,706288	0,512753	2,243
PA 394	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,95	-	69,33	0,706437	0,512748	2,146
PA 397	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,05	-	69,45	0,706318	0,512755	2,282
PA 414	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	44,92	-	69,48	0,705825	0,512808	3,316
PA 419	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,02	-	69,93	0,706746	0,512685	0,917
PAT 71	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	44,95	-	69,30	0,706738	0,512686	0,936
PA 400	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,18	-	69,97	0,707988	0,512539	-1,931
PA 421	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,28	-	70,20	0,707141	0,512665	0,527
PA 380	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,50	-	69,33	0,707138	0,512623	-0,293
PA 409	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	44,87	-	70,10	0,707072	0,512666	0,546
PA 405	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,17	-	70,00	0,707214	0,512591	-0,917
PA 390	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	44,72	-	70,77	0,707076	0,521747	2,126
PA 403	BRUNI <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	45,20	-	70,02	0,707417	0,512578	-1,170

T48	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,40	- 69,80	0,70704	0,512589	-0,956
T110	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,48	- 69,82	0,70701	0,512587	-0,995
CM1	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 3,20	- 70,02	0,70696	0,512622	-0,312
CM3	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,73	- 69,87	0,70714	0,512591	-0,917
CM7	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,73	- 69,87	0,7074	0,512552	-1,678
CM16	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,73	- 69,87	0,70776	0,512534	-2,029
CM19	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,73	- 69,87	0,70756	0,512553	-1,658
CM18	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 33,73	- 69,87	0,70786	0,51251	-2,497
VP4	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 34,60	- 70,28	0,70646	0,512691	1,034
VT1	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 34,80	- 70,35	0,70612	0,512735	1,892
PP1	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 35,23	- 70,57	0,7062	0,512787	2,907
PP8	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 35,23	- 70,57	0,70644	0,512733	1,853
Q44	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 35,65	- 70,75	0,70587	0,512816	3,472
MG181	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	- 36,18	- 71,15	0,70616	0,512789	2,946
FF-18	GAUDETTE <i>et al.</i> , 1996	Rocha	2° 32'	61° 50'	0,70909	0,5115	-22,199
RB-24	GAUDETTE <i>et al.</i> , 1996	Rocha	2° 02'	61° 17'	0,7135	0,51114	-29,221
PL-24	GAUDETTE <i>et al.</i> , 1996	Rocha	2° 21'	62° 03'	0,77589	0,51112	-29,612
MP-39	GAUDETTE <i>et al.</i> , 1996	Rocha	2° 02'	61° 17'	0,77601	0,51143	-23,564
MP-27	GAUDETTE <i>et al.</i> , 1996	Rocha	2° 13'	61° 51'	1,58395	0,51077	-36,439
G1	DECKART <i>et al.</i> , 2005	Rocha	5° 26'	53° 24'	0,706751	0,5120808	3,320

G3	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	5° 07'	53° 24'	0,707587	0,512877	4,660
G43	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	4° 54'	52° 22'	0,706679	0,51284	3,940
G48	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	5° 13'	52° 33'	0,705635	0,512903	5,170
G53	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	4° 53'	52° 11'	0,705886	0,512922	5,540
SIN53	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	4° 37'	52° 53'	0,706694	0,512803	3,220
SUR19	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	4° 43'	57° 24'	0,706424	0,512835	4,430
loure 1	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	6° 56 S	35° 24' W	0,71165	0,511545	-21,280
loure 2	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	6° 56 S	35° 24' W	0,71391	0,51136	-24,930
loure 3	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	6° 56 S	35° 24' W	0,71179	0,511469	-22,760
loure 10	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	6° 56 S	35° 24' W	0,71098	0,511498	-22,200
ccima 1	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	6° 42' S	35° 15' W	0,72179	0,512167	-9,150
ccima 2	HILDRETH <i>et al.</i> , 1988	Rocha	6° 42' S	35° 15' W	0,71549	0,512032	-11,780
CL-4d	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,706191	0,512732	1,840
CL-9	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,706197	0,512771	2,610
MS-4a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,706078	0,512753	2,250
S94	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,705754	0,512896	5,040
S102	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,706164	0,512785	2,880
LC-23	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,705964	0,512833	3,820
RB-1	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 49,03	- 71,43	0,706055	0,512763	2,440
RB-4a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	- 47,78	- 71,43	0,705922	0,512765	2,490

PL-1f	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,78	-	71,43	0,705977	0,512773	2,640
PL-3a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,78	-	71,43	0,705924	0,512787	2,910
PL-4a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,78	-	71,43	0,706252	0,51284	3,950
PL-6a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,78	-	71,43	0,706318	0,512731	1,820
PL-7	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,78	-	71,43	0,706543	0,512722	1,650
LC-13b	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,706658	0,512645	0,140
GB-4	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,706585	0,512641	0,060
LC-14	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,706333	0,512708	1,370
MP-1b	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,706865	0,512631	-0,130
MPD-2	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706224	0,512685	0,930
MCB-1	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706048	0,512747	2,120
MLSF-1b	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,705956	0,512742	2,040
MI-1	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706496	0,512772	2,610
MCN-1	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706812	0,512709	1,390
MCN-2	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706761	0,512707	1,350
LC-3b	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706557	0,512647	0,170
MS-7c	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706094	0,512707	1,350
MS-10a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706089	0,512778	2,740
MS-14	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706488	0,512739	1,980
CL-7	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706653	0,512666	0,550

LT108	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706545	0,512704	1,300
LC73	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,705973	0,512783	2,840
S70	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706352	0,512694	1,100
S71	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706393	0,512734	1,880
S90	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	49,03	-	71,43	0,706578	0,512661	0,460
MP-6	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,43	0,706329	0,512727	1,740
GB-1	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,705998	0,512723	1,660
GB-2	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,70602	0,512746	2,120
GB-3	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,03	0,706103	0,512718	1,570
PL-9	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	48,85	-	70,00	0,707751	0,512641	-0,460
GB-5a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706049	0,512756	2,300
CD-6	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706081	0,512735	1,900
TC-2a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706109	0,51274	1,990
CD-2a	GORRING <i>et al.</i> , 2007	M.Vulc	-	47,57	-	68,50	0,706078	0,51276	2,390
A4	IACUMIN <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	37,10	-	59,68	0,7159	0,512778	12,180
A5	IACUMIN <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	37,10	-	59,68	0,70937	0,512893	4,490
A38	IACUMIN <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	37,33	-	58,95	0,72407	0,511895	-1,300
MT70	IACUMIN <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	37,43	-	59,35	0,71645	0,511394	-6,710
A40	IACUMIN <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	37,47	-	59,37	0,71207	0,511375	-2,840
CV-02s	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,58	-	70,67	0,706593	0,512649	0,215

AT-01s	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,87	-	70,73	0,706648	0,512667	0,566
003d	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,82	-	71,00	0,706535	0,512733	1,853
5	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,78	-	71,00	0,707075	0,512636	-0,039
8	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,93	-	71,00	0,706633	0,512676	0,741
10	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,97	-	71,00	0,706294	0,512795	3,063
17	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	47,10	-	71,00	0,706881	0,512663	0,488
LC-25c	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	47,12	-	70,00	0,706943	0,512676	0,741
25	GORRING <i>et al.</i> , 2003	M.Vulc	-	46,82	-	70,00	0,706306	0,512623	-0,293
F2-24	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	33,80	-	71,05	0,73004	0,512249	-4,200
F2-25	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,00	-	71,47	0,70908	0,512336	-1,700
F2-28	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	33,35	-	71,60	0,71118	0,512339	-3,000
F2-25A	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,00	-	71,47	0,70943	0,512451	-2,000
F2-29	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	33,35	-	71,60	0,70969	0,512337	-3,500
CBR-5	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,77	-	71,42	0,75357	0,512541	-0,600
TEN-32	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,00	-	71,47	0,78279	0,512549	-0,700
D-18A	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,50	-	71,45	0,70581	0,512867	4,600
CBR-1A	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,87	-	71,28	0,70841	0,512683	2,200
CBR-1E	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,87	-	71,28	0,7065	0,51268	1,900
CBV-69	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	32,88	-	71,47	0,7097	0,51257	0,900
CBV-75	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	32,43	-	71,37	0,70913	0,512767	3,700

CBV-67	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	32,88	-	71,47	0,70814	0,512742	3,000
F2-9	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,53	-	71,40	0,70776	0,512697	2,400
CBV-73	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	32,43	-	71,37	0,70604	0,51274	3,300
F2-5	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	32,88	-	71,47	0,70605	0,512762	3,600
F2-6	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	32,88	-	71,47	0,70795	0,5127	2,200
060496-1	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,83	-	71,17	0,70635	0,51281	4,300
060496-2	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,78	-	71,17	0,707	0,512809	4,500
060496-3	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,83	-	71,12	0,70575	0,512882	5,000
060496-4	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,87	-	71,07	0,70629	0,512821	4,300
060496-5	PARADA <i>et al.</i> , 1999	R. Plut	-	31,87	-	71,07	0,70715	0,512873	5,400
6872	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,15	-	67,07	0,81715	0,512274	-7,101
6880	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,07	0,82589	0,512305	-6,496
6931	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,03	0,78422	0,512237	-7,822
7365	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,03	0,8337	0,512355	-5,520
7381	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,00	0,83609	0,512284	-6,905
7391	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,07	0,85866	0,512268	-7,218
7698	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,07	0,81314	0,512243	-7,705
7251	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,48	-	67,00	0,78249	0,512296	-6,671
7354	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,28	-	67,00	0,79299	0,51235	-5,618
7369	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,27	-	67,03	0,76514	0,512312	-6,359

7379	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,25	-	67,00	0,77632	0,512296	-6,671
7703	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,32	-	67,02	0,75381	0,512221	-8,134
7724	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,28	-	67,00	0,76334	0,51222	-8,154
6916	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,17	-	66,97	1,86509	0,512629	-0,176
7738	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,17	-	66,97	1,26125	0,512563	-1,463
7740	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	29,17	-	66,97	1,74542	0,512531	-2,087
6511	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	28,50	-	67,17	0,91172	0,512452	-3,628
6336	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	28,50	-	67,17	0,83231	0,512398	-4,682
6340	GROSSE <i>et al.</i> , 2009	Rocha	-	28,50	-	67,17	0,82727	0,512364	-5,345
01.04.40.01	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	1,57	-	79,98	0,706599	0,512727	1,700
36	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	1,61	-	77,84	0,706527	0,512745	2,100
Na076	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	3,15	-	73,14	0,711189	0,512571	-1,300
01.04.71.2	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	sedimento	-	1,06	-	77,90	0,725975	0,512141	-9,700
Na50A	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	sedimento	-	1,43	-	74,62	0,713666	0,512214	-8,300
JB.22.05.04.2	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	1,63	-	77,61	0,707088	0,512494	-2,800
44a	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Aereia	-	1,28	-	77,89	0,721717	0,511953	-13,400
01.04.19.2	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	1,24	-	77,70	0,708771	0,512544	-1,800
01.04.16.3	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	1,23	-	77,69	0,71176	0,512443	-3,800
01.04.26.1	RODDAZ <i>et al.</i> , 2012	Areia	-	1,59	-	77,82	0,71753	0,512141	-9,700
Pimentel	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2013	Rocha	-	17,13	-	48,25	0,71347	0,511821	-15,937

#TDG1	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	72,80	159,10	0,711225	0,512494	-2,800
#TDG2	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	72,80	159,10	0,710774	0,51271	1,400
14	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	75,10	123,35	0,711398	0,512587	-1,000
(#277f; #309f)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,715372	0,512163	-9,300
(#310f; #311f)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,71616	0,51218	-8,900
(#312f; #313f)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,7176	0,512108	-10,300
(#314f; #315f)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,717432	0,512187	-8,800
(#317f; #318f)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,716858	0,51218	-8,900
(#309b)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,714678	0,512201	-8,500
(#314b)	DELMONTE <i>et al.</i> , 2010	T. Gelo	-	16,62	- 67,77	0,713643	0,512173	-9,100
ME-01A1	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	13,33	- 53,10	0,82122	0,511386	-24,423
PB-188A	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	13,33	- 53,10	2,7031	0,511824	-15,879
PB-75A	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	13,64	- 52,98	1,45854	0,511423	-23,701
C1	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,70767	0,512476	-3,160
C2	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,707891	0,512444	-3,784
D	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,707717	0,512423	-4,194
A1-1	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,707806	0,51248	-3,082
A1-2	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,707809	0,512469	-3,297
A1-3	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,707849	0,512454	-3,589
A12-1	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	- 47,64	0,707672	0,512498	-2,731

A12-2	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	-	47,64	0,7077	0,512475	-3,180
P	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	-	47,64	0,707899	0,512505	-2,594
Sy1	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	-	47,64	0,707977	0,51232	-6,203
Py	PIMENTEL <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	24,32	-	47,64	0,70791	0,512342	-5,774
B1	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,47	-	69,32	0,0022	0,512057	-11,330
B2	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,27	-	69,30	0,0022	0,512218	-8,190
B4	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,52	-	69,22	0,724138	0,512227	-8,020
B5	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,87	-	69,87	0,725589	0,512109	-10,320
B6	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,75	-	70,40	0,716875	0,512266	-7,260
B7	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,77	-	69,15	0,721527	0,512056	-11,350
B8	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	13,07	-	69,48	0,725544	0,512085	-10,790
B9	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	13,13	-	69,57	0,719138	0,512085	-10,790
B10	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,28	-	67,83	0,725087	0,512048	-11,510
B11	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,18	-	67,68	0,723992	0,512038	-11,700
B12	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,05	-	67,62	0,724724	0,512068	-11,120
B13	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,17	-	68,63	0,724361	0,51222	-8,150
B14	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,17	-	68,43	0,721872	0,512078	-10,920
B16	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,02	-	67,82	0,72556	0,512215	-8,250
B20	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	10,60	-	66,25	0,724665	0,512051	-11,450
B22	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,07	-	66,72	0,718967	0,512033	-11,800

B23	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	11,93	-	68,07	0,722625	0,512079	-8,950
B24	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,52	-	68,83	0,725425	0,512046	-11,550
B25	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,65	-	70,43	0,718241	0,512144	-9,640
B26	BASU <i>et al.</i> , 1990	Areia	-	12,80	-	69,68	0,717895	0,512194	-8,660
MA10	MERLE <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	8,47	-	48,50	0,70664	0,512867	4,467
MA12	MERLE <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	8,58	-	48,37	0,706614	0,512883	4,779
MA13	MERLE <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	7,07	-	48,30	0,705384	0,512939	5,872
MA15	MERLE <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	7,07	-	48,30	0,705442	0,512926	5,618
MA19	MERLE <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	6,77	-	47,93	0,709143	0,512485	-2,985
MA26	MERLE <i>et al.</i> , 2008	Rocha	-	6,58	-	46,15	0,710185	0,512483	-3,024
105C	SOUZA <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	7,17	-	50,05	0,71347	0,511331	-25,496
S173Z	SOUZA <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	7,17	-	50,05	0,72276	0,511169	-28,656
S381	SOUZA <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	7,17	-	50,05	0,71477	0,510746	-36,907
S178E	SOUZA <i>et al.</i> , 2001	Rocha	-	7,17	-	50,05	0,71951	0,510959	-32,752
CA-02	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,95	-	39,10	0,74062	0,511547	-20,300
CA-12	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,95	-	39,10	0,72714	0,511667	-16,600
VA-03	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,30	-	39,03	0,82065	0,51205	-11,470
VA-09	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,30	-	39,03	0,76279	0,511536	-21,497
VA-23	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,22	-	39,03	0,77365	0,511323	-25,000
VA-29	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,22	-	39,03	0,77038	0,511441	-21,300

VA-33	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,05	-	39,00	0,77845	0,511458	-21,000
VA-37	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,05	-	39,00	0,76893	0,511569	-19,200
VA-42	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,18	-	39,02	0,74367	0,511157	-20,830
VA-48	SILVA <i>et al.</i> , 2012	Rocha	-	13,18	-	39,02	0,73884	0,511547	-21,290
I40	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	17,00	-	65,75	0,705491	0,512794	3,043
B 230900 -36	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	19,55	-	65,42	0,705575	0,512813	3,414
230900 -43	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	19,55	-	65,42	0,705647	0,512822	3,589
B 230900 -46	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	19,55	-	65,42	0,705405	0,512832	3,784
B 02-25	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	19,55	-	65,42	0,705567	0,512806	3,277
B 02-28	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	19,55	-	65,42	0,706075	0,5128	3,160
02-29	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	19,55	-	65,42	0,705613	0,512808	3,316
B 220900-24	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	20,63	-	65,55	0,707392	0,512507	-2,555
B220900-26	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	20,63	-	65,55	0,707347	0,512522	-2,263
B 220900-32	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	20,63	-	65,55	0,706779	0,512301	-6,574
B220900-33	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	20,63	-	65,55	0,706292	0,512486	-2,965
B 02-70	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	23,92	-	66,32	0,709624	0,51273	1,795
B 02-71	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	23,92	-	66,32	0,709318	0,512756	2,302
B 081000-5	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	26,62	-	65,18	0,705894	0,51283	3,745
B 02-74	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	26,65	-	64,95	0,706232	0,512818	3,511
B 02-75	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	26,65	-	64,95	0,706898	0,512806	3,277

B 02-78	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	26,65	-	64,95	0,706186	0,5128	3,160
B 131000-1	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	27,53	-	66,98	0,705801	0,512775	2,672
B 02-93	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	27,53	-	66,98	0,705999	0,512753	2,243
B 02-94	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	27,53	-	66,98	0,706239	0,512759	2,360
B 02-97	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	27,53	-	66,98	0,706358	0,512769	2,555
B 02-98	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	27,53	-	66,98	0,707362	0,512771	2,594
B121000-17	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	33,67	-	64,00	0,70636	0,512435	-3,960
B121000-19	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	33,67	-	64,00	0,706376	0,512437	-3,921
B121000-21	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	33,70	-	64,00	0,706314	0,512418	-4,292
B03-2a	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,705882	0,512827	3,687
B 03-3	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,706203	0,512782	2,809
B 03-4	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,706131	0,512778	2,731
B 03-5	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,70596	0,512794	3,043
B 03-10	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,706076	0,512808	3,316
B 03-6	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,706051	0,512777	2,711
B 03-7	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,706158	0,512729	1,775
B 03-9	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,70	-	69,00	0,706811	0,512267	-7,237
B 03-12	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	3,70	-	65,00	0,706712	0,5126	-0,741
B 03-13b	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,83	-	65,83	0,706345	0,512402	-4,604
B 03-13a	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,83	-	65,83	0,706336	0,512374	-5,150

B 03-15	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,83	-	65,83	0,706324	0,512375	-5,130
B 03-16	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,83	-	65,83	0,70639	0,512376	-5,111
B 02-58	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	21,52	-	65,68	0,707266	0,512666	0,546
B 13398-15	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	32,33	-	64,50	0,707746	0,5122273	-8,012
B 02-1	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	23,10	-	64,77	0,707525	0,512554	-1,639
B 02-4	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	23,10	-	64,77	0,707875	0,512583	-1,073
B02-5	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	23,10	-	64,77	0,707241	0,512584	-1,053
B 02-6	LUCASSEN <i>et al.</i> , 2011	Rocha	-	23,10	-	64,77	0,707168	0,512539	-1,931

Fonte: SANTOS,2014.

ANEXO D - Sequência de resultados das análises de metais

Tabela 10 - Comparação dos resultados das amostras atmosféricas com banco de dados continental correspondente (definido pelo modelo Hysplit).

Cruzeiro Oceanográfico	Amostra/ Evento	Setor Geográfico	Concordância da amostra com o Modelo Hysplit + inventário via :	
			Diagrama Sr x Nd	Intervalo de Confiança para Sr
2010	S695	Sul do Brasil+Prata	Sim	Sim
	S696		Não	Sim
	S697		Não	Sim
	S698	Patagônia	Sim	Sim
	S699	Patagônia	Sim	Sim
	S701			Insuficiência de dados
2011	S666	Península Antártica	Sim	Sim
	S706		Não	Sim
	S667		Não	Não
	S669			Insuficiência de dados
	S671		Não	Sim
	S708		Não	Não
	S709	Península Antártica	Sim	Sim
	S704		Não	Sim
	S711	Patagônia	Sim	Sim
	S713	Sul do Brasil+Prata	Sim	Sim
	2012	S665		Sim
S630			Não	Não
S631			Não	Não
S632			Não	Não
S634		Patagônia	Sim	Sim

S633	Insuficiência de dados
S663	Insuficiência de dados

Fonte: SANTOS, 2014.

Tabela 11-Base de dados não explicada pelo modelo Hysplit + inventário correspondente.(*)
correspondente a Figura 28 e 29.

Cruzeiro Oceanográfico	Amostra/ Evento	Setor Geográfico da amostra	Região geográfica de possível proveniência
2010	S696	1	2,4,8
	S697	1	2,4,8
	S701	4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
2011	S706	4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S667	4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S669	4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S671	3	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S708	4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S704	3	2,4,8
	S674	3	2,4,8
2012	S665	3	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S630	2	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S631	2	2,4,8
	S632	2	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9
	S663	1	Não identificado
	S633	2	Não identificado

Fonte : SANTOS, 2014

Tabela 12 - Tipo de partículas de aerossóis coletadas ao Sul da quebra da Plataforma

Argentina analisados por EDX / IDAS.

Tipo de micropartículas	Critério baseado na abundancia relativa (%)
Si-rico	Refere-se a micropartículas enriquecidas de Si ($Si > 85\%$)
AlSi	Refere-se a composição de micropartículas: $Al + Si + K + Fe + Ca > 90\%$ com $15\% < Si < 85\%$
CaSO ₄	Refere-se a composição de micropartículas: $S + Ca > 70\%$
Al-rico	Refere-se a composição de micropartículas: $Al > 50\%$
Ca-cocco (Ca-coccolith)	Refere-se a composição de micropartículas: $Ca > 95\%$ (Micropartículas com diâmetros $< 4 \mu m$)
Ca-Emil.	Refere-se composição de micropartículas: $Ca > 95\%$ (Micropartículas com diâmetros $> 4 \mu m$)
Fe-rich	Refere- composição de micropartículas: $Fe > 50\%$
S-rich	Refere-se composição de micropartículas: $S > 40\%$
Salt, Cl-rich, SiCl	Refere-se a composição de micropartículas: $Cl > 50\%$

Fonte: SANTOS,2014

Tabela 13 - Resultados da metodologia do XRF referente a análise de metais da estação oceanográfica P703

N						
	Superficial	5m	32m	50m	90m	110m
Média	0,14705	0,6884	0,54925	0,4669	1,00415	0,312
O						
Média	1,13065	0,6622	1,9168	1,692	0,6278	3,74175
Na						
Média	7,06815	12,92875	12,93115	4,4902	16,38085	4,45685
Mg						
Média	7,0836	2,75045	1,5281	5,8257	0,83315	6,04495
Al						
Média	1,5722	0,253	0,8263	0,7573	0,3641	1,0389
Si						
Média	5,5916	1,3494	2,7482	3,49615	2,03605	5,22805
S						
Média	2,6242	2,3376	2,4123	4,2231	1,91805	10,0987
Cl						
Média	58,95135	69,62405	54,67235	48,93945	73,6208	32,38555
K						
Média	3,58	0,425	0,25	14,42	0,22	1,665
Ca						
Média	6,05695	4,60525	20,04895	16,47735	1,5509	25,44815
Ti						
Média	0,1934	0,05845	0,0595	0,22505	0,0551	0,23915
Fe						
Média	1,3601	0,15045	0,3338	0,62635	0,3662	0,3863
Pb						
Média	0,051	0,04945	0,0449	0,0507	0,02575	0,0368

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 14 - Resultados da metodologia do XRF referente a análise de metais da estação oceanográfica P705

N					
	Superficial	10m	19m	40m	80m
Média	0,8015	0,61785	0,4521	0,47115	0,9007
O					
Média	1,52285	2,09305	0,71805	1,1837	0,82605
Na					
Média	9,27345	8,839	6,64445	5,9992	14,8985
Mg					
Média	6,7307	6,31815	6,59105	5,545	1,18435
Al					
Média	0,27665	0,4664	0,1621	0,3048	0,32505
Si					
Média	1,40985	3,50005	1,11825	2,5993	1,67855
S					
Média	8,88795	10,7726	2,61665	3,91225	2,3066
Cl					
Média	57,93575	50,27985	64,14885	56,5782	69,63365
K					
Média	6,7876	3,407	12,0716	10,059	2,68685
Ca					
Média	5,38735	13,44215	5,07755	12,78035	5,3492
Ti					
Média	0,06315	0,05385	0,04875	0,09945	0,04005
Fe					
Média	0,8817	0,1678	0,3227	0,4226	0,13165
Pb					
Média	0,0455	0,04505	0,0326	0,0495	0,0425

Fonte: SANTOS,2014.

Tabela 15 - Resultados da metodologia do XRF referente a análise de metais da estação oceanográfica P709

	N					
	Superficial	10m	20	40m	60	160
Média	0,26725	0,2455	0,1208	0,23325	0,25465	0,2101
	O					
Média	2,98385	1,2105	1,61205	3,6044	1,5998	1,2153
	Na					
Média	0,90785	1,78565	1,0747	2,15095	2,0813	6,37405
	Mg					
Média	9,3796	11,7981	10,76385	7,92005	9,09445	7,5621
	Al					
Média	2,09285	0,9273	1,11075	1,05325	0,8962	0,38275
	Si					
Média	7,71885	3,6357	2,13605	9,16805	4,0036	3,2301
	S					
Média	4,935	3,64585	3,7644	9,34985	3,9383	6,19685
	Cl					
Média	43,3014	61,6893	53,44855	33,84355	51,1357	56,3078
	K					
Média	10,5837	9,41815	11,5308	8,3059	12,9069	12,7782
	Ca					
Média	14,65425	5,33945	13,8354	23,65155	13,0071	5,4648
	Ti					
Média	0,68305	0,0752	0,03845	0,0599	0,11015	0,05005
	Fe					
Média	2,36845	0,10795	0,4826	0,5884	0,927	0,1902
	Pb					
Média	0,1277	0,12435	0,08615	0,07515	0,04835	0,041

Fonte: SANTOS, 2014.

Tabela 16 - Resultados da metodologia do XRF referente a análise de metais da estação oceanográfica P720

N							
	Superficial	15	15_2_	40	60	80	99
Média	0,3206	0,31775	0,3019	0,3223	0,60275	0,61975	0,48495
O							
Média	1,89935	2,3481	3,4168	2,39905	2,20775	1,04645	3,3065
Na							
Média	4,4651	3,1404	4,7419	4,6754	10,6543	16,2467	7,28895
Mg							
Média	6,2747	8,56455	5,47945	6,6667	1,8007	0,7123	4,14495
Al							
Média	0,6662	1,00445	1,83365	0,8824	0,6791	0,67345	1,3698
Si							
Média	3,41555	3,6279	6,2572	5,0771	5,32935	1,6594	6,53515
S							
Média	2,9918	7,89585	6,7619	4,5023	3,5106	3,3293	9,1505
Cl							
Média	49,92925	44,74265	32,46205	45,6072	50,6166	66,5169	36,94945
K							
Média	9,0159	9,44145	2,72605	8,03185	1,32035	1,4262	2,7902
Ca							
Média	19,7279	18,35405	33,86125	20,8655	21,59205	7,17305	26,7191
Ti							
Média	0,09315	0,062	0,567	0,21785	0,06325	0,05575	0,088
Fe							
Média	1,17115	0,45445	1,52295	0,67685	1,58635	0,51935	1,1545
Pb							
Média	0,0328	0,05105	0,0718	0,0785	0,041	0,02545	0,02225

Fonte: SANTOS, 2014

Tabela 17 - Resultados da metodologia do XRF referente a análise de metais da estação oceanográfica P721

N					
	Superficial	15	35	60	90
Média	0,9126	0,13145	0,27805	0,36365	0,2536
O					
Média	0,55875	2,08325	1,9901	1,1607	2,1711
Na					
Média	15,6407	10,0095	9,42665	4,12975	8,29675
Mg					
Média	0,4911	3,92185	4,24995	8,5307	4,20675
Al					
Média	0,09615	0,7962	0,3953	0,5978	0,80885
Si					
Média	0,58395	4,90695	5,0141	2,8517	8,62585
S					
Média	3,93795	5,01885	5,82675	2,1593	5,9811
Cl					
Média	72,43205	55,7819	54,2941	59,16685	50,3026
K					
Média	1,23645	3,06965	3,0112	13,49485	3,369
Ca					
Média	3,8843	13,44965	14,8611	7,28195	14,85995
Ti					
Média	0,0467	0,2258	0,0639	0,0733	0,10715
Fe					
Média	0,14035	0,5407	0,52515	0,1501	0,9368
Pb					
Média	0,04335	0,06785	0,06855	0,04325	0,0853

Fonte: SANTOS,2014.

ANEXO E -Dados de concentração de clorofila-*a*

Tabela 18. Concentração de clorofila medida por fluorescência referente a cada profundidade das estações oceanográficas

Estação	profundidade (m)	Data	Chl-a (mg.m3)
703	0	05/01/2009	0,45
703	5	05/01/2009	0,31
703	30	05/01/2009	0,66
703	32	05/01/2009	0,69
703	90	05/01/2009	0,55
703	110	05/01/2009	0,66
705	0	05/01/2009	0,50
705	1	05/01/2009	0,53
705	19	05/01/2009	0,59
705	40	05/01/2009	0,94
705	80	05/01/2009	0,11
705	130	05/01/2009	0,03
709	0	06/01/2009	0,35
709	10	06/01/2009	0,52
709	20	06/01/2009	0,54
709	40	06/01/2009	0,60
709	60	06/01/2009	0,39
711	0	06/01/2009	0,10
711	20	06/01/2009	0,26
711	45	06/01/2009	0,31
711	60	06/01/2009	0,35
711	80	06/01/2009	0,22
720	0	07/01/2009	0,52
720	15	07/01/2009	0,52
720	40	07/01/2009	0,51
720	60	07/01/2009	0,51

720	80	07/01/2009	0,51
721	0	07/01/2009	0,51
721	15	07/01/2009	0,50
721	35	07/01/2009	0,50
721	60	07/01/2009	0,50
721	90	07/01/2009	0,50

Fonte: SANTOS,2014