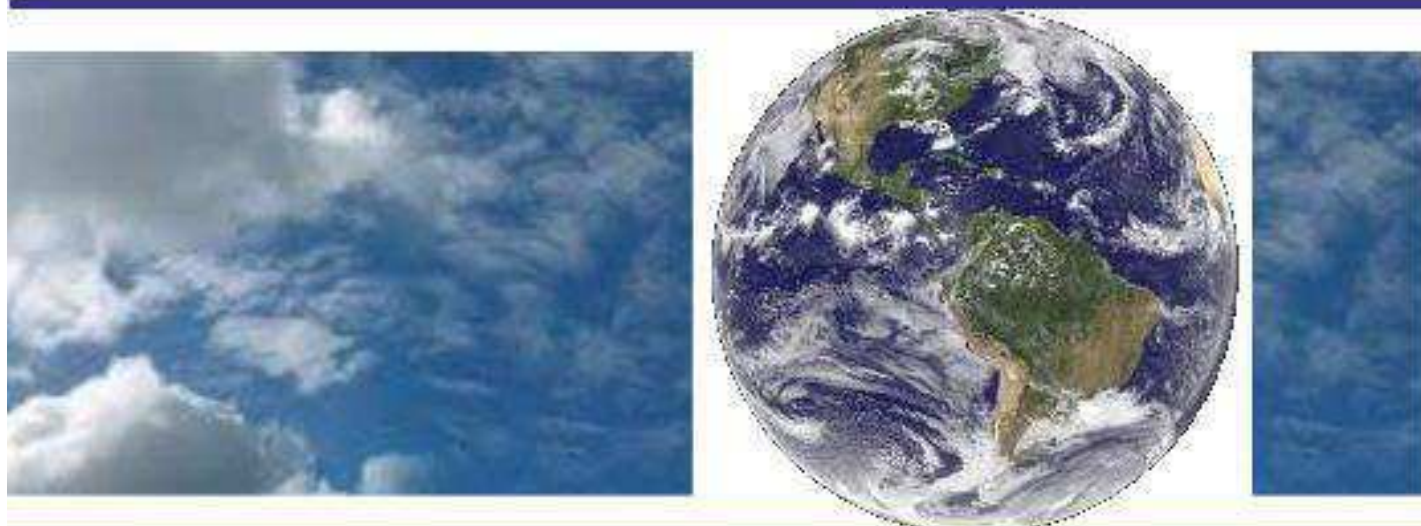


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



Tese de Doutorado

HUDSON ELLEN ALENCAR MENEZES

**INFLUÊNCIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA SECUNDÁRIA DO
ATLÂNTICO SUL SOBRE A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO
LESTE DO NORDESTE BRASILEIRO**

Campina Grande, Setembro de 2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA
CURSO DE DOUTORADO EM METEOROLOGIA



TESE DE DOUTORADO

**INFLUÊNCIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA SECUNDÁRIA DO ATLÂNTICO
SUL SOBRE A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO LESTE DO NORDESTE
BRASILEIRO**

HUDSON ELLEN ALENCAR MENEZES

JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Orientador

Campina Grande – PB, setembro de 2010.

**INFLUÊNCIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA SECUNDÁRIA DO ATLÂNTICO
SUL SOBRE A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO LESTE DO NORDESTE
BRASILEIRO**

TESE DE DOUTORADO DEFENDIDA EM 10 DE SETEMBRO DE 2010

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Doutor.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Orientador: José Ivaldo Barbosa de Brito

Aluno: Hudson Ellen Alencar Menezes

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCG**

M543i Menezes, Hudson Ellen Alencar.
Influência da zona de convergência secundária do Atlântico Sul sobre a ocorrência de precipitação no leste do nordeste brasileiro / Hudson Ellen Alencar Menezes. - Campina Grande, 2010.
85 f.

Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2010.
"Orientação : Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".
Referências.

1. Temperatura de Superfície - Nordeste - Brasil. 2. Mar - Costa Leste - Brasil. 3. Precipitação - Nordeste - Brasil. 4. Tese - Meteorologia. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). III. Título


CDU 551.525.2(812/813)(043)


HUDSON ELLEN ALENCAR MENEZES


INFLUÊNCIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA SECUNDÁRIA DO ATLÂNTICO SUL
SOBRE A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO NO LESTE DO NORDESTE BRASILEIRO

TESE APROVADA EM 10/9/2010

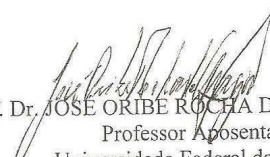
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. JOSÉIVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Universidade Federal do Vale do São Francisco


Prof. Dr. JOSÉ ORIBE ROCHA DE ARAGÃO
Professor Aposentado
Universidade Federal da Paraíba

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Cícero Menezes e Maria Eleuzina; e aos meus irmãos, Havorraíne Ellen, Hamstrong Ellen, Riackson Ellen e Rickson Ellen.

Em especial a minha esposa, Eulália Lauryane; e a minha filha, Brenda Ellen.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o referencial absoluto do universo.

Ao meu orientador, José Ivaldo Barbosa de Brito pela paciência, confiança e incentivo fundamentais para conclusão deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (UACA/UFCG), pelos ensinamentos e dedicações no decorrer do curso.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UACA/UFCG, Enio Pereira de Souza, pelo incentivo.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UACA/UFCG, por estarem sempre prontos a ajudar.

A UNIVASF pela liberação de minhas atividades para conclusão deste trabalho.

A CAPES por disponibilizar bolsa durante 5 (cinco) meses.

Ao CNPq por disponibilizar bolsa durante 27 (vinte e sete) meses.

Ao Pesquisador José Maria Brabo Alves e aos professores Enilson Palmeira Cavalcanti, Manoel Francisco Gomes Filho, Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão e José Oribe Rocha de Aragão pelas valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas, em especial a Lindenberg, que acreditaram e/ou contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Com o objetivo de identificar e analisar as características atmosféricas no Atlântico Tropical associadas à Zona de Convergência Secundária do Atlântico Sul (ZCSAS) e relacioná-las com a ocorrência de precipitação no Nordeste do Brasil, foram utilizados dados de temperatura da superfície do mar (TSM), campos zonal e meridional do vento, temperatura do ar, umidade específica, omega (velocidade vertical), pressão reduzida ao nível médio do mar, precipitação em pontos de grade regular de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ do Centro Diagnóstico Climático (CDC) da Administração Nacional do Oceano e Atmosfera (NOAA, sigla em inglês); dados de precipitação diária da Agência de Gestão das águas do Estado da Paraíba (AESAs), do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco do Instituto Tecnológico de Pernambuco (LAMAPE/ITEP) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de maio de 1982 a agosto de 2006; foram usados também dados da atuação de sistemas frontais no Brasil para o período de maio de 1987 a agosto de 2005 extraídos do Boletim Climanálise. Os resultados obtidos mostraram que o aumento da TSM na costa oeste da América do Sul pode produzir movimento ascendente naquela região e descendente sobre o Atlântico Tropical Oeste dificultando a formação da ZCSAS; verificou-se aumento do gradiente longitudinal de TSM, da pressão reduzida ao nível médio do mar, da temperatura do ar e umidade específica em 1000 hPa nos anos de atuação da ZCSAS do que nos sem atuação e de neutralidade; a ZCSAS contribui para o aumento da precipitação no leste do Nordeste, mas a sua ausência não produz secas, pois a ZCSAS é apenas um dos sistemas meteorológicos capaz de produzir chuvas no leste do NEB; a atuação de sistemas frontais no sul do Brasil provavelmente é um dos mecanismos para a formação da ZCSAS; e o centro de Alta pressão do Atlântico Sul mais fraco e deslocado para nordeste favorece a formação da ZCSAS.

Palavras-Chave: Zona de Convergência, Temperatura da Superfície do Mar, Nordeste do Brasil, El Niño, Dipolo do Atlântico, Sistemas Frontais.

ABSTRACT

The objective to identify and analyze the atmospheric features in the tropical Atlantic linked to South Atlantic Secondary Convergence Zone (SASCZ) and relate them to the occurrence of precipitation in northeast Brazil, were used sea surface temperature (SST) data, fields zonal and meridional wind, air temperature, specific humidity, omega (vertical wind), pressure reduced to mean sea level, precipitation at points of regular grid of $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ from the climate diagnostics center (CDC) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), daily precipitation data from Water Management Agency of the Paraíba state (AESA), from the Laboratory of Meteorology of the Technological Institute of Pernambuco (LAMEPE/ITEP) and National Institute of Meteorology (INMET) for the period May 1982 to August 2006, were also used data on the action of frontal systems in Brazil for the period May 1987 to August 2005 taken from the Bulletin Climanalise. The results showed that the increase in SST in the west coast of South America can produce upward movement in the region and descended on the Atlantic West Tropical hindering the formation of the SASCZ, there was increase in the longitudinal SST gradient, reduced pressure level average sea, air temperature and specific humidity at 1000 hPa in the years of operation of the ITCZ than in those without performance and neutrality, the SASCZ contributes to increased precipitation in the east of the northeast, but their absence does not produce dry, because the SASCZ is just one of weather systems capable of producing rainfall in eastern NEB; the role of frontal systems in southern Brazil is probably one of the mechanisms for the formation of the SASCZ, and the High pressure center of the South Atlantic weaker and shifted to the northeast favors the formation of the SASCZ.

Keywords: Convergence Zone, Sea Surface Temperature, Northeast Brazil, El Niño, Atlantic Dipole, Frontal Systems.

SUMÁRIO

	Pag.
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	xviii
1 INTRODUÇÃO	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificativa	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Região Nordeste	5
2.2 Zonas de Convergência	7
2.3 Zona de Convergência Secundária do Atlântico Sul	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Material	13
3.2 Métodos	14
3.2.1 Cálculo do Índice da ZCSAS	14
3.2.2 Correlação com os Oceanos Tropicais	15
3.2.3 Padrões Dinâmicos no Oceano Tropical	18
3.2.4 Relação com Precipitação no Leste do NEB	18
3.2.5 ZCSAS e Sistemas Frontais Austrais	20
3.2.6 ZCSAS e a Alta do Atlântico Sul	21
3.2.7 Método de Regressão Linear	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Série Temporal do índice de ZCSAS	24
4.1.1 Análise para o mês de maio:	24
4.1.2 Análise para o mês de junho:	26
4.1.3 Análise para o mês de julho:	27

4.1.4 Análise para o mês de agosto:	28
4.1.5 Análise para o quadrimestre maio-agosto:	30
4.2 Correlação com os Oceanos Tropicais	32
4.3 Padrões Dinâmicos no Oceano Atlântico Tropical	34
4.4 Relação com Precipitação no Leste do NEB	50
4.5 ZCSAS e Sistemas Frontais Austrais	54
4.6 ZCSAS e a Alta do Atlântico Sul	59
5 CONCLUSÕES	71
6 SUGESTÕES	73
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
8 ANEXO	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Vento (vetores), TSM (cores), divergência/convergência de massa para dois valores $+5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ e $-5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ com linhas sólidas/tracejadas, respectivamente e precipitação (rachurado em cinza - valores acima de 2mm/dia) para o mês de janeiro e julho de 2000	15
Figura 2 – Áreas do Oceano Pacífico Equatorial, conhecidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4	16
Figura 3 – Áreas do oceano Atlântico Tropical que foram calculados os TNAI e TSAI, associadas ao Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Atlântico	18
Figura 4 – Representação espacial dos postos Pluviométricos localizados nos estados da Paraíba e Pernambuco, cujas precipitações diárias foram utilizadas para relacioná-las com o índice da ZCSAS	20
Figura 5 – Área entre 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S (área de atuação de frente fria) localizada no sul do Brasil	21
Figura 6 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de maio .	25
Figura 7 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de junho	27
Figura 8 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de julho .	28
Figura 9 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de agosto	29
Figura 10 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para os meses de maio, junho, julho e agosto juntos	31
Figura 11 – Campo de temperatura da superfície do mar média (°C) no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	35
Figura 12 – Campo de temperatura da superfície do mar média (°C) no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	35
Figura 13 – Campo de temperatura da superfície do mar média (°C) no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	36

Figura 14 – Campo de precipitação média (mm) no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	37
Figura 15 – Campo de precipitação média (mm) no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	37
Figura 16 – Campo de precipitação média (mm) no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	38
Figura 17 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar média (hPa) no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	39
Figura 18 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar média (hPa) no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	39
Figura 19 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar média (hPa) no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	40
Figura 20 – Campo de temperatura do ar média (K) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	41
Figura 21 – Campo de temperatura do ar média (K) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	41
Figura 22 – Campo de temperatura do ar média (K) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	42
Figura 23 – Campo de umidade específica média (g.kg^{-1}) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	43
Figura 24 – Campo de umidade específica média (g.kg^{-1}) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	43
Figura 25 – Campo de umidade específica média (g.kg^{-1}) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	44

Figura 26 – Campo de omega médio ($m.s^{-1}$) para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	45
Figura 27 – Campo de omega médio ($m.s^{-1}$) para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	45
Figura 28 – Campo de omega médio ($m.s^{-1}$) para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	46
Figura 29 – Campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	47
Figura 30 – Campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	47
Figura 31 – Campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	48
Figura 32 – Campo de linha de corrente média para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994	48
Figura 33 – Campo de linha de corrente média para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999	49
Figura 34 – Campo de linha de corrente média para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006	49
Figura 35 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das 20 localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	50
Figura 36 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das 20 localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	51
Figura 37 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das 20 localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	52

Figura 38 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das 20 localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	53
Figura 39 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de maio	56
Figura 40 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de junho	57
Figura 41 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de julho	57
Figura 42 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de agosto	58
Figura 43 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	59
Figura 44 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	60
Figura 45 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	61
Figura 46 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	62
Figura 47 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	63
Figura 48 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	64
Figura 49 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	65
Figura 50 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	66

Figura 51 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	67
Figura 52 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	68
Figura 53 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	69
Figura 54 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana	70
Figura 55 – Imagens do satélite Meteosat representando a atuação da ZCSAS no dia 18/06/10: (a) às 00:00 h TMG; (b) às 06:00 h; (c) às 12:00 h e (d) às 18:00 h	85

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Ocorrência de eventos de El Niño e La Niña	16
Tabela 2 – Relação dos anos em que se observaram os eventos do Padrão de Dipolo no oceano Atlântico Tropical	17
Tabela 3 - Localidades utilizadas para cálculo da média semanal de precipitação ...	19
Tabela 4 – Anomalias de TSM na região do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, nas áreas do Atlântico Tropical Sul (TSAI) e do Atlântico Tropical Norte (TNAI), e anomalias de semanas com atuação da ZCSAS (AA), não atuação (ANA) e semanas neutras (Neutra)	33
Tabela 5 – Coeficiente de correlação entre as anomalias de TSM das regiões do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 e das áreas do Atlântico Tropical Sul (TSAI) e do Atlântico Tropical Norte (TNAI) com as anomalias de semanas de atuação da ZCSAS (AA), não atuação (ANA) e semanas neutras (Neutra) para os meses de maio a agosto	33
Tabela 6 – Coeficiente de correlação entre a precipitação total semanal (mm) média das 20 localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	53
Tabela 7 – Coeficiente de correlação entre a média da pressão reduzida ao nível médio do mar na área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	54
Tabela 8 – Coeficiente de correlação da precipitação total semanal média da área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S com o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	55
Tabela 9 – Coeficiente de correlação entre o número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	58
Tabela 10 – Coeficiente de correlação entre a intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	62
Tabela 11 – Coeficiente de correlação entre a latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	66

Tabela 12 – Coeficiente de correlação entre a longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto	70
Tabela 13 – Índice utilizado para definir as semanas de atuação da ZCSAS (azul), não atuação (vermelho) e semanas neutras (preto). Sombreadas as semanas utilizadas para análise dos padrões dinâmicos no Oceano Atlântico Tropical	84

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AA	Anomalias de semanas com atuação da ZCSAS
AAS	Alta do Atlântico Sul
ANA	Anomalias de semanas de não atuação da ZCSAS
AESA	Agência de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ATSM DP	Anomalia de temperatura da superfície do mar normalizada pelo desvio padrão
CCM	Complexo convectivo de mesoescala
CDC	Centro Diagnóstico do Clima
CPTEC/INPE	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
FUNCEME/DEM ET	Divisão de Meteorologia da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAMEPE/ITEP	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco do Instituto Tecnológico de Pernambuco
NCEP/NCAR	Centro Nacional de Previsão Ambiental do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica dos Estados Unidos da América
NEB	Nordeste do Brasil
NOAA	Administração Nacional do Oceano e Atmosfera dos Estados Unidos da América
TNAI	Índice do Atlântico Tropical Norte
TSAI	Índice do Atlântico Tropical Sul
TSM	Temperatura da superfície do mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

ZCITAS	Zona de Convergência Intertropical do Atlântico Sul
ZCSAS	Zona de Convergência Secundária do Atlântico Sul
ZFB	Zona Frontal Baiu
ZFP	Zona Frontal de Precipitação
hPa	Hectopascal
km	Quilômetro
mm	Milímetro
N	Número de anos
r	Coefficiente de correlação
r_c	Coefficiente de correlação crítico
t	Parâmetro estatístico de Student
α	Nível de significância
\geq	Maior ou igual
\leq	Menor ou igual
~	Aproximadamente
%	Porcento
g	Gramas
K	Grau Kelvin
kg	Quilograma
°C	Grau centígrado
°E	Grau leste
°N	Grau norte
°S	Grau sul
°W	Grau oeste

1 INTRODUÇÃO

Por ser um país de grande extensão territorial, o Brasil possui diferentes regimes de precipitação. De norte a sul encontra-se uma grande variedade de climas com distintas características regionais. Na Região Norte do país verifica-se um clima equatorial chuvoso, com chuvas na primavera, verão e outono, contudo na parte noroeste da região praticamente não se observa estação seca. No Nordeste a estação chuvosa do semiárido apresenta índices pluviométricos relativamente baixos, que se restringe a poucos meses, em geral três meses. As Regiões Sudeste e Centro-Oeste, no entanto, recebem influência tanto de sistemas tropicais quanto de sistemas de latitudes médias, com a estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa na primavera-verão com chuvas convectivas, em geral, produzidas por frentes frias. O sul do Brasil, no entanto, devido à sua localização latitudinal é influenciado por sistemas baroclínicos de latitudes médias, sendo os sistemas frontais austrais os principais causadores de chuvas durante todo o ano.

Assim como em outras partes do mundo, também no Brasil, o oceano é a principal fonte de umidade para a atmosfera, propiciando precipitações em regiões com ocorrência de instabilidades (convergência) atmosféricas. Por outro lado, em relação ao Nordeste a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais é a principal variável física influenciadora das condições climáticas. Neste contexto, quando no

Pacífico Tropical ocorrem eventos quentes (frios) denominados de El Niño (La Niña), anomalias positivas (negativas) de TSM, causam fenômenos climáticos diferenciados em várias áreas do Nordeste (PHILANDER, 1991; MENEZES, 2006).

A ocorrência de ENOS (a junção do El Niño com a Oscilação Sul) e o Dipolo do Atlântico Tropical (Gradiente meridional de anomalia de TSM) afetam diretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que por sua vez influencia a distribuição de chuvas sobre o Nordeste. No entanto, embora a variabilidade interanual das TSM's e dos ventos sobre o Atlântico Tropical sejam significativamente menores do que as observadas no Pacífico Equatorial, essas variáveis afetam substancialmente a variabilidade climática sobre a América do Sul, em especial a Região Nordeste do Brasil (HASTENRATH, 1984; NOBRE e SHUKLA, 1996; LUCENA, 2008).

No cinturão tropical, em particular sobre os oceanos e vizinhanças, grande parte da precipitação é devido à convecção. Ao norte do equador à convergência dos ventos associada à circulação meridional de Hadley produz uma zona de intensa atividade convectiva, a denominada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (GRODSKY e CARTON, 2003). A ZCIT, suas relações com a variabilidade de chuva em várias áreas do globo e a sua interação com o oceano têm sido extensivamente estudadas (ALVES e FERREIRA, 2004; ENFIELD e MAYER, 1997; CHIANG *et al.*, 2000; RUI-BARRADAS *et al.*, 2000). Porém, uma zona secundária de convecção, a ZCSAS, denominada por Grodsky e Carton (2003) de Zona de Convergência Intertropical do Atlântico Sul (ZCITAS), que está ligada diretamente as trocas no ciclo sazonal de TSM, tem sido pouco investigada. Segundo esses autores a ZCSAS aparece no inverno austral, sendo também uma importante fonte de água doce para o oceano. A ZCSAS foi anteriormente denominada por da Silva (1993) de Zona de Convergência Secundária do Leste do Nordeste.

Diferentemente da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as quais são sistemas meteorológicos semi-estacionários, a Zona de Convergência Secundária do Atlântico Sul (ZCSAS) é um sistema transiente, confinado na área equatorial do Atlântico Sul, que provoca chuva intensa no Nordeste do Brasil (NEB), resultando na ocorrência de inundações e conseqüentemente danos materiais, humanos e ambientais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar e analisar as características atmosféricas no Atlântico Tropical associadas à ZCSAS e relacioná-las com a ocorrência de precipitação no Nordeste do Brasil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Calcular os Índices da ZCSAS;
- Determinar a distribuição temporal do índice da ZCSAS;
- Relacionar a ZCSAS com as áreas dos Niños e as regiões do Atlântico Tropical associadas ao padrão de Dipolo do Atlântico;
- Analisar o comportamento da temperatura da superfície do mar, precipitação e pressão ao nível médio do mar sobre o Atlântico Tropical;
- Analisar os campos de temperatura do ar, umidade específica e velocidade do vento horizontal nos baixos (1000 hPa) níveis troposféricos no Atlântico Tropical;
- Analisar omega (velocidade vertical) e a velocidade do vento horizontal no nível de 500 hPa sobre o Atlântico Tropical;
- Relacionar a ZCSAS com Precipitação em postos pluviométricos no leste do Nordeste;
- Relacionar a ZCSAS com Sistemas Frontais Austrais;
- Relacionar a ZCSAS com a Alta do Atlântico Sul.

1.3 Justificativa

Os maiores volumes médios mensais de chuva no setor leste do Nordeste do Brasil ocorrem no período de março a agosto, e nos meses de fevereiro a abril o principal sistema meteorológico causador de chuvas na Região é a ZCIT. Por outro lado, de maio a agosto os sistemas atuantes são os distúrbios ondulatórios de leste, que já foi objeto de vários estudos

(NEIVA, 1975; YAMAZAKI e RAO, 1977; CHAN, 1990), entre outros, e a ZCSAS (GRODSKY e CARTON, 2003; ALVES e FERREIRA, 2004).

As investigações sobre a ZCSAS ainda são muito incipientes, a sua dinâmica e a sua contribuição para as chuvas no Nordeste do Brasil (NEB) ainda não são conhecidas, assim como a sua interação com os distúrbios ondulatórios de leste. Portanto, são importantes estudos que procurem aprofundar o entendimento da ZCSAS.

Deste modo, a ampliação do conhecimento sobre a dinâmica da ZCSAS poderá contribuir para a elaboração de previsões de tempo e de clima mais confiáveis no NEB. Com isso, um melhor planejamento de ações poderá trazer no futuro benefícios, reduzindo os impactos econômicos e sociais, bem como perdas de vidas causadas por este sistema meteorológico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Região Nordeste

A grande variabilidade intra-anual e interanual da precipitação são características marcantes no NEB. Outra característica dessa Região é a distribuição espacial irregular com áreas que apresentam precipitação anual cerca de 350 mm, a exemplo do Cariri Paraibano, e outras com totais anuais superiores a 1700 mm como o litoral da Paraíba, o que produz um intenso gradiente de precipitação médio anual, pois, a distância entre estas duas áreas é de aproximadamente 100 km (MENEZES, 2006).

A variabilidade interanual da pluviometria sobre o Nordeste está associada à interação entre a atmosfera, os oceanos e a fisiografia regional, por exemplo, as variações de padrões de TSM nos oceanos tropicais, as quais afetam a posição e a intensidade da ZCIT sobre o Oceano Atlântico, modulando a pluviometria sobre o norte do Nordeste (MENEZES *et al.*, 2003a; NOBRE e MELO, 2001; NOBRE *et al.*, 2001).

Como mencionado anteriormente, além da variabilidade interanual, o Nordeste apresenta uma variabilidade espacial e intrasazonal, o que produz pelo menos três regimes de precipitação em três áreas distintas: uma área mais ao norte, onde as precipitações significativas ocorrem no bimestre março-abril; a faixa litorânea leste que se estende do Rio

Grande do Norte ao sul da Bahia, com período chuvoso entre maio-julho; e uma terceira região que abrange grande parte da Bahia e sul do Piauí e Maranhão, cujos máximos de precipitação ocorrem de novembro a janeiro (ALVES *et al.*, 2001a; MENEZES *et al.*, 2003b).

O litoral leste do Nordeste e o oeste do Maranhão formam as regiões mais propícias, em termos de disponibilidade potencial de recursos hídricos, ao cultivo de muitas culturas, pois possuem os melhores valores de intensidade e a melhor distribuição de chuvas (GUEDES *et al.*, 2010).

Existem pelo menos seis sistemas atmosféricos que interferem diretamente nas condições de tempo sobre o NEB, cuja ação conjunta ou não produz precipitação significativa na região: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias, os Distúrbios de Leste, os Ciclones na média e alta troposfera do tipo baixa fria conhecidos como Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS), as Brisas terrestre e marítima e um mecanismo de escala planetária conhecido como a Oscilação 30-60 dias (ALVES *et al.*, 2006).

Os eventos de chuva na Região Nordeste do Brasil estão associados a mecanismos dinâmicos de grande escala que favorece a formação de sistemas de mesoescala profundos, que provocam chuvas intensas, a exemplo dos aglomerados convectivos e linhas de instabilidades. As linhas de instabilidade recebem essa denominação por serem sistemas constituídos de células convectivas profundas linearmente organizadas (SILVA *et al.*, 2008).

No aspecto intra-regional os estudos têm se concentrado em investigar as características intrasazonais da precipitação na área semi-árida do NEB e na zona da Mata dando ênfase aos impactos dos fenômenos El Niño e La Niña, durante o período chuvoso predominante dessas regiões, fevereiro a maio e abril a julho respectivamente (ALVES e REPELLI, 1992; LIMA, 1991; RAO *et al.*, 1993).

No Brasil, duas áreas nas quais as anomalias de precipitação são coerentes com o ciclo do ENOS: o nordeste cujas secas (chuvas excessivas) e o sul cujas chuvas excessivas

(secas) estão associadas à ocorrência de El Niño (La Niña) (GERÓLAMO e KAYANO, 2010).

Dentre os efeitos mais evidentes do ENOS na região Nordeste, são as variações pluviométricas que, efetivamente, devem receber maior destaque, pois delas dependem, praticamente, todas as atividades desenvolvidas no meio rural, com influência direta na economia do semiárido (MORAES NETO *et al.*, 2007).

O conhecimento atual sobre o atlântico tropical (Dipolo do Atlântico), em conjunto com as informações sobre os episódios de El Niño/Oscilação do Sul (ENOS), permite que se elaborem previsões sobre as precipitações no NEB, contribuindo de forma efetiva para o planejamento socioeconômico da região (MOURA *et al.*, 2009)

Análises observacionais (monitoramento operacional diário executado na Divisão de Meteorologia da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME/DEMETS, e outros Centros Regionais de Meteorologia da região Nordeste) têm mostrado que, no mês de maio, há evidências de formação de intensos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) junto à costa leste do NEB, cujas gênese e intensificações podem estar associadas a distúrbios ondulatórios de leste, que se propagam para oeste no Atlântico Tropical Sul (ALVES *et al.*, 2001b). Porém, estes CCM também podem estar relacionados com a ZCSAS.

A temperatura do ar (média diária, máxima e mínima) de todo Litoral Leste do NEB, que compreende a extensa área entre os meridianos 40° – 35°W, é fortemente influenciada pelas anomalias de TSM do oceano Atlântico Tropical (CAVALCANTI *et al.*, 2006)

2.2 Zonas de Convergência

Devido à sua importância para o regime pluviométrico da região equatorial, a ZCIT tem sido motivo de muitos estudos. Waliser e Gautier (1993) obtiveram uma climatologia da ZCIT, mostrando seu papel na definição e análise do clima terrestre em escala global e local. O norte do Nordeste do Brasil (UVO, 1989) é exemplo clássico de região que têm a sua pluviometria modulada pela variabilidade sazonal e interanual da ZCIT. Dentro da

perspectiva de prever o comportamento da ZCIT estudos têm sido dedicados ao entendimento da sua dinâmica.

O acompanhamento do deslocamento espacial da ZCIT e das variáveis meteorológicas e oceânicas que a caracteriza, acaba sendo de extrema importância para a previsão e monitoramento de tempo e clima no setor leste da região Norte e o setor semiárido do NEB (FERREIRA *et al.*, 2005).

A ZCIT é um dos mecanismos que podem causar alterações da precipitação no litoral Norte e NEB, quando a TSM está acima da média no Atlântico norte e abaixo da média no Atlântico sul e a ZCIT encontra-se ao norte de sua posição climatológica. Nesta configuração, o ramo descendente da célula de Walker intensifica-se, causando forte subsidência nesta região, reduzindo a precipitação na Área (TAVARES, 2009).

Na região da ZCIT o ar tende a se elevar, ocorre intensa formação de nuvens cumuliformes, resultando na formação de abundantes chuvas convectivas (FEDOROVA e CARVALHO, 2006).

Na ZCIT, os ventos vindos dos hemisférios norte e sul se encontram, recebem calor da água do mar e, aquecidos, sobem para camadas a cerca de 1.800 m de altitude, onde se dividem em duas ‘células’ – uma delas carrega massas de ar em direção ao norte e outra em direção ao sul (FEARNSIDE, 2006).

A ZCIT é considerada o principal sistema produtor de chuva no norte do NEB, atuando de fevereiro a maio, principalmente no estado do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba e Pernambuco (ARAÚJO *et al.*, 2008).

A previsão climática sazonal tem se revelado como o mais viável método de previsão da precipitação associada à ZCIT. Porém, os resultados produzidos por modelos numéricos são dependentes da sua destreza em representar as características físicas dos sistemas meteorológicos e da sua sensibilidade em relação às condições de contorno e iniciais (NOBRE, 1996).

A consistência da distribuição espacial da precipitação associada à posição da ZCIT prevista por um modelo numérico depende, em parte, da capacidade deste em fazer refletir,

na posição da ZCIT, as condições associadas à sua principal forçante, a anomalia de TSM (ROSÁRIO *et al.*, 2002).

De acordo com os estudos de Yoshimura (1967) e Taljaard (1968) há um grupo de zonas frontais no verão que aparecem nas latitudes baixas entre 30 e 40 °, além do grupo de zonas frontais circumpolar nas latitudes altas entre 50 e 70 °. No verão do Hemisfério Norte (HN), a Zona Frontal Baisu (ZFB) e a zona frontal ao longo da costa leste da América do Norte pertencentes ao grupo das zonas de latitudes baixas. Uma frente, entretanto, aparece muito frequentemente no subtropical em ~ 30 °N na ZFB do que na zona ao longo da costa leste da América do Norte, e apenas a ZFB tem as características de uma zona frontal subtropical (NINOMIYA, 1984). No verão do Hemisfério Sul (HS), por outro lado, duas zonas frontais pertencentes ao grupo das zonas de latitudes baixas aparecem nos subtropicais em ~ 30 °S sobre o Pacífico Sul Central e a oeste do Atlântico Sul.

Em dados de cobertura de nuvens por imagens de satélites, estas zonas frontais no HS são observadas como porções subtropicais de faixas de nuvens significantes quase estacionárias que se estendem entre os trópicos e os extra-trópicos (STRETEN, 1973; YASUNARI, 1977). Essas faixas de nuvens que têm as características das zonas de convergência, sobre o Pacífico Sul Central e sobre o Atlântico Sul são referidas respectivamente como Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cujas características variam com a latitude. Komada (1992) sugeriu que a porção tropical da ZCPS é caracterizada por uma zona de convergência similar a ZCIT e a porção subtropical e extra-tropical são caracterizadas como zonas de convergência e zonas frontais respectivamente.

A ZCAS é um fenômeno típico de verão na América do Sul, sua principal característica é a persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), cuja área de atuação engloba o centro-sul da Amazônia, as regiões Centro-Oeste e Sudeste, o centro-sul da Bahia, o norte do Estado do Paraná e prolonga-se até o sudoeste do Oceano Atlântico (FERREIRA *et al.*, 2004).

A ZCAS, caracterizada por uma banda de precipitação e nebulosidade que se estende desde a Amazônia até o sudeste do Brasil em direção ao oceano Atlântico, é parte intrínseca ao regime de monções da América do Sul (BOMBARDI e CARVALHO, 2008).

O transporte de umidade oriundo da região amazônica que alimenta a ZCAS é o mais expressivo do Hemisfério Sul. Este transporte se dá através de um intenso jato de baixos níveis localizado a leste dos Andes (RAMOS DA SILVA *et al.*, 2009)

Um dos fenômenos naturais que causam impacto na sociedade é a ZCAS que, por se tratar de um fenômeno atuante no período de verão, e conseqüentemente com níveis pluviométricos elevados, acaba trazendo conseqüências de proporções catastróficas em alguns estados brasileiros (BRANDÃO e FISCH, 2008).

Os episódios de ZCAS exemplificam as interações existentes entre a convecção tropical e os sistemas de grande escala, cujos efeitos são refletidos em diversas escalas espaciais e temporais (MENDONÇA e BONATTI, 2008).

Silva e Brito (2008) concluíram que a posição média da ZCAS em torno de 20°S entre as longitudes de 42,5 e 45,0°W é fundamental para produção de chuva sobre a bacia do rio São Francisco.

No leste da Ásia subtropical, entretanto, a zona de precipitação quase-estacionária é referida como ZFB, aparecendo durante o início do verão do Hemisfério Norte entre maio e julho e promove precipitação acima de 400 mm/mês, a qual é comparável com a ZCAS. Assim, a quantidade de precipitação nos subtrópicos geralmente aumenta durante o verão na costa leste do continente, sendo maior no leste da Ásia do que em outras áreas costeiras leste nos subtrópicos, devido à frente Baiu ser estacionária na região (KOMADA, 1992).

A ZFB, caracterizada por ser quase-estacionária, aparece no início de maio em torno de 25°N entre o leste do Planalto Tibetano e o Pacífico Central Norte. A Zona se desloca para norte gradualmente com a marcha sazonal e desaparece em torno de 40°N no final de julho (KATO e KOMADA, 1992). Porém as mudanças nas características da ZFB ocorrem duas vezes com a marcha sazonal: uma em torno do final de maio, quando o gradiente de temperatura nos baixos níveis da ZFB quase desaparece sobre o continente chinês devido

ao forte aquecimento da superfície ao norte da Zona (KATO, 1985, 1987); e a outra quando a umidade nos baixos níveis ao sul da ZFB é intensificada ao longo da periferia oeste da alta subtropical, em meados de junho (KATO, 1989). Após a última mudança, a quantidade de precipitação da ZFB aumenta (YOSHINO, 1966) e a ZFB atinge o período de pico (NINOMIYA e MURAKI, 1986) antes de desaparecer no final de Julho.

Ninomiya (1984) comparando a ZFB com outras Zonas Frontais de Precipitação (ZFPs) no verão do HN, concluiu que as características de grande escala da ZFB são diferentes das ZFPs, a saber: uma zona frontal firme com um forte gradiente de temperatura potencial equivalente e uma taxa de mistura de umidade, grossa camada de mistura no interior, geração de instabilidade convectiva, grande fluxo de convergência de umidade, e movimento ascendente significativo. Devido a estas características, Ninomiya (1984) propôs que a ZFB não é uma ZFP, mas uma significativa zona frontal subtropical no leste da Ásia e que nenhuma outra zona frontal similar é observada no verão do HN.

2.3 Zona de Convergência Secundária do Atlântico Sul

Grodsky e Carton (2003) analisaram a presença e implicações da ZCSAS. Estes pesquisadores observaram que a ZCSAS aparece com pico no inverno austral em julho-agosto, quando a ZCIT está deslocada bem para o norte. Também verificaram que a convergência do vento na superfície durante o inverno austral de 2000 na região da ZCSAS (10-3°S, 35-20°W) foi $\sim 5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, valor comparável ao achado na ZCIT. Observaram ainda que apesar da convergência de vento, há pequena rotação no campo de vento de superfície na região de ZCSAS. Durante os meses de pico a precipitação pode exceder 6 mm/dia, embora a precipitação comum na região da ZCSAS seja em torno de 2 mm/dia.

Grodsky e Carton (2003) também observaram o aparecimento sazonal de uma “língua” fria de TSM ao longo do equador com gradiente de pressão dentro da camada limite que induz convergência de vento na região da ZCSAS, bem como que de ano pra ano, a diferença de TSM entre a região de “língua” fria e a região da ZCSAS muda, o que explica uma fração significativa da variabilidade anual de chuva da ZCSAS.

Alves e Ferreira (2004) analisaram algumas características atmosféricas associadas à presença e ausência da ZCSAS e sua relação linear com as chuvas do NEB (maio a

agosto). Os resultados mostraram que há uma pequena diferença nos campos de convergência de massa e ventos em 1000 hPa na composição de anos de atuação e de não atuação de ZCSAS. Em anos de atuação da ZCSAS (não atuação da ZCSAS) observa-se um predomínio sazonal e mensal de convergência (divergência) de massa nos setores nordeste/leste (oeste da África - golfo da Guiné). Essas características são consistentes com os resultados obtidos por Grodsky e Carton (2003) em um estudo de caso observado em julho de 2002 no Atlântico tropical sul.

Relacionado às características das ondas de leste africanas (Holton, 1992), cujo perfil vertical do vento zonal e meridional, mostram intensos jatos de leste, em torno de 12°N e ondas atmosféricas que se deslocam no campo meridional do vento ao longo do Atlântico tropical norte, desde a África até o setor oeste do Atlântico Tropical; verificou que na faixa entre 35 a 20 °W - área de atuação da ZCSAS no Atlântico oeste, não apresentou as características típicas de ondas de leste. Esses distúrbios são os principais mecanismos causadores de chuva do setor leste do NEB (ALVES e FERREIRA, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Para elaboração deste trabalho utilizou-se dados de TSM disponibilizados pelo Centro de Diagnóstico Climático (CDC) da Administração Nacional do Oceano e Atmosfera (NOAA¹, sigla em inglês) dos Estados Unidos da América.

A TSM foi obtida através da Interpolação Otimizada do CDC que é a análise produzida semanalmente em uma grade regular de 1° x 1°, utilizando a TSM local e a TSM simulada através de cobertura de mar-gelo por imagens de satélites. Deste modo, antes da análise ser computada, os dados de satélites foram ajustados pelo método de Reynolds e Marsico (1993).

Foram usados os campos zonal e meridional do vento e temperatura do ar, disponíveis em 17 níveis na vertical; umidade específica disponíveis em 8 níveis na vertical; omega (velocidade vertical) disponível em 12 níveis na vertical; pressão reduzida ao nível médio do mar, disponíveis em 00, 06, 12 e 18UTC; e precipitação em pântadas obtidos da reanálise do Centro Nacional de Previsão Ambiental do Centro Nacional de

¹ Disponível em <<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices>>. Acesso em janeiro de 2007.

Pesquisa Atmosférica (NCEP/NCAR, sigla em inglês), em pontos de grade regular de $2,5^\circ$ x $2,5^\circ$, para o período de maio de 1982 a agosto de 2006.

Utilizaram-se dados de precipitação diária de postos pluviométricos localizados no estado da Paraíba cedidos pela Agência de Gestão das águas do Estado da Paraíba (AESA), de Pernambuco cedidos pelo Laboratório de Meteorologia de Pernambuco do Instituto Tecnológico de Pernambuco (LAMAPE/ITEP) e das localidades de João Pessoa e Campina Grande na Paraíba e Recife, Garanhuns e Surubim em Pernambuco cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de maio de 1982 a agosto de 2006.

Utilizou-se também o número de ocorrência de frente fria no Brasil no período de maio de 1987 a agosto de 2005, o qual foi extraído do Boletim Climanálise².

3.2 Métodos

3.2.1 Cálculo do Índice da ZCSAS

A pesquisa tomou como base a atuação e não atuação da ZCSAS sobre duas áreas entre maio e agosto de 1982 a 2006: uma próxima da costa leste do NEB (10°S - 3°S e 35°W - 20°W) e outra no Atlântico tropical próxima a costa africana (2°S - 2°N e 15°W - 5°W).

A metodologia de análise teve como base o método de composição (ALVES e FERREIRA, 2004). Primeiramente, classificaram-se os anos de atuação e não atuação da ZCSAS semanalmente de maio a agosto e para todo o quadrimestre, ano a ano. Um índice da diferença entre o valor médio da anomalia de TSM normalizada pelo desvio padrão (ATSMDP), entre as duas áreas estudadas foi calculado para identificar anos com atuação da ZCSAS (diferença da ATSMDP positiva $> 0,5$), anos de não atuação da ZCSAS (diferença da ATSMDP negativa $< -0,5$) e anos neutros ($-0,5 \leq$ diferença da ATSMDP $\leq 0,5$).

As semanas foram divididas de acordo com a quantidade de dias do mês em estudo, assim para os meses de 31 dias (maio, julho e agosto) a primeira semana compreendeu do dia 1 ao dia 8, a segunda de 9 a 16, a terceira de 17 a 24 e a quarta semana foi composta do

² Disponível em <<http://clima1.cptec.inpe.br/~rcliman1>>. Acesso em junho de 2009.

dia 25 ao dia 31. Para o mês de junho, a primeira semana compreendeu do dia 1 ao dia 8, a segunda de 9 a 15, a terceira de 16 a 23 e a quarta semana de 24 a 30.

A composição de cada variável, sua média e sua anomalia foram calculadas em relação à climatologia semanal. Foram efetuadas correlações entre o índice indicativo da ZCSAS (Figura 1), e as precipitações sobre o NEB para o período de estudo, visando identificar quais áreas apresentam maior relação com a atuação ou não atuação da ZCSAS.

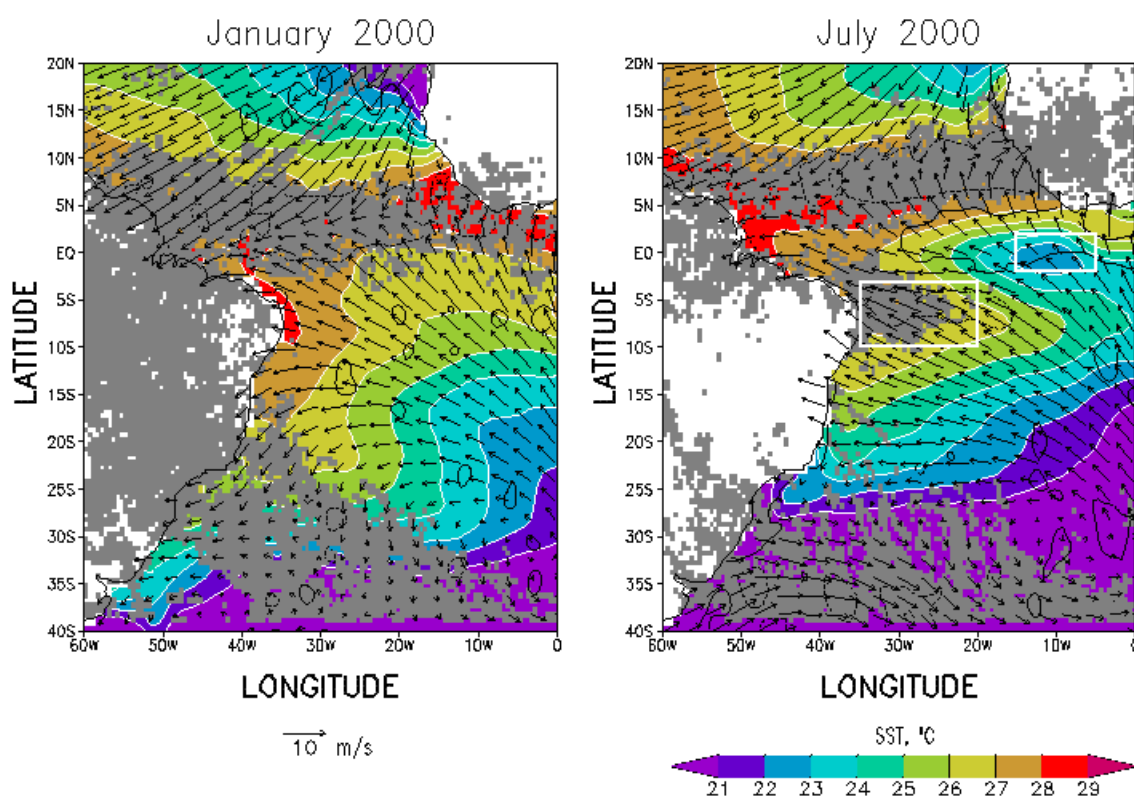


Figura 1 – Vento (vetores), TSM (cores), divergência/convergência de massa para dois valores $+5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ e $-5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ com linhas sólidas/tracejadas, respectivamente e precipitação (pintada em cinza - valores acima de 2 mm/dia) para o mês de janeiro e julho de 2000. Fonte: Grodsky e Carton, 2003

3.2.2 Correlação com os Oceanos Tropicais

Foram obtidas as relações entre as anomalias de TSM na área dos Niños para os meses de estudo e as anomalias semanais com atuação ou não da ZCSAS, e para semanas

neutras. A Figura 2 mostra as localizações geográficas das áreas dos Niños: no extremo leste do Pacífico equatorial Niño 1+2 (0-10 °S, 90-80 °W); no Pacífico equatorial leste Niño 3 (5 °N-5 °S, 150-90 °W); no Pacífico equatorial central leste Niño 3.4 (5 °N-5 °S, 170-120 °W); e no Pacífico equatorial central Niño 4 (5 °N-5 °S, 160 °E-150 °W).

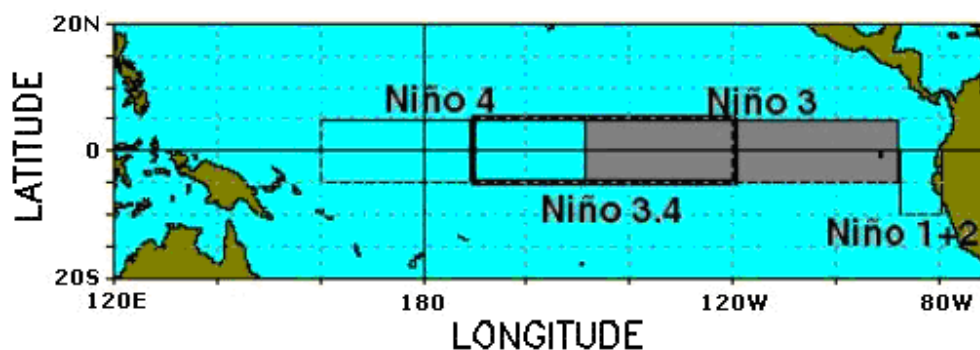


Figura 2 – Áreas do Oceano Pacífico Equatorial, conhecidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4. Fonte: FUNCEME/DEMETS³

A Tabela 1 apresenta os eventos de El Niño e La Niña que ocorreram no período de 1982 a 2006 bem como suas intensidades.

Tabela 1 – Ocorrência de eventos de El Niño e La Niña

Ocorrência de El Niño	Ocorrência de La Niña
1982 – 1983***	1983 – 1984*
1986 – 1988**	1984 – 1985*
1990 – 1993***	1988 – 1989***
1994 – 1995**	1995 – 1996*
1997 – 1998***	1998 – 1999**
2002 – 2003**	2000 – 2001**
2004 – 2006*	

* evento fraco, **evento moderado, ***evento forte. Fonte: CPTEC/INPE⁴

³ Disponível em <<http://www.funceme.br/DEMETS/Index.html>>. Acesso em janeiro de 2007.

⁴ Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em janeiro de 2007.

O Padrão do Dipolo no oceano Atlântico Tropical configura-se com fase positiva e negativa. A fase positiva do Dipolo é o padrão de anomalias de TSM com sinal positivo resultante da diferença da média de anomalia de TSM ao norte e ao sul do equador no Atlântico Tropical, o qual de um modo geral é desfavorável à ocorrência de precipitação no NEB. A fase negativa do Dipolo é o padrão de anomalias de TSM com sinal negativo resultante da diferença da média de anomalia de TSM ao norte e ao sul do equador no Atlântico Tropical, o qual é de um modo geral, favorável à ocorrência de precipitação no NEB.

A Tabela 2 apresenta os anos nos quais foram observados eventos do Padrão de Dipolo no oceano Atlântico Tropical.

Tabela 2 – Relação dos anos que apresentaram eventos do Padrão de Dipolo no oceano Atlântico Tropical

Fase Positiva	Fase Negativa
1992, 2004, 2005	1984, 1985, 1986, 1989

Fonte: NOAA

Também foram determinadas as relações entre as anomalias de semanas de atuação e não atuação da ZCSAS e semanas neutras com o índice do Atlântico Tropical norte (TNAI, sigla em inglês), que é a anomalia de TSM na área de 5 °N a 23,5 °N e 15 °W a 57,5 °W; e o índice do Atlântico Tropical sul (TSAI, sigla em inglês), que é a anomalia de TSM na área do Equador a 20 °S e 10 °E a 30 °W, conforme mostra a Figura 3, interpolados espacial numa grade regular de 1° x 1°, para os meses de maio a agosto de cada ano.

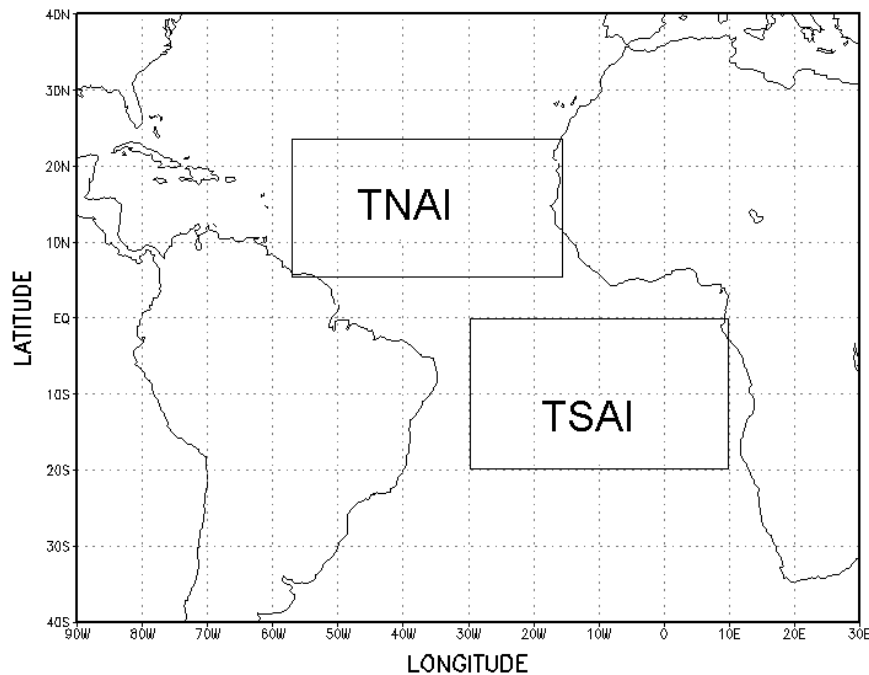


Figura 3 – Áreas do oceano Atlântico Tropical que foram calculados os TNAI e TSAI, associadas ao Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Atlântico. Fonte: NOAA

3.2.3 Padrões Dinâmicos no Oceano Tropical

Foram feitas análises de configurações no Oceano Atlântico Tropical para a atuação, não atuação e neutralidade da ZCSAS através dos campos de TSM, precipitação, pressão reduzida ao nível médio do mar, temperatura do ar, umidade específica média, omega, e linha de corrente do vento da reanálise do NCEP/NCAR.

3.2.4 Relação com Precipitação no Leste do NEB

Utilizando dados de precipitação diária dos postos pluviométricos de 24 localidades, 11 do estado da Paraíba e 13 do estado de Pernambuco (Tabela 3), distribuídas no leste dos Estados de acordo com a Figura 4, efetuou-se a média semanal de precipitação dos 24 postos pluviométricos, e a partir daí construídas as figuras para relacionar essa média de precipitação com o índice da ZCSAS e calculado o coeficiente de correlação.

Tabela 3 - Localidades utilizadas para cálculo da média semanal de precipitação

Estado	Localidade	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Altitude (m)
Paraíba	João Pessoa	7,19	34,81	37
	Campina Grande	7,22	35,89	547
	Araruna	6,53	35,74	580
	Bananeiras	6,75	35,63	552
	Pocinhos	7,08	36,06	634
	Areia	6,98	35,72	623
	Sapé	7,09	35,22	123
	Alhandra	7,43	34,91	49
	Cabaceiras	7,49	36,29	390
	Pilar	7,27	35,26	35
Fagundes	7,36	35,78	505	
Pernambuco	Recife	8,06	34,92	4
	Garanhuns	8,88	36,49	896
	Surubim	7,83	35,76	220
	Pesqueira	8,35	36,70	630
	Belo Jardim	8,34	36,43	607
	Vitória de Santo Antão	8,13	35,30	147
	Gravatá	8,20	35,54	447
	Toritama	8,01	36,06	349
	Santa Cruz do Capibaribe	7,95	36,20	438
	Nazaré da Mata	7,74	35,22	89
	Caruaru	8,24	35,92	545
São Bento do Uma	8,53	36,46	614	
Arcoverde	8,43	37,06	663	

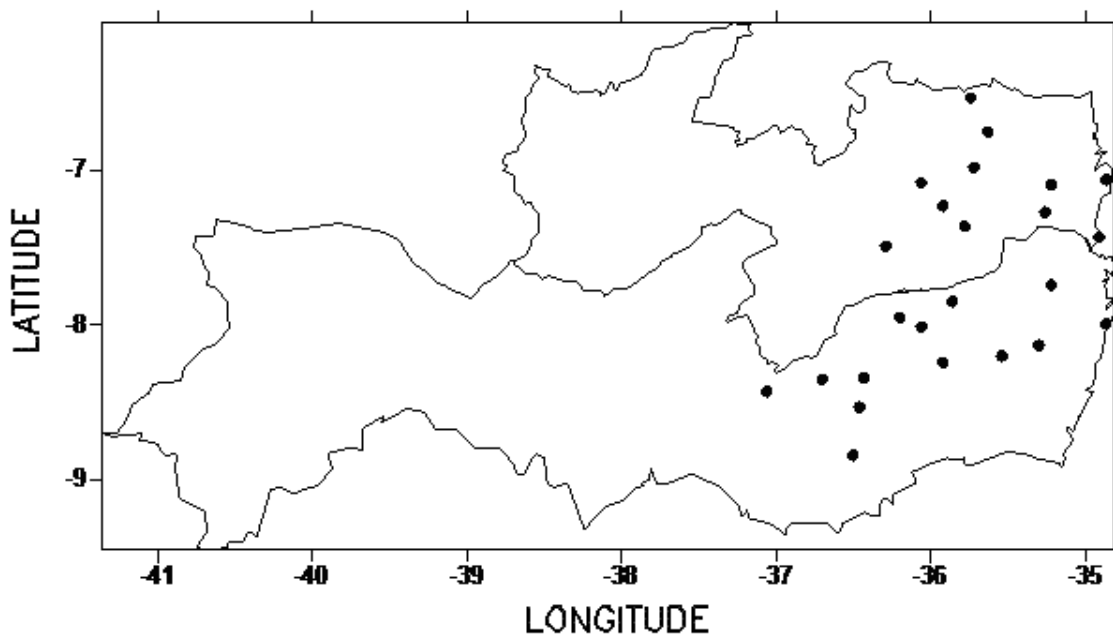


Figura 4 – Representação espacial dos postos Pluviométricos localizados nos estados da Paraíba e Pernambuco, cujas precipitações diárias foram utilizadas para relacioná-las com o índice da ZCSAS

3.2.5 ZCSAS e Sistemas Frontais Austrais

Foram feitas análises da distribuição temporal do número de ocorrência de atuação de frente fria no Brasil com o índice da ZCSAS para o período de 1987 a 2005 e determinado o coeficiente de correlação.

Para demonstrar possível aplicação deste trabalho, foi verificada uma provável relação entre o índice da ZCSAS com a precipitação média e pressão reduzida ao nível médio do mar média com os dados da reanálise do NCEP/NCAR na área entre 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S (área de atuação de frente fria) localizada no sul do Brasil de acordo com a Figura 5 através do cálculo do coeficiente de correlação.

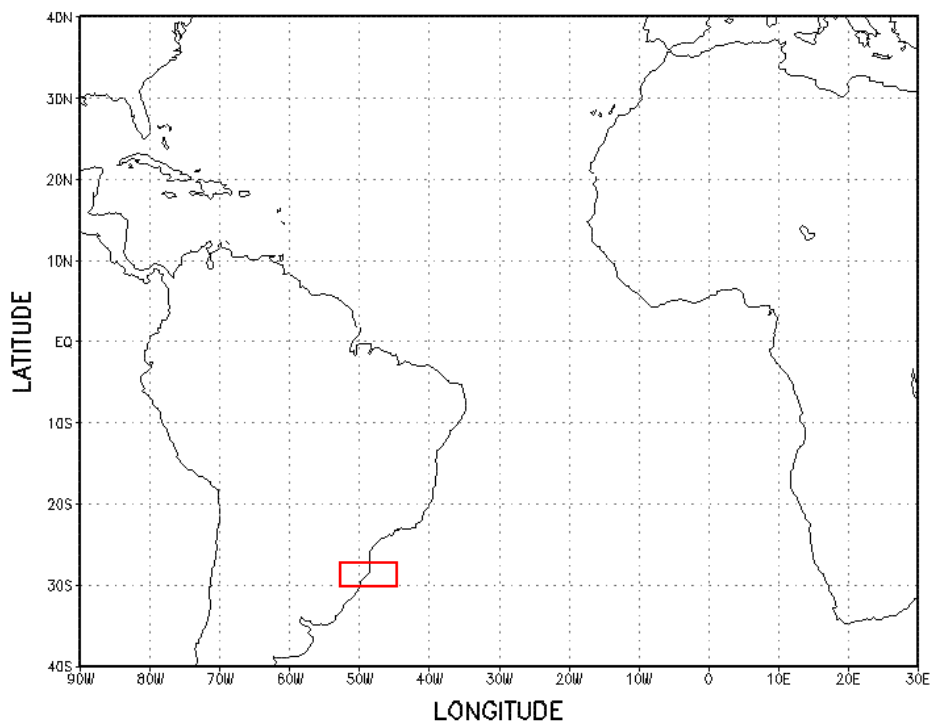


Figura 5 – Área entre 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S (área de atuação de frente fria) localizada no sul do Brasil

3.2.6 ZCSAS e a Alta do Atlântico Sul

Foram construídas as distribuições temporais da intensidade do centro da Alta do Atlântico Sul, bem como da latitude e longitude do referido centro para obter a relação desta Alta com o índice da ZCSAS, bem como cálculo do coeficiente de correlação para saber como esses sistemas são correlacionados.

3.2.7 Método de Regressão Linear

Qualquer valor de um coeficiente de correlação, não é garantia de que as variáveis envolvidas realmente estejam correlacionadas. Portanto, antes de tirar qualquer conclusão sobre os valores dos coeficientes de correlação é necessário a aplicação de um teste estatístico para conhecer o grau real de ligação entre as variáveis analisadas.

Para testar a igualdade entre duas médias, o teste t de Student, muito utilizado nos dias de hoje, seria o mais apropriado por ser um teste paramétrico, o que nos dá maior poder estatístico (HUANG e PAES, 2009).

Neste trabalho optou-se pela utilização do teste estatístico t , de Student, por ser um teste de fácil aplicação e mundialmente aceito como um teste eficiente no cômputo da significância estatística de coeficiente de correlação.

Utilizou-se o Método dos Mínimos Quadrados, onde o coeficiente de correlação (r) foi calculado de acordo com Morettin (1991) por:

$$r = \sqrt{\frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}}} \quad (1)$$

$$r = \frac{N \Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}} \quad (2)$$

Foi aplicado o teste de significância t , de Student, com os seguintes valores do parâmetro t :

$$t = \frac{r \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3)$$

Em que N é o número de anos de dados.

A partir da equação 3 foi extraído o coeficiente de correlação crítico (r_c), que é um valor para o qual aceita ou não a hipótese estatística, r_c é dado por:

$$r_c = \sqrt{\frac{t^2}{(N-2) + t^2}} \quad (4)$$

Para a correlação, $N = 25$, ou seja, 25 anos de dados e, $N - 2 = 23$, que é o grau de liberdade. Então os valores de t e r_c são:

- para 99 % de significância, ou seja, com erro de 1% ($\alpha = 0,01$), $t = 2,50$; $r_c = 0,46$;

- para 95 % de significância, ou seja, com erro de 5% ($\alpha = 0,05$), $t = 1,71$; $r_c = 0,34$;
- para 90 % de significância, ou seja, com erro de 10% ($\alpha = 0,10$), $t = 1,32$; $r_c = 0,27$.

Ressalta-se que para todas as variáveis utilizadas neste trabalho, tem-se 25 anos de dados, exceto para a ocorrência de frente fria no Brasil que dispõe de 19 anos. Portanto, para a correlação do índice da ZCSAS com a ocorrência de frente fria, $N = 19$, ou seja, 19 anos de dados e, $N - 2 = 17$, que é o grau de liberdade. Então os valores de t e r_c são:

- para 99 % de significância, ou seja, com erro de 1 % ($\alpha = 0,01$), $t = 2,57$; $r_c = 0,53$;
- para 95 % de significância, ou seja, com erro de 5 % ($\alpha = 0,05$), $t = 1,74$; $r_c = 0,39$;
- para 90 % de significância, ou seja, com erro de 10 % ($\alpha = 0,10$), $t = 1,33$; $r_c = 0,31$.

Isto significa que para os coeficientes de correlação obtidos com 23 ou 17 graus de liberdade, a significância estatística de que realmente há correlação entre as variáveis é de 99 % para r igual ou superior a 0,46 e 0,53, respectivamente, e assim sucessivamente para os demais níveis de significância.

O teste de hipóteses deve ser comparado ao valor de coeficiente de correlação calculado com base nos valores críticos determinados a partir da partição da distribuição t de Student. O resultado obtido pode sugerir a aceitação da hipótese de nulidade do coeficiente ou não. Caso, o coeficiente de correlação calculado seja igual ou superior ao valor do t crítico para um determinado grau de liberdade e percentual de significância, a hipótese de nulidade é rejeitada e a tendência observada é verdadeira para aquele nível de significância obtido (BRUNI, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Série Temporal do índice de ZCSAS

As Figuras 6 a 10 mostram a variabilidade interanual do índice utilizado para definir os anos de atuação, não atuação da ZCSAS ou neutros obtidos pela diferença de anomalia de TSM normalizada pelo seu respectivo desvio padrão entre a costa leste do NEB (10-3 °S e 35-20 °W) e a costa africana no Atlântico tropical (2 °S-2 °N e 15-5 °W) semanalmente para os meses de maio, junho, julho e agosto e para todo o período.

4.1.1 Análise para o mês de maio:

Verifica-se através da Figura 6 que para a primeira semana de maio destacam-se a não atuação da ZCSAS nos anos de 1984, 1996, 1997, 1999 e 2000, com índice inferior a -1,00 e os anos de 2005 e 2006 com atuação da ZCSAS, com índice superior a 1,50. Ressalta-se que ocorreram 7 anos com atuação e 7 anos com não atuação da ZCSAS para o período analisado (1982 a 2006), porém em 11 anos não foi possível detectar se houve ou não atuação da ZCSAS. A primeira semana de maio de 2005 foi a que apresentou o maior índice (2,87) de atuação da ZCSAS, enquanto a primeira semana de maio de 1996 foi a que apresentou o maior índice (-1,89) de não atuação;

Para a segunda semana de maio os anos de 1984, 1991, 1993, 1995 e 1999 apresentaram índice da ZCSAS inferior a -1,00 nos anos de não atuação da ZCSAS; enquanto que os anos de 1987, 1990, 2001, 2003, 2005 e 2006 o índice da ZCSAS foi superior a 1,00 de atuação da ZCSAS;

Na terceira semana de maio ocorreu a mesma quantidade de atuação e de não atuação da ZCSAS, oito vezes cada. Ressalta-se que no ano de 1999 ocorreu o maior valor negativo do índice da ZCSAS (-1,78), enquanto que em 2005 ocorreu o maior valor positivo do índice da ZCSAS positivo (2,76);

Na quarta semana de maio ocorreu atuação da ZCSAS apenas em cinco anos, destacando-se os anos de 1985 e 1987, e quatro anos de não atuação, destacando-se o ano de 1999, no qual a magnitude do índice da ZCSAS foi superior a 2,00. Em relação aos anos neutros de ZCSAS ocorreram 16 dos 25 anos analisados.

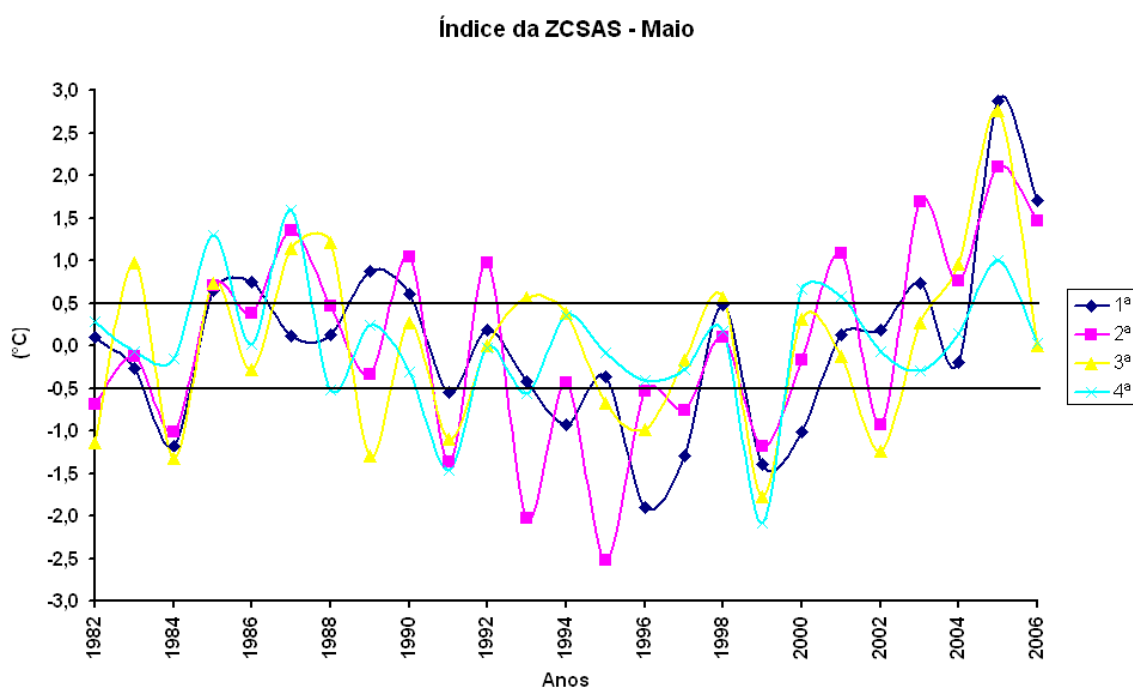


Figura 6 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de maio

4.1.2 Análise para o mês de junho:

Na primeira semana de junho (Figura 7), verifica-se que em 1999 houve o maior valor (-2,26) de intensidade para o índice da ZCSAS, bem como, ocorreram oito anos de atuação da ZCSAS e oito anos de não atuação da ZCSAS, e que de 1994 a 1998 houve um período de neutralidade da ZCSAS;

Na segunda semana de junho houve nove anos de atuação da ZCSAS, enquanto que de não atuação foram oito anos. Em 1997 o índice da ZCSAS foi o maior (-1,56). De um modo geral os índices da ZCSAS foram menores em intensidade na segunda semana em relação a primeira semana de junho;

Na terceira semana observa-se que o índice da ZCSAS teve dois valores negativos abaixo de -1,00 nos anos de 1992 e 1996 e cinco valores positivos acima de 1,00 nos anos de 1982, 1985, 1989, 1994 e 2005. Também se verifica que houve sete anos de não atuação da ZCSAS e oito anos de atuação;

Na quarta semana de junho destacam-se os anos de 1991 e 1995, nos quais não houve atuação da ZCSAS e os valores do índice alcançaram -2,34 e -2,55, respectivamente. Nos anos de atuação da ZCSAS, 1989 e 1994, os valores do índice atingiram 1,60 e 1,79, respectivamente.

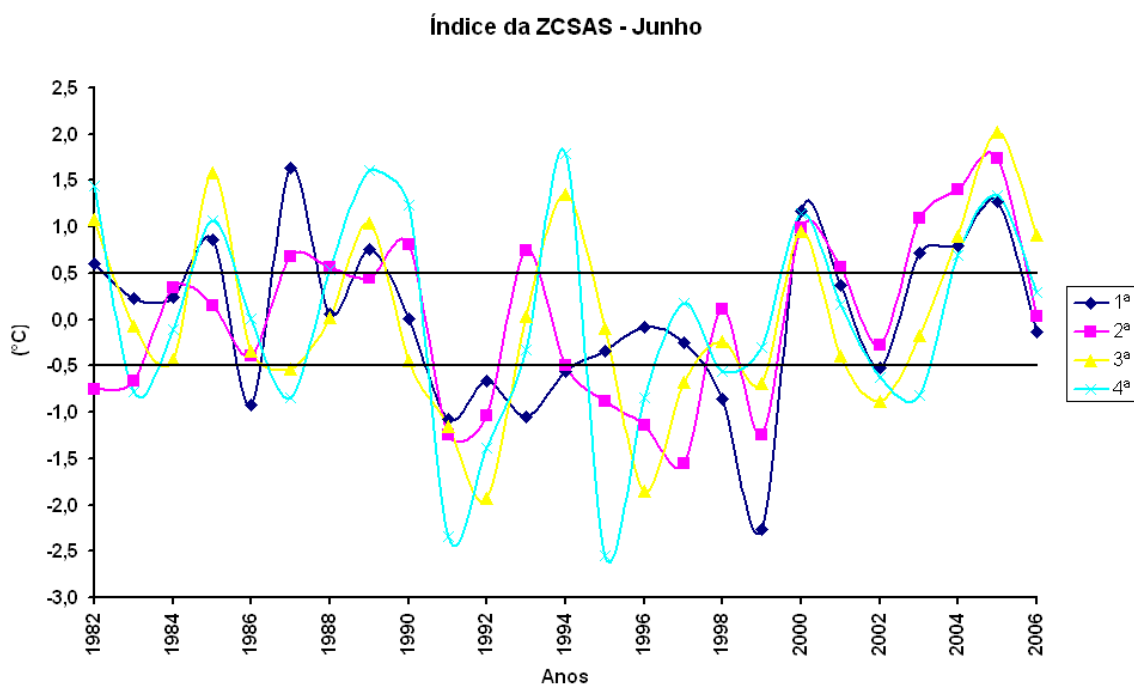


Figura 7 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de junho

4.1.3 Análise para o mês de julho:

Observa-se que na primeira semana de julho (Figura 8) houve dez anos de atuação da ZCSAS e nove anos de não atuação. O ano de 1989 foi o que apresentou maior valor do índice de não atuação (-2,55);

Para a segunda semana de julho, observa-se que houve sete anos de atuação da ZCSAS, seis anos de não atuação da ZCSAS e doze anos de neutralidade;

Na terceira semana de julho houve nove anos de atuação da ZCSAS, dez anos de não atuação da ZCSAS e seis anos de neutralidade. Destacam-se os anos de atuação da ZCSAS, 1986, 1989 e 1990, com valores acima de 1,50; e os anos de não atuação da ZCSAS, 1988, 1991 e 1999, com valores abaixo de -1,00, sendo que no ano de 1999 o valor do índice da ZCSAS foi de -1,96;

Para a quarta semana de julho, verifica-se que o maior valor do índice da ZCSAS ocorreu em 2006 (2,56), e que nos anos de 1989 e 1993 os valores do índice superaram 1,50 nos anos de atuação da ZCSAS. Houve nove anos de atuação da ZCSAS, nove anos de não atuação e sete anos de neutralidade nesta semana.

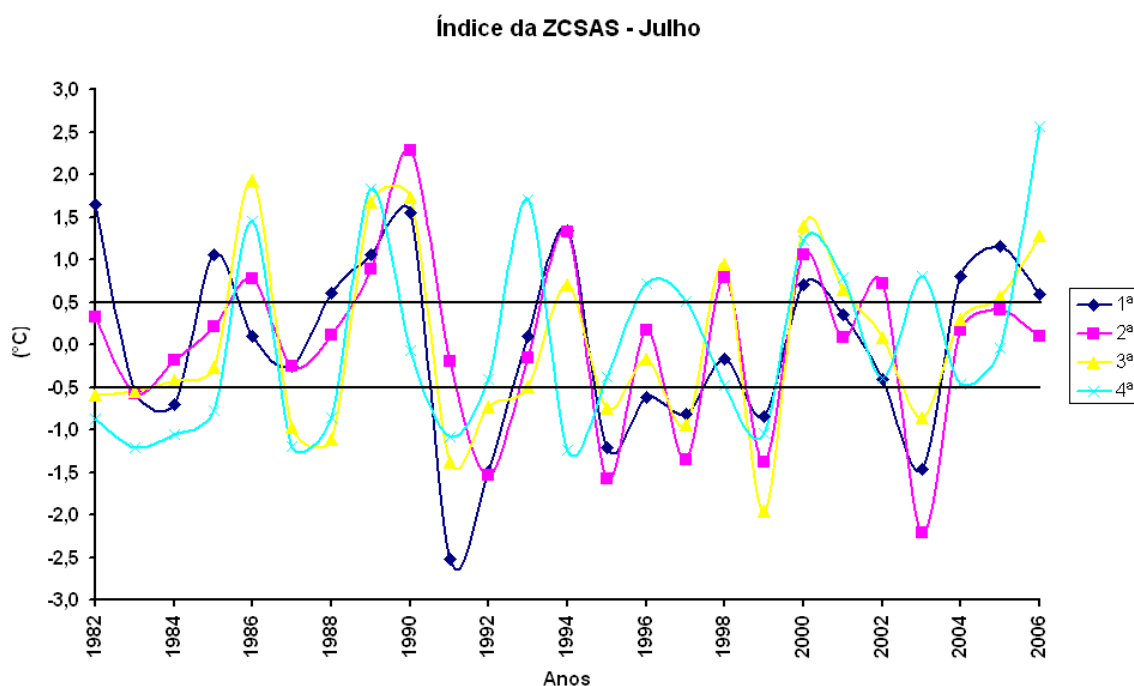


Figura 8 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de julho

4.1.4 Análise para o mês de agosto:

Para a primeira semana de agosto (Figura 9) verifica-se que houve oito anos de atuação da ZCSAS e onze anos de não atuação. Os anos de atuação da ZCSAS, 1993 e 1996, apresentaram índices acima de 1,50 e os anos de não atuação da ZCSAS, 1983, 1988, 1991, 1992 e 1997, valores abaixo de -1,00;

Para a segunda semana de agosto ocorreram apenas quatro anos com atuação da ZCSAS, sete anos de não atuação da ZCSAS e treze anos de neutralidade. Destacam-se os

anos de 1986 e 1996 de atuação da ZCSAS com índices de 1,87 e 3,42, respectivamente. Já nos anos de 1984, 1994, 1995 e 1989 de não atuação da ZCSAS os índices foram de -1,22; -1,32; -2,08 e -1,38, respectivamente;

Na terceira semana de agosto houve oito anos de atuação da ZCSAS, sete anos de não atuação e dez de neutralidade. Nos anos de 1989 e 2001 o valor do índice da ZCSAS foi superior a 1,50 e nos anos de 1995 e 1997 o índice foi inferior a -2,00;

Na quarta semana de agosto houve oito anos de atuação da ZCSAS e oito anos de não atuação. O ano de 1984 teve o menor valor do índice da ZCSAS (-2,58) e o ano de 1989 o maior valor (2,24). Os anos de 1993 e 1996 apresentaram índices da ZCSAS de 1,53 e 1,14, respectivamente, e os anos de 1987 e 1997 índices de -0,99 e -1,66, respectivamente.

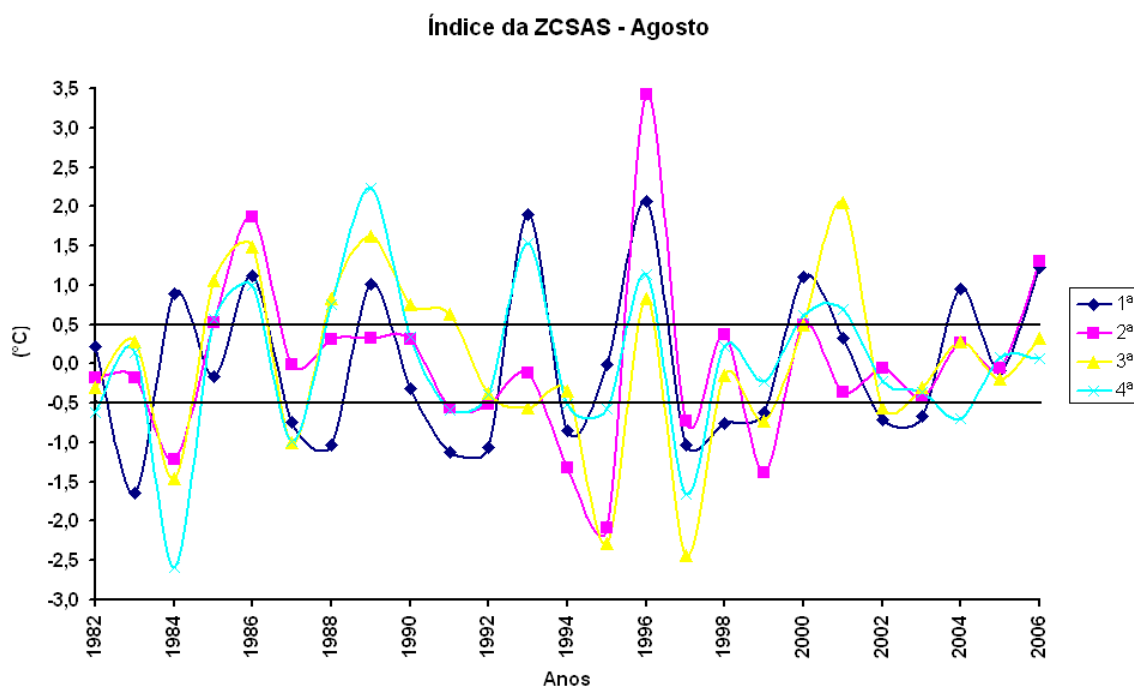


Figura 9 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para as semanas de agosto

4.1.5 Análise para o quadrimestre maio-agosto:

Observa-se que para todo o período analisado (maio, junho, julho e agosto juntos) houve oito anos de atuação da ZCSAS, sete de não atuação e dez de neutralidade (Figura 10). Destacam-se os anos de 1989 e 2005 com valores do índice da ZCSAS superiores a 1,00 e os anos de 1991, 1995 e 1999 com valores do índice inferiores a -1,00. Os anos de atuação da ZCSAS, 1985 e 2000, estão de acordo com Alves e Ferreira (2004) que também identificaram esses dois anos como sendo de atuação da ZCSAS;

Nos anos de atuação da ZCSAS destacam-se 1985 com ocorrência de La Niña fraca e fase negativa do Dipolo; 1986 com El Niño moderado e fase negativa do Dipolo; 1989 com La Niña forte e fase negativa do Dipolo; 1990 com El Niño forte; 2000 com La Niña moderada; 2004 com El Niño fraco e fase positiva do Dipolo; 2005 com El Niño Fraco e fase positiva do Dipolo e 2006 com El Niño fraco. Como pode ser observado, a atuação da ZCSAS não apresentou uma relação direta com as condições do Oceano Pacífico Equatorial (El Niño-La Niña), nem com as condições do Oceano Atlântico Tropical (padrão de Dipolo do Atlântico);

No caso dos anos de não atuação da ZCSAS destacam-se: 1984 com ocorrência de La Niña fraco e fase negativa do Dipolo; 1991 com ocorrência de El Niño forte; 1992 com El Niño forte e fase positiva do Dipolo; 1995 com El Niño moderado; 1997 com El Niño forte; 1999 com La Niña moderado e 2002 com El Niño moderado. Observa-se que a ausência de ZCSAS está mais relacionada à ocorrência de eventos de El Niño e a ausência de Dipolo, ou seja, dos sete anos citados, houve ocorrência de El Niño em cinco e La Niña apenas em dois anos. Em relação ao Dipolo do Atlântico ocorreu um negativo em 1984, ano de La Niña fraco, e um positivo em 1992, ano de El Niño forte.

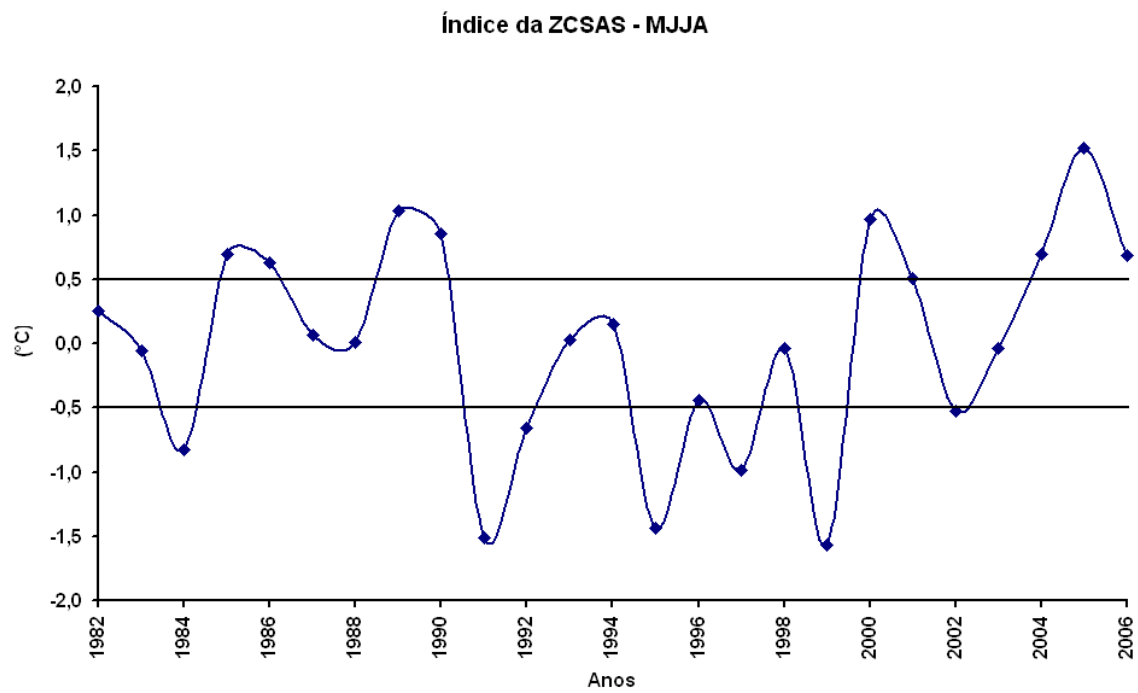


Figura 10 – Variabilidade interanual do índice de ZCSAS para os meses de maio a agosto

4.2 Correlação com os Oceanos Tropicais

A Tabela 4 mostra as anomalias de temperatura da superfície do mar na região dos Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, bem como nas áreas do Atlântico Tropical Sul (TSAI) e do Atlântico Tropical Norte (TNAI) relacionadas com o Dipolo do Atlântico e anomalias semanais: com atuação da ZCSAS (AA), não atuação (ANA) e neutras (Neutra).

Verificou-se que entre as anomalias de TSM na região dos Niños e do Dipolo do Atlântico e as anomalias de semanas com atuação, não atuação e neutralidade da ZCSAS, apenas na região do Niño 1+2 e Niño 3 com as anomalias de atuação da ZICTAS apresenta relação inversa (Tabela 4), ou seja, de um modo geral, o aumento de anomalia de TSM na região do Niño 1+2 e Niño 3 coincide com a diminuição das anomalias de semanas com atuação da ZCSAS. Isto mostra que a anomalia de TSM no Atlântico Tropical, especificamente na área de atuação da ZCSAS, está de certa forma relacionada às anomalias de TSM do Pacífico Equatorial Central Leste. Estes resultados concordam com os obtidos por Lucena (2008). Para as situações de anomalia de semanas de não atuação e de neutralidade de ZCSAS não foi possível identificar nenhuma relação, bem como para as anomalias de TSM das demais regiões de Niños e do Dipolo do Atlântico.

É apresentado na Tabela 5 os coeficientes de correlação entre as anomalias de TSM das regiões do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 e das áreas do Atlântico Tropical Sul (TSAI) e do Atlântico Tropical Norte (TNAI) com as anomalias de semanas de atuação da ZCSAS (AA), não atuação (ANA) e semanas neutras (Neutra) para os meses de maio a agosto, onde destacam-se as anomalias de semanas de atuação da ZCSAS (AA) para um nível de significância de 90% correlacionada negativamente com as anomalias de TSM das áreas dos Niños 1+2 e Niño 3, sendo esse último com nível de significância de 95%. Com significância estatística de 90% foi constatado correlação positiva para condições de neutralidade da ZCSAS (Neutra) com as anomalias de TSM da área do Atlântico Tropical Norte. Para os demais valores do coeficiente de correlação não houve significância estatística.

Tabela 4 – Anomalias de TSM na região do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, nas áreas do Atlântico Tropical Sul (TSAI) e do Atlântico Tropical Norte (TNAI), e anomalias de semanas com atuação da ZCSAS (AA), não atuação (ANA) e semanas neutras (Neutra)

Anos	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4	TSAI	TNAI	AA	ANA	Neutra
1982	0,40	0,89	0,89	0,59	-0,57	-0,12	-1,04	0,92	0,12
1983	3,97	1,33	0,24	-0,08	-0,50	0,19	-4,04	1,92	2,12
1984	-0,72	-0,75	-0,61	-0,68	0,37	-0,50	-4,04	2,92	1,12
1985	-1,43	-0,86	-0,65	-0,64	0,00	-0,36	5,96	-4,08	-1,88
1986	-0,51	-0,15	-0,01	0,01	0,15	-0,57	2,96	-4,08	1,12
1987	1,16	1,31	1,35	0,59	0,20	0,36	-0,04	1,92	-1,88
1988	-1,31	-1,88	-1,59	-0,81	0,48	0,18	0,96	-1,08	0,12
1989	-0,72	-0,50	-0,66	-0,72	0,23	-0,21	5,96	-4,08	-1,88
1990	-0,38	0,01	0,04	0,19	-0,09	0,07	2,96	-5,08	2,12
1991	0,26	0,67	0,58	0,49	0,05	-0,49	-4,04	8,92	-4,88
1992	0,78	0,26	0,35	0,43	-0,86	-0,19	-4,04	3,92	0,12
1993	0,63	0,42	0,43	0,28	-0,14	-0,19	-0,04	-1,08	1,12
1994	-0,73	-0,23	0,24	0,43	-0,17	-0,59	-0,04	0,92	-0,88
1995	-0,68	-0,48	-0,28	0,02	0,23	0,35	-5,04	4,92	0,12
1996	-1,37	-0,53	-0,36	-0,32	0,47	0,09	-0,04	1,92	-1,88
1997	3,47	1,94	1,38	0,58	-0,69	0,14	-4,04	5,92	-1,88
1998	2,14	-0,06	-0,79	-0,54	0,35	0,70	-2,04	-2,08	4,12
1999	-1,00	-0,85	-1,06	-0,94	0,30	0,02	-5,04	8,92	-3,88
2000	-0,61	-0,51	-0,61	-0,72	0,06	-0,19	5,96	-4,08	-1,88
2001	-0,80	-0,22	-0,07	0,05	0,09	-0,05	1,96	-5,08	3,12
2002	-0,27	0,38	0,65	0,67	0,00	-0,21	-4,04	1,92	2,12
2003	-1,13	-0,38	-0,16	0,22	0,21	0,06	-0,04	-0,08	0,12
2004	-1,13	-0,21	0,32	0,43	-0,18	0,27	2,96	-4,08	1,12
2005	-0,21	0,28	0,21	0,24	-0,29	0,95	4,96	-5,08	0,12
2006	0,23	0,11	0,14	0,26	0,32	0,29	2,96	-5,08	2,12

Tabela 5 – Coeficiente de correlação entre as anomalias de TSM das regiões do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 e das áreas do Atlântico Tropical Sul (TSAI) e do Atlântico Tropical Norte (TNAI) com as anomalias de semanas de atuação da ZCSAS (AA), não atuação (ANA) e semanas neutras (Neutra) para os meses de maio a agosto

	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4	TSAI	TNAI
AA	-0,31*	-0,42**	-0,22	-0,22	0,17	0,05
ANA	0,26	0,26	0,20	0,12	-0,13	-0,18
Neutra	0,01	0,19	-0,02	0,13	-0,03	0,29*

*90% de significância, ** 95% de significância

4.3 Padrões Dinâmicos no Oceano Atlântico Tropical

Analisou-se os padrões dinâmicos do oceano Atlântico Tropical para a terceira semana de julho de 1989 e a quarta semana de junho de 1994, tendo em vista que as mesmas apresentaram índices altos de atuação da ZCSAS, bem como as semanas anteriores e posteriores. Também foi efetuada análise para a quarta semana de junho de 1991 e a primeira semana de junho de 1999, de não atuação da ZCSAS devido às mesmas terem apresentado índices elevados de não atuação assim como as semanas anteriores e posteriores. Para as semanas de neutralidade as semanas utilizadas foram a primeira semana de julho de 1993 e a primeira semana de junho de 2006 por apresentarem valores neutros baixos entre semanas de valores baixos também.

Para as semanas de atuação da ZCSAS verifica-se que o campo de TSM (Figura 11) na latitude de 5°S entre 30°W e 10°E apresenta gradiente de 5°C nas duas semanas. Para não atuação da ZCSAS (Figura 12) observa-se que o gradiente de TSM foi de 4°C (Figura 12a) e 3°C (Figura 12b), ou seja, ocorreu aumento do gradiente de TSM de aproximadamente 0,5°C/2000km, no período de atuação da ZCSAS, o que representa maior escoamento do ar nessa faixa de latitude (5°S), e como consequência aumento do fluxo de umidade do oceano para o continente. Para as semanas de neutralidade da ZCSAS (Figura 13) o gradiente de TSM apresentou valores semelhantes aos obtidos para as semanas de não atuação da ZCSAS, 4°C (Figura 13a) e 3°C (Figura 13b).

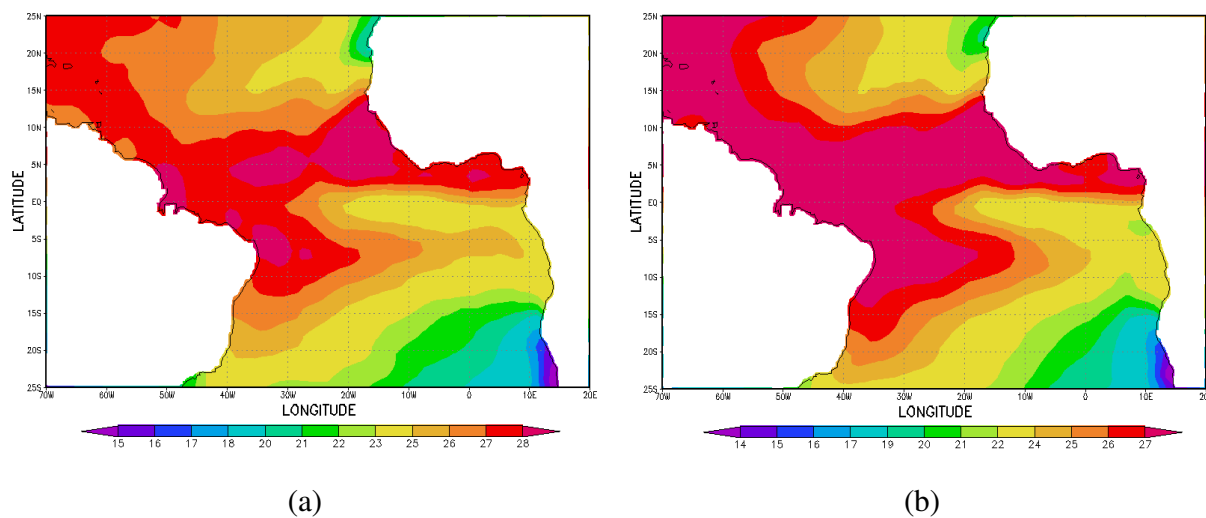


Figura 11 – Campo de temperatura da superfície do mar média ($^{\circ}\text{C}$) no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

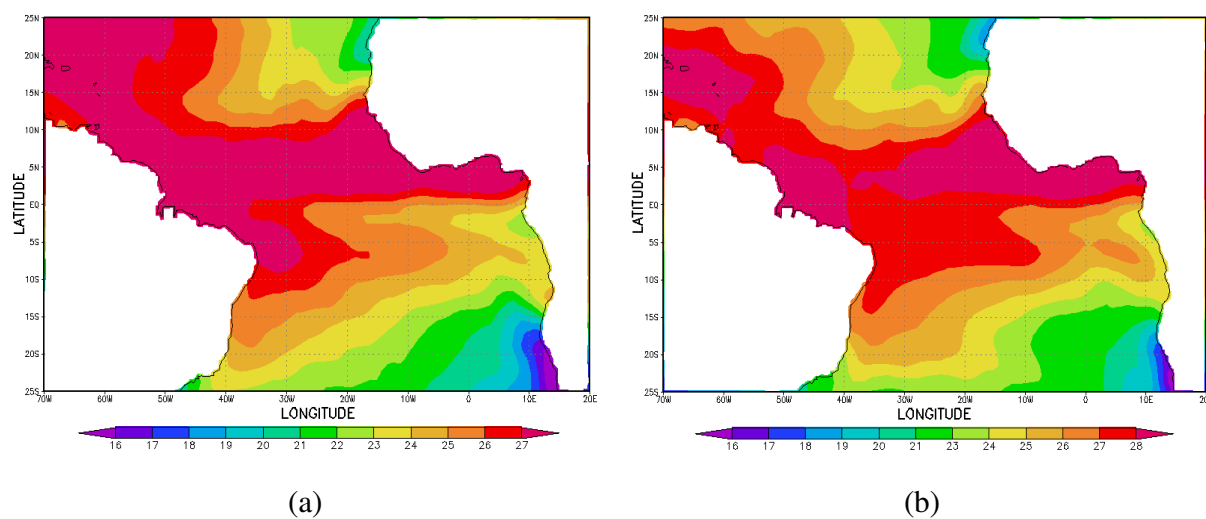


Figura 12 – Campo de temperatura da superfície do mar média ($^{\circ}\text{C}$) no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

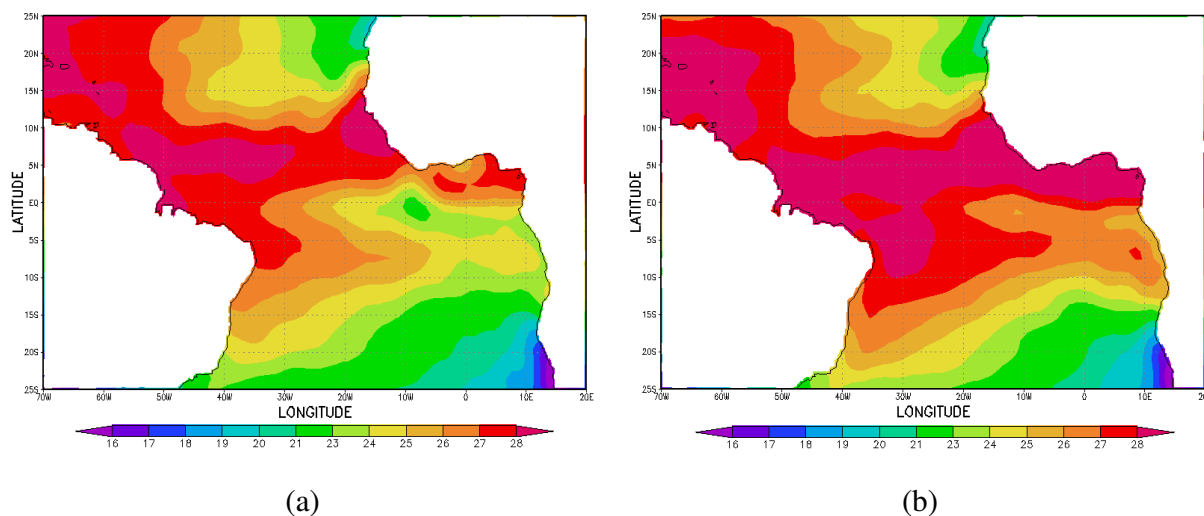


Figura 13 – Campo de temperatura da superfície do mar média (°C) no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

Analisando o campo de Precipitação semanal média diária observa-se que na costa leste do NEB nas semanas de atuação da ZCSAS (Figura 14) os índices de chuva atingiram 14 mm/dia (Figura 14a) e 18 mm/dia (Figura 14b), enquanto que nas semanas de não atuação (Figura 15) os valores de precipitação médios diários da semana foram de 6 mm/dia (Figura 15a) e 8 mm/dia (Figura 15b). Portanto, pode-se afirmar que durante a atuação da ZCSAS houve um incremento de 6 a 10 mm/dia na precipitação média diária nas semanas de atuação da ZCSAS em comparação com as semanas sem atuação. Isto ocorre devido ao aumento do fluxo de umidade nos baixos níveis para a costa leste do NEB no período de atuação da ZCSAS, decorrente do aumento do gradiente de TSM. Para as semanas de neutralidade da ZCSAS (Figura 16) tem-se que os valores médios de precipitação chegam a 12 mm/dia (Figura 16a) e 10 mm/dia (Figura 16b), valores mais altos que os observados nas semanas sem atuação da ZCSAS, porém inferiores aos das semanas de atuação.

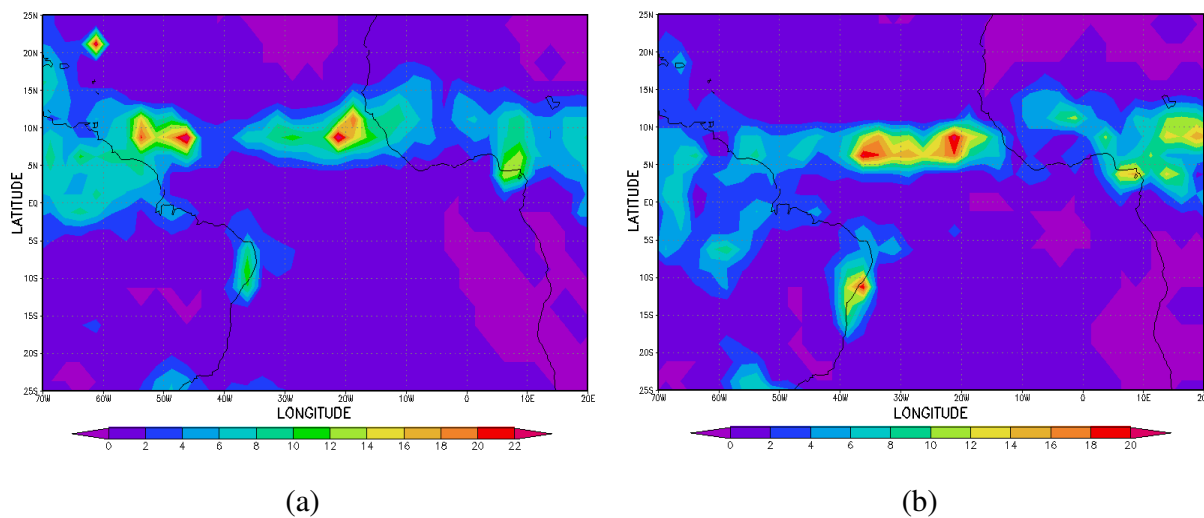


Figura 14 – Campo de precipitação semanal média diária (mm) no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

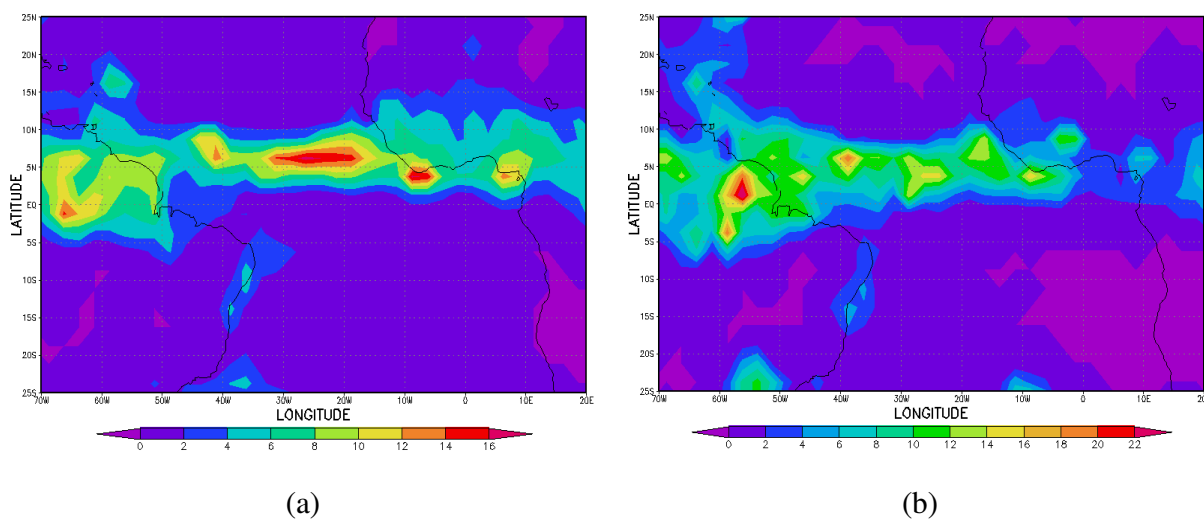


Figura 15 – Campo de precipitação semanal média diária (mm) no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

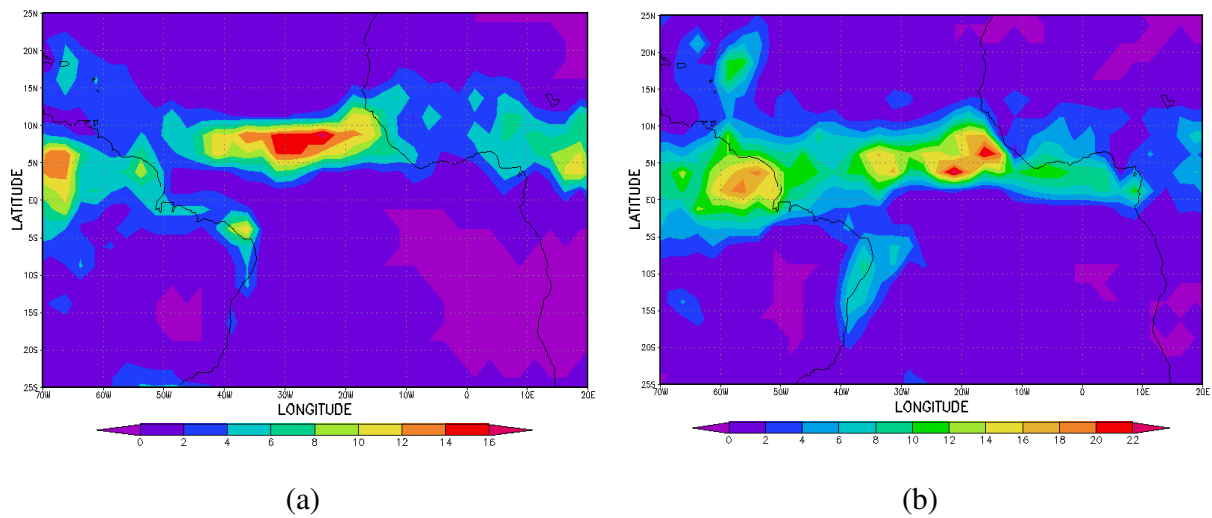


Figura 16 – Campo de precipitação semanal média diária (mm) no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

Na Figura 17 observa-se que a pressão média reduzida ao nível médio do mar nas semanas de atuação da ZCSAS apresenta principalmente na região equatorial maior gradiente longitudinal do que nas semanas de não atuação da ZCSAS (Figura 18). Esse gradiente é maior no Atlântico Sul, provavelmente em função desta configuração sentir os efeitos do aumento do gradiente de TSM observado para o período de atuação da ZCSAS quando comparado com o período de não atuação (Figuras 11 e 12). Para a semana e neutralidade da ZCSAS (Figura 19) o gradiente de pressão reduzida ao nível médio do mar apresentou uma configuração semelhante ao das semanas de não atuação da ZCSAS.

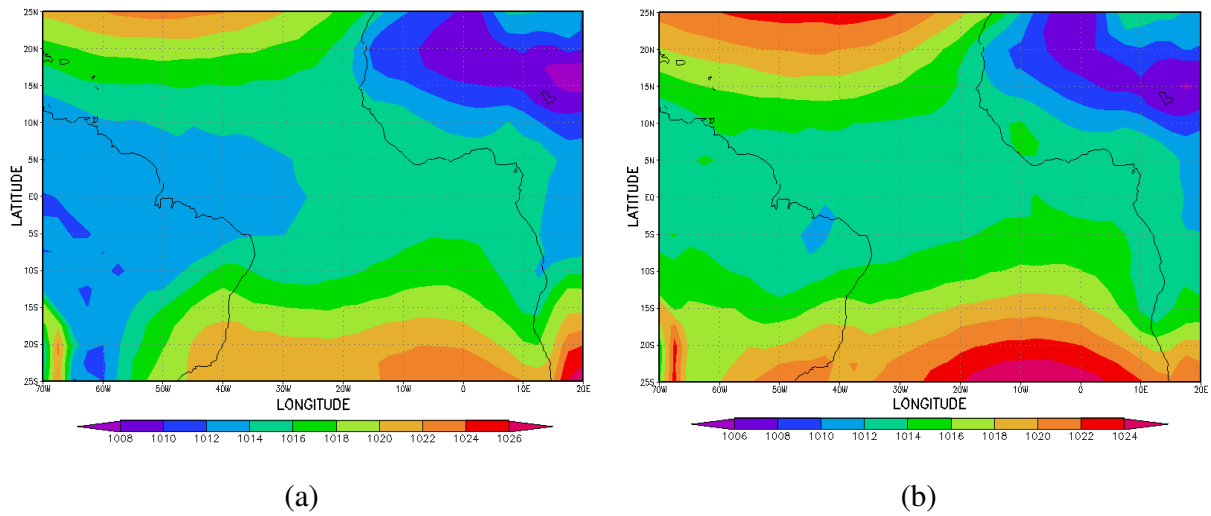


Figura 17 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar média semanal (hPa) no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

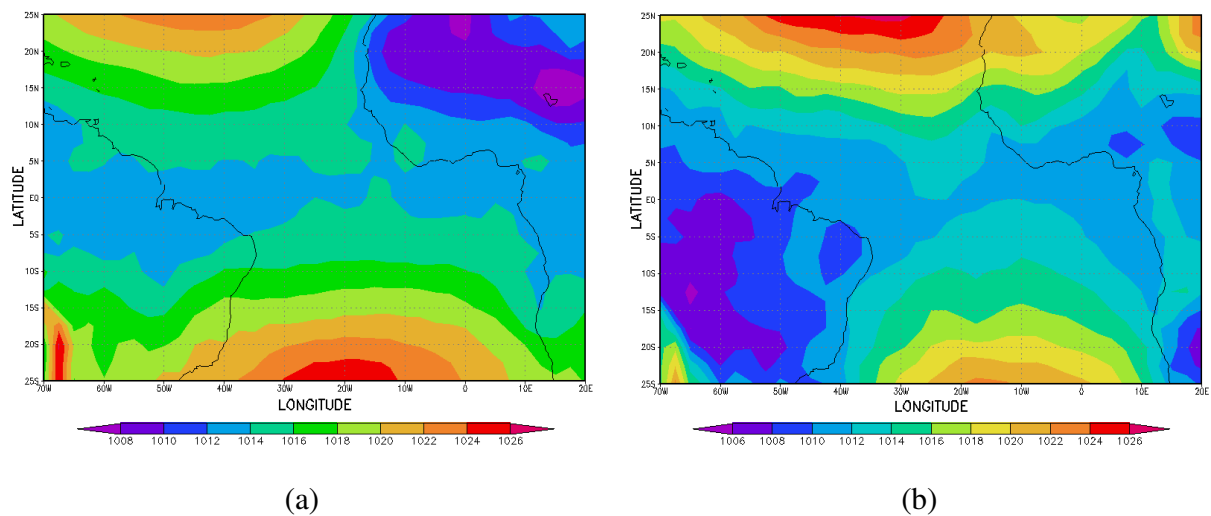


Figura 18 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar média semanal (hPa) no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

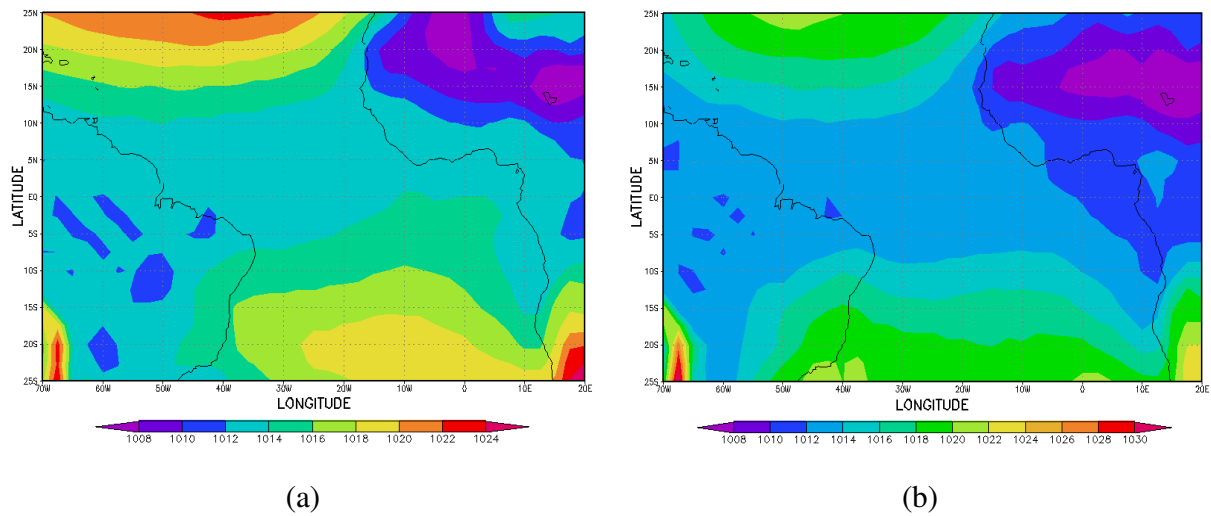


Figura 19 – Campo de pressão reduzida ao nível médio do mar média semanal (hPa) no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

No campo de temperatura do ar média semanal no nível de 1000 hPa para semanas de atuação da ZCSAS (Figura 20), também verifica-se um maior gradiente longitudinal em comparação com semanas de não atuação (Figura 21) e de neutralidade (Figura 22). De um modo geral, este cenário visto em todo o Atlântico Tropical é compatível com os padrões observados de TSM, pois o aumento da TSM acarretará o aumento dos fluxos de calor latente e sensível do oceano para a atmosfera, com isso a temperatura do ar aumenta.

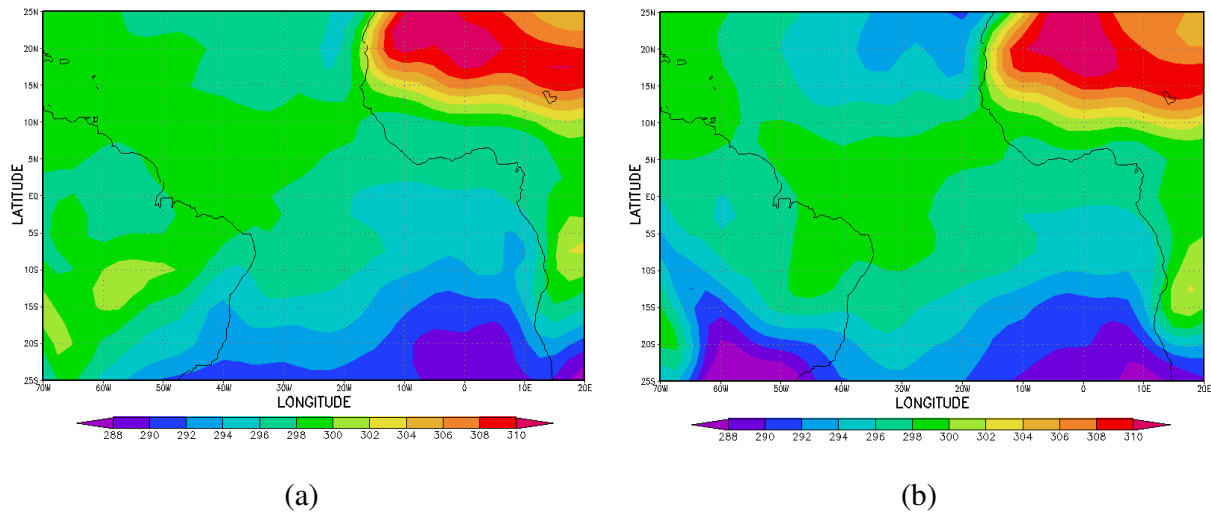


Figura 20 – Campo de temperatura do ar média semanal (K) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

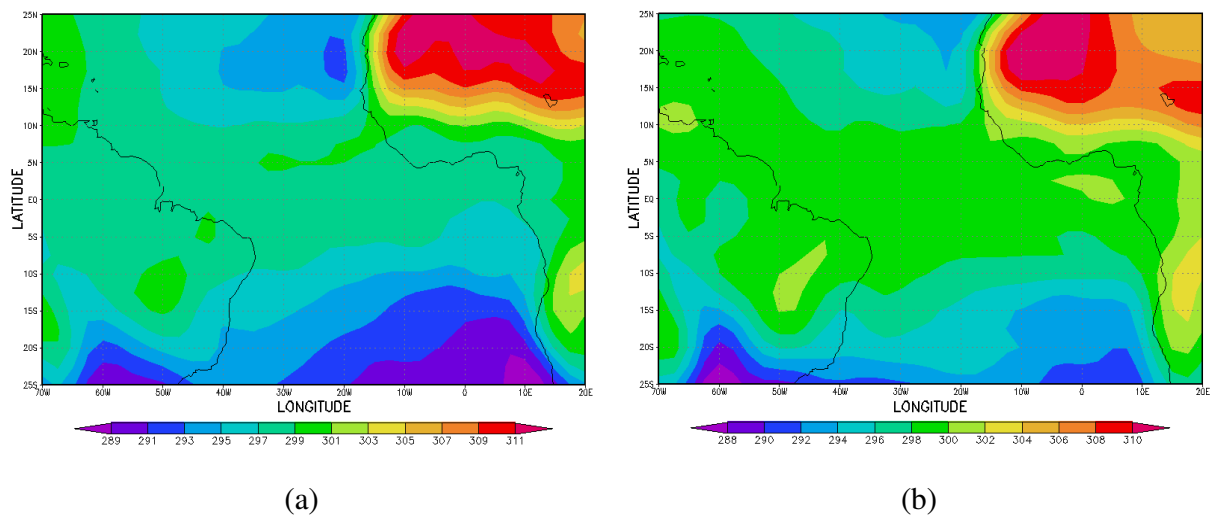


Figura 21 – Campo de temperatura do ar média semanal (K) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

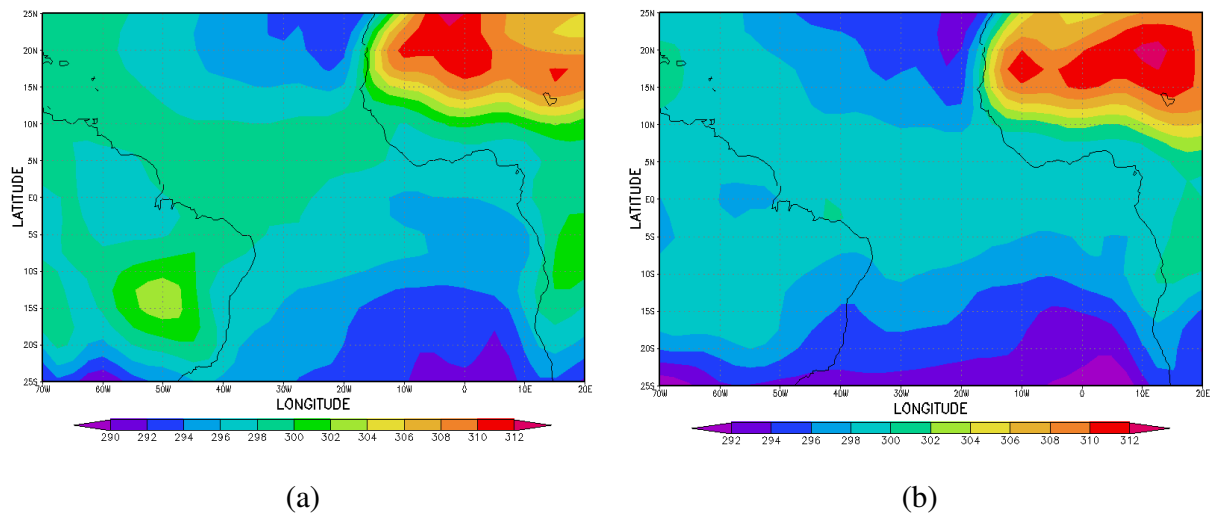


Figura 22 – Campo de temperatura do ar média semanal (K) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

Observa-se que o gradiente longitudinal de umidade específica média semanal para o nível de 1000 hPa no Atlântico Tropical foi maior nas semanas de atuação da ZCSAS (Figura 23) do que nas semanas de não atuação (Figura 24) e de neutralidade (Figura 25), fazendo com que ocorra maior deslocamento de umidade específica no nível de 1000 hPa do oceano para a costa leste do NEB no período de atuação da ZCSAS.

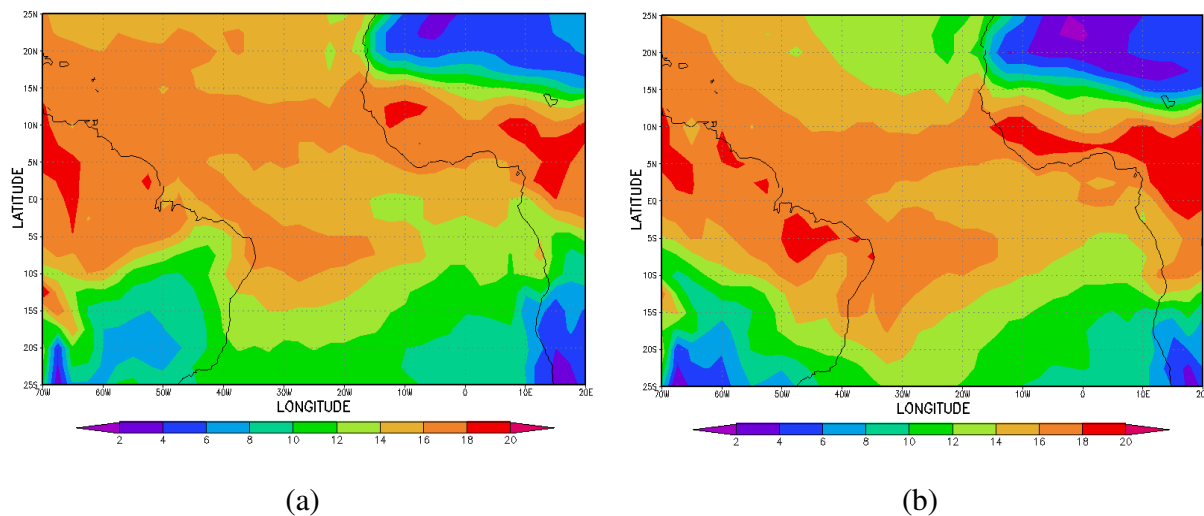


Figura 23 – Campo de umidade específica média semanal (g.kg^{-1}) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

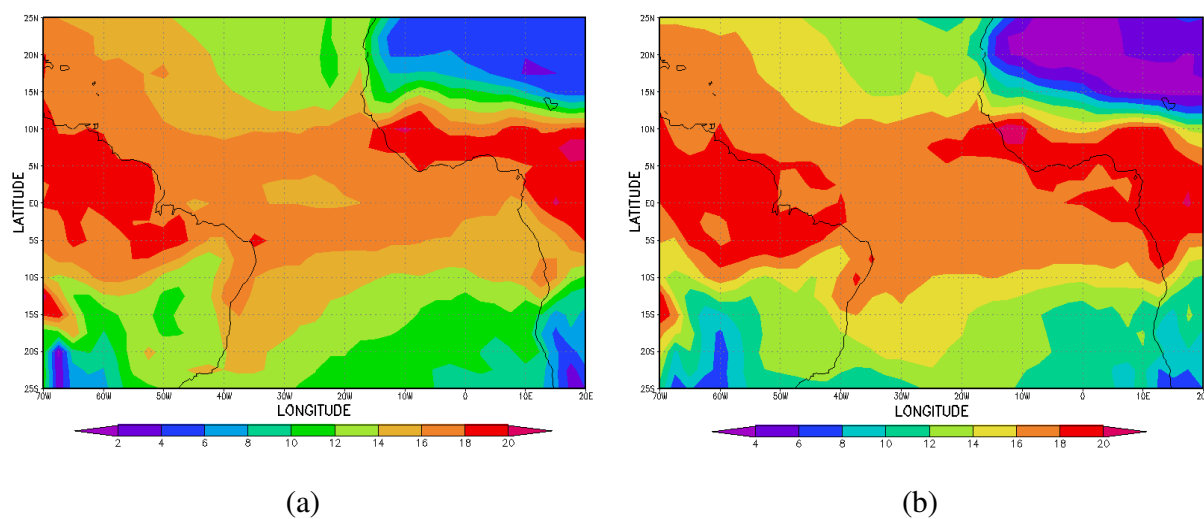


Figura 24 – Campo de umidade específica média semanal (g.kg^{-1}) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

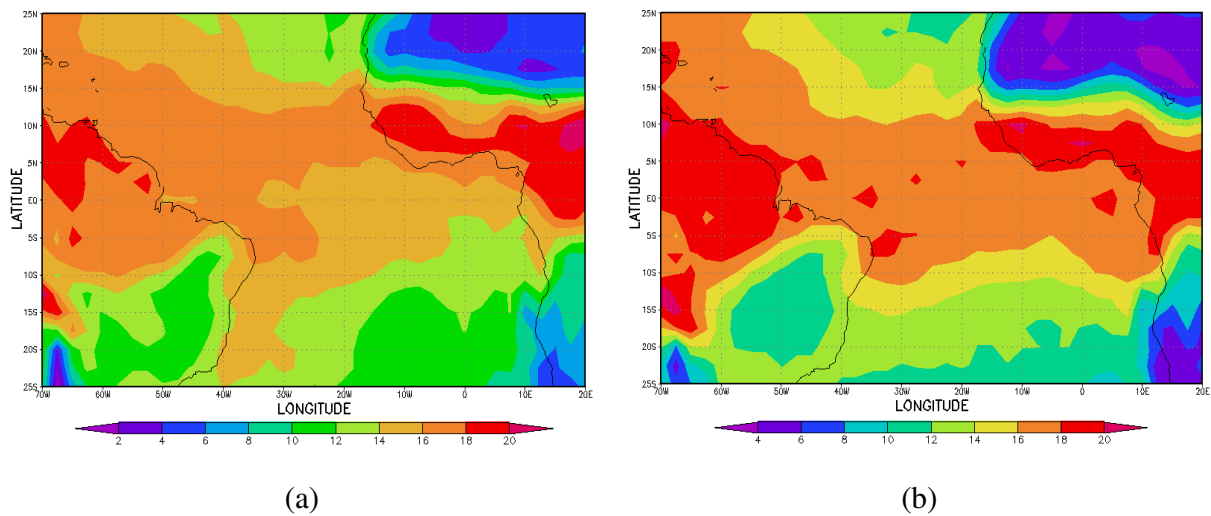


Figura 25 – Campo de umidade específica média semanal (g.kg^{-1}) para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

No nível de 500 hPa sobre a costa do Nordeste do Brasil, o campo de omega médio semanal apresentou movimentos ascendentes na parte leste nas semanas de atuação da ZCSAS (Figura 26) e movimentos descendentes nas semanas de não atuação (Figura 27) e de neutralidade (Figura 28). Este tipo de configuração é propício ao aumento de precipitação na parte leste do Nordeste do Brasil no período de atuação da ZCSAS, desde que haja umidade suficiente para produzir chuva.

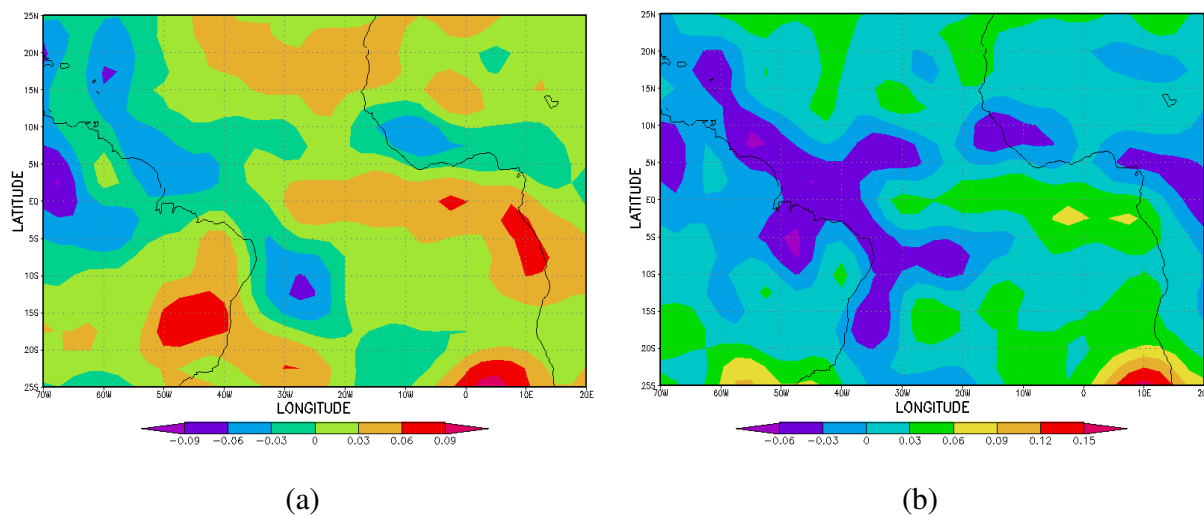


Figura 26 – Campo de omega médio (m.s^{-1}) para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

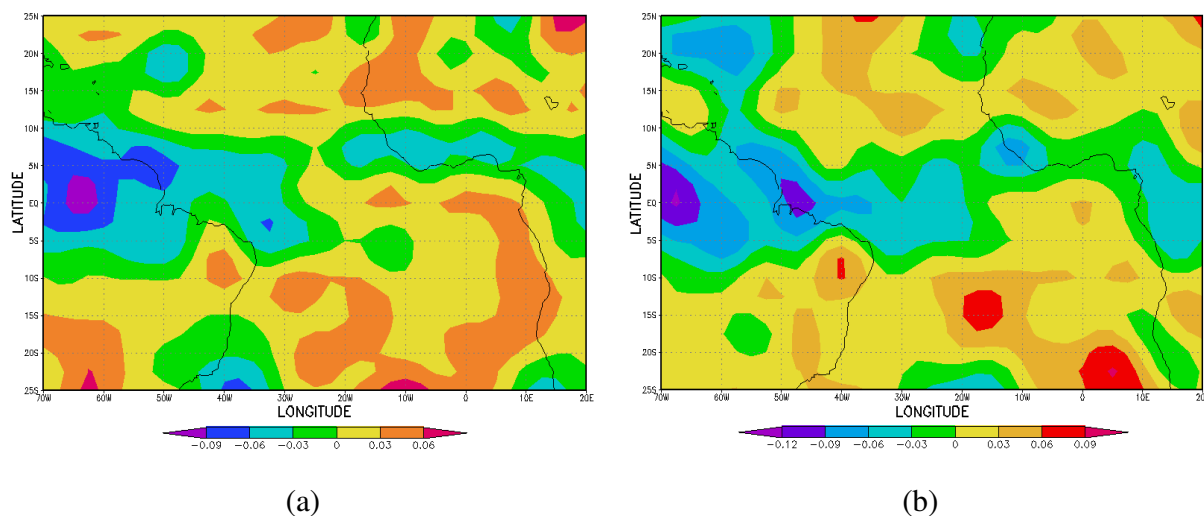


Figura 27 – Campo de omega médio (m.s^{-1}) para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

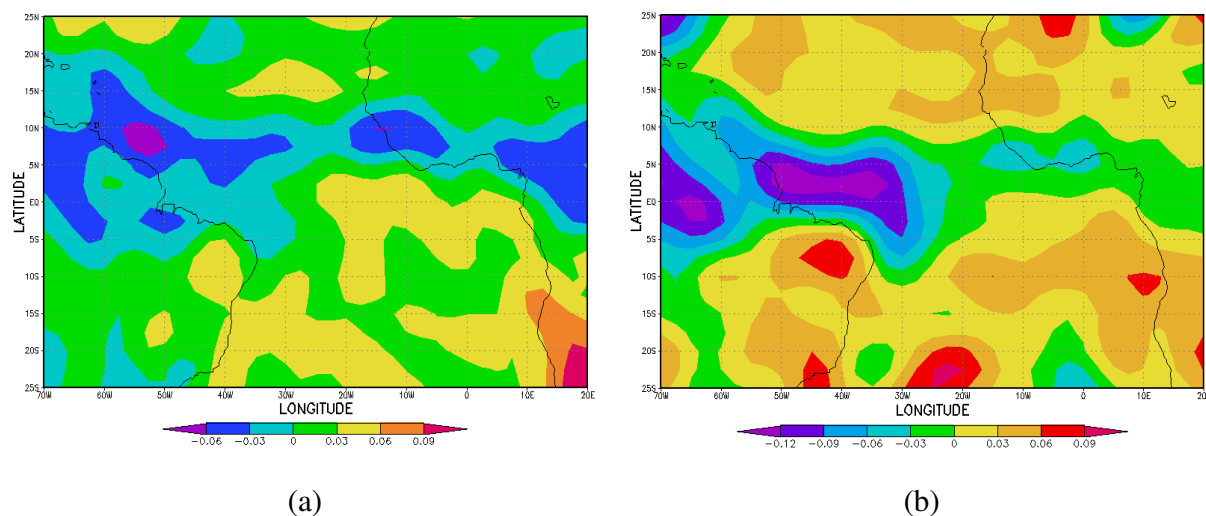


Figura 28 – Campo de omega médio ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

Verifica-se na Figura 29 que o campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa, sobre o oceano Atlântico Tropical durante a semana de atuação da ZCSAS a ZCIT apresenta posição latitudinal no Atlântico Tropical Norte mais ao norte do que nas semanas de não atuação (Figura 30) e de neutralidade (Figura 31), logo se pode concluir que as chuvas observadas no período de atuação da ZCSAS, não são provenientes da ZCIT. Yamazaki e Rao (1977) sugeriram que o máximo de chuvas na costa leste do NEB não é proveniente da ZCIT. Portanto, este trabalho reforça os resultados obtidos por estes autores.

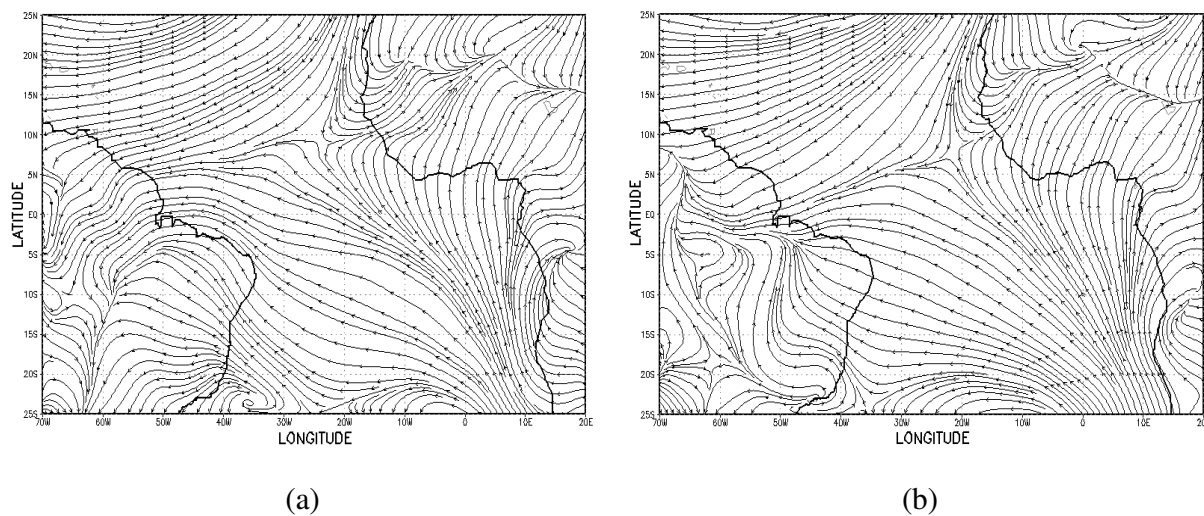


Figura 29 – Campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

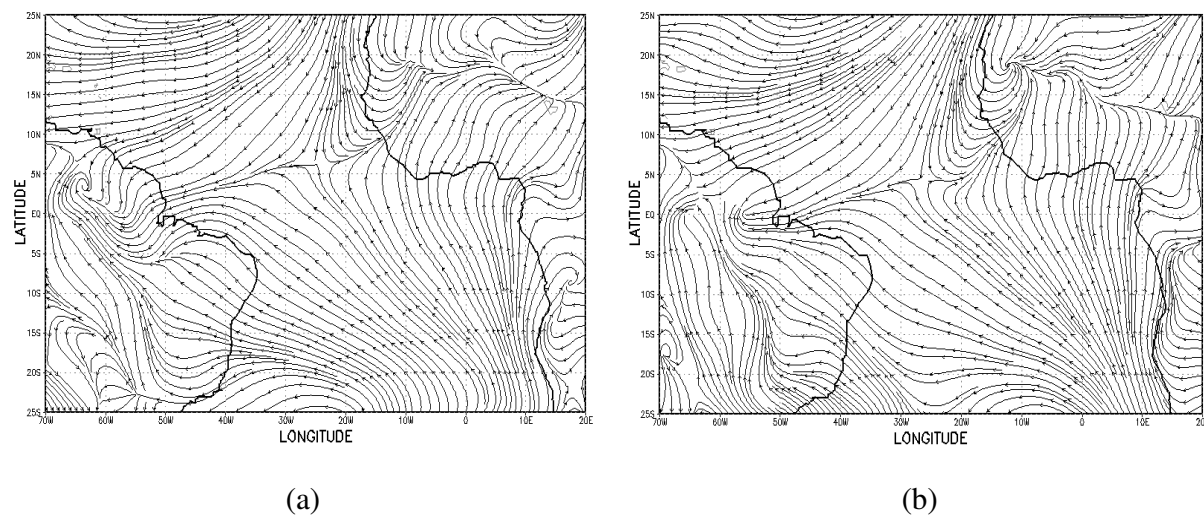


Figura 30 – Campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

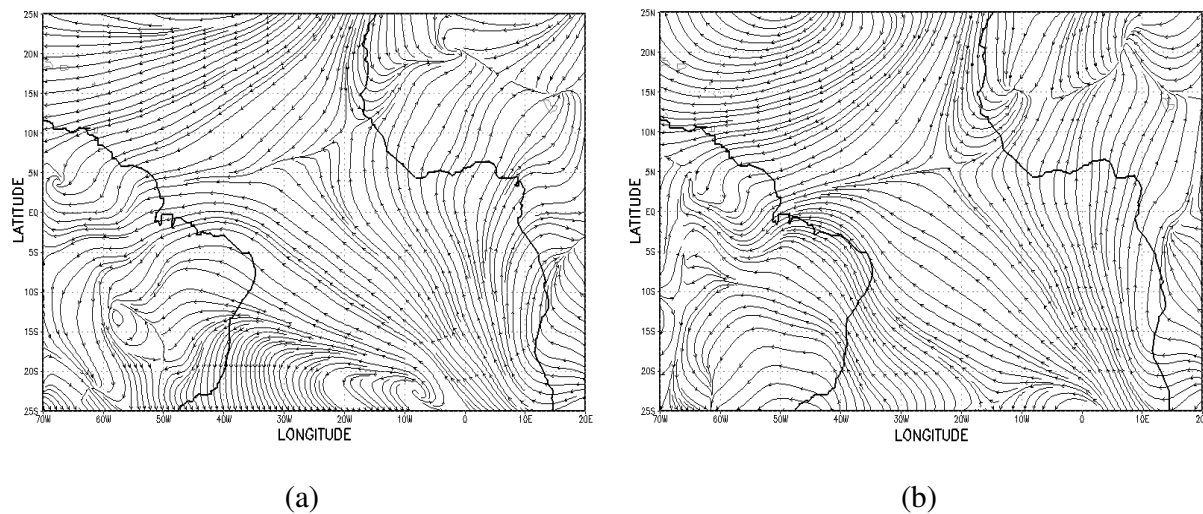


Figura 31 – Campo de linha de corrente média para o nível de 1000 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

Analisando-se em 500 hPa verifica-se o campo de linha de corrente média sobre o Atlântico Tropical durante a semana de atuação da ZCSAS (Figura 32) a presença de um anticiclone no interior do Brasil, enquanto que nas semanas de não atuação (Figura 33) e de neutralidade (Figura 34) há um anticiclone deslocado para leste e na costa do Brasil.

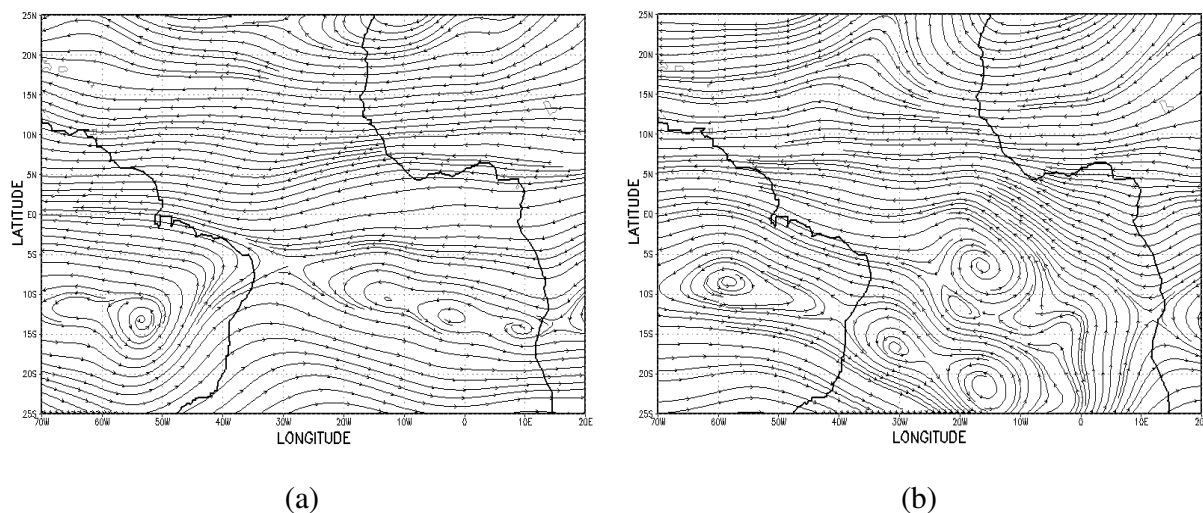


Figura 32 – Campo de linha de corrente média para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical com atuação da ZCSAS: (a) terceira semana de julho de 1989; (b) quarta semana de junho de 1994

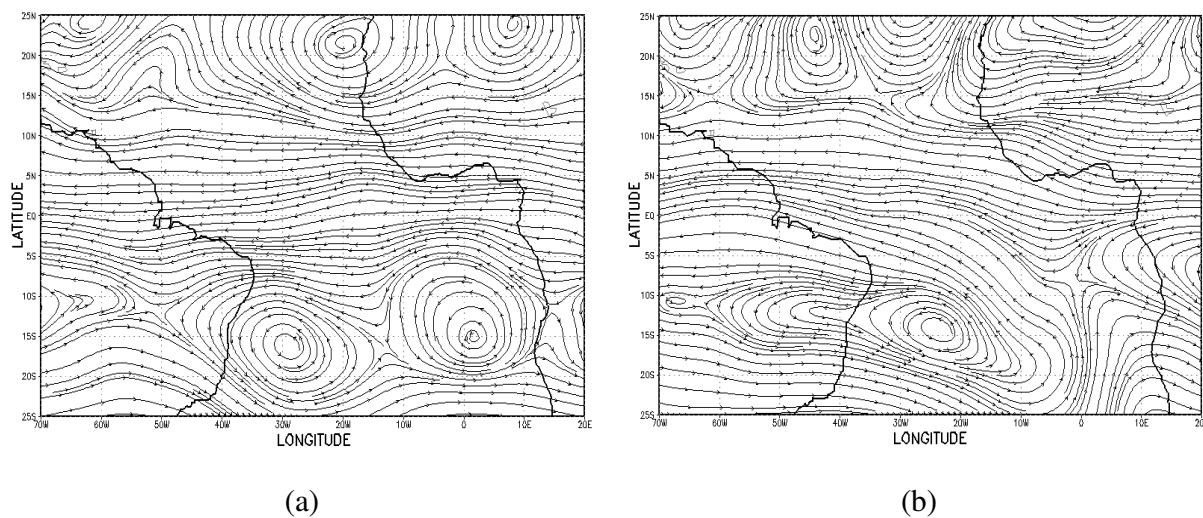


Figura 33 – Campo de linha de corrente média para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical sem atuação da ZCSAS: (a) quarta semana de junho de 1991; (b) primeira semana de junho de 1999

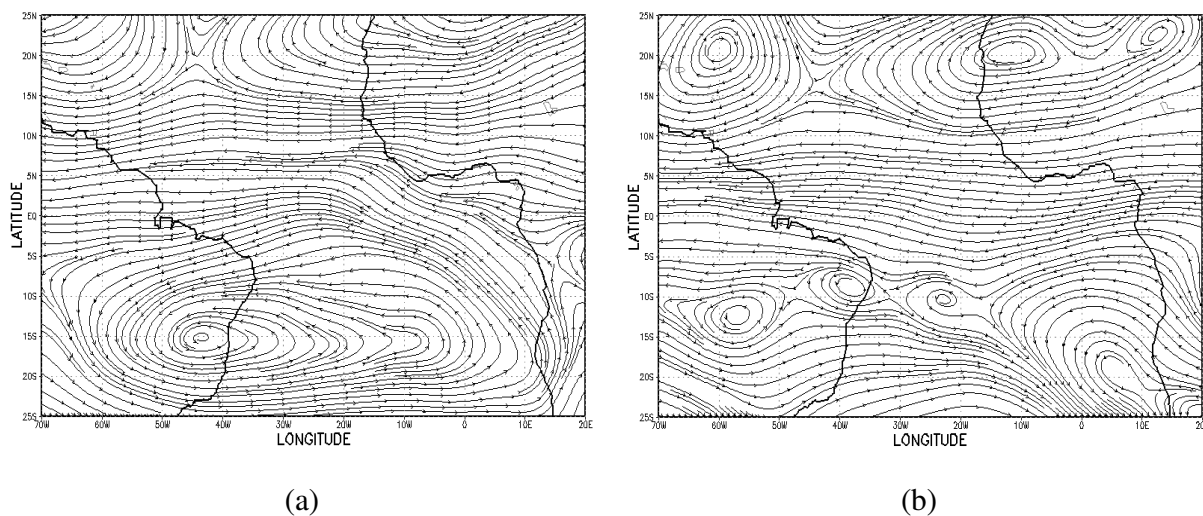


Figura 34 – Campo de linha de corrente média para o nível de 500 hPa no oceano Atlântico Tropical neutro em relação à ZCSAS: (a) primeira semana de julho de 1993; (b) primeira semana de junho de 2006

4.4 Relação com Precipitação no leste do NEB

Verifica-se através da Figura 35 que a distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco e o índice da ZCSAS para as semanas de maio, de modo geral, não estão relacionados. Isto também é observado no cálculo da correlação entre estas variáveis, apresentado na Tabela 6, a qual mostra que durante o mês de maio há correlação estatisticamente significativa negativa apenas na 1ª semana, nas demais semanas não há correlação entre o índice da ZCSAS e a precipitação no leste dos estados da Paraíba e Pernambuco. Portanto, as chuvas ocorridas em maio no leste da Paraíba e Pernambuco provavelmente não são decorrentes da atuação da ZCSAS, mas de outros sistemas meteorológicos.

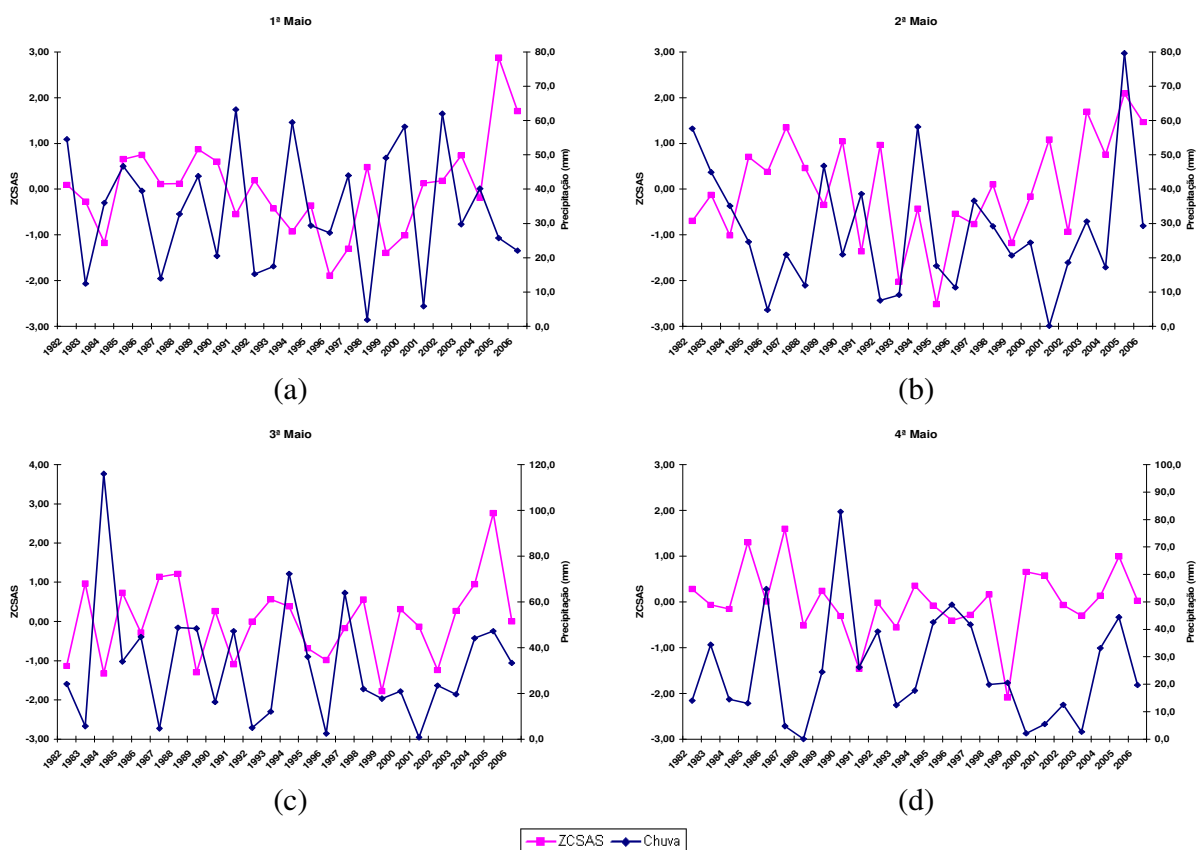


Figura 35 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Por outro lado, a distribuição temporal da precipitação total semanal da parte leste da Paraíba e Pernambuco para as semanas do mês de junho está diretamente correlacionada com o índice da ZCSAS (Figura 36). Este resultado é confirmado pelo o cálculo da correlação entre estas variáveis como mostra a Tabela 6, pois são verificadas correlações estatisticamente significativas em todas as semanas de junho, com exceção da 4ª semana. Portanto, pode-se afirmar que a maior parte das chuvas observadas no leste da Paraíba e Pernambuco durante o mês de junho é proveniente da ZCSAS.

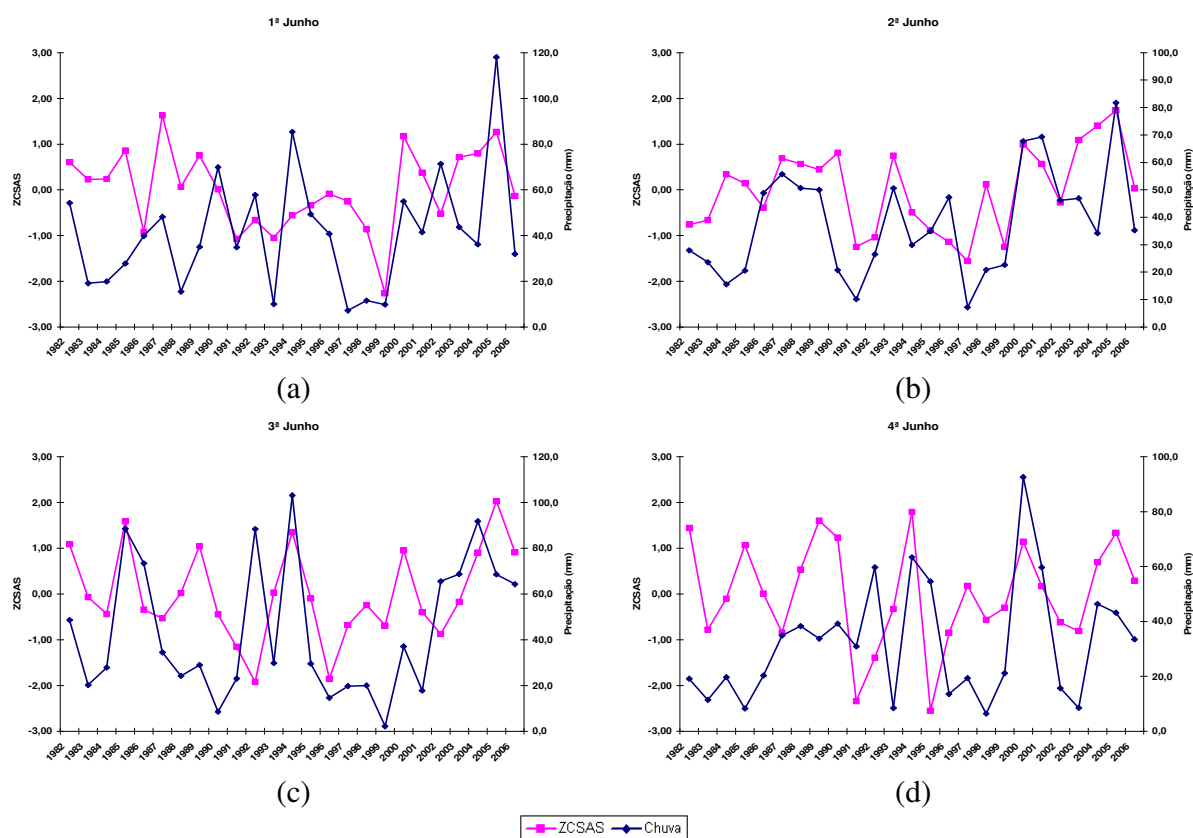


Figura 36 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Por ser observado através da Figura 37 que a distribuição temporal de precipitação no mês de julho no leste da Paraíba e Pernambuco é, em parte dependente da atuação da

ZCSAS, e de modo geral, esta dependência está centrada nas 3 primeiras semanas, como mostra a Tabela 6.

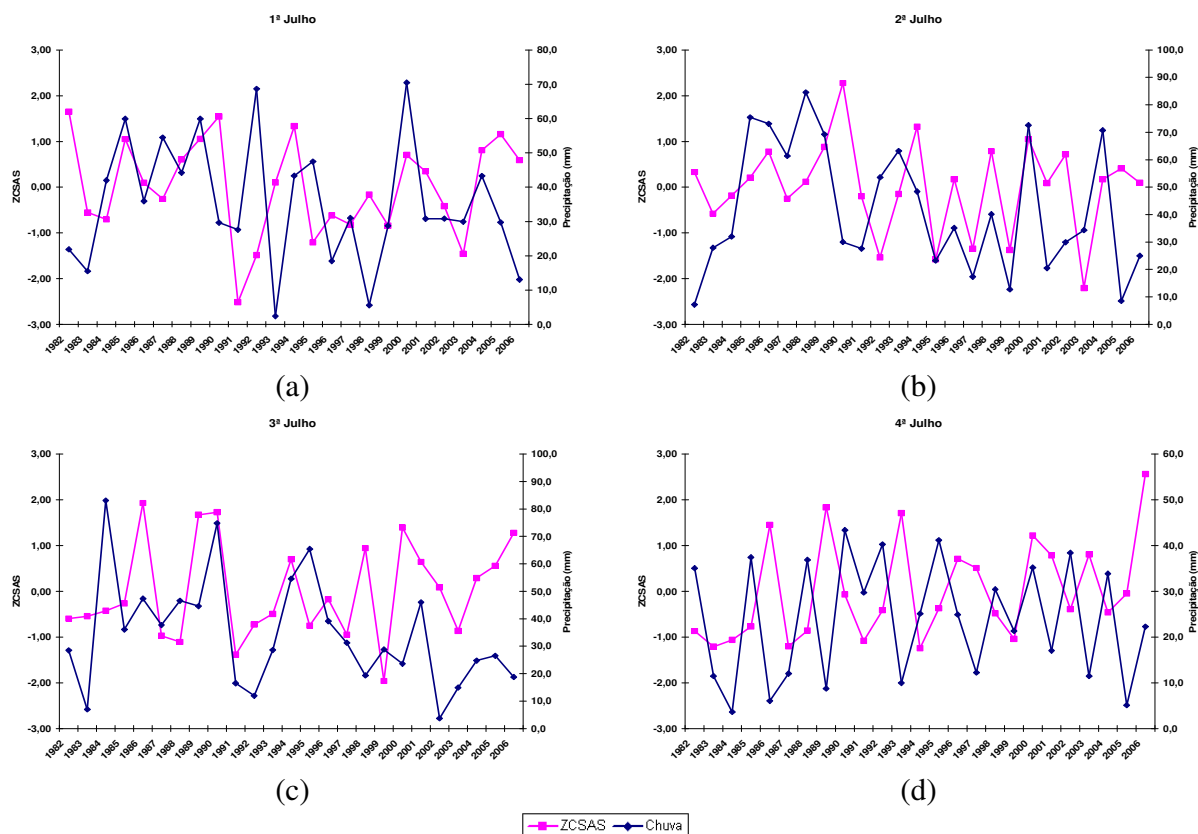


Figura 37 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Verifica-se na Figura 38 que a distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco é diretamente proporcional com o índice da ZCSAS para a 1ª e 2ª semanas de agosto, isto é observado na Tabela 6, onde os valores dos coeficientes de correlação são estatisticamente significantes e positivos, a 3ª semana não apresenta nenhuma relação e a 4ª semana apresenta relação de proporcionalidade inversa, como pode ser observado com o valor negativo, ou seja, o efeito da atuação da ZCSAS na precipitação da costa leste do Nordeste tem início na primeira semana de junho e estende-se até a terceira semana de julho. Provavelmente, esta influência

da ZCSAS nas chuvas do leste do Nordeste é decorrente do posicionamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e da atuação de sistemas frontais no sul do Brasil durante o inverno austral. Portanto, se faz necessário verificar a influência destes sistemas sobre a ocorrência e manutenção da ZCSAS.

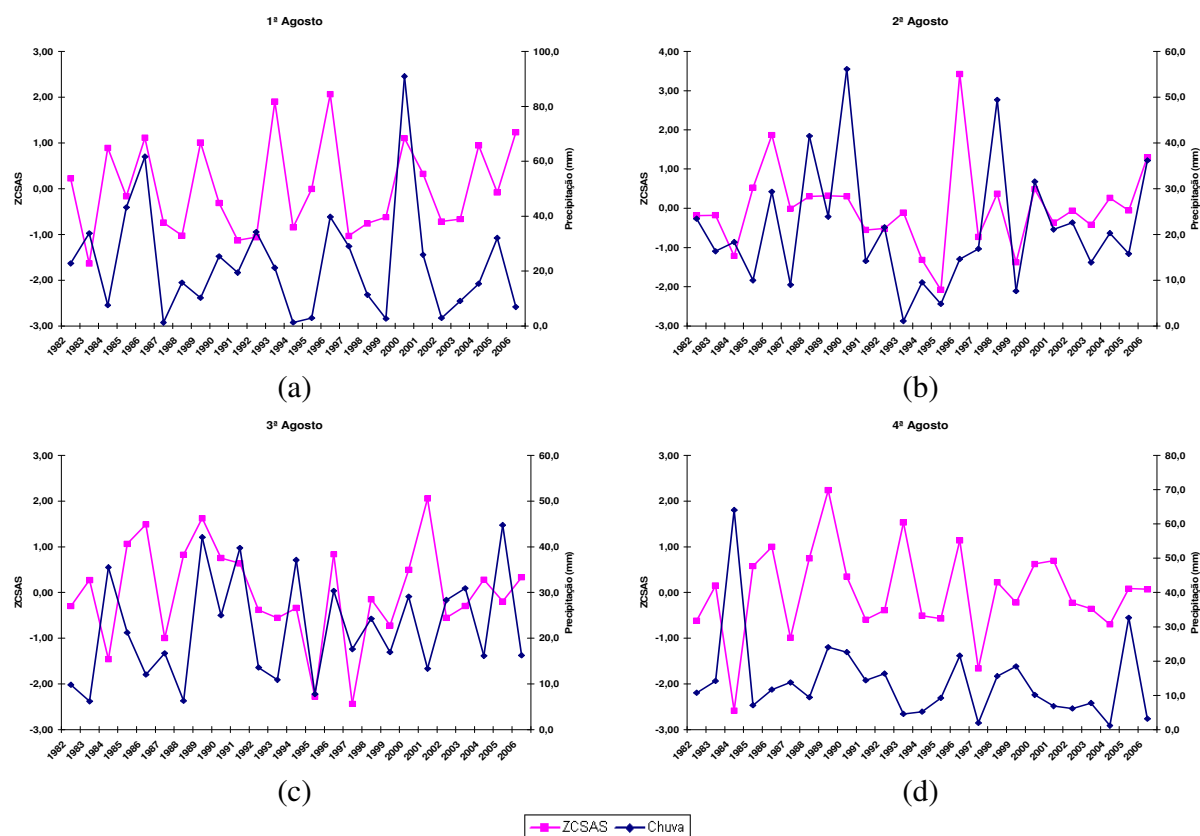


Figura 38 – Distribuição temporal da precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco com o índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Tabela 6 – Coeficiente de correlação entre a precipitação total semanal (mm) média das localidades dos estados da Paraíba e Pernambuco e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1ª	2ª	3ª	4ª
Maio	-0,29*	0,08	-0,12	-0,16
Junho	0,35**	0,61***	0,42**	0,19
Julho	0,07	0,25	0,21	-0,29*
Agosto	0,29*	0,35**	0,10	-0,28*

*90% de significância, ** 95% de significância, *** 99% de significância

4.5 ZCSAS e Sistemas Frontais Austrais

Na Seção 3.2.5 foi mencionado que a atuação de sistemas frontais austrais no sul do Brasil é verificada pelo número de sistemas frontais que passam pelo o sul do Brasil, bem como, da precipitação total semanal média e da pressão reduzida ao nível médio do mar média da área entre 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S localizada no sul do Brasil. A influências destas variáveis sobre a ZCSAS foi averiguada através do cálculo dos coeficientes de correlação apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10.

Através da Tabela 7 é possível obter um indicativo de como a pressão reduzida ao nível médio do mar na área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S se comporta em relação ao índice da ZCSAS, sendo verificado que os coeficientes de correlação estatisticamente significativos são negativos, destacando-se os coeficientes da 3ª semana e julho e 4ª semana de agosto, onde esses apresentaram significância estatística de 95%. Entretanto, pode-se concluir que a diminuição da pressão reduzida ao nível médio do mar na área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S está diretamente correlacionada com a atuação da ZCSAS.

Tabela 7 – Coeficiente de correlação entre a média da pressão reduzida ao nível médio do mar na área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1ª	2ª	3ª	4ª
Maio	0,14	0,01	-0,28*	0,26
Junho	-0,17	-0,02	0,10	-0,30*
Julho	0,11	0,17	-0,35**	-0,22
Agosto	-0,12	-0,20	-0,19	-0,38**

*90% de significância, ** 95% de significância

Verifica-se que os coeficientes de correlação estatisticamente significativos da precipitação total semanal média da área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S (Tabela 8) com o índice da ZCSAS apresentam dois valores positivos (2ª semana de maio e 3ª semana de agosto) e um negativo (3ª semana de junho). Para as demais semanas não se obteve correlações estatisticamente significativas. Portanto, com base nestes resultados não se pode concluir que há uma ligação direta entre a pressão ao nível do mar no sul do Brasil e a

atuação da ZCSAS. Isto provavelmente ocorreu porque a área geográfica analisada no sul do Brasil é muito pequena, a qual é útil para análise de precipitação, mas não é para a pressão que necessita de uma área maior para caracterizar uma zona de alta ou baixa pressão.

Tabela 8 – Coeficiente de correlação da precipitação total semanal média da área de 52,5 a 45,0 °W e 30,0 a 27,5 °S com o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Maio	-0,04	0,39**	-0,13	-0,05
Junho	0,00	-0,18	-0,31*	-0,04
Julho	0,05	-0,11	0,14	-0,22
Agosto	0,19	0,10	0,30*	0,23

*90% de significância, ** 95% de significância

A relação da ZCSAS com o número de sistemas frontais que atuaram no sul do Brasil foi investigado através da análise gráfica (Figuras 39 a 42). É observado que entre a distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS no mês de maio (Figura 39) há relação inversa. Esse indicativo pode ser observado na Tabela 9 através dos coeficientes de correlação para o referido mês, pois estes coeficientes não são estatisticamente significativos.

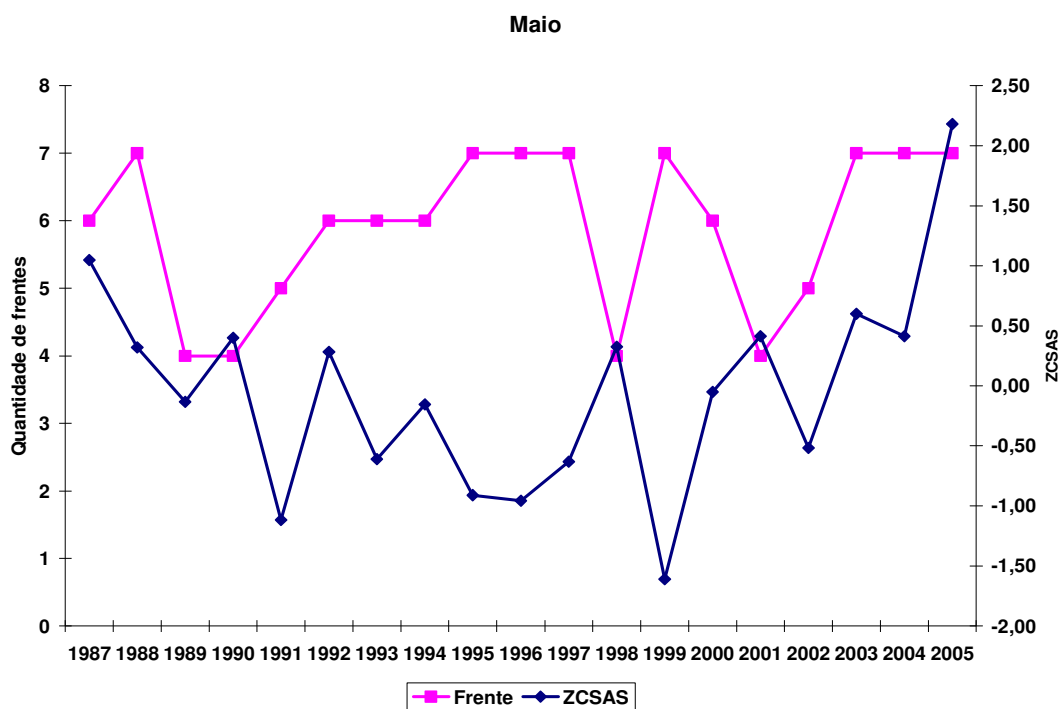


Figura 39 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de maio

Nas Figuras 40 e 41 é observado que não há relação entre a distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para os meses de junho e julho.

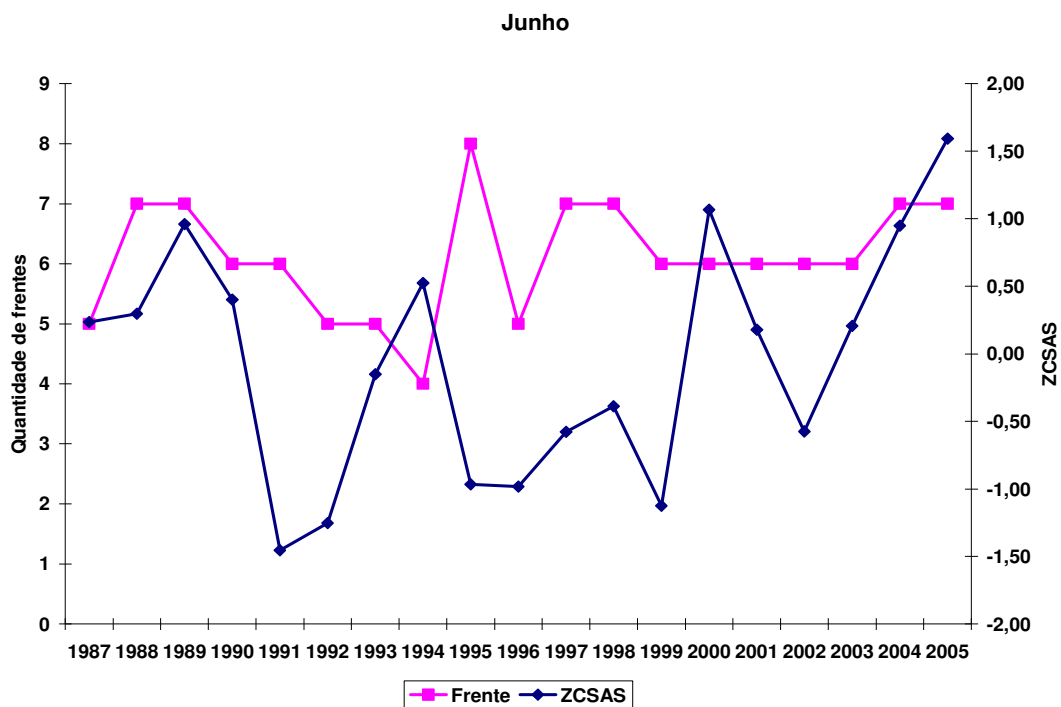


Figura 40 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de junho

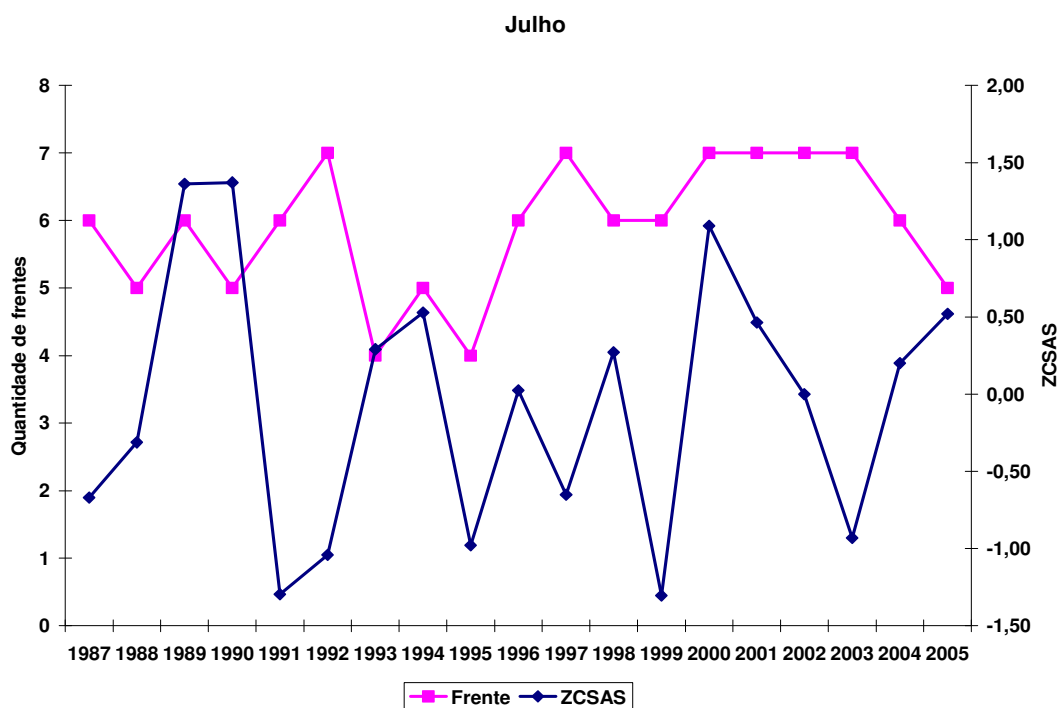


Figura 41 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de julho

É mostrado na Figura 42 que há relação de proporcionalidade direta entre a distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de agosto, isto também pode ser observado na Tabela 9 através do coeficiente de correlação.

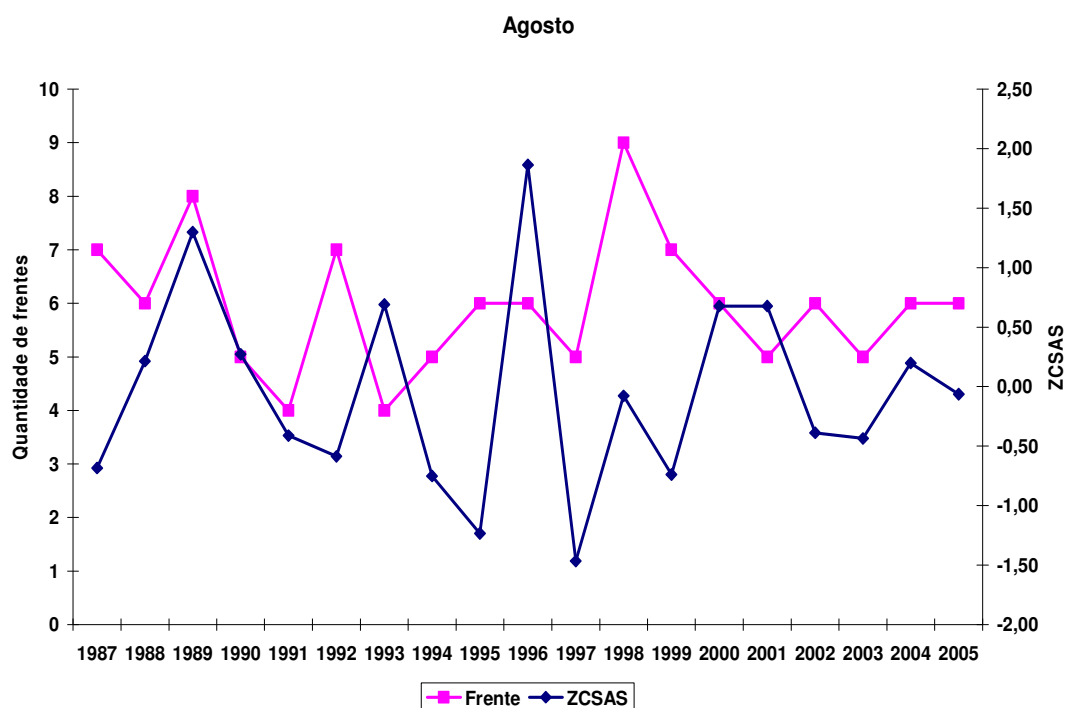


Figura 42 – Distribuição temporal do número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para o mês de agosto

Tabela 9 – Coeficiente de correlação entre o número de ocorrência de frente fria no Brasil e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Maio	-0,10	-0,20	0,08	-0,20
Junho	0,02	0,17	0,07	0,20
Julho	-0,19	-0,16	0,29	0,03
Agosto	0,05	0,20	0,26	0,17

4.6 ZCSAS e a Alta do Atlântico Sul

Pode ser observado na Figura 43 que a distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS apresentam relação inversa para a 1ª semana de maio (Figura 43a). Isso é confirmado na Tabela 10, onde o coeficiente de correlação é 95% estatisticamente significativo, ou seja, para a 1ª semana de maio tem-se que, com o aumento da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul ocorre diminuição da atuação da ZCSAS. Para as outras semanas do referido mês não houve relação.

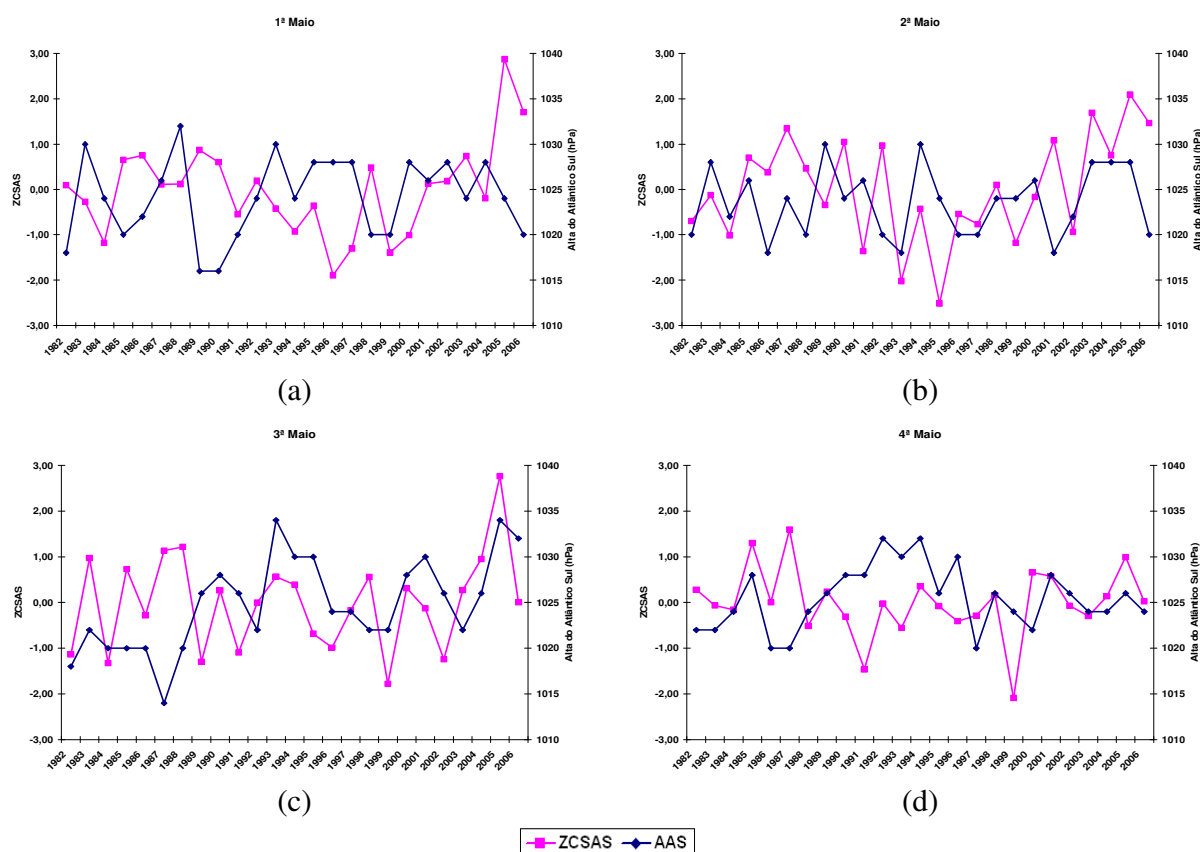


Figura 43 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Na Figura 44 tem-se a distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS nas semanas do mês de junho, nela não se observa nenhuma relação, o que é visto também na Tabela 10, na qual os coeficientes de correlação apresentam valores baixos e não são estatisticamente significativos. É oportuno mencionar que junho é o mês em que a ZCSAS mais influencia as chuvas no leste do Nordeste. Lima e Rao (1994) encontraram uma relação direta entre as chuvas no leste do Nordeste e a intensidade do centro de alta pressão do Atlântico Sul. Portanto, possivelmente exista uma relação indireta entre ZCSAS e a intensidade do centro de alta pressão.

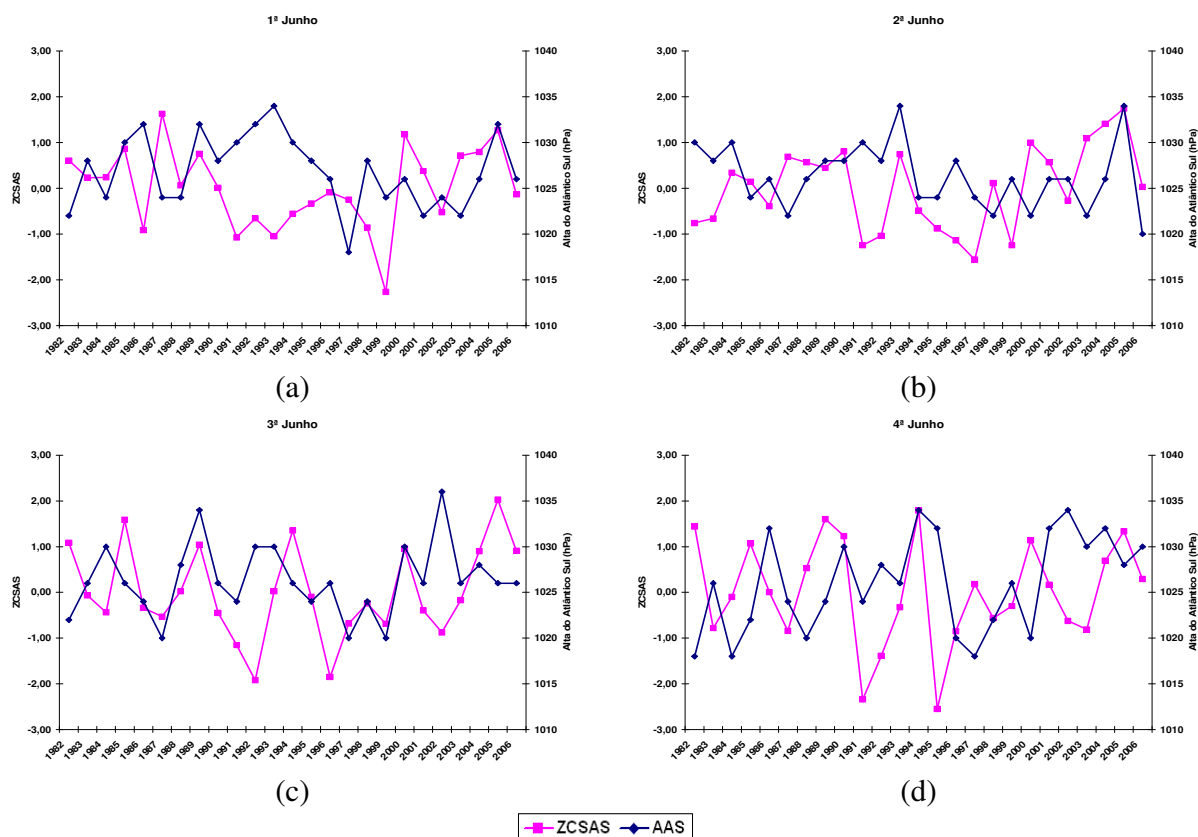


Figura 44 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Verifica-se através da Figura 45 que a distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para as semanas do mês de julho apresenta relação de inversão para a 3ª semana de julho (Figura 45a). Como pode ser observado na Tabela 10, o coeficiente de correlação é 95 % estatisticamente significativo, ou seja, uma diminuição da intensidade do centro da alta pode levar a formação da ZCSAS. Isto está coerente, uma vez que para formação da ZCSAS é necessário um aumento de TSM no Atlântico Sul Equatorial e uma diminuição dos ventos alísios de sudeste pode produzir este aumento na TSM.

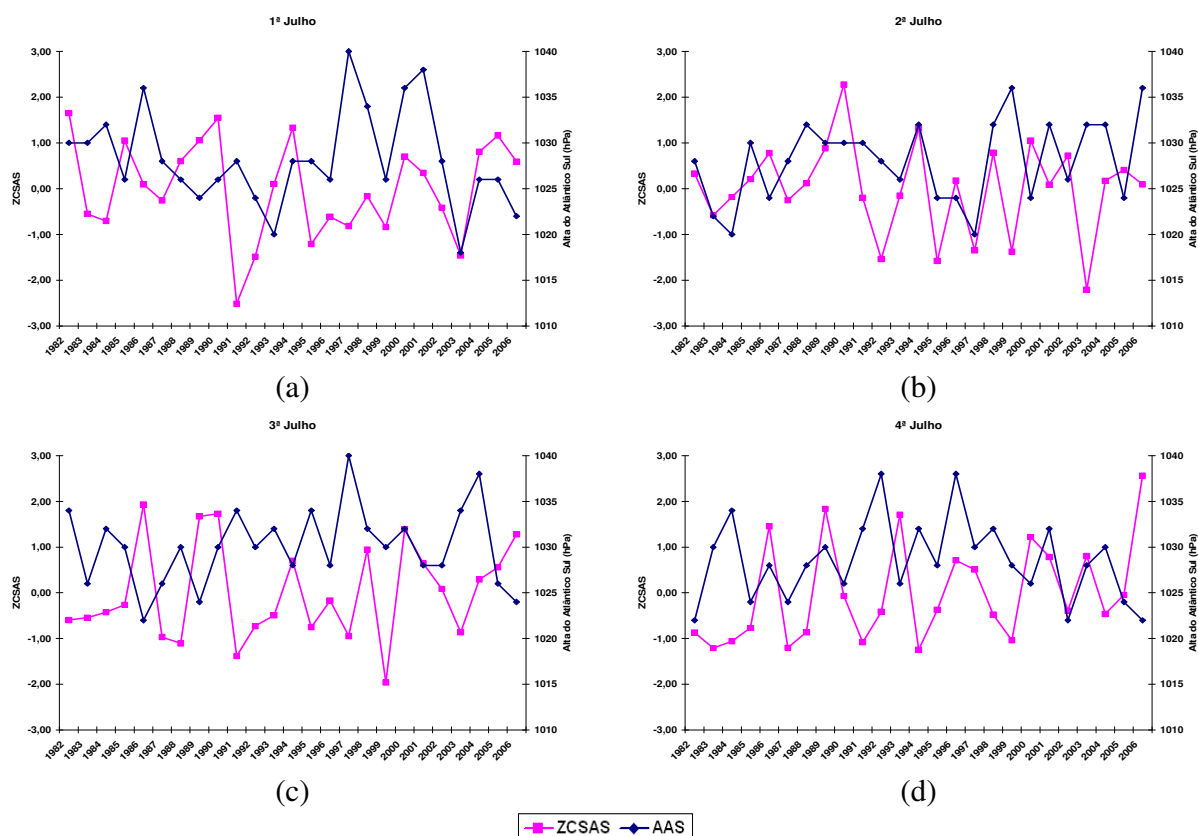


Figura 45 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Na Figura 46 tem-se a distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para as semanas do mês de agosto, não sendo

observada nenhuma relação, o que é visto também na Tabela 10, onde os coeficientes de correlação não são estatisticamente significativos, e portanto, semelhantes ao resultado obtido para a 1ª semana de maio (Figura 43a).

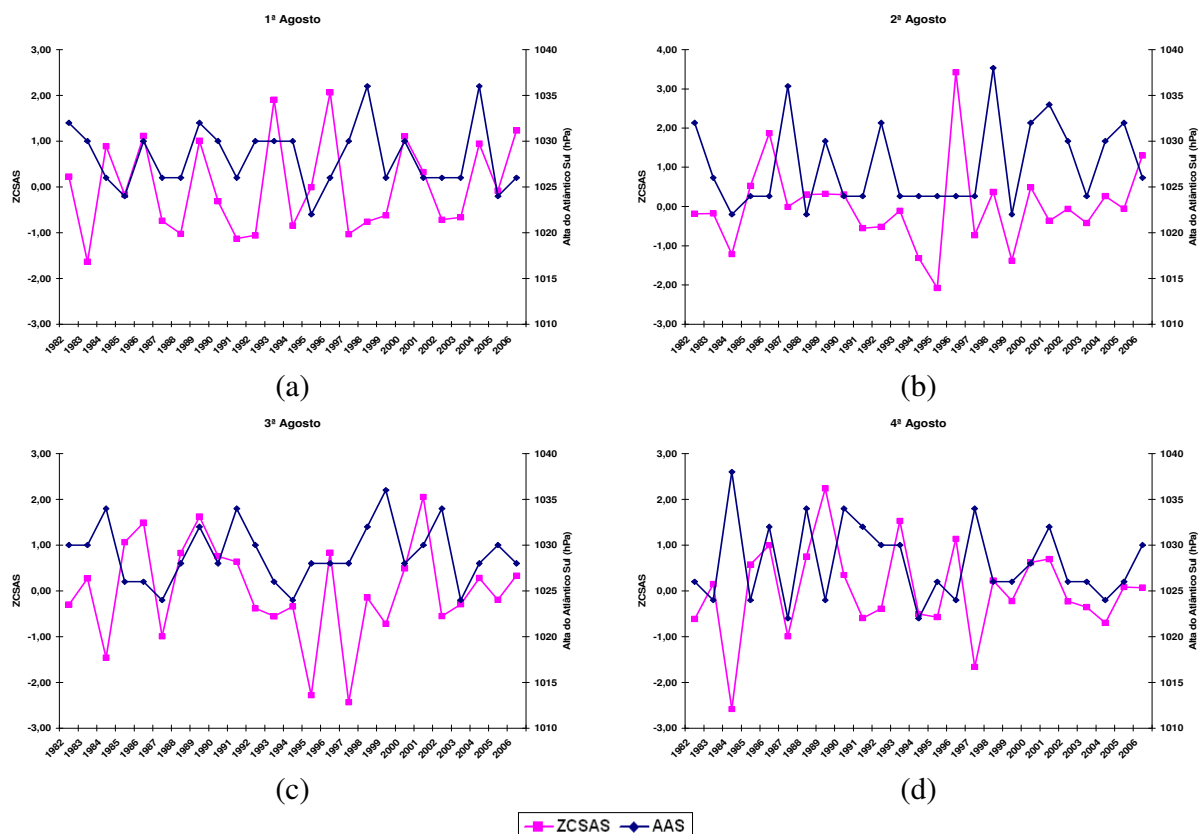


Figura 46 – Distribuição temporal da intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Tabela 10 – Coeficiente de correlação entre a intensidade do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1ª	2ª	3ª	4ª
Maio	-0,35**	0,14	0,17	-0,11
Junho	-0,16	0,05	0,07	-0,10
Julho	0,02	0,08	-0,46**	-0,13
Agosto	0,08	0,07	-0,03	-0,23

** 95% de significância

Analisando-se a distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para as semanas do mês de maio (Figura 47) vê-se que há relação de proporcionalidade direta na 4ª semana (Figura 47d), isto também pode ser observado na Tabela 11 através do coeficiente de correlação negativo e significância estatística de 90%, ou seja, quanto mais o centro de Alta pressão do Atlântico Sul se desloca para norte, maior a ocorrência de atuação da ZCSAS nesta semana. Para as demais semanas do referido mês não foi encontrada relação.

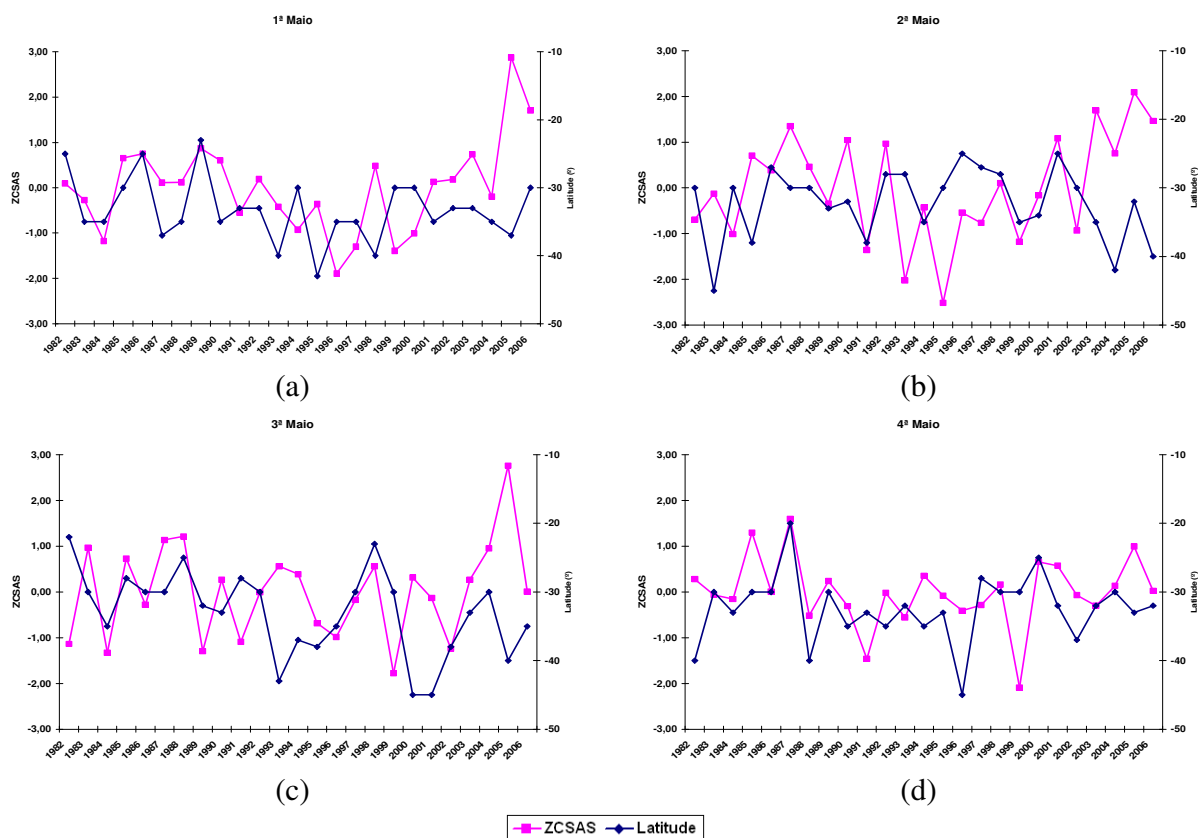


Figura 47 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

É observado na Figura 48, a qual mostra a distribuição temporal da latitude do centro de Alta pressão do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS semanais para o mês de junho, que não há relação, exceto para a 1ª semana (Figura 48a). Esse resultado é

semelhante ao ocorrido para a 4ª semana de maio (Figura 47d) e comprovado através da Tabela 11, pelos valores dos coeficientes de correlação semanais obtidos para junho.

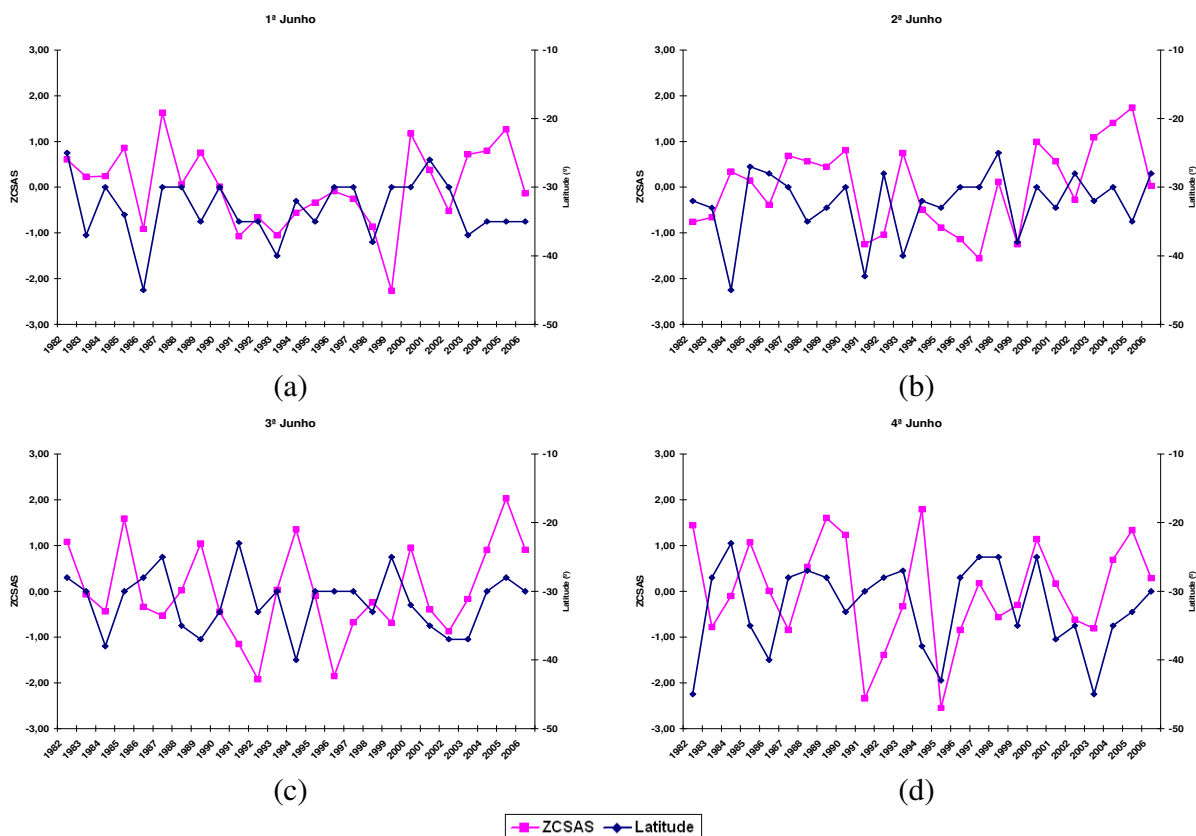


Figura 48 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Verifica-se através da distribuição temporal da latitude do centro de Alta pressão do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho que na 3ª semana (Figura 49c) há alguma relação direta. Isto também pode ser observado através da Tabela 11, onde o coeficiente de correlação apresenta significância estatística. Para as demais semanas não há relação.

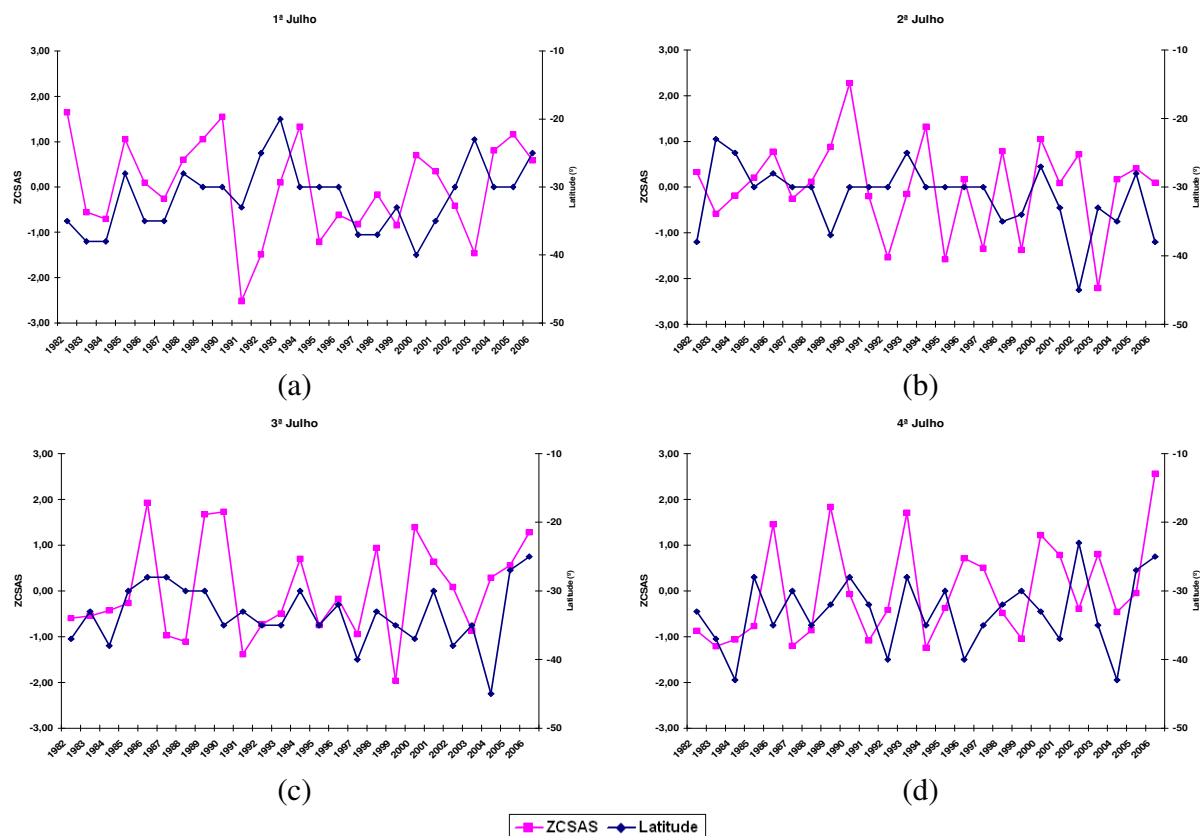


Figura 49 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

É observado na Figura 50 para a distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS nas semanas do mês de agosto, que não há relação de proporcionalidade direta ou inversa, comprovada através da Tabela 11, com os valores dos coeficientes de correlação baixos.

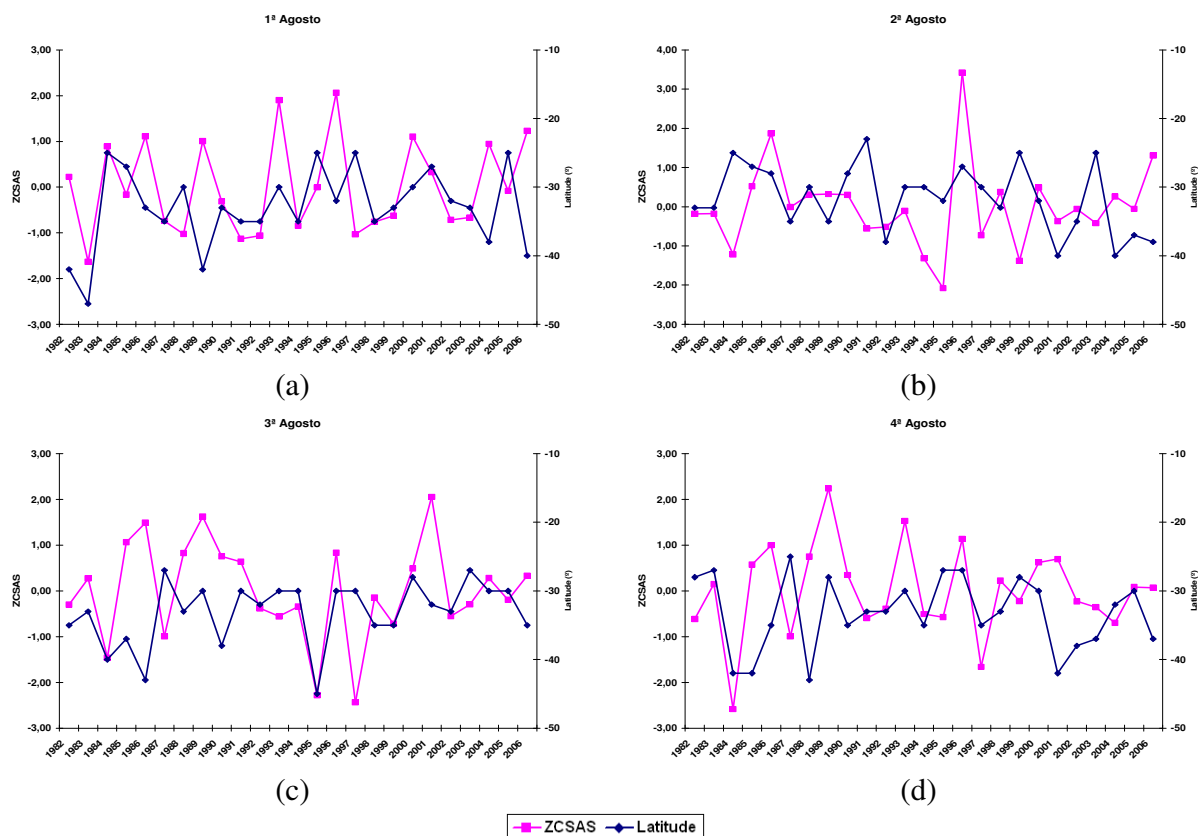


Figura 50 – Distribuição temporal da latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Tabela 11 – Coeficiente de correlação entre a latitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1ª	2ª	3ª	4ª
Maio	0,10	-0,15	-0,08	0,33*
Junho	0,25	0,02	-0,10	-0,03
Julho	0,00	-0,11	0,27*	0,19
Agosto	0,10	-0,04	0,10	0,14

*90% de significância

Através da distribuição temporal da longitude do centro de Alta pressão do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para as semanas do mês de maio e junho (Figuras 51 e 52, respectivamente), verifica-se que essas distribuições não apresentam relação, ou seja,

para os referidos meses não se pode concluir algo com relação ao deslocamento no sentido leste-oeste do centro de Alta pressão do Atlântico Sul.

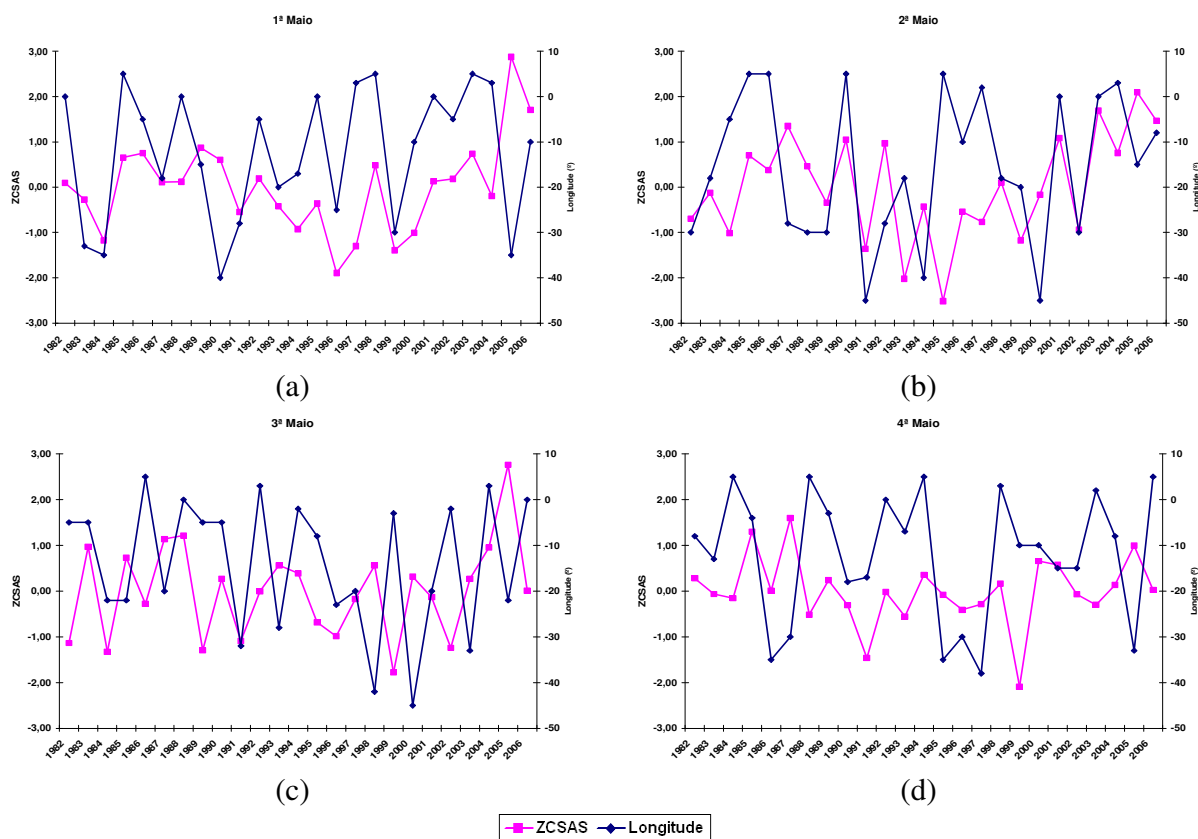


Figura 51 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de maio: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

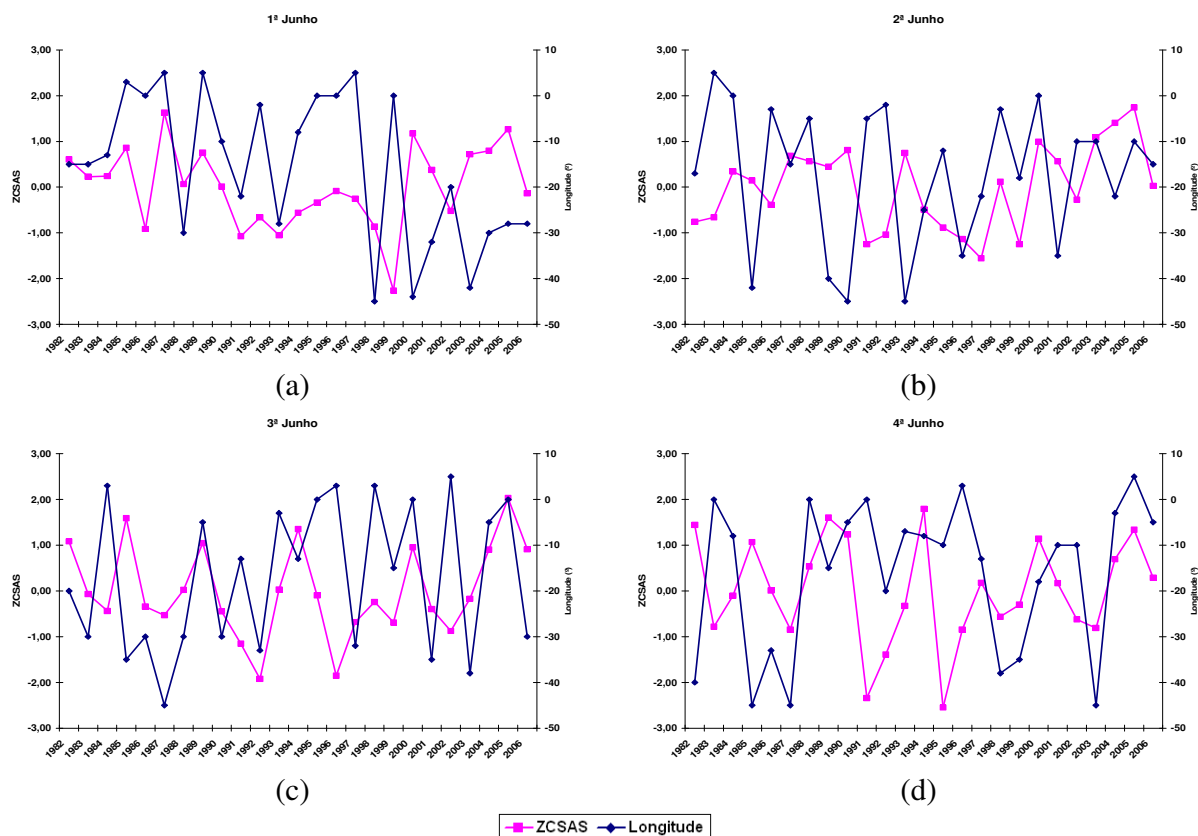


Figura 52 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de junho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Verifica-se na distribuição temporal da longitude do centro de Alta pressão do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para as semanas do mês de julho (Figura 53), que apenas para a 4ª semana há uma relação direta entre o deslocamento do centro de Alta pressão do Atlântico Sul para oeste e a atuação da ZCSAS. Isto também pode ser observado na Tabela 12, onde para a 4ª semana de julho o coeficiente de correlação foi positivo, com significância estatística de 95%. Para as demais semanas de julho não houve relação entre as distribuições analisadas.

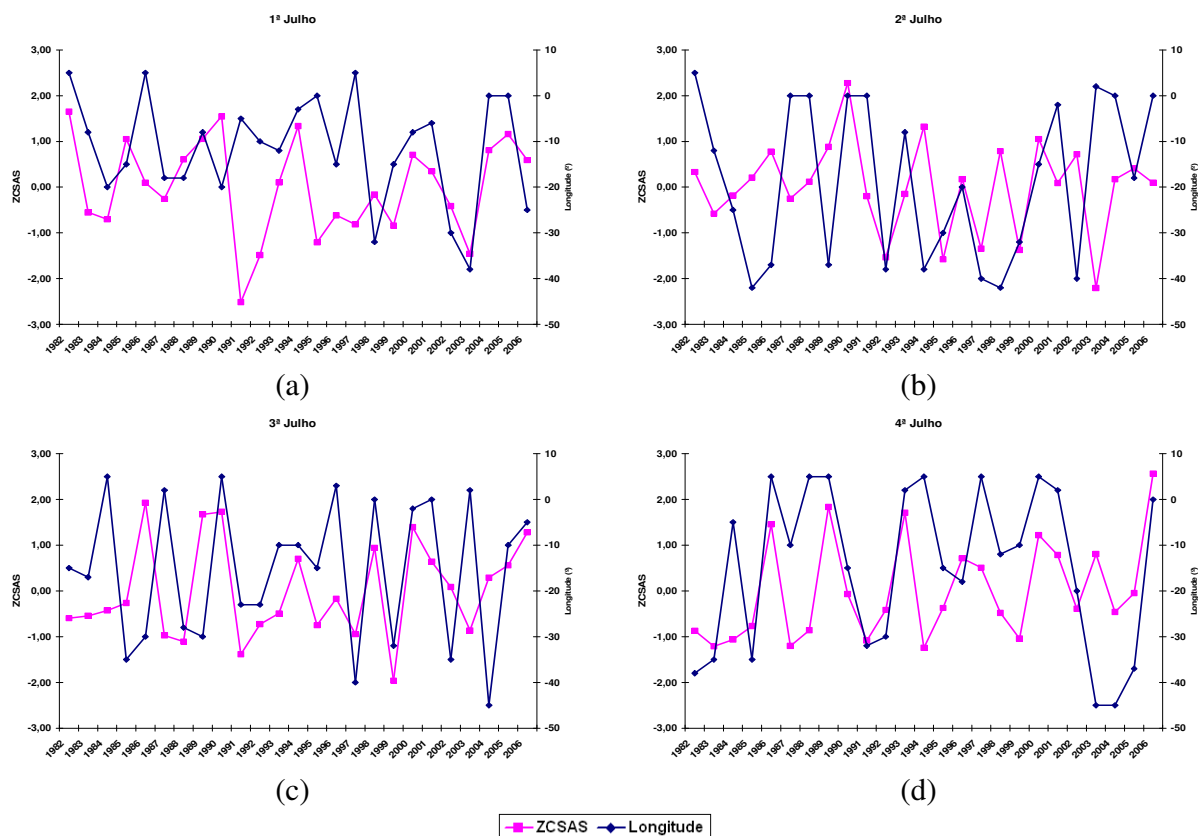


Figura 53 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de julho: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Analisando-se a distribuição temporal da longitude do centro de Alta pressão do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para as semanas do mês de agosto, tem-se que as mesmas não apresentam relação, esses resultados estão de acordo com os obtidos nas semanas do mês de maio (Figura 51) e junho (Figura 52).

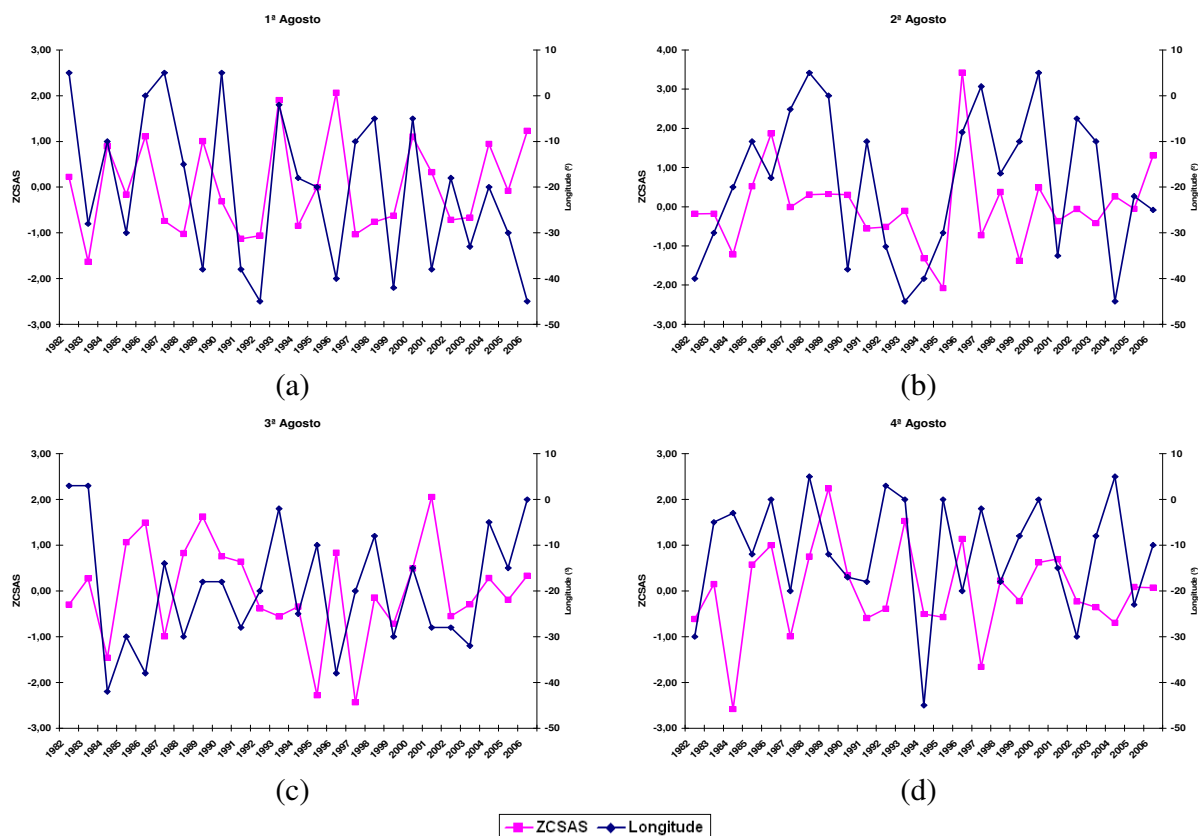


Figura 54 – Distribuição temporal da longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e do índice da ZCSAS para o mês de agosto: (a) 1ª semana; (b) 2ª semana; (c) 3ª semana e (d) 4ª semana

Tabela 12 – Coeficiente de correlação entre a longitude do centro de pressão da Alta do Atlântico Sul e o índice da ZCSAS para os meses de maio a agosto

	1ª	2ª	3ª	4ª
Maio	0,09	0,20	-0,13	-0,09
Junho	-0,13	-0,14	0,09	-0,01
Julho	0,19	0,01	0,20	0,41**
Agosto	0,05	0,20	-0,17	0,04

** 95% de significância

De maneira geral, a alta pressão do Atlântico Sul mais fraca e deslocada para nordeste favorece a formação da ZCSAS, pois os ventos alísios de sudeste ficam mais fracos. Isto pode produzir um aumento da TSM no Atlântico Equatorial Oeste próximo a costa leste do Nordeste do Brasil.

5 CONCLUSÕES

Os Anos analisados neste estudo indicam que a atuação da ZCSAS não mostrou uma relação direta com as condições do Oceano Pacífico Equatorial (El Niño-La Niña), nem com as condições do Oceano Atlântico Tropical (padrão de Dipolo do Atlântico), enquanto que a ausência da ZCSAS está mais relacionada à ocorrência de eventos de El Niño e ausência de Dipolo no Atlântico Tropical. Portanto, possivelmente os eventos de El Niño, e ausência de Dipolo no Atlântico, restringem a formação da ZCSAS, pois durante estes eventos, em geral, ocorrem movimentos descendentes no oeste do Atlântico Tropical, contribuindo assim para ausência desta configuração.

A atuação da ZCSAS é inversamente proporcional ao aumento de TSM na área do Niño 1+2 e do Niño 3, ou seja, aumento de TSM na costa oeste da América do Sul pode produzir movimento ascendente naquela região e descendente sobre o Atlântico Tropical Oeste, dificultando a formação da ZCSAS.

Verificou-se que nos anos de atuação da ZCSAS houve aumento do gradiente longitudinal de TSM, da pressão reduzida ao nível médio do mar, da temperatura do ar e umidade específica em 1000 hPa, e não nos sem atuação e de neutralidade.

Nas semanas de atuação da ZCSAS a precipitação média sobre o leste do Nordeste chegou a 18 mm/dia, enquanto que nas semanas de não atuação, a precipitação atingiu de 8 mm/dia, ou seja, a ZCSAS contribui para o aumento da precipitação no leste do Nordeste, contudo a sua ausência não produz secas, pois a ZCSAS é apenas um dos sistemas meteorológicos capaz de produzir chuvas no leste do NEB.

O aumento das chuvas no período de atuação da ZCSAS foi decorrente do movimento vertical do vento, pois durante o período de não atuação e de neutralidade da ZCSAS, verificou-se movimento descendente em 500 hPa sobre a costa leste do NEB, inibindo a formação de nuvens com consequente diminuição de precipitação.

O efeito da atuação da ZCSAS na precipitação da costa leste do Nordeste tem início na primeira semana de junho e estende-se até a terceira semana de julho.

A atuação de sistemas frontais no sul do Brasil provavelmente é um dos mecanismos para a formação da ZCSAS.

De maneira geral, o centro de Alta pressão do Atlântico Sul mais fraco e deslocado para nordeste favorece a formação da ZCSAS, pois os ventos alísios de sudeste ficam mais fracos. Isto pode produzir um aumento da TSM no Atlântico Equatorial Oeste próximo a costa leste do Nordeste do Brasil. Por outro lado, o deslocamento para nordeste do centro de Alta pressão do Atlântico Sul é consequência da atuação de sistemas frontais no sul e sudeste do Brasil. Portanto, o mecanismo básico para formação da ZCSAS, possivelmente, seja a presença dos sistemas frontais austrais.

6 SUGESTÕES

Para estudos futuros sugere-se:

Investigação de outros índices de formação da ZCSAS.

Correlacionar outras áreas do Brasil visando analisar prováveis teleconexões.

Verificação de possíveis relações entre ZCSAS e ZCIT.

Estudar a interação da ZCSAS com as ondas de leste.

Desenvolvimento de modelos climáticos dinâmicos para prever a atuação, não atuação ou neutralidade da ZCSAS no Nordeste do Brasil.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F. Sobre a zona de convergência intertropical do atlântico sul e a sua influência na chuva de maio a agosto no Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIII, 2004, Fortaleza-CE. **Anais: CD-ROM:** Fortaleza-CE: SBMET, 2004.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA FILHO, F. A.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. C. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 56-76, 2006.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A Variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 583-92, 1992.

ALVES, J. M. B.; TEIXEIRA, R. F. B.; FERREIRA, A. G. Um intenso sistema convectivo de mesoescala no setor leste do Nordeste: O caso de 20 a 21 de maio de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 19-31, 2001b.

ALVES, L. M.; CASTRO, C. A.C.; JÚNIOR, H. C.; SANCHES, M. B.; CALBETE, N. O.; MENDES, D. Análise subjetiva da previsão do SIMOC para o Nordeste do Brasil no período de março-maio de 2000 – estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XII, 2001a, Fortaleza-CE. **Anais**: Fortaleza-CE: SBA, 2001, p. 625-26.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise climatológica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, 2002, Foz do Iguaçu-PR. **Anais**: Foz do Iguaçu-PR: SBMET, 2002, p. 1403-410.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.2, p. 162-169, 2008.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: O clima presente e projeções para um cenário com 2xCO₂ usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 1, p. 58-72, 2008.

BRANDÃO, R. S.; FISCH, G. F. A zona de convergência do Atlântico Sul e seus impactos nas enchentes em áreas de risco de Guaratinguetá – SP. **Revista Biociências**, v. 14, n. 2, p. 95-104, 2008.

BRUNI, A. L. **Estatística aplicada à gestão empresarial**. São Paulo: Atlas, 2007. 396 p.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CAVALCANTI, I. F. A. Previsão climática no CPTEC. **Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos**, 1996.

CHAN, C. S. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos – SP, 1990.

CHIANG, J. C. H.; KUSHNIR, Y.; ZEBIAK, S. E. Interdecadal changes in eastern Pacific ITCZ variability and its influence on the Atlantic ITCZ. **Journal of Geophysical Research Letter**, v. 27, n. 22, p. 3687-3690, 2000.

da SILVA, A. M. **Atlas of surface marine data 1945-1989**. Algorithms and procedures. University of Wisconsin – Milwaukee. Milwaukee, 1993. 240p (UW-M v.1).

ENFIELD, D. B.; MAYER, D. A. Tropical Atlantic SST variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research Letter**, v. 102, p. 929-945, 1997.

FEARNSIDE, P. M. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. **Revista Ciência Hoje**, v. 39, n. 231, p. 76-78, 2006.

FEDOROVA, N.; CARVALHO, M. H. Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño: Nebulosidade convectiva nas regiões equatoriais e tropicais da América do Sul e oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 1-14, 2006.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.

FERREIRA, N. S.; REPELLI, C. A.; ALVES, J. M. B.; SOUZA, E. B. LOCZIT – Um procedimento numérico para localização do eixo central da zona de convergência intertropical no Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 159-164, 2005.

GERÓLAMO, R. O. P.; KAYANO, M. T. Variações no ciclo anual da temperatura da superfície do mar no Pacífico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 237-245, 2010.

GRODSKY, S. A.; CARTON, J. A. The intertropical convergence zone in the South Atlantic and the equatorial cold tongue. **Journal of Climate**, v. 16, n. 4, p. 723-733, 2003.

GUEDES, R. V. S.; SOUSA, S. S.; SOUSA, F. A. S. Uso da entropia e da análise de agrupamento na avaliação da disponibilidade potencial de recursos hídricos do Nordeste do Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 5, n. 2, p. 175-187, 2010.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the Tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, 112, 1097-1107. 1984.

HOLTON, J. R. An introduction to dynamic meteorology. San Diego, California: **Academic Press, Inc**, 1992. Third Edition, 359p.

HUANG, G.; PAES, A. T. Posso usar o teste *t* de Student quando preciso comparar três ou mais grupos?. **Einstein: Educação Continuada em Saúde**, v. 7, n. 2, p. 63-64, 2009.

KATO, K. Airmass transformation over the Semiarid Region around north China and abrupt change in the structure of the Baiu front in early summer. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 65, p. 737-750, 1987.

KATO, K. On the abrupt change in the structure of the Baiu front over the China continent in late May of 1979. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 63, p. 20-36, 1985.

KATO, K. Seasonal transition of the lower-level circulation systems around the Baiu front in China in 1979 and its relation to the Northern summer monsoon. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 67, p. 249-265, 1989.

KATO, K.; KODAMA, Y. Formation of the quase-stationary Baiu front to the south of the Japan Islands in early May of 1979. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, p. 631-647, 1992.

KODAMA, Y. Large-Scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 71, p. 813-835, 1992.

LIMA, M. C. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil**. São José dos Campos - SP, 1991. 222p. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE- 5283-TDII453).

LUCENA, D. B. **Impacto dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima do Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado em Meteorologia, UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

MENDONÇA, R. W. B.; BONATTI, J. P. Estudo da energética modal para episódios de ZCAS. Parte I: Análise observacional. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 4, p. 360-380, 2008.

MENEZES, H. E. A. **Influência da temperatura da superfície dos oceanos Tropicais na ocorrência de veranicos no Estado da Paraíba**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, UFCG, Campina Grande – PB, 2006.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Análise subjetiva da simulação de precipitação do modelo Eta climático para o Nordeste do Brasil no período entre janeiro e março de 2003. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XIII, 2003, Santa Maria-RS. **Anais**: Santa Maria-RS: SBA, 2003a, p. 811-12.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Verificação do prognóstico de precipitação sazonal simulada pelo modelo Eta climático para o Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XIII, 2003, Santa Maria-RS. **Anais**: Santa Maria-RS: SBA, 2003b, p. 999-1000.

MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 61-66, 2007.

MORETTIN, L. G. Estatística básica. **Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda**, São Paulo - SP. 6ª Ed., 183p., 1991.

MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; MELO, J. S. P.; SILVA, A. P. N.; GIONGO, P. R.; LACERDA, F. F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 462-469, 2009.

NEIVA, E. J. F. **An investigation of wave-type disturbances over the tropical South Atlantic Ocean**. Monterrey. Thesis. (M. S. C.) Naval Post Graduate School, p. 58, 1975.

NINOMIYA, K. Characteristics of Baiu front as a predominant subtropical front in the summer northern hemisphere. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 62, p. 880-894, 1984.

NINOMIYA, K.; MURAKI, H. Large-Scale circulations over east Asia during Baiu period of 1979. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 64, p. 409-429, 1986.

NOBRE, P. A Variabilidade interanual do Atlântico Tropical e sua influência no clima da América do Sul. **Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos**, 1996.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Revista Climanálise**, 2001.

NOBRE, P. MOURA, A. D.; SUN, L. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's regional spectral models at IRI. **Bulletin of the American Meteorological Society**, p. 2787-796, 2001.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South American. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479. 1996.

OLIVEIRA, G. S. O El Niño e você – O fenômeno climático. São José dos Campos, SP: **Transtec Editorial**, 1999.

PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and Southern Oscillation. **Academic Press**, Londres, 289p., 1991.

RAMOS DA SILVA, R.; SILVA DIAS, P. L.; MOEIRA, D. S.; SOUZA, E. B. Modelo OLAM (ocean-land-atmosphere-model): Descrição, aplicações, e perspectivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 144-157, 2009.

RAO, V. B.; LIMA, M.C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1754-63, 1993.

REPELLI, C. A.; NOBRE, P. Modelagem estatística das anomalias de temperatura da superfície do mar do Oceano Atlântico Tropical. **Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos**, 1996.

REYNOLDS, R. W.; MARSICO, D. C. An improved real-time global sea surface temperature analysis. **Journal of Climate**, v. 6, p. 114-119, 1993.

ROSÁRIO, N.; NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Zona de convergência intertropical do Atlântico: Um estudo comparativo entre simulações do MCGA/COLA, observações e reanálises do NCEP. **Revista Climanálise**, 2002.

RUI-BARRADAS, A.; CARTON, J. A.; NIGAM, S. Structure of interannual-to-decadal climate variability in the Tropical Atlantic Ocean. **Journal of Climate**, v. 13, p. 3285-3297, 2000.

SILVA, F. D. S.; CORREIA, M. F.; SILVA ARAGÃO, M. R.; SILVA, J. M. Convecção linearmente organizada na área de Petrolina, semi-árido do Nordeste do Brasil: Aspectos em meso e grande escalas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 292-304, 2008.

SILVA, D. F.; BRITO, J. I. B. Variabilidade do vento na bacia hidrográfica do Rio São Francisco durante a ocorrência da ZCAS. **Revista Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 221-235, 2008.

STRETEN, N. A. Some characteristics of satellite-observed bands of persistent cloudiness over the southern hemisphere. **Month Weather Review**, 101, p. 486-495, 1973.

TALJARRD, J. J. Climatic frontal zones of the southern hemisphere. **Notes**, 17, p. 23-34, 1968.

TAVARES, J. P. N. Influência da zona de convergência intertropical na variabilidade da precipitação em Macapá – Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 29, p. 58-70, 2009.

UVO, C. B. **A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste Brasileiro**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos – SP, 1989.

WALISER, D.; GAUTIER, C. A satellite-derived climatology of the ITCZ. **Journal of Climate**, v. 6, p. 2162-2174, 1993.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, n. 2, p. 205-207, 1977.

YASUNARI, T. Stationary waves in the southern hemisphere mid-latitude zone revealed from average brightness charts. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 55, p. 274-285, 1977.

YOSHIMURA, M. Annual change in frontal zones in the northern hemisphere. **Geographic Review of Japan** (Serial A), 40, p. 393-408, 1967.

YOSHINO, M. M. Four stages of the rainy season in early summer over east Ásia (part II). **Journal of Meteorological Society of Japan**, 44, p. 209-217, 1966.

8 ANEXO

Tabela 13 – Índice utilizado para definir as semanas de atuação da ZCSAS (azul), não atuação (vermelho) e semanas neutras (preto). Sombreadas as semanas utilizadas para análise dos padrões dinâmicos no Oceano Atlântico Tropical

Ano	maio				junho				julho				agosto			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
1982	0,09	-0,70	-1,14	0,28	0,61	-0,76	1,08	1,44	1,65	0,33	-0,60	-0,87	0,23	-0,18	-0,30	-0,62
1983	-0,27	-0,13	0,97	-0,06	0,23	-0,66	-0,07	-0,78	-0,55	-0,58	-0,55	-1,21	-1,64	-0,18	0,27	0,15
1984	-1,18	-1,01	-1,33	-0,16	0,24	0,34	-0,44	-0,10	-0,71	-0,18	-0,43	-1,06	0,89	-1,22	-1,46	-2,58
1985	0,65	0,70	0,73	1,30	0,86	0,14	1,59	1,07	1,05	0,21	-0,26	-0,77	-0,17	0,52	1,06	0,58
1986	0,75	0,38	-0,28	0,01	-0,92	-0,39	-0,34	0,01	0,09	0,78	1,93	1,45	1,11	1,87	1,49	1,00
1987	0,11	1,35	1,14	1,60	1,63	0,69	-0,53	-0,84	-0,26	-0,25	-0,97	-1,20	-0,74	-0,01	-1,00	-0,99
1988	0,12	0,46	1,21	-0,51	0,06	0,57	0,02	0,53	0,61	0,12	-1,11	-0,86	-1,03	0,31	0,83	0,75
1989	0,87	-0,34	-1,30	0,24	0,75	0,45	1,05	1,60	1,06	0,88	1,67	1,84	1,01	0,32	1,63	2,24
1990	0,60	1,05	0,26	-0,31	0,01	0,81	-0,45	1,23	1,55	2,28	1,73	-0,07	-0,32	0,30	0,75	0,35
1991	-0,55	-1,36	-1,09	-1,46	-1,07	-1,25	-1,16	-2,34	-2,52	-0,20	-1,39	-1,08	-1,13	-0,55	0,64	-0,60
1992	0,19	0,97	0,00	-0,02	-0,66	-1,04	-1,92	-1,39	-1,49	-1,54	-0,73	-0,41	-1,06	-0,52	-0,38	-0,39
1993	-0,42	-2,02	0,56	-0,56	-1,05	0,75	0,03	-0,33	0,10	-0,15	-0,49	1,71	1,90	-0,11	-0,56	1,53
1994	-0,93	-0,43	0,39	0,36	-0,56	-0,49	1,35	1,79	1,33	1,32	0,70	-1,25	-0,85	-1,32	-0,34	-0,51
1995	-0,36	-2,52	-0,68	-0,08	-0,34	-0,88	-0,10	-2,55	-1,21	-1,58	-0,75	-0,37	0,00	-2,08	-2,28	-0,57
1996	-1,89	-0,54	-0,99	-0,41	-0,09	-1,14	-1,85	-0,85	-0,62	0,17	-0,17	0,71	2,06	3,42	0,84	1,14
1997	-1,30	-0,77	-0,17	-0,29	-0,25	-1,56	-0,68	0,18	-0,82	-1,35	-0,95	0,51	-1,03	-0,73	-2,44	-1,66
1998	0,48	0,10	0,56	0,16	-0,86	0,11	-0,24	-0,56	-0,16	0,79	0,94	-0,48	-0,76	0,37	-0,15	0,22
1999	-1,39	-1,18	-1,78	-2,09	-2,26	-1,25	-0,69	-0,30	-0,84	-1,37	-1,96	-1,04	-0,63	-1,38	-0,72	-0,22
2000	-1,01	-0,16	0,31	0,66	1,17	0,99	0,95	1,14	0,70	1,05	1,39	1,22	1,10	0,49	0,49	0,62
2001	0,13	1,08	-0,13	0,58	0,38	0,57	-0,40	0,17	0,35	0,09	0,64	0,78	0,33	-0,37	2,06	0,69
2002	0,18	-0,94	-1,24	-0,07	-0,52	-0,27	-0,88	-0,62	-0,42	0,72	0,09	-0,39	-0,72	-0,06	-0,55	-0,23
2003	0,74	1,69	0,27	-0,30	0,72	1,09	-0,17	-0,81	-1,46	-2,21	-0,86	0,80	-0,67	-0,42	-0,30	-0,36
2004	-0,19	0,76	0,95	0,13	0,79	1,41	0,90	0,69	0,81	0,17	0,29	-0,46	0,95	0,26	0,28	-0,70
2005	2,87	2,09	2,76	0,99	1,27	1,74	2,03	1,34	1,16	0,41	0,56	-0,05	-0,08	-0,06	-0,20	0,08
2006	1,71	1,47	0,01	0,03	-0,13	0,03	0,91	0,29	0,59	0,09	1,28	2,56	1,23	1,30	0,33	0,07

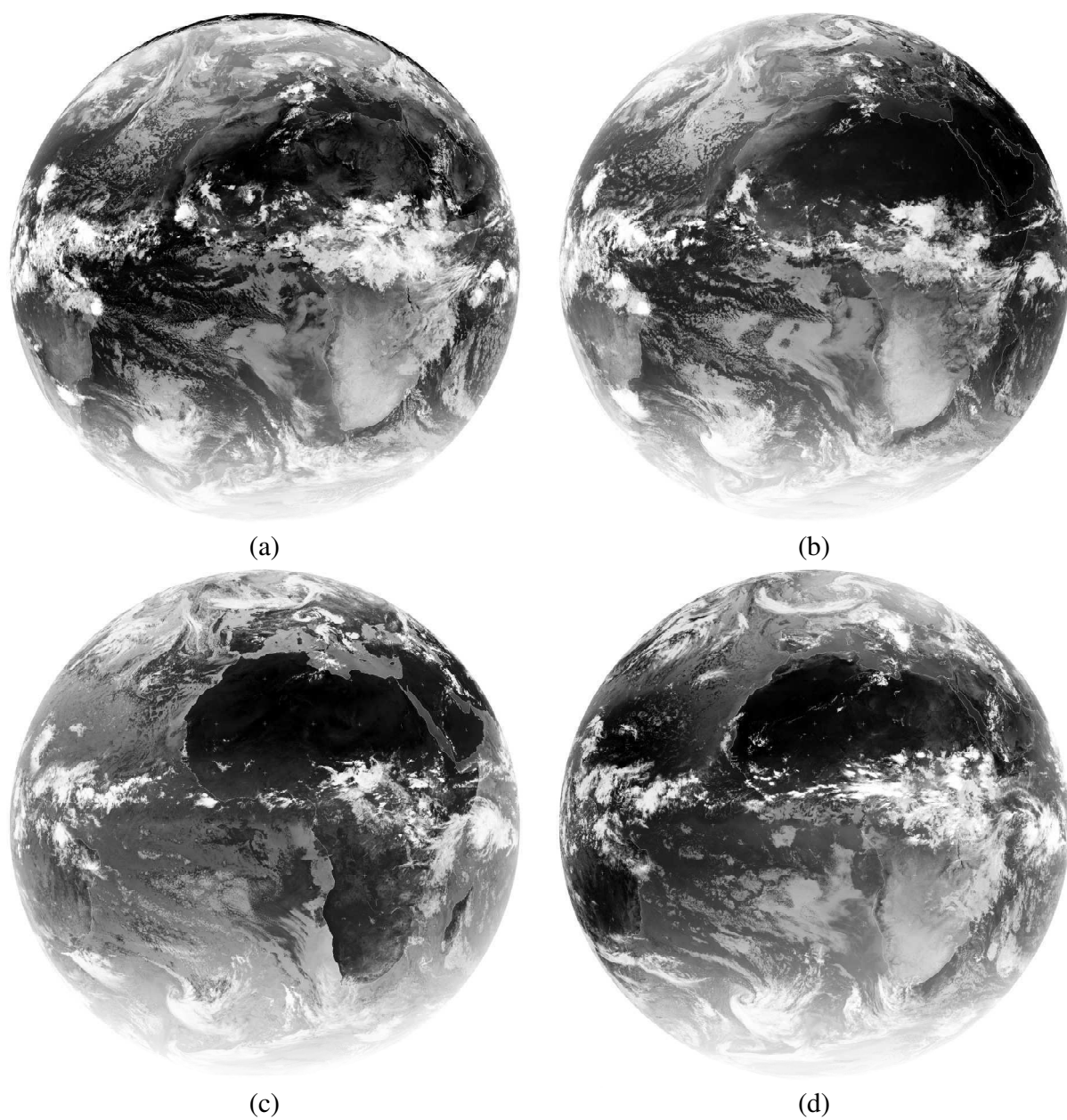


Figura 55 – Imagens do satélite Meteosat representando a atuação da ZCSAS no dia 18/06/10: (a) às 00:00 h TMG; (b) às 06:00 h; (c) às 12:00 h e (d) às 18:00 h