



**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**  
**PROC. CNPq No. 105393/2005-3**

**Análise multi-temporal da temperatura da superfície do mar (TSM) através de imagens do sensor Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) do Oceano Atlântico Sudoeste no ano de 2005.**

**Érica Lemes da Silva**  
**UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA**

**ORIENTADOR:**  
**Dr. Ronald Buss de Souza**  
**DIVISÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO**  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**São José dos Campos,**  
**2006.**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**



*"A teoria sempre acaba, mais cedo ou mais tarde, assassinada pela  
experiência."*

Albert Einstein



*A meus pais,  
MIGUEL ARCANJO DA SILVA e  
ROMILDA LEMES DA SILVA.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de um ano de bolsa de iniciação científica.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao orientador Prof. Dr. Ronald Buss de Souza pelo conhecimento passado, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos professores da Universidade do Vale do Paraíba, Faculdade Superior de Educação, UNIVAP, pela ajuda na construção do conhecimento, e em especial:

- Profa. Sandra Maria da Fonseca
- Prof. Gilson dos Anjos
- Profa. Cidinha Papali

Aos meus pais, minha irmã e amiga, e meu cunhado Iuri pelo apoio no trabalho e na vida, e meu sobrinho Iago por existir e servir de inspiração.

Aos meus amigos, Sueli, Rafael, Isabel, Gabriel, Diogo e demais amigos da Faculdade e da vida, pela paciência, compreensão e motivação.

Aos companheiros de ambiente de trabalho pela força e conhecimento passados, principalmente ao Alexandre, Tiago, Ener e Regla.





## RESUMO

A região sudoeste do Oceano Atlântico Sul é caracterizada por um sistema fechado de circulação superficial conhecido como giro subtropical do Atlântico Sul. Esse sistema possui uma corrente de contorno oeste que flui próximo ao continente sul americano em direção ao pólo sul chamada Corrente do Brasil (CB), a qual possui águas quentes e bastante salinas. Uma outra corrente formada como um braço da Corrente Circumpolar Antártica (CCA), e chamada de Corrente das Malvinas (CM) é mais fria e menos salina que a CB, fluindo para o norte em direção ao Equador ao longo da plataforma continental Argentina. Numa latitude de aproximadamente 38°S ocorre o encontro com a CM com a CB, formando a chamada Confluência Brasil – Malvinas (CBM). Essa região é uma das regiões mais dinâmicas do planeta, ocorrendo em latitudes entre 35° a 45° S aproximadamente. Existe uma grande variabilidade espacial e temporal no posicionamento das correntes na região da CBM. Essa variabilidade está em parte ligada a flutuações sazonais no giro subtropical, que depende de fatores externos (remotos) à região da confluência e também a fatores locais como o estresse do vento. A latitude de separação da CB da costa na região da CBM, por exemplo, é caracterizada por uma modulação sazonal aonde, durante o verão austral, a corrente estende-se em média mais ao sul do que sua latitude média de separação (36° S). O oposto também é verdadeiro durante o inverno austral quando a latitude de separação da CB é mais ao norte. Na região da CBM uma parte da variabilidade é também devida a processos de mesoescala, que estão caracterizados pela presença de meandros e vórtices frontais liberados das respectivas correntes. Os campos de temperatura da superfície do mar (TSM) também são amplamente variáveis tanto em tempo como espaço. Esses campos têm importância tanto local como nos processos de interação atmosfera-oceano que controlam o balanço climático do planeta. O presente trabalho visa examinar as evidências de variabilidade da TSM e examinar os sinais relacionados aos processos de mesoescala na região da CBM no ano de 2005. Para análise da variabilidade foram usadas imagens do sensor AMSR-E, a bordo do satélite Aqua (missão EOS). O AMSR-E é um sensor de microondas passivo que, por esse motivo, permite a obtenção de dados até mesmo com cobertura de nuvens - o que é uma vantagem para a região de estudo, fortemente coberta de nuvens especialmente no inverno. Isso muitas vezes inviabiliza o uso de imagens de sensores no infravermelho como o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Os dados são mensais e obtidos gratuitamente através do portal FTP da NASA. Para tratamento digital das imagens e para recorte da área de estudos, está sendo usado processador de imagens ENVI 4.2®.



**Analysis multi-storm of the temperature of the surface of the sea (TSM) through images of the sensor Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-AND) of the Southwest Atlantic Ocean in the year of 2005.**

**ABSTRACT**

The southwest region of the South Atlantic Ocean is characterized by a superficial system closed of circulation acquaintance as turn subtropical of the Atlantic South. That system I possessed a shackle of contour West that flowed near to the American south continent in direction to the South Pole called Current of Brazil (CB), to which I possessed enough and hot waters salt marshes. An another one current graduate as an arm of the Current one Circumpolar Antarctic (CCA), and called of Shackle of the Falklands (CM) is more cold and less salt marsh than to CB, flowing for the north in direction to the Ecuador to the long one of the Argentinean continental platform. In a latitude of approximately 38°S occurs the meeting with of the CM with the CB, finalist the call Confluence Brazil – Falklands (CBM). That region is one of the regions more dynamic of the planet, occurring in latitude between 35° to 45° S approximately. A big spatial variability exists and storm in the positioning of the shackles in the region of the CBM. That variability is in part connection the seasonal fluctuations in the turn subtropical, that depends on external factors (remote) to the region of the confluence and also to local factors as the stress of the wind. The latitude of detachment of the CB of the coast in the region of the CBM, by example, is characterized by a seasonal modulation where, during the southern summer, to current extends itself on average more to the south than its medium latitude of detachment (36° S). The opposite also is true during the southern winter when the latitude of detachment of the CB is more to the north. In the region of the CBM a part of the variability also is must to trials of mesoescala, that are characterized by the presence of turns and frontal vortices liberated of the respective shackles. The fields of temperature of the surface of the sea (TSM) also are broadly variables so much in time as space. Those fields have so much importance localities as in the atmosphere-ocean interaction trials that control the climatic swing of the planet. The present work is going to examine the evidences of variability of the TSM and examine the signs related to the trials of mesoescala in the region of the CBM in the year of 2005. For analysis of the variability were used images of the sensor AMSR-E, to embroidery of the satellite Aqua (mission EOS). The AMSR-E is a sensor of passive microwave that, by that motive, permits the obtaining of facts to even with cover of clouds what is an advantage for the region of study, strongly covered of clouds especially in the winter. That many times renders useless the sensors images use in the infrared one as the AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). The facts are monthly and obtained freely through the door FTP of the NASA. For digital handling of the images and for cutting of the area of studies, is being used processor of images ENVI 4.2®.



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	17
LISTA DE SÍMBOLOS .....	19
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	21
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	23
CAPÍTULO 2 - ATIVIDADES REALIZADAS .....	26
2.1. Revisão Bibliográfica .....	26
2.2. Levantamento de dados .....	26
2.3. Pré – tratamento dos dados .....	26
2.4. Estimativa das variabilidades da TSM .....	26
2.5. Elaboração do relatório final e artigo científico .....	26
CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA. ....	27
3.1. Breve Introdução ao SR .....	27
3.1.1. Interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.....	28
3.1.2 Teoria Corpuscular. ....	29
3.1.3 Teoria Ondulatória. ....	30
3.2. Ondas e o espectro eletromagnético. ....	31
3.3.Os sistemas sensores.....	34
3.3.1. Quanto à fonte de energia. ....	34
3.3.2.Quanto ao produto fornecido.....	34
3.4.Sensoriamento remoto e suas aplicações em oceanografia. ....	35
3.5.Temperatura da superfície do mar (TSM) e suas relações com oceanografia por satélites. ....	38
3.6. Dinâmica da Região do Oceano Atlântico Sudoeste. ....	39
3.7. Correntes marinhas e a formação de feições oceânicas de mesoescala (vórtices e eddies) .....	43
3.7.1. Determinação das frentes térmicas. ....	44
CAPÍTULO 4 - JUSTIFICATIVA. ....	45
CAPÍTULO 5 – OBJETIVOS .....	46
CAPÍTULO 6 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	47
6.1.Materiais .....	47
6.2.Métodos .....	48
6.2.1.Levantamento dos dados .....	48
6.2.2.Processamento digital das imagens para análise da variabilidade da TSM. ....	48
CAPÍTULO 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	49
7.1 – Transectos e a variabilidade da TSM. ....	49
7.2.Variabilidade no posicionamento da linha de Confluência Brasil-Malvinas .....	57
7.3.Gradientes de temperatura. ....	68
CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES .....	69
CAPÍTULO 9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71



## LISTA DE FIGURAS

1. A onda Eletromagnética .....	31
2. A Representação gráfica do espectro eletromagnético.....	32
3. Circulação Superficial Média do Oceano Atlântico Sul.....	40
4. Região de Estudo – Confluência Brasil Malvinas .....	40
5. Representação dos Transectos 1 e 2 .....	49
6. Transectos 1 e 2 janeiro 2005 .....	50
7. Transectos 1 e 2 fevereiro 2005.....	50
8. Transectos 1 e 2 março 2005 .....	51
9. Transectos 1 e 2 abril 2005.....	51
10. Transectos 1 e 2 maio 2005 .....	52
11. Transectos 1 e 2 junho 2005 .....	52
12. Transectos 1 e 2 julho 2005.....	53
13. Transectos 1 e 2 agosto 2005.....	53
14. Transectos 1 e 2 setembro 2005 .....	54
15. Transectos 1 e 2 outubro 2005.....	54
16. Transectos 1 e 2 novembro 2005 .....	55
17. Transectos 1 e 2 dezembro 2005 .....	55
18. Imagem da CBM no mês de janeiro .....	57
19. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e fevereiro 2005.....	58
20. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e março 2005 .....	59
21. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e abril 2005 .....	60
22. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e maio 2005 .....	61
23. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e junho 2005 .....	62
24. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e julho 2005 .....	63
25. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e agosto 2005.....	64
26. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e setembro 2005.....	64
27. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e outubro 2005.....	65
28. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e novembro 2005 ...	66
29. Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e dezembro 2005....	67





## LISTA DE TABELAS

1 Espectro de Radiação Eletromagnética .....	32
2. Gradientes de temperatura dos transectos 1 e 2. ....	68.



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu$ m	-----	-	Micrômetro
$\lambda$	-----	-	lâmbda
E	-----	-	Energia
H	-----	-	Constante de Planck
f	-----	-	frequência da luz
V	-----	-	Velocidade



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMSR-E	-----	Advanced Microwave Scanning Radiometer
Aqua	-----	Nome próprio do satellite
ADEOS-II	-----	advanced observing satellite
ATSR	-----	Along-Track Scanning Radiometer
AATSR	-----	Advanced ATSR
AVHRR	-----	Advanced Very High Resolution Radiometer
CB	-----	Corrente do Brasil
CM	-----	Corrente das Malvinas
CBM	-----	Confluência Brasil-Malvinas
CSA	-----	Corrente Sul Atlântica
CSE	-----	Corrente Sul Equatorial
CCA	-----	Corrente Circumpolar Antártica
Count	-----	Referente ao Nível de Cinza
DSR	-----	Divisão de Sensoriamento Remoto
EOS	-----	Earth Observation System
ERS	-----	Earth Resources Satellite
ENVISAT	-----	Environment Satellite
IFOV	-----	Instantaneous Field of View
IPOMS	-----	International Polar Orbiting Meteorological Satellite
NOAA	-----	National Oceanic and Atmospheric Administration
NASA	-----	National Aeronautics and space Administration
NRT	-----	Next-Real-Time
RSS	-----	Remote Sensing System
Skylab	-----	Programa espacial
SST	-----	Sea Surface Temperature
TRMM	-----	Tropical Rainfall Measuring mission
TMI	-----	TRMM Microwave Imager
TSM	-----	Temperatura da Superfície do Mar



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, o estudo dos oceanos é fortemente realizado com o auxílio de dados de oceanografia por satélites. Novos sensores, assim como novas técnicas de processamento, são constantemente incrementadas apresentando-se como ferramentas indispensáveis para o estudo dos fenômenos dinâmicos dos oceanos em várias escalas de tempo e espaço. No trabalho apresentado discutem-se as capacidades e limitações da oceanografia por satélites (que utiliza dados coletados por sensores em nível orbital) frente à oceanografia convencional (dados coletados *in situ*). A oceanografia por satélites se baseia na coleta de dados oceanográficos remotamente sem a necessidade de lançarem-se instrumentos ao mar com se faz na oceanografia convencional, porém essa última permite a validação dos dados de satélites. A definição mais básica do sensoriamento remoto é obtenção de informação sobre um determinado objeto sem entrar em contato físico com ele (Ress, 1990; citado por Souza, 2003).

As aplicações do sensoriamento remoto para estudos de oceanografia são inúmeras. No entanto, é importante que se levem em consideração as características dos processos marinhos investigados, as características dos satélites e os sensores empregados para descrever as aplicações.

A temperatura da superfície do mar (TSM), a qual é o objeto de estudos deste trabalho, pode ser medida através da radiação emitida em comprimentos de onda longos, centrados na faixa do infravermelho termal. A TSM tem importância extrema nos processos de interação ar – mar que controlam o balanço climático do planeta como citado em Souza et al. (2005).

Um dos problemas de determinação da TSM sempre foi a cobertura de nuvens que limita a coleta de dados nas faixas espectrais do visível e infravermelho, o que inibe o estudo dos processos dinâmicos na escala de poucos dias. Este é um grande problema para a região sul do Brasil durante o inverno, com frequentes frentes atmosféricas estacionárias sobre a região.

Em termos de processos oceanográficos, é exatamente no Oceano Atlântico Sul, ao largo da costa sul brasileira, que ocorre o encontro das águas quentes da Corrente do



Brasil (CB) com as águas frias da Corrente das Malvinas (CM). Essa região de encontro dessas águas é conhecida como a Confluência Brasil-Malvinas (CBM) ou Convergência Subtropical, sendo considerada uma das regiões mais dinâmicas do planeta em termos de processos oceanográficos.

Para contornar o problema das nuvens na obtenção de dados de TSM globais, um algoritmo alternativo foi desenvolvido para a determinação da TSM a partir de radiômetros de microondas passivos, que não são afetados pelas nuvens ou aerossóis na atmosfera. Para o presente trabalho, serão usadas imagens do sensor AMSR-E que é um radiômetro de microondas passivo á bordo do satélite Aqua (missão EOS). Este sensor permite o seguimento das características oceanográficas da superfície do mar sem os contratempos causados pela falta de observações provocadas pela presença de nuvens, como poderia ocorrer, por exemplo, com o sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo dos satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

A escolha do sensor AMSR para esse trabalho se deveu também ao fato do satélite Aqua possuir órbita heliosíncrona, que permite a obtenção de dados globais em resolução espacial compatível com os fenômenos de mesoescala que ocorrem na região desse estudo.

Souza et al. (2005) afirma que o sensor AMSR-E, por ser um sensor de microondas passivo, tem a vantagem de obter informações sobre a superfície do mar mesmo em condições de alta nebulosidade. Muitos dos fenômenos oceanográficos, especialmente os sinais espaciais de variabilidade de mesoescala (como a formação de vórtices e eddies, por exemplo) que desenvolvem muitos papéis importantes nos oceanos, são pouco estudados devido à falta de dados *in situ* e também pela cobertura de nuvens que prejudica a aquisição de dados por outros sensores na área de estudos.

Um dos processos de mesoescala mais conhecidos ocorre por meio da redistribuição e exportação das propriedades físicas de um vórtice ou eddy – calor, sal e energia – para as águas adjacentes. O trabalho apresentado aqui serve de base para estudos futuros sobre a variabilidade de mesoescala da região da CBM, ao mesmo tempo em que novas técnicas de processamento de dados AMSR são desenvolvidas.

## CAPÍTULO 2

### ATIVIDADES REALIZADAS.

**2.1. Revisão Bibliográfica:** Leitura de livros, publicações e artigos científicos referentes à fundamentação do Sensoriamento Remoto, à Oceanografia do Oceano Atlântico Sul e sobre a determinação da TSM e sinais espaciais de variabilidade de mesoescala;

**2.2. Levantamento de dados:** obtenção das imagens AMSR-E através do portal FTP da NASA e da Remote Sensing Systems (RSS);

**2.3. Pré-tratamento dos dados:** Recortes e tratamento digital das imagens com o auxílio do programa ENVI 4.2 ®;

**2.4. Estimativa das variabilidades da TSM:** a princípio foi feita através da análise visual da série multi-temporal de dados e depois foi utilizado o processador de imagens ENVI 4.2 ®.

**2.5. Elaboração do relatório final:** As atividades do trabalho, a caracterização teórica dos campos de TSM estudados, metodologias empregadas e resultados do trabalho são apresentados na forma do presente relatório final.

## CAPÍTULO 3

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

### 3.1. Breve Introdução ao SR

Os equipamentos constituintes dos satélites, desde o 1º lançamento até os dias de hoje sofreram muitas modificações. Os satélites, que antes possuíam uma massa de aproximadamente cem quilos agora pesam aproximadamente duas toneladas. Os sensores que eram câmeras de televisão agora são radiômetros de varredura multiespectral, ou seja, captam imagens por vários canais – visível, infravermelho, microondas, etc. Os dados que agora sofrem processamentos altamente sofisticados, antes era tratado manualmente, o que agora é digital antes era analógico.

O sensoriamento remoto expandiu tanto seu potencial tecnológico que é atualmente possível fazer ao mesmo tempo sensoriamento remoto dos oceanos e continentes, sondagens da atmosfera além, é claro, da coleta e retransmissão de dados ambientais registrados por plataformas remotas que podem ser assimilados rapidamente em modelos de previsão de tempo. O nosso planeta, por fim, passou a ser estudado como um sistema global, pesquisar os fenômenos que ocorrem no planeta para um entendimento da Terra como um todo, suas partes e como interação entre si. Hoje em dia satélites meteorológicos são operados pelos EUA, Rússia, União Européia, Japão, China, Índia, entre muitos outros.

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida da superfície terrestre. O termo sensoriamento refere-se a obtenção dos dados que é feita à distância, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (Florenzano, 2002). Os sinais enviados para as estações terrestres são transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens.

O sensoriamento remoto para recursos naturais tem sido definido de várias maneiras, de acordo com a gama de atividades realizadas para obtenção de informações a respeito dos recursos naturais do planeta. Os sensores também podem ser colocados em aviões, satélites ou até mesmo na superfície ou laboratório, o que define os modos de aquisição de dados: aéreo, orbital e de solo ou laboratório, respectivamente.

Outra definição leva em conta os processos de trocas energéticas entre a radiação eletromagnética e os objetos do meio ambiente. Dependendo também do tipo de sensor e da fonte da radiação eletromagnética, o sensoriamento remoto pode ser definido como ativo e passivo. O sensoriamento remoto passivo é aquele onde a fonte da radiação eletromagnética é proveniente do próprio alvo na forma, por exemplo de radiação visível, termal ou microondas emitida ou refletida. O sensoriamento remoto ativo depende de uma fonte externa de iluminação como, por exemplo, uma antena radar.

### **3.1.1. Interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.**

A radiação emitida pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Quando absorvida é geralmente reemitida em diferentes comprimentos de onda e suas intensidades relativas caracterizam a matéria em investigação. O sol é uma estrela de quinta grandeza constituída por uma massa gasosa de 71% de hidrogênio e 26% de Hélio. Sua superfície aparente é denominada fotosfera, seu diâmetro aproximado é cerca de  $1,3914 \times 10^6$  km, sua massa aproximada é de  $1,99 \times 10^{35}$  kg, sendo cerca de 90% concentrado na metade interna de seu raio, sua temperatura superficial média é de 5.770 K, mas devido a pressão sua temperatura no centro é de  $4 \times 10^7$  K como afirma Moreira (2001). É uma esfera de gás aquecida pelas reações nucleares de seu interior. Sua distância da Terra é de  $149,6 \times 10^6$  km ou uma unidade astronômica.

Devido a essa alta temperatura ocorrem reações nucleares que transformam o hidrogênio em hélio, ocorrendo perda de massa que é compensada por emissão de energia, por essa ser uma reação que ocorre no núcleo do átomo de hidrogênio é denominada de radiação. As interações da radiação eletromagnética com os componentes atmosféricos interferem na qualidade e na quantidade de energia solar disponível para o sensoriamento remoto dos recursos terrestres.

Assim, outras fontes de energia são utilizadas para o sensoriamento remoto dos recursos terrestres:

- O fluxo solar refletido (0,4 a 2,5  $\mu\text{m}$ )
- O fluxo termal ( $\lambda > 0,6 \mu\text{m}$ )
- A radiação emitida ou refletida pela superfície terrestre que são as microondas (faixa de 1 mm a 30 cm).

As formas de interação entre a radiação e os componentes da superfície variam ao longo do espectro eletromagnético. Nesse caso: raios cósmicos, raios gama e raios-X, comprimento de ondas pequeno e alta frequência resultam em modificações na estrutura interna do objeto atingido e na faixa do visível e infravermelho ocorrem processos vibracionais.

No final do séc. XIX e início do século XX muitas pesquisas foram realizadas sobre a questão da distribuição de energia, em função do comprimento de onda, na radiação emitida por um corpo aquecido e duas teorias foram levantadas teoria corpuscular e teoria ondulatória, que não são objeto de estudo deste trabalho, mas é de extrema importância sua citação.

### **3.1.2 Teoria Corpuscular.**

Em 1905 Albert Einstein formulou uma hipótese de que a luz se comporta, muitas vezes, como se toda a sua energia estivesse concentrada em pacotes, pequenos pulsos ou feixes discretos, que ele os denominou quanta de luz, chamados hoje de fótons. Ele propôs a seguinte equação para energia de um fóton:  $E = h.f$  (onde  $f$  é a frequência da luz e  $h$  a constante de Planck. Essa constante introduzida na física alguns anos antes por Max Planck, em outro contexto, tem o valor:  $h=6,63 \times 10^{-34}$  ) (HALLIDAY e RESNICK, 1981). Essa teoria deu origem ao que hoje é chamado de efeito fotolítico, onde foi realizada a experiência que consiste na incidência de um feixe de luz de frequência consideravelmente alta numa placa metálica, a qual emitirá elétrons, ou seja, ondas luminosas, que transportam energia e parte desta será absorvida pelo metal condutor e parte será emitida.

Quanto maior a energia menor é o comprimento de onda e quanto maior o comprimento de onda menor será a frequência. Houve alguns fatores que não ficaram muito bem esclarecidos nas experiências realizadas. O fator da distribuição de energia dos elétrons emitidos que independe da intensidade da luz, pois um feixe de luz ao incidir numa placa metálica produzia mais elétrons do que um feixe fraco de mesma frequência, mas a energia média dos elétrons produzidos pelos dois feixes era a mesma segundo Moreira (2001).

Onde se conclui que um quanta de energia é diretamente proporcional a frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda. Através da teoria quântica, entende-se que um elétron quando recebe energia do meio salta de um nível de energia (camada ou subcamada orbital do átomo) mais próximo do núcleo para um outro mais afastado, tornando-se o átomo instável e carregado negativamente, o átomo que estava num estado fundamental passa para um estado excitado. O quantum de variação absorvido é novamente emitido para outros átomos ou para o meio através de um processo de transferência de energia, voltando a sua estabilidade ou seu estado fundamental e a energia absorvida ou emitida pelo elétron é uma quantidade discreta como afirma Moreira (2001).

Onde é representado pela seguinte equação:

$$hf = E_i - E_f$$

Onde  $h$  é a constante de Planck,  $f$  é a frequência,  $E_i$  e  $E_f$  são as energias dos estados de maior energia (estado inicial) e de menor energia (estado final) respectivamente (HALLIDAY e RESNICK, 1981). As leis da radiação explicam o comportamento da energia radiante desde a sua origem até a interação com a matéria.

### **3.1.3 Teoria Ondulatória.**

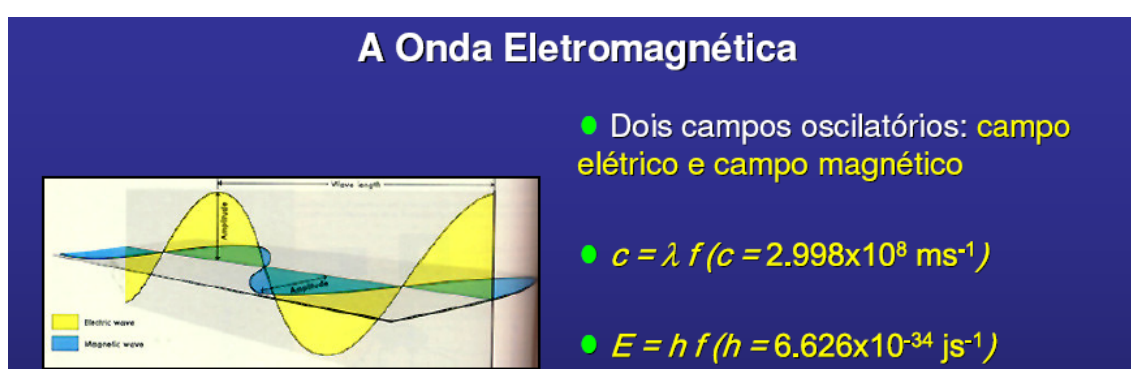
Essa teoria postula que a radiação solar propaga-se em linha reta, através de um campo eletromagnético em movimento ondulatório de acordo com Moreira (2001). Ondas são perturbações periódicas ou oscilações de partículas ou do espaço, por meio das quais, muitas formas de energia propagam através de suas fontes uma onda progressiva, é o movimento provocado por uma perturbação e não um deslocamento do meio em si mesmo de acordo com Amaldi(1985).

Moreira (2001) especifica que todos os movimentos ondulatórios em um meio resultam de oscilações de partículas individuais em torno de suas posições de equilíbrio. Geralmente as ondas precisam de um meio material para se propagar, com exceção das ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo. Toda onda possui um comprimento e uma frequência, no qual o comprimento indica a distância entre dois pontos semelhantes (duas cristas), dado em metros e a frequência é o número de vezes que uma

onda passa por um ponto do espaço num determinado intervalo de tempo, ela se dá em ciclos por segundo ou Hertz.

### 3.2. Ondas e o espectro eletromagnético.

As ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio para se propagarem, propagam-se até mesmo no vácuo. Essas radiações (luz, raios-X, microondas, etc.), são vibrações de campos elétricos e magnéticos que se propagam no espaço com a velocidade da luz (Figura 1).

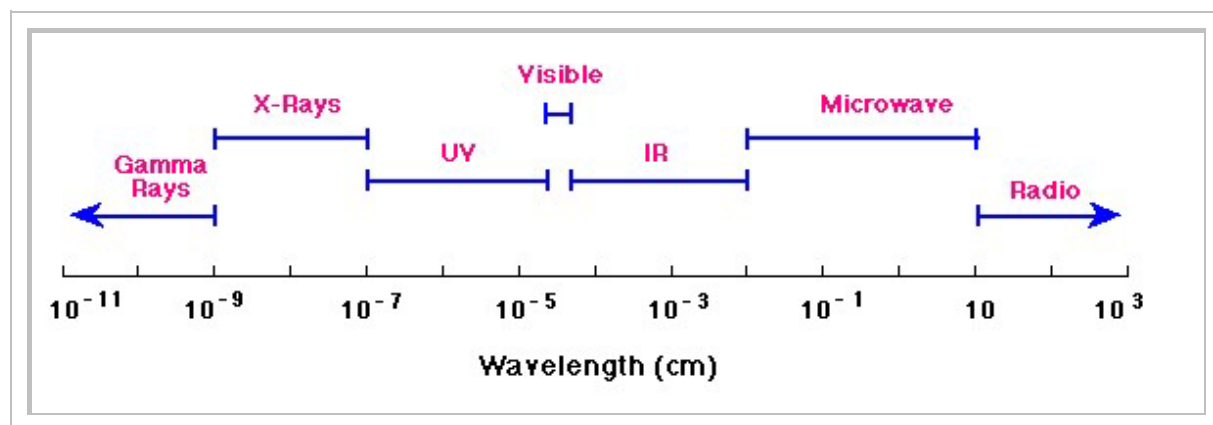


**Figura 1:** A onda eletromagnética e seus campos elétrico e magnético. Fonte: Souza (2006).

E são expressas através da equação:  $f = V / \lambda$ , onde f é a frequência,  $\lambda$  é o comprimento de onda ( $\lambda =$  lâmbda) e V a velocidade com que a onda se propaga (velocidade da luz) de acordo com Amaldi (1985). O que diferencia as ondas é a sua frequência. O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas recebe o nome de espectro eletromagnético conforme visto na Tabela 1 e Figura 2.

Espectro de Radiação Eletromagnética				
Região	Comp. Onda (Angstroms)	Comp. Onda (centímetros)	Frequência (Hz)	Energia (eV)
Rádio	$> 10^9$	$> 10$	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infravermelho	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visível	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios-X	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	$< 0.1$	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

**Tabela1:** Espectro de Radiação Eletromagnética. Fonte: <http://if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>



**Figura 2:** A representação Gráfica do Espectroeletrmagnético. Fonte: <http://if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>

Conforme a região do espectro eletromagnético, o modo específico como as ondas são geradas difere sensivelmente e o dispositivo de emissão deve ter dimensões tão menores quanto menor for o comprimento de ondas que se quer produzir. As diferentes radiações eletromagnéticas receberam denominações diferentes desde a sua natureza histórica ou de acordo com os procedimentos utilizados na sua produção ou determinação. São eles, de acordo com Moreira (2001) e Amaldi (1985):



- Raio gama: são emitidos por materiais radioativos e pelo Sol, possuem alta frequência por isso são muito penetrantes;
- Raio-X: surgem do interior da eletrosfera do átomo, por rearranjos eletrônicos, quando provenientes do Sol são absorvidos pelos gases na alta atmosfera;
- Raio ultravioleta (UV): essas radiações são muito produzidas durante as reações nucleares no sol, ao atingir o topo da atmosfera são quase totalmente absorvidas pelo gás Ozônio, esse espectro é dividido em três bandas que é o UV próximo (0.3 a 0.38  $\mu\text{m}$ ), UV distante (0.2 a 3.0  $\mu\text{m}$ ) e UV máximo (0.1 a 0.2  $\mu\text{m}$ );
- Visível: é o conjunto de radiações eletromagnéticas compreendidas entre os comprimentos de ondas de 0.39 $\mu\text{m}$  a 0.70  $\mu\text{m}$ , essas radiações nessa faixa de comprimento de onda ao incidirem no sistema visual do ser humano provocam a sensação de cor no cérebro;
- Infravermelho: são radiações cujo comprimento de onda varia de 0.7 $\mu\text{m}$  a 1.000 $\mu\text{m}$ , às vezes recebem o nome de radiação térmica e é dividida em três faixas espectrais: infravermelho próximo (0,7 $\mu\text{m}$  a 1,1 $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (1,  $\mu\text{m}$  1 a 3,0  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho distante (3,0  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$ );
- Microondas (o qual é o princípio ativo do sensor de objeto de estudo desse trabalho): possui comprimento de onda de 1000 até cerca de  $1 \times 10^{-6}$  (1m), são geralmente referenciadas em termos de Hertz e seus múltiplos, sendo assim, estão compreendidas entre 300 GHz a 300 MHz;
- Ondas de rádio: conjunto de radiações menores que 300 MHz (comprimento maior que 1 m), são usadas principalmente em radiodifusão e telecomunicação.

### **3.3.Os sistemas sensores.**

Podem ser classificados em função da fonte de energia ou em função do tipo de produto produzido. São equipamentos que captam e registram a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre, podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. Moreira (2001) define os sistemas sensores como dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do

espectro eletromagnético gerando informações para que possam ser transformadas num produto passível de interpretação na forma de imagem, gráfico ou tabela.

Os sistemas sensores são formados basicamente por: energia, coletor, processador e produto. Existem sensores operando em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Podem ser classificados por meio da fonte de energia e por meio do tipo do produto que fornece.

### **3.3.1. Quanto à fonte de energia.**

Existem os sensores passivos que não possuem fonte de energia própria, os sensores medem a radiação emitida ou refletida pelos alvos que provém de uma fonte externa, no qual se enquadra o sensor AMSR-E. E existem os sensores ativos o qual possui uma fonte de energia própria e não depende de energia externa. Emite um fluxo de energia em determinada faixa espectral que interage com os alvos na superfície terrestre e a parte que reflete deste alvo é então captada pelo sensor.

### **3.3.2. Quanto ao produto fornecido**

Os produtos dos sensores não-imageadores não fazem gerar imagem da superfície observada, sendo os seus dados expressos em forma de gráficos ou tabelas, imprescindível para a aquisição de informações precisas em relação ao comportamento espectral dos objetos. E existem os chamados sensores imageadores que como resultado obtém-se uma imagem do alvo trabalhado, sobre a superfície observada, fornece informação sobre a variação espacial da resposta espectral do alvo. Utilizam componentes ópticos na sua construção como espelhos, lentes e prismas e podem ser de natureza termal ou de energia solar refletida.

Os sistemas sensores imageadores subdividem-se em duas categorias, os sistemas de não varredura e os de varredura. Não varredura: os sensores registram a imagem como um todo (a imagem na sua totalidade) no mesmo instante, que podem ser chamados de sensores de quadro ou framing systems, seus dados podem ser expressos de duas formas, em imagem como se fosse fotografia e não-imagem em forma de gráfico e tabela, que são os radiômetros. Varredura: a imagem do alvo, da cena é formada pela aquisição seqüencial de “imagens elementares” do terreno ou elementos de resolução,

também chamado de “pixel”, que é o menor elemento constituinte de uma imagem segundo Novo (1992) citado em Moreira (2001).

Esses sistemas sensores também se diferenciam através de sua resolução que pode ser espectral e espacial. Resolução espectral: refere-se ao poder de resolução que o sensor tem para discriminar diferentes alvos da superfície terrestre, é uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade de retorno. Quanto menor for a largura de faixa que opera um determinado sensor, melhor é a sua resolução espectral, um exemplo é um sensor que opera entre 0,4  $\mu\text{m}$  e 0,5  $\mu\text{m}$  tem uma resolução espectral maior que o sensor que opera entre 0,4  $\mu\text{m}$  e 0,6  $\mu\text{m}$ . E se um sistema sensor possui detectores que operam em mais de uma faixa espectral ou banda o sistema é chamado de multicanal. Resolução Espacial: mede a menor separação angular ou linear entre duas faixas ou objetos imageados (menor ângulo) refere-se ao campo de visada instantânea também conhecido como IFOV (Instantaneous Field of View) é o ângulo formado pela projeção geométrica de um único elemento detector sobre a superfície terrestre.

Depois de efetuada uma breve introdução ao sensoriamento remoto, um breve embasamento para entender a relação de sensoriamento e suas aplicações em oceanografia, focado em temperatura da superfície do mar e formação de vórtices e eddies que são o objeto de estudo deste trabalho.

#### **3.4. Sensoriamento remoto e suas aplicações em oceanografia.**

Oceanografia com o emprego de sensoriamento remoto também é conhecida como oceanografia por satélites ou oceanografia espacial. A aceitação da oceanografia como uma disciplina científica independente ocorreu a partir dos desenvolvimentos tecnológicos que tornaram possível a exploração sistemática do oceano profundo segundo Ress (1990) citado por Souza (2003). O oceano passou de um meio de transporte para objeto de uma ciência que estuda sua parte física, química, biológica e geológica. A partir do séc. XIX a oceanografia ganhou amplitude e interesse.

Após o século XX criou uma face de estratégia, principalmente após a Segunda Guerra Mundial com a produção de sensores eletrônicos, o monitoramento de oceanos e dos próprios continentes tornou-se uma constante. Há uma gama de conquistas tecnológicas

que beneficiam a oceanografia por satélites, assim como de engenhosos procedimentos de análises onde permitem dados precisos, desenvolvidos nas últimas décadas. A oceanografia por satélites passou a ser um meio eficaz e viável para coleta de dados. Por não ser preciso o lançamento de instrumentos no mar constantemente e devido à restrita mobilidade das plataformas flutuantes, tem sido uma opção bem procurada.

No mundo inteiro, com a relativa pequena disponibilidade de meios flutuantes para a pesquisa oceanográfica, tornando a aquisição de dados oceanográficos convencionais sinóticos extremamente difíceis e caros, a oceanografia por satélites torna-se uma opção viável segundo Souza et al. (2005). Esta técnica beneficia-se da visão sinótica bidimensional, alta resolução temporal e espacial e a capacidade de se construir séries de tempo de dados com consistência espacial e por longos períodos de tempo, segundo Robinson (1985) citado por Souza (2003).

Por proporcionarem uma perspectiva completamente diferente ao se observar o oceano, os satélites oferecem a visualização detalhada das estruturas da variabilidade espacial horizontal, que ocorrem em escalas de quilômetros a milhares de quilômetros, estendendo-se por bacias oceânicas. Ainda assim, mantém a capacidade de detecção de pequenas frentes, vórtices, ondas internas e manchas que limitam a produtividade do oceano. Além disso, as medidas espacialmente detalhadas do oceano são agora repetidas freqüente e regularmente, ano após ano, revelando a variabilidade temporal do oceano em escalas diárias, semanais, sazonais, anuais e interanuais, permitindo o estabelecimento da climatologia oceânica como afirma Robinson (1985) citado por Souza (2005).

Para países como o Brasil com muitos quilômetros de costa e pouca disponibilidade de meios flutuantes para monitoramento oceanográfico, a oceanografia por satélites é uma ótima opção além de ser mais viável, uma vez que o oceano tem papel muito importante no clima, na economia, acessibilidade, etc.

Contudo, novas oportunidades e perspectivas sociais de estratégias políticas, por serem dados globais, são compartilhados no mundo inteiro, onde não apenas especialistas e as nações ricas se beneficiam, mas também para a comunidade não científica quase que em tempo real. Entender, monitorar, gerenciar e proteger os oceanos e todo o seu ambiente vem se tornando muito importante como nossas obrigações sociais ambientais, uma vez que o oceano é responsável por parte de nossa alimentação (pesca) e clima do planeta.

De acordo com Souza et al. (2005) as dificuldades práticas para o estudo dos oceanos provem justamente da necessidade de se obter dados de forma contínua, tridimensional e em escalas de espaço e tempo variáveis de acordo com o processo que se deseja estudar.

Há apenas algumas desvantagens, frente às inúmeras vantagens da oceanografia por satélites, dependendo do sensor empregado, existem alguns fatores que limitam a aquisição de dados, como a cobertura de nuvens, por exemplo, a partir dessas dificuldades foram criados algoritmos alternativos para essas situações. O AMSR-E é um dos sensores que possibilitam a aquisição de dados mesmo com a presença de nuvens.

A maioria dos parâmetros estimados através de dados de satélites diz respeito somente à camada superficial do mar, enquanto que a oceanografia convencional trata do oceano da maneira como ele existe: tridimensionalmente. No entanto apesar da maioria dos dados de oceano por satélite se referir apenas a camada superficial do mar, é esta exatamente a mais importante de acordo com Robinson (1985) citado por Souza et al. (2005). Pois é através desta camada superficial milimétrica do oceano que ocorrem os processos de interação ar-mar que controlam o balanço climático do planeta segundo Donlon et al. (1999) citado por Souza et al. (2005). Variados assuntos podem ser analisados mais facilmente como o gerenciamento costeiro, circulação oceânica, monitoramento da pesa, ondas superficiais e internas e correntes superficiais.

Sendo assim os dados de oceanografia por satélites e a convencional formam a metodologia ideal para compreensão dos oceanos e análise combinada dos dados, por que um complementa o outro e validam os dados adquiridos. As aplicações do sensoriamento remoto dos oceanos são muitas, e para descrever as mesmas é necessário levar em conta as características dos processos investigados e das características dos instrumentos (satélites e sensores) empregados para aquisição dos dados.

No presente trabalho, serão utilizadas algumas aplicações de sensoriamento remoto dos oceanos como a identificação da variabilidade da temperatura da superfície do mar e sinais espaciais de variabilidade de mesoescala como a formação de vórtices e eddies na região e período de estudos.

### **3.5. Temperatura da superfície do mar (TSM) e suas relações com oceanografia por satélites.**

Desde a década de 1970 é que se tem fomentado a idéia da necessidade de monitoramento do planeta Terra, através de um programa de observação nas faixas do visível e infravermelho próximo, a partir da missão Skylab em 1973. Pouco mais tarde analisando imagens do planeta, percebe-se que sem a presença de nuvens era possível observar feições oceanográficas importantes e úteis especialmente nas zonas costeiras do planeta.

O oceano emite radiação na direção da atmosfera em comprimento de onda longos, na faixa do infravermelho termal a aproximadamente 3 a 15  $\mu\text{m}$  e se dissipa na forma de calor a uma temperatura média superficial que pode variar entre aproximadamente 0°C e 30°C. A radiação de onda longa é altamente absorvida pela água, apenas a camada milimétrica do oceano na interface ar-mar é o responsável pelo fluxo desta energia emitida do oceano para a atmosfera. A temperatura desta camada milimétrica da superfície do oceano, chamada temperatura de pele, é tipicamente mais fria (da ordem de 0,2 a 0,3 K) que a da água da camada de mistura imediatamente abaixo. A temperatura de pele, mesmo podendo diferir da temperatura da camada imediatamente abaixo é uma variável fundamental para a validação de modelos acoplados de oceano-atmosfera, uma vez que todos os processos de troca de gás e calor ocorrem através da camada milimétrica que separa o oceano da atmosfera como afirma Souza et al. (2005). A medida da temperatura da superfície do mar tem relação estreita com os processos de interação oceano-atmosfera, controlam o balanço climático do planeta.

Os Algoritmos de conversão da radiância em temperatura de brilho são baseados na Lei de Planck. Leva em consideração a relação entre a temperatura de brilho obtida para uma mesma cena sobre o oceano a partir de diferentes janelas atmosféricas (diferentes canais ou bandas do radiômetro), ou, alternativamente, a partir de diferentes ângulos de visada do sensor em direção a cena (SOUZA et al., 2005). A primeira forma de calcular a TSM a partir da temperatura de brilho em diferentes canais é conhecida como a técnica multi-canal e é utilizada pela NOAA para os dados AVHRR. No segundo caso, quando o sensor adquire imagens de uma mesma cena sobre o mar a partir de diferentes

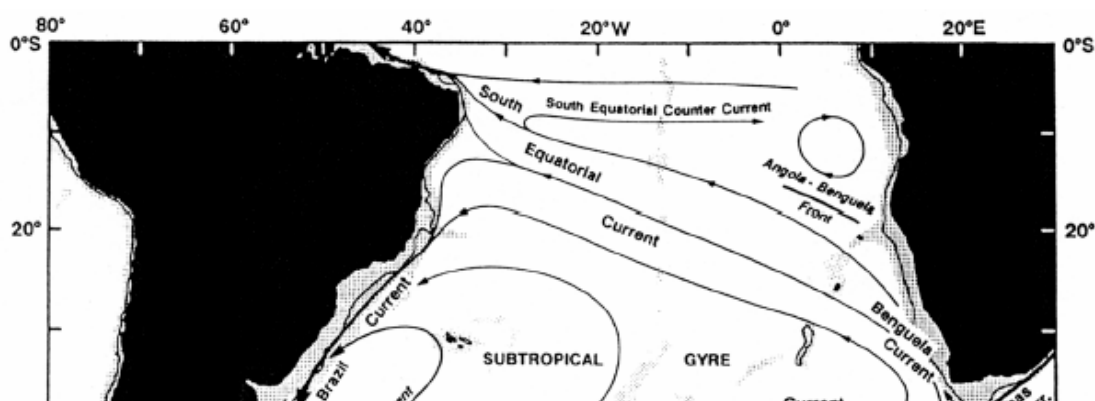
ângulos de visada, a técnica é chamada de multi-visada. Tem sido empregada desde a década de 1990 com dados do sensor ATSR (Along – Track Scanning Radiometer) e seus sucessores nos satélites ERS (Earth Resources Satellite) 1 e 2, atualmente, o sensor AATSR (Advanced ATSR) a bordo do satélite ENVISAT segundo Souza (2003). Os algoritmos multi-canal oferecem dados de TSM com relação à “temperatura de balde”, aquela comumente medida em campo pela oceanografia convencional e que diz respeito à primeira camada de poucos metros do oceano (SOUZA et al., 2005). As técnicas multi-visada estimam a temperatura de pele dos oceanos, a qual já foi citada que a temperatura da camada milimétrica da interface ar-mar.

Para a região do Oceano Atlântico Sudoeste, tem sido muito utilizado os dados de TSM obtidos por satélites para complemento de dados *in situ*, através de plataformas flutuantes no oceano, o uso de informações de sensoriamento remoto é uma ferramenta muito útil e extremamente poderosa para o estudo dos processos de mesoescala dos oceanos.

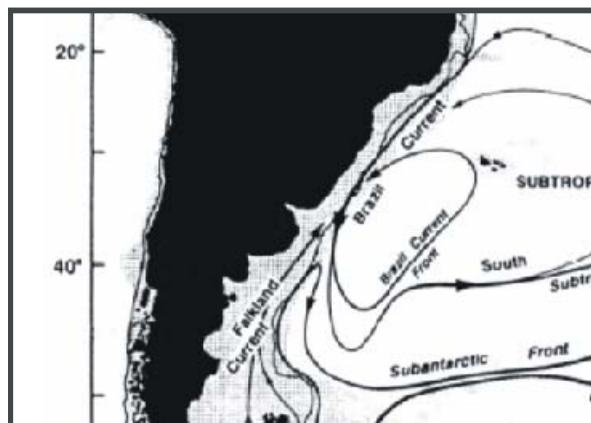
### 3.6. Dinâmica da Região do Oceano Atlântico Sudoeste.

O Oceano Atlântico possui uma superfície de cerca de 86,5 milhões de quilômetros quadrados (24% da superfície total das águas do planeta). Suas origens remontam a aproximadamente 150 milhões de anos quando começou a separação da placa euroasiática da norte americana, esse processo continua com uma razão de 5 cm por ano, o que é provocado pela presença de uma fratura que se estende desde o Ártico até a Antártica, é o que afirma Xunta de Galicia (2003) citado por Resnichenko (2003).

O giro subtropical do Atlântico Sul tem um sentido de rotação anti – horário, sendo composto por: CB, Corrente Sul Atlântica (CSA), Corrente de Benguela e Corrente Sul Equatorial (CSE) que, por sua vez, fecha o giro em sua bifurcação para formar a CB e a Corrente Norte do Brasil como visto na Figura 3.



**Figura 3:** Circulação Média Superficial do oceano Atlântico Sul. Fonte: Peterson e Stramma (1991)



**Figura 4:** Região de Estudo – Confluência Brasil Malvinas

O sistema de correntes do giro subtropical interage, ao sul, com a Corrente Circumpolar Antártica (CCA) ao longo de toda a bacia Atlântica e, na região oeste, com a Corrente das Malvinas que se encontra com a CB na região da CBM (Confluência Brasil-Malvinas) como visto na Figura 4. Na CBM predominam instabilidade e outros processos de mesoescala que caracterizam essa região como uma das mais ativas dos oceanos (CHELTON Apud SOUZA et al., 2005). Particularmente no Oceano Atlântico a circulação das águas superiores consiste, de maneira geral, em uma das grandes



circulações ou giros. Um anti – horário no Atlântico Sul, e outro horário no Atlântico Norte. Este giro tem propulsão independente, cada um é acionado pelos ventos Alísios de seu hemisfério, e existe uma corrente que os separa na região do Equador, a Corrente Equatorial (PICKARD Apud RESNICHENKO, 2003).

Os ventos na superfície do mar são responsáveis pela circulação oceânica de grande escala dominada por um giro anticiclônico. Existe uma característica, a intensificação das correntes junto ao contorno oeste das bacias que constitui as chamadas correntes de contorno oeste, onde (STOMMEL Apud GIAROLLA, 1999) demonstrou que essa intensificação é devida à variação do parâmetro de Coriolis com a latitude. As correntes de contorno fluem próximo à costa até certa posição geográfica, geralmente, onde o rotacional da tensão do vento é zero, e em seguida se afastam e se dirigem para oceano aberto (CAMPOS Apud GIAROLLA, 1999).Esses movimentos em geral apresentam escalas espaciais a dezenas de quilômetros e escalas temporais entre semanas e meses.

Ao longo da costa continental sul do Brasil existe a circulação superficial média do oceano Atlântico Sul. É dominada por um sistema fechado conhecido como giro Subtropical do Atlântico Sul (PETERSON E STRAMMA Apud SOUZA, 2005).

Existe uma corrente de contorno oeste que flui próximo ao continente em direção ao pólo sul desde aproximadamente 10° S até mais ou menos a foz do Rio da Prata (35°S a 40°S), chamada Corrente do Brasil (CB), possui águas quentes e bastante salinas como afirma Resnichenko (2003).Souza e Robinson (1998) realizaram estudos entre março de 1993 e fevereiro 1994 utilizando derivadores de superfície para estimar a velocidade e temperatura média da CB, e os resultados obtidos sobre a temperatura, estimaram um valor médio para esta corrente de 23,9oC.

Nessa mesma região existe outra corrente formada como um braço da Corrente Circumpolar Antártica (CCA), a Corrente das Malvinas (CM) que é mais fria e menos salina, para Brandini et al. (2000) citado em Resnichenko (2003) a média de sua temperatura é 6 oC. A CM é originada do meandramento da CCA na Passagem de Drake, mais especificamente é parte do meandro que dirige para as baixas latitudes e que forma a Frente Subantártica em latitudes variáveis entre a Frente Polar e a Frente Subtropical, vindo da região subantártica, flui para o norte em direção ao Equador ao longo da plataforma continental argentina a uma latitude de aproximadamente 38°S,

ponto onde a corrente se separa da costa e segue em direção ao interior da bacia Atlântica de acordo com Peterson e Stramma (1991) citado por Souza et al. (2005). Onde encontra – se com a corrente do Brasil formando a chamada Confluência Brasil – Malvinas, essa confluência ocorre a uma latitude de 30° a 50° S e 40° a 60° W e aporta água de três países, Argentina, Brasil e Uruguai. Esta região também sofre influência ainda que em pequena escala de águas costeiras oriundas do Rio da Prata (35° S, 56° W) e da Lagoa dos Patos (31° S, 51° W). Os mecanismos que controlam a formação dessa corrente são ainda pouco estudados.

Existe uma grande variabilidade espacial e temporal no posicionamento das correntes na região de confluência. O limite sul da água quente da corrente do Brasil pode apresentar flutuações entre 38°S e 46°S, e 50°W e 55°W, uma distância de cerca de 900 km, em uma escala de tempo de cerca de dois meses (LEGECKIS e GORDON Apud GIAROLLA, 1999). A variabilidade no posicionamento da Corrente do Brasil está em parte ligada a flutuações sazonais no giro subtropical. Onde (MATANO Apud GIAROLLA, 1999) mostra que o giro anti – ciclônico do Atlântico Sul se intensifica nos meses de verão e se enfraquece nos meses de inverno. Percebe – se nos meses de dezembro a março um deslocamento para sul da confluência e nos meses de abril a novembro um deslocamento para norte. Souza et al. (2005) também afirma que a latitude de separação da CB é caracterizada por uma modulação sazonal. Durante o verão austral (verão do hemisfério sul) a corrente estende-se em média mais ao sul do que sua latitude média de separação (36° S) e afirma que o oposto também é verdadeiro onde durante o inverno austral, a latitude de separação da CB é mais ao norte. Significantes deslocamentos dos limites extremos da Corrente do Brasil associados a distúrbios ondulatórios já foram observados, ocorrendo em escalas de tempo de uma semana ou mais e em escalas espaciais de 200 km (LEGECKIS e GORDON Apud GIAROLLA, 1999).

Segundo Souza et al. (2005) para o Oceano Atlântico Sudoeste (ou Oceano Atlântico Sul Sudoeste) a busca de informações complementares é essencial, por causa da baixa quantidade de observações hidrográficas em relação a outras regiões com elevada atividade de mesoescala. A região da confluência das correntes é uma região muito turbulenta e extremamente dinâmica havendo uma variabilidade causada pelos movimentos turbulentos da circulação oceânica, é nessa área que ocorrem as maiores variabilidades dos processos de mesoescala do oceano Atlântico Sudoeste. Muitas

dessas variabilidades estão associadas à presença de vórtices frontais liberados das respectivas correntes.

### **3.7. Correntes marinhas e a formação de feições oceânicas de mesoescala (vórtices e eddies)**

A circulação geral nos oceanos pode dividir – se em circulação termohalina e a circulação gerada pelos ventos. A primeira refere-se aos movimentos produzidos na água quando a densidade da mesma é alterada pelas variações de temperatura e/ ou salinidade, o que está intimamente ligado, ao aumentar o conteúdo de sais altera – se a densidade, águas frias são mais densas que águas quentes, esta diferença de densidade, em algumas áreas do oceano geram um movimento vertical. Das propriedades físicas mais importantes das águas dos oceanos são a temperatura e a densidade, que controlam a circulação média dos oceanos, é a chamada circulação termohalina. A circulação gerada pelos ventos ocorre por fricção e envolve as primeiras centenas de metros de profundidade, sendo uma circulação predominantemente horizontal segundo Pickard (1974) citado por Resnichenko, (2003).

De acordo com Souza et al. (2005), em oceanografia os chamados vórtices são feições bem definidas, quase-circulares ou elípticas, com contornos fechados delimitados por intensos gradientes de propriedade físicas em superfície e em subsuperfície em relação às águas adjacentes e os eddies representam a atividade meandrante e turbulenta. Segundo Souza et al. (2005) e Giarolla (1999), as regiões que apresentam as maiores variabilidades estão associadas às intensas correntes de contorno oeste. Suas extensões e recirculação, onde os eddies e vórtices são formados por instabilidades na frente oceânica através da transferência de energia potencial e/ou cinética causadas por pequenos desvios no balanço geostrófico - é o equilíbrio entre a força do gradiente de pressão e a força de coriolis em razão da rotação do planeta - para fluxo médio.

Conforme descrito em Souza et al. (2005) nas regiões de frentes oceânicas essas feições são produzidas pelas interações dos fluxos médio e turbulento, relacionado aos processos de instabilidade baroclínica. Devido ao forte cisalhamento horizontal das correntes ou da combinação desses dois processos, parte da energia turbulenta é produzida nas regiões de correntes intensas e é exportada, via mecanismos de transporte e radiação para outras regiões dos oceanos através dos eddies. A energia do fluxo médio cresce até o limite em que se torna hidrodinamicamente instável, dando origem a um

vórtice, também conhecido como redemoinho que pode se desprender da corrente – mãe. Os processos de instabilidade que geram os vórtices oceânicos são semelhantes aos processos de geração de centros de baixa pressão atmosféricas em latitudes médias, responsáveis pelas mudanças bruscas no tempo e pelo surgimento de tempestades. Embora também sejam formados por efeitos topográficos, nas instáveis regiões frontais e regiões de massas de água dos oceanos (ROBINSON Apud SOUZA et al., 2005). Os vórtices frontais são os que despertam maior interesse da comunidade científica por sua responsabilidade por parte dos processos de troca de nutrientes, calor, massa e momento entre distintos ambientes oceânicos (RICHARDS e GOULD Apud SOUZA et al., 2005).

### **3.7.1. Determinação das frentes térmicas.**

As frentes térmicas são zonas estreitas e compridas no oceano com um alto gradiente transversal de temperatura, que deve ser igual ou superior a duas ordens de grandeza do gradiente médio horizontal para dada região, determinado por condições climáticas como afirma Fedorov (1983). O gradiente médio climático de temperatura na direção meridional em extensas áreas de regiões temperadas e tropicais -  $G_m$  varia entre  $2 \times 10^{-3}$  a  $4 \times 10^{-3}$  oC/ km. Assim, assume-se valor de 0,2 oC/km com o limite mínimo para identificação das frentes. Observações anteriores na região da Convergência Subtropical revelam valores do gradiente médio horizontal ao longo da zona frontal -  $G_{zf}$ , entre 0.022 e 0.029° C/km afirmado em Godói (1983), confirmando, dentro do critério proposto por Fedorov o valor utilizado como limite mínimo para caracterização da frente térmica na região de estudo.

## CAPÍTULO 4

### JUSTIFICATIVA.

A TSM, a qual é o objeto de estudos deste trabalho, pode ser medida através da radiação emitida em comprimentos de onda longos, centrados na faixa do infravermelho termal, pois essa radiação é altamente absorvida pela água. A TSM é a camada milimétrica do oceano caracterizando a interface ar – mar que é a responsável por esse fluxo de energia emitida do oceano para a atmosfera, ela tem importância extrema nos processos de interação ar – mar que controlam o balanço climático do planeta.

A camada superficial é uma variável fundamental para a validação de modelos acoplados de oceano – atmosfera. Uma vez que todos os processos de troca de gás e calor ocorrem através da camada milimétrica que divide o oceano da atmosfera, é também responsável pelos processos de transferência de calor latente do mar para atmosfera. Dessa forma tanto a climatologia da TSM dos oceanos quanto anomalias de TSM são parâmetros importantes para estudos climáticos do planeta. Podem ser utilizados para gerar mapas de anomalias de TSM, para monitoramento das flutuações naturais da TSM das diversas bacias oceânicas. Esses diversos campos anômalos podem acarretar fortes mudanças ambientais no oceano, impactando os ecossistemas e acarretando reflexos diretos sobre a população humana, como é o caso do fenômeno El Niño, no Oceano Pacífico Equatorial, por exemplo, o caso mais conhecido como citado em Souza et al., (2005). A análise multi – temporal dos dados de TSM na região de estudos mostra a variabilidade da TSM em escalas de tempo de poucos dias até a escala anual.

O sensor AMSR – E é novo e , por ser um sensor de microondas passivo, tem uma vantagem de obter informação sobre a superfície do mar mesmo em condições de alta nebulosidade, o que é uma vantagem para a região de estudo. Muitos dos fenômenos oceanográficos, especialmente os sinais espaciais de variabilidade de mesoescala são pouco estudados devido à falta de dados *in situ* e também pela cobertura de nuvens que prejudica a aquisição de dados por outros sensores (os infravermelhos, por exemplo) na área de estudo. Este trabalho deverá fornecer novas informações sobre a variabilidade da TSM ainda não obtidas de outra maneira da região de estudo.

## **CAPÍTULO 5**

### **OBJETIVOS**

Realizar uma análise multi-temporal de imagens de temperatura da superfície do mar (TSM) do sensor Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) na região do Oceano Atlântico Sudoeste no período de Janeiro a Dezembro do ano de 2005, sendo os objetivos específicos:

- Examinar as evidências de variabilidade da TSM na região e período de estudo.
- Identificar os sinais relacionados aos processos de mesoescala no oceano na região de estudo.

## CAPÍTULO 6

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 6.1. Materiais

O Advanced microwave scanning radiometer (AMSR – E), está a bordo da espaçonave Aqua da NASA (missão EOS). Esse sensor, além dos dados sobre temperatura da superfície do mar (TSM), também fornece informações sobre velocidade do vento, quantidade de vapor de água na atmosfera, água das nuvens e índices pluviométricos. Possui órbita polar, dupla polarização, opera em oito canais e está em órbita desde 04 de maio de 2002, é uma versão modificada do AMSR, que orbitava no satélite Advanced Observing Satellite – II (ADEOS – II). Por ser um sensor de microondas passivo, este sensor possui uma vantagem, de obter informação sobre a superfície do mar mesmo em condições de alta nebulosidade, o que é um fator muito importante para a região de estudo.

Há uma produção de dados diários (de três dias), semanais e mensais. Os dados diários são produzidos com algumas lacunas entre órbitas onde as informações são geralmente arquivadas e completadas em dois dias. Cada cena gera informações desde os 90° N até os 90° S de latitude e 180° L até 180° O de longitude. Têm um tamanho de 1440 colunas por 720 linhas e é composta por cinco bandas, cada uma com uma variabilidade de estudo diferente como já citado, onde no presente trabalho utilizou-se apenas a banda 1, que contém os dados de TSM. Para atingir os objetivos deste trabalho foram usadas 12 imagens referentes ao período de estudo distribuídas mensalmente.

Esse sistema executa um detalhado processamento dos dados coletados pelo instrumento. Que consiste na produção de dados chamados de Next -Real - Time (NRT), se faz disponível em tempo quase real, ocorre esse processamento dentro de três horas de quando os dados são registrados, com exceção de alguma demora ocasional de recepção ou processamento dos dados. Os radiômetros de microondas passivo em operação atualmente são muitos, mas será detalhado apenas o radiômetro do nosso objeto de estudos. Apesar de semelhante ao TMI, AMSR - E faz a cobertura global enquanto o TMI cobre somente os trópicos, o que é extremamente importante para a região da CBM, que a partir de 2002 em diante pode ter a cobertura de toda condição atmosférica.

Imagens diárias e médias semanais ou mensais do sensor AMSR-E são obtidas através do portal FTP (<http://www.remss.com>), gratuitamente pela internet, através de Remote Sensing System (RSS) que distribui para usuários dados deste sensor. Essas imagens são globais.

## **6.2.Métodos**

### **6.2.1.Levantamento dos dados**

No presente trabalho, é utilizado imagens de dados das médias mensais no período de janeiro a dezembro do ano de 2005 fornecidas pelo portal FTP anteriormente citado.

### **6.2.2.Processamento digital das imagens para análise da variabilidade da TSM.**

Uma vez obtidas as imagens de TSM, estas foram recortadas para área de estudos através de programas de computador disponíveis na DSR (Divisão de Sensoriamento Remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O tratamento digital das imagens se realizou através do processador de imagens ENVI 4.2 ®, primeiramente, para uma melhor análise procedeu a rotação e a transposição das cenas. Com uma, das múltiplas ferramentas do processador de imagens, com o nome de transecto, proporciona dados como o número do pixel que se encontra a informação de interesse, nível de cinza que através da equação  $sst = (count \times 0.15) + 3$  é convertida para temperatura.

Foi realizada a demarcação entre quatro pontos na região de estudos (transecto 1 = 44°S e 59° W, 34° S e 49° W e o transecto 2 = 48° S e 58° W, 37° S e 47° W). Esses pontos foram escolhidos pelo motivo de passarem pelo núcleo da CB e da CM, que pode ser analisado, através dos gráficos traçados em planilha do programa EXCEL.EXE, que é onde ocorrem os maiores gradientes de temperatura.

A partir desta etapa pode ocorrer a demarcação da linha de Confluência Brasil-Malvinas, identificação e cálculo das respectivas temperaturas (das Correntes do Brasil e Malvinas) e a detecção da presença de sinais de variabilidade de mesoescala. Onde as principais feições de mesoescala e os campos de TSM foram analisados e interpretados para a estimativa das variabilidades de TSM. Os transectos foram traçados mensalmente nas imagens de TSM ao longo do ano de 2005 para estimativa dos gradientes de temperatura entre a CB e CM:

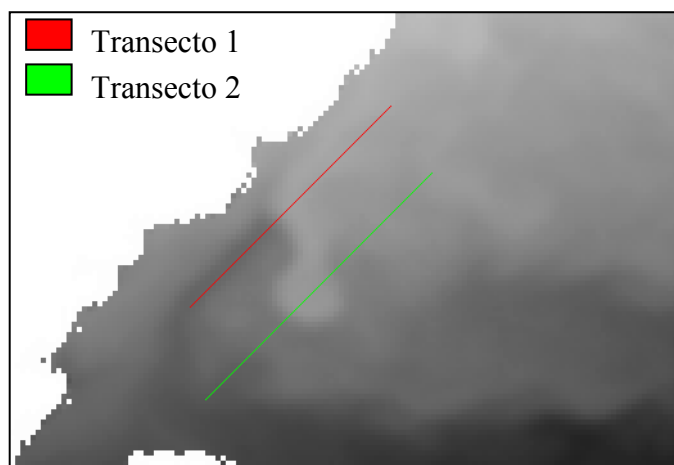


## CAPÍTULO 7

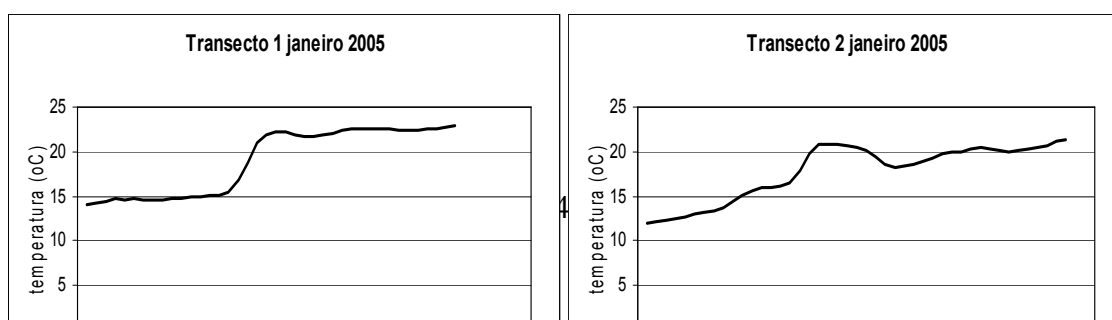
### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 7.1 – Transectos e a variabilidade da TSM.

Foi realizada a marcação entre quatro pontos na região de estudos (transecto 1 = 44° S e 59° W, 34° S e 49° W e o transecto 2 = 48° S e 58° W, 37° S e 47° W). Esses pontos foram escolhidos pelo motivo de passarem pelo núcleo da CB e da CM, apresentam maior contraste de temperaturas. Adiante serão analisados os gráficos traçados em planilha do programa EXCEL.EXE, através dos dados obtidos dos transectos, e juntamente as imagens da TSM onde ocorrem os maiores gradientes de temperatura - que é a relação entre maior e menor temperatura e sua distância - proporcionando o entedimento da variabilidade da TSM. A Figura 5 a seguir, mostra os pontos exatos onde foram traçados os transectos:

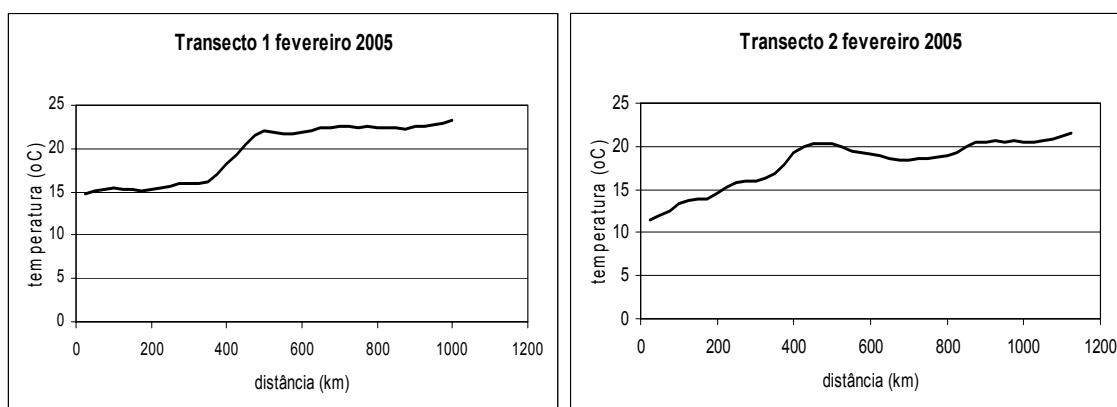


**Figura 5:** Representação dos transectos 1 e 2. Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.



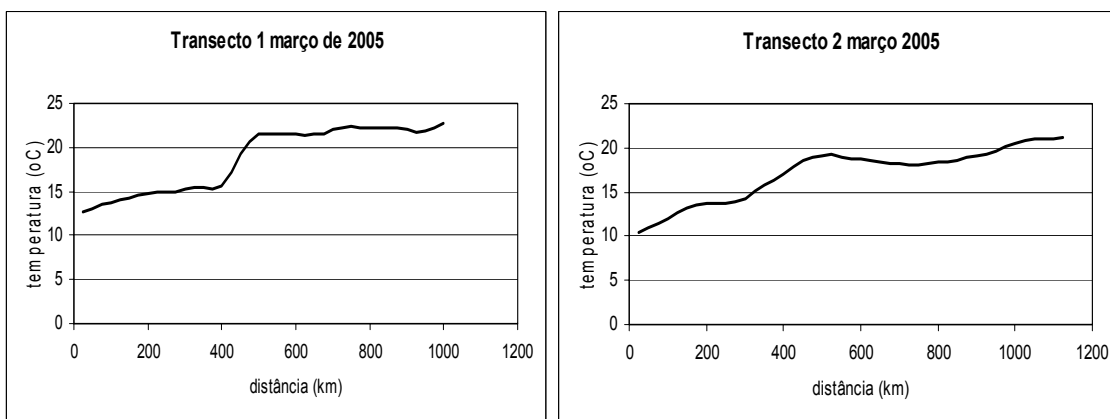
**Figura 6:** Transectos 1 e 2 janeiro 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 15, 15 oC e temperatura máxima da CB 22,2 oC, numa variação de 125km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 16,5 oC e temperatura máxima da CB 20,85 oC numa variação de 75km (Figura 6).



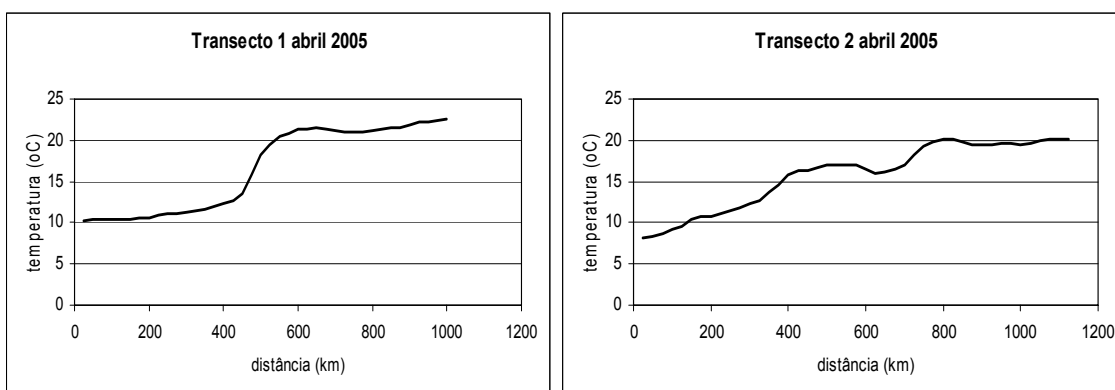
**Figura 7:** Transectos 1 e 2 fevereiro 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 15,9 oC e temperatura máxima da CB 21,6 oC numa variação de 150km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 15,9 oC e temperatura máxima da CB 20,25 oC numa variação de 175km (Figura7).



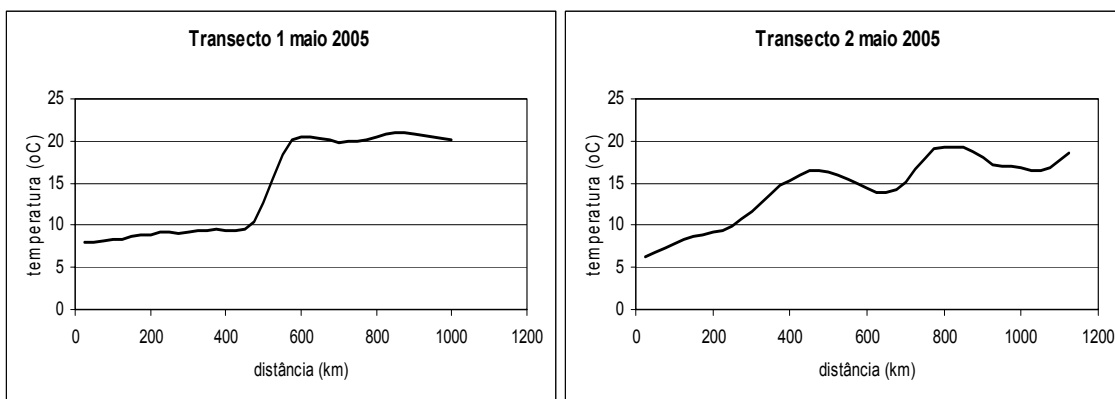
**Figura 8:** Transectos 1 e 2 março 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 15,6 oC e temperatura máxima da CB 21,45 oC numa variação de 100km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 14,05 oC e temperatura máxima da CB 19,5 oC numa variação de 200km (Figura 8).



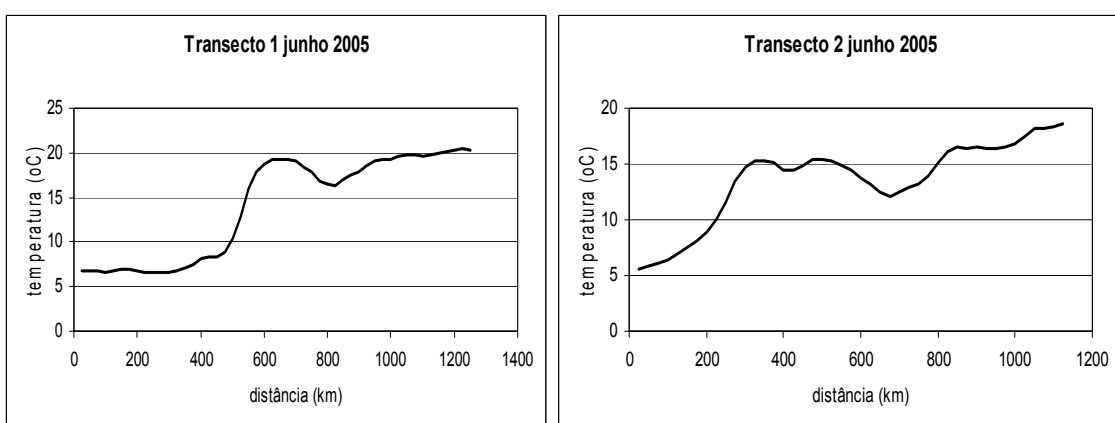
**Figura 9:** Transectos 1 e 2 abril 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 13,5 oC e temperatura máxima da CB 21,3 oC numa variação de 150km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 10,8 oC e temperatura máxima da CB 16,35 oC numa variação de 225km (Figura 9).



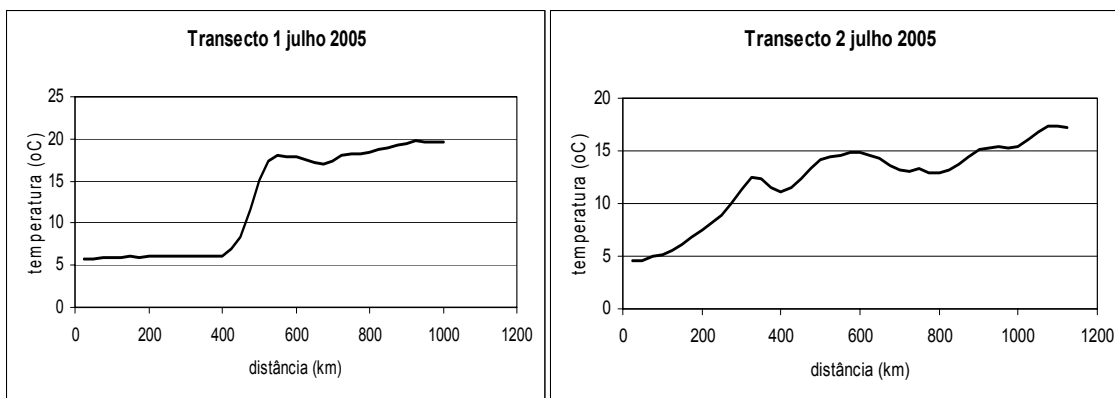
**Figura 10:** Transectos 1 e 2 maio 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 9,6 oC e temperatura máxima da CB 20,55 oC numa variação de 150km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 9,45 oC e temperatura máxima da CB 16,5 oC numa variação de 225km (Figura 10).



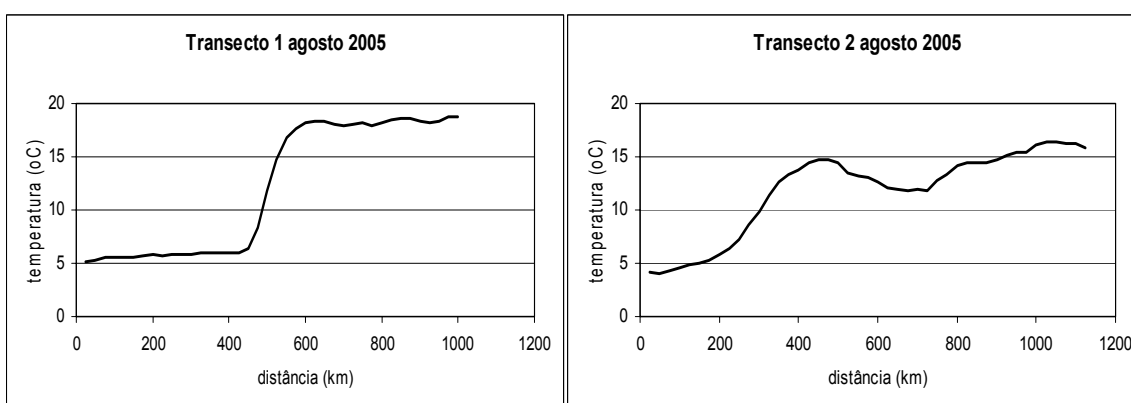
**Figura 11:** Transectos 1 e 2 junho 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 8,25 oC e temperatura máxima da CB 19,2 oC numa variação de 175km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 5,55 oC e temperatura máxima da CB 15,3 oC numa variação de 300km (Figura 11).



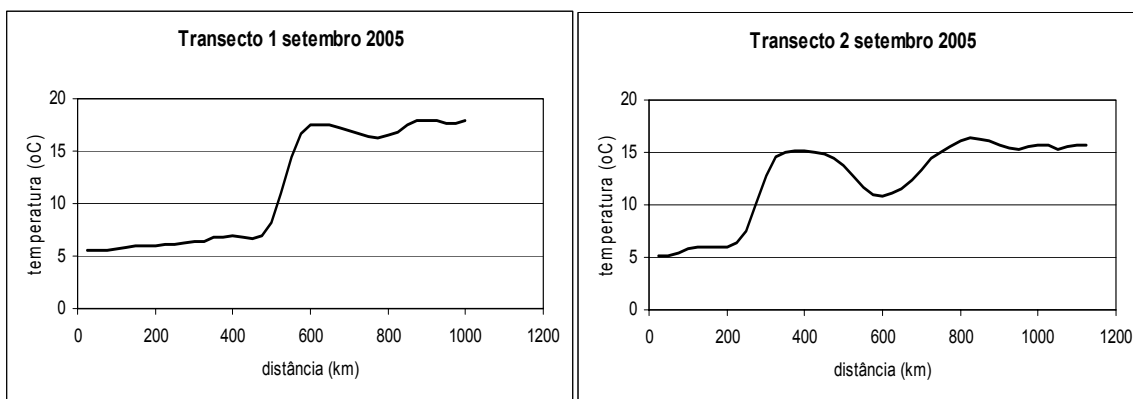
**Figura 12:** Transectos 1 e 2 julho 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 6,15 oC e temperatura máxima da CB 18 oC numa variação de 150km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 5,1 oC e temperatura máxima da CB 12,45 oC numa variação de 225km (Figura 12).



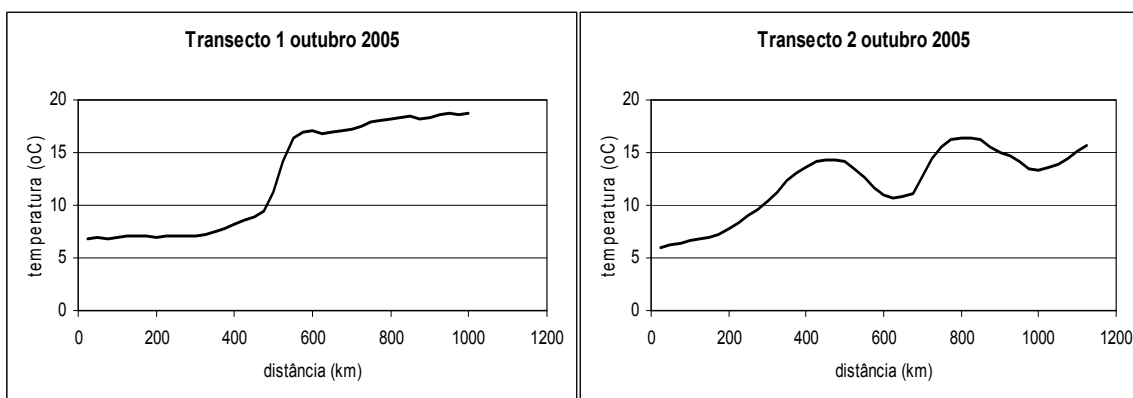
**Figura 13:** Transectos 1 e 2 agosto 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 6 oC e temperatura máxima da CB 18,5 oC numa variação de 175km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 4,05 oC e temperatura máxima da CB 14,7 oC numa variação de 400km (Figura 13).



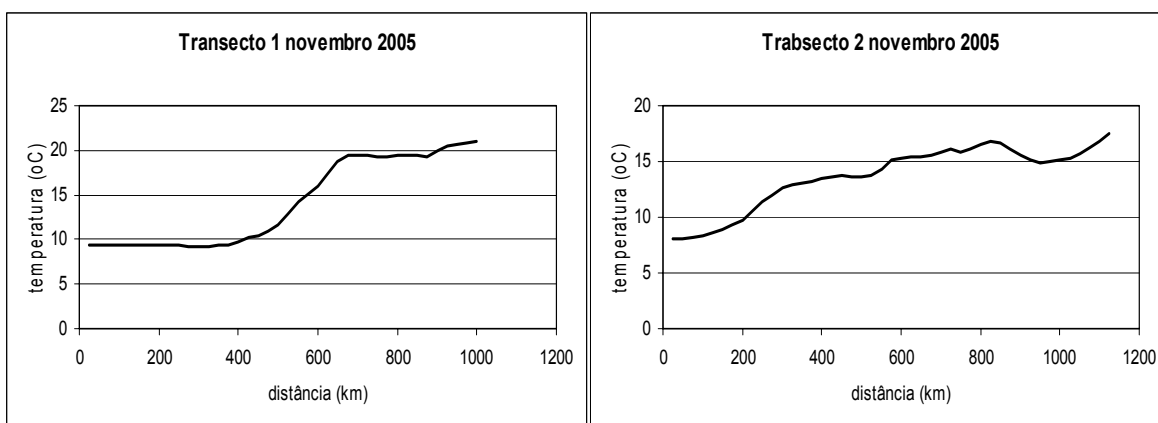
**Figura 14:** Transectos 1 e 2 setembro 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 6,9 oC e temperatura máxima da CB 17,55 oC numa variação de 125km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 6 oC e temperatura máxima da CB 14,55 oC numa variação de 125km (Figura 14).



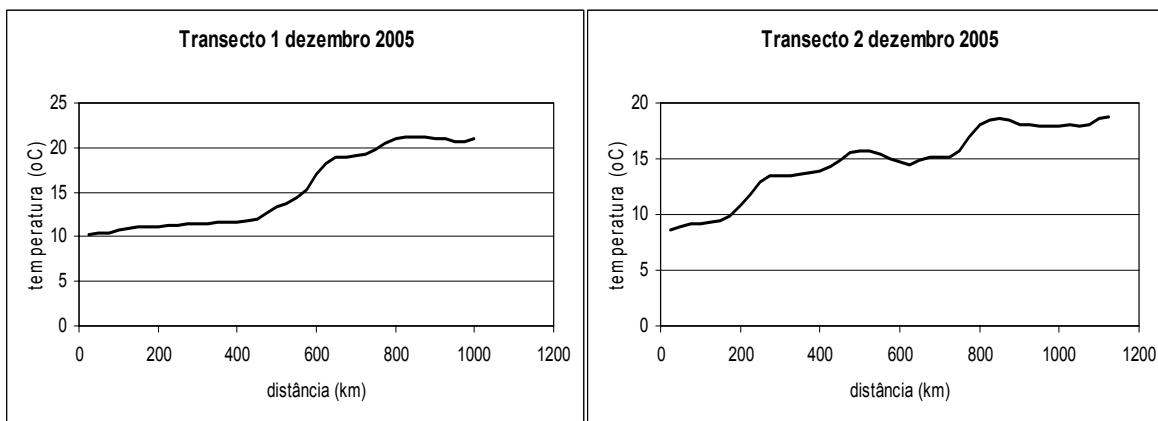
**Figura 15:** Transectos 1 e 2 outubro 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 9,45 oC e temperatura máxima da CB 19,95 oC numa variação de 100km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 6,9 oC e temperatura máxima da CB 14,25 oC numa variação de 300km (Figura 15).



**Figura 16:** Transectos 1 e 2 novembro 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 11,7 oC e temperatura máxima da CB 19,5 oC numa variação de 175km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 8,25 oC e temperatura máxima da CB 12,9 oC numa variação de 250km (Figura 16).



**Figura 17:** Transectos 1 e 2 dezembro 2005.

Transecto 1: apresenta temperatura mínima da CM 12oC e temperatura máxima da CB 18,9oC numa variação de 225km. Transecto 2: apresenta temperatura mínima da CM 9,3oC e temperatura máxima da CB 13,5 oC numa variação de 150km (Figura 17).

Através da análise das imagens e dos gráficos traçados são obtidos os seguintes resultados: a máxima temperatura registrada na CB foi de 22,2oC no mês de janeiro e a

mínima registrada foi de 16,95°C no mês de outubro. Na CM a máxima temperatura registrada foi de 15,9°C no mês de fevereiro e a mínima foi de 6°C no mês de agosto. Sendo essa variação inconstante.

A variação da quilometragem do transecto 1 se dá entre 25 km, 50 km e 75 km. A maior variação é de 75 km e se dá entre os meses de novembro e dezembro. A variação de 50 km se dá entre os meses de fevereiro a abril. A menor variação registrada é de 25 km e ocorre entre janeiro e fevereiro, maio a outubro. O transecto 2 apresenta maior variabilidade dessa quilometragem apresentando variações de 275 km até 25 km. A maior variação que é de 275 km se dá entre os meses de agosto e setembro e a menor variação que é de 25 km se dá entre os meses de março e abril.

A variabilidade desse posicionamento ocorre principalmente no transecto 1 por passar exatamente pelo núcleo da CB e CM. Essas águas mais próximas à costa recebem influência imediata da sua corrente de origem sem sofrerem modificações em sua temperatura. Diferente do transecto 2 que se encontra um pouco mais afastado da costa onde ocorre uma mistura maior e perda das características de suas águas.

## **7.2. Variabilidade no posicionamento da linha de Confluência Brasil-Malvinas**



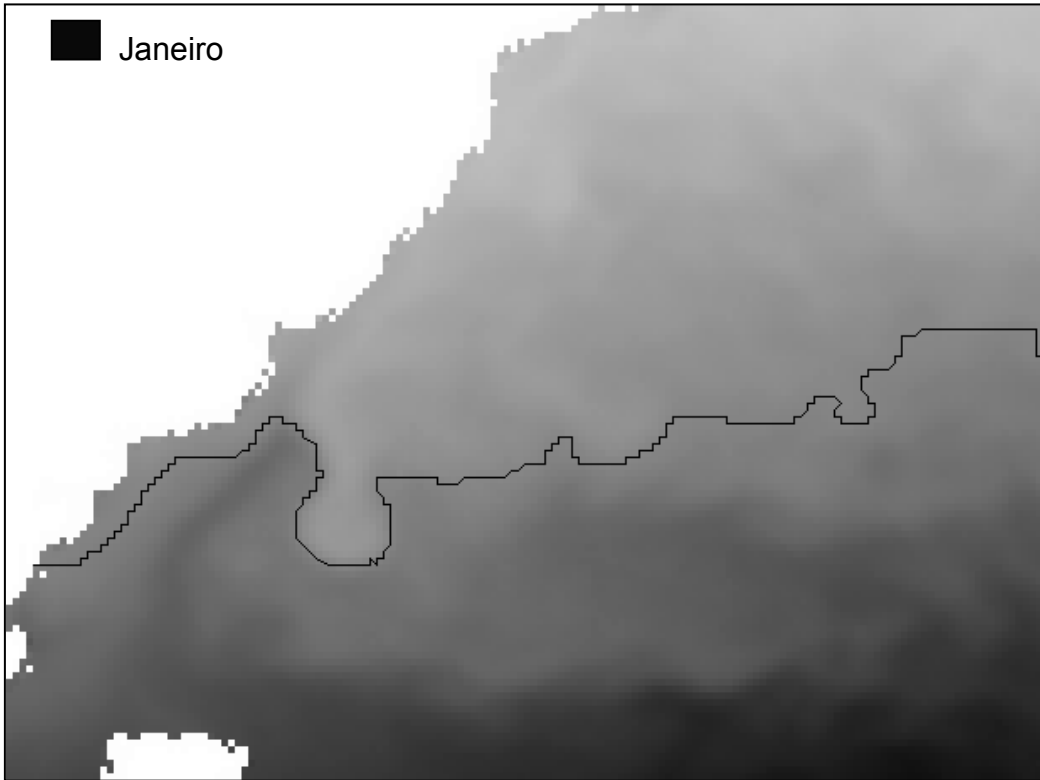
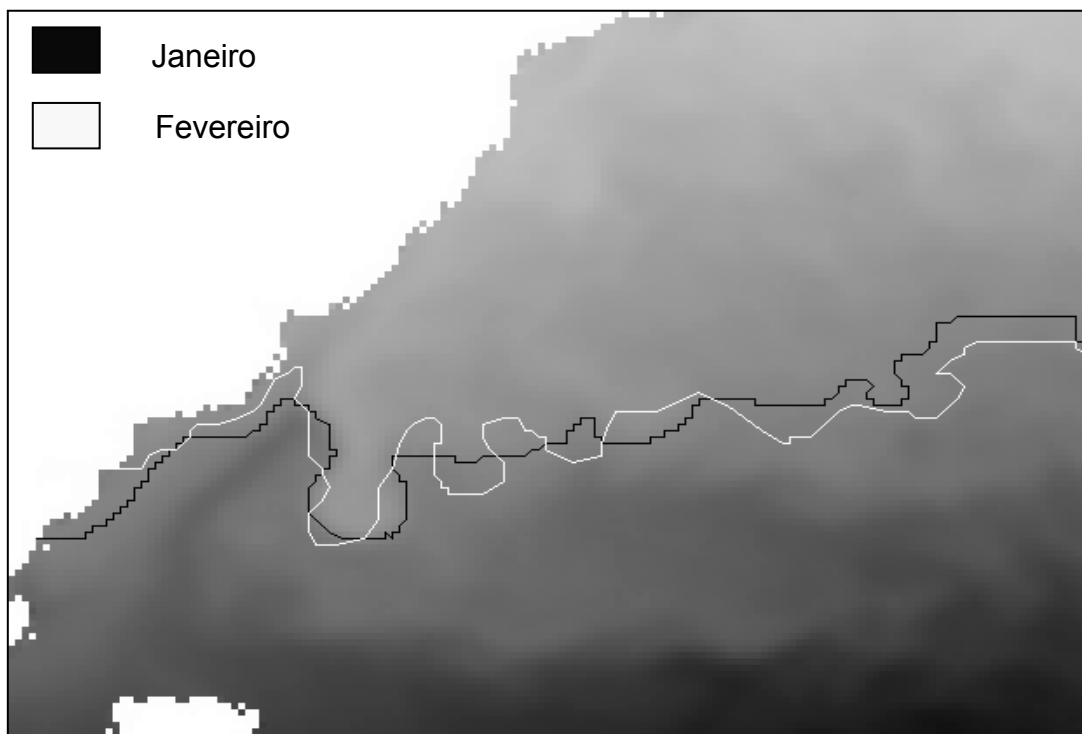


Figura 18: Imagem da CBM no mês de janeiro 2005. Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

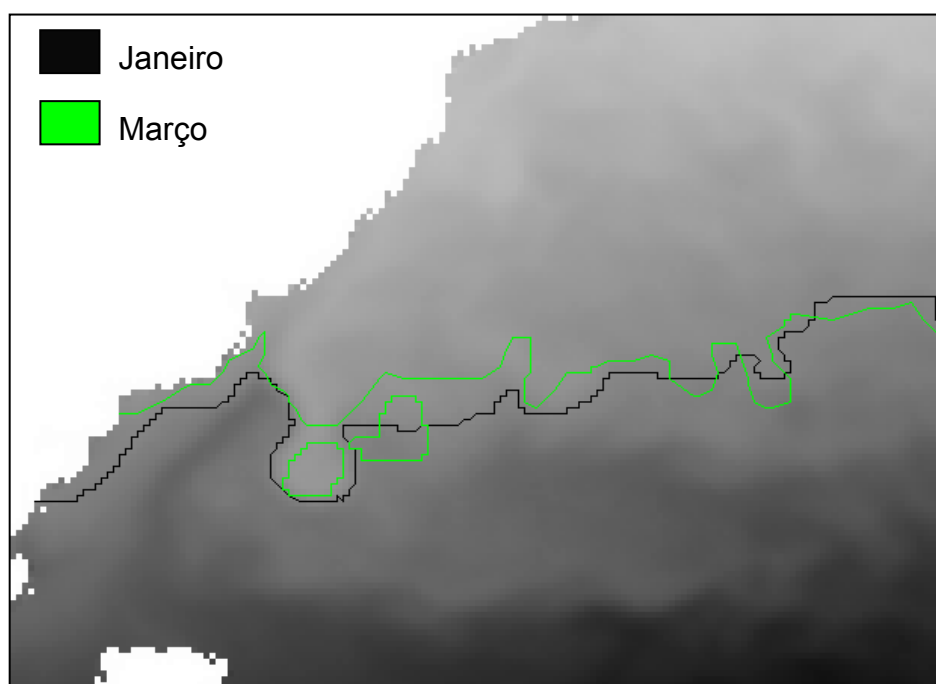
A linha traçada para CBM no mês de janeiro encontra-se posicionada a 41°S de latitude. Atividade meandrante calma, como mostra a Figura 18.



**Figura 19:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e fevereiro 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

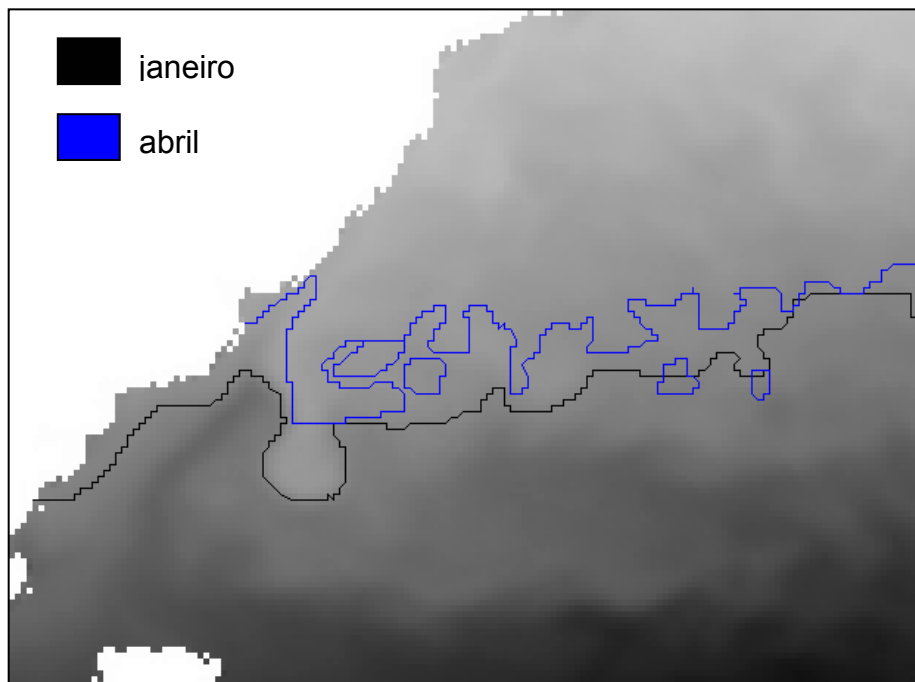
A linha traçada para CBM no mês de fevereiro encontra-se posicionada a 43°S de latitude. Atividade meandrante turbulenta e certa estabilidade de sua posição, como mostra a Figura 19.



**Figura 20:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e março 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

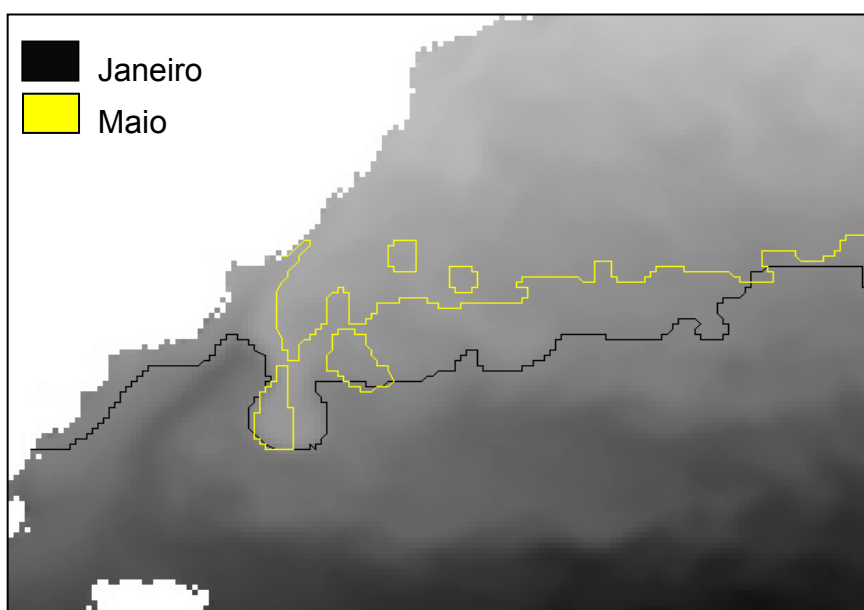
A linha traçada para CBM no mês de março encontra-se posicionada a 39°S de latitude. Presença de dois vórtices de núcleo quente desprendidos da CB, como mostra a figura 20.



**Figura 21:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e abril 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

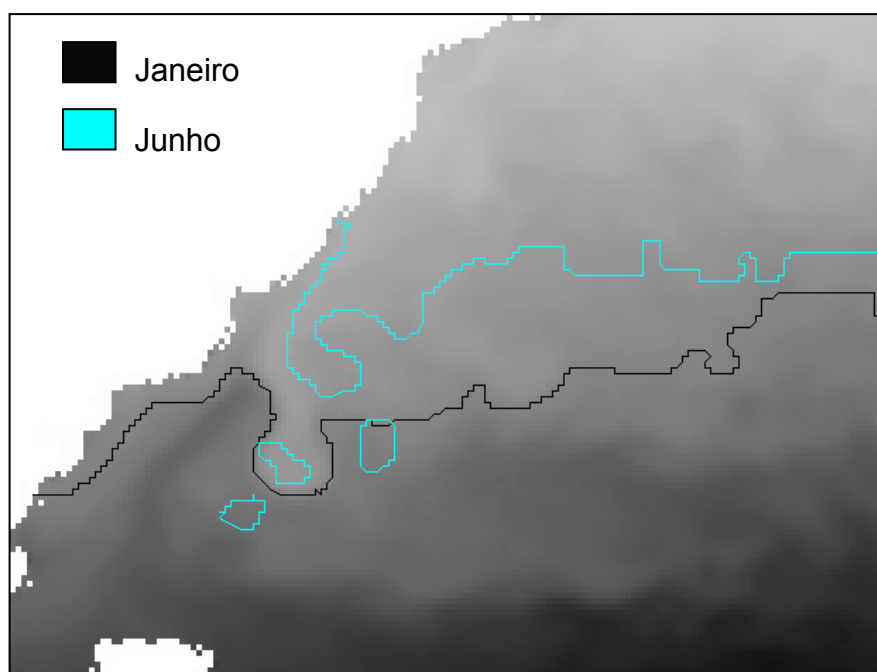
A linha traçada para CBM no mês de abril encontra-se posicionada a 38°S de latitude. Atividade meandrante turbulenta, presença de quatro vórtices de núcleo quente desprendidos da CB e avanço para norte da linha de Confluência, como mostra a Figura 21.



**Figura 22:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e maio 2005

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

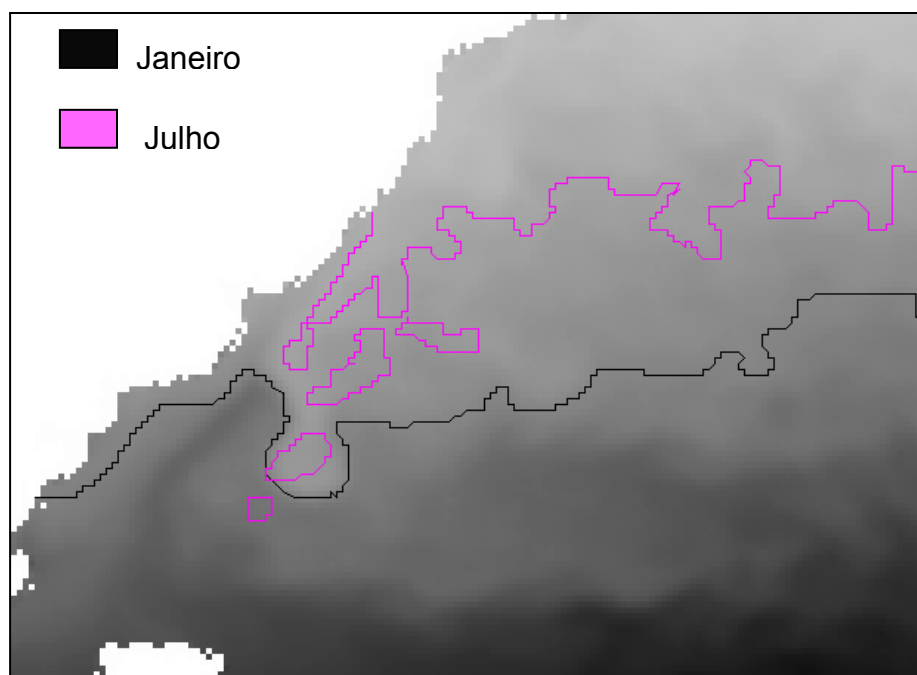
A linha traçada para CBM no mês de maio encontra-se posicionada a 38°S de latitude. Atividade meandrante pouco turbulenta. Presença de dois vórtices de núcleo frio desprendidos da CM e dois vórtices de núcleo quente desprendidos da CB, pequeno avanço da CBM para norte, como na Figura22.



**Figura 23:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e junho 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

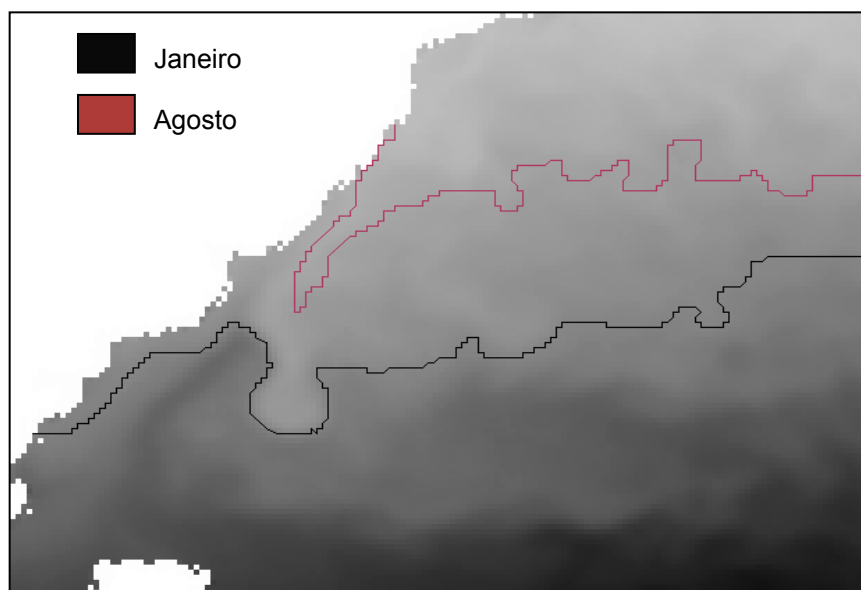
A linha traçada para CBM no mês de junho encontra-se posicionada a 37°S de latitude. Atividade meandrante calma. Presença de três vórtices de núcleo quente desprendidos da CB. Contínuo avanço da linha de Confluência para norte, como mostra a Figura 23.



**Figura 24:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e julho 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

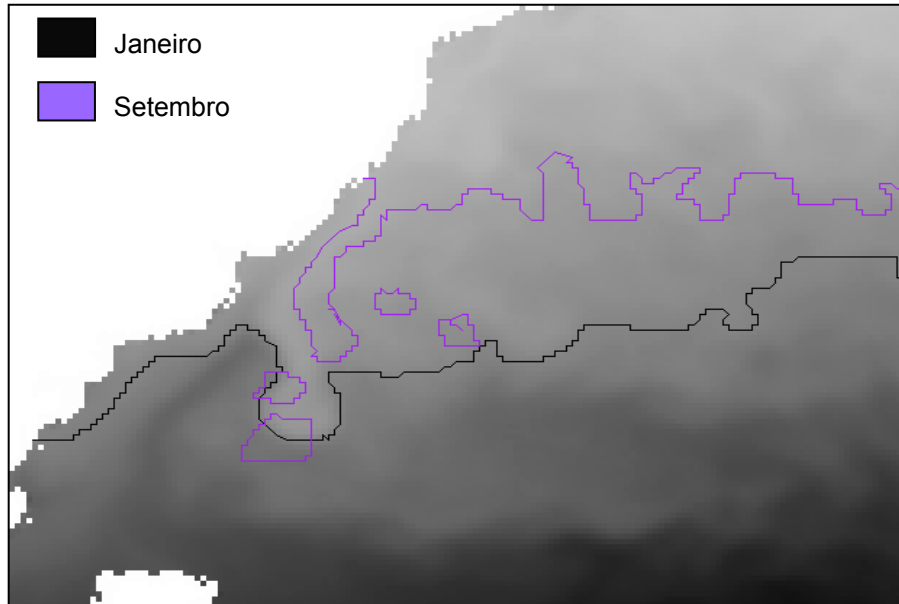
A linha traçada para CBM no mês de julho encontra-se posicionada a 37°S de latitude. Atividade meandrante bastante turbulenta. Presença de cinco vórtices de núcleo quente desprendidos da CB. Leve avanço para norte da Confluência, como mostra a Figura 24.



**Figura 25:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e agosto 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

A linha traçada para CBM no mês de agosto encontra-se posicionada a 34°S de latitude. Atividade meandrante pouco turbulenta. Avanço considerável da linha de confluência para norte, como mostra a Figura 25.

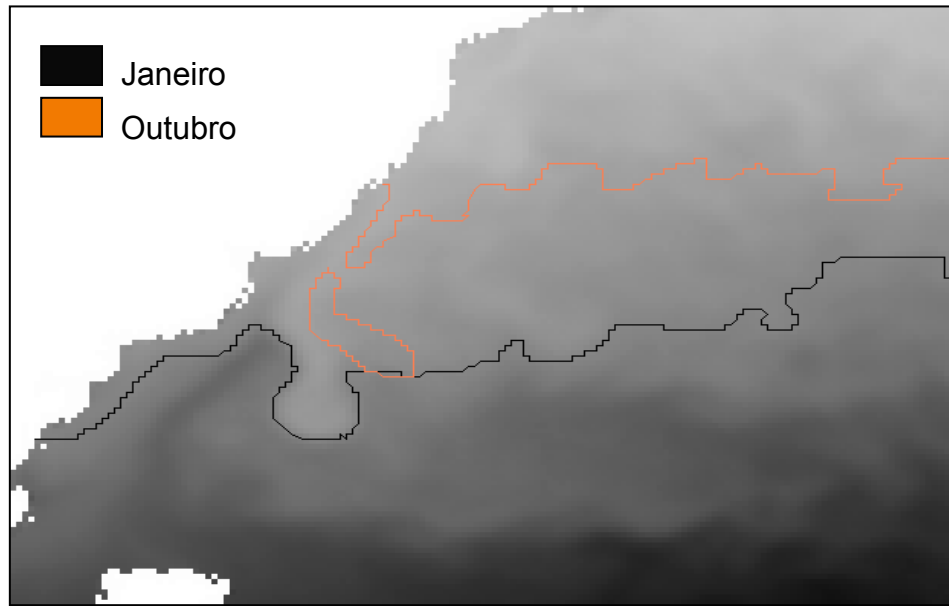


**Figura 26:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e setembro 2005.

Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

A linha traçada para CBM no mês de setembro encontra-se posicionada a 33°S de latitude. Atividade meandrante bastante turbulenta. Presença de quatro vórtices de núcleo quente desprendidos da CB. Mês que apresenta maior avanço da linha de Confluência, como mostra a Figura 26.

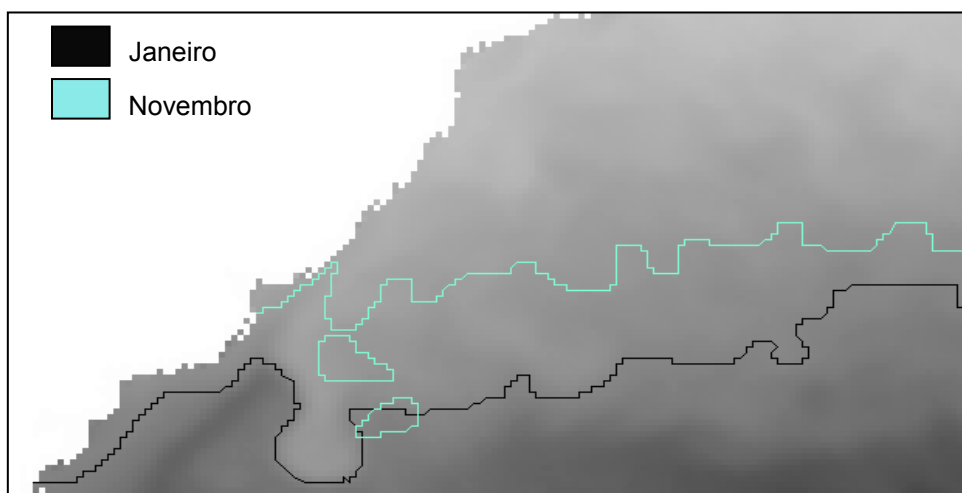




**Figura 27:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e outubro 2005.

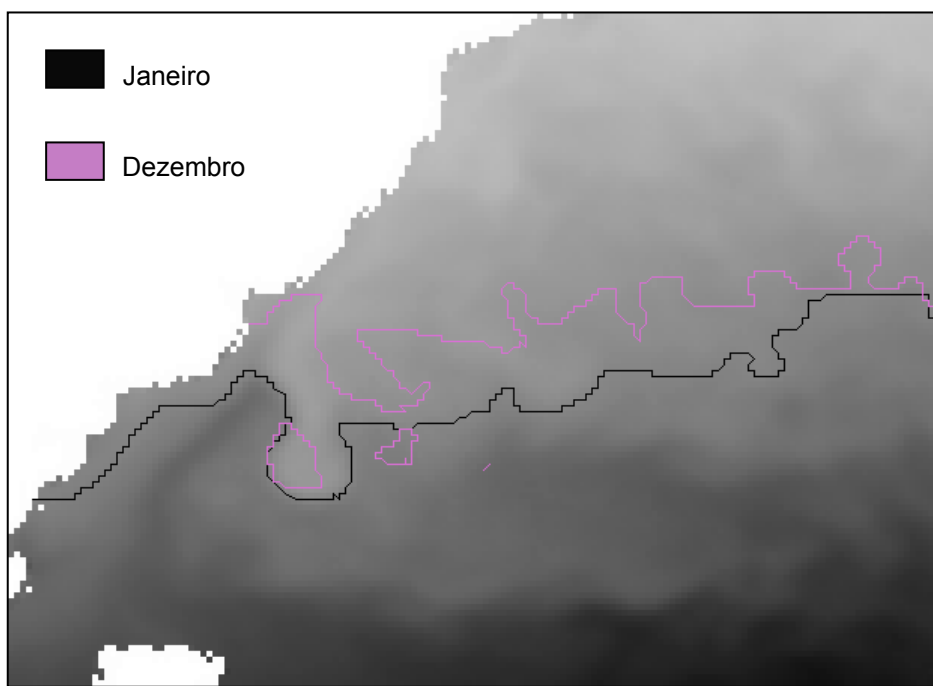
Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

A linha traçada para CBM no mês de outubro encontra-se posicionada a 34°S de latitude. Atividade meandrante pouco turbulenta. Presença de um vórtice de núcleo quente desprendido da CB. A linha de Confluência volta avançar para sul, ou seja, a temperatura começa aumentar novamente na região, como visto na Figura 27.



**Figura 28:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e novembro 2005. Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005.

A linha traçada para CBM no mês de novembro encontra-se posicionada a 36°S de latitude. Atividade meandrante calma. Presença de dois vórtices de núcleo quente. Forte avanço da linha de Confluência, como mostra a Figura 28.



**Figura 29:** Imagem da CBM e sua variabilidade nos meses de janeiro e dezembro 2005. Fonte: [www.remss.com](http://www.remss.com) AMSR-E monthly SST for January 2005

A linha traçada para CBM no mês de dezembro encontra-se posicionada a 37°S de latitude. Atividade meandrante turbulenta. Presença de dois vórtices de núcleo quente desprendidos da CB. A linha de Confluência continua avançando para sul como visto na Figura 29.

A variabilidade no posicionamento da linha de Confluência Brasil-Malvinas, ocorre sazonalmente, como citado no capítulo 2.6. Através de observações e anotações feitas no programa ENVI 4.2 pode ser constatado que no ano de 2005 não ocorreu nenhuma anomalia em sua posição, que pode ser melhor observado nas figuras 1 a 12, do presente capítulo.

No mês de janeiro o posicionamento da linha de Confluência mantém-se a latitude 41°S. No mês de fevereiro ocorreu um pequeno avanço para sul da linha de confluência, chegando a latitude de 42°S. No mês de março tem início o deslocamento da linha para norte, havendo algumas oscilações entre 39° S e 33° S gradativamente de sua latitude, entre os meses de março a setembro. Sendo o máximo avanço registrado nos meses de agosto a setembro, 34° S e 33°S de latitude respectivamente.

### 7.3. Gradientes de temperatura.

	Transecto 1	Transecto 2
Janeiro	0,047	0,048
Fevereiro	0,038	0,025
Março	0,058	0,024
Abril	0,052	0,025

Maio	0,073	0,031
Junho	0,062	0,032
Julho	0,079	0,033
Agosto	0,071	0,027
Setembro	0,085	0,068
Outubro	0,075	0,024
Novembro	0,044	0,019
Dezembro	0,031	0,028

**Tabela 2:** Gradientes de temperatura dos transectos 1 e 2.

O transecto 1 apresenta os maiores índices de gradiente de temperatura, por passar exatamente pelo núcleo da CB e da CM, onde há a maior variabilidade de temperatura, apresenta maior constância em sua variação. O transecto 2 se mostra um pouco menos constante, pois se localiza numa região de maior mistura das águas, sofre menos influência direta de suas correntes de origem que o transecto 1 (Tabela 2).

Através da interpretação dos gráficos de gradiente de temperatura, foram obtidos os seguintes resultados: pode ser observado, que no transecto 1 os meses de maio até o outubro são os que apresentam os maiores índices de gradiente de temperatura, registrando entre 0,073 oC/km e 0,085 oC/km e o menor índice no mês de dezembro apresentando 0,031oC/km. E no transecto 2 os meses que apresentam o maior índice de gradiente de temperatura são janeiro com 0,048 oC/km e setembro com 0,068oC/km e o menor índice em novembro.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSÕES

- A máxima temperatura registrada na CB foi de 22,2oC no mês de janeiro e a mínima registrada foi de 16,95oC no mês de outubro.

- A máxima temperatura registrada na CM foi de 15,9°C no mês de fevereiro e a mínima foi de 6°C no mês de agosto.
- A variação da quilometragem do transecto 1 se dá entre 25 km, 50 km e 75 km.
- O transecto 2 apresenta maior variabilidade dessa quilometragem apresentando variações de 275 km até 25 km.
- Pode ser observado, que no transecto 1 os meses de maio até o outubro são os que apresentam os maiores índices de gradiente de temperatura, registrando entre 0,073 °C/km e 0,085 °C/km e o menor índice no mês de dezembro apresentando 0,031 °C/km.
- E no transecto 2 os meses que apresentam o maior índice de gradiente de temperatura são janeiro com 0,048 °C/km e setembro com 0,068 °C/km e o menor índice em novembro.
- O posicionamento limite de afastamento para sul da CBM é registrado em fevereiro com 43°S, e para norte de 33°S no mês de setembro.

Em relação ao gradiente o transecto 1 apresenta os maiores índices de gradiente de temperatura, por passar exatamente pelo núcleo da CB e da CM e por se localizarem mais próximas à costa recebem influência imediata da sua corrente de origem sem sofrerem muitas modificações em sua temperatura. Apresenta maior constância na sua variação.

O transecto 2 se mostra um pouco menos constante, pois se localiza numa região pouco mais afastada da costa, onde ocorre maior mistura e leve perda das características de suas águas, sofre menos influência direta de suas correntes de origem que a região do transecto 1.

Quanto à variabilidade no posicionamento da linha de Confluência Brasil-Malvinas, ocorre sazonalmente, como citado no capítulo 2.6. Pode ser constatado que no ano de 2005 não ocorreu nenhuma anomalia em seu posicionamento.

## **CAPÍTULO 9**

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Amaldi, U. (1995). Imagem da física. São Paulo: Scipione.
- Fedorov, K.N., (1983). Lecture and Notes on Coastal and Estuarine Studies. The Physical Nature and Structure of Oceanic Fronts. Spring-Verlag.
- Ferreira, N. J. (2004). Organizador. Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Florenzano, T. G. (2002). Imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Textos, São Paulo, SP.

- Giarolla, E. (1999). Investigação numérica da variabilidade de mesoescala na Confluência das correntes Brasil – Malvinas induzida pela atmosfera. Pub. 1. INPE, S. J. dos Campos, SP.
- Godoi, S.S., (1983). Estudo das variações sazonais da Frente Oceânica Subtropical entre a Corrente do Brasil e a Corrente das Malvinas, utilizando dados oceanográficos e dados do satélite SMS-2. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto - Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos - SP, Brasil.
- Halliday, D. e Resnick, R. (1981). Física. 3 ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos.
- Moreira, M. A. (2001). Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos Campos, SP.
- Peterson, R. G.; Stramma, L. (1991). Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. Progress in Oceanography. [S.I.], n.26.
- Resnichenko, Y. (2003). Fenômenos oceanográficos de mesoescala en el Atlântico Sudoccidental a partir de imagenes AMSR-E entre setiembre y diciembre de 2002. XVI Curso Internacional em sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. S. J. Campos, SP.
- Souza, R.B. Organizador. (2005). Oceanografia por satélites. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Souza, R. B. e Robinson, I. S. (1998). Langragian and infrared observations of surface currents in the Brazil – Malvinas Confluence zone, 1993 – 1994 em International WOCE Newsletter. Número 31. Reino Unido.
- Souza, R. B. Sensoriamento Remoto dos Oceanos. (2003). Espaço & Geografia, 6: 123-145.
- Souza, R.B. Mata, M. M. Garcia, C. A.E.; Kampel M.; Oliveira, E. N.; Lorenzetti , J. A. (2006). *Multi-sensor satellite and in situ measurements of a warm core ocean eddy south of Brazil - Malvinas Confluence region*. Remote Sensing of environment, 100:52-66. doi:10.1016/j.rse.2005.09.018. Submetido para Remote Sensing of Environment.
- Souza, R. B. (2006). Aulas Sensoriamento Remoto, DSR, não publicado.

