

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Faculdade de Meteorologia



Dissertação

**RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE
OSCILAÇÃO DO VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E A
TEMPERATURA MÍNIMA MENSAL NO RIO GRANDE DO
SUL**

George Ulguim Pedra

Pelotas, 2011

GEORGE ULGUIM PEDRA

**RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE OSCILAÇÃO DO
VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E A TEMPERATURA
MÍNIMA MENSAL NO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meteorologia (MM).

Orientador: Prof. Dr. Julio Renato Quevedo Marques

Pelotas, 2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Julio Renato Quevedo Marques

Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz

Dr. Silvio Steinmtez

Dedico esse trabalho a
minha família, que me
apoiou em todos os
momentos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por iluminar minha caminhada, por várias vezes me colocar no caminho certo.

Aos meus pais Ivan Xavier Pedra e Olga Ulguim Pedra por todo o carinho, apoio, paciência dedicados ao longo desses anos. Sem o que vocês me ensinaram eu não teria chegado até aqui. Vocês foram, são e serão os meus maiores amigos, educadores e patrões.

Ao meu irmão William Ulguim Pedra por tudo que fez ao longo desse processo. A avó Vitalina Xavier Pedra a quem me ajudou sempre, e hoje onde estiver espero que ainda continue olhando por mim. A meu avô Nadir Xavier Ulguim, outro dos meus velhos queridos, desde sempre me dando muito carinho e cada vez mais orgulhoso com o meu avanço.

Ao pessoal da capoeira Sanguessuga, Tropeço, Frikazóid, Di Pedra, Azulão, João Ely, Duda passei ótimos momentos ao lado de vocês, nunca os esquecerei. A todos os outros que conheci nesse período muito obrigado por tudo, vocês são mais que amigos, vocês são minha família.

Os vários amigos da graduação, cuja amizade, o apoio, ajuda foram imprescindíveis. Citarei alguns, mas todos os amigos e conhecidos ao longo desses anos são muito importantes para mim: Camila Cardoso, Gilmar Felix Dias, Jeferson Machado, José Renato Tavares, Luiane Motta, Márcio de Moura, Sidney, Thiago Scherer, Tatiane Martins, Tatiane Luerce, Viviane Lima, Tomas Kaufmann, Ianuska Oliveira, Patricia Portanova, Karen Leandra Ávila.

Aos professores da graduação por me mostrarem e ensinarem o que é meteorologia, em especial para Prof. Honorato de Oliveira Filho, Prof^a Maria Helena Perogaro Casari, Prof^a Simone Vieira de Assis e ao Prof. Vilson Dias de Ávila.

Aos funcionários Rosaura, Dona Neuza, Alexandre Madail, Diogo, Ana Girão, Solismar.

Aos amigos e colegas da Pós-Graduação um muito obrigado por todos os momentos de descontração, apoio, amizade a que me proporcionaram. Um agradecimento especial aos aqui citados: Cristiano Eicholz, Gustavo Cuchiara, Eliane Santos, João Omena, Paulo Iriart, Daniel Schuch, Naile Vaggetti, Maria Arita Madruga, Clóvis Corrêa.

A Celanero Jr. pela paciência e ajuda em grandes momentos de dificuldade.

Aos professores da pós-graduação um muito obrigado por tudo. Em especial para o Prof. Dr. Professor Julio Renato Quevedo Marques e Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz por todo o apoio, dedicação, paciência.

Ao Prof. Dr. Jonas Carvalho e Cláudia Jacondino, muito obrigado por tudo.

A Gilsane da Costa Pinheiro uma amiga magnífica.

Aos funcionários do CPPMet muito obrigado por tudo Sônia, Vânia vocês são demais.

**“Se fui capaz de ver mais longe foi apenas porque eu estava
apoiado sobre ombro de gigantes.”**

(Isaac Newton)

RESUMO

PEDRA, George Ulguim. **RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE OSCILAÇÃO DO VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E A TEMPERATURA MÍNIMA MENSAL NO RIO GRANDE DO SUL**. 153f. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O Rio Grande do Sul (RS) apresenta grande amplitude térmica anual caracterizada por verões quentes e invernos frios, sendo influenciado fortemente por sistemas atmosféricos de latitudes médias e elevadas. Muitas pesquisas apontam alterações climáticas na Terra, especialmente no sentido de crescimento anômalo da temperatura nestas últimas décadas. As grandes variações térmicas interferem diretamente na produção agrícola, no comércio e no turismo, afetando a economia da região. Os objetivos principais desta pesquisa foram: Identificar os principais padrões de velocidade de vento na camada de 850hPa. Esta camada está ligeiramente acima da superfície, fora da cada limite e, portanto, com pequena influência dos efeitos urbanos; conhecer a correlação destes padrões de velocidade do vento com variações das temperaturas mínimas mensais ao longo do ano no RS, identificar e comparar as funções de ajuste de tendências temporais lineares e não lineares e relacionar as possíveis influências das grandes oscilações oceânicas do Pacífico sobre estas variações regionais, especialmente nos períodos extremos. Para estudar as oscilações atmosféricas foram usados dados em ponto de grade da velocidade do vento em 850hPa sobre a América do Sul, aos quais foram aplicadas a técnica de decomposição espectral definida como Componentes Principais. Foram utilizados dados de temperatura mínima mensal de 24 estações bem distribuídas espacialmente no RS. Os principais resultados mostraram que os Padrões de Oscilações Principais da circulação na baixa atmosfera sobre a América do Sul estão fortemente associados às variações de velocidade do vento nas regiões do Jato Polar, Jato Subtropical e os ventos Alísios no Pacífico Equatorial. Os Padrões Principais da velocidade do vento não apresentaram correlações significativas com as temperaturas mínimas nos meses de março, junho, julho e setembro. Nos demais meses os coeficientes de correlação foram significativos, especialmente os meses de janeiro, abril, maio e outubro. A região norte do Estado do RS apresentou

destaque nesta relação, sendo os meses de abril e maio os mais significativos. A tendência temporal das temperaturas mínimas mensais para a estação meteorológica de Irai mostrou, para todos os meses do ano, maior ajuste para a função temporal não linear na comparação com a linear. O índice de Oscilação Decadal do Pacífico apresentou função de ajuste não linear, revelando ser bastante semelhante aos principais padrões de circulação do vento em 850hPa e aos ajustes das funções não lineares das temperaturas mínimas em Iraí (RS). Frente às relações evidentes entre as oscilações da circulação do vento em 850hPa com as oscilações na superfície do Oceano Pacífico Equatorial/Norte, pode-se esperar que as tendências das temperaturas mínimas no RS para estas próximas duas décadas sofram, em média, mais oscilações negativas do que positivas, principalmente nos meses de verão e outono, apesar de indicar aumento de temperatura no começo de primavera.

Palavras-chave: Análise de Componentes Principais, temperatura, Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

PEDRA, George Ulguim. **RELAÇÃO DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE OSCILAÇÃO DO VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E A TEMPERATURA MÍNIMA MENSAL NO RIO GRANDE DO SUL.** 153f. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Rio Grande do Sul (RS) has a large annual temperature range is characterized by hot summers and cold winters, being strongly influenced by weather systems in middle and high latitudes. Many studies suggest climate change on Earth, particularly to the anomalous increase in temperature in recent decades. The large thermal variations interfere directly in agricultural production, trade and tourism, affecting the region's economy. The main objective of this research was to identify the main patterns of wind speed at 850hPa layer. This layer is slightly above the surface outside of each boundary, and thus with little influence of urban effects. Knowing the correlation of patterns of wind speed with variations of monthly minimum temperatures throughout the year in RS, identify and compare the adjustment functions of temporal trends linear and nonlinear, and list the possible influence of large swings over the Pacific Ocean these variations regional, especially during extreme. To study the atmospheric oscillations were used in data grid point wind speed at 850hPa over South America, which were applied the technique of spectral decomposition defined principal components. We used monthly minimum temperature data from 24 stations well distributed spatially in RS. The results showed that the patterns of oscillations Main circulation in the lower atmosphere over South America are strongly associated with variations of wind speed in regions of the Polar Jet, Subtropical Jet and the trade winds in the Equatorial Pacific. Core Standards of the wind speed did not correlate significantly with the minimum temperatures in March, June, July and September. During other months the correlation coefficients were significant, especially the months of January, April, May and October. The northern state of RS presented highlight this relationship, with the months of April and May the most significant. The

trend of monthly minimum temperatures for the meteorological station of Iraí shown for all months of the year, the biggest adjustment function non-linear time in comparison with the linear. The index of the Pacific Decadal Oscillation function showed nonlinear fitting, revealing very similar function to the main circulation patterns of the wind at 850hPa and adjustments of nonlinear functions of minimum temperatures in Iraí (RS). Faced with the obvious relations between the oscillations of the wind circulation at 850hPa with the changes in the surface equatorial Pacific / North, we can expect that the trends in minimum temperatures in RS for these next two decades suffer on average more negative than oscillations positive, especially during summer and autumn, although it indicates increased temperature in early spring.

Keywords: Principal Component Analysis, temperature, Rio Grande do Sul.

Lista de Figuras

Figura 1	Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. Célula de Walker.	23
Figura 2	Condições de (a) El Niño e (b) La Niña.	23
Figura 3	Regiões dos Niños no Pacífico Equatorial.	24
Figura 4	Região do Hemisfério Sul distribuída entre 2911 pontos de grade representando a circulação geral da atmosfera no nível de 850hPa, cujas respectivas latitudes e longitudes são de 10°N a 90°S e 180°E a 360°E.	34
Figura 5	Distribuição espacial das 24 estações meteorológicas utilizadas	35
Figura 6	Campo de Vento médio para o mês de janeiro no nível de 850hPa	46
Figura 7	Campo de Vento médio para o mês de julho no nível de 850hPa	46
Figura 8	Temperatura mínima média mensal para o mês de janeiro.	47
Figura 9	Temperatura mínima média mensal para o mês de julho	47
Figura 10	Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de janeiro	49
Figura 11	Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de janeiro.	49
Figura 12	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de janeiro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de janeiro.	50
Figura 13	Quarto padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro.	51
Figura 14	Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de fevereiro.	52

Figura 15	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de fevereiro no Rio Grande do Sul e o escore do quarto padrão principal da velocidade do vento de fevereiro.	52
Figura 16	Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de abril.	53
Figura 17	Escore do terceiro padrão de oscilação principal do mês de abril.	53
Figura 18	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de abril no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de abril.	54
Figura 19	Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de maio.	55
Figura 20	Escore do terceiro padrão de oscilação principal do mês de maio.	56
Figura 21	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de maio no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de maio.	56
Figura 22	Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de agosto.	58
Figura 23	Escore do primeiro padrão de oscilação principal do mês de agosto.	58
Figura 24	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de agosto no Rio Grande do Sul e o escore do primeiro padrão principal da velocidade do vento de agosto.	59
Figura 25	Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de outubro.	60
Figura 26	Escore do terceiro padrão de oscilação principal do mês de outubro.	60
Figura 27	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de outubro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de outubro.	61
Figura 28	Segundo padrão de oscilação principal para o mês de novembro.	62
Figura 29	Escore do segundo padrão de oscilação principal do mês de novembro.	63
Figura 30	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de novembro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de novembro.	63
Figura 31	Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de dezembro.	64

Figura 32	Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de dezembro.	65
Figura 33	Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de dezembro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de dezembro.	65
Figura 34	Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de abril, marcados nas cores vermelho os máximos (percentil 0,85) e azul os mínimos (percentil 0,15).	67
Figura 35	Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de abril, escores mínimos do terceiro padrão de velocidade do vento.	68
Figura 36	Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de abril, escores máximos do terceiro padrão de velocidade do vento.	68
Figura 37	Climatologia das anomalias mínimas de temperatura mínima (°C) para o mês de abril, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento	69
Figura 38	Climatologia das anomalias máximas de temperatura mínima (°C) para o mês de abril, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento	70
Figura 39	Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de maio, marcados nas cores vermelho os máximos (percentil 0,85) e azul os mínimos (percentil 0,15).	71
Figura 40	Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de maio, escores mínimos do terceiro padrão de velocidade do vento.	72
Figura 41	Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de maio, escores máximos do terceiro padrão de velocidade do vento.	72
Figura 42	Climatologia das anomalias mínimas de temperatura mínima (°C) para o mês de abril, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento.	73
Figura 43	Climatologia das anomalias máximas de temperatura mínima (°C) para o mês de abril, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento.	74
Figura 44	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de janeiro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	75

Figura 45	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de fevereiro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	76
Figura 46	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de março, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	76
Figura 47	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de abril, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	77
Figura 48	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de maio, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	77
Figura 49	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de junho, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	78
Figura 50	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de julho, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	78
Figura 51	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de agosto, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	79
Figura 52	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de setembro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	79
Figura 53	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de outubro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	80
Figura 54	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de novembro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	80
Figura 55	Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de dezembro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.	81
Figura 56	Série temporal do Índice ODP e função de ajuste, período de janeiro de 1948 a dezembro de 2009.	82

Lista de Tabelas

Tabela 1	Anos de mínimos e máximos da série dos escores do terceiro padrão principal da velocidade do vento no mês de abril.	67
Tabela 2	Anos de mínimos e máximos da série dos escores do terceiro padrão principal da velocidade do vento no mês de maio.	71

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Temperatura do Ar	20
2.2 El Niño Oscilação Sul	22
2.3 Oscilação Decadal do Pacífico	25
2.4 Dipolo do Atlântico	26
2.5 Oscilação Madden Julian	27
2.6 Zona de Convergência do Atlântico Sul	27
2.7 Bloqueios Atmosféricos	28
2.8 Correntes de Jato	31
2.9 Funções Ortogonais Empíricas	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Dados	34
3.2 Metodologia	36
3.2.1 Funções Ortogonais Empíricas	36
3.2.1.1 Matriz de Correlação	36
3.2.1.2 Decomposição de Valor Singular	37
3.2.1.3 Análise de Componentes Principais	38
3.2.2 Percentis	42
3.2.3 Teste t de “Student”	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Padrões de oscilações principais da velocidade do vento em 850hPa	48
4.1.1 Janeiro	48
4.1.2 Fevereiro	50
4.1.3 Março	51
4.1.4 Abril	51

4.1.5 Maio	55
4.1.6 Junho	57
4.1.7 Julho	57
4.1.8 Agosto	57
4.1.9 Setembro	59
4.1.10 Outubro	59
4.1.11 Novembro	61
4.1.12 Dezembro	62
4.2 Climatologia dos eventos extremos de temperatura mínima associados aos principais padrões de velocidade do vento em 850hPa.	66
4.2.1 Mês de Abril	66
4.2.2 Mês de Maio	70
4.3 Curvas de ajuste da tendência temporal da temperatura mínima em superfície da localidade de Iraí	74
4.4 Comparação com indicador oceânico de grande escala	81
5 CONCLUSÕES	83
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
APÊNDICE I	92
APÊNDICE II	123

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) localiza-se na região mais meridional do Brasil, entre as latitudes de 27°05'S e 33°45'S e longitudes de 49°43'W e 57°39'W. Possui uma extensão territorial de aproximadamente 282.184km², sendo que deste total 5,2% corresponde a grandes lagunas e ambientes lacustres, além de possuir 622km de costa marinha. Sua distribuição topográfica é bastante variada, com um planalto ao norte, depressões no centro e planícies costeiras, com altitudes, que podem variar de mais de 1.000m ao norte chegando a menos de 100m na Depressão Central e Planície Costeira (ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL, 2010).

O RS se enquadra na zona fundamental temperada ou "C" e no tipo fundamental "Cf" ou temperado úmido, segundo o sistema de classificação climática de Köppen. No Estado, este tipo "Cf" se subdivide em duas variedades: "Cfa" e "Cfb", que se caracterizam por apresentar chuvas durante todos os meses do ano e possuir a temperatura do mês mais frio superior a 3°C. O que as diferencia é a temperatura do mês mais quente, que no caso da variedade "Cfa" é superior a 22°C enquanto que para a variedade "Cfb" é inferior a 22°C. Desta forma, com base na classificação climática de Köppen, o RS se divide em duas áreas climáticas, "Cfa" e "Cfb", sendo que a variedade "b" se restringe ao Planalto Meridional e ao escudo Sul-Rio-Grandense, enquanto que as demais áreas pertencem à variedade "a" (MORENO, 1961).

No Sul do Brasil a temperatura (apesar de sua diversificação espacial), assim como a pluviosidade, exerce um papel de unificadora e uniformizadora do clima regional. Isto não significa que os valores e comportamento da temperatura sejam semelhantes. Significa, apenas, que há uma relativa semelhança que não

permite a determinação de áreas intra-regionais muito distintas, como se verifica em outras regiões geográficas do Brasil (NIMER, 1989).

Para a meteorologia, a temperatura é um dos elementos de extrema importância que, conceitualmente, mede o grau de agitação de um sistema associado com a energia interna das moléculas que constituem um corpo. A temperatura do ar próxima à superfície da Terra representa um fator de extrema relevância na vida em geral no planeta. Como a temperatura apresenta um comportamento diferente no decorrer do tempo, com oscilações ou, até mesmo, repetições de padrão, tornam-se indispensáveis melhores estudos e conhecimento sobre tal variável (MOTA, 1986).

O RS apresenta grande amplitude térmica anual caracterizada por verões quentes e invernos frios, sendo influenciado fortemente por sistemas atmosféricos de latitudes médias e elevadas. O regime de temperatura deste Estado é influenciado pelas massas de ar Marítima Tropical (mT), Marítima Polar (mP) e Continental Tropical (cT) (ANDRADE, 1972). A massa de ar Continental Tropical atua principalmente no oeste do Estado, elevando as temperaturas durante o verão. Já durante o inverno, o avanço das massas de ar de origem polar (Marítima Polar), provoca expressiva redução nas temperaturas (ANDRADE, 1972; TUBELIS; NASCIMENTO, 1983). A latitude, o relevo e continentalidade/maritimidade também exercem influência na temperatura do RS (MORENO, 1961; NIMER, 1989).

O Estado do Rio Grande do Sul caracteriza-se por uma intensa atividade agropecuária, com grande diversidade de culturas. O conhecimento do comportamento das variáveis meteorológicas é de suma importância para o planejamento das atividades agrícolas, tais como o das culturas mais adequadas, e para a determinação da melhor época para o plantio (MEZZOMO, 2005). A temperatura destaca-se como um dos fatores mais importantes para a germinação e crescimento das plantas, seu desenvolvimento e rendimento (MOTA, 1984). O RS, pela sua importante contribuição à produção agrícola do Brasil, também está sujeito às variações nos campos térmicos os quais influenciam não só a agricultura, mas, também o comércio e o turismo afetando a economia da região.

Para a agricultura, a temperatura é um dos elementos de máxima importância, visto que sua variação abrupta pode acarretar em grandes perdas para o setor. Mota (1981) considera o limite de temperatura da folha de -2°C, abaixo do qual se iniciam os danos para culturas menos resistentes, como banana, mamão,

girassol, feijão e trigo. Essas temperaturas de folha, de -2 e -4°C correspondem aproximadamente a 4 e 2°C obtidas em abrigo meteorológico (PINTO; TARIFA; ALFONSI, 1977). Quanto maior for a queda de temperatura abaixo desses limites, mais graves e extensos serão os danos (VOLPE; ANDRÉ, 1984).

Muitas pesquisas têm apontado para possíveis mudanças climáticas, porém todas com grande grau de incertezas. O último relatório do IPCC (2007) indica tendências de aumento de temperaturas mais claramente para o hemisfério Norte, com algumas regiões apenas no hemisfério Sul. Alguns indicadores de grande escala, como os oceanos e as grandes circulações tem servido de base para relacionar com as variações mais regionais (BERLATO, FARENZENA e FONTANA, 2005; SANTOS, ROLIM, OLIVEIRA e ROCHA, 2006; OMENA, 2010).

O objetivo principal desta pesquisa é identificar os principais padrões de velocidade de vento na camada de 850hPa. Esta camada está ligeiramente acima da superfície (aproximadamente 1500 metros), fora da camada limite e, portanto, com pequena influência dos efeitos urbanos. Como objetivos específicos, temos:

- Conhecer a correlação destes padrões de velocidade do vento com variações das temperaturas mínimas mensais ao longo do ano no Estado do Rio Grande do Sul;
- Identificar e comparar as funções de ajuste de tendências temporais lineares e não lineares;
- Relacionar as possíveis influências das grandes oscilações oceânicas do Pacífico sobre estas variações regionais, especialmente nos períodos extremos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Uma breve descrição do tema principal e dos principais sistemas dinâmicos que influenciam as temperaturas na América do Sul, em especial o Sul do Brasil.

2.1 Temperatura do Ar

As temperaturas máximas e mínimas do ar juntamente com a precipitação são os elementos climáticos mais observados e estudados. A temperatura do ar desempenha um papel muito importante em relação aos outros fatores que conduzem um ambiente que seja propício ao homem, aos animais e às plantas. A biosfera nas regiões extratropicais é fortemente influenciada pelas grandes variações da temperatura do ar (COSTA, 2008).

A literatura mundial nos indica que as previsões são de mudanças climáticas e que a temperatura média do ar e da Terra irá aumentar. Segundo ela, a temperatura média do ar próximo à superfície do Planeta poderá sofrer um acréscimo de 1,5°C a 4,5°C nos próximos 100 anos, variação maior que a ocorrida nos últimos 10 000 anos (MOTA et al, 1993; IPCC 2007).

Outros pesquisadores, porém, defendem a idéia de estar havendo um resfriamento global paulatino (MOLION, 2011), atribuído a fatores naturais do clima. Além do efeito estufa, processo atmosférico natural e benéfico, outros fatores internos, como as variações do albedo planetário, percentual de radiação solar refletida de volta para o espaço também afetam o clima. Em relação ao exposto acima, Molion (2011), afirma que as erupções vulcânicas explosivas lançam expressivas quantidades de aerossóis na estratosfera aumentando o albedo da terra, podendo, assim, causar resfriamento significativo durante décadas.

A variabilidade e a mudança do clima global e regional exercem uma influência significativa na atividade humana e econômica. O conhecimento da variação e alteração do clima na região Sul do Brasil, por exemplo, é muito importante para a economia e, particularmente, para a agricultura, pecuária, engenharia, produção de energia e outras atividades.

Tem-se observado, em algumas regiões, a tendência da temperatura média do ar em aumentar ou diminuir gradativamente ao longo do tempo. Esse comportamento pode estar associado às oscilações periódicas muito extensas, referindo-se às oscilações seculares. Segundo Varejão Silva (2001), estas variações podem estar relacionadas às ações antropogênicas, no que diz respeito ao aumento de concentração de dióxido de carbono lançado na atmosfera (através da combustão e do desmatamento), a quantidade exacerbada de partículas em suspensão (liberada pelas indústrias) e a produção de calor.

Porém, alguns cientistas não acreditam que ações humanas possam mudar o clima, como é o caso de Steinke (2004). Este autor ressalta que as previsões de mudanças climáticas associadas às ações antropogênicas, não se referem exatamente ao efeito estufa que é uma propriedade natural da atmosfera, mas sim a intensificação deste efeito, quando, pelas atividades antrópicas, gases do efeito estufa são lançados na atmosfera, reforçando, assim, o bloqueio à saída da radiação infravermelha para o espaço. A discussão é se o acréscimo destes gases na atmosfera, pela ação do homem, daria impulso ao aquecimento do planeta.

Outros autores acreditam que a temperatura no planeta está passando por mudanças cíclicas e naturais, ora pelo aquecimento ora pelo resfriamento. De acordo com Molion (2001), entre 1920 e 1945, a temperatura média global do ar próximo à superfície aumentou $0,37^{\circ}\text{C}$, entre 1945 e 1978 diminuiu $0,14^{\circ}\text{C}$ e entre 1978 e 1999 voltou a aumentar $0,32^{\circ}\text{C}$. O primeiro período de aquecimento (1920-1945) coincide com o período em que a atividade vulcânica foi a mais fraca dos últimos 400 anos. Neste período, o albedo planetário diminuiu e a Terra se aqueceu aproximadamente $0,4^{\circ}\text{C}$ naturalmente. Os períodos citados acima também coincidem com as fases da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), entre 1920 e 1945 a fase da ODP era positiva, entre 1945 e 1978 a ODP era negativa e entre 1978 e 1999 a ODP novamente se encontrava em sua fase positiva.

2.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, associado às alterações dos padrões normais da TSM (temperatura da superfície do mar) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e a Austrália. Além da temperatura do mar, o fenômeno ENOS pode ser medido pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), que é a diferença da pressão ao nível médio do mar entre os setores do centro-leste (Taiti/Oceania) e oeste (Darwin/Austrália) do Pacífico Tropical. O IOS está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos baixos níveis da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais da região. Valores negativos e positivos do IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña, respectivamente (PHILANDER, 1990).

O fenômeno ENOS tem como região de origem o Oceano Pacífico Equatorial. A Fig.. 1 mostra as condições atmosféricas e oceânicas, sobre o Oceano Pacífico observado em anos considerados normais, ou seja, quando o El Niño ou La Niña não são detectados, indicando águas superficiais relativamente mais aquecidas, no Pacífico Equatorial Oeste, próximo à região da Indonésia e costa Norte da Austrália, e relativamente mais frias junto à costa da América do Sul. Nestas circunstâncias, o ar sobe devido à água quente (áreas de baixa pressão), ocorrendo fortes chuvas sobre essa região, descendo sobre o oceano (área de alta pressão) nas proximidades da costa sul-americana, onde as chuvas são escassas. Essas diferenças de temperatura das águas entre o lado leste e o oeste na bacia do Oceano Pacífico, resultam em diferenças de pressão atmosférica na superfície e em uma circulação secundária da atmosfera nesta região conhecida como célula de Walker no sentido leste-oeste (CUNHA, 1999).

Em anos de El Niño (Fig.. 2a), verifica-se, um enfraquecimento dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial. Com isso, há o deslocamento do ramo ascendente da célula de Walker para a parte central do Oceano Pacífico e as águas anormalmente quentes do Oceano Pacífico Tropical chegam a atingir a costa da América do Sul, na altura do Peru e do Equador. As chuvas que eram observadas próximo ao litoral Sul-Americano adentram o continente e passam a cair no interior do Peru.

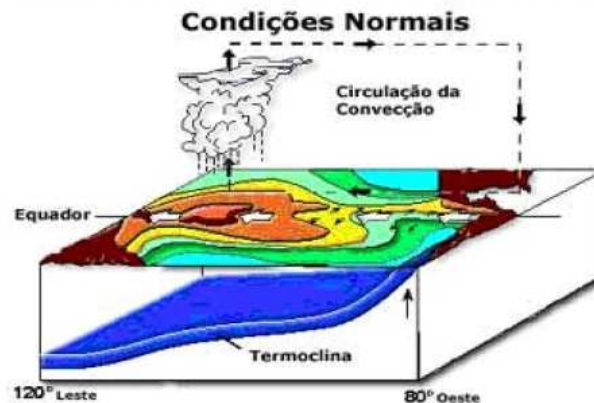


Figura 1: Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. Célula de Walker. Fonte: CPTEC/INPE. 2011.

O ar que sobe provocando as precipitações no Peru vai descer seco exatamente na região litorânea do Nordeste do Brasil, diminuindo as chuvas nessa região. Já em anos de La Niña, os ventos alísios sopram com mais intensidade, com isso as águas irão ficar “represadas” no Pacífico Equatorial Oeste, ou seja, as águas mais quentes irão ficar represadas mais a oeste do que o normal e, portanto, novamente teríamos águas mais quentes que geram evaporação e, conseqüentemente, movimentos ascendentes, que por sua vez geram nuvens de chuva e que geram a célula de Walker, que em anos de La Niña fica mais alongada que o normal (Fig. 2b) (BERLATO; FONTANA, 2003; BEZERRA, 2006).

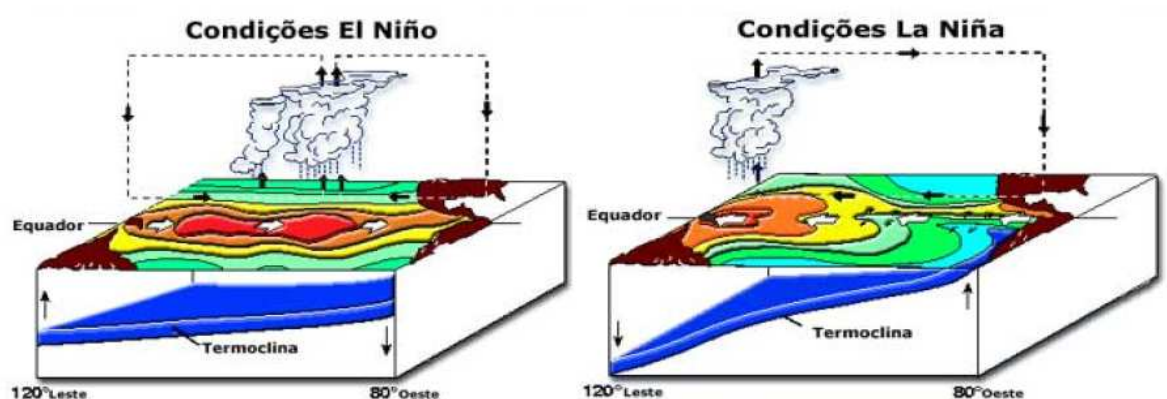


Figura 2: Condições de (a) El Niño e (b) La Niña. Fonte: CPTEC/INPE. 2011.

As anomalias de TSM são coletadas em quatro regiões do Pacífico (Fig. 3), que são:

- Nino 1+2 (0°-10°S; 80°-90°W): A região que tipicamente esquenta primeiro quando o El Niño se desenvolve.
- Nino 3 (5°S-5°N; 150°W-90°W): A região do Pacífico Tropical que tem maior variabilidade na TSM sobre a escala temporal do El Niño.
- Nino 3.4 (5°S-5°N; 170°W-120°W): A região que tem maior variabilidade às escalas de tempo do El Niño e é mais próxima (que Niño 3) da região onde as mudanças na TSM locais são importantes para deslocar a região de precipitação localizada no Pacífico Oeste.
- Nino 4 (5°S-5°N; 160°E-150°W): A região aonde as mudanças na TSM conduzem a valores de aproximadamente 27,5°C, o que é visto como um importante fator na produção de chuva.

A região mais usada para pesquisa e monitoramento das TSM do Pacífico Tropical é a região do Niño 3.4. O Niño 3.4 é geralmente escolhido devido à variabilidade da TSM nesta região ter um forte efeito no deslocamento da precipitação do Pacífico Oeste que por sua vez, modifica a localização da fonte de aquecimento que controla/modula a circulação geral atmosférica. (<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi>).

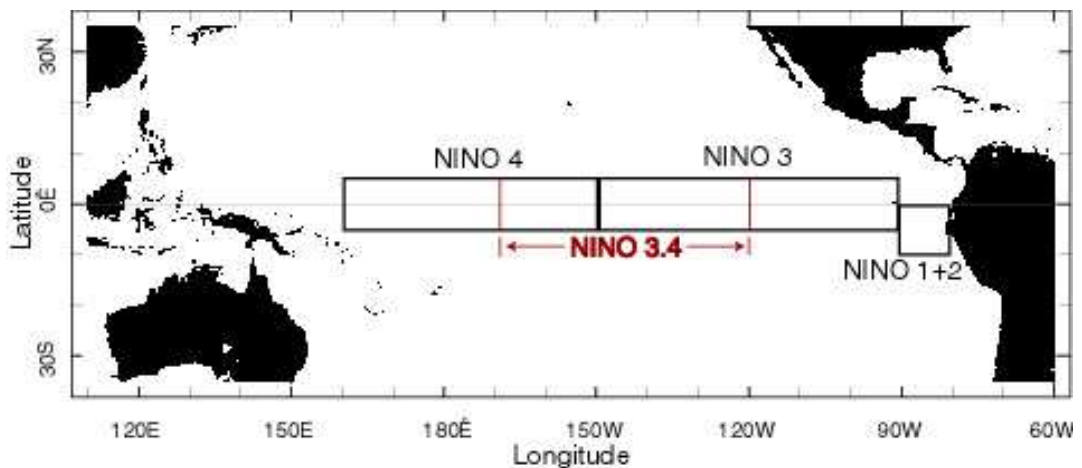


Figura 3: Regiões dos Niños no Pacífico Equatorial. Fonte: <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi>. 2011.

Estas anomalias na TSM provocam mudanças na circulação de grande escala da atmosfera, causando anomalias climáticas em várias regiões do globo (OPSTEEGH; VAN DOOL, 1980; HOSKINS; KAROLY, 1981; WEBSTER, 1981; WALLACE; GUTZLER, 1981; HOREL; WALLACE, 1981; KOUSKY; KAYANO, 1984).

No caso do Rio Grande do Sul, o El Niño produz anomalias positivas de precipitação pluvial e La Niña anomalias negativas, especialmente na primavera–início de verão do ano de início do fenômeno (FONTANA; BERLATO, 1996; PUCHALSKI, 2000).

De acordo com Cunha (1999) no sul do Brasil, se tem excesso de chuvas nos anos de El Niño e estiagem em anos de La Niña. Apesar de a influência ocorrer durante todo o período de atuação desses eventos, há duas épocas do ano que são mais afetadas pelas fases do ENOS. São elas: a primavera e começo de verão (outubro, novembro e dezembro), no ano inicial do evento, e final de outono e começo de inverno (abril, maio e junho), no ano seguinte ao início do evento. Assim, nessas épocas, as chances de chuvas acima do normal são maiores, em anos de El Niño (como ocorreu em 1997/98), e chuvas abaixo do normal, em anos de La Niña (exemplo, evento 1998/99).

Segundo Kousky e Cavalcanti (1997) as alterações temporárias no clima em diversas partes do planeta se manifestam com a variação nas variáveis meteorológicas. Fato comprovado pela alteração no regime de precipitação no Semiárido do Nordeste brasileiro, que sofre uma drástica redução nos anos de fase quente do ENOS. Outra variável também influenciada pelo ENOS é a temperatura; Bristot e Pinheiro (2000) verificaram que em anos de El Niño a temperatura máxima mensal para a cidade de Natal no Rio Grande do Norte teve um acréscimo de até 1,7°C para o verão no período de 1997-98.

2.3 Oscilação Decadal do Pacífico (Pacific Decadal Oscillation)

O nome Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) foi dado pelo biólogo Steve Hare da Universidade de Washington em 1996, junto com outros pesquisadores como, Nathan Mantua, Yuan Zhang, Robert Francis e Mike Wallace, que descobriram esse padrão decadal de trabalhos feitos sobre a variação da população dos peixes no Pacífico Norte (MANTUA et al., 1997).

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é um fenômeno de longo prazo que se refere à variabilidade da temperatura da superfície do Oceano Pacífico Norte. Esse fenômeno é dividido em duas fases, conhecido como fase fria e fase quente, que podem durar de 20 a 30 anos. Mantua et al (1997) fizeram um estudo sobre a

oscilação climática interdecadal do Oceano Pacífico com impactos na produção de salmão onde relatam que a variação na produção está diretamente ligada a ODP.

OMENA (2010) verificou que as fases da ODP influenciam diferentemente as temperaturas máximas e mínimas cada região do RS.

2.4 Dipolo do Atlântico

É um fenômeno oceano-atmosférico que causa variação na precipitação na região nordeste do Brasil e na África. O Dipolo do Atlântico é uma mudança anômala na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico Tropical. Esse fenômeno gera uma alteração na circulação meridional da atmosfera (Célula de Hadley) e influencia na formação de nuvens no nordeste brasileiro e alguns países do continente africano, fazendo com que haja uma variação na precipitação.

Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Atlântico Tropical Sul estão mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e em alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, podendo causar secas. Em situação inversa a convecção torna-se bastante ativa acelerando a formação de nuvens intensificando a precipitação podendo provocar enchentes, em muitas ocasiões.

Souza, Alves e Repelli (1998) verificaram que nos anos de dipolo positivo ocorreram desvios negativos de 10 a 40% na precipitação do semiárido nordestino e em anos de dipolo negativo os desvios variaram de 10 a 50%. Com base nisso, concluíram que a influência do Dipolo do Atlântico (fases) é tão importante quanto à influência do El Niño Oscilação Sul.

Bezerra, Neves e Cavalcanti (2006) verificaram a energia estática no perfil vertical da atmosfera em anos El Niño Oscilação Sul e anos com o Dipolo do Atlântico buscando encontrar a influência desses fenômenos no ganho de energia em cada situação. Ao término do estudo concluíram que a precipitação no norte e nordeste brasileiro é mais sensível aos eventos ocorridos no Oceano Pacífico, principalmente em seu período positivo.

2.5 Oscilação Madden Julian (Madden Julian Oscillation)

Em 1971, Roland Madden e Paul Julian se depararam com uma oscilação de 30-60 dias ao analisar as anomalias do vento zonal, no Pacífico Tropical. Eles usaram dez anos de registros de pressão em Canton (2,8° S, no Pacífico) e os ventos de nível superior em Singapura. A oscilação dos ventos de superfície e de nível superior foi notavelmente clara, em Cingapura. Até o início dos anos 1980, pouca atenção foi dada a esta oscilação, que ficou conhecida como Oscilação Madden e Julian (OMJ), e alguns cientistas questionaram a sua importância mundial. Pesquisas posteriores revelaram que a OMJ é o modo de maior variabilidade nas regiões tropicais na escala de tempo intrasazonal e que afeta outras regiões do globo. Da mesma forma que El Niño, esta oscilação também alcança regiões extratropicais posto que também tem uma projeção sobre padrões de teleconexão (GRIMM e SILVA, 1995) e também tem efeitos na agricultura entre outras atividades econômicas.

A OMJ, também conhecida como uma oscilação de 30-60 dias, acaba por ser a flutuação principal intra-anual que explica as variações climáticas nos trópicos. A OMJ afeta toda a troposfera tropical, mas é mais evidente nos Oceanos Índico e Pacífico Ocidental. A OMJ envolve as variações do vento, temperatura da superfície do mar (TSM), nebulosidade e chuva. Como a maioria das chuvas tropicais é de convecção e topos das nuvens convectivas são muito frias, a OMJ é mais evidente na variação da radiação de onda longa (ROL), medida por um sensor infravermelho.

Xue et al (2002) encontraram influências significativas de OMJ relacionadas a temperatura em superfície na América do Norte. O presente estudo teve por objetivo verificar as influências da OMJ na temperatura e na precipitação durante o inverno em anos de ENOS neutro e anos de ENOS fraco. Os dados utilizados foram os índices de OMJ, precipitação e ROL.

2.6 Zona de Convergência do Atlântico (ZCAS)

A ZCAS corresponde a uma banda de nebulosidade orientada no sentido NW/SE que se estende desde o interior do continente em direção ao Oceano Atlântico, sobretudo entre outubro e março. Casarin e Kousky (1986) observaram que períodos de veranicos no RS frequentemente estão associados ao

estacionamento da ZCAS mais ao norte, onde podem ocorrer períodos prolongados (10 ou mais dias) de chuvas intensas. A variabilidade intrasazonal da ZCAS está associada à oscilação de 30/60 dias, conforme demonstrado por Casarin e Kousky (1986), Silva Dias (1988). Kodama (1992 e 1993) mostra que o padrão de escoamento essencial para justificar as características da ZCAS é a forte convergência de umidade, a frontogênese nos campos de temperatura potencial equivalente e a geração de instabilidade convectiva. Sendo uma das principais características da ZCAS estar associada ao Jato Subtropical de altos níveis, próximo a 35°S. Já as análises de Quadro (1994) sugerem que a ZCAS deve ocorrer associada aos seguintes padrões meteorológicos: convergência de umidade na baixa e média troposfera, faixa de movimento ascendente do ar com orientação noroeste/sudeste, um cavado semi-estacionário sobre a costa leste da América do Sul em 500hPa, intenso gradiente de temperatura potencial equivalente na média troposfera e também uma faixa de vortacidade anticiclônica em altos níveis (200hPa). Segundo Chaves e Nobre (2004), o resfriamento do Atlântico Sul desintensifica a convecção associada à ZCAS, favorecendo a convecção sobre a porção subtropical da América da Sul.

2.7 Bloqueios Atmosféricos

Uma definição de bloqueio atmosférico ainda não é consenso absoluto entre os pesquisadores de ciências atmosféricas, apesar de ser um tema discutido há muito tempo. Uma das definições mais clássicas foi dada por Rex (1951) e serve de embasamento para estudos mais recentes. Rex (1951) caracterizou bloqueio atmosférico em termos da forma do campo de altura geopotencial em 500hPa, evidenciando a divisão da corrente de jato em dois ramos com considerável transporte de massa, a transição abrupta do escoamento zonal para meridional, a persistência da configuração de bloqueio durante mais de 10 dias e sua extensão em mais de 45° de longitude. Segundo White e Clark (1951 apud REX, 1975) argumentam que nem sempre é verificada a divisão da corrente de jato em dois ramos em associação a mudança na sua direção de zonal para meridional. No entanto, o padrão de onda tem o efeito de bloquear a trajetória para leste de outros sistemas sinóticos.

Elliott e Smith (1949) definem bloqueio atmosférico como a intrusão de uma célula de alta pressão, estável e persistente, no escoamento normal de oeste em latitudes médias. Para Linacre e Geerts (1997), bloqueio atmosférico está associado às ondas de Rossby, oscilando sobre grandes distâncias latitudinais. Em contraposição, uma pequena amplitude de onda corresponde a um escoamento de oeste mais linear. Ambos os casos se distinguem pela diferença entre a altitude do nível de pressão 500hPa, em 35° e 55° de latitude, respectivamente. Este gradiente chama-se Índice Zonal, proposto por Lejenas (1984). Um alto índice implica em uma corrente de jato com escoamento praticamente zonal, enquanto um baixo índice corresponde a grandes sinuosidades nas ondas de Rossby, equalizando as condições entre tais latitudes. Isto implica em um vento zonal de baixa velocidade e, no seu extremo, em ação de bloqueio. Este índice tende a oscilar irregularmente num período de 3 a 8 semanas.

Barry e Chorley (1992) definem bloqueio atmosférico como um padrão de circulação que ocorre irregularmente e possui a tendência de persistir por semanas ou até meses, sendo um elemento essencial do clima. Trata-se do rompimento da circulação zonal das latitudes medias, formando um padrão celular. É comumente associado à divisão da corrente de jato em dois ramos que divergem e a formação de uma célula de baixa pressão no flanco equatorial de uma alta. Esta última recebe o nome de alta de bloqueio, uma vez que impede a trajetória normal para leste das depressões no escoamento zonal.

A formação das cristas de bloqueio, segundo Elliott e Smith (1949), estaria relacionada ao acúmulo de calor em baixas latitudes e a necessidade de reajuste na circulação geral para a redistribuição desse calor. Uma das formas de dissipação do bloqueio atmosférico seria a formação de um padrão de onda na atmosfera que estivesse fora de fase com o padrão estável formado pela alta de bloqueio. O bloqueio atmosférico é um evento típico de circulação de larga escala, com uma escala de tempo maior do que a escala de tempo sinótico (LIU, 1994). Ele difere de um sistema instável migratório, pois é dinamicamente quase estável e capaz de produzir efeitos na circulação geral de oeste a grandes distâncias – corrente abaixo e corrente acima – por um período de vários dias (ELLIOTT; SMITH, 1949).

Liu (1994) analisou os campos diários de altura geopotencial em 500hPa e as respectivas anomalias, nos meses do inverno do Hemisfério Norte (HN), em uma série de 10 anos (DJF, 1982/83-1991/92). Nesse estudo foram constatadas que

grandes anomalias positivas são associadas a bloqueios atmosféricos, enquanto as negativas são associadas à intensificação do escoamento zonal. O fato de uma grande anomalia positiva do geopotencial se qualificar como bloqueio atmosférico depende da latitude em que se encontra posicionado o centro da anomalia. Uma configuração padrão é a anomalia positiva estar centrada em torno de 60°N e existir uma anomalia negativa em latitudes baixas, além da alta de bloqueio centrada em torno de 50°N .

Baseado no campo de altura geopotencial em 500hPa, Blackmon, Mullen e Bates (1986) consideram como bloqueio atmosférico uma anomalia positiva maior do que 100m_gp, que persiste por mais de 10 dias ou então, 200m de anomalia positiva que persiste por mais de 6 dias. Já White e Clark (1975) baseiam o estudo dos bloqueios no campo de altura geopotencial em 700hPa.

No Hemisfério Sul (HS), pode ocorrer um deslocamento de uma região de alta pressão para o sul, atingindo o cinturão das baixas subtropicais (em torno da latitude de 45°S), configurando um padrão de vorticidade anticiclônica imerso no escoamento de leste dessa região. Esta região de alta pressão é denominada bloqueio atmosférico. O movimento desta região de alta pressão é reduzido, e ela desloca-se menos de 20° latitude em uma semana. Seu lugar nas latitudes normais é ocupado por uma baixa subtropical. O bloqueio atmosférico ocorre com o afastamento das correntes de jato polar e subtropical, a primeira formando uma crista em direção ao sul (até 65°S) e a última formando um cavado em torno dos 20°S . Tal padrão impede o deslocamento de oeste dos sistemas frontais, forçando-os a se desviarem para NE ou SE, contornando o bloqueio. Isso acarreta em uma persistência das condições meteorológicas locais na região sob o bloqueio. Esse tipo de evento é mais comum no inverno e pode levar a períodos de seca em áreas que dependem da precipitação de sistemas frontais (LINACRE; GEERTS, 1997).

Existem duas configurações clássicas de bloqueios atmosféricos para o HS, relacionadas com o afastamento dos jatos subtropical e polar. Quando a região do jato polar assume um escoamento anticiclônico em médios e altos níveis, associado a uma região de anomalia de alta pressão, esse padrão é denominado de Omega invertido, devido à semelhança com a letra grega Ω invertida. Caso ocorra a formação de uma região de baixa pressão ao norte associada a uma anomalia de alta pressão ao sul, caracterizando uma curvatura ciclônica no escoamento da

região do jato subtropical e uma curvatura anticiclônica na região do jato polar, forma-se, meridionalmente, um padrão denominado dipolo.

2.8 Correntes de Jato

Uma definição bastante usada sobre corrente de jato é de uma corrente tubular, horizontal, nas proximidades da tropopausa, cujo comprimento é de alguns milhares de quilômetros, sua largura de várias centenas de quilômetros e sua estrutura de vários quilômetros. Centrada sobre uma linha de máxima velocidade frequência, os 300km/h. Apresentando um gradiente horizontal transversal de velocidade da ordem de grandeza do parâmetro de Coriolis, ou seja, da ordem de 10m/s por 100km em latitudes médias e da ordem de 5m/s por 100km nas latitudes baixas. O gradiente vertical de velocidade é de 5 a 10m/s por km (18 a 36km/h por km).

O Jet Stream ou Corrente do Jato é uma corrente de ar muito veloz que ocorre na alta troposfera. As Correntes de Jato ocorrem em torno da Terra envolvendo-a e seguindo um curso ondulante. Estes jatos de ar foram descobertos durante as incursões aéreas na Segunda Guerra Mundial. Existem dois tipos de Corrente de Jato: o jato subtropical, com altitude mais elevada por ser encontrado entre as latitudes de 20° e 30°, e o jato polar, de menor altitude por ser localizado geralmente entre a região circumpolar e as latitudes médias (40°-70°).

A importância da Corrente de Jato é ressaltada em Browning (1985) que associa alguns casos de precipitação com a Corrente de Jato. Kousky e Cavalcanti (1984) relacionaram o padrão do escoamento em altos níveis a um bloqueio ocorrido na América do Sul durante o evento ENOS de 1983, ressaltando o papel do Jato Subtropical nas intensas precipitações sobre a Região Sul.

2.9 Funções Ortogonais Empíricas (Empirical Orthogonal Function)

Uma das técnicas estatística bastante usada para análise de variabilidade espacial e temporal de variáveis meteorológicas é o método de decomposição espectral, definido de Componentes Principais. Possivelmente a técnica estatística mais utilizada em Ciências Atmosféricas é a Análise de Componentes Principais (ACP). Esta técnica tornou-se popular para a análise de dados atmosféricos após o

trabalho de Lorenz (1956), que a chamou de análise de Funções Ortogonais Empíricas (EOF). Ambos os nomes são utilizados, e referem-se à mesma série de procedimentos (WILKS, 1995).

O propósito da EOF é reduzir de forma eficiente um conjunto de dados com grande número de variáveis, para um conjunto de dados com novas variáveis, em menor número, mas que representem uma grande fração da variância contida nos dados originais (SCHNUR ET AL. 1993; DUNKERTON 1993; BRACONNOT; FRANKIGNOUL 1993; ZWIERS 1993; XU 1993; MONTROY 1997).

A EOF baseia-se na análise da matriz de correlação (ou, opcionalmente, na matriz de covariância), que pode ser obtida da matriz de anomalias padronizadas $[Z]$ (expressas em desvios padrões (s)). Se há K variáveis, com n observações cada, a matriz $[Z]$ terá n linhas e K colunas.

A matriz de correlação é dada por:

$$[R] = \frac{1}{n-1} [Z]^T [Z] \quad (1)$$

Da matriz de correlação $[R]$ obtêm-se K autovalores λ_m , que seguem a relação:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \dots \geq \lambda_K \quad (2)$$

Cada um dos K autovalores λ_m corresponde a um autovetor

$$\mathbf{e}_m^T = [\mathbf{e}_{1m}, \mathbf{e}_{2m}, \dots, \mathbf{e}_{km}], \quad m = 1, 2, 3, \dots, K \quad (3)$$

que é um dos K componentes da nova base ortogonal utilizada, na qual os dados serão expressos. As novas variáveis (ou padrões principais) podem ser calculadas projetando-se os dados originais sobre a nova base dada pelos autovetores de $[R]$:

$$\mathbf{u}_m(t) = \mathbf{e}_m^T \mathbf{Z}(t) = \mathbf{e}_{km} \mathbf{Z}_k(t), \quad m = 1, 2, 3, \dots, K; t = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

Cada autovetor em possui K elementos que tem correspondência com cada uma das K regiões e pode ser representado sobre um mapa. Este mapa mostra claramente quais localizações contribuem mais ao respectivo componente principal e quais são as anomalias simultâneas representadas por esse componente principal. Os autovetores representam a distribuição espacial dos modos de variabilidade do campo analisado. Cada um dos K componentes da base fornece uma explicação e da variância total, proporcional ao autovalor correspondente:

$$e_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_K} \quad (5)$$

Uma questão importante a respeito da análise de componentes principais se refere a quantos autovalores devem ser retidos, de modo a separar o que é significativo do que é ruído. Uma maneira objetiva de selecionar autovalores consiste em reter os λ_m que satisfizerem:

$$\lambda_m \geq \frac{T}{K} \sum_{k=1}^K e_k \quad (6)$$

sendo e_k , k a variância do K -ésimo elemento e T um parâmetro que varia de 0,7 a 1. Esse método é mais utilizado quando se tem uma grande quantidade de elementos (WILKS, 1995).

Andreoli e Kayano (2002) utilizaram EOF como método de filtragem em um conjunto de dados de ATSM (anomalia da temperatura da superfície do mar). Após a filtragem utilizaram a técnica de correlações canônicas correlacionando os padrões extraídos pela EOF e os valores de ATSM saídas de um preditor. O objetivo do presente estudo foi verificar que região do Oceano Atlântico teria a ATSM melhor prevista sem considerar as influências dos sistemas de grande, meso e micro escala.

Nogués-Paegle e Mo (2002) isolaram os modos principais da variabilidade interanual da precipitação no verão (DJF) sobre a América do Sul utilizando Funções Ortogonais Empíricas (EOF) das anomalias sazonais da precipitação. Eles utilizaram 3 padrões. O primeiro padrão está associado com ENOS e com anomalias negativas de precipitação durante a fase quente de ENOS no norte da América do Sul e no sul de 25°S com anomalias positivas. O segundo padrão é influenciado pela TSM do Atlântico Subtropical, a TSM mais quente acarreta em anomalias de precipitação positivas na região central-oriental do continente próximo ao equador. O terceiro padrão é influenciado pelos Oceanos Atlântico e Pacífico. Este padrão é similar ao segundo, mas as anomalias são deslocadas para 10°S e há um centro adicional aproximadamente em 30°S.

Esta técnica foi descrita para servir de subsídios para aplicação nesta pesquisa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados

Foram utilizados dados de vento reanálise do NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction)/ (National Center for Atmospheric Research) para período de 1948 a 2009. Este conjunto de dados tem resolução horizontal de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ e um nível vertical, sendo este o nível de 850 hPa (Fig.. 4).

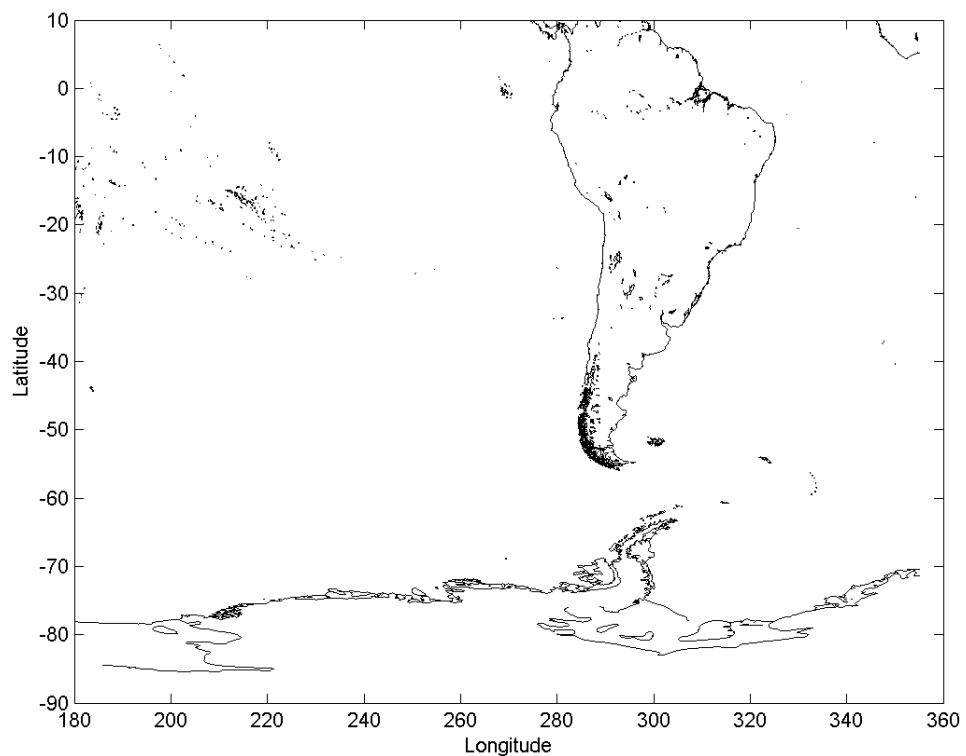


Figura 4: Região do Hemisfério Sul distribuída entre 2911 pontos de grade representando a circulação geral da atmosfera no nível de 850hPa, cujas respectivas latitudes e longitudes são de 10°N a 90°S e 180°E a 360°E .

As variáveis utilizadas para a composição dos padrões de oscilação principal são as componentes zonal e meridional do vento, representadas por “u” e “v” respectivamente, para maiores detalhes sobre a validade dos dados de reanálise verificar em Kalnay et al. (2006). Este primeiro conjunto de dados compreende a área entre 180°E – 360°E e 10°N – 90°S. Essa região ficará sendo identificada como Área 1.

Também foram utilizados dados observados de temperatura mínima mensal, de 24 estações do Estado do Rio Grande do Sul (RS), cujas latitudes e longitudes são de 27°S a 32°S e 58°W a 49°W como pode ser verificado na Fig. 5. Os dados de temperatura mínima mensal foram cedidos pelo 8° Distrito de Meteorologia (DISME) - Instituto Nacional de Meteorologia (INMet) e Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). A série de dados de temperatura mínima mensal também esta compreende o período de 1948 a 2009.

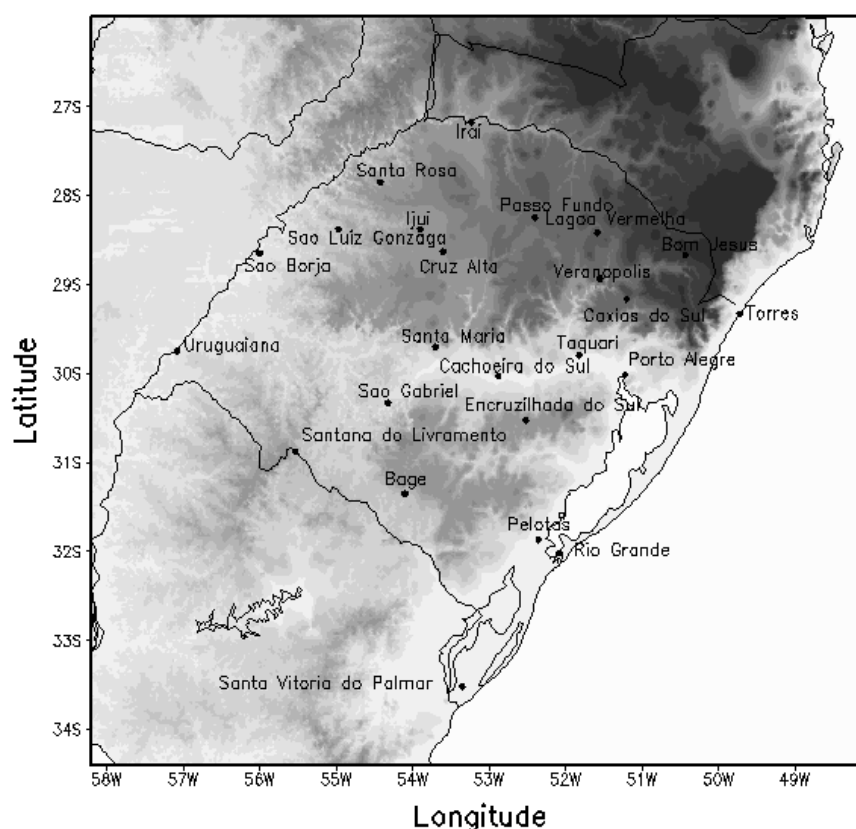


Figura 5: Distribuição espacial das 24 estações meteorológicas utilizadas.

3.2 Metodologia

3.2.1 Funções Ortogonais Empíricas

Para obter os padrões de oscilação principal aplicou-se a técnica estatística conhecida como Funções Ortogonais Empíricas (EOF) ou Análise de Componentes Principais (ACP) no conjunto de dados compreendidos pelas componentes do vento (“u” e “v”).

A análise tem por fundamento simplificar uma matriz de dados, sendo esta representada pelos seus índices mais significativos com relação à variabilidade. Para encontrar esta variação é necessário obter a matriz dos autovalores e dos autovetores associados, sendo estes calculados pela técnica de Decomposição de Valor Singular ou Singular Value Decomposition (SVD). Os autovalores vão mostrar as variâncias mais significativas nos dados possibilitando que a escolha das componentes principais seja feita com maior teor de explicação e os autovetores irão contribuir no momento de obter os padrões espaciais e temporais de vento.

Essa técnica transforma o conjunto de dados em uma matriz quadrada $[m \times m]$, onde cada elemento dessa matriz é o valor da correlação existente entre os outros elementos da matriz. A partir da matriz de correlação se extrai os padrões de oscilação principal. Multiplicando esses padrões pela matriz padronizada dos dados originais se obtém uma matriz espacial com a predominância de cada região da área de estudo. A seguir estão descritas as principais metodologias usadas neste trabalho.

3.2.1.1 Matriz de Correlação

De acordo Wilks (2006) a matriz de correlação $[R]$ pode ser oriunda da matriz de covariância $[S]$ que é calculada por:

$$[S] = \frac{1}{n-1} [X']^t [X'] \quad (1)$$

onde $[X']$ representa a matriz das anomalias, e n o número total de observações e o índice t representa a matriz transposta.

Através desta operação matricial obtém-se a matriz correlação $[R]$:

$$[R] = [D]^{-1} [S] [D]^{-1} \quad (2)$$

onde $[D]$ é a matriz diagonal cujos elementos representam o desvio padrão de cada variável envolvida, ou seja, $d_{kk} = \sqrt{s_{kk}}$ com $k = 1, \dots, K$.

3.2.1.2 Decomposição de Valor Singular

A decomposição de valor singular, frequentemente chamada de SVD (Singular Value Decomposition), se apresenta como uma técnica útil para a decomposição de uma matriz em outras matrizes. Segundo Wilks (2006), a técnica de SVD possibilita fazer a fatoração, tanto de matrizes quadradas quanto retangulares singulares ou não-singulares. Um dos principais objetivos desta técnica é reduzir ao menor número de variáveis não-observáveis que irão influenciar numa operação.

A fatoração da matriz dos dados se dá na forma:

$$[X] = [P] [D] [Q]^T \quad (3)$$

Onde $[X]$ é a matriz original dos dados, $[P]$ é uma matriz ortogonal, ($P^T P = P P^T = I$, quando $P^T = P^{-1}$) de ordem $m \times n$, do tipo a_{ij} , onde $i = 1, 2, 3 \dots m$ e $j = 1, 2, 3 \dots n$ formada pelos autovetores de $X \cdot X^T$; $[D]$ é uma matriz diagonal formada pelos autovalores de $X \cdot X^T$ ou $X^T \cdot X$ e $[Q]$ é a matriz formada pelos autovetores de $X^T \cdot X$. Segundo Wilks (2006), as três matrizes pertencentes ao segundo membro da equação (3) recebem o nome de vetores singulares à esquerda, valores singulares e vetores singulares à direita, respectivamente da matriz original dos dados.

A decomposição de valor singular também pode ser obtida através da matriz de correlação ou covariância e com isso os vetores singulares à esquerda e à direita tornam-se exatamente iguais.

Para a obtenção das componentes principais, um passo fundamental é encontrar a variância de cada componente, pois isso servirá como base para a redução do espaço das variáveis não-observáveis. A variância (V) será obtida pela matriz de correlação da nova combinação linear dada por:

$$\begin{aligned} R(Z) &= R(PD) = \frac{1}{m-1} [(DP)^T (PD)] \\ R(Z) &= \frac{1}{m-1} [DP^T PD] \\ V &= \frac{1}{m-1} D^2 \end{aligned} \quad (4)$$

onde R é a matriz correlação dos autovetores, Z são os autovetores, m representa o número de linhas da matriz que contém os dados.

3.2.1.3 Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de componente principal é uma técnica estatística multivariada, semelhante a Funções Ortogonais Empíricas (EOF) que transforma um conjunto de variáveis correlacionadas num conjunto menor de variáveis independentes cuja formação se dá por combinações lineares das variáveis originais, como já foi visto em Schnur et al. 1993; Dunkerton 1993; Braconnot e Frankignoul 1993; Zwiers 1993; Xu 1993; Montroy 1997. Segundo Hannachi, Jolliffe e Stephenson (2007), a EOF está entre as mais amplas e extensivas técnicas utilizadas nas ciências atmosféricas consistindo numa ferramenta exploratória que reduz uma grande dimensão e extrai padrões de um grupo de dados.

O principal objetivo da análise de componente principal (ACP) é tomar n variáveis $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ e encontrar combinações lineares destas para produzir escores $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ que sejam não-correlacionados entre si e que descreva a variabilidade dos dados. No contexto climatológico, seu objetivo está em redistribuir a variabilidade de uma grande série de dados em outra série de variáveis com uma dimensão muito menor (componentes principais).

Do ponto de vista algébrico, a representação das componentes principais é:

$$\begin{aligned}
Z_1 &= \gamma_{11}X_1 + \gamma_{12}X_2 + \dots + \gamma_{1j}X_s \\
Z_2 &= \gamma_{21}X_1 + \gamma_{22}X_2 + \dots + \gamma_{2j}X_s \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
Z_n &= \gamma_{n1}X_1 + \gamma_{n2}X_2 + \dots + \gamma_{nj}X_s
\end{aligned} \tag{5}$$

onde X_s e γ_{ij} são as variáveis originais padronizadas e o peso (loadings) da variável j na componente principal i , respectivamente. Os pesos γ_{ij} , também chamados de coeficientes “loadings” são estimados de forma que:

1. A primeira componente principal seja capaz de explicar a maior proporção de variância nas variáveis originais.

2. A componente seguinte explique a maior proporção de variância ainda não explicada pela anterior e assim sucessivamente.

3. A escala das novas componentes seja fixa de modo a manter constante a variância total. Matematicamente significa que: $\gamma_{i1}^2 + \gamma_{i2}^2 + \dots + \gamma_{in}^2 = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

As componentes “loadings” projetam a série original dos dados sobre uma série de bases de vetores ortogonais. Em outras palavras, a análise de componentes principais gera o padrão realizado com maior frequência, ou seja, quando representado em um mapa indica a oscilação permanente de um fenômeno. Sua evolução temporal mostra como este padrão se comporta ao longo de todo o período. A quantidade de funções retidas varia de caso para caso, todavia a primeira componente contém a maior variância dos dados e essa ordem de variação segue de forma decrescente.

De acordo com Green (1978), as etapas para a obtenção das componentes principais são:

1. Rotação da configuração inicial dos pontos (observações) através dos coeficientes “loadings” em uma nova orientação de mesma dimensão que exibem a característica das dimensões mutuamente ortogonais com máxima variância na forma sequencial.

2. Redução da dimensão do espaço transformado, usualmente descartando a maioria daquelas componentes que exibem pequena variância dos pontos projetados.

3. Encontrar ainda uma nova orientação do espaço reduzido que faz com que as dimensões retidas sejam melhor interpretáveis (rotação das componentes principais).

4. Substantiva interpretação das dimensões reorientadas em termos de variáveis que mostram ampla associação com cada dimensão.

A aplicação da análise de componentes principais possui alguns objetivos, dos quais se destacam: reduzir a dimensão do grupo de dados multivariados; transformar a matriz de variáveis preditoras de forma a aplicar técnicas como regressão múltipla ou correlação canônica.

Para a extração das componentes principais é preciso já se ter decidido pelo modo de decomposição fatorial da matriz dos dados originais. Como o objetivo principal é encontrar os padrões de variabilidade espaço-temporal de vento da Área 1 e identificar as áreas que possivelmente mais influenciam na variação da temperatura mínima no Estado do Rio Grande do Sul, o modo-S foi selecionado justamente por apresentar características que satisfazem as condições do problema.

Para obter os escores das componentes principais, foi feito o produto dos valores padronizados da magnitude do campo de vento pelos pesos das componentes.

$$Z = X_S U \quad (6)$$

onde Z é o novo conjunto de dados, U representa os autovetores da matriz de correlação e X_S representa a matriz dos dados originais padronizados. Portanto, $Z = PD = X_S U$, onde Z é a matriz formada pelos escores das componentes principais inicialmente com a mesma dimensão da matriz X .

As componentes “loadings” são responsáveis por um giro em cada um dos vetores que contêm os dados originais a partir de um ângulo α formando novos dados não-observáveis, conforme observado na figura 9.

Dessa forma, o eixo Z_1 contém os pontos observados projetados sobre si mesmo apresentando máxima variância, ou seja, quantidade máxima de informação a respeito de uma variável. Esta ordem segue de forma decrescente para as demais componentes principais com o objetivo de explicar uma parcela de variância ainda não explicada pela anterior.

O ângulo entre dois vetores u e $v \in \mathbb{R}^n$ é definido por:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\mathbf{u}^T \mathbf{v}}{\|\mathbf{u}\| \|\mathbf{v}\|} \quad (7)$$

$$\cos \alpha = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{\|\mathbf{u}\| \|\mathbf{v}\|} \quad (8)$$

onde o numerador da equação (8) representa o produto escalar (ou produto interno) entre os vetores u e v . O produto escalar é representado por:

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = u_1 v_1 + u_2 v_2 + \dots + u_n v_n \quad (9)$$

O denominador da equação (8) representa o produto entre a norma (ou comprimento) dos vetores u e v , cuja definição algébrica dá-se por:

$$\|\mathbf{u}\| = \sqrt{\mathbf{u} \cdot \mathbf{u}} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2} \quad (10)$$

$$\|\mathbf{v}\| = \sqrt{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2} \quad (11)$$

Assim como os dados, as componentes principais podem ser padronizadas sob o mesmo sentido, eliminando a influência de unidades e escalas diferentes (equação 12).

$$\mathbf{Z}_S = \mathbf{X}_S \mathbf{U} \mathbf{D}^{-1/2} \quad (12)$$

onde as colunas de $\mathbf{Z}_S$ representam os padrões de sequenciais de k campos espaciais (componentes principais padronizadas), $\mathbf{X}_S$ a matriz dos dados originais padronizados, $\mathbf{U}$ a matriz dos autovetores da matriz de correlação e $\mathbf{D}^{-1/2}$ a matriz da variância das componentes principais.

3.2.2 Percentis

Para avaliar os eventos extremos dos escores dos padrões principais de circulação do vento usou-se a técnica dos percentis. Um percentil é uma medida da posição relativa de uma unidade observacional em relação a todas as outras. O p -ésimo percentil tem no mínimo $n\%$ dos valores abaixo daquele ponto e no máximo $(100 - p)\%$ dos valores acima.

Há inúmeras maneiras de se calcular percentis. Considere a notação $X_{[np]^+}$, que significa anotar a próxima observação acima de np (onde n é o total de valores e p o percentil em decimais) se np não é inteiro, e a média desta é da observação seguinte se np é inteiro. Os colchetes em torno do índice representam a posição daquele valor após os dados terem sido ordenados de modo crescente. Percentis são, normalmente, calculados para dados intervalares e proporcionais.

Os percentis de números 25, 50 e 75 são chamados, respectivamente, Primeiro Quartil (simbolizado por Q_1), Segundo Quartil (Q_2 , igual à Mediana) e Terceiro Quartil (Q_3).

Os percentis de números 10, 20, 30,..., 90 são chamados Decis; tem-se, respectivamente, Primeiro Decil (simbolizado por D_1), Segundo Decil (D_2) e o Nono Decil (D_9). O Quinto Decil é a Mediana.

3.2.3 Teste t de "Student"

O Teste t consiste em formular uma hipótese nula e consequentemente uma hipótese alternativa, calcular o valor de t conforme a fórmula apropriada e aplicá-lo à função densidade de probabilidade da distribuição t de Student medindo o tamanho da área abaixo dessa função para valores maiores ou iguais a t . Essa área representa a probabilidade da média dessa amostra em questão ter apresentado o valor observado ou algo mais extremo. Se a probabilidade desse resultado ter ocorrido for muito pequena, se pode concluir que o resultado observado é estatisticamente relevante. Essa probabilidade também é chamada de *p-valor* ou valor p. Consequentemente, o nível de confiança α é igual a $1 - p\text{-valor}$.

Normalmente é usado um "ponto de corte" para o *p-valor* ou para o nível de confiança para definir se a hipótese nula deve ser rejeitada ou não. Se o *p-valor* for

menor que esse "ponto de corte", a hipótese nula é rejeitada. Caso contrário, a hipótese nula não é rejeitada.

É comum usar os "pontos de corte" para *p-valor* 0,1%, 0,5%, 1%, 2% ou 5%, fazendo com que os níveis de confiança sejam, respectivamente, 99,9%, 99,5%, 99%, 98% ou 95%. Caso seja usado o *p-valor* 5% como "ponto de corte" e a área abaixo da função densidade de probabilidade da distribuição t de Student seja menor do que 5% pode-se afirmar que a hipótese nula é rejeitada com nível de confiança de 95%. (MANKIEWICZ, 2001).

A significância estatística para cada um dos padrões principais é avaliado através da aplicação do teste T. Usamos a seguinte fórmula para o cálculo da estatística t:

$$T = \frac{Z \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$$

Onde:

- Z: é a distribuição inicial normalizada;
- σ : é o desvio padrão;
- n: é o tamanho da amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente são apresentados campos médios do vento em 850hPa para os meses de janeiro e julho no intuito de demonstrar a variabilidade do campo de vento ao longo do ano e a variação na posição dos sistemas de pressão na circulação geral de grande escala. Este nível foi escolhido por representar as variações de grande escala em superfície (influência dos oceanos e continentes) e estar acima da camada limite planetária, representando as variações na circulação da altura aproximada em latitudes médias de 1500 metros. Nesta camada, as pequenas variações devido à expansão urbana não são significativas, portanto, a identificação de variações temporais na velocidade podem estar associadas predominantemente a oscilações naturais de grande escala.

A Fig.. 6 representa o campo de vento médio no nível de 850hPa para o mês de janeiro. Na região polar há predomínio do sistema de alta pressão, definido de Alta Polar (em superfície), no entanto o fluxo do vento sofre variações de direção devido ao movimento de rotação da Terra, gerando a presença de vários sistemas de alta, dentro da grande região Polar. Percebe-se que a direção média do vento não apresenta um predomínio único de direção. Já na região próximo da latitude 60°S nota-se que o fluxo zonal é predominante para leste, caracterizando a Corrente de Jato Polar, definindo esta região como Baixa Polar (em superfície). Próximo a latitude de 40°S localiza-se outra região de alta pressão, mas devido as variações térmicas diferente entre o continente e oceanos, os núcleos de alta pressão ficam mais intensos sobre os oceanos Atlântico e Pacífico. Estes máximos de pressão são definidos como Alta do Atlântico e Alta do Pacífico. Nestas regiões, os ventos apresentam direção variável, visto que o sentido predominante é anti-horário na circulação. A Alta do Pacífico é responsável pela intensificação ou enfraquecimento

dos ventos alísios no Pacífico Equatorial, variação que define a formação dos eventos ENOS (El Niño Oscilação Sul). Nos períodos de enfraquecimento dos alísios ocorre menor transporte de águas frias para a região equatorial, causando anomalias positivas na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) a situação oposta de intensificação dos alísios contribui para predomínio de anomalias negativas de TSM. A formação dos eventos ENOS depende também da intensidade as anomalias de velocidade dos alísios bem como a persistência destes por vários meses. A Alta do Atlântico colabora com o transporte de umidade do oceano Atlântico para as regiões nordeste e sudeste brasileiro, bem como a formação de um canal de umidade oriundo da região Amazônica que contribui significativamente com as chuvas no Sul do Brasil. Ainda na Fig.. 6, nota-se que a região equatorial apresenta um fluxo para oeste, resultados do encontro dos alísios gerados pelos anticiclones dos hemisférios Sul e Norte, região onde geralmente é possível se encontrar a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical).

A Fig.. 7 mostra o campo médio do vento para o mês de julho. Os padrões médios de circulação são praticamente os mesmos de janeiro, ou seja, ao longo do ano ocorrem apenas pequenas variações de velocidade e de posicionamento dos grandes sistemas de pressão em superfície. As variações de posição ao longo do ano são devido à alteração no balanço de energia entre os hemisférios e entre o continente e os oceanos, no entanto, apesar de pouco perceptível na figura, são de grande influência no regime de chuva e temperatura. O deslocamento da região da ZCIT (segue a declinação solar) entre verão e inverno é responsável pela variação temporal das chuvas no Norte de Brasil, assim como o posicionamento da Alta do Atlântico, ao longo do ano, altera os volumes de chuva no Centro-Oeste do Brasil.

As Fig.. 8 e Fig.. 9 mostram as médias mensais de janeiro e julho das temperaturas mínimas, calculadas no período de 1948 a 2009. Percebe-se que os valores são bastante distintos, mas o padrão de variação espacial permanece praticamente o mesmo nos dois períodos, com maiores valores no noroeste e centro-leste do Estado e com menores valores nas serras do nordeste e sudeste. Para este trabalho o importante é conhecer as oscilações de grande escala que a temperatura mínima sofre no tempo, bem como a relação com os principais padrões de circulação da atmosfera.

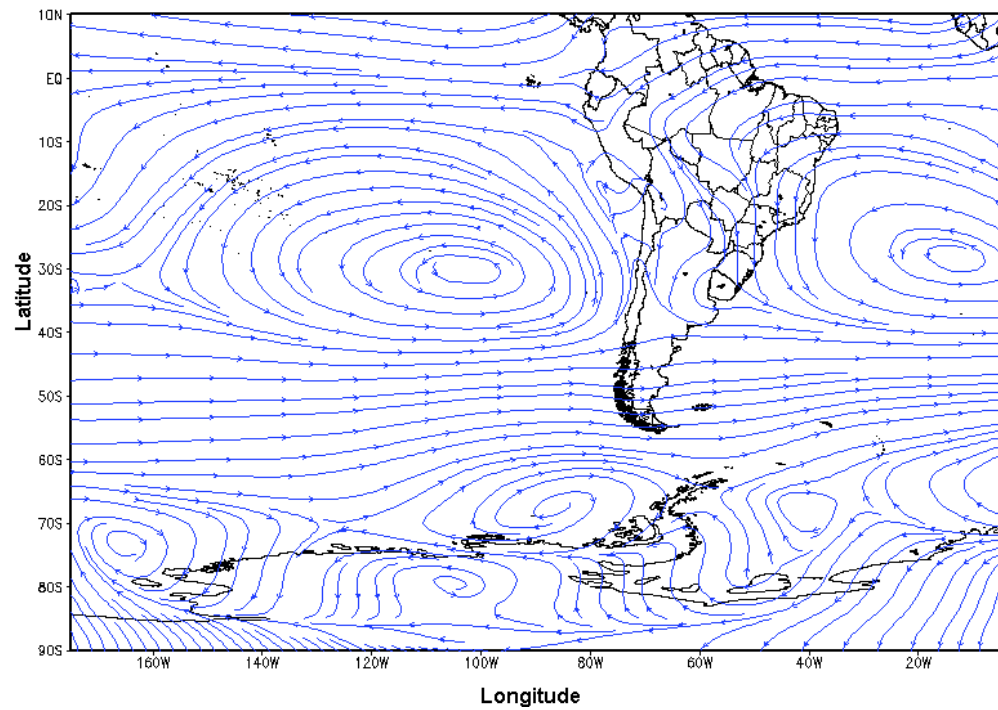


Figura 6: Campo de Vento médio para o mês de janeiro no nível de 850hPa.

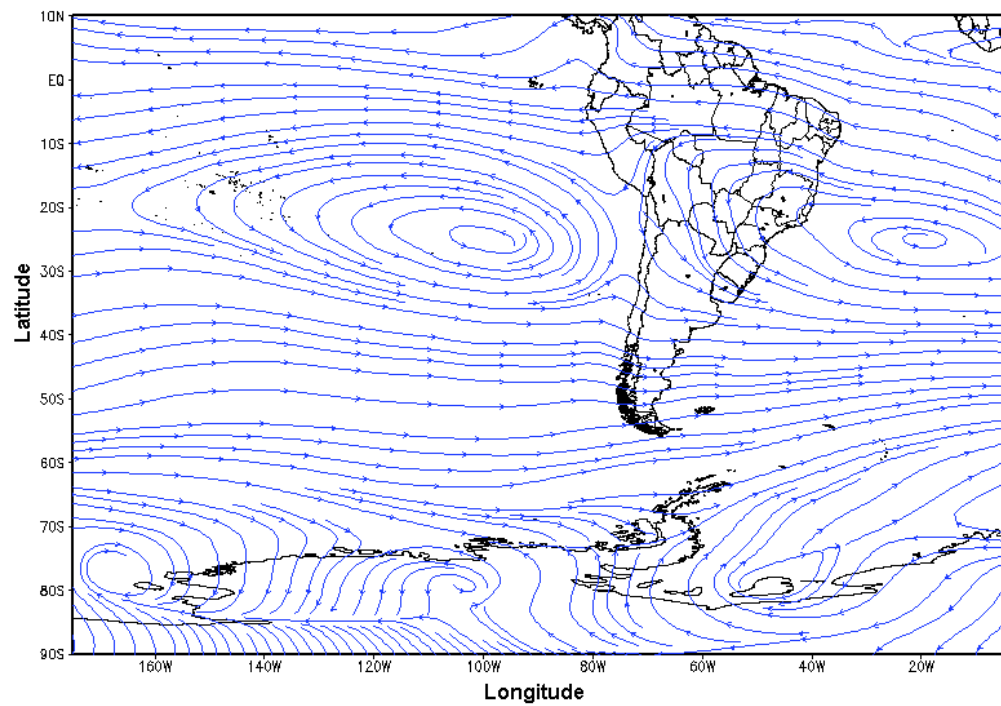


Figura 7: Campo de Vento médio para o mês de julho no nível de 850hPa.

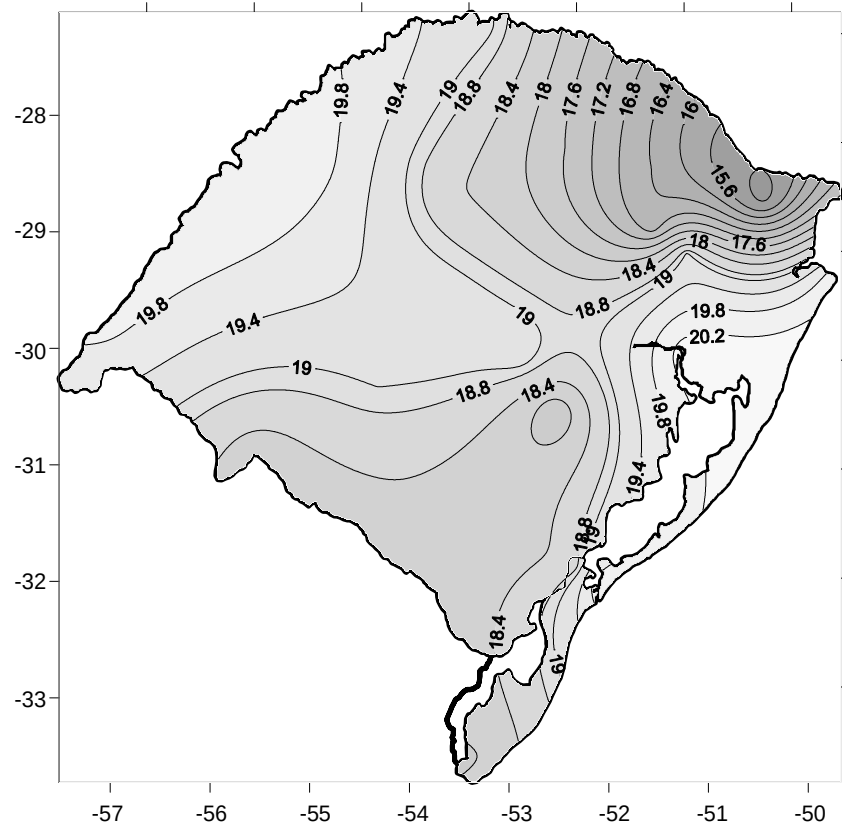


Figura 8: Temperatura mínima média mensal para o mês de janeiro.

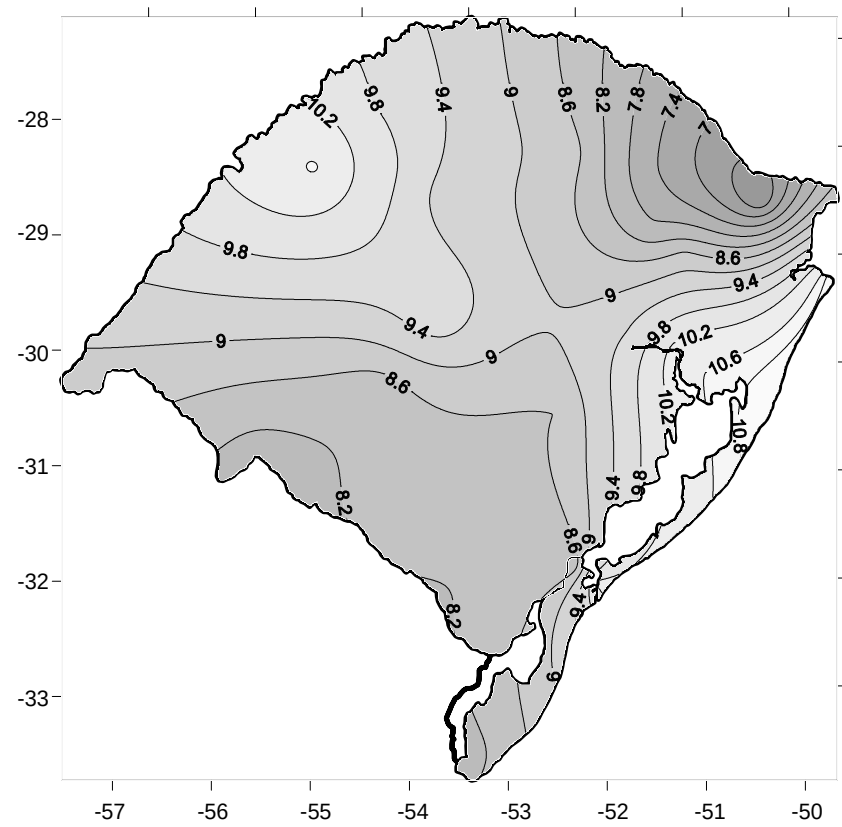


Figura 9: Temperatura mínima média mensal para o mês de julho.

4.1 – Padrões de oscilações principais da velocidade do vento em 850hPa.

Foram calculados os primeiros 5 padrões principais de velocidade do vento (áreas cuja variação de velocidade apresentou maior peso em cada componente). A partir dos padrões principais foram calculados os 5 escores principais (série temporal do índice) e correlacionados às temperaturas mínimas mensais no RS. A correlação foi aplicada entre os 5 escores principais e as temperaturas mínimas de cada mês, sendo mostrados apenas os padrões principais, os escores e os coeficientes de correlação cujo mês apresentou valores significativos a 1% de probabilidade, os padrões principais e escores não apresentados nos resultados podem ser encontrados nos Apêndice I e Apêndice II, respectivamente.

4.1.1 – janeiro: A Fig.. 10 mostra o terceiro padrão de oscilação principal da velocidade do vento para o mês de janeiro. Nota-se que as áreas mais influentes nesse mês são compreendidas por uma porção da Corrente de Jato Polar no Pacífico Sul, a Corrente de Jato Subtropical, a Alta do Pacífico, a Corrente de Jato de Baixos Níveis oriundo da Amazônia e os Ventos Alísios no Atlântico Equatorial. A partir da variação temporal da velocidade do vento (1948 a 2009) nestas áreas obteve-se o escore do terceiro padrão (Fig.. 11). Na figura também está representada a linha de ajuste temporal, caracterizando claramente a tendência não linear no padrão de circulação.

A Fig.. 12 mostra o coeficiente de correlação da temperatura mínima mensal de janeiro com o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento. Como mencionado na metodologia, foram discutidos apenas valores de correlação em módulo iguais ou superiores a 0,35 (valor mínimo necessário para significância de 1% probabilidade). Pela figura percebe-se que existem uma grande área no norte, nordeste e centro do Estado com valores significativos. A relação das temperaturas mínimas neste período de estudo mostrou-se predominantemente inversa com o escore principal (coeficientes negativos). Na comparação com a função de ajuste da série do escore, nota-se que ocorreu aumento do sinal deste índice entre os anos 1950 e 1970 e redução entre os anos 1980 a 2000, voltando a aumentar no final da série.

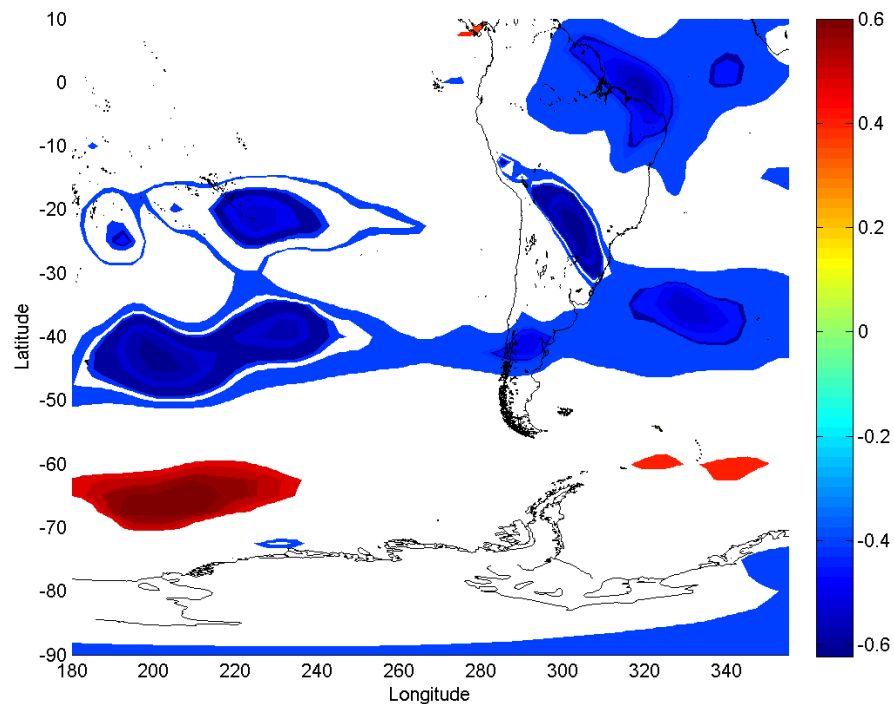


Figura 10: Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de janeiro

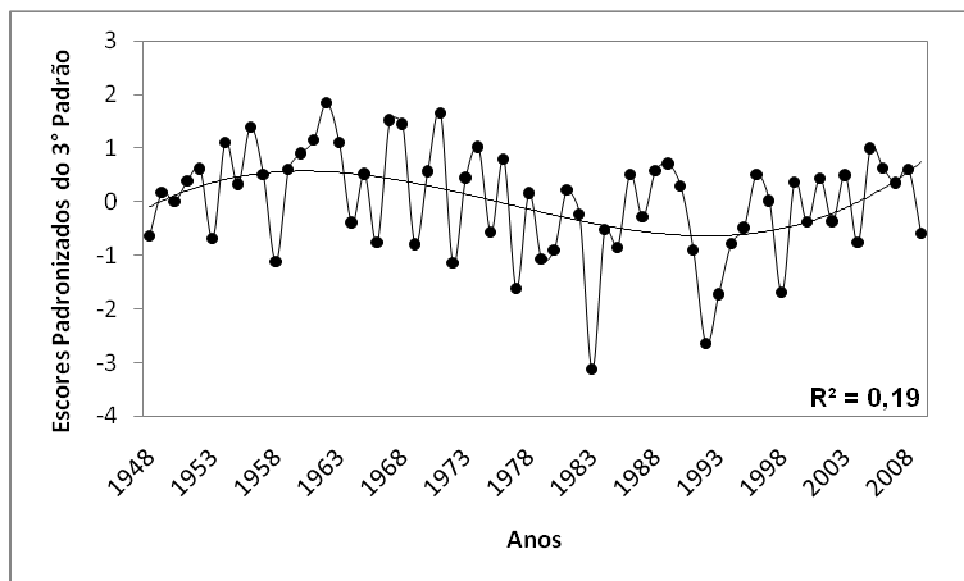


Figura 11: Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de janeiro.

Este padrão é inverso nas temperaturas mínimas, com menores valores nos períodos entre os anos 1950 a 1970 e maiores entre os anos 1980 a 2000. A intensificação do índice no final desta série, apesar de ainda pequena pode ser

indicativo de estar começando um novo ciclo de temperaturas mínimas ligeiramente menores.

O terceiro padrão principal, o qual apresentou maior correlação com as temperaturas mínimas em janeiro, aponta para variações que ocorrem principalmente em superfície devido a Alta do Atlântico, a qual influencia no transporte de calor da região norte-centro do Brasil para o RS.

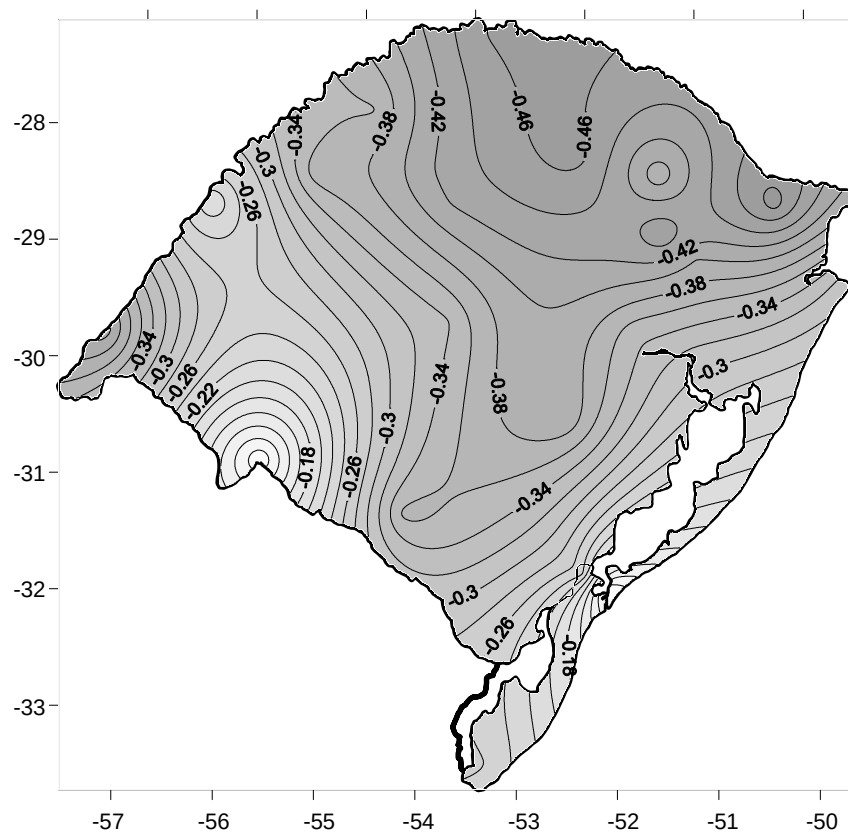


Figura 12: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de janeiro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de janeiro.

4.1.2 – fevereiro: Na Fig.. 13 é mostrado o quarto padrão de oscilação principal do mês de fevereiro. Este padrão tem como principais áreas de influência a Corrente de Jato de Baixos Níveis influenciados pela Alta do Atlântico. Os escores desse padrão são mostrados na Fig.. 14. Nota-se que a função de ajuste temporal apresenta tendência com maiores valores no meio de série e declínio nos extremos.

A Fig.. 15 contém a distribuição espacial dos coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de fevereiro no RS e os escores do quarto padrão. As

maiores correlações são encontradas na região nordeste, semelhantes a janeiro. Nota-se que os coeficientes são positivos, inverso em relação a janeiro, no entanto, o sinal nas áreas mais relevante também se inverteram. Esta correlação inversa mostra que também em fevereiro são os Jatos de Baixos Níveis influenciados pela Alta do Atlântico que influenciam as temperaturas mínimas, especialmente no norte e nordeste do Estado.

As correlações positivas e significativas entre os escores e as temperaturas mínimas indicam que as temperaturas mínimas também apresentaram máximos no meio de série e pequeno declínio no final, semelhante ao mês de janeiro.

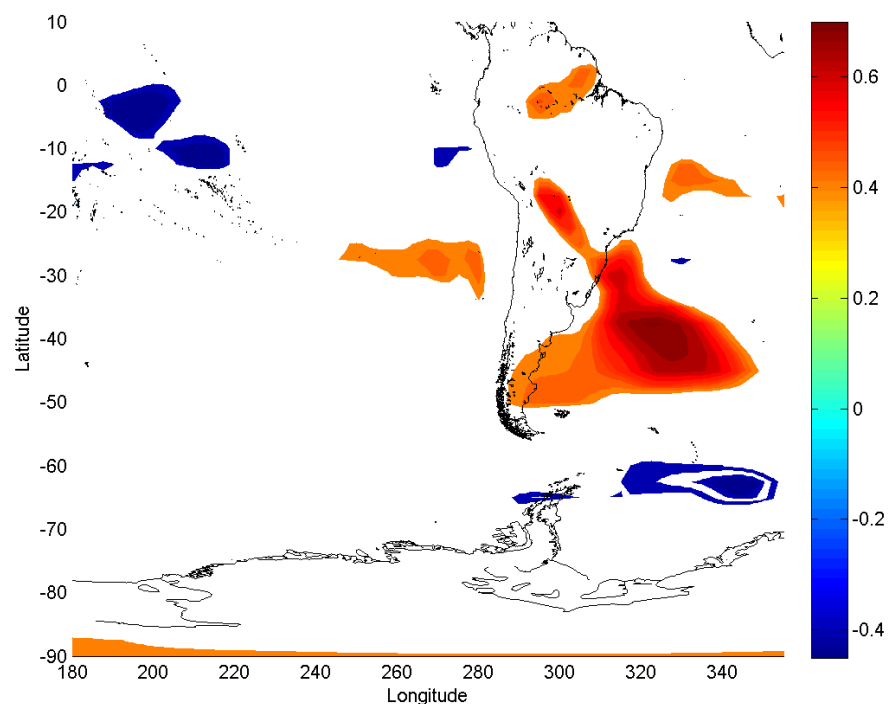


Figura 13: Quarto padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro.

4.1.3 – março: A correlação entre as temperaturas mínimas e todos os 10 escores principais não apresentaram significância a 1% de probabilidade, portanto não foram apresentados.

4.1.4 – abril: Na Fig. 16 estão representados o terceiro padrão de oscilação principal do mês de abril. As áreas mais influentes são a Corrente de Jato Polar,

parte do Corrente de Jato Subtropical e especialmente os Ventos Alísios no Pacífico Equatorial.

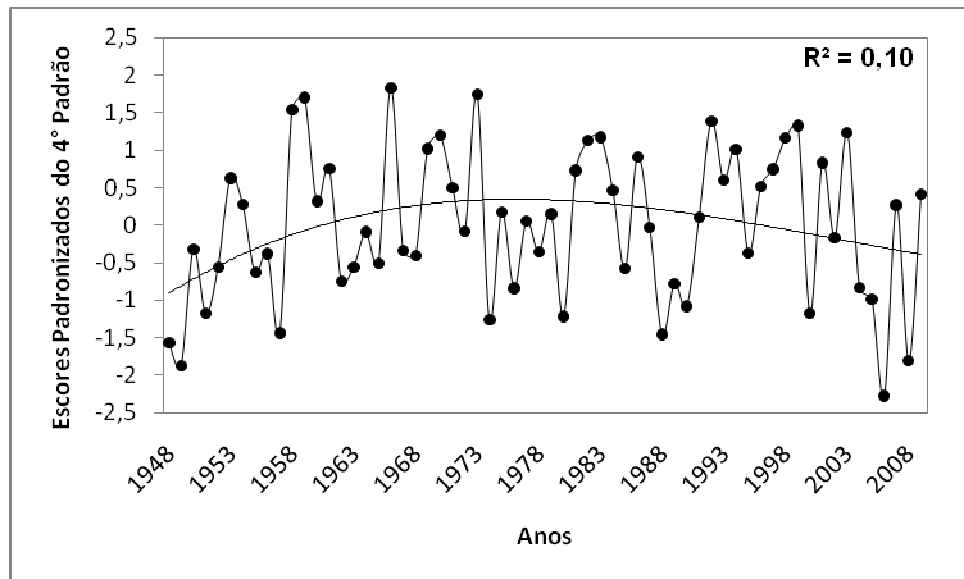


Figura 14: Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de fevereiro.

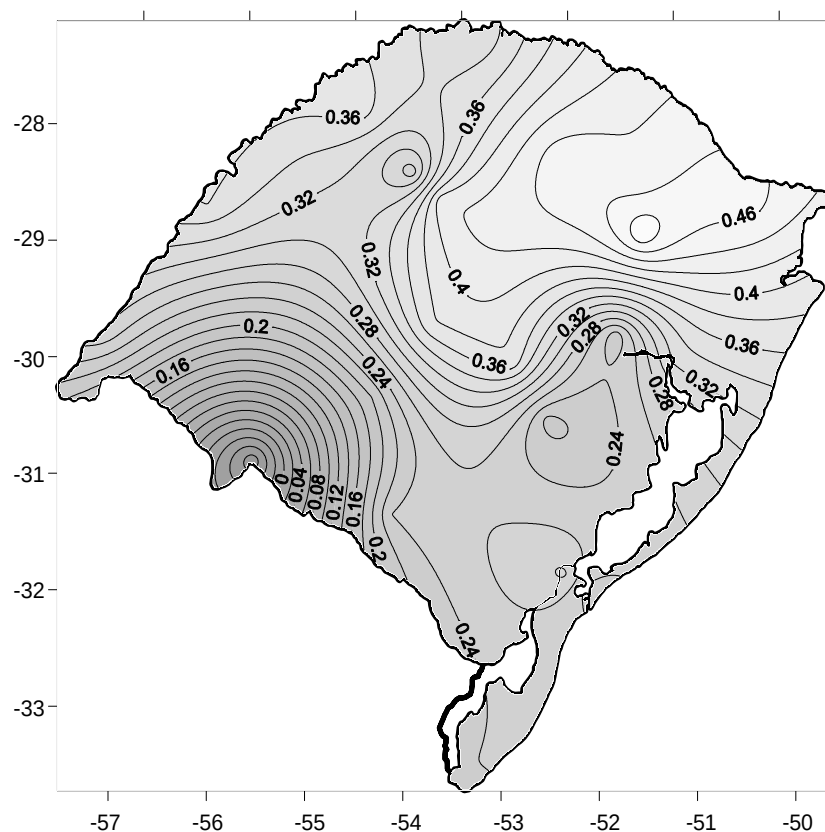


Figura 15: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de fevereiro no Rio Grande do Sul e o escore do quarto padrão principal da velocidade do vento de fevereiro.

Os escores do terceiro padrão são mostrados na Fig.. 17. Nota-se que a função de ajuste temporal apresenta tendência com os menores valores da série próximos dos ano de 1960 e os máximos próximos do ano de 2000, mostrando novamente oscilação não linear no tempo.

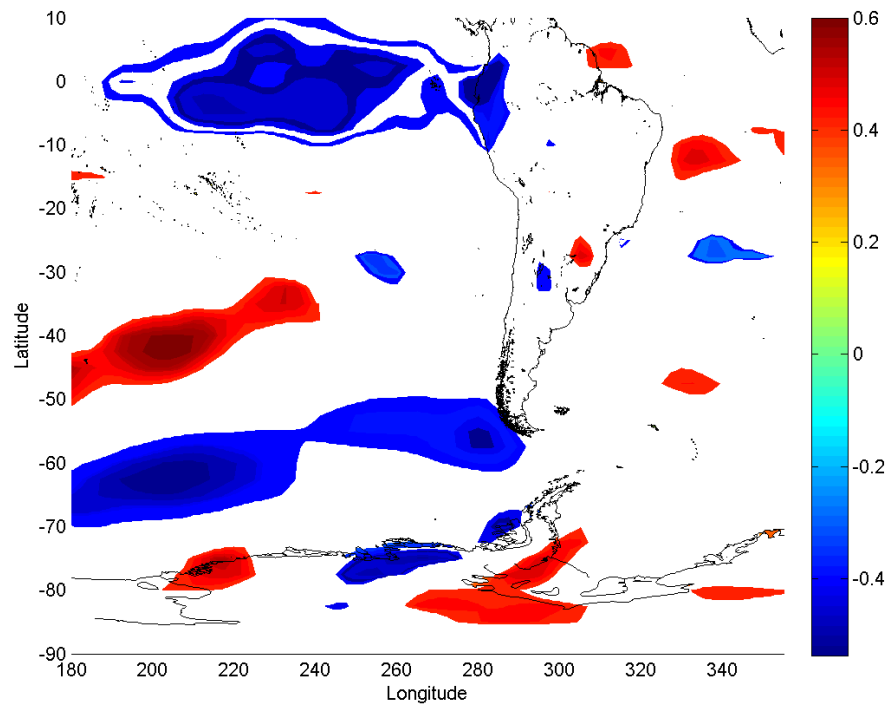


Figura 16: Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de abril.

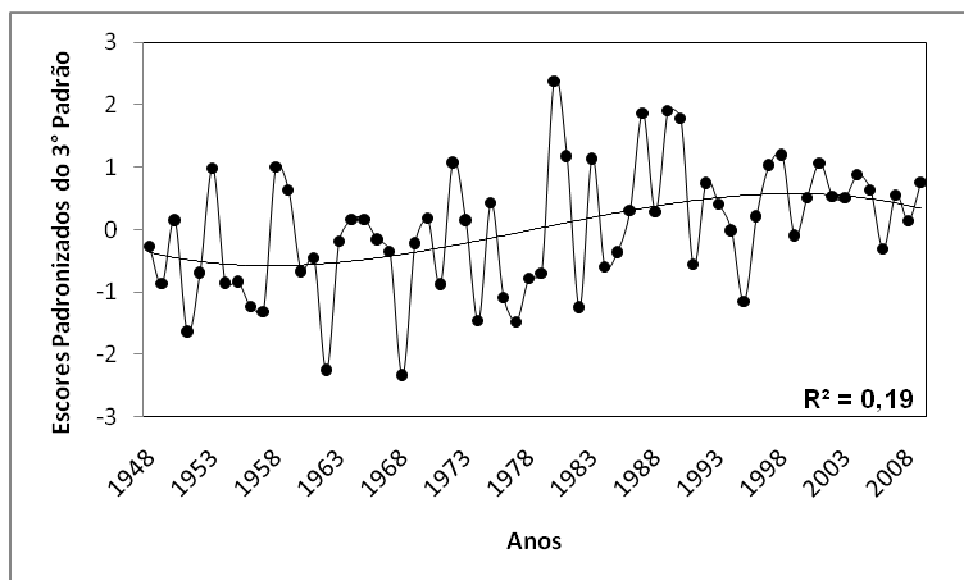


Figura 17: Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de abril.

A Fig.. 18 mostra a distribuição espacial dos coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de abril no RS e os escores do terceiro padrão. As maiores correlações são encontradas na região central, mas todo o Estado apresenta coeficientes significativos a 1% de probabilidade, sendo também todos positivos. Nesta componente, o padrão principal de oscilação está associado ao aumento ou enfraquecimento da velocidade do vento causado pela intensificação ou enfraquecimento da Alta do Pacífico. A variação da Alta do Pacífico gera variação da velocidade do Jato Polar e variação na velocidade dos alísios do Pacífico Central/Leste. Situação de intensificação da Alta do Pacífico favorece as correntes oceânicas a formar os eventos La Niña, enquanto que, a situação oposta favorece a formação dos eventos El Niño. É comum neste mês de abril o enfraquecimento destes eventos, portanto período de grande variação, especialmente nos alísios no Pacífico Equatorial.

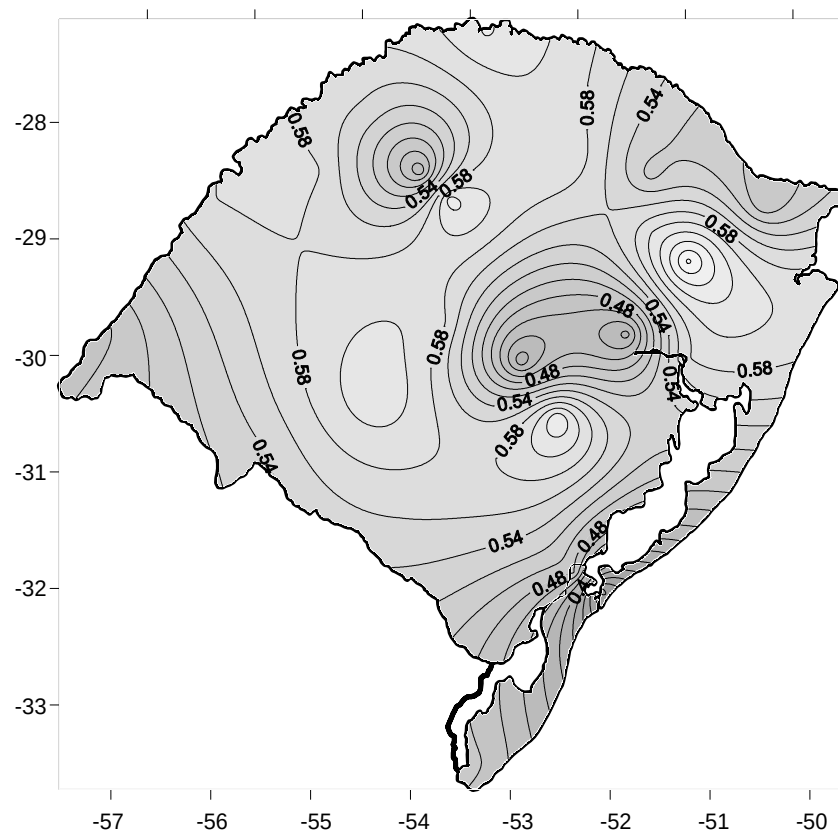


Figura 18: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de abril no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de abril.

4.1.5 – maio: A Fig. 19 representa as áreas de importância do terceiro padrão de oscilação principal do mês de maio. As áreas mais influentes são a Corrente de Jato Polar e especialmente os Ventos Alísios no Pacífico Equatorial, muito semelhante ao mês de abril. Os escores do terceiro padrão são mostrados na Fig. 20. Nota-se que a função de ajuste temporal apresenta tendência semelhante a abril mas com mais intensidade, mostrando redução próximo do ano de 1960 e máximos próximo do ano de 1990. Percebe-se que esta tendência aponta novamente para oscilação não linear no tempo e com redução no final da série.

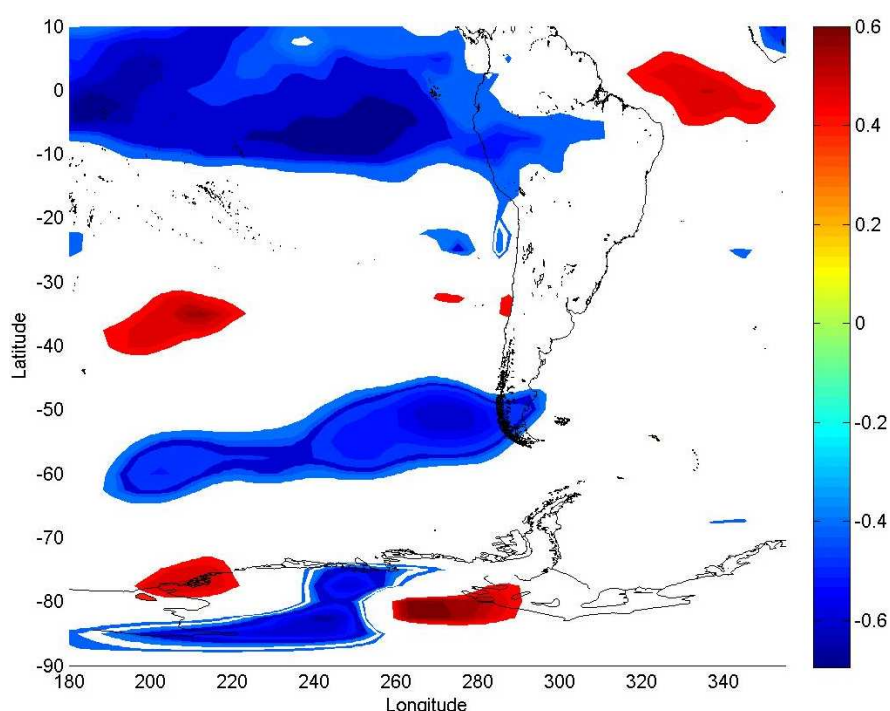


Figura 19: Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de maio

As oscilações combinadas de enfraquecer o Jato Polar e enfraquecimento dos alísios no Pacífico Central/Leste são apontadas como das causas dos bloqueios atmosféricos formados sobre o oceano Pacífico Sul, eventos frequentes neste período do ano e responsável pelos veranicos no RS. Situação inversa é característica predominante em períodos de eventos La Niña.

A Fig. 21 mostra os coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de maio no RS e os escores do terceiro padrão. As maiores correlações são encontradas no centro-sul do Estado, mas com valores significativos a 1% de probabilidade em todas as regiões.

Os valores do coeficiente de correlação são predominantemente positivos, indicando uma relação direta com os escores deste padrão, indicando claramente uma tendência de redução de temperaturas mínimas mensais no começo da série, com aumento na maior parte da série, mas com indicação de redução novamente no final. Estes padrões tem sido persistentes nos meses de janeiro, fevereiro, abril e especialmente em maio.

4.1.6 – junho: As correlações não apresentaram significância, portanto não foram apresentados.

4.1.7 – julho: As correlações não apresentaram significância, portanto não foram apresentados.

4.1.8 – agosto: Na Fig.. 22 esta representado o primeiro padrão de oscilação principal do mês de agosto. As áreas mais influentes são a Alta Polar, Corrente de Jato Polar, os Ventos Alísios no Pacífico Equatorial e os Jatos de Baixos Níveis. A análise deve ser feita em combinação entre todas as áreas, mas uma clara relação indica que redução na velocidade na circulação sobre o continente e aumento do Jato Polar contribui para aumento das temperaturas sobre o Estado. A intensificação no Jato Polar enfraquece as grandes massas frias e ventos mais fracos sobre o Estado indicam menor instabilidade e maior presença de radiação.

Os escores do primeiro padrão deste mês são mostrados na Fig.. 23. Nota-se que a função de ajuste temporal apresenta tendência semelhante ao meses anteriores. A função de ajuste da série do escores mostra redução do sinal deste índice entre os anos 1950 e 1970 e aumento entre os anos 1980 a 2000, voltando a reduzir novamente nos final da série.

Na Fig.. 24 estão representados os coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de agosto no RS e os escores do primeiro padrão principal também de agosto. As maiores correlações, com valores significativos a 1% de probabilidade são encontradas na metade sul do Estado. Os valores do coeficiente de correlação são predominantemente positivos, indicando uma relação direta com os escores deste padrão.

Nesta região, a função de tendência aponta para redução de temperaturas mínimas mensais no começo da série, aumento de temperatura mínima na grande parte intermediária da série, mas com indicação de redução novamente no final. Estes padrões com semelhança senoidal tem sido persistentes entre as maiores correlações, apesar de prematuro certamente é um sinal bastante claro de influência de grande escala.

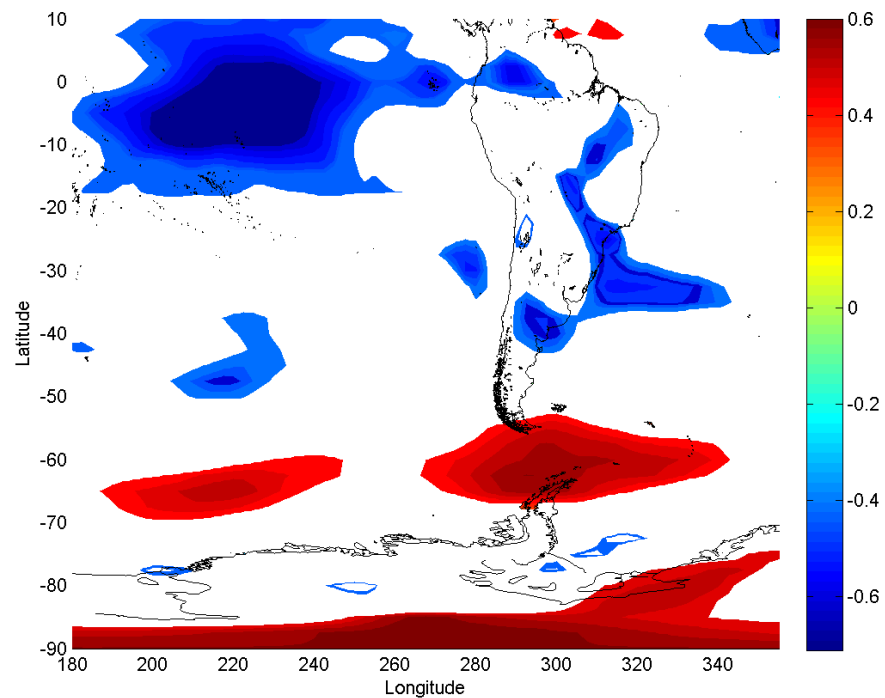


Figura 22: Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de agosto.

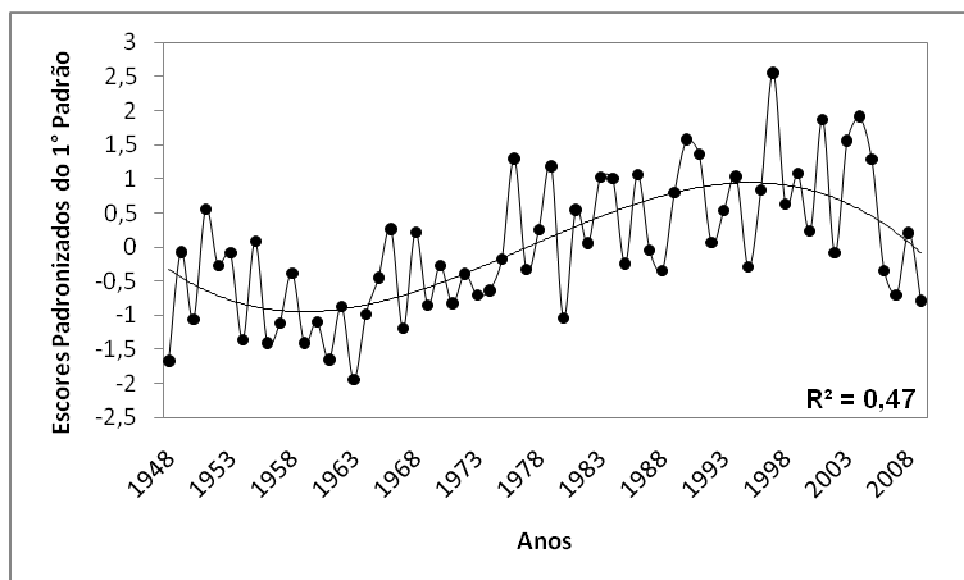


Figura 23: Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de agosto.

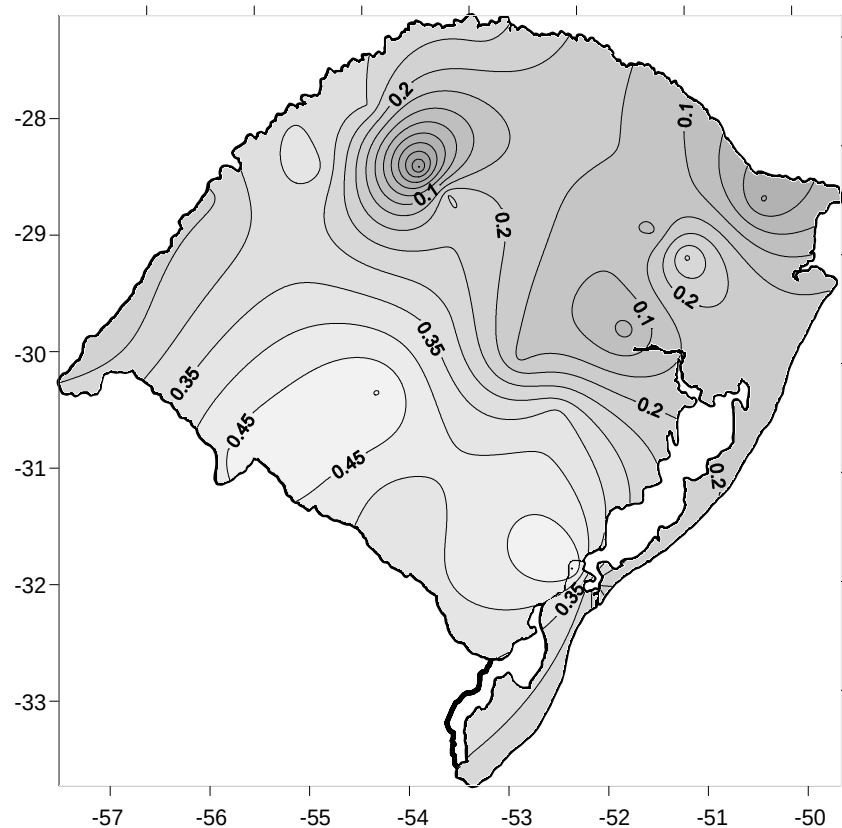


Figura 24: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de agosto no Rio Grande do Sul e o escore do primeiro padrão principal da velocidade do vento de agosto.

4.1.9 – setembro: As correlações não apresentaram significância, portanto não foram apresentados.

4.1.10 – outubro: A Fig.. 25 representa as áreas de importância do terceiro padrão de oscilação principal do mês de outubro. As áreas mais importantes são a Corrente de Jato Polar sobre o Pacífico, os Ventos alísios no Pacífico Equatorial e Jato Subtropical próximo ao litoral Argentino. As variações de velocidade do vento próximos ao litoral da Argentina estão associadas à intensificação ou enfraquecimento das frentes frias, e por consequência entrada ou não de massas frias mais intensas no Estado.

Os escores do terceiro padrão do mês de outubro são mostrados na Fig.. 26. A função de ajuste temporal apresenta tendência crescente ao longo de toda a série. Este padrão difere em relação aos padrões predominante dos meses anteriores.

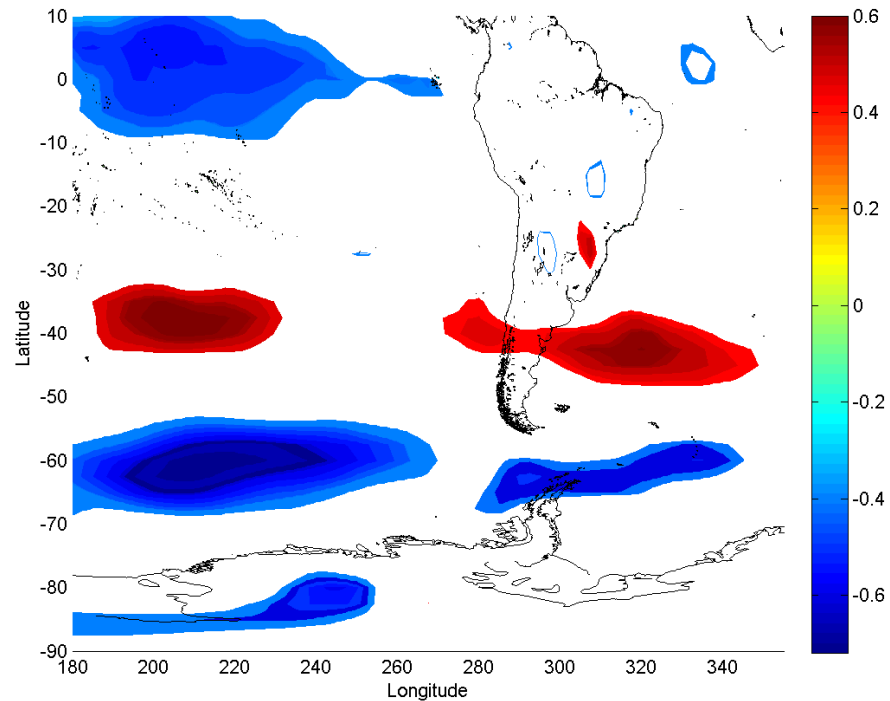


Figura 25: Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de outubro.

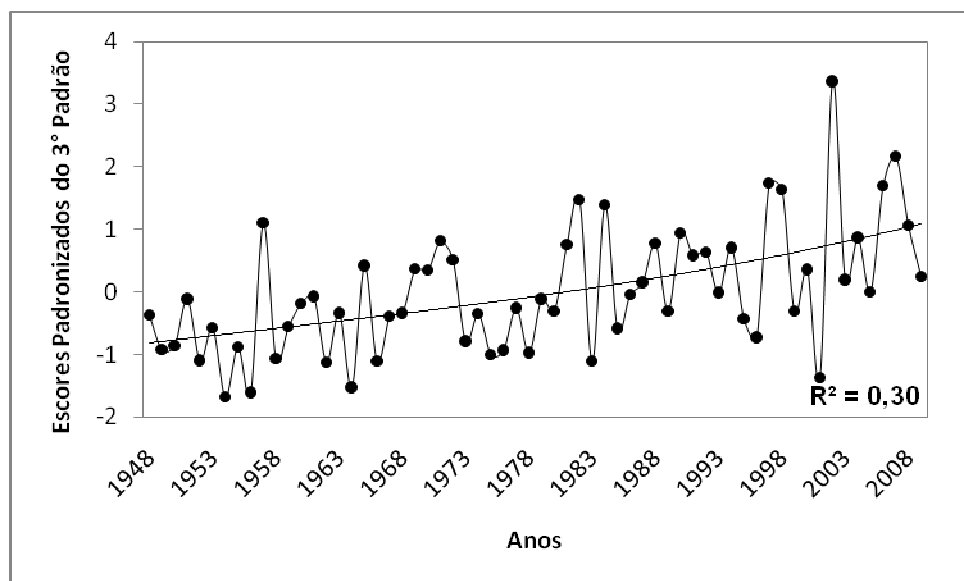


Figura 26: Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de outubro.

A Fig.. 27 mostra os coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de outubro no RS e os escores do terceiro padrão de outubro. As maiores correlações são encontradas na metade oeste e especialmente no extremo norte do Estado. Os valores do coeficiente de correlação são predominantemente positivos, indicando uma relação direta com os escores deste padrão. Este mês apresentou

uma tendência crescente no padrão de maior correlação com as temperaturas mínimas, o que indica que as temperaturas também seguem a tendência quase que linear. Neste período do ano é comum ainda ocorrerem geadas tardias, o que para a agricultura pode ser uma nova situação mais favorável.

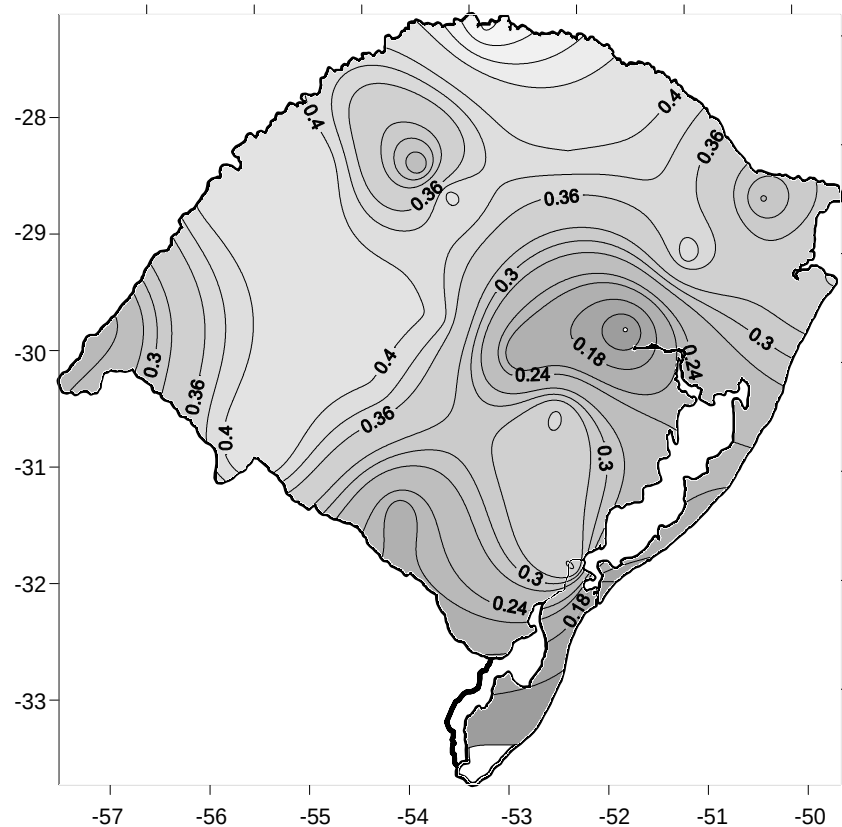


Figura 27: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de outubro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de outubro.

4.1.11 – novembro: A Fig.. 28 representa as áreas de importância do segundo padrão de oscilação principal do mês de novembro. As áreas mais importantes são novamente a Corrente de Jato Polar sobre o Pacífico e os Ventos alísios no Pacífico Equatorial. Este padrão de intensificação ou enfraquecimento destes padrões está associado aos eventos ENOS, que neste período do ano apresentam as maiores relações com chuvas e variações de temperatura no Estado.

Os escores do segundo padrão do mês de novembro é mostrado na Fig.. 29. A função de ajuste temporal apresenta novamente tendência no formato senoidal. A Fig.. 30 representa os coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de

novembro no RS e os escores do segundo padrão de novembro. As maiores correlações significativas são encontradas apenas no extremo norte do Estado. Os valores do coeficiente de correlação são predominantemente positivos, indicando uma relação direta com os escores deste padrão.

O mês de novembro apresentou tendência semelhante a alguns outros meses, cuja indicação aponta para ligeira redução das temperaturas mínimas no final da série, no entanto esta análise fica restrita a pequena área no norte do Estado e, portanto, pouco representativa.

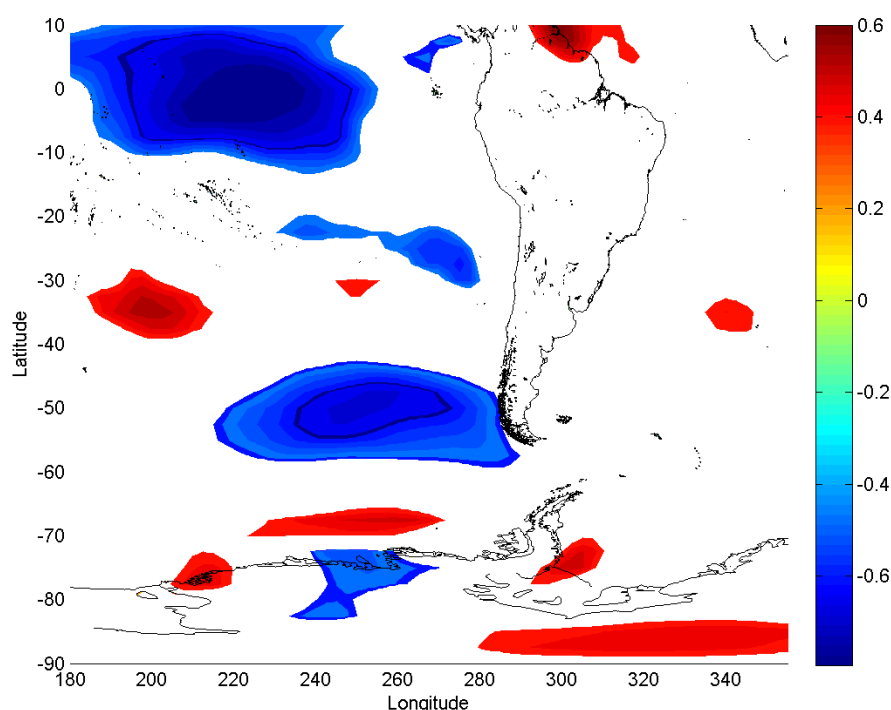


Figura 28: Segundo padrão de oscilação principal para o mês de novembro.

4.1.12 – dezembro: A Fig. 31 representa as áreas de influência do primeiro padrão de oscilação principal do mês de dezembro. As áreas mais relevantes são as variações dos ventos gerados pela Alta Polar, pela Corrente de Jato Polar, os Ventos alísios no Pacífico Equatorial e com peso um pouco menor os Jatos de Baixos Níveis. Este padrão oposto de variação entre a região Polar e Equatorial está fortemente relacionado ao aumento do contraste térmico existente entre estas regiões.

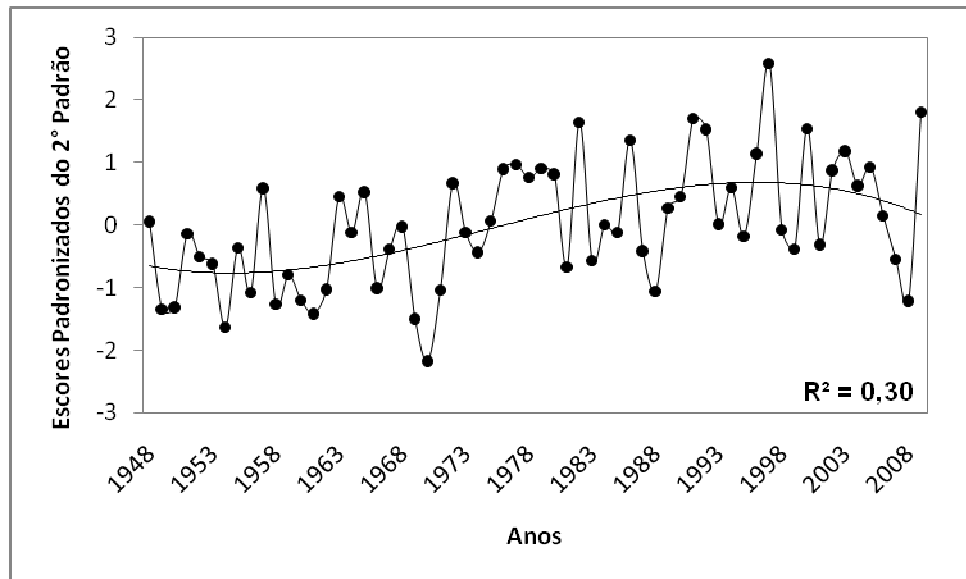


Figura 29: Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de novembro.

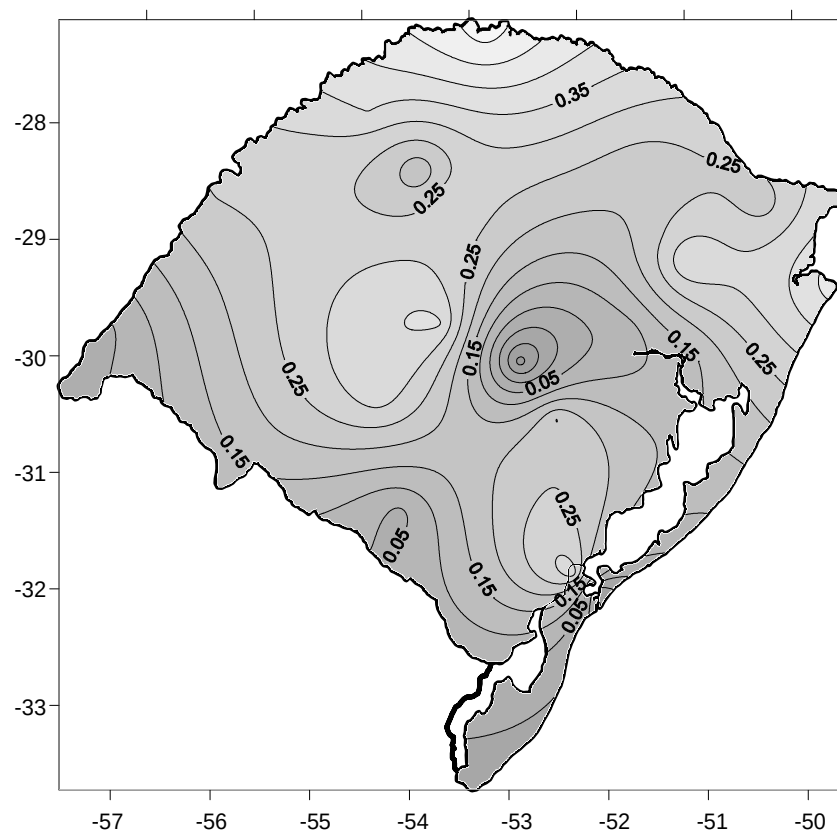


Figura 30: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de novembro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de novembro.

Os escores do primeiro padrão do mês de dezembro são mostrados na Fig. 32. A função de ajuste temporal apresenta novamente tendência no formato praticamente linear, semelhante ao mês de outubro. A tendência de crescimento em toda a série deste padrão pode estar associado a variação da velocidade do vento na Região Polar ao longo da série ou da Região Equatorial. Neste período estudado, ocorreram muito mais eventos La Niña na metade inicial e muito mais eventos El Niño na metade final.

O aumento de temperatura na Região Equatorial possivelmente seja explicado pelas maiores evidências de alterações térmicas que vem ocorrendo no hemisfério norte.

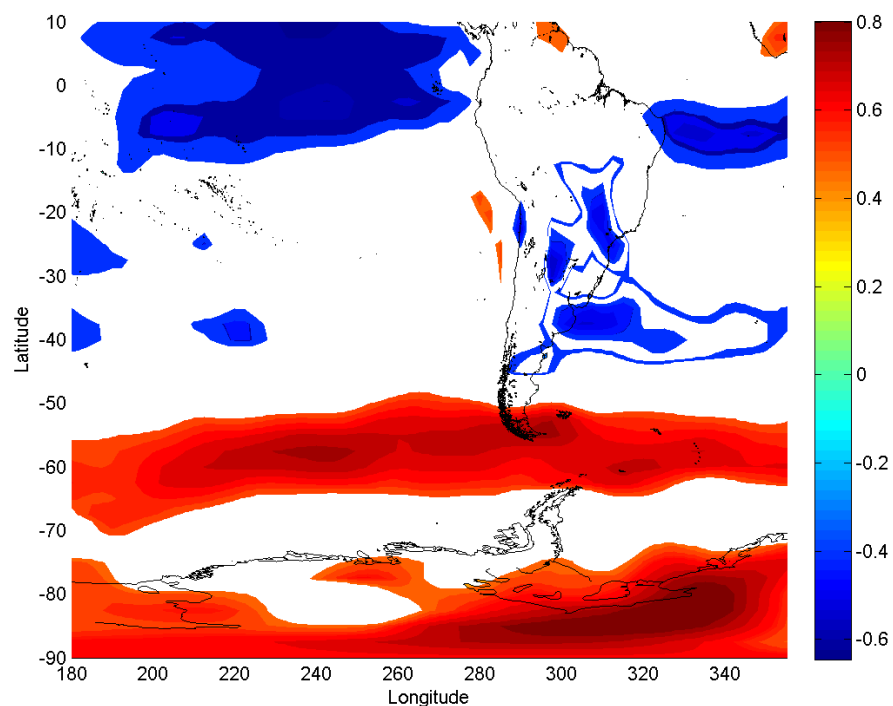


Figura 31: Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de dezembro.

A Fig. 33 representa os coeficientes de correlação entre as temperaturas mínimas de dezembro no RS e os escores do primeiro padrão de dezembro. As maiores correlações e significativas são encontradas em áreas do centro, norte e nordeste do Estado. Os valores do coeficiente de correlação são predominantemente positivos, indicando uma relação direta com os escores deste padrão.

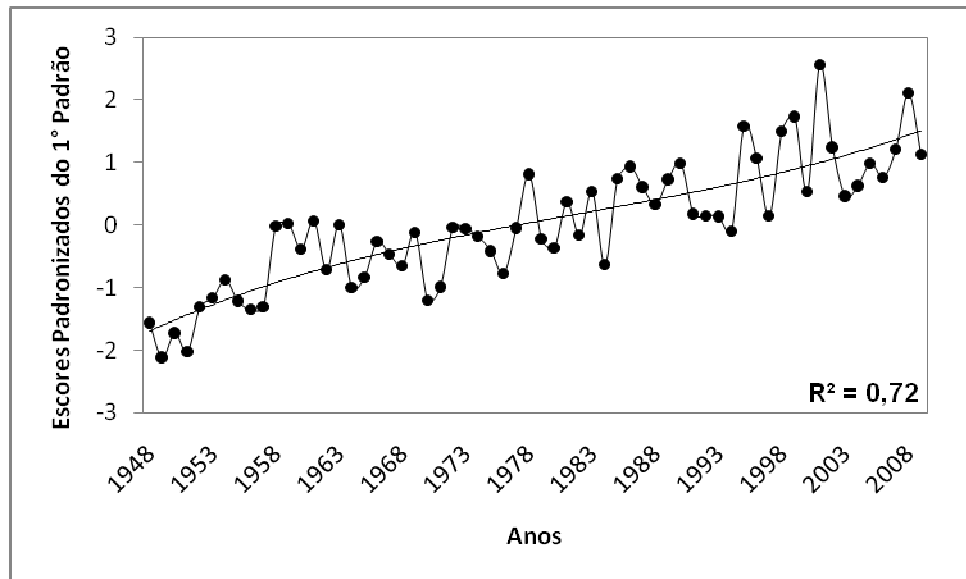


Figura 32: Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de dezembro.

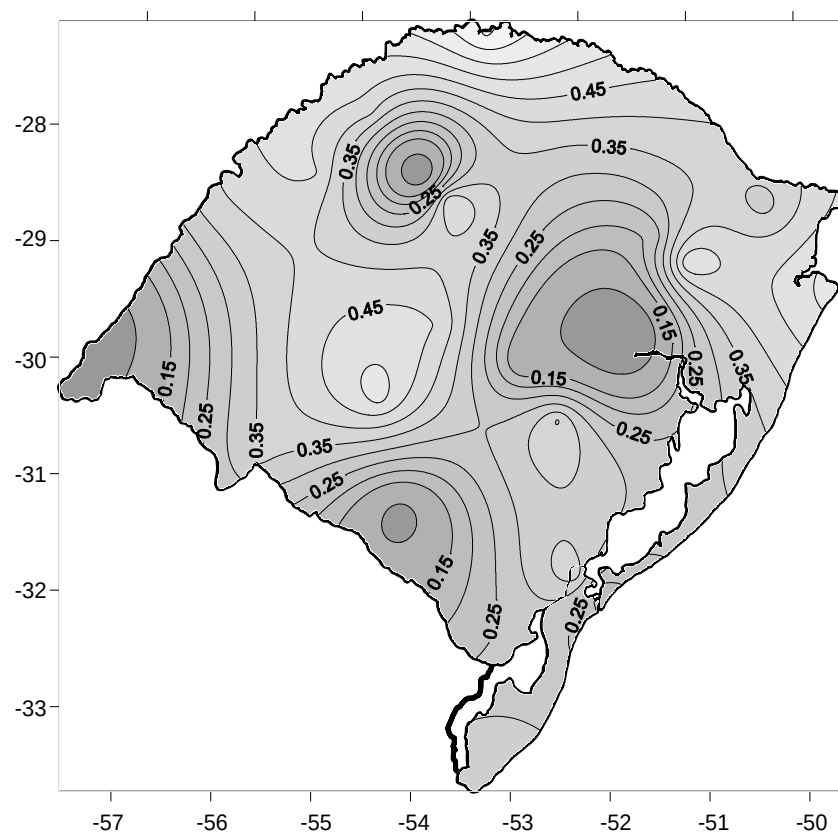


Figura 33: Coeficiente de correlação entre as temperaturas mínimas de dezembro no Rio Grande do Sul e o escore do terceiro padrão principal da velocidade do vento de dezembro.

4.2 – Climatologia dos eventos extremos de temperatura mínima associados aos principais padrões de velocidade do vento em 850hPa.

Os padrões de circulação de vento que apresentaram maiores correlações com as variações de temperatura mínima no Estado foram semelhantes e não lineares, especialmente em janeiro, fevereiro, abril, maio, agosto e novembro. Nestes meses, os ajustes representaram reduções aproximadamente entre os anos de 1950 a 1970, aumento entre os anos de 1980 a 2000 e com tendência novamente a redução no final da série. Nos meses de outubro e dezembro as tendências dos padrões apontam para crescimento linear. Os demais meses não apresentaram grandes correlações e não foram analisados.

Na comparação entre os coeficientes de correlação, os meses de abril e maio foram os que apresentaram valores significativos em todo o Estado. A persistência do sinal do padrão e o sinal da correlação foram bastante semelhantes nestes meses, caracterizando um período especial para estudo. Este período é caracterizado com o de maior frequência de ocorrência de veranicos, ou seja, período de grande variabilidade térmica em todo o Estado.

Após analisar a influência de cada padrão da variação da temperatura mínima mensal do RS, foi possível perceber que o terceiro padrão é o que mais explica essa variação, tanto no mês de abril quanto no mês de maio. Devido a esse fato serão discutidos os resultados encontrados para estes dois meses.

4.2.1 – Mês de abril.

Na Fig.. 34 são apresentadas novamente a série temporal do terceiro escore principal de abril. As cores marcadas em vermelha representam os anos em que o padrão principal (índice) ficou acima do percentil 0,85, enquanto que os marcados em azul representam os anos em que o padrão ficou abaixo do percentil 0,15, também representados na tab. 1. Esta separação em dois grupos tem objetivo de diferenciar as climatologias dos eventos extremos do índice.

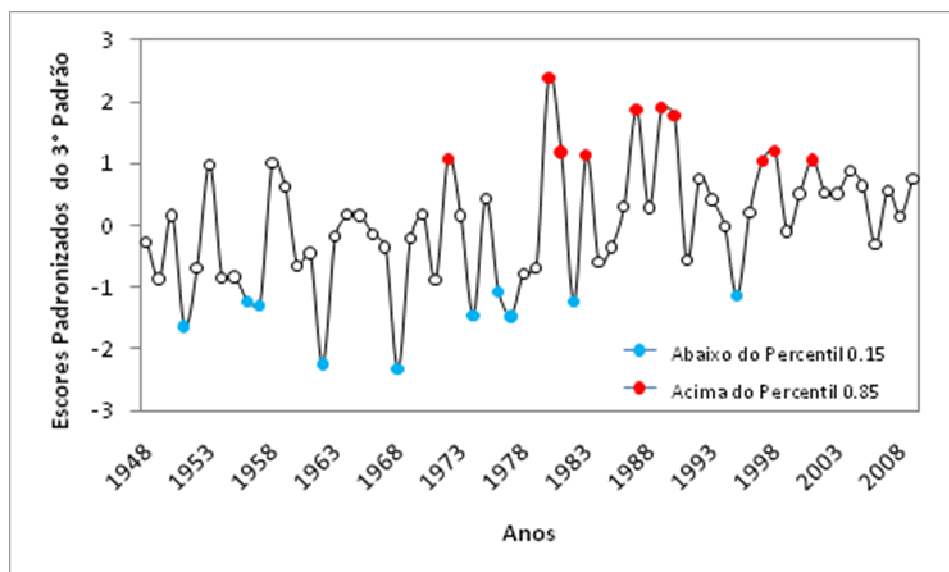


Figura 34: Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de abril, marcados nas cores vermelho os máximos (percentil 0,85) e azul os mínimos (percentil 0,15).

Tabela 1: Anos de mínimos e máximos da série dos escores do terceiro padrão principal da velocidade do vento no mês de abril.

Mínimos	1951	1956	1957	1962	1968	1974	1976	1977	1982	1995
Máximos	1972	1980	1981	1983	1987	1989	1990	1997	1998	2001

Nas Fig.. 35 e 36 são mostradas a climatologias das anomalias de velocidade dos dois grupos extremos. Nota-se que as climatologias das anomalias de velocidade do vento são contrárias e coincidentes com as áreas de maior importância do terceiro padrão (Fig.. 16). A Fig.. 35 está associada aos anos de mínimos valores e representam os meses de abril que tiveram redução de velocidade na região do Jato Subtropical com aumento na velocidade no Jato Polar e alísios do Pacífico Equatorial Central. A Fig.. 36 representa a climatologia dos máximos, situação oposta à primeira.

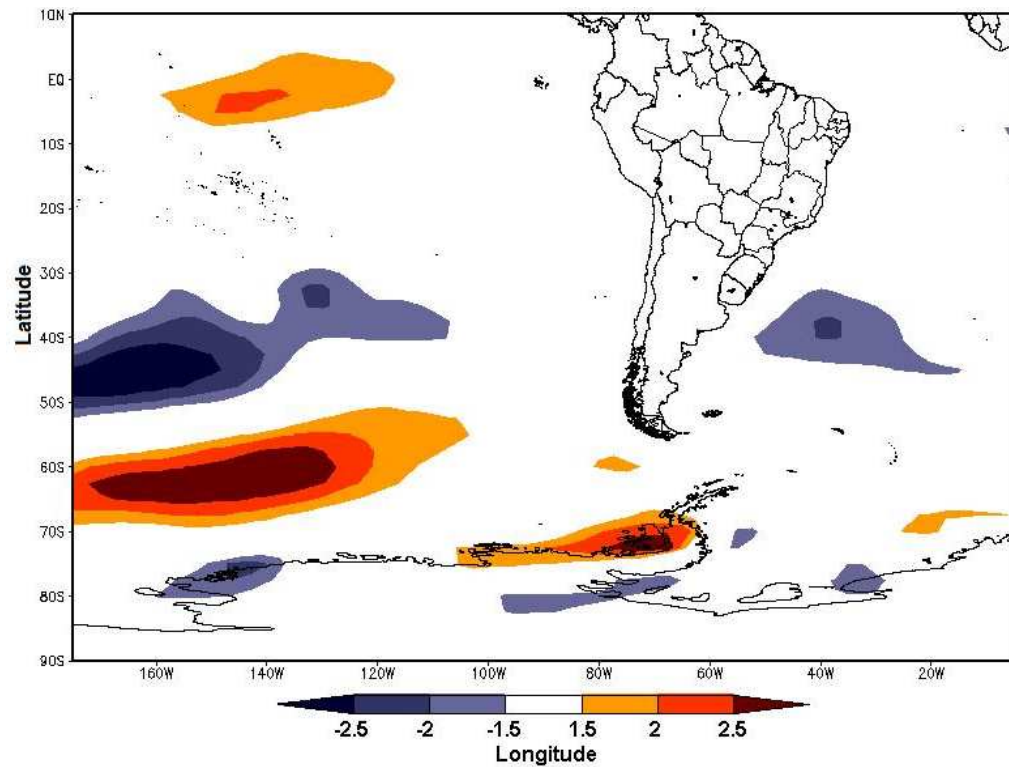


Figura 35: Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de abril, escores mínimos do terceiro padrão de velocidade do vento.

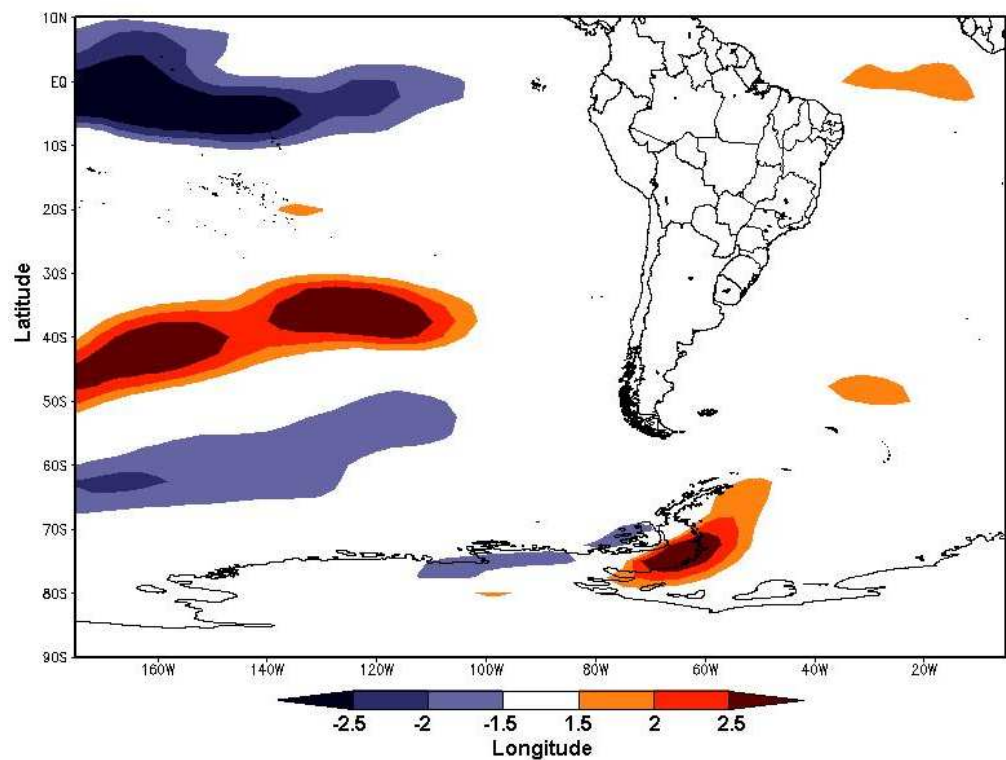


Figura 36: Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de abril, escores máximos do terceiro padrão de velocidade do vento.

A climatologia das anomalias da velocidade do vento para os períodos extremos mostram claramente situações contrárias na circulação de grande escala. Acredita-se que estes padrões de circulação influenciam diretamente as principais variáveis meteorológicas no Estado, especialmente a temperatura mínima.

Para mostrar a relação das variações médias das temperaturas mínimas no Estado para estes períodos extremos de circulação, foram calculadas as climatologias seguindo os mesmos anos, onde as mesmas são mostradas nas Fig. 37 e 38. A climatologia da temperatura mínima para os períodos mínimos mostra anomalias negativas e muito significativas em todo o Estado. Os valores variam entre -5°C a -2°C na maior parte do Estado, sendo a s maiores valores (em módulo) de anomalias encontradas no norte e os menores no sudeste do Estado.

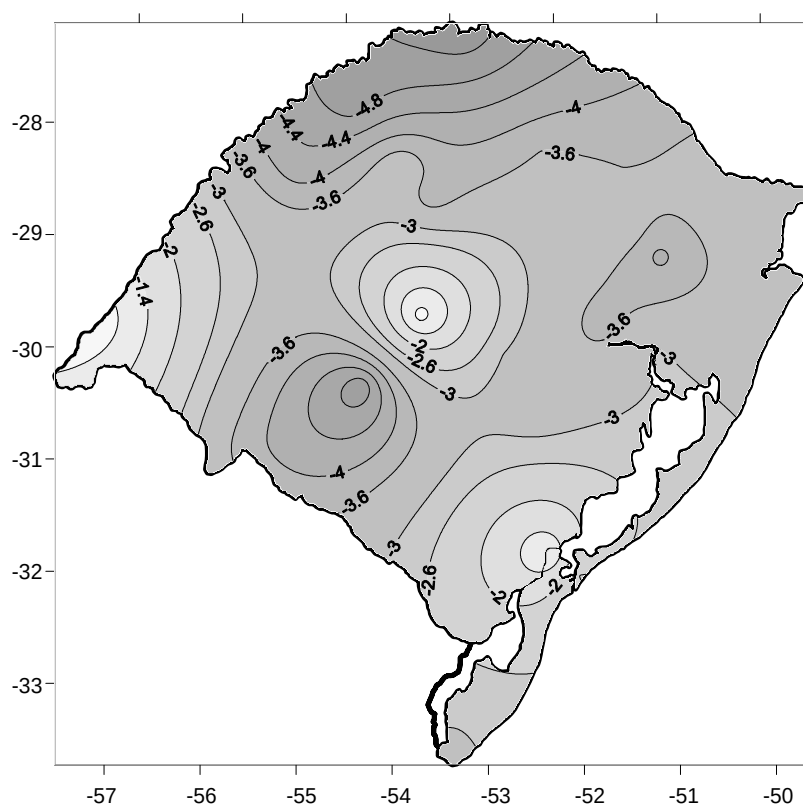


Figura 37: Climatologia das anomalias mínimas de temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para o mês de abril, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento.

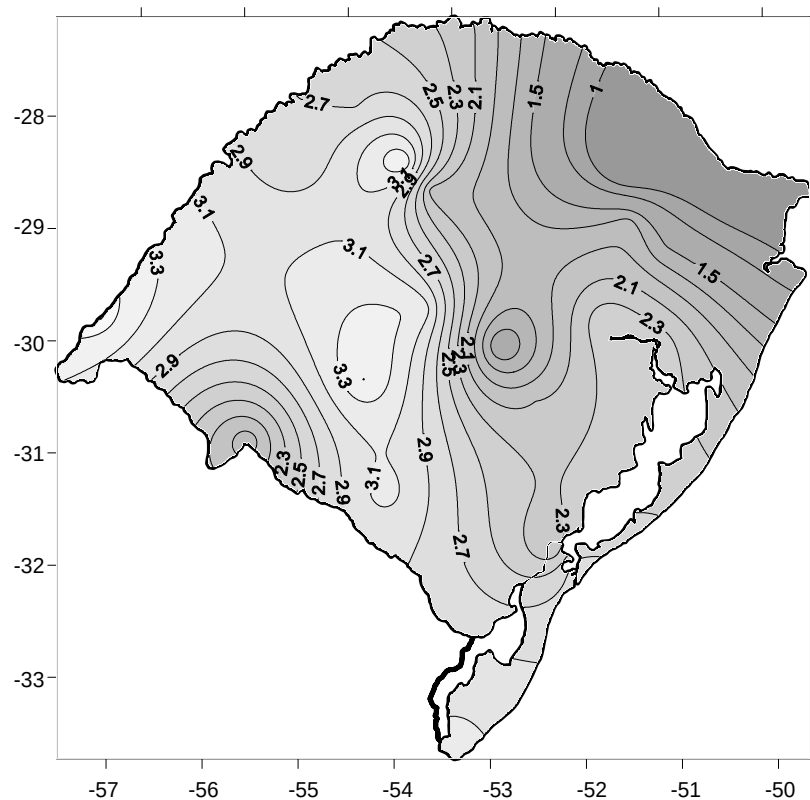


Figura 38: Climatologia das anomalias máximas de temperatura mínimas (°C) para o mês de abril, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento.

A climatologia das anomalias de temperatura mínima para os períodos máximos dos escores mostra valores positivos em todo o Estado. Os valores variam entre 1°C a 3°C na maior parte do Estado, sendo as maiores valores de anomalias no centro-oeste e os menores no nordeste do Estado. A magnitude das anomalias negativas foram maiores dos que as positivas na maior parte do Estado.

4.2.2 – Mês de maio.

Foram feitas análises semelhantes para o mês de maio. Na Fig.. 39 são apresentada a série temporal do terceiro escore principal de maio. As cores representam os anos em que os escores do padrão principal foram mínimos e máximos, agrupados segundo o mesmo critério utilizado no mês de abril, conforme tab. 2.

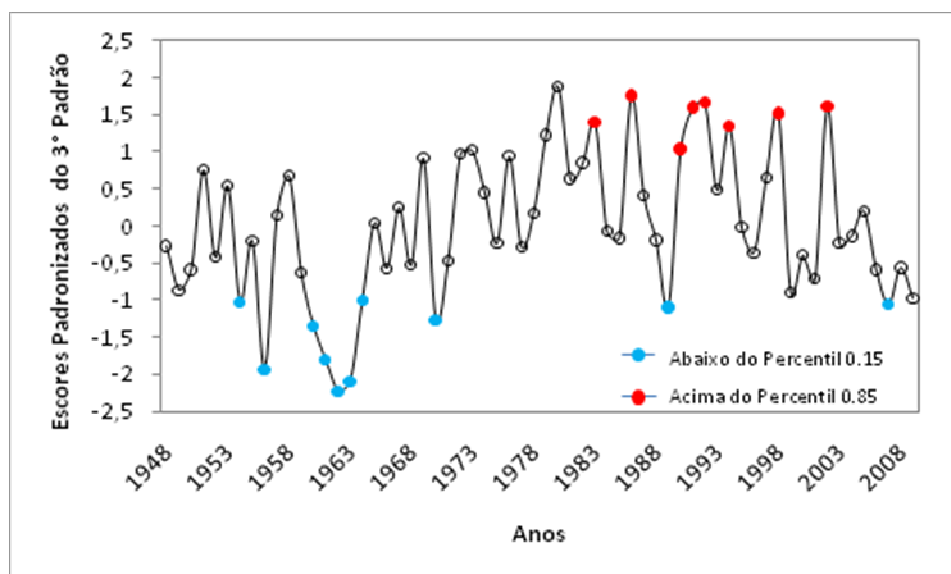


Figura 39: Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de maio, marcados nas cores vermelho os máximos (percentil 0,85) e azul os mínimos (percentil 0,15).

Tabela 2: Anos de mínimos e máximos da série dos escores do terceiro padrão principal da velocidade do vento no mês de maio.

Mínimos	1954	1956	1960	1961	1961	1963	1964	1970	1989	2007
Máximos	1974	1979	1980	1983	1986	1990	1991	1992	1994	1998

Nas figuras 40 e 41 são mostradas as climatologias das anomalias da velocidade do vento para os períodos extremos deste mês mostram também situações contrárias na circulação predominante, situação bastante semelhante ao mês de abril.

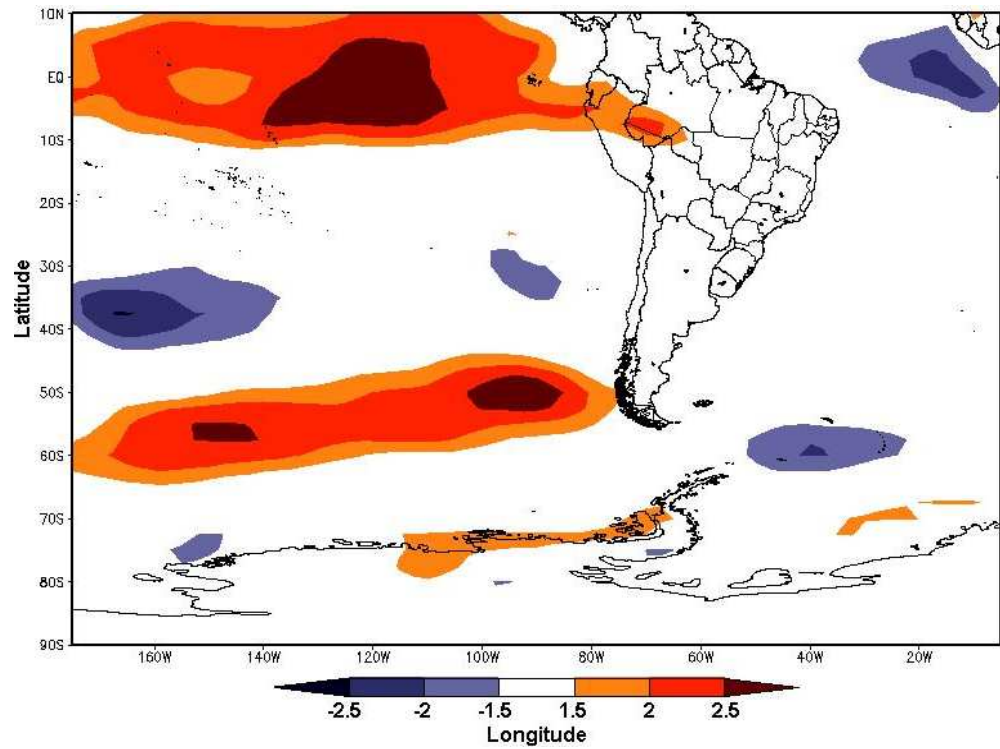


Figura 40: Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de maio, escores mínimos do terceiro padrão de velocidade do vento.

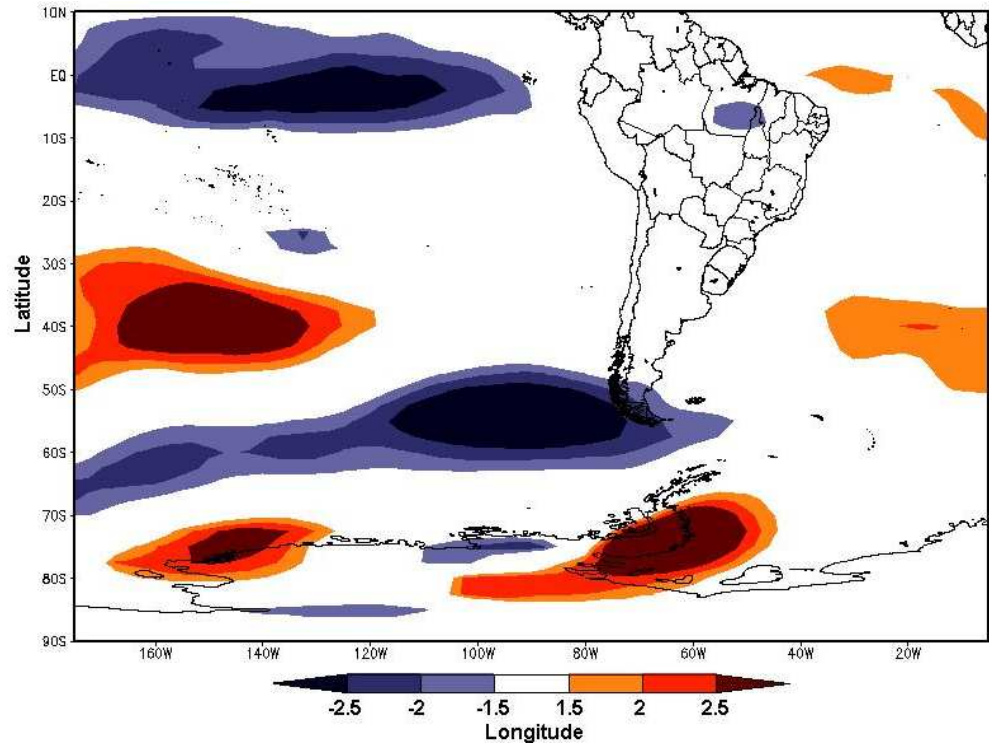


Figura 41: Climatologia das anomalias de velocidade do vento (m/s) para o mês de maio, escores máximos do terceiro padrão de velocidade do vento.

As climatologias dos períodos extremos são mostradas nas Fig.. 42 e 43. A climatologia da temperatura mínima para os períodos mínimos mostra anomalias negativas em todo o Estado. Os valores variam entre -2°C a -1°C na maior parte do Estado, sendo as maiores valores (em módulo) de anomalias encontradas no norte e os menores no nordeste do Estado.

A climatologia das anomalias de temperatura mínima para os períodos máximos dos escores mostra valores predominantemente positivos em todo o Estado. Os valores variam $0,7^{\circ}\text{C}$ a 2°C na maior part e do Estado, sendo as maiores valores de anomalias no centro-oeste e norte, enquanto os menores são encontrados no leste do Estado. A magnitude das anomalias negativas foram maiores dos que as positivas na maior parte do Estado para este mês de maio.

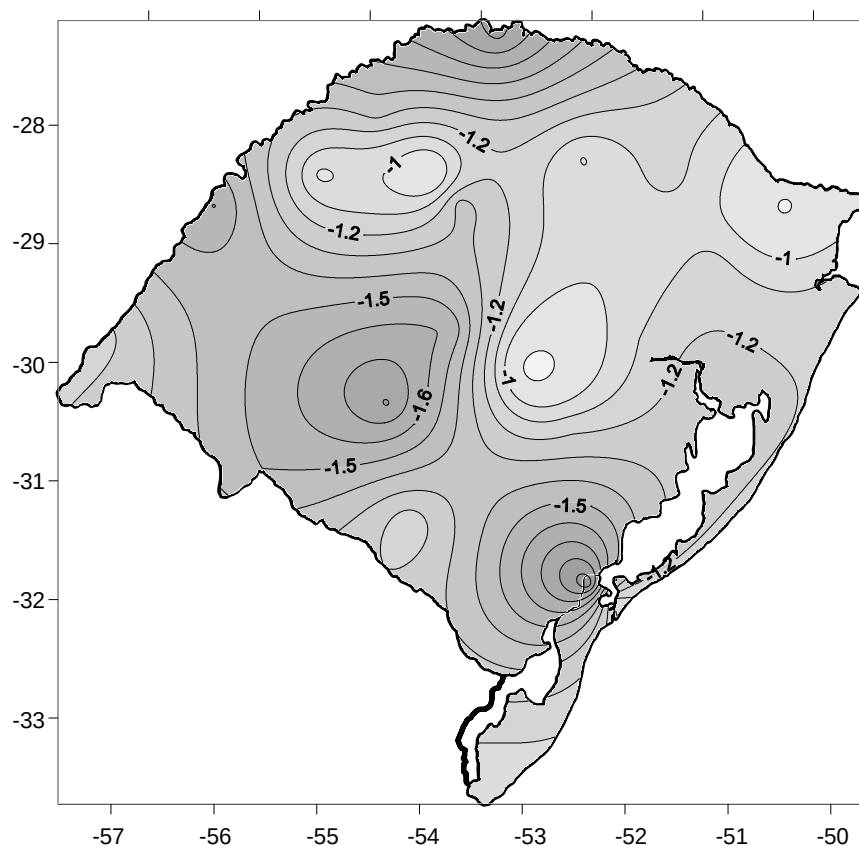


Figura 42 Climatologia das anomalias mínimas de temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para o mês de maio, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento.

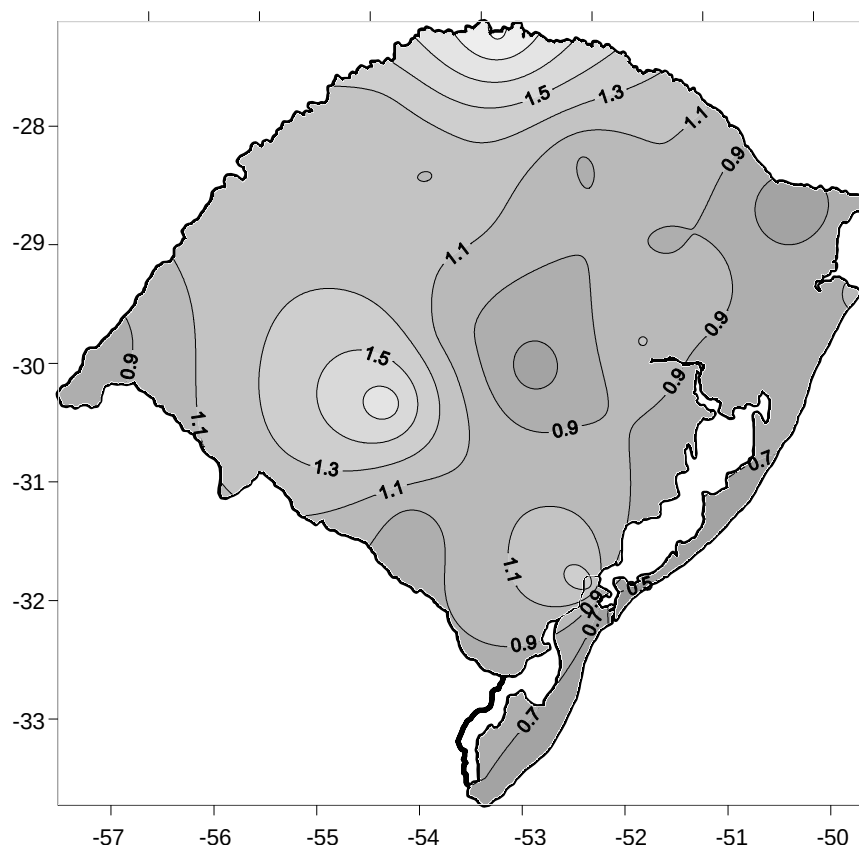


Figura 43 Climatologia das anomalias máximas de temperatura mínima (°C) para o mês de maio, calculadas nos períodos com escores do terceiro padrão de velocidade do vento.

4.3 – Curvas de ajuste da tendência temporal da temperatura mínima em superfície da localidade de Iraí (RS).

A região norte do Estado destacou-se entre as áreas de maior significância nas correlações mensais da temperatura mínima com os principais padrões de circulação ao longo do ano. Foi escolhida a estação meteorológica de Iraí para verificação da tendência temporal mensal, representadas nas figuras 44 a 55, ou seja, de janeiro a dezembro.

Os coeficientes de correlação temporal linear e não linear dos ajustes são mostrados através do coeficiente de determinação, servindo de comparação nas tendências. Nas figuras são apresentados mais a direita o coeficiente de determinação do ajuste não linear e a esquerda o ajuste linear. Coeficiente de correlação superior a 0,35 são significativos a 1% de probabilidade, portanto coeficientes de determinação superiores a 0,15 também são significativos a 1% probabilidade. Nota-se pelas figuras que somente nos meses de junho e setembro

os ajustes lineares e não lineares não apresentaram significância superior a 1%. Para os demais meses do ano os valores do ajuste linear e não linear foram muito significativos, ressaltando que o não linear é sempre superior ao linear.

Durante os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, outubro, novembro e dezembro, os ajustes não lineares explicam mais de 30% da variância temporal das temperaturas mínimas mensais em Iraí. Nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro estes ajustes são maiores que 50% da variância temporal.

Durante o mês de outubro, o ajuste linear e não linear foi praticamente o mesmo, ou seja, não existem diferenças nas tendências, evidenciando um período do ano com variação crescente de temperatura mínima. Nos demais períodos as diferenças são maiores, como janeiro, fevereiro, novembro e dezembro.

Os meses de inverno não apresentaram grandes variações temporais, no entanto, os meses de primavera e verão exibem claras tendências, que pode servir de indicadores futuros das variações das temperaturas mínimas no RS, ou pelo menos, no norte do Estado.

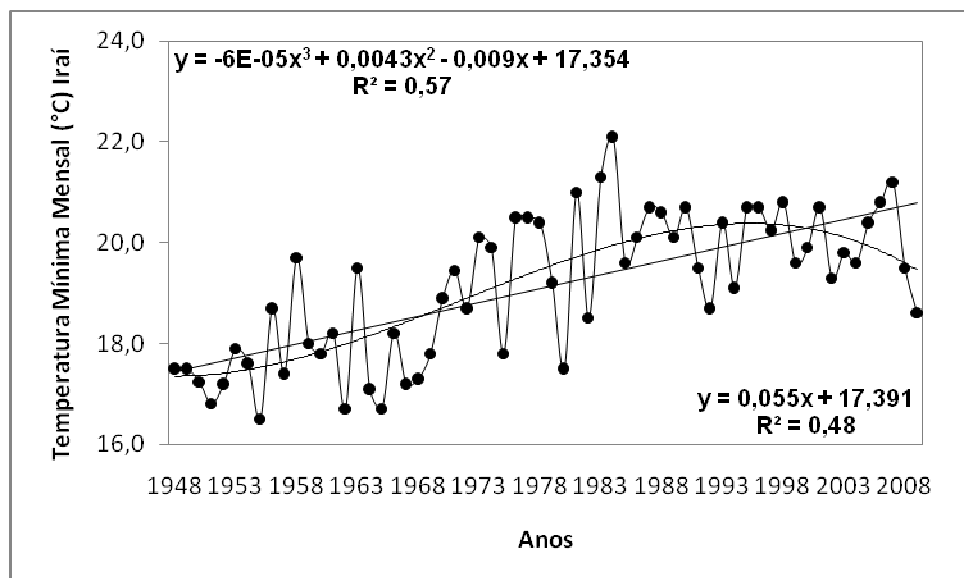


Figura 44: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de janeiro, localidade de Iraí, período de 1948 a 2009.

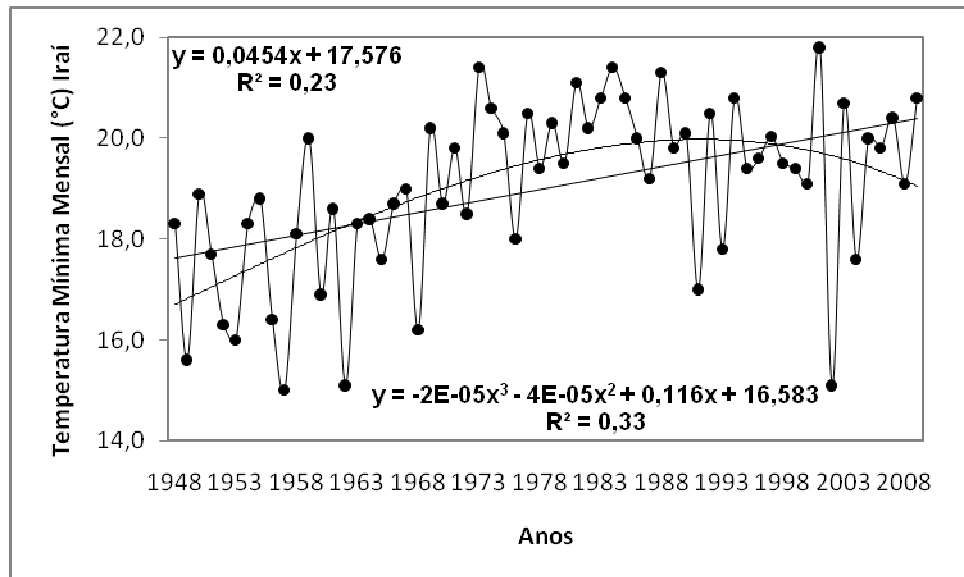


Figura 45: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de fevereiro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

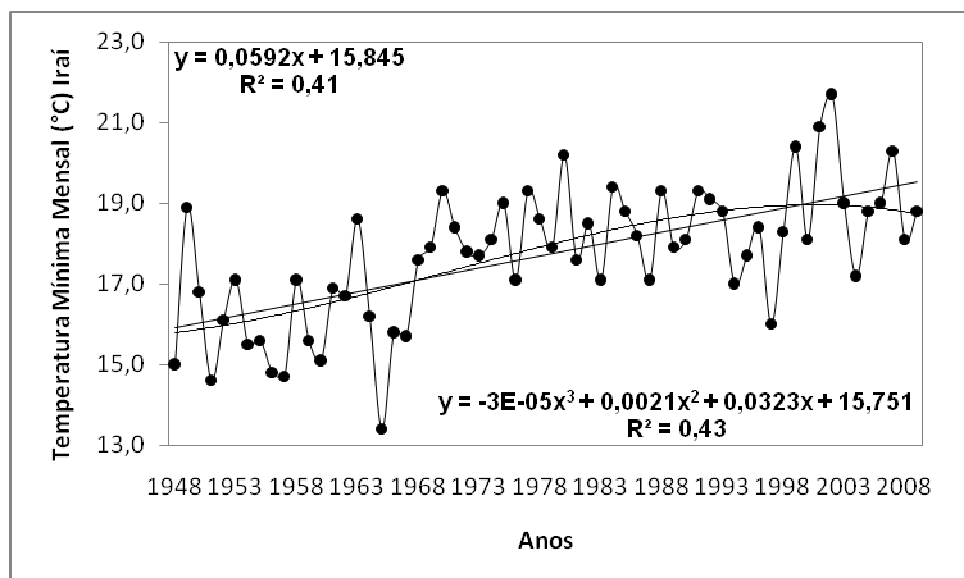


Figura 46: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de março, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

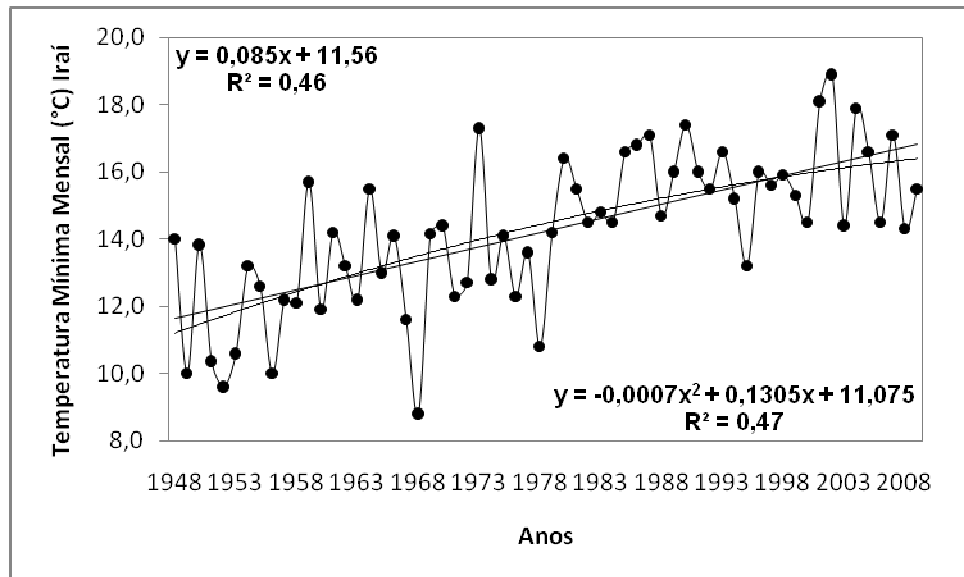


Figura 47: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de abril, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

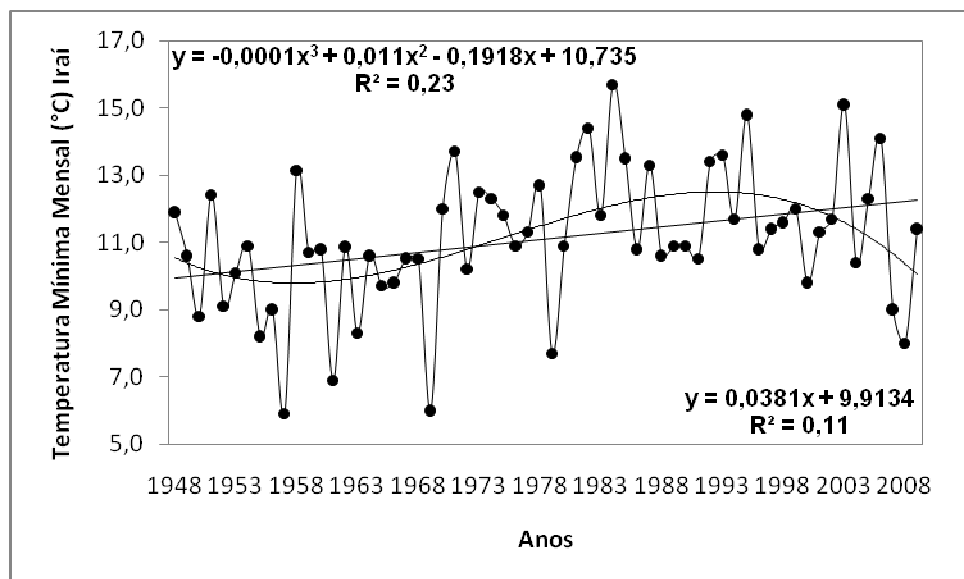


Figura 48: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de maio, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

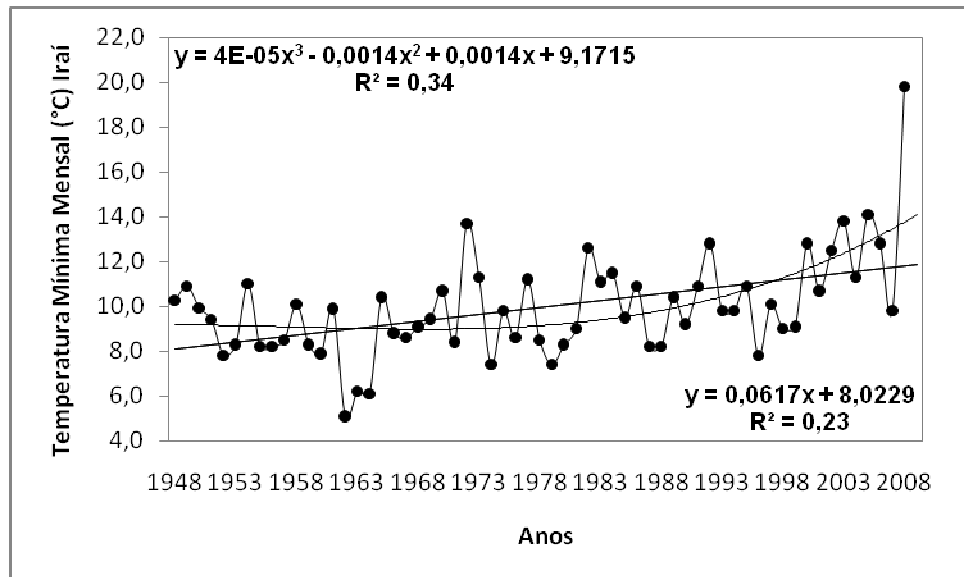


Figura 49: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de junho, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

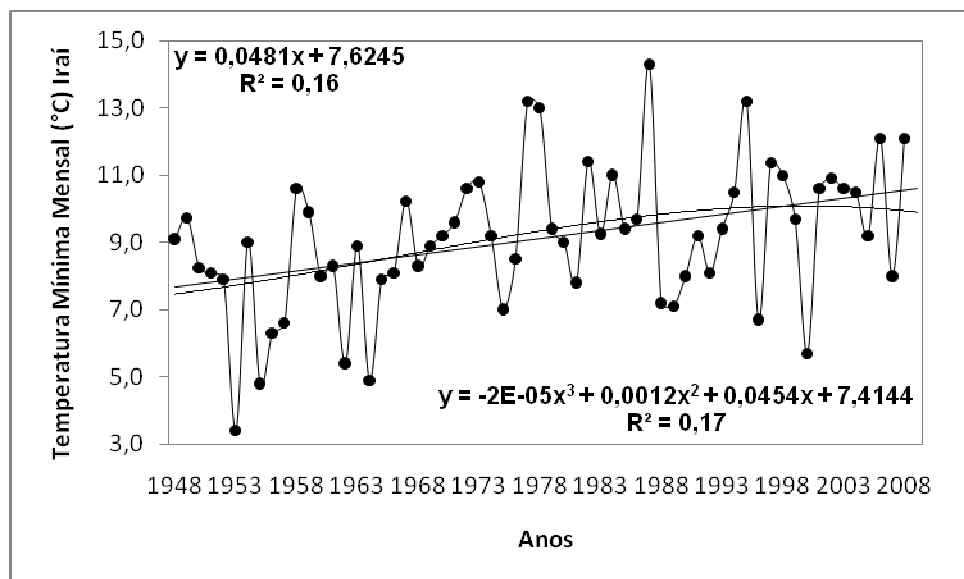


Figura 50: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de julho, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

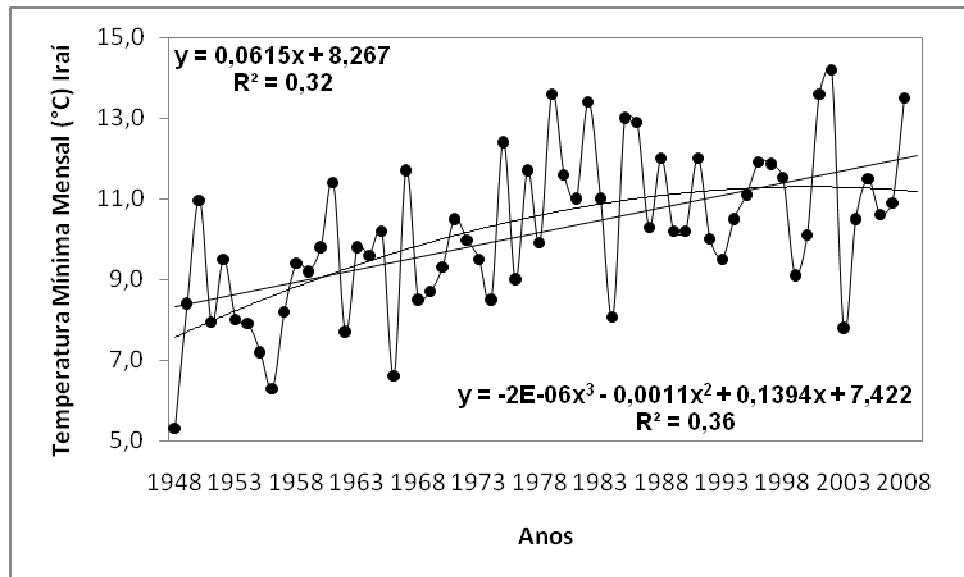


Figura 51: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de agosto, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

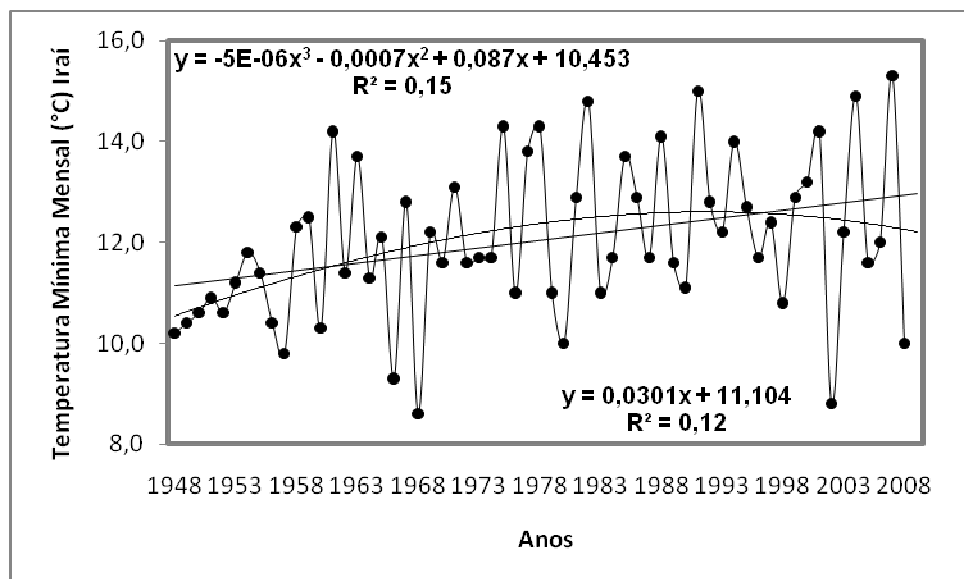


Figura 52: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de setembro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

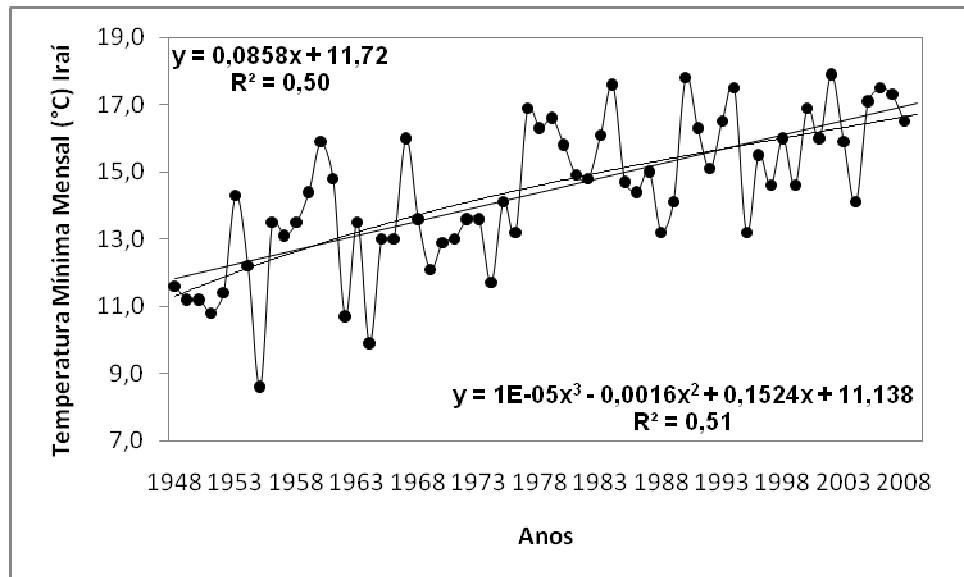


Figura 53: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de outubro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

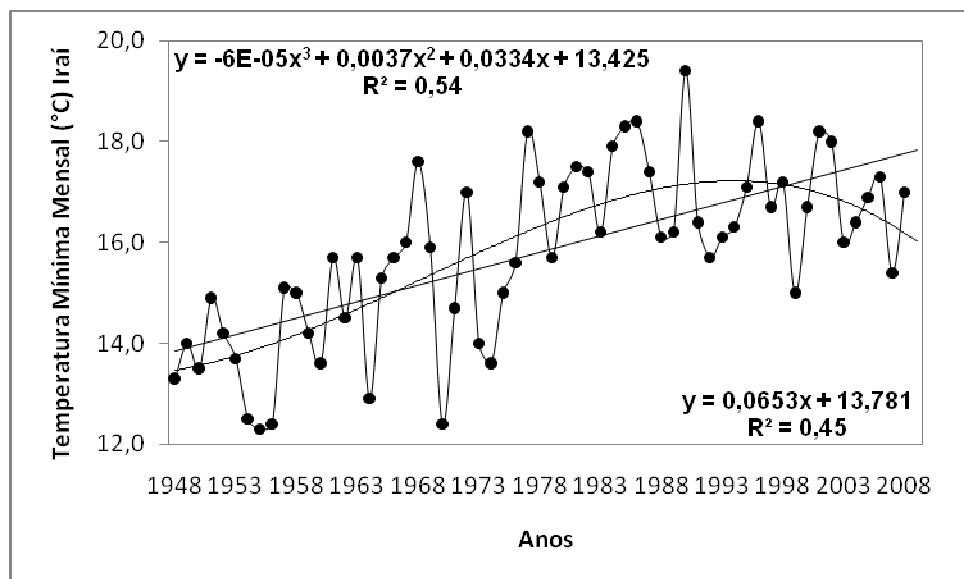


Figura 54: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de novembro, localidade de Írai, período de 1948 a 2009.

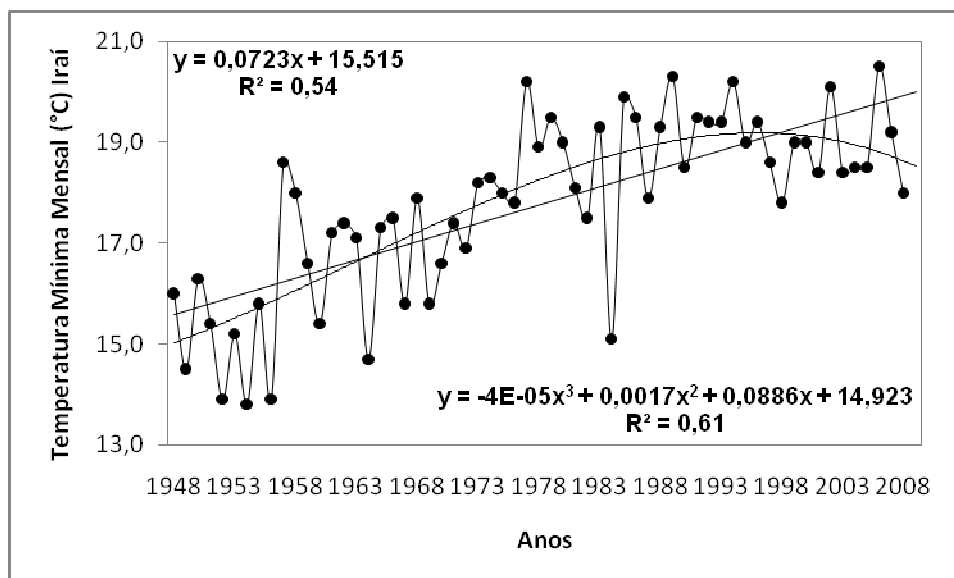


Figura 55: Variabilidade da temperatura média mínima mensal (°C) e função de ajuste temporal para o mês de dezembro, localidade de Iraí, período de 1948 a 2009.

4.4 – Comparação com indicador oceânico de grande escala.

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é um fenômeno de longo prazo que se refere à variabilidade da temperatura da superfície do Pacífico Equatorial/Norte. Esse fenômeno tem fases, conhecidas como fase fria e fase quente, que podem durar de 20 a 30 anos.

Sobre os dados de ODP foram aplicadas a função de ajuste não linear, revelando função semelhante aos principais padrões de circulação do vento em 850hPa (Fig.. 56) e aos ajuste das funções não lineares das temperaturas mínimas no RS (Iraí). Estas curvas de ajuste apresentaram concentrações de seus extremos mínimos próximos dos anos 1950-1970 e máximos entre os anos de 1980-2000.

Verificou-se que as temperaturas mínimas no norte do Estado seguem uma tendência predominantemente não linear, com exceção dos meses de outubro e dezembro, os outros meses são semelhantes aos padrões de vento e do índice de ODP.

Frente às relações evidentes entre as oscilações da circulação do vento em 850hPa com as oscilações na superfície do Oceano Pacífico Equatorial/Norte, pode-se esperar que as tendências das temperaturas mínimas no RS para estas próximas duas décadas sofram, em média, mais oscilações negativas do que positivas,

principalmente nos meses de verão e outono, apesar de indicar aumento de temperatura no começo de primavera.

A tendência de começo de primavera mais aquecida pode contribuir para redução das geadas tardias no Estado. A tendência de verão mais resfriado pode causar influencia no crescimento vegetativo das principais culturas, assim como menores frequências de veranicos durante o outono.

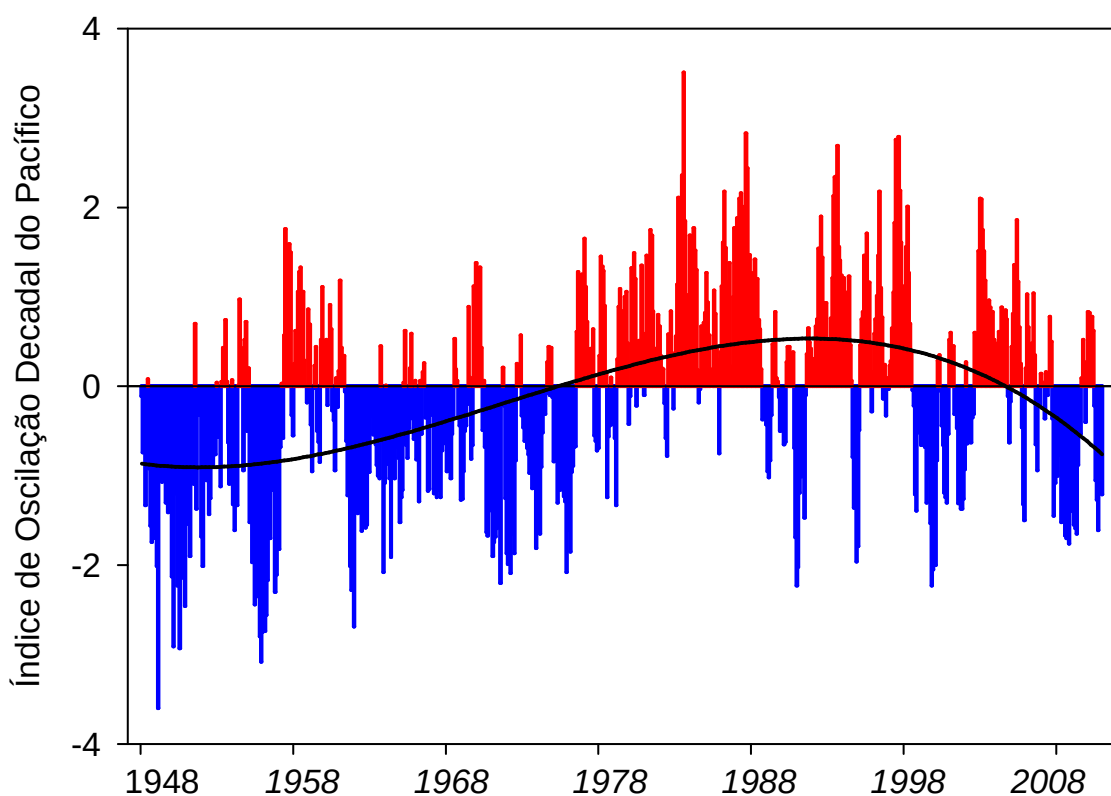


Figura 56: Série temporal do Índice ODP e função de ajuste, período de janeiro de 1948 a dezembro de 2009.

Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo>. 2010

5 CONCLUSÕES

Frente aos resultados obtidos, pode-se concluir que:

A técnica de decomposição espectral através dos Padrões de Oscilações Principais mostrou que a variância principal da circulação na baixa atmosfera sobre a América do Sul está fortemente associada às variações de velocidade do vento nas regiões do Jato Polar, Jato Subtropical e os ventos Alísios no Pacífico Equatorial.

Alguns Padrões Principais de velocidade do vento na baixa troposfera apresentaram correlações significativas com a temperatura mínima no Estado ao longo do ano, especialmente nos meses de janeiro, abril, maio e outubro.

A correlação entre a temperatura mínima no RS e os Padrões de Oscilação Principais de velocidade do vento apresentou ao longo do ano predomínio do terceiro padrão, o qual destaca as áreas importantes na variabilidade da velocidade do vento próximas ao Jato Polar e Alísios do Pacífico Equatorial.

Os Padrões Principais da velocidade do vento não apresentaram correlações significativas com as temperaturas mínimas nos meses de março, junho, julho e setembro. Nos demais meses os coeficientes de correlação foram significativos e a região norte do Estado do RS apresentou destaque nesta relação ao longo do ano.

Abril e maio foram os meses que apresentaram as mais fortes correlações entre a temperatura mínima e o terceiro padrão, o sinal foi significativo em todo o Estado, com destaque para a região norte.

A função de tendência temporal dos escores do terceiro padrão de abril e maio mostra funções não lineares com seus mínimos predominando entre os anos 1950 a 1970 e seus máximos predominando entre os anos de 1980 a 2000. As climatologias das anomalias da temperatura mínima para os períodos extremos

positivos do índice de abril e maio mostram valores predominantemente positivos em todo o Estado. De forma semelhante, as climatologias das anomalias da temperatura mínima para os períodos extremos negativos do índice apresentaram valores predominantemente negativos em todo o Estado.

A tendência temporal das temperaturas mínimas mensais para a estação meteorológica de Iraí mostrou, para todos os meses do ano, maior ajuste à função temporal não linear na comparação com a linear. O ajuste não linear apresentou significância superior a 1% de probabilidade durante todos os meses, com exceção do mês de junho. Durante os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, outubro, novembro e dezembro, os ajustes não lineares explicam mais de 30% da variância temporal das temperaturas mínimas mensais em Iraí. Somente no mês de outubro, o ajuste linear e não linear foi praticamente o mesmo, mostrando uma variação crescente de temperatura mínima. Em todos os demais meses as funções não lineares predominaram com clara flutuação de valores menores entre os anos 1950 a 1970 e maiores entre os anos 1980 a 2000, e com clara tendência de inversão do sinal novamente no final da série.

Os meses de inverno não apresentaram grandes variações temporais, no entanto, os meses de primavera e verão existem claras tendências, que podem servir de indicadores futuro das variações das temperaturas mínimas no RS, ou pelo menos no norte do Estado.

O índice de Oscilação Decadal do Pacífico apresentou função de ajuste não linear, revelando uma função bastante semelhante aos principais padrões de circulação do vento em 850hPa e aos ajustes das funções não lineares das temperaturas mínimas em Iraí (RS). A curva de ajuste ao índice de Oscilação Decadal do Pacífico apresentou também concentrações de seus extremos mínimos próximos dos anos 1950-1970 e máximos entre os anos de 1980-2000.

Os ventos Alísios apresentaram grande importância entre os principais padrões de velocidade dos ventos, sinal de que as oscilações da temperatura do oceano na região equatorial são altamente relacionadas ao padrão de circulação e às variações de temperatura no RS. Frente às relações evidentes entre as oscilações da circulação do vento em 850hPa com as oscilações na superfície do Oceano Pacífico Equatorial-Norte, pode-se esperar que as tendências das temperaturas mínimas no RS para estas próximas duas décadas sofram em média mais oscilações negativas do que positivas, principalmente nos meses de verão

(dezembro, janeiro e fevereiro) e outono (março, abril e maio), apesar de indicar aumento de temperatura no começo de primavera.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G. O. Os climas. In: Azevedo, A. (org.) **Brasil, a terra e o homem**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972, v.1. p. 397-462

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Previsões de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical usando análises de correlações canônicas. [CD ROM]. XII. **Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz do Iguaçu-PR, Brasil. 2002.

ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/>>. Acesso em 15 dez. 2010.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. 1992. Atmosphere, Weather and Climate. 6th ed. Routledge, 392pp.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 110 p.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p423-432, 2005.

BEZERRA, A. C.N.; NEVES, D. G.; CAVALCANTI, E. P. Perfis verticais de energia estática da atmosfera sobre o norte e nordeste do Brasil em episódios anômalos. **Revista SODEBRAS**, v.1, n.1, janeiro, 2006.

BLACKMON, M. L.; MULLEN, S. L.; BATES, G. T.. The climatology of blocking events in a perpetual January simulation of a spectral general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences** **43**, 1379-1405. 1986

BRACONNOT, P.; FRANKIGNOUL, C. Testing model simulations of the thermocline depth variability in the tropical Atlantic from 1982 through 1984. **Journal of Physical Oceanography**, 23, 626–647, 1993.

BRISTOT, G.; PINHEIRO, J.V.; A Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña nas Variações da Temperatura Máxima Mensal para a cidade do Natal-RN. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, CD-ROM, Rio de Janeiro-RJ, 2000.

BROWING, K. A.,. Conceptual Models of Precipitation Systems. Meteorological Magazine, Bracknell. Eng. 114(1359):293-319. 1985

CASARIN,D.P. KOUSKY,V.E.Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variação na circulação atmosférica. **Rev. Bras de Met.** ,v 1:83-90.1986.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br>> Acesso em 2 fev. 2011.

CHAVES, R. R.; NOBRE, C. P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical. Research Letters**, 31:L03204, 2004.

COSTA, Claudia Priscila Wanzeler da. **Análise Espacial e Temporal de Índices Climáticos Derivados das Temperaturas Máximas e Mínimas para o Rio Grande do Sul**. 2008.167f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CUNHA, G. R. EL NIÑO – OSCILAÇÃO DO SUL E PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS APLICADAS NO MANEJO DE CULTURAS NO SUL DO BRASIL. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 277-284, 1999.

DUNKERTON, T. J. Observation of 3–6-day meridional wind oscillations over the tropical Pacific, 1973–1992: Vertical structure and interannual variability. **Journal Atmospheric Science**, 50, 3292–3307, 1993.

ELLIOTT, R. D.; SMITH, T. B. 1949. A study on the effect of large blocking highs on the general circulation in the Northern Hemisphere westerlies. **Journal of the Atmospheric Sciences** 6, 68-85.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, p.39-46, 1996.

GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of Tropical – Extratropical Interactions with Influence Functions of a Barotropic Model, **J. Atmos. Sci.**, 52, 3538-3555, 1995.

HOREL, J. D. & WALLACE, J. M. Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.**, 109: 813-829. 1981

HOSKINS, B. J.; KAROLY, D. J... The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **J. Atmos. Sci.**, 38: 1179-1196. 1981

KODAMA, Y-M.: Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of subtropical frontal zones. **J. Meteor. Soc. Japan**, 70, 813-835. 1992

KODAMA, Y-M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. *J. Meteor. Soc. Japan*, 71, 581-610. 1993

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos Oscilação Sul-El Niño: Características, Evolução e Anomalias de Precipitação. **Rev. Ciência e Cultura**, vol. 36, nº 11, 1984.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. , 1984. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, 36 A: 490-504.

LEJENAS, H.; 1984. Characteristics of southern hemisphere blocking as determined from a time series of observational data. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, 110: p. 967-79.

LINACRE, E.; GEERTS, B. *Climates and weather explained: an introduction from a southern perspective*. Routledge, 432pp. 1997.

LIU, Q., 1994. On the definition and persistence of blocking. **Tellus** 46A, 286-298.

LORENZ E. N. **Empirical Orthogonal Functions and statistical Weather Prediction**, Sci. Rep. 1. Statistical Forecasting Project, Department of Meteorology, MIT (NTIS AD 110268), 1956, 49 p.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **J. Atmos. Sci.**, 28, 702-708, 1971.

MANTUA, N. J., HARE, S. R., ZHANG, Y. et al. A Pacific decadal interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, **Bulletin of American Meteorological Society**, 78, 1069-1079, 1997.

MEZZOMO, DIUNISIO, M. S., Universidade Federal de Pelotas, Janeiro de 2005, **Modelos prognósticos da temperatura mínima média numa região homogênea do Rio Grande do Sul**, orientador: Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz, co-orientador: Prof. Dr. João Baptista da Silva, p. 14

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: Fato ou Ficção?. **Ação Ambiental**, v. 4, n.18, p.19-21, 2001.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: Natural ou Antropogênico?. Disponível em:< www.alerta.inf.br/files/Molion_aquecimento_natural_ou_antropogenico.doc. > Acesso em 10 jan. 2011.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura. 1961.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. 5.ed. São Paulo, Nobel, 1981. 376p

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. 7a edição, Livraria Nobel S/A, São Paulo, SP, 1986.

MOTA, F. S., SIGNORINI, E., ALVES, E. G. P., AGENDES, M. O. Tendência temporal da temperatura no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria. v.1, n.1, p.101-103, 1993.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Secretaria de Planejamento e Coordenação da Presidência da República e IBGE, Rio de Janeiro, 421p. 1989

NÓGUES-PAEGLE, J.; MO, K. C. Linkages between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies. **J. Climate**, 15, 1389-1407, 2002.

OMENA, João Carlos Ribeiro. **A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e sua influência nas temperaturas máximas e mínimas do Rio Grande do Sul**. 2010. 78f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

OPSTEEGH, J. D.; van DOOL, H. Me. Seasonal differences in the stationary response of a linearized primitive equation model: prospects for. long-range forecasting? **J. Atmos. Sci.**, 37: 2169-2185; 1980.

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

PINTO, H. S.; TARIFA, J. R.; ALFONSI, R. R. ; PEDRO JÚNIOR, M. J. Estimation of frost damage in coffee trees in the State of São Paulo, Brazil. In: **Anais da CONFERENCE ON AGRICULTURE AND FOREST METEOROLOGY**, 13, Boston, 1977. Boston, **American Meteorological Society**, p.37-38. 1977.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos (SP), 97 pp. 1994.

MANKIEWICZ, R. **The Story of Mathematics**. New Jersey: Princeton University Press. p.158. 2001.

REX, D. F.. Blocking activity in the middle troposphere and its effect upon regional climate. **Tellus** 2, 275. 1951.

SANTOS, D. M., ROLIM, P. A. M, OLIVEIRA, T. S., ROCHA, E. J. P. Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade da temperatura em Belém-Pará **Anais Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2006, 6p.

SILVA DIAS, P. L. As anomalias globais observadas em fevereiro e a previsão de médio a longo prazo. **Climanálise**, 3(2), 32. 1988.

SCHNUR, R.; SCHMITZ, G.; GRIEGER, N.; STORCH, H. V. Normal modes of the atmosphere as estimated by principal oscillation patterns and derived from quasigeostrophic theory. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.50, n°15, 2386–2400, 1993.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na estação chuvosa do Semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6. N.2, p.277-283, 1998.

STEINKE, E. T. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. 2004. 201f. Tese (Doutorado em Ecologia)-Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.

THE INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY. Disponível em <<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html#soi>> Acesso em: 2 fev. 2011.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **METEOROLOGIA DESCRITIVA. FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES BRASILEIRAS**. 1 ED. SÃO PAULO: LIVRARIA NOBEL S.A., 1983. 374P.

VAREJÃO-SILVA, M. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília. Instituto Nacional de Meteorologia. 2001. 515p.

VOLPE, C. A.; ANDRÉ, R. G. B. Geada: prevenção e combate. Jaboticabal, UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1984. 22p. (**Boletim técnico**, 2)

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. **Mon. Wea. Rev.**, 109: 784-812. 1981.

WEBSTER, P. J. Mechanisms determining the atmospheric response to 'sea surface temperature anomalies. **J. Atmos. Sci.**, 38: **554-571**. 1981.

WHITE, W. B.; CLARK, N. E. On the development of blocking ridge activity over the Central North Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences** 32, 489-502. 1975.

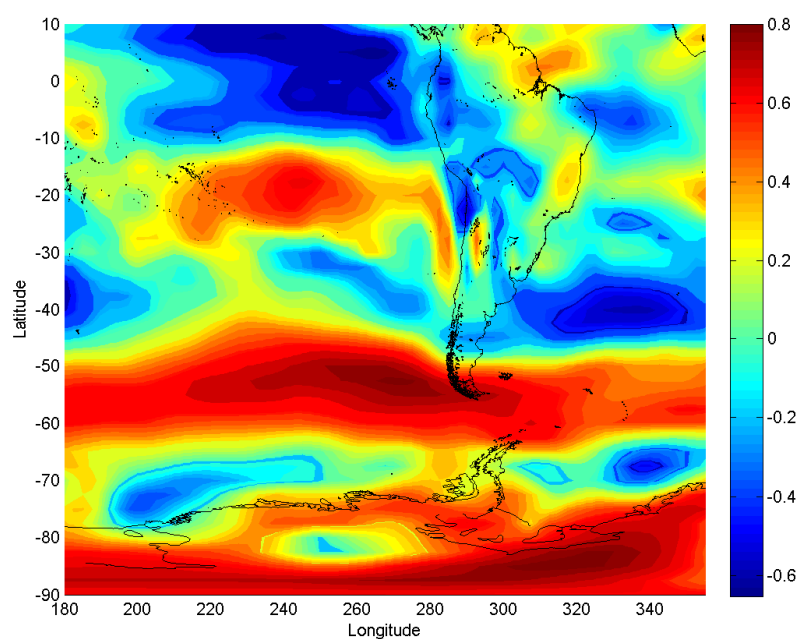
WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic Press, 1995.

XU, J. S. The joint modes of the coupled atmosphere-ocean system observed from 1967 to 1986. **Journal Climate**, v. 6, 816-838, 1993.

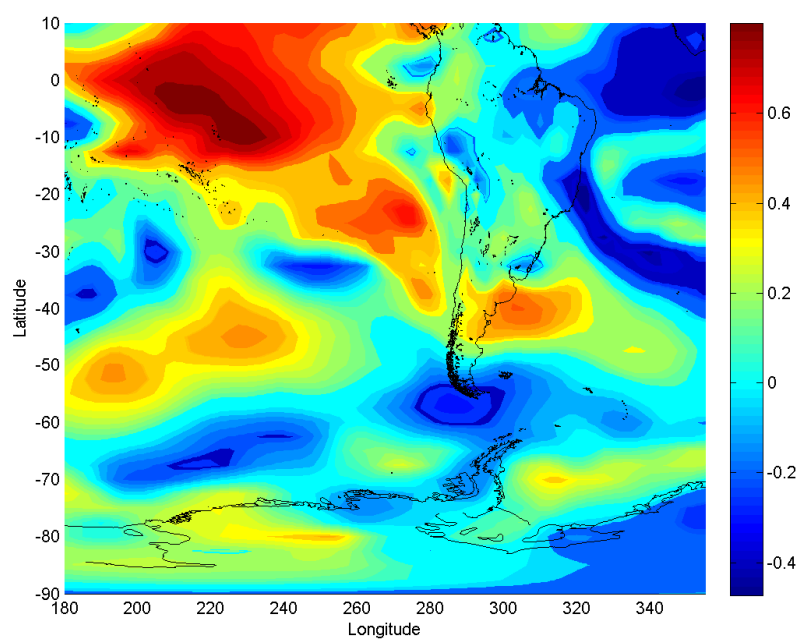
XUE, Y. R.; HIGGINS, W.; KIM, H.-K. and V. KOUSKY, 2002: Impacts of the Madden Julian Oscillation on U.S. Temperature and Precipitation during ENSO-Neutral and Weak ENSO Winters. 26 Climate Diagnostics and Prediction Workshop. Disponível em: [Available at <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outreach/CDW26.html>] Acesso: 14 fev. 2011

ZWIERS, F. W. Simulation of the Asian monsoon with the CCC GCM-1. **Journal Climate**, v. 6, 470–486, 1993.

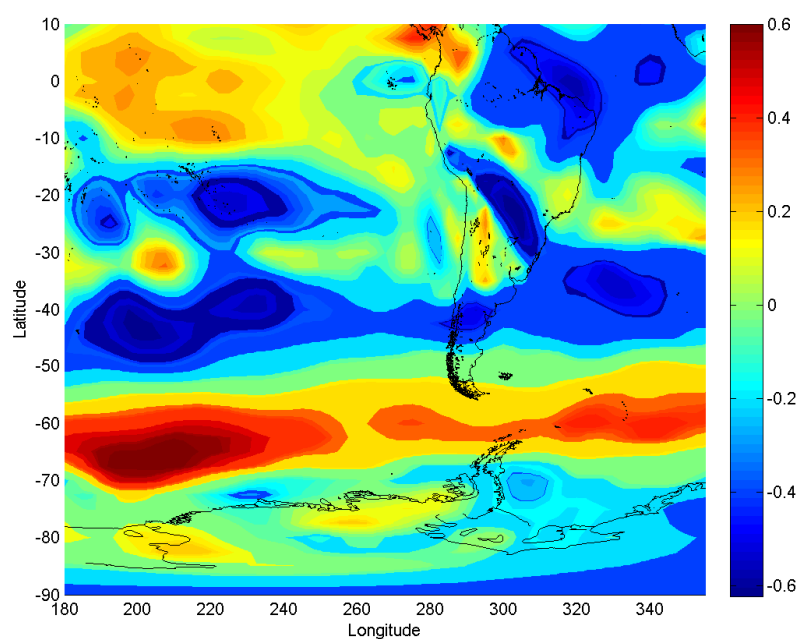
APÊNDICE I



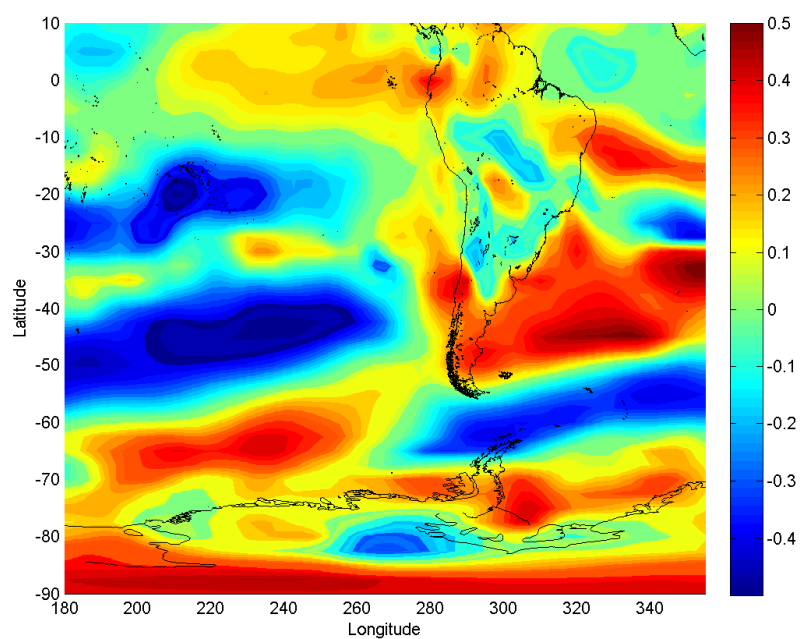
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de janeiro



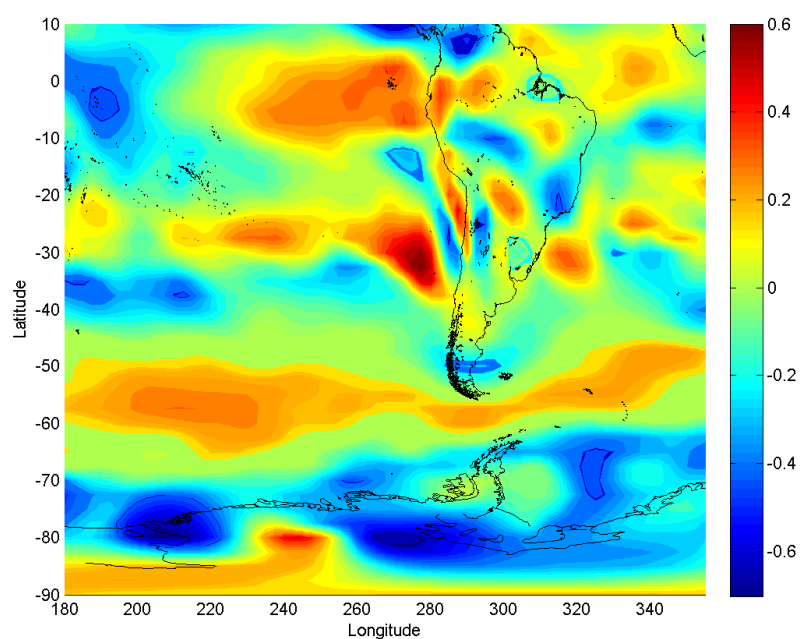
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de janeiro



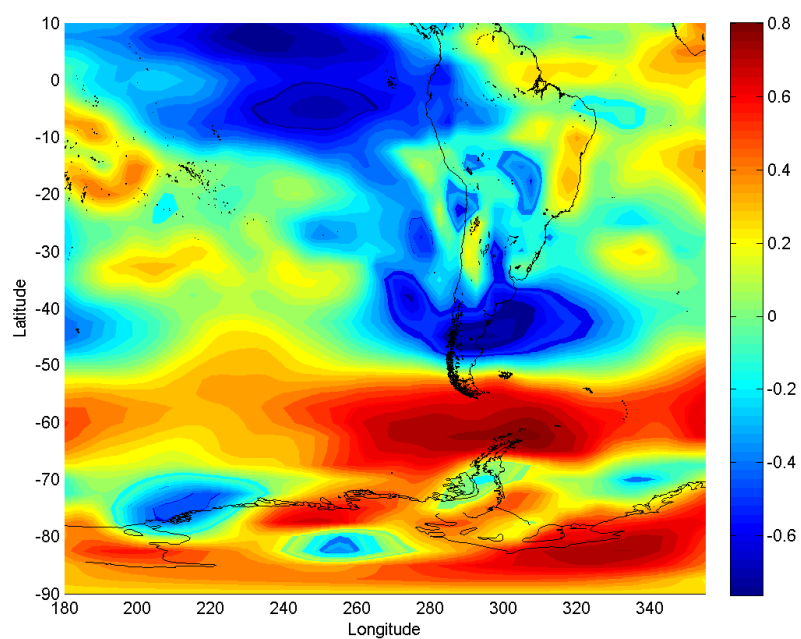
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de janeiro



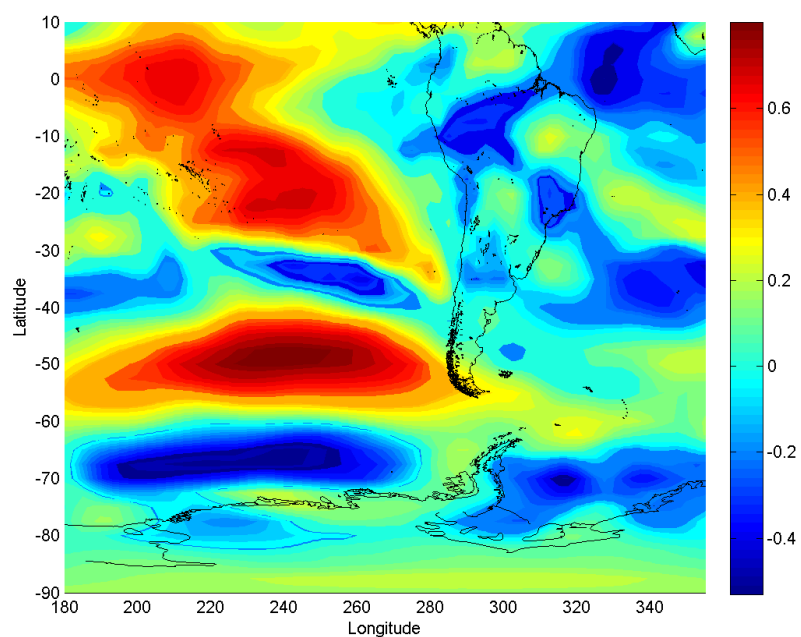
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de janeiro



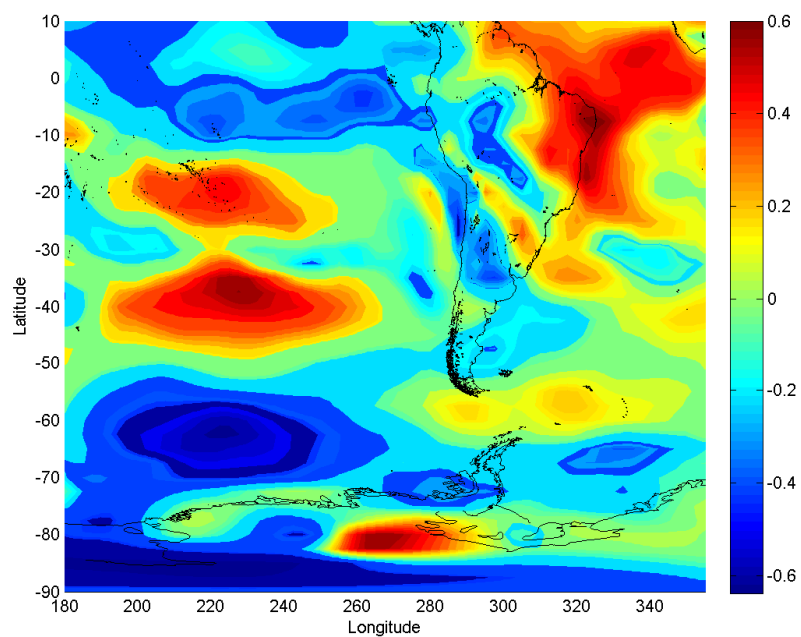
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de janeiro



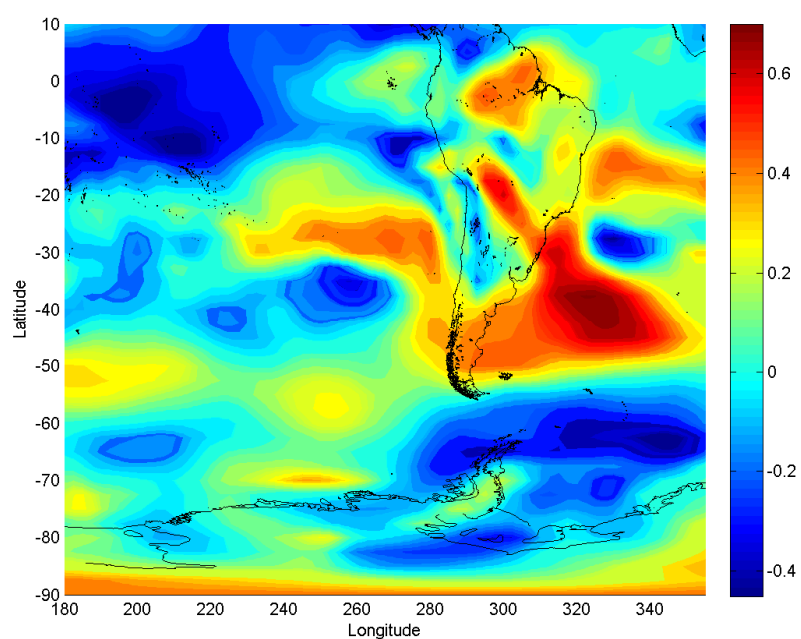
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro



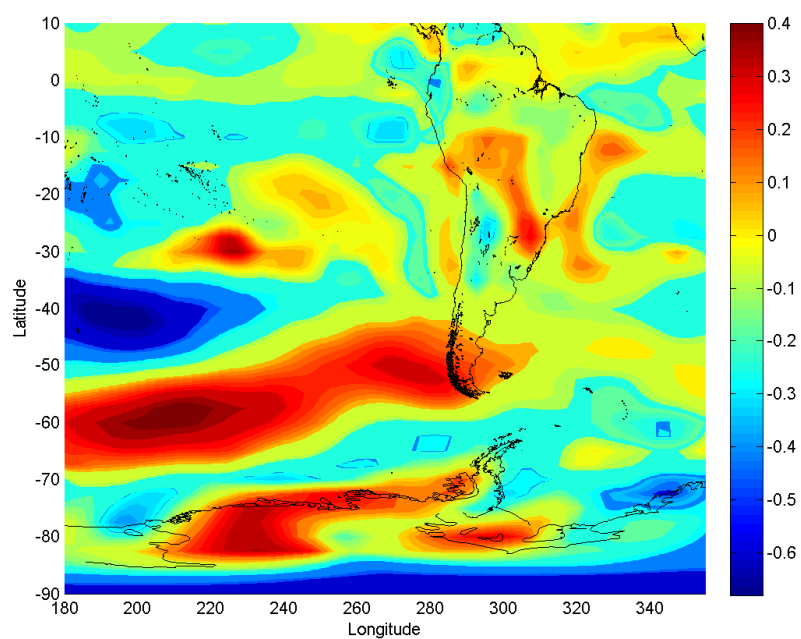
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro



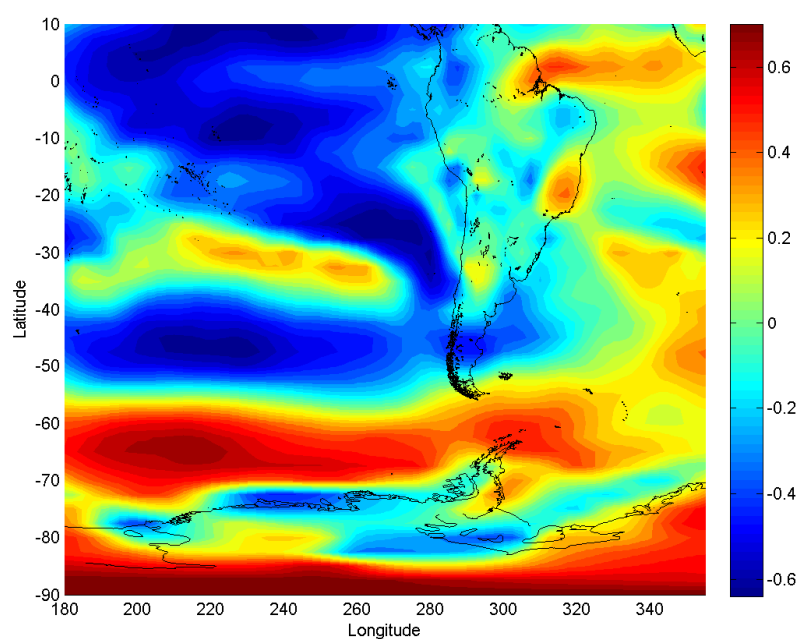
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro



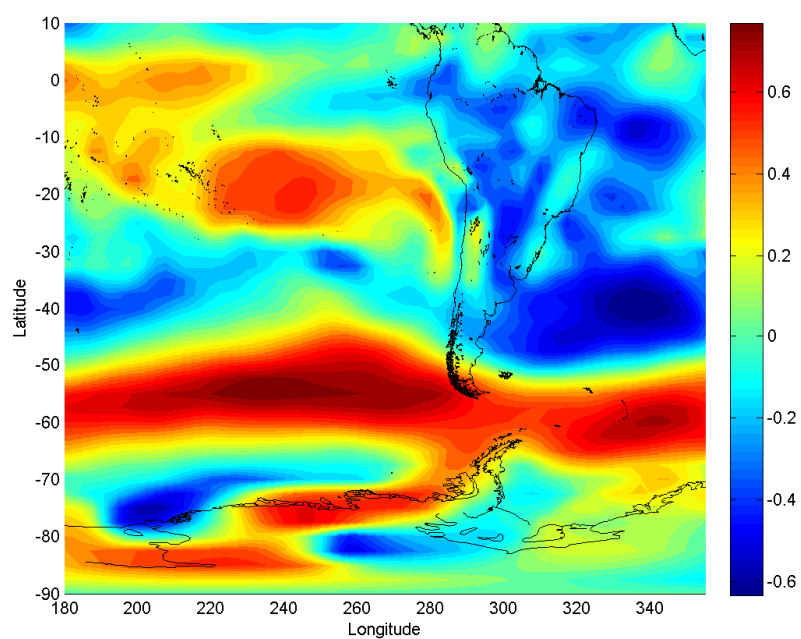
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro



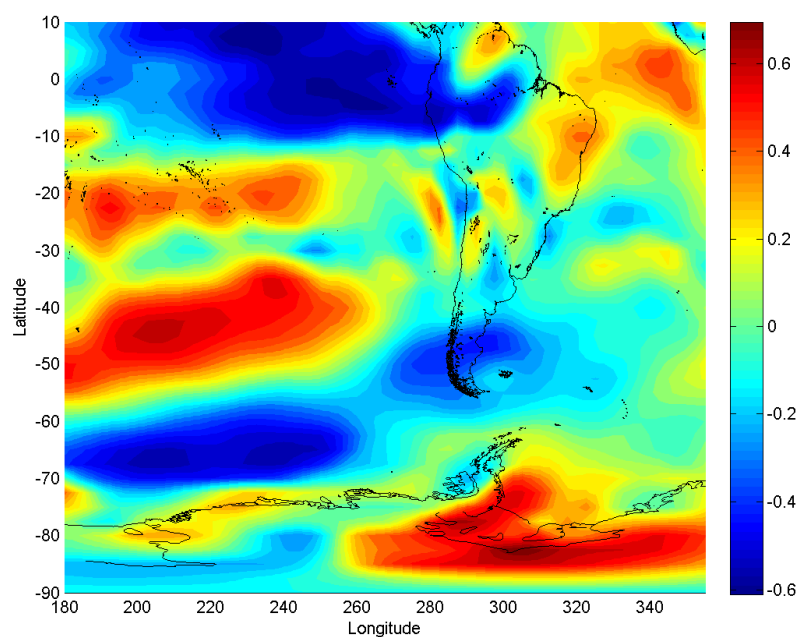
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de fevereiro



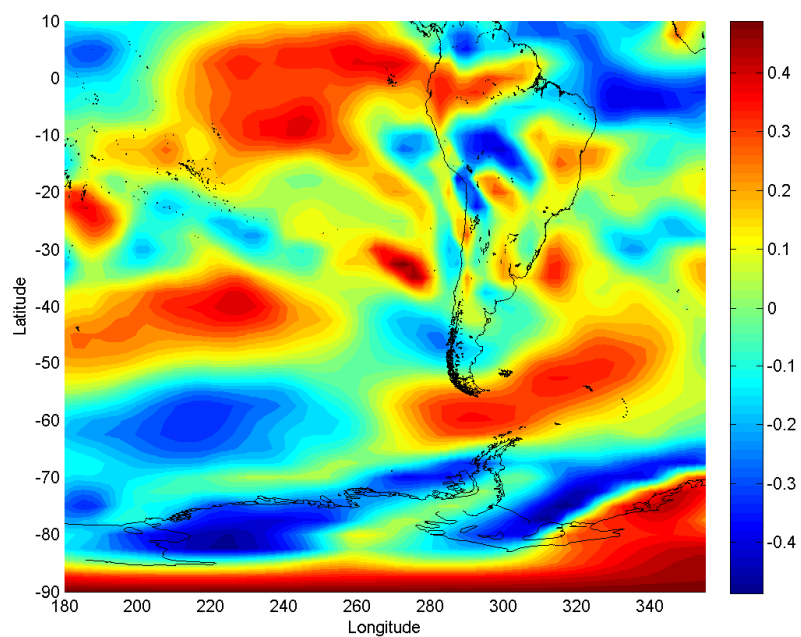
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de março



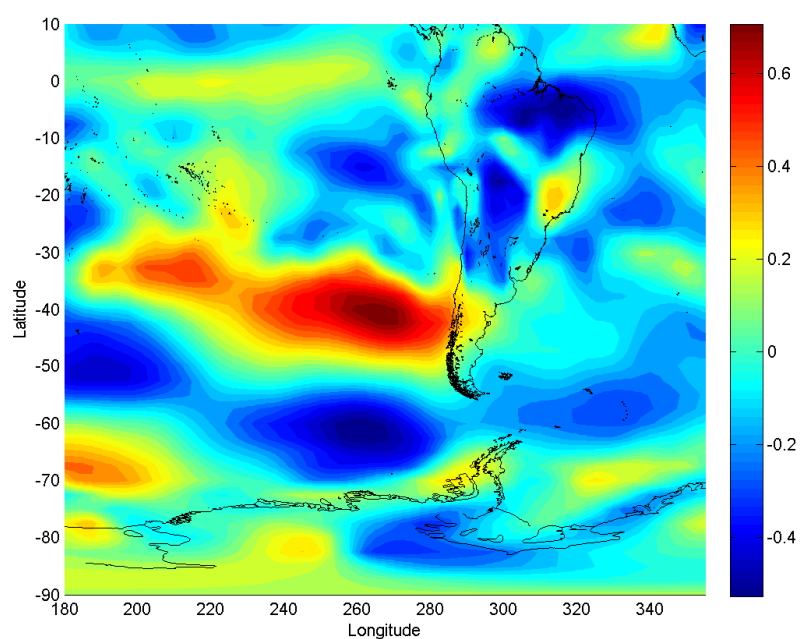
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de março



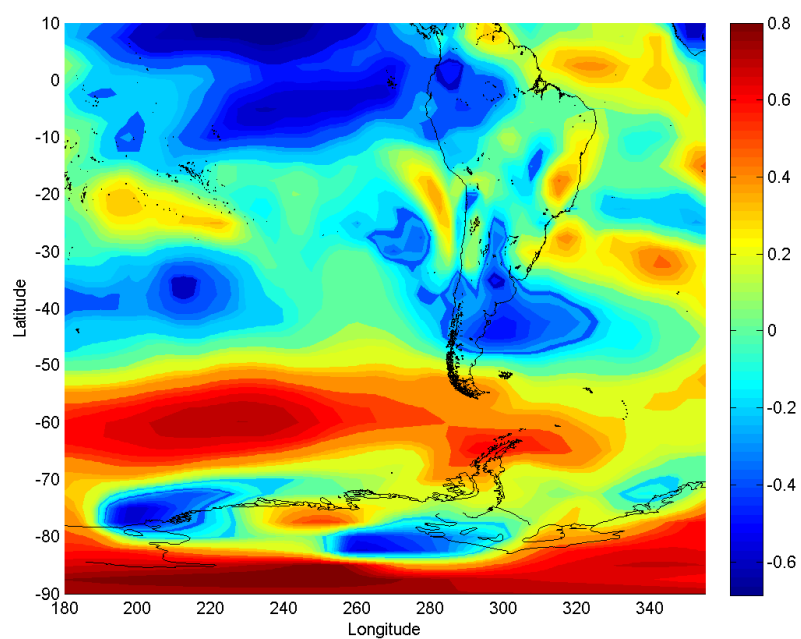
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de março



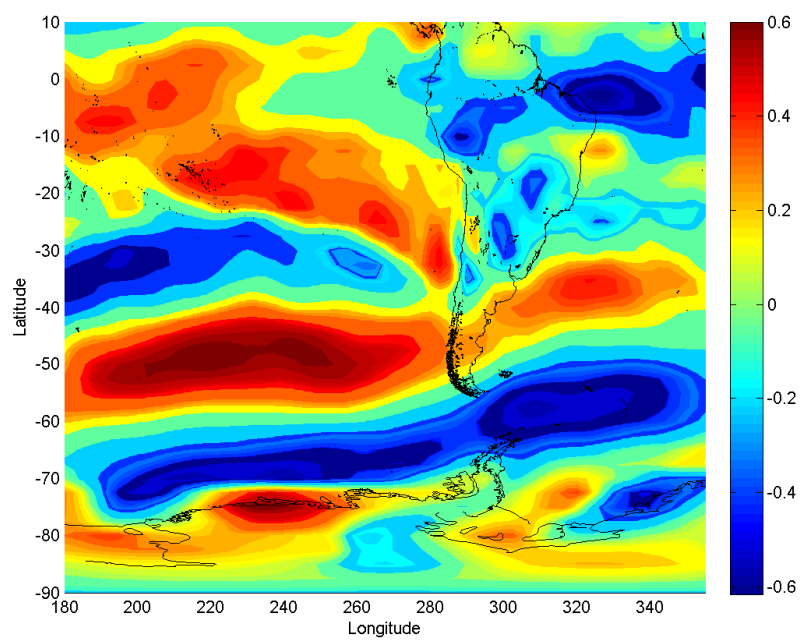
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de março



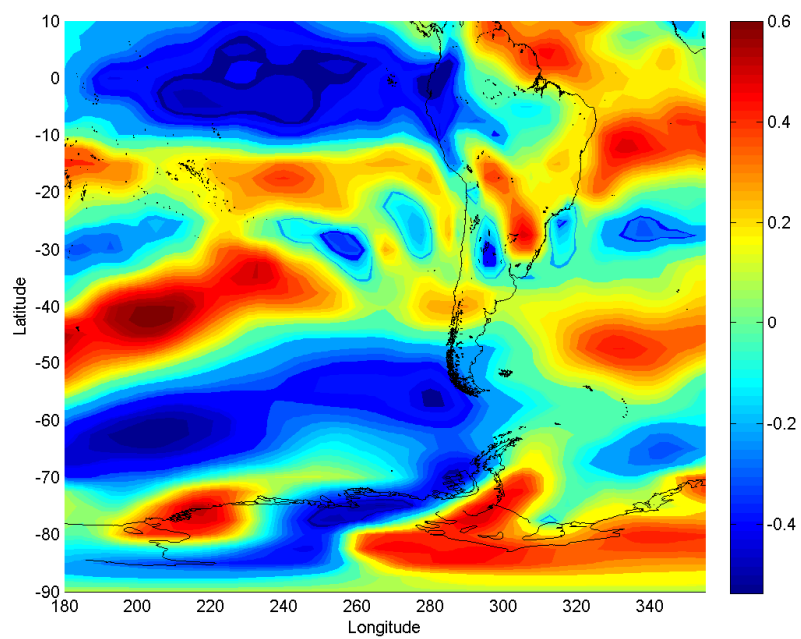
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de março



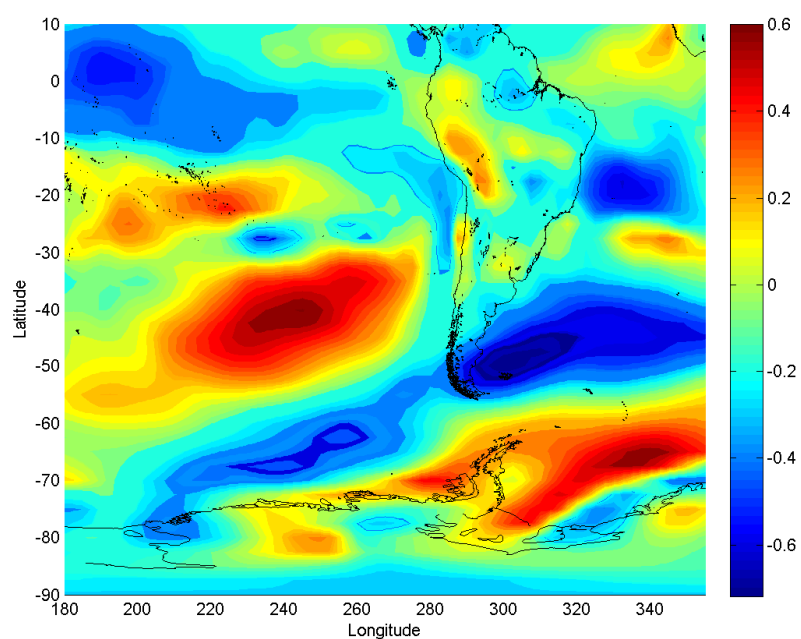
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de abril



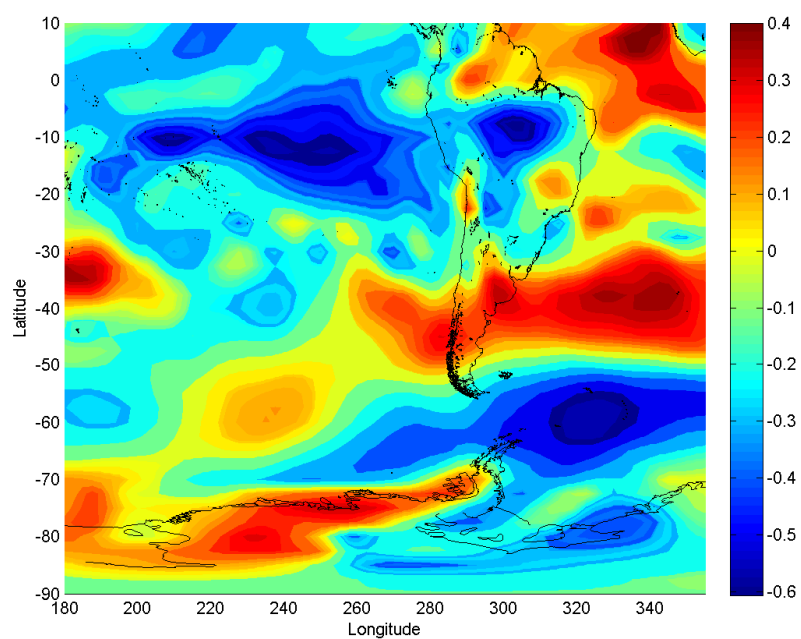
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de abril



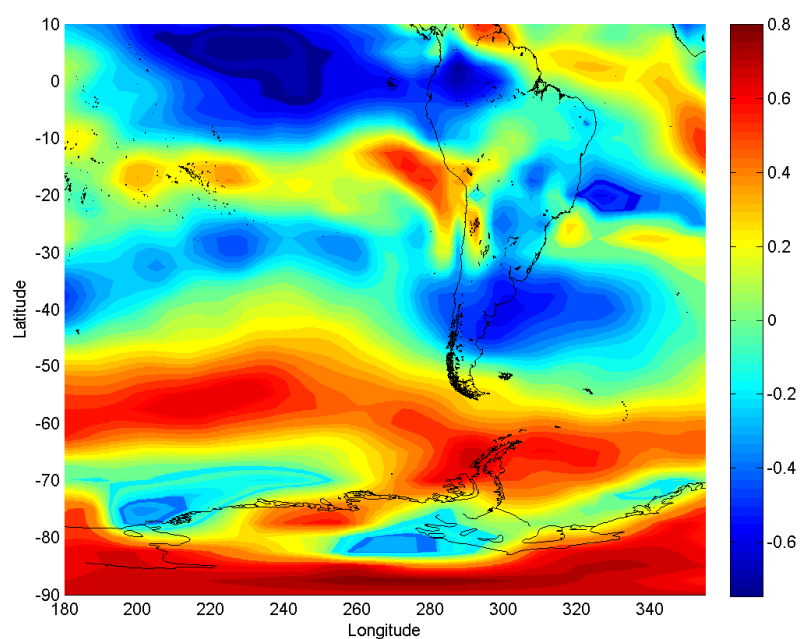
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de abril



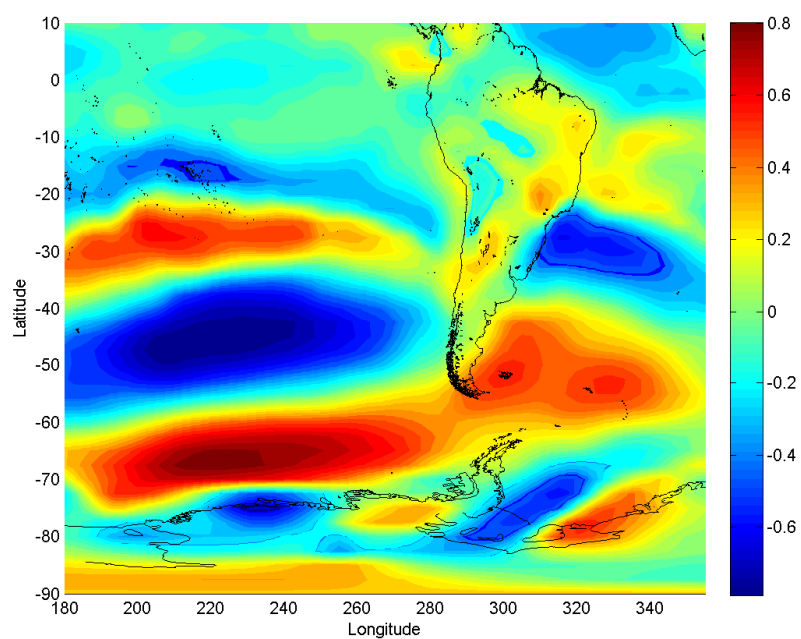
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de abril



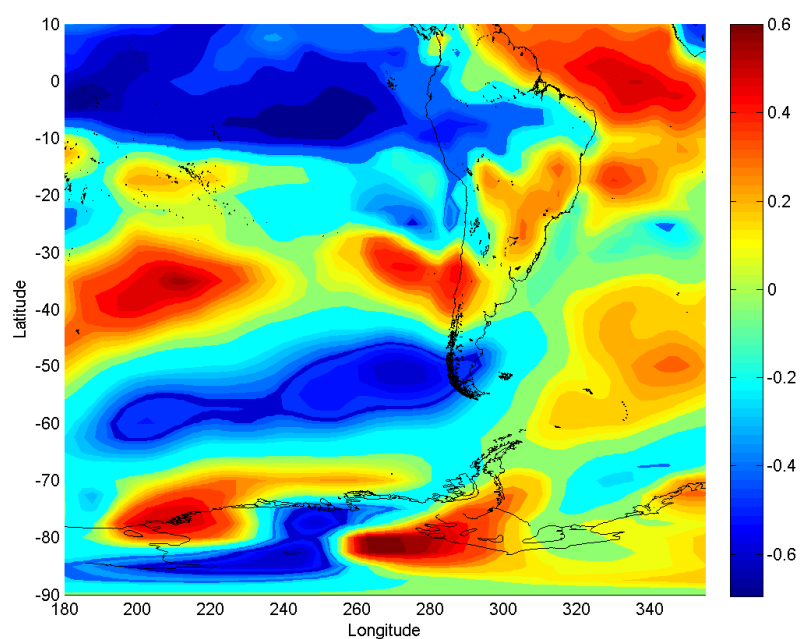
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de abril



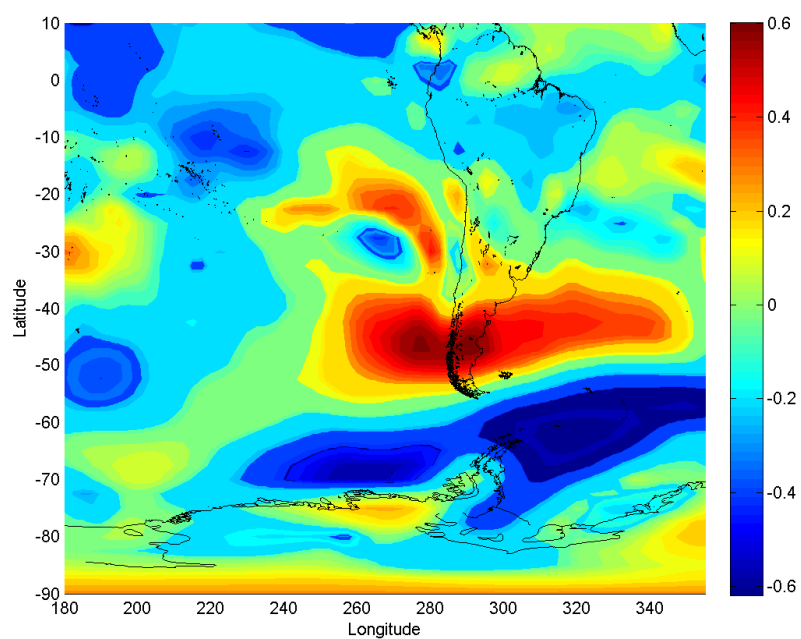
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de maio



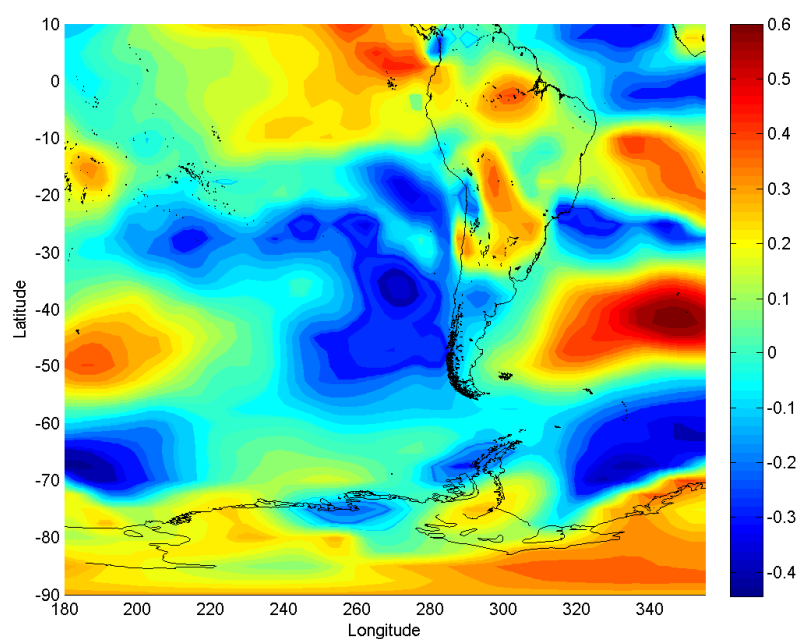
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de maio



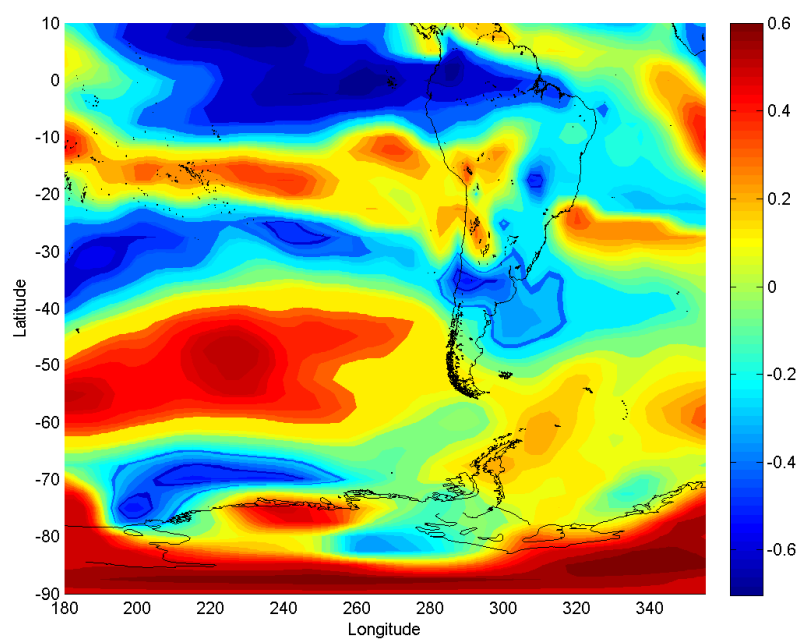
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de maio



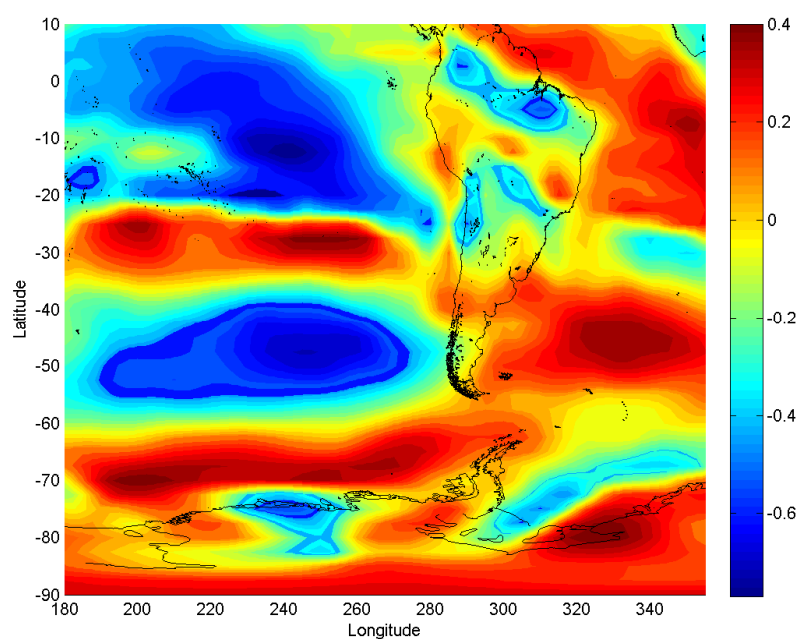
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de maio



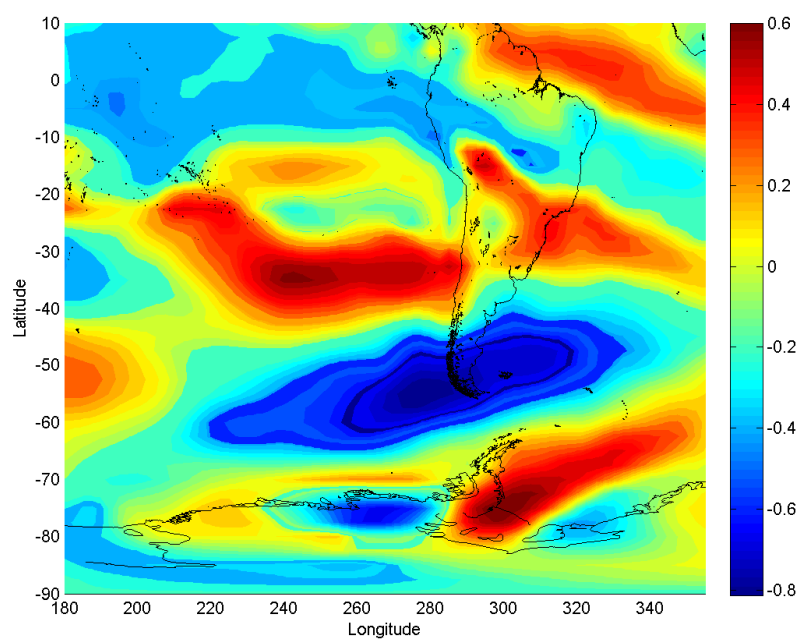
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de maio



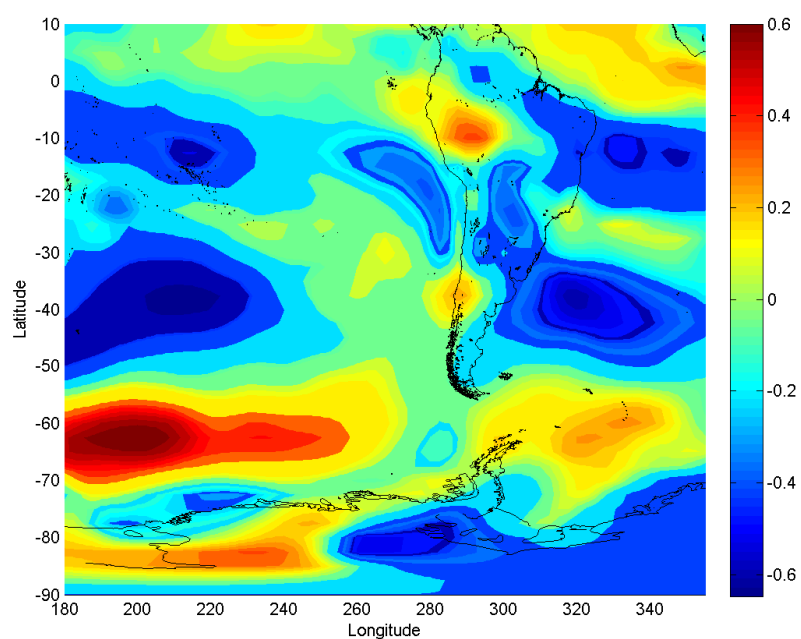
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de junho



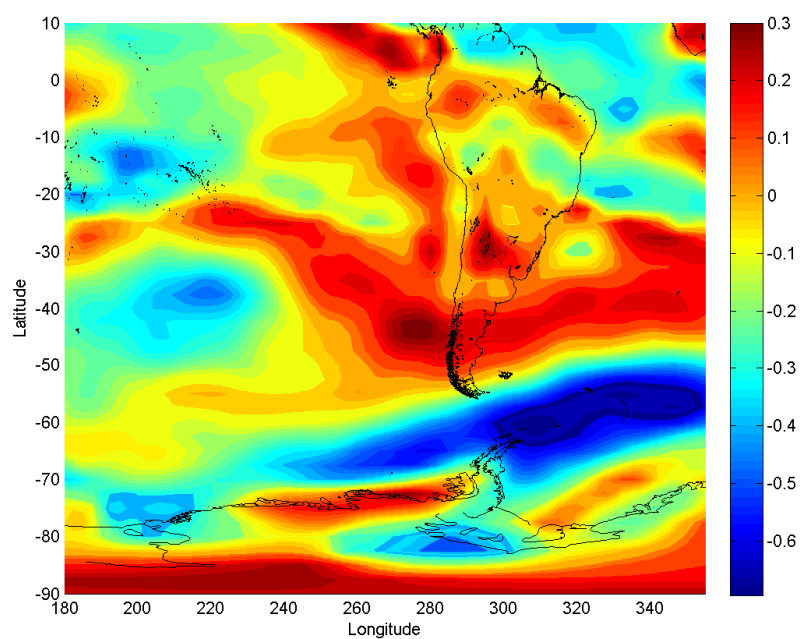
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de junho



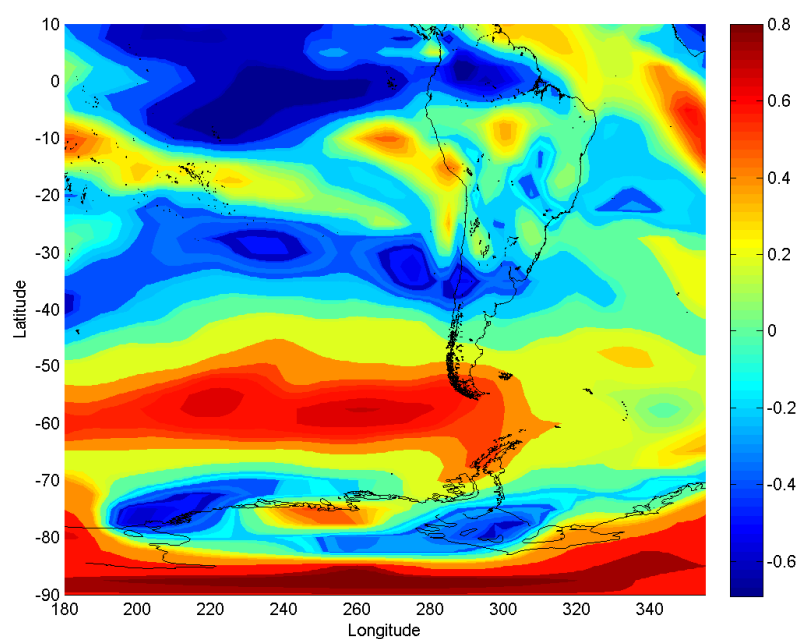
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de junho



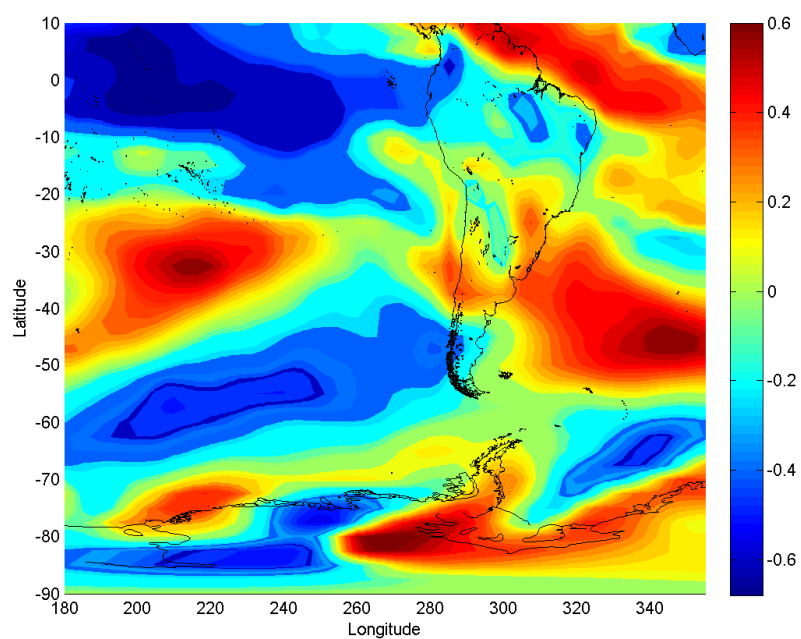
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de junho



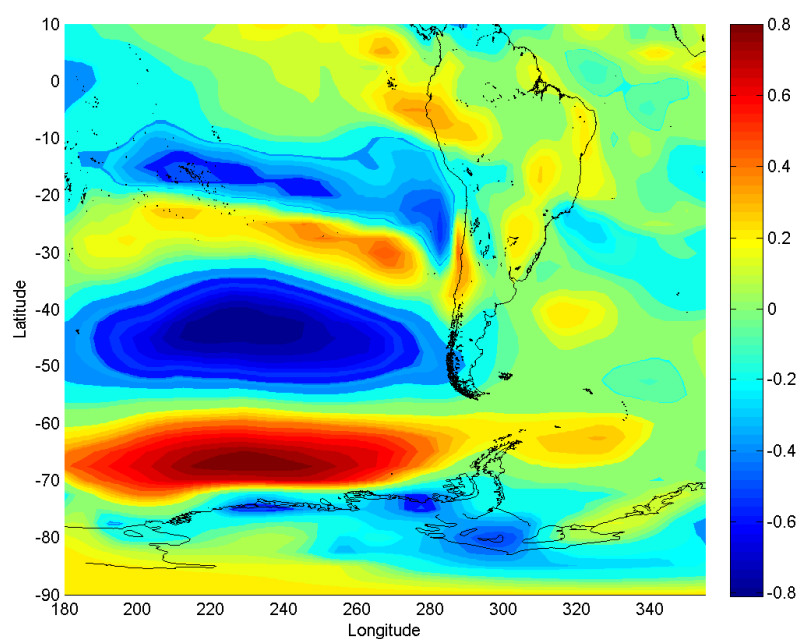
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de junho



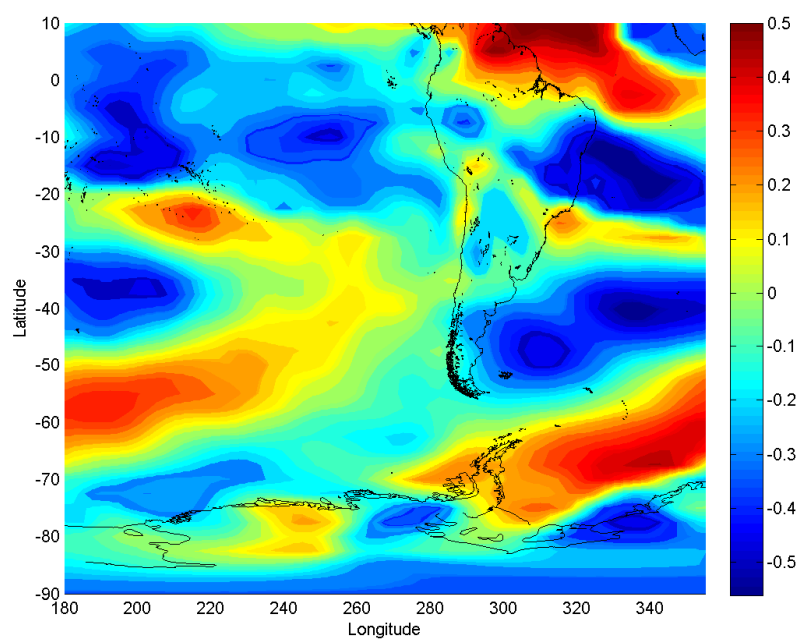
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de julho



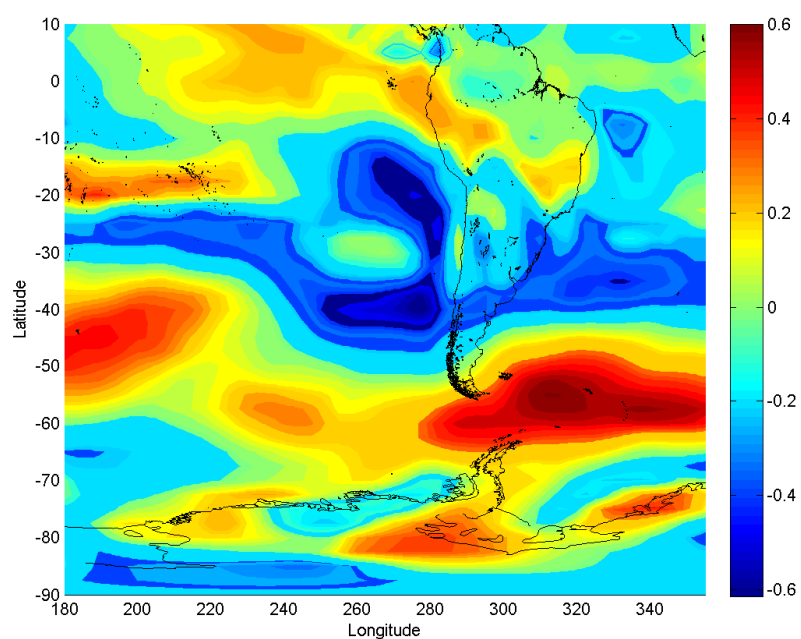
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de julho



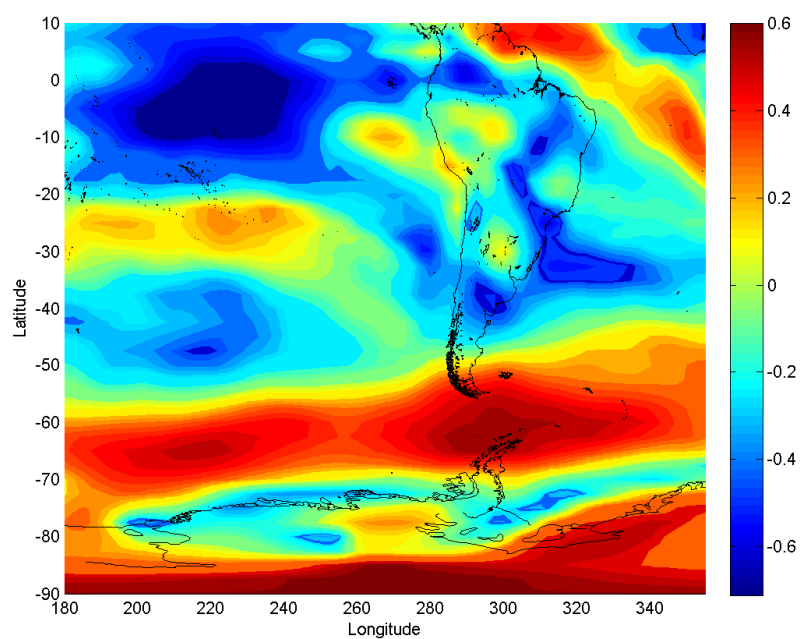
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de julho



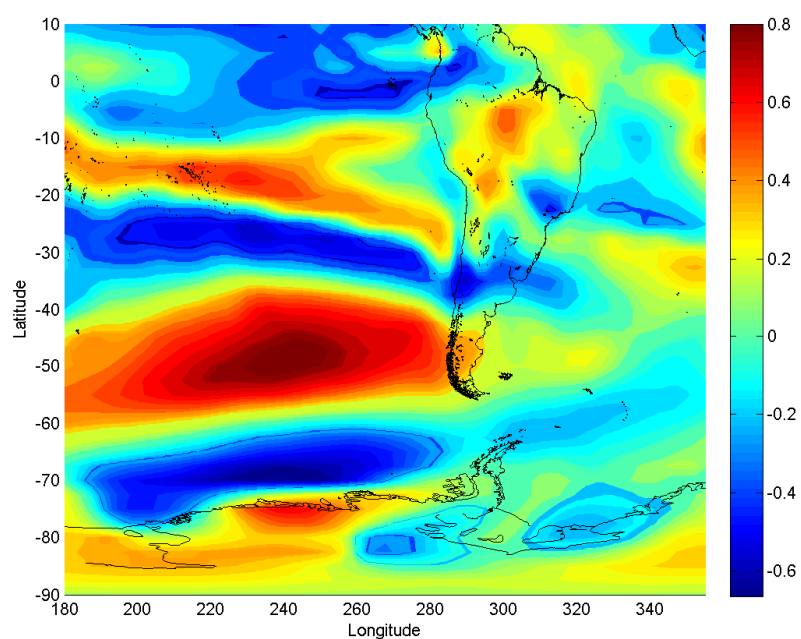
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de julho



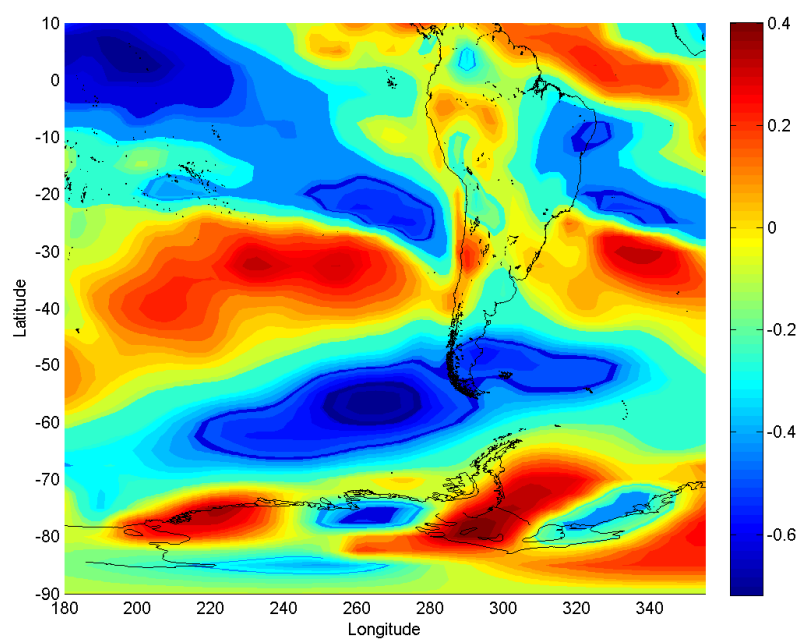
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de julho



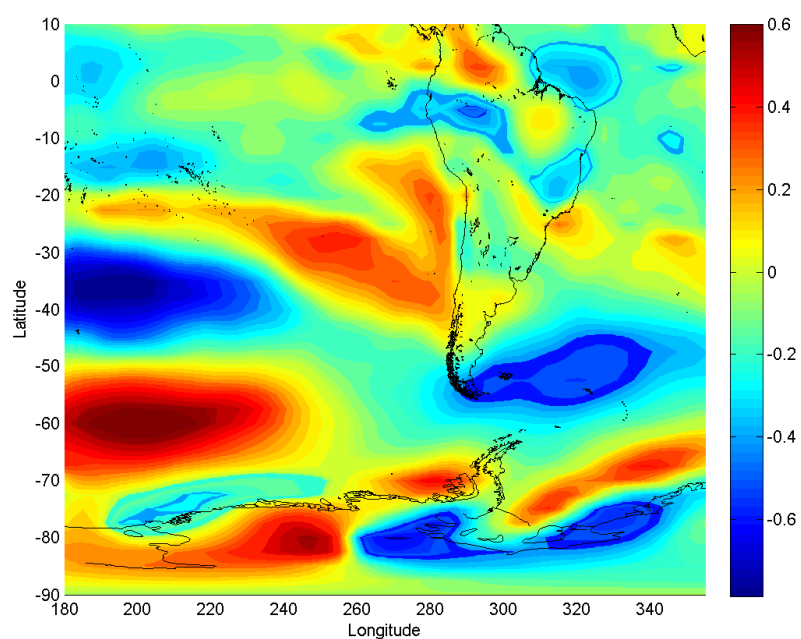
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de agosto



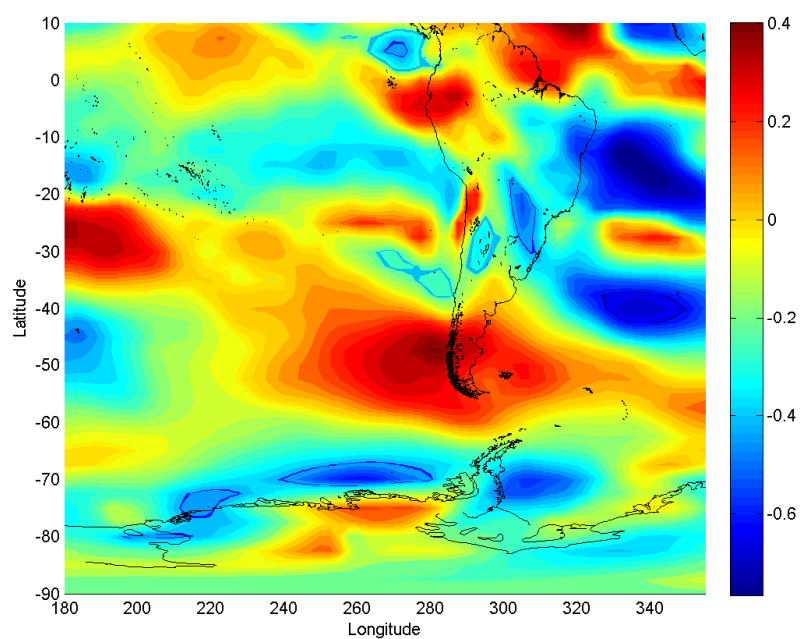
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de agosto



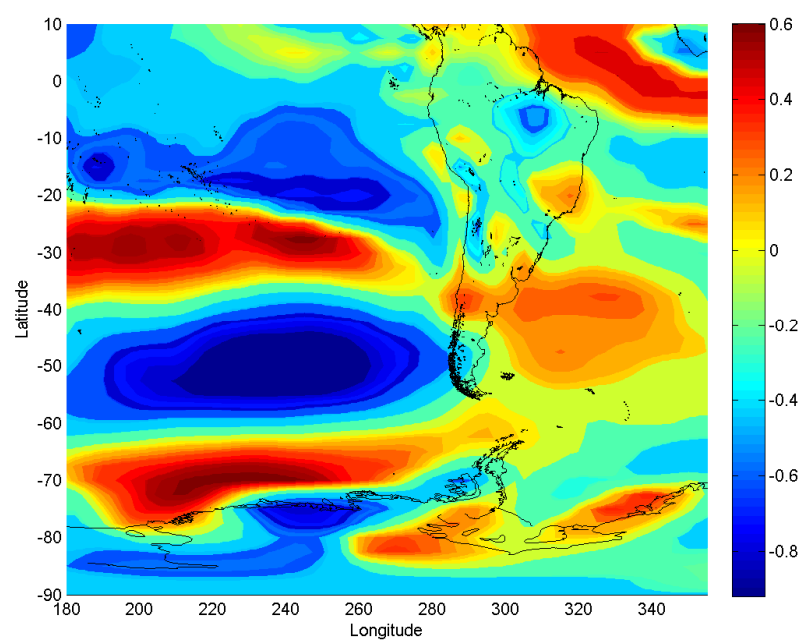
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de agosto



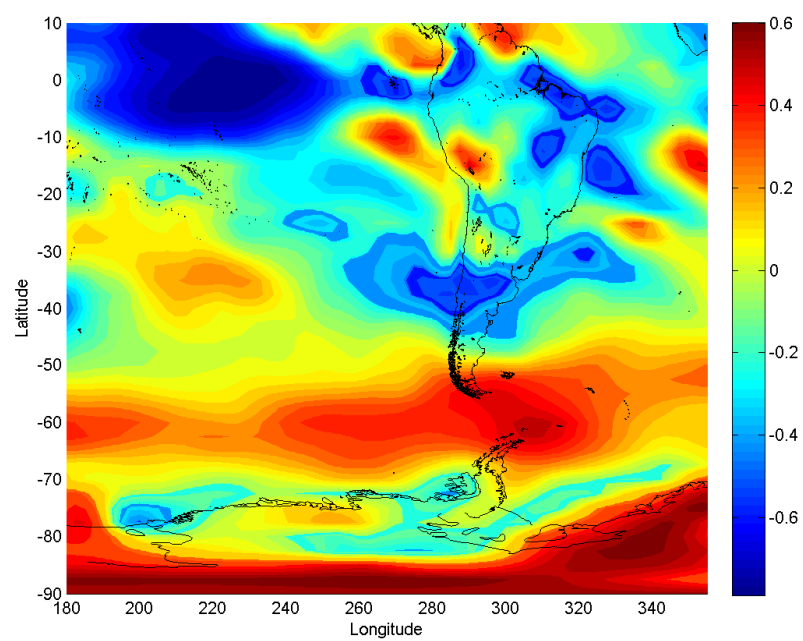
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de agosto



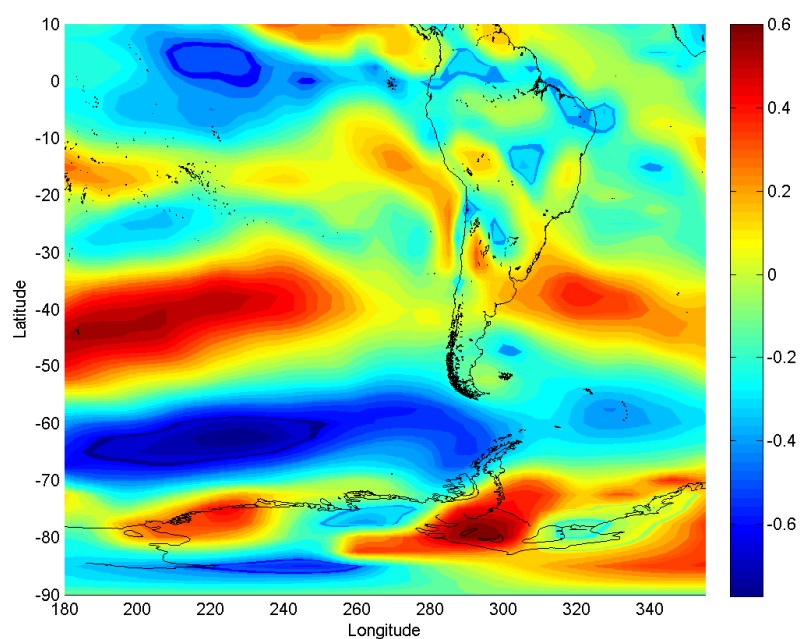
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de agosto



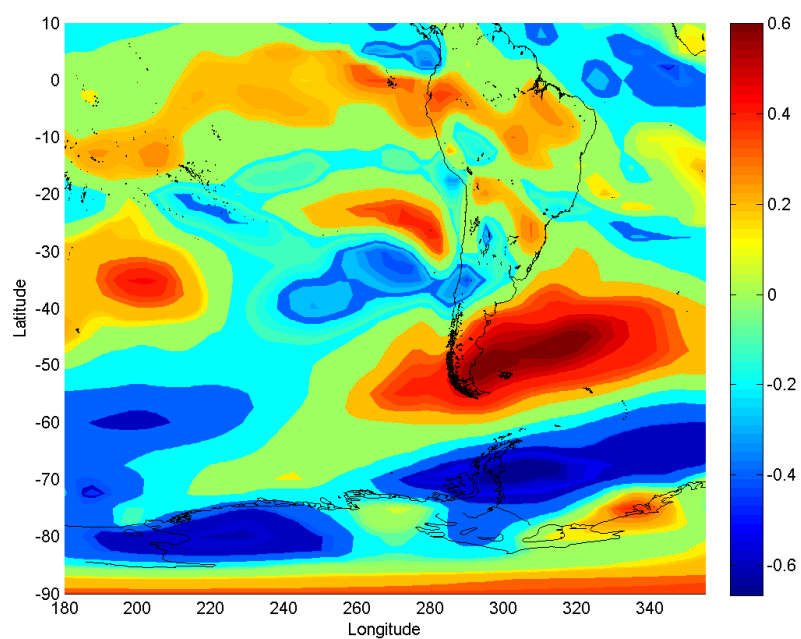
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de setembro



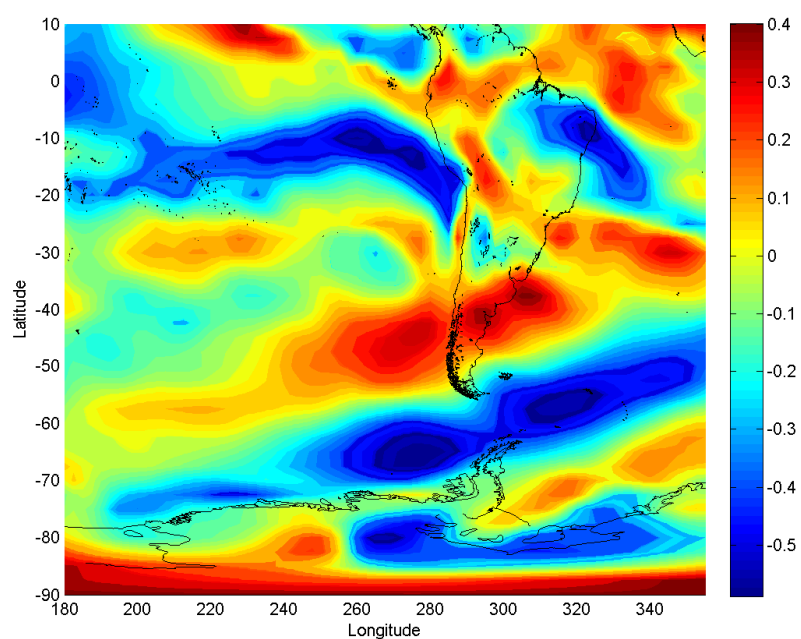
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de setembro



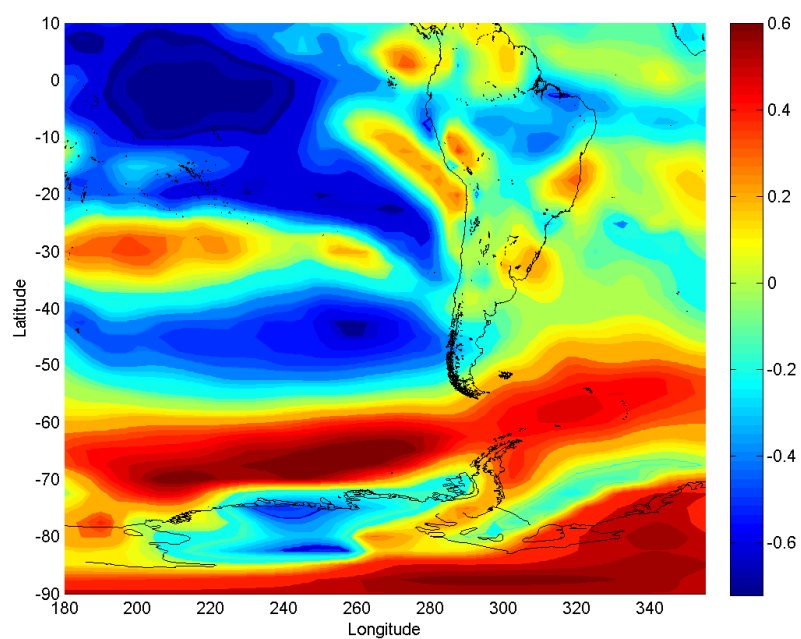
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de setembro



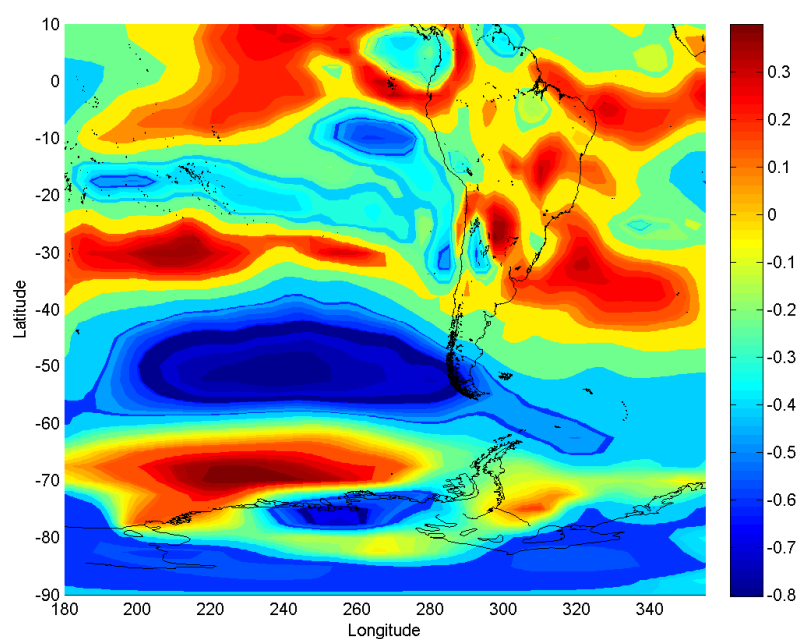
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de setembro



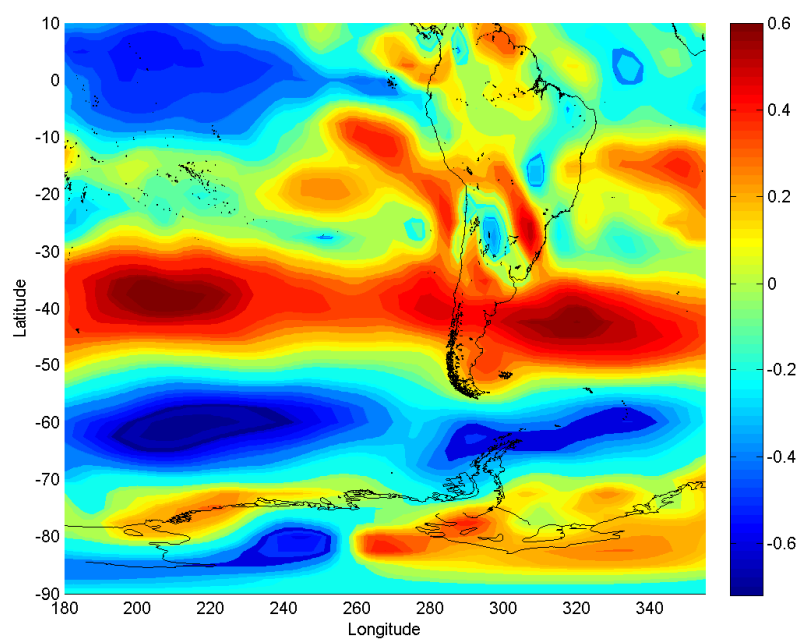
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de setembro



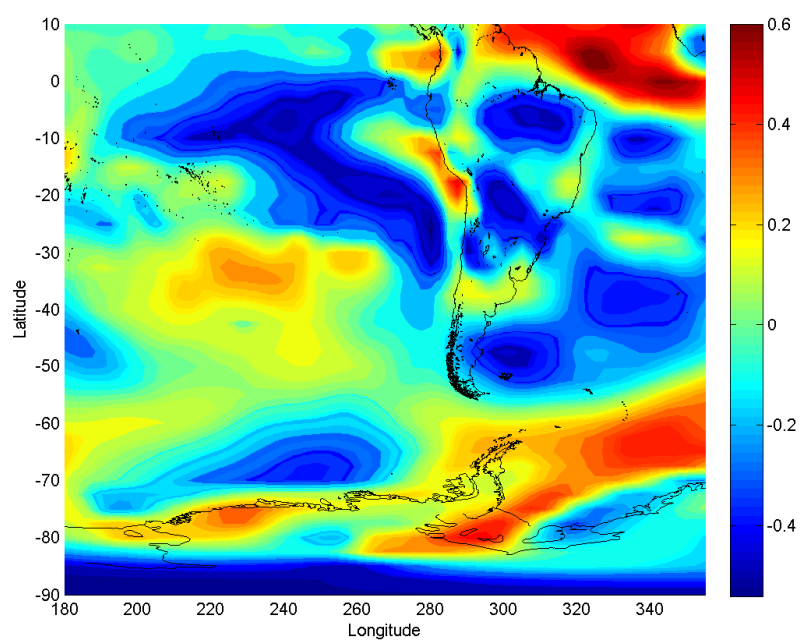
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de outubro



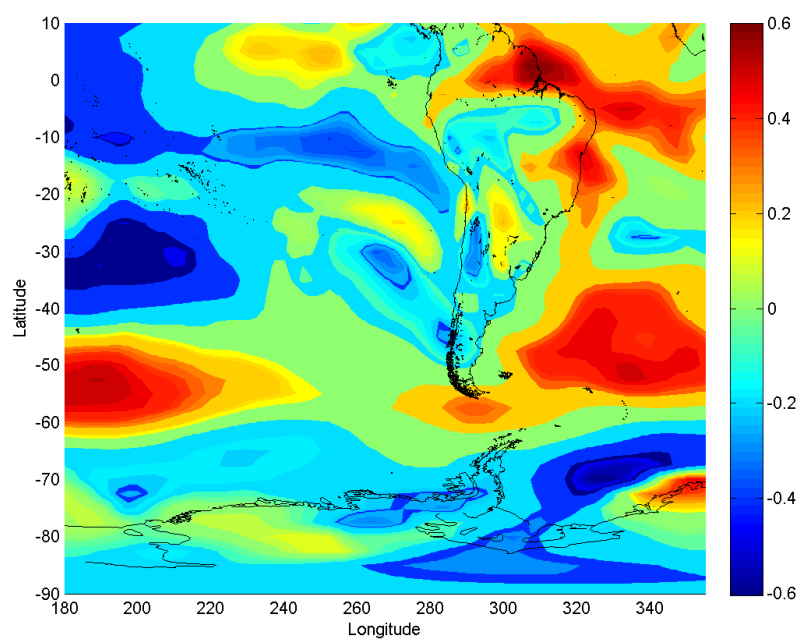
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de outubro



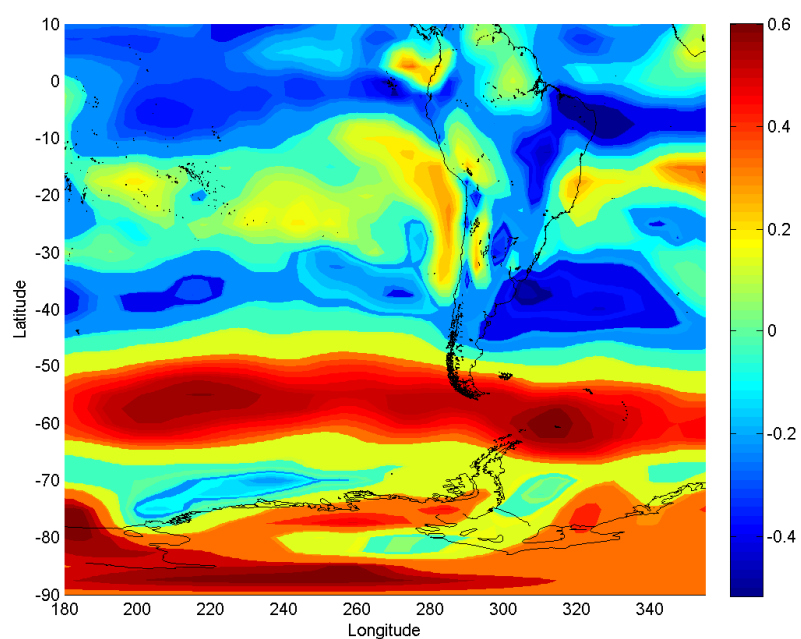
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de outubro



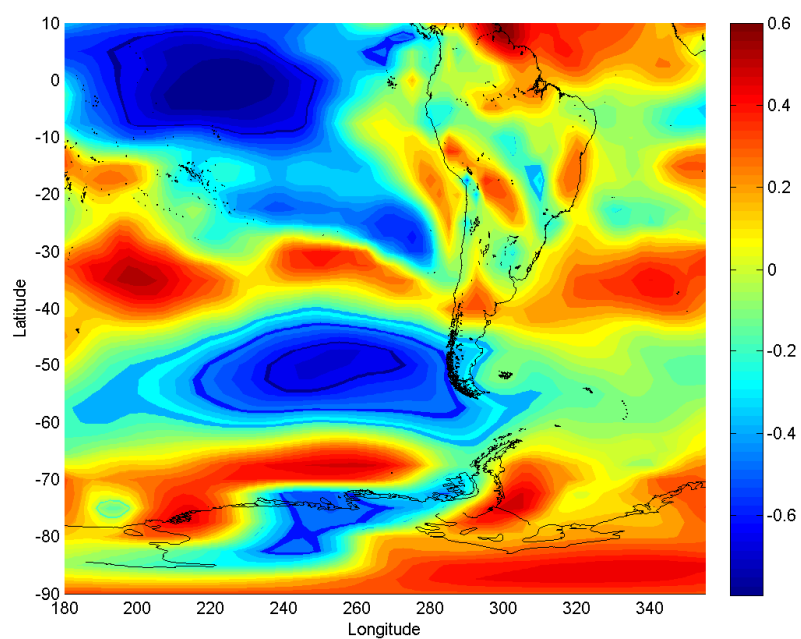
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de outubro



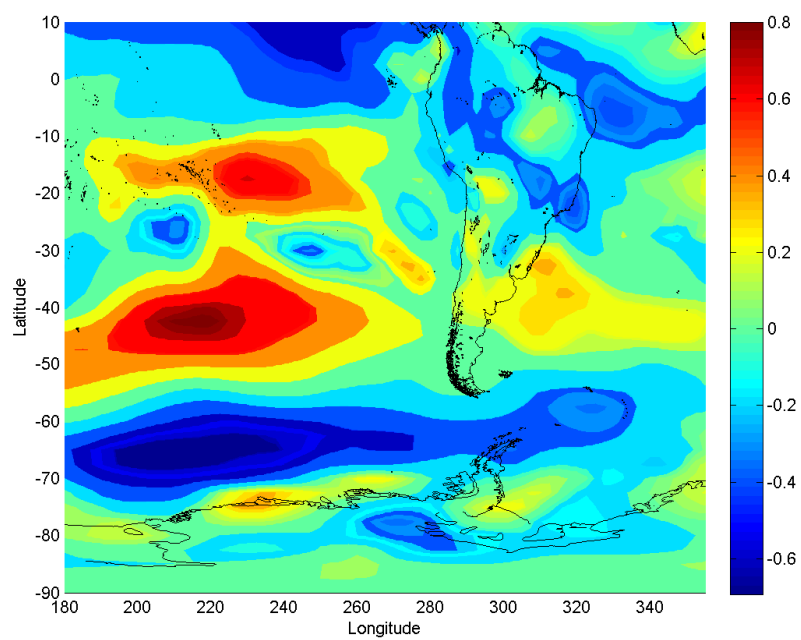
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de outubro



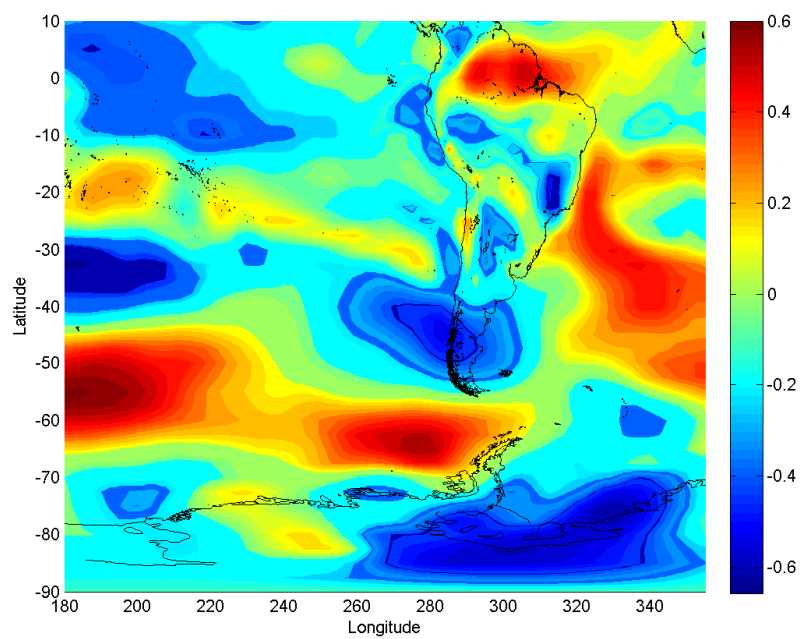
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de novembro



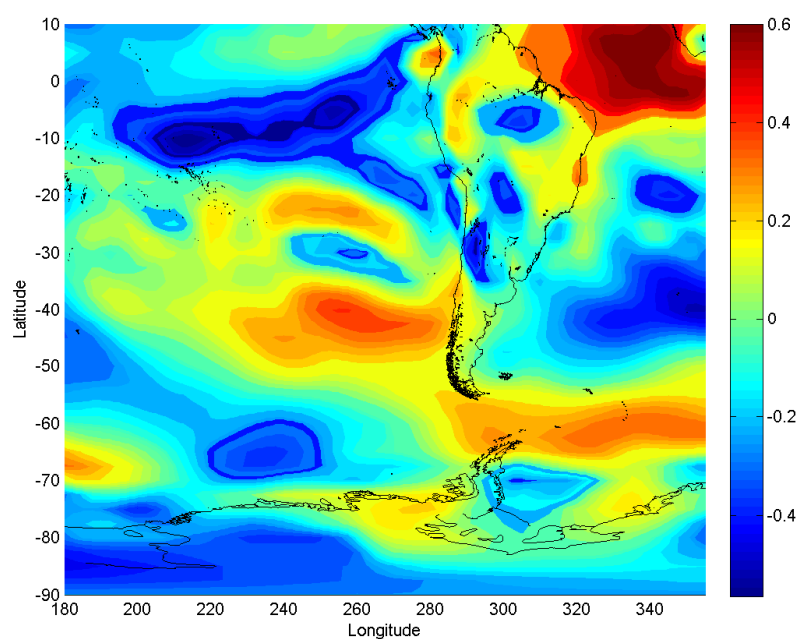
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de novembro



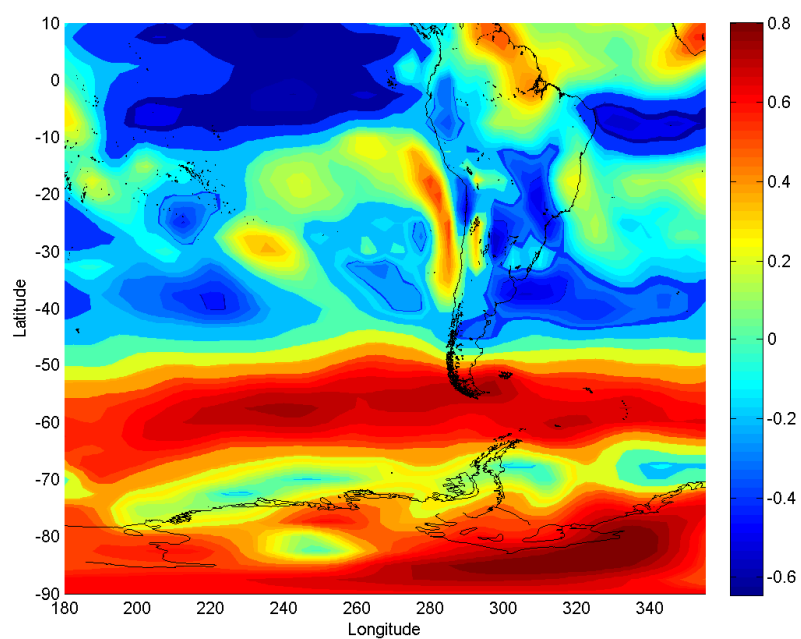
Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de novembro



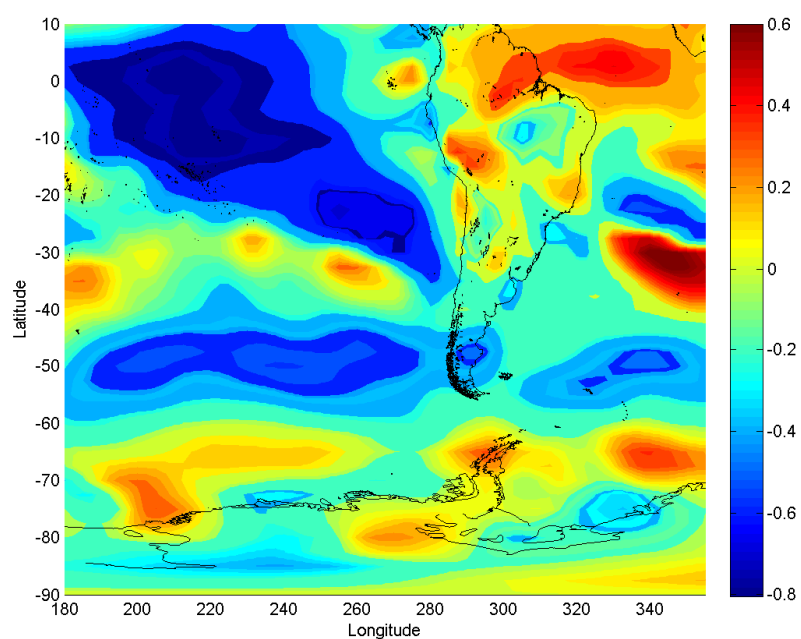
Quarto padrão de oscilação principal para o mês de novembro



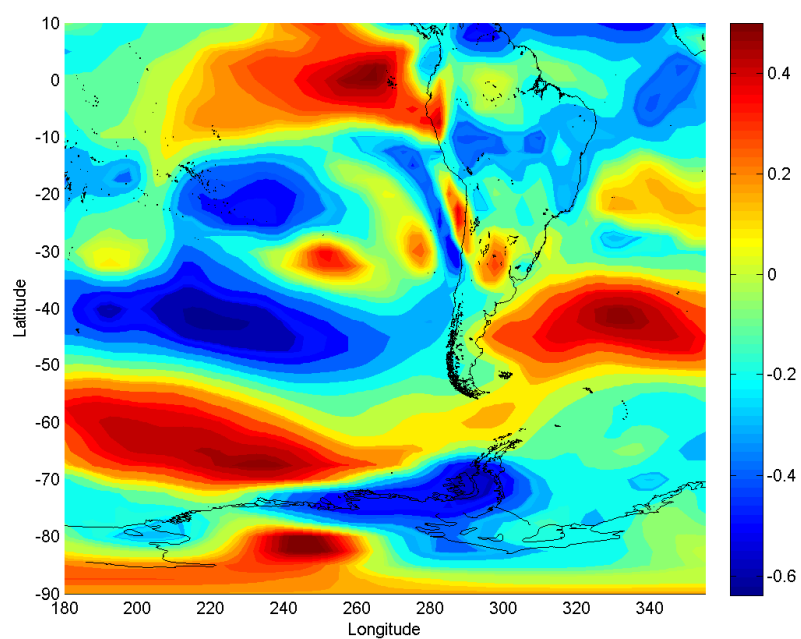
Quinto padrão de oscilação principal para o mês de novembro



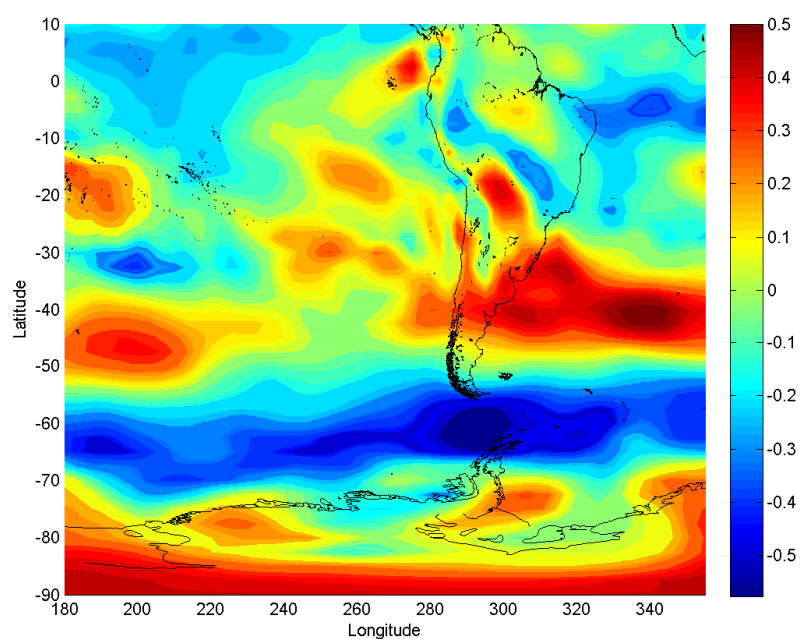
Primeiro padrão de oscilação principal para o mês de dezembro



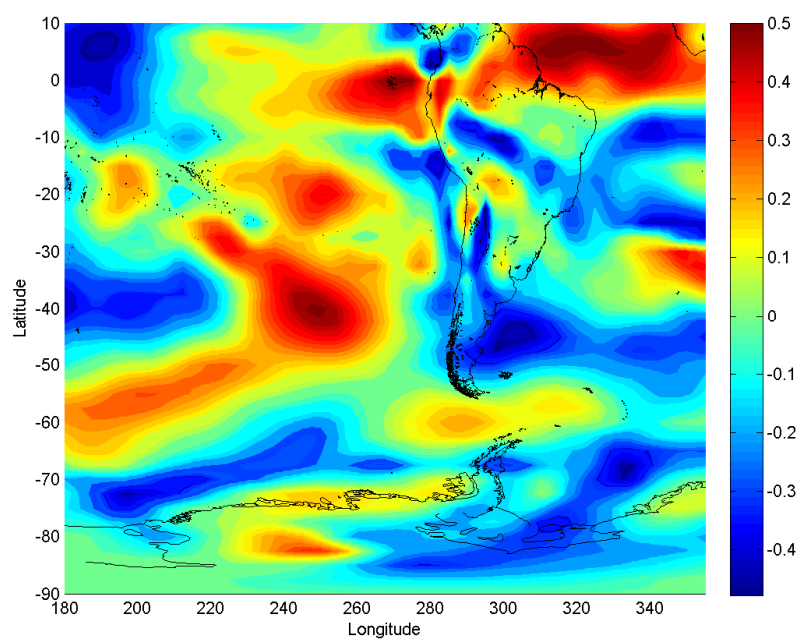
Segundo padrão de oscilação principal para o mês de dezembro



Terceiro padrão de oscilação principal para o mês de dezembro

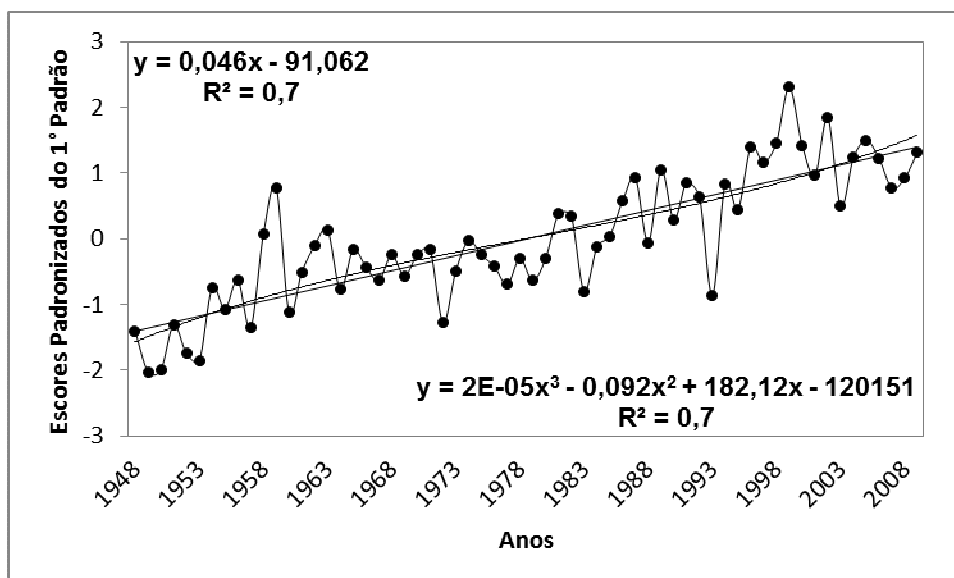


Quarto padrão de oscilação principal para o mês de dezembro

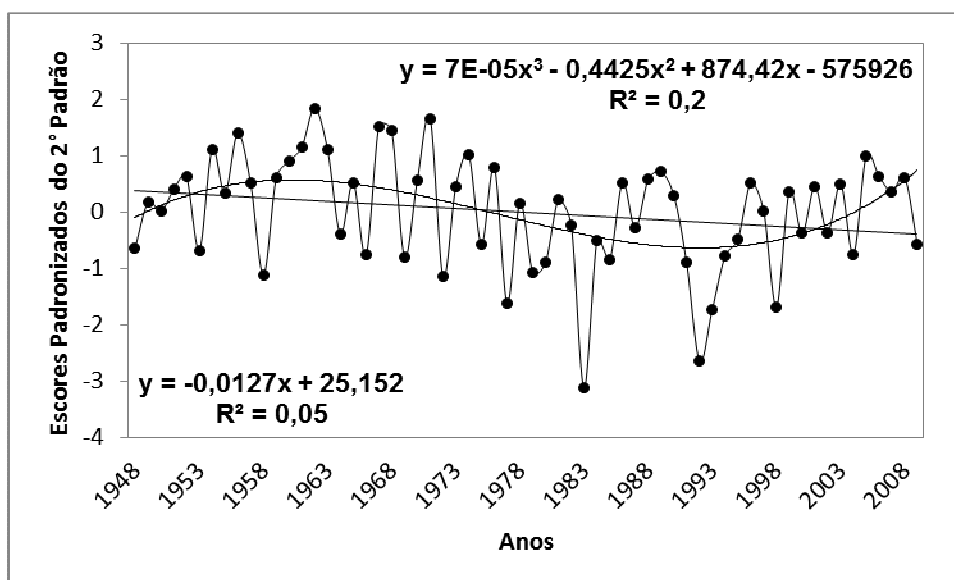


Quinto padrão de oscilação principal para o mês de dezembro

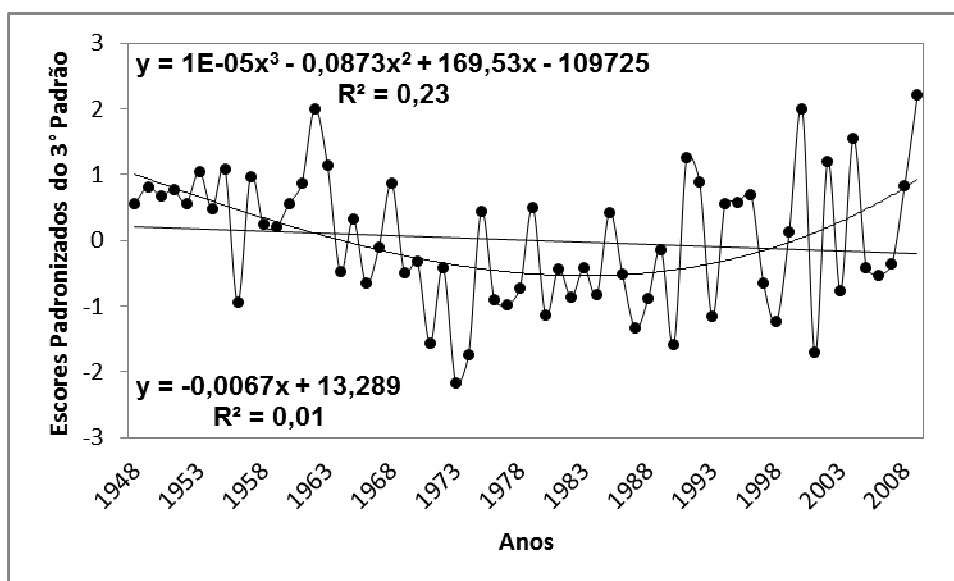
APÊNDICE II



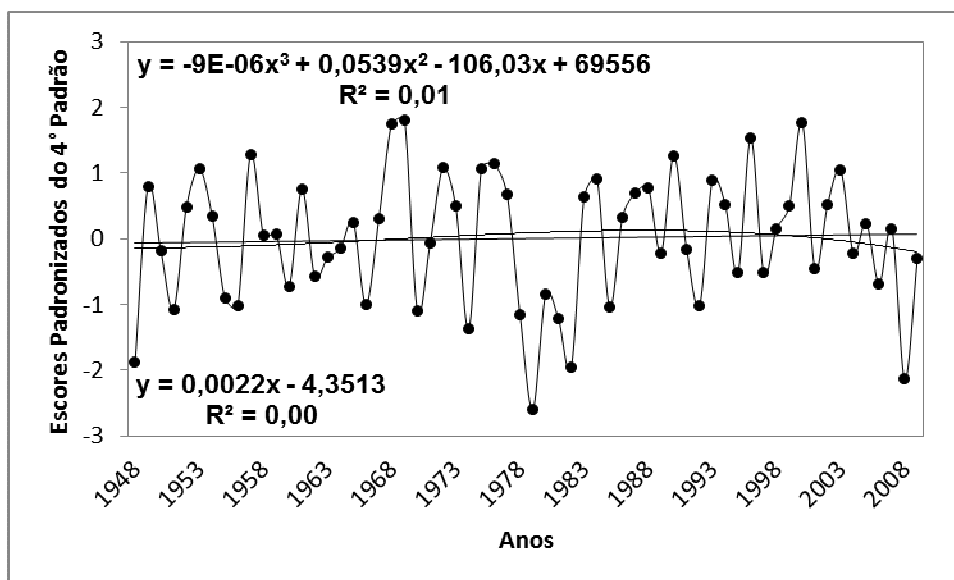
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de janeiro



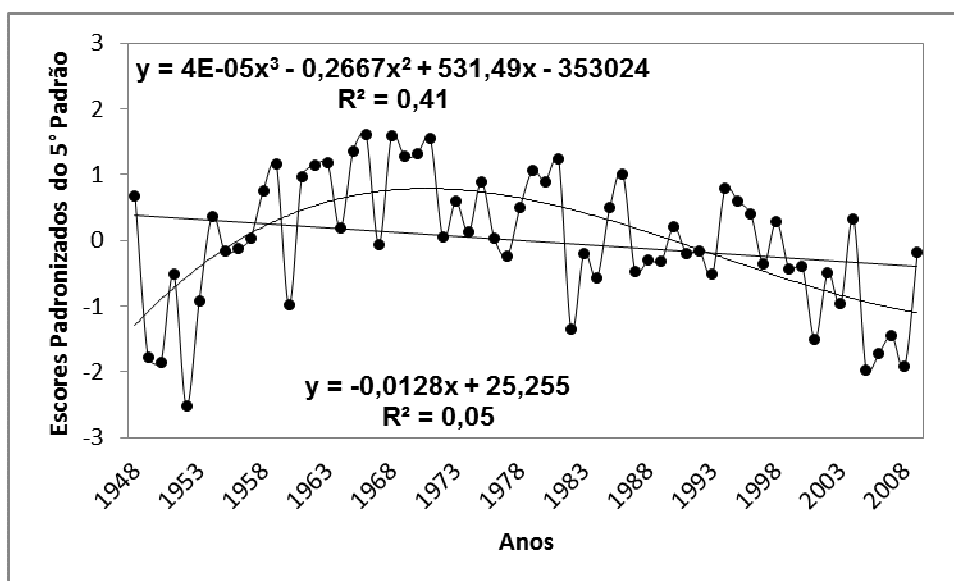
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de janeiro



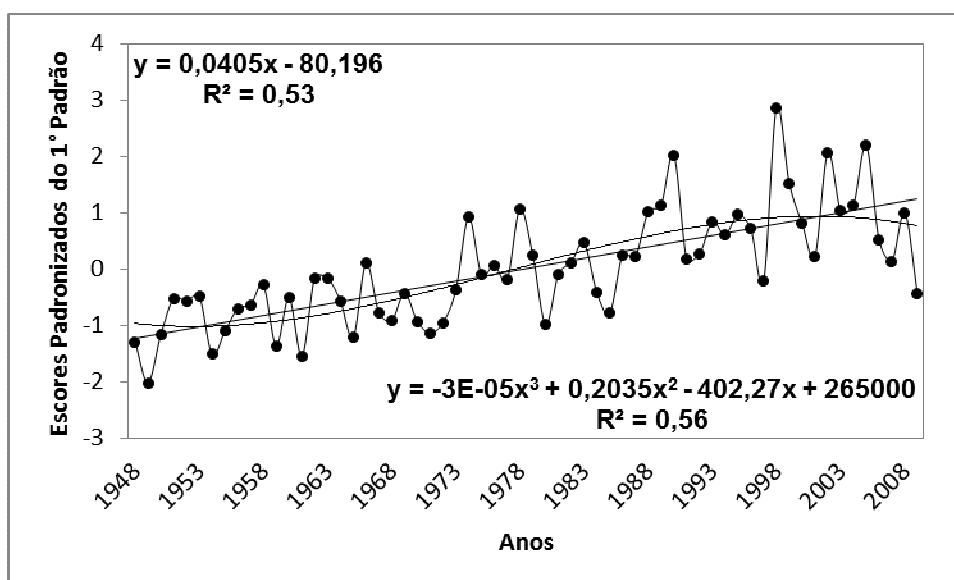
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de janeiro



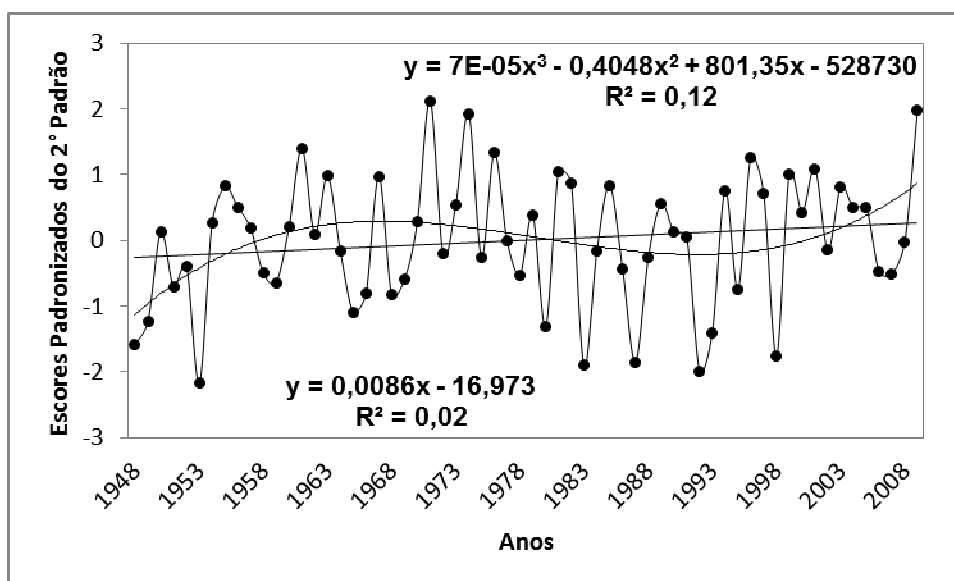
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de janeiro



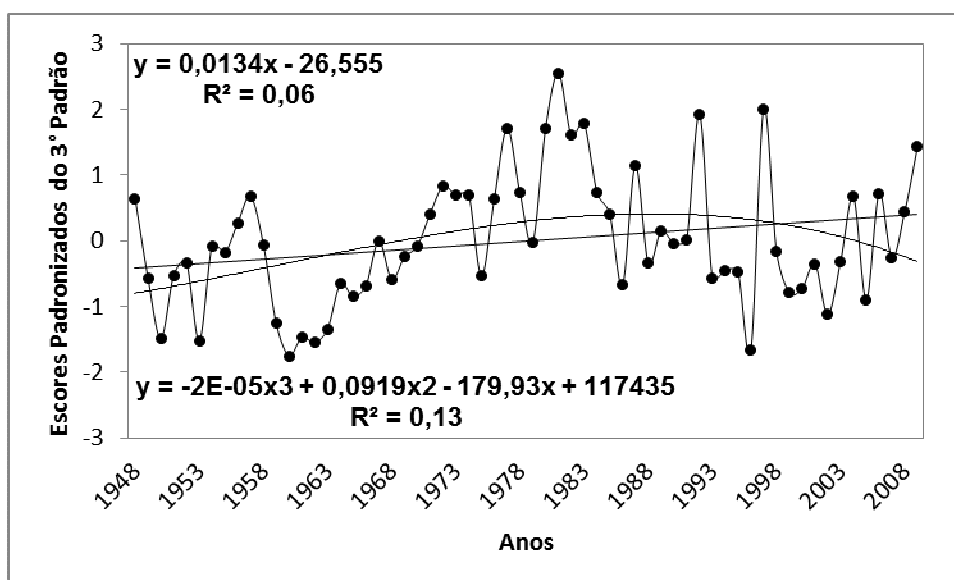
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de janeiro



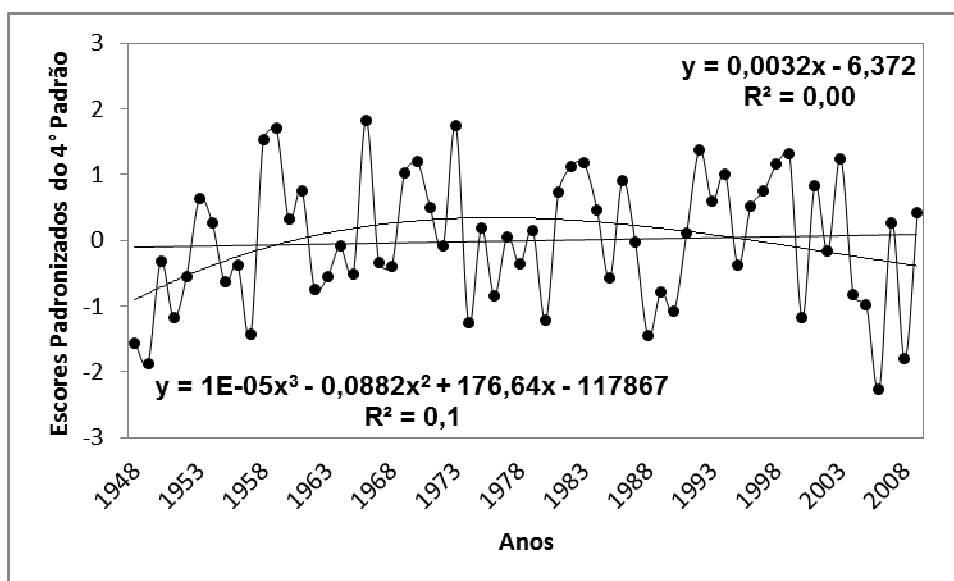
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de fevereiro



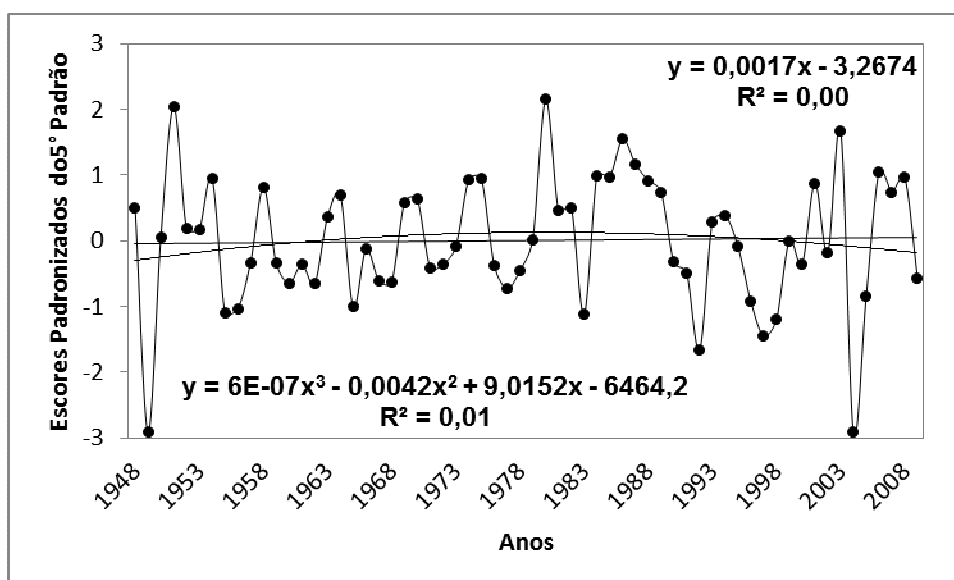
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de fevereiro



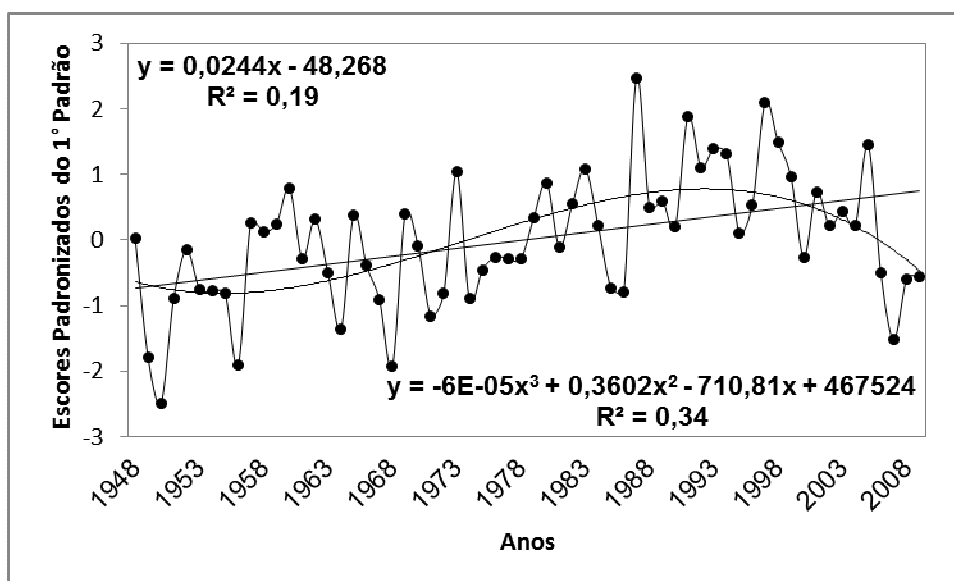
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de fevereiro



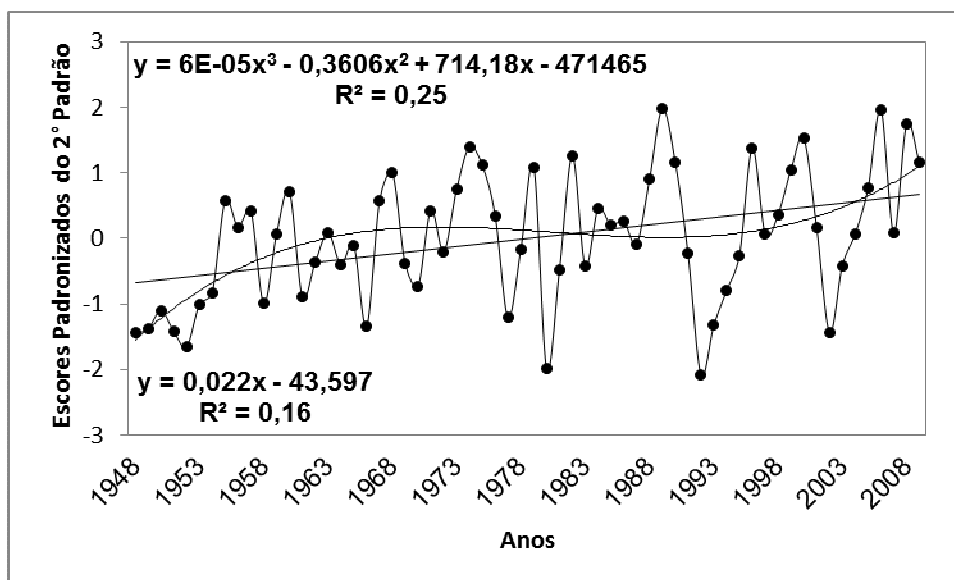
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de fevereiro



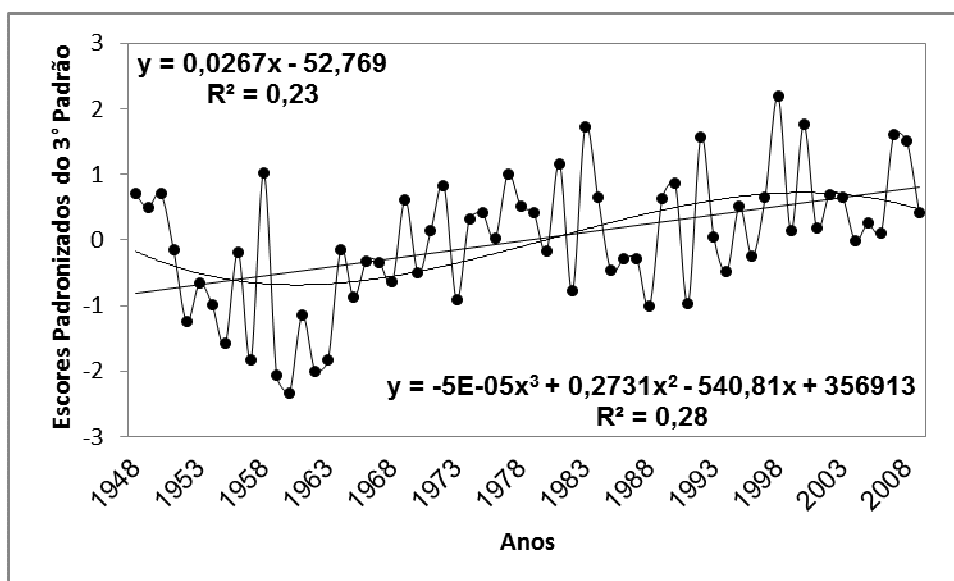
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de fevereiro



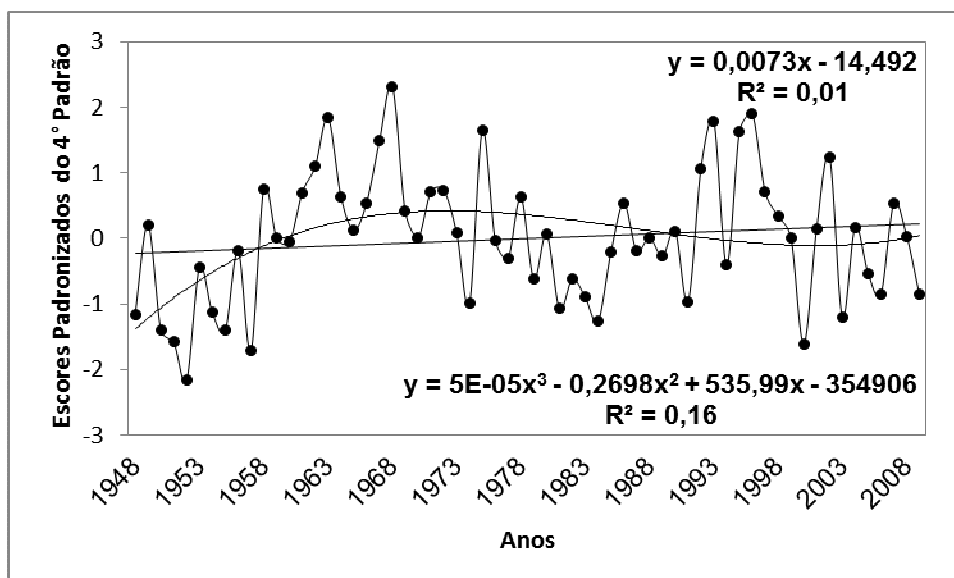
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de março



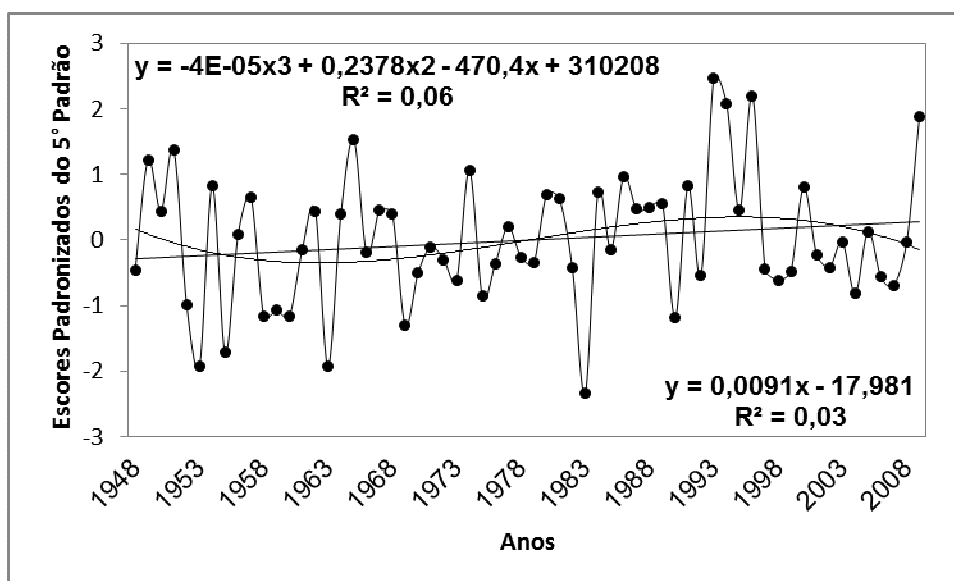
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de março



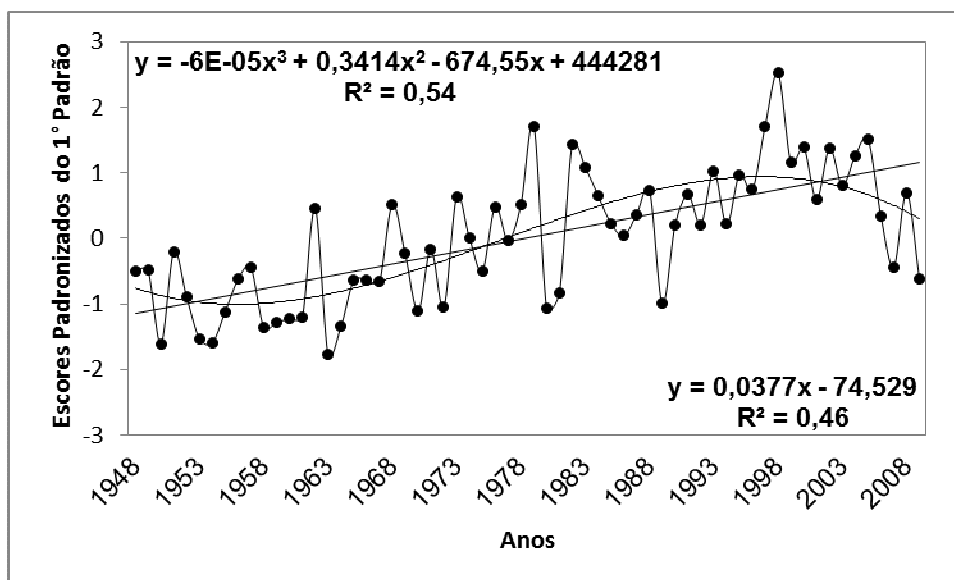
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de março



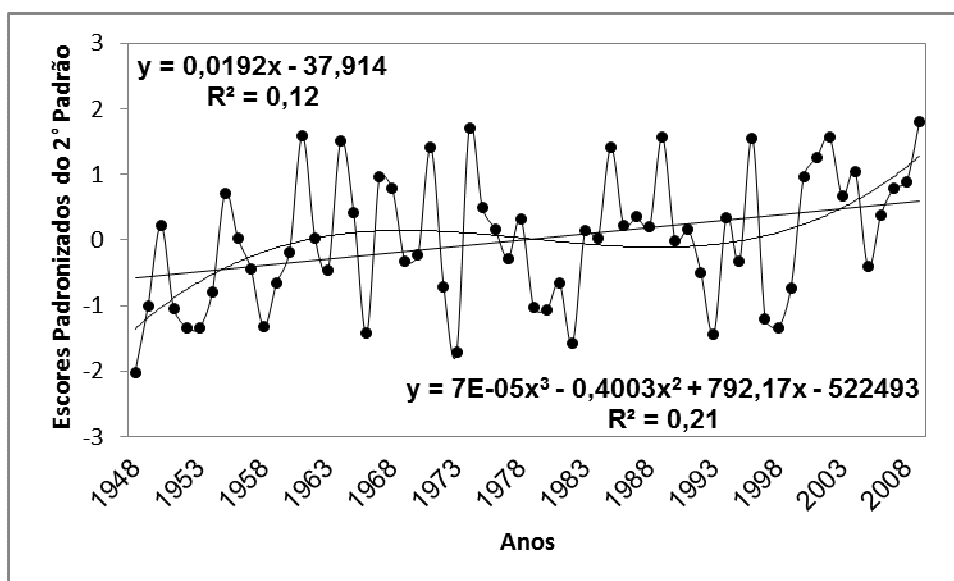
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de março



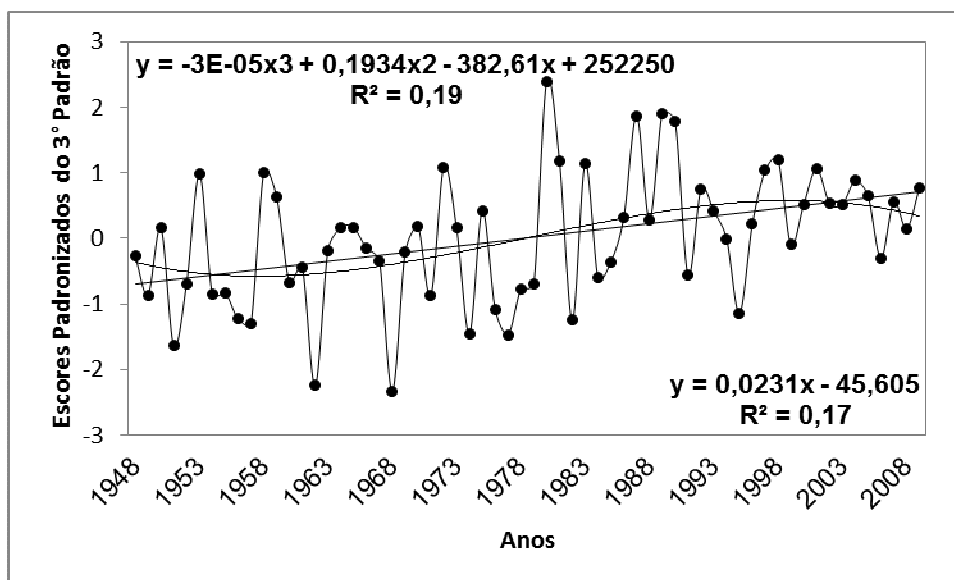
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de março



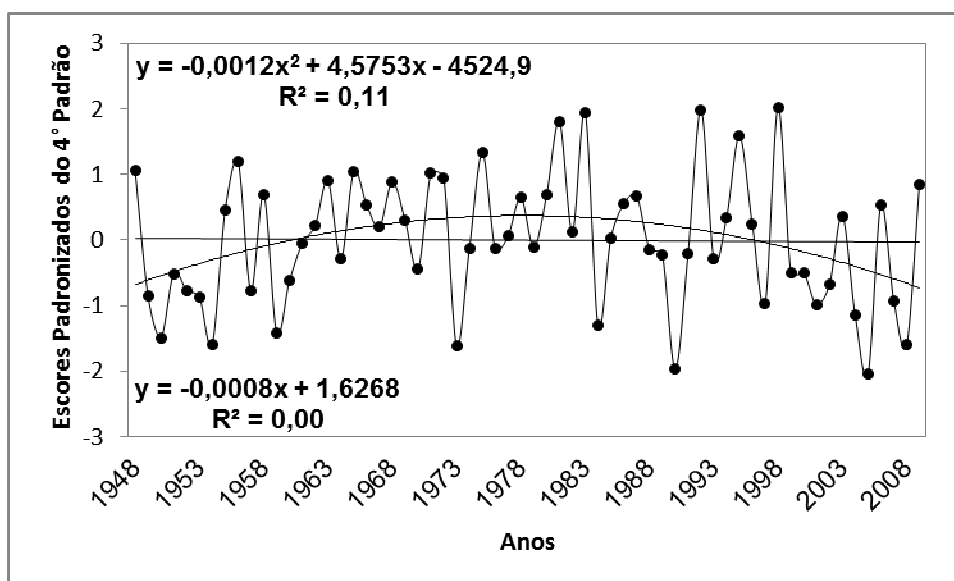
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de abril



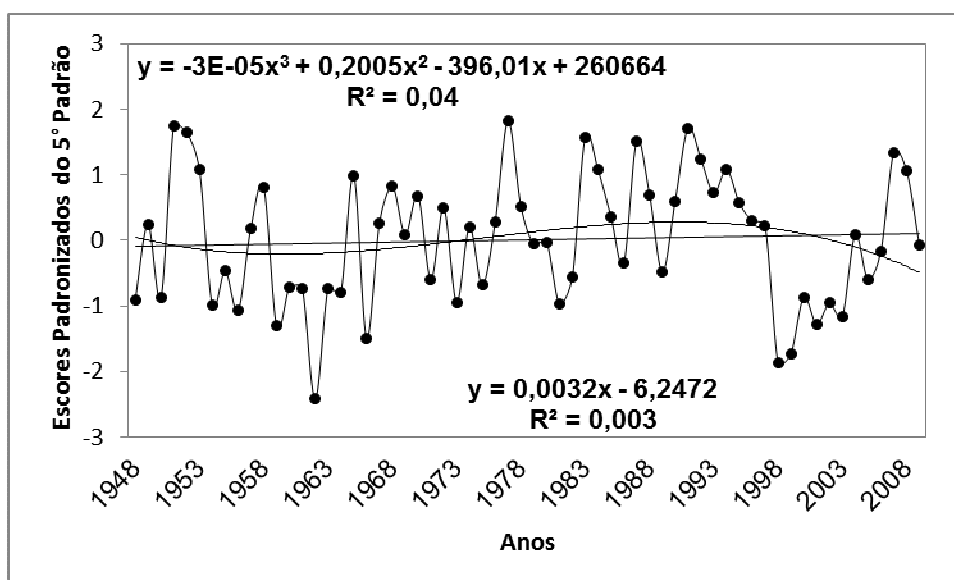
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de abril



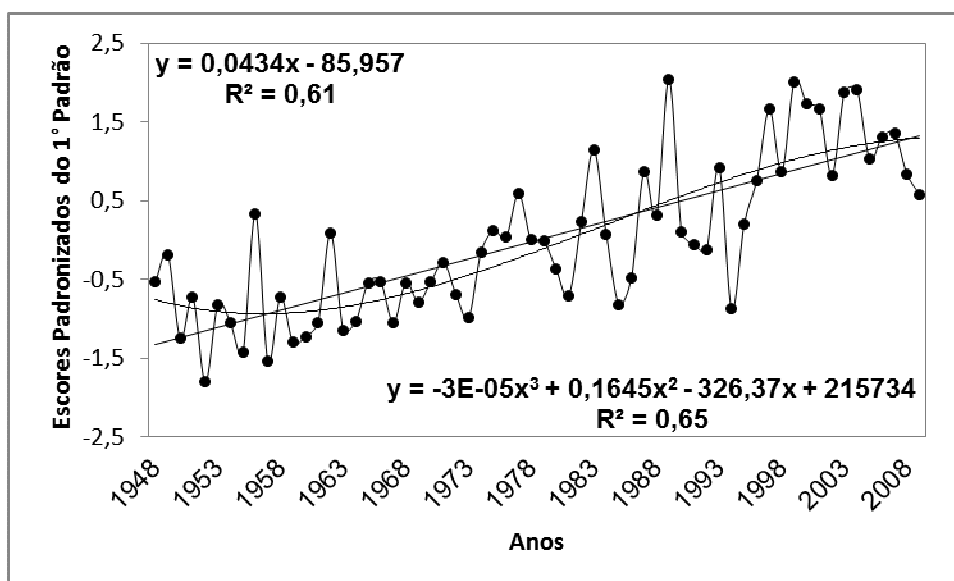
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de abril



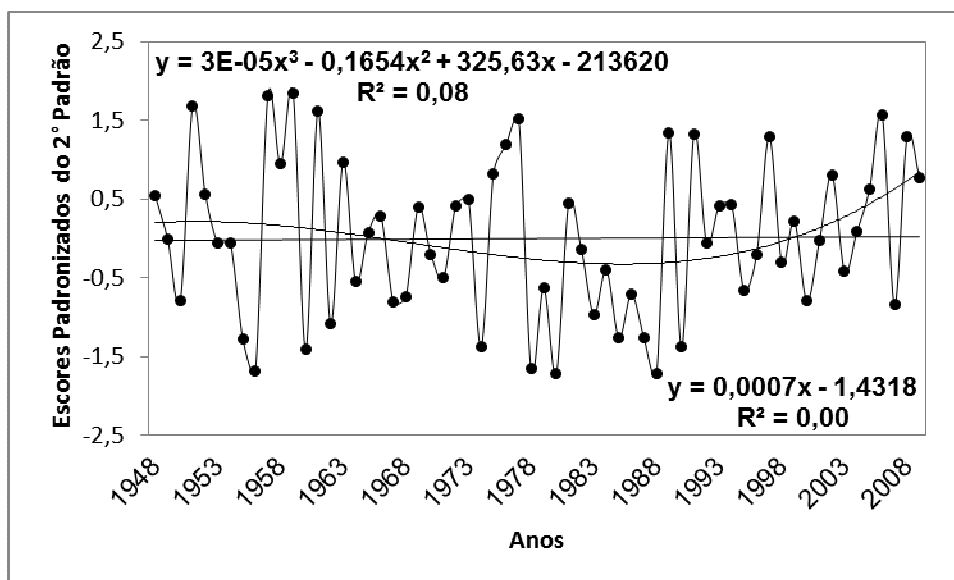
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de abril



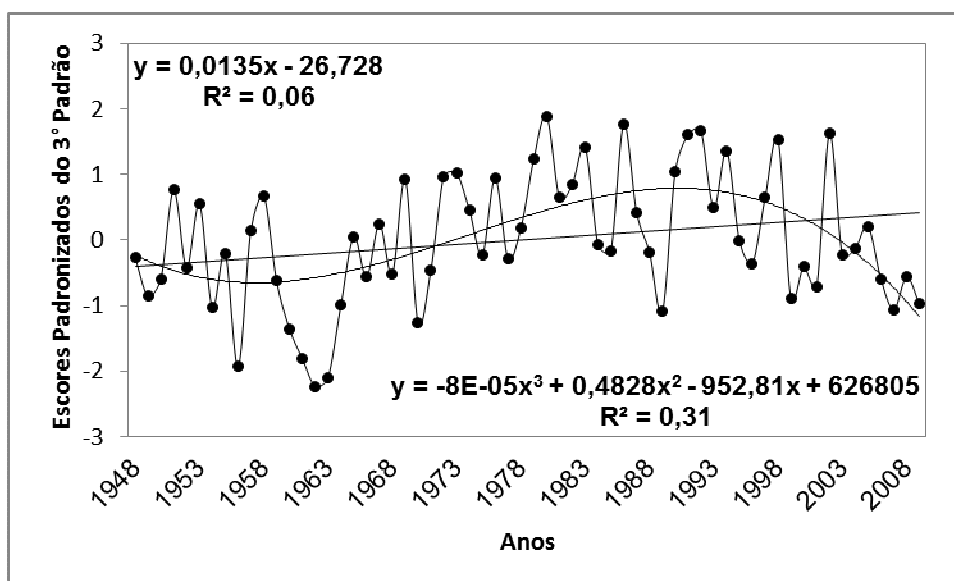
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de abril



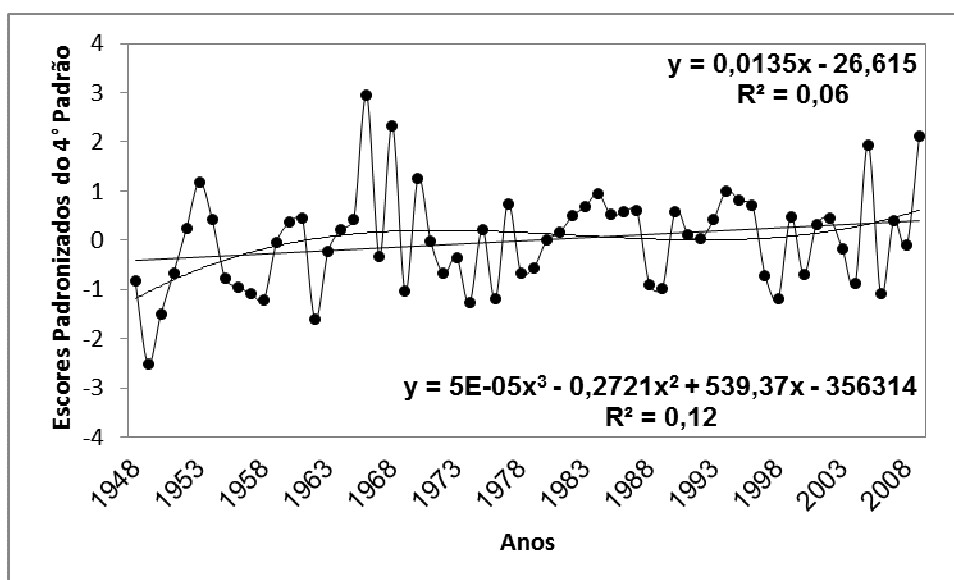
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de maio



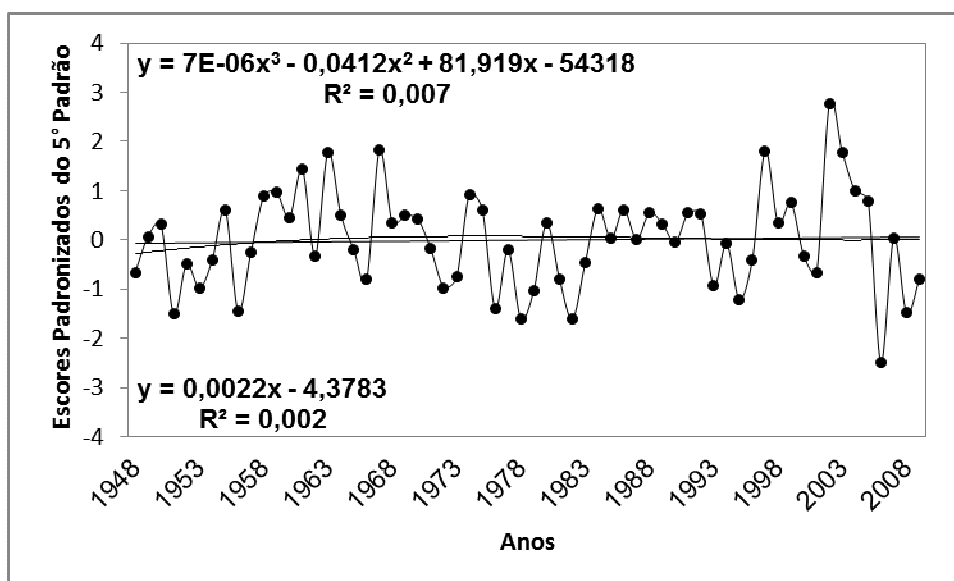
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de maio



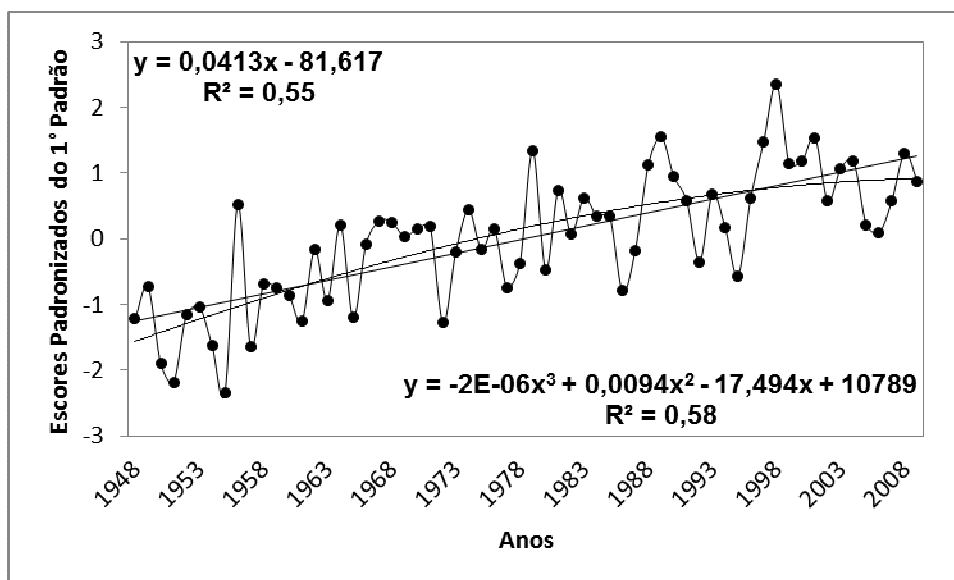
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de maio



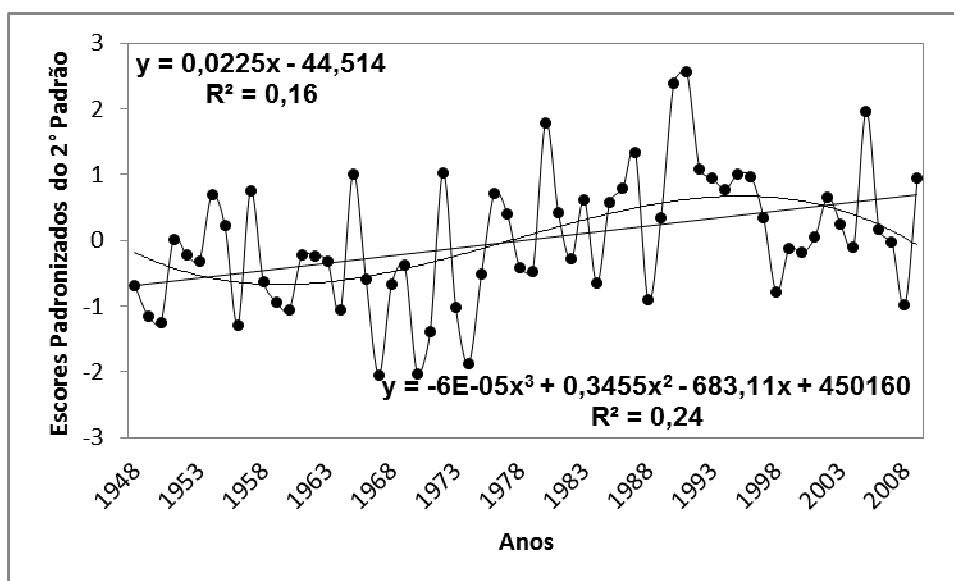
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de maio



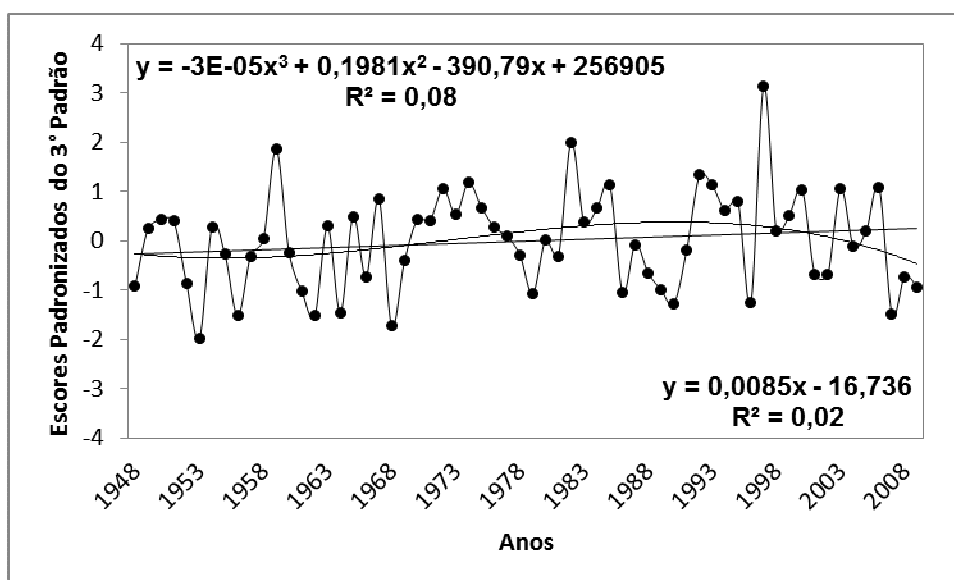
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de maio



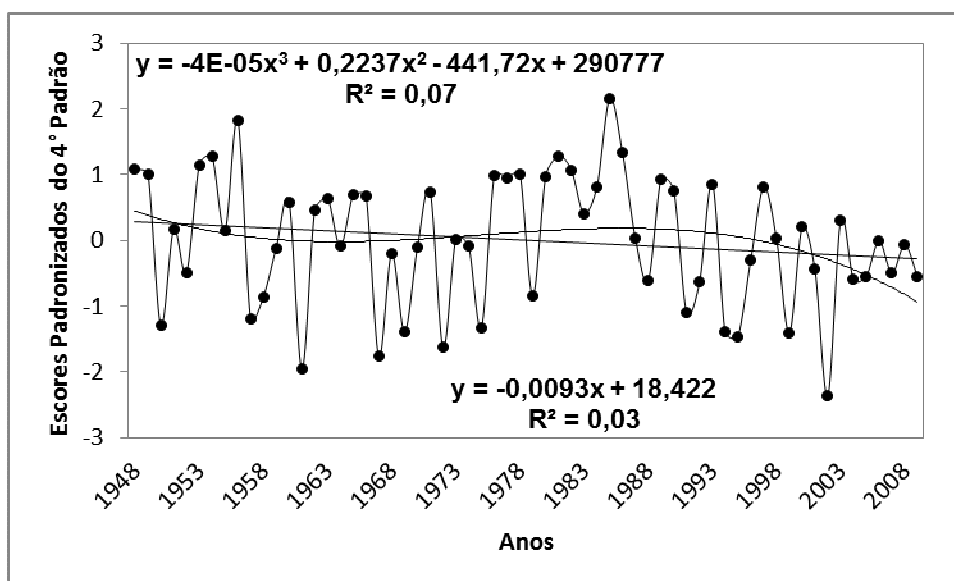
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de junho



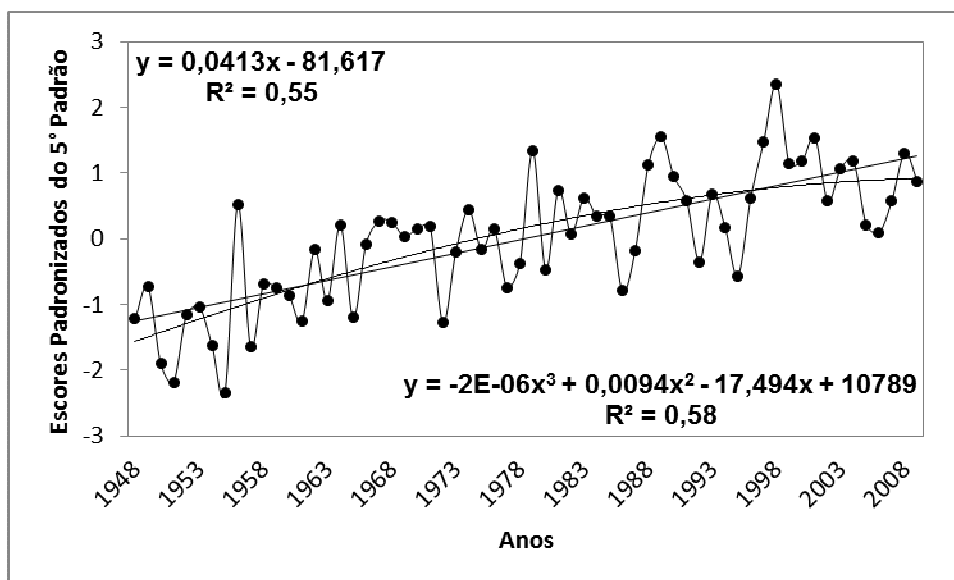
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de junho



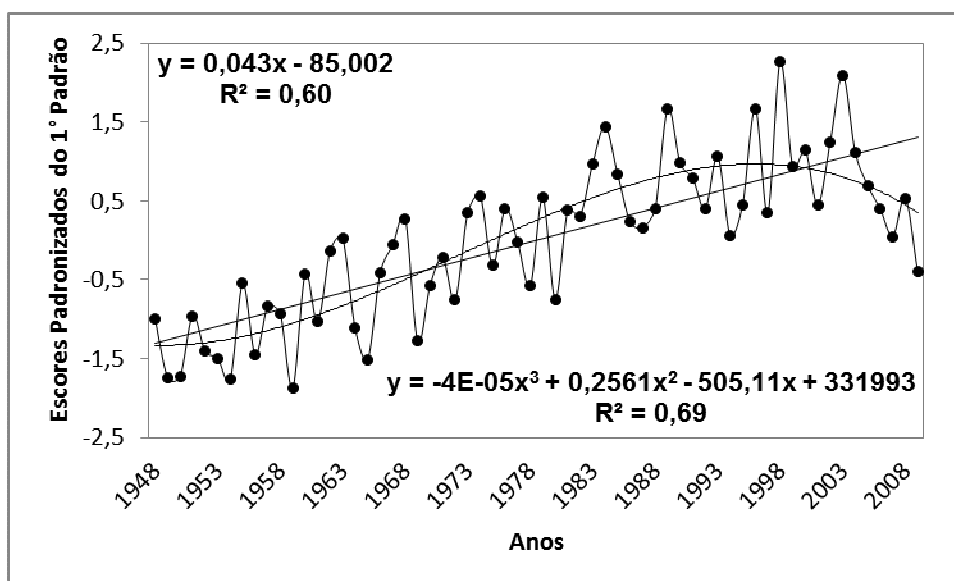
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de junho



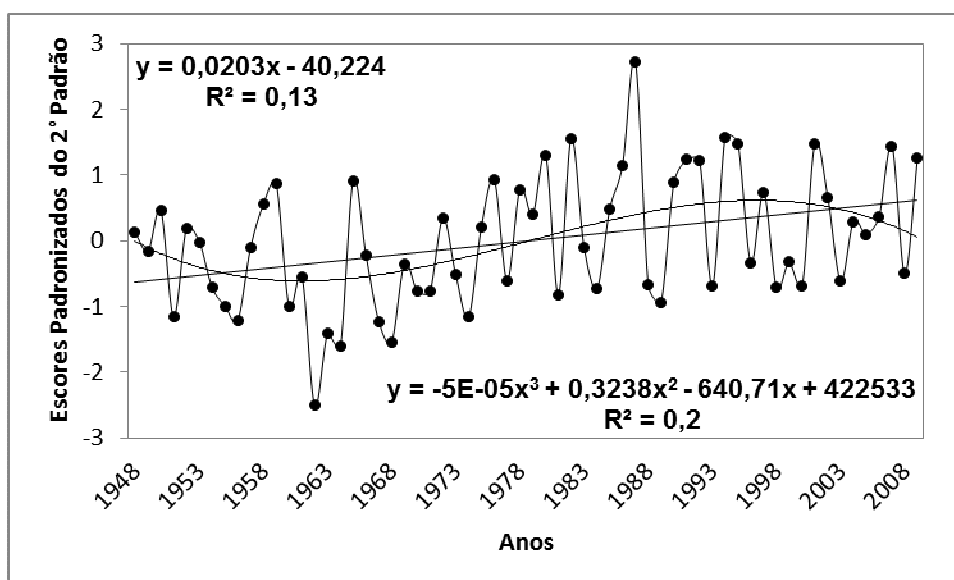
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de junho



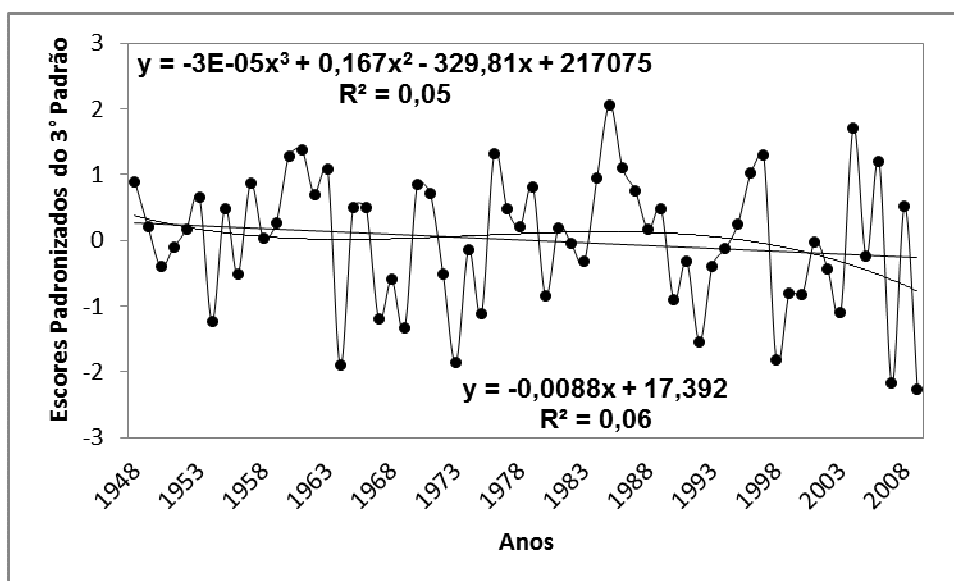
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de junho



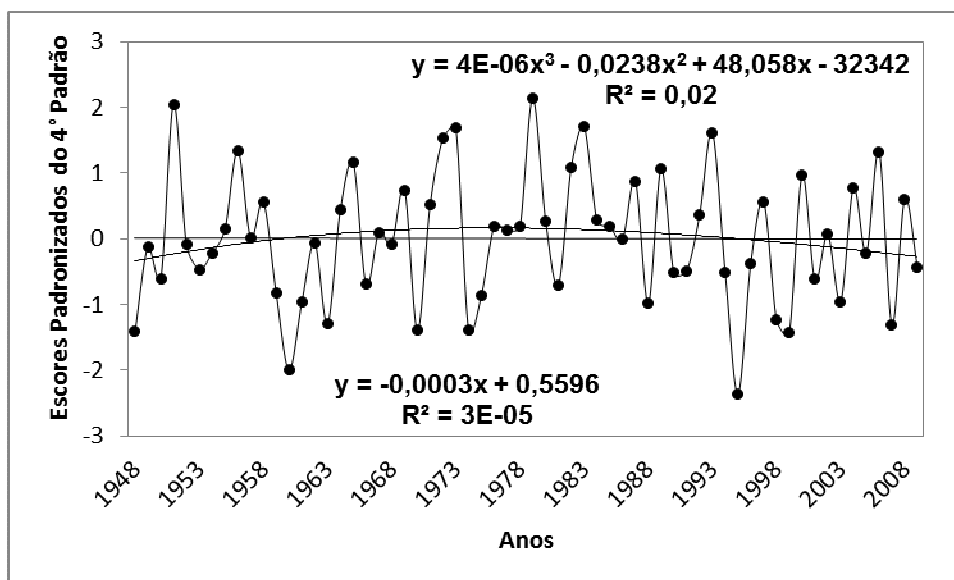
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de julho



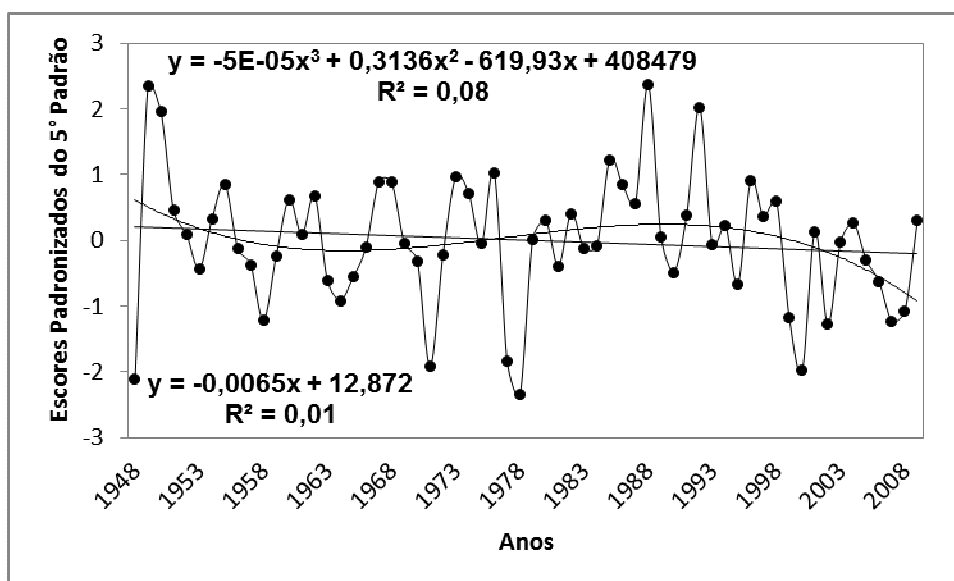
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de julho



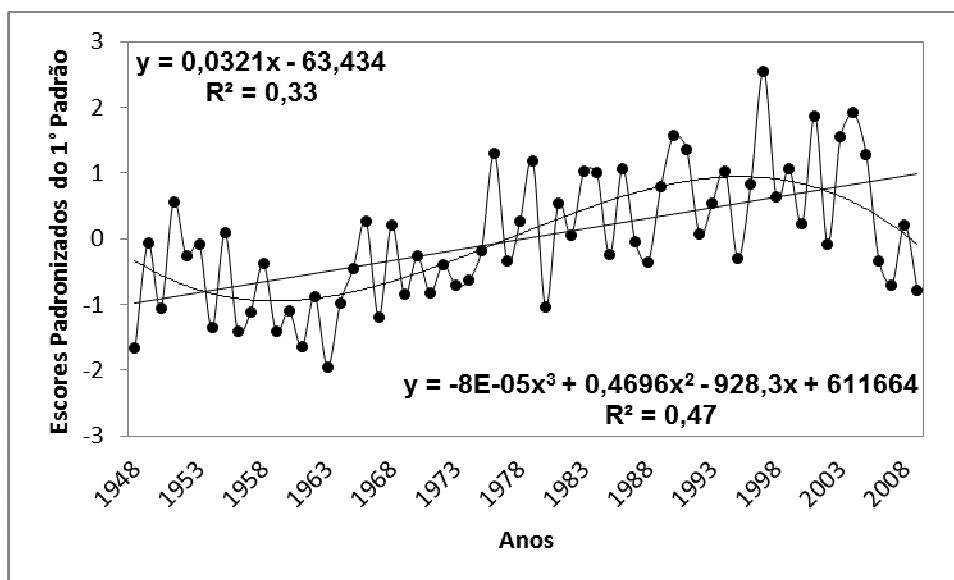
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de julho



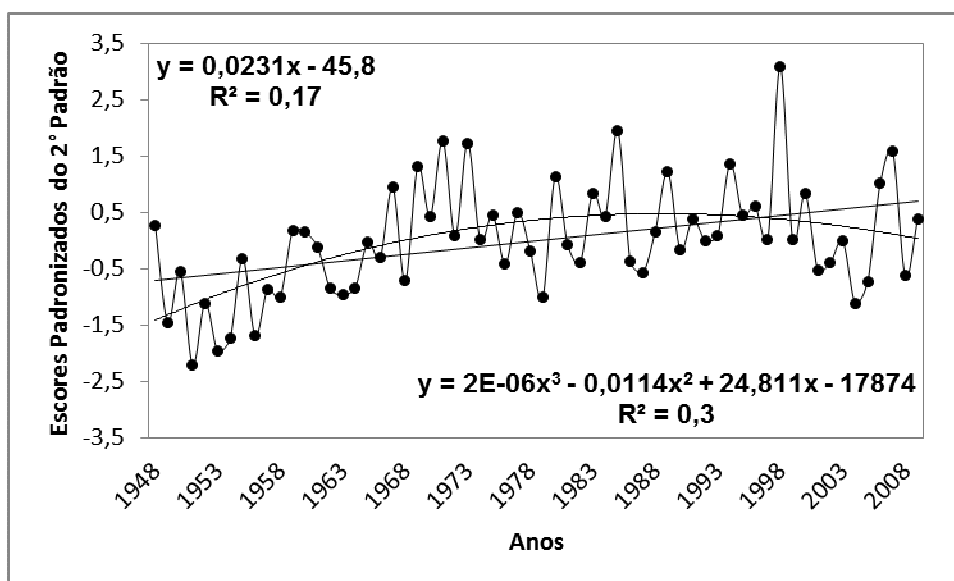
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de julho



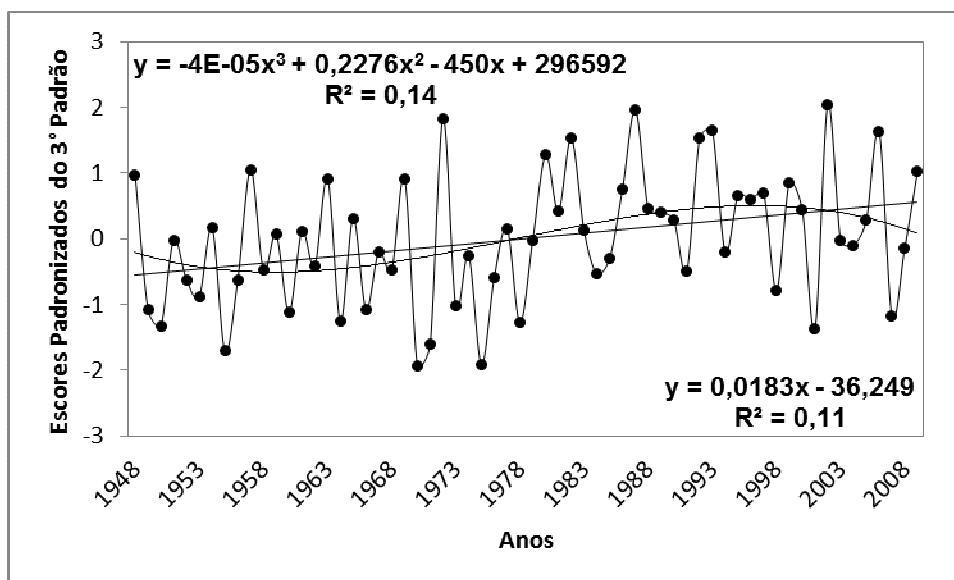
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de julho



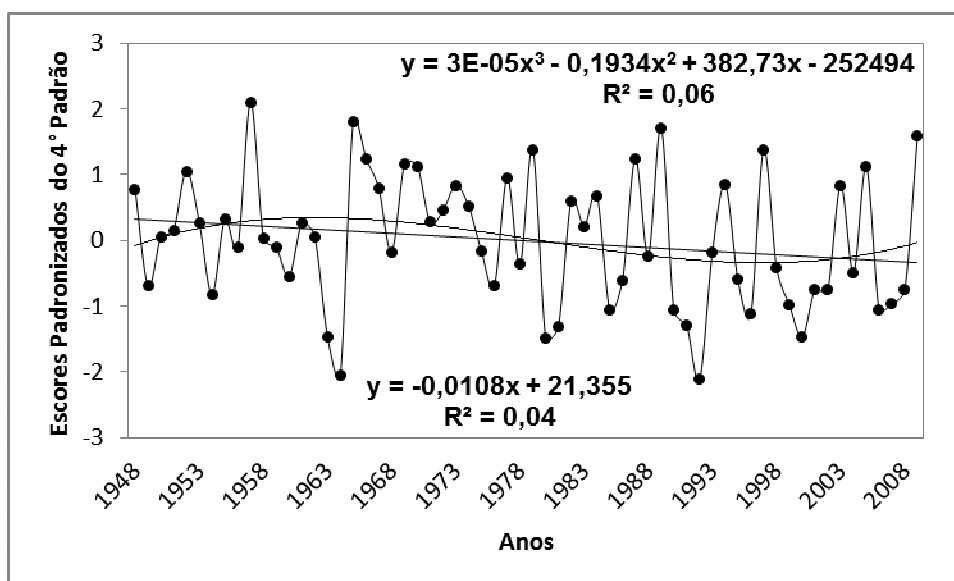
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de agosto



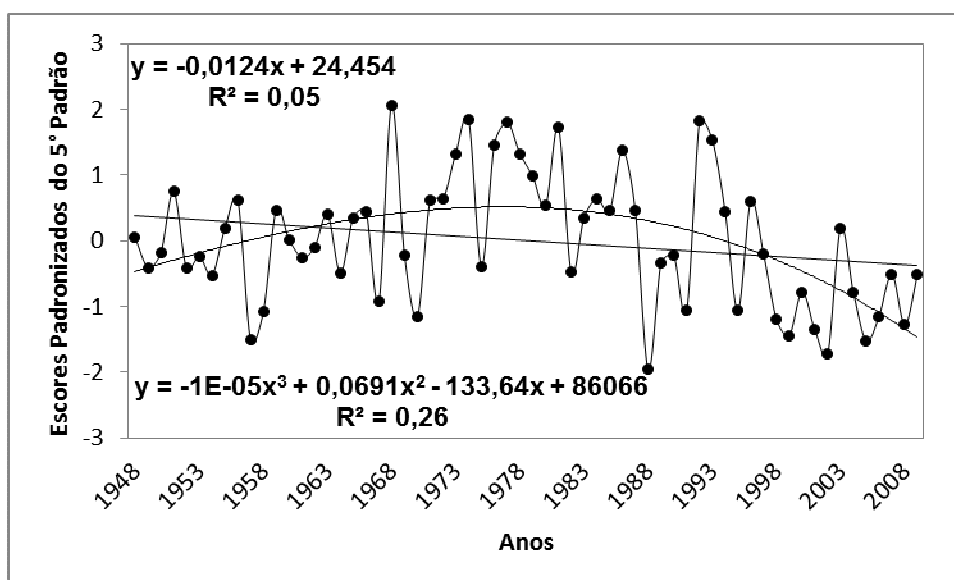
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de agosto



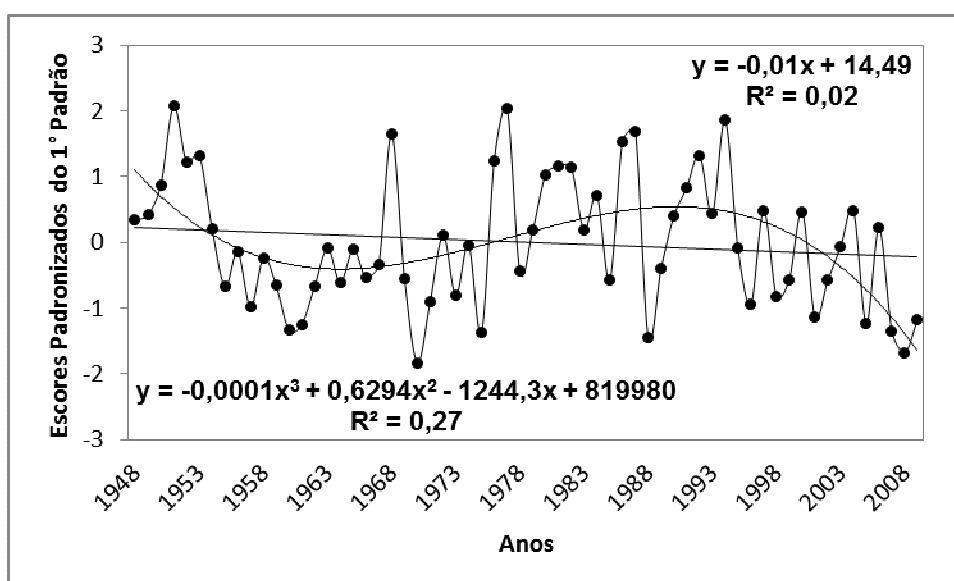
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de agosto



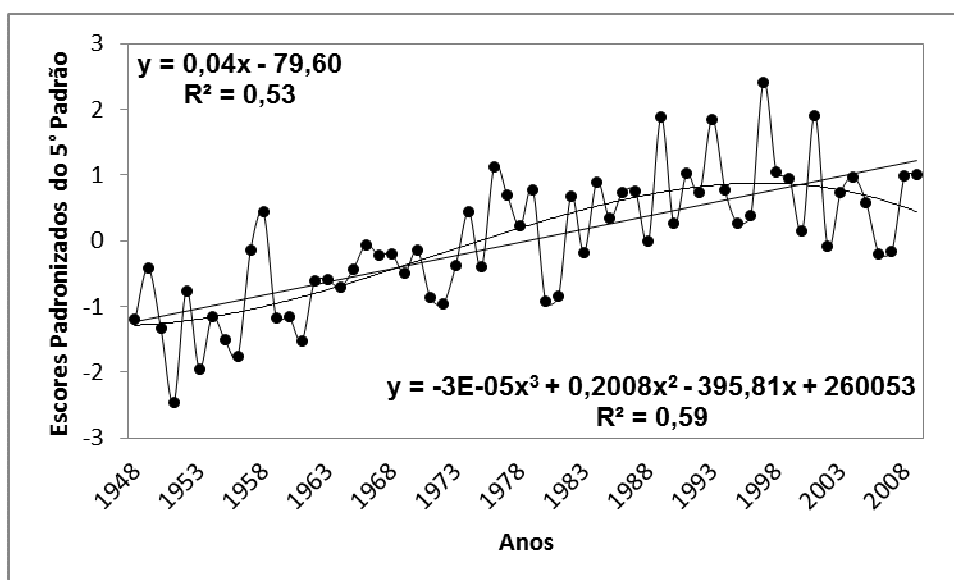
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de agosto



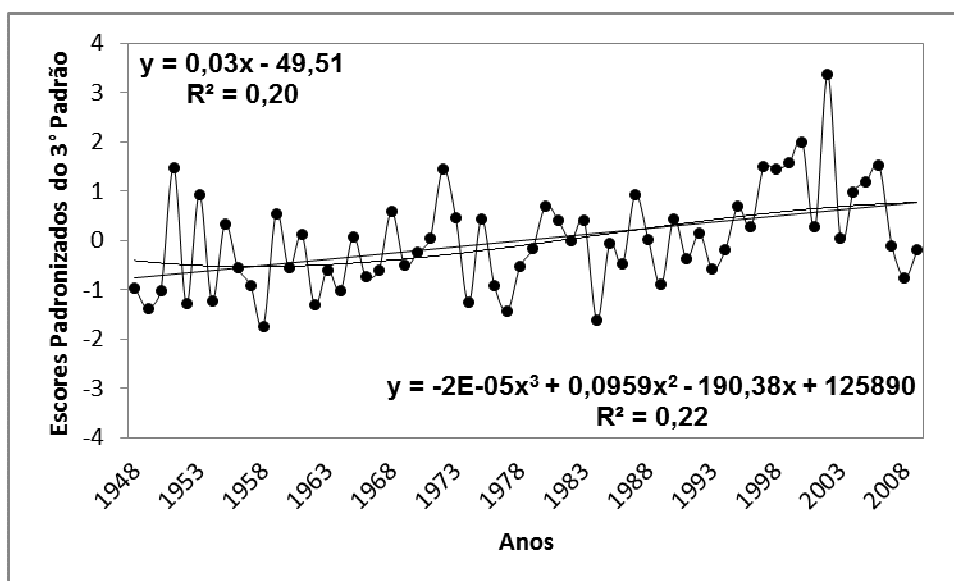
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de agosto



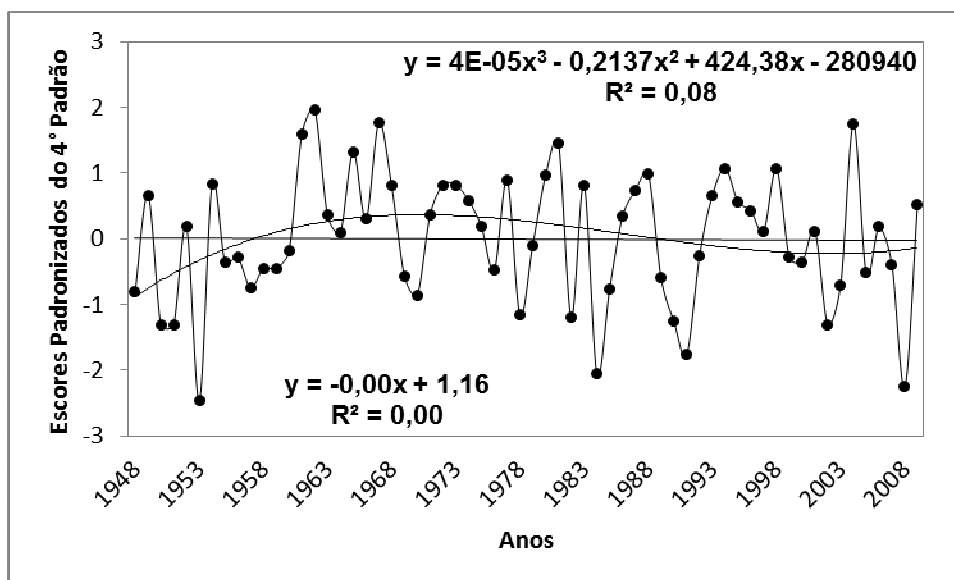
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de setembro



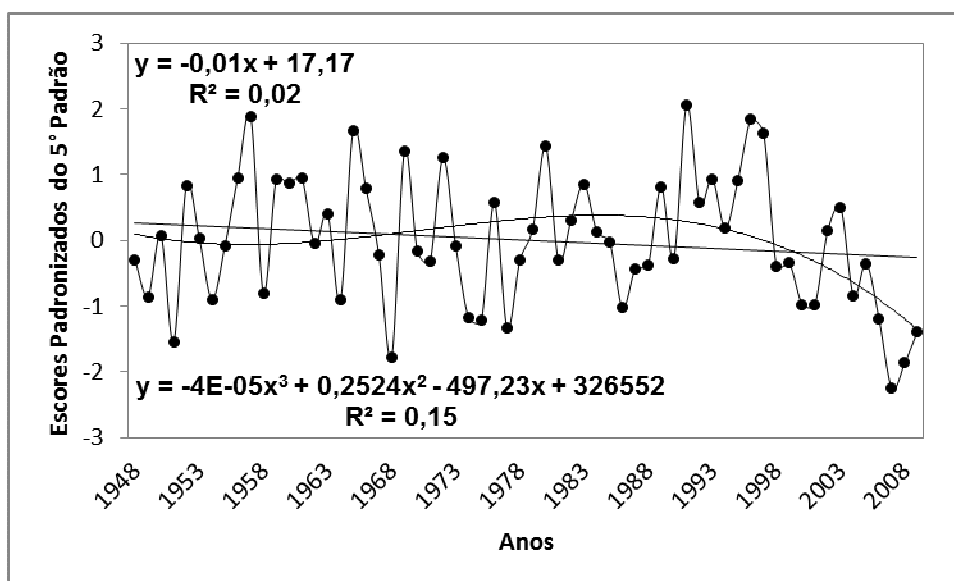
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de setembro



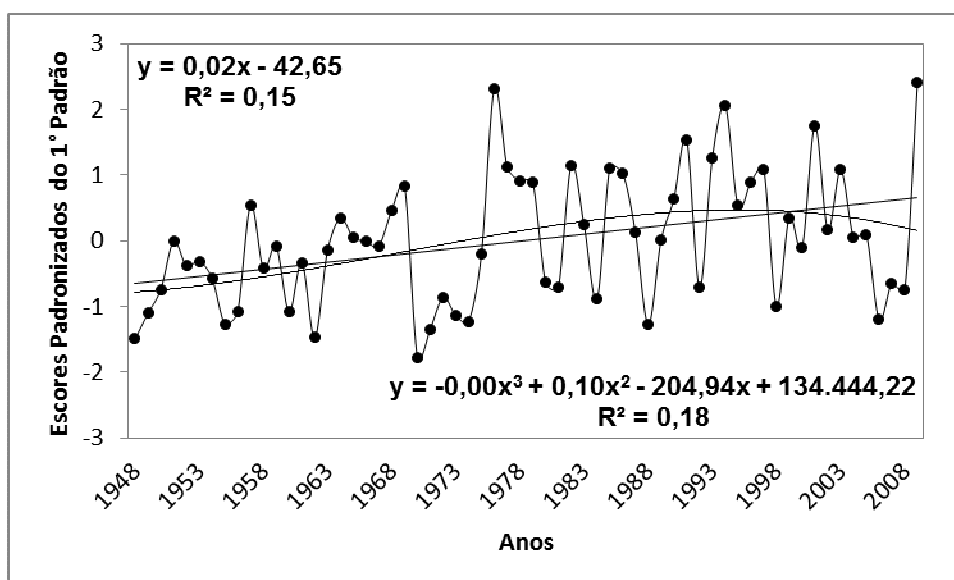
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de setembro



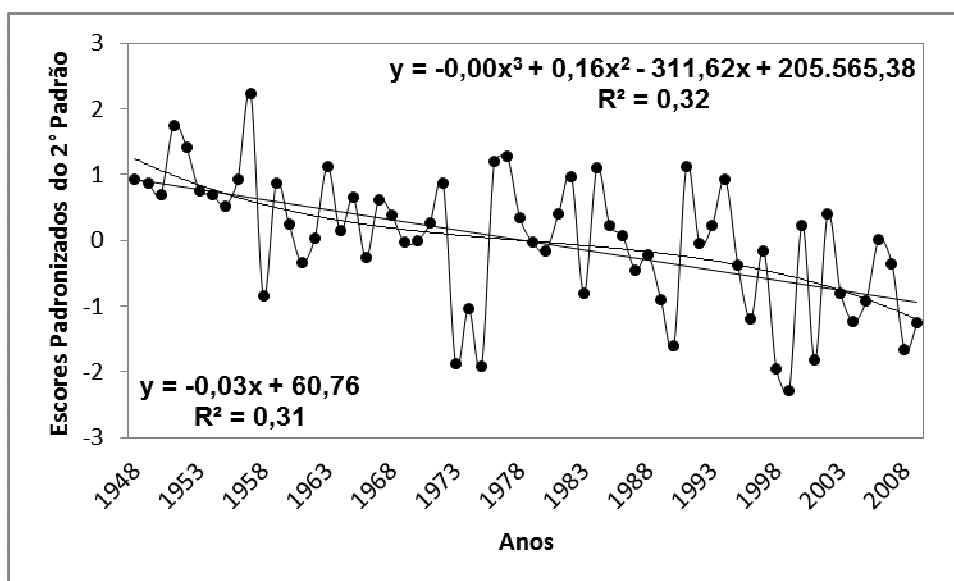
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de setembro



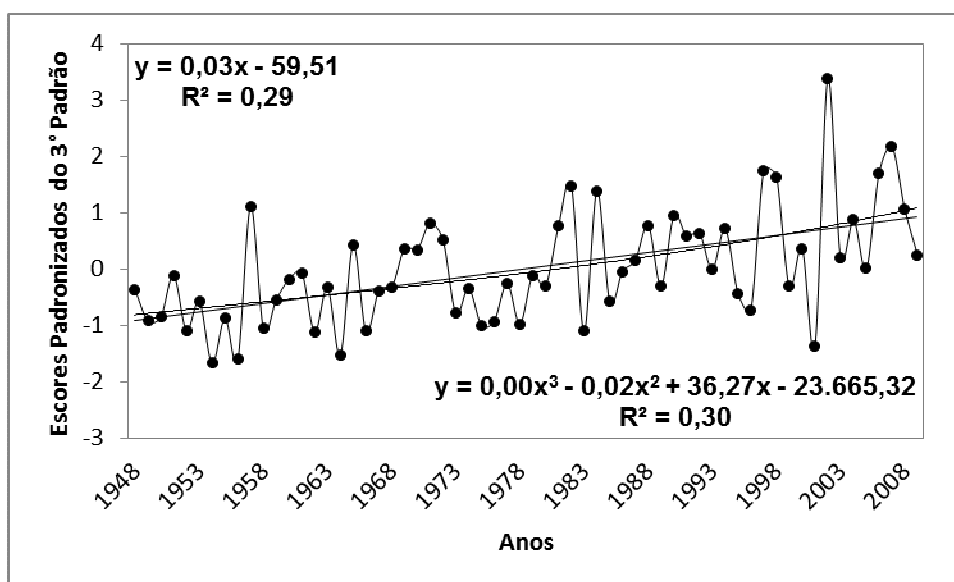
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de setembro



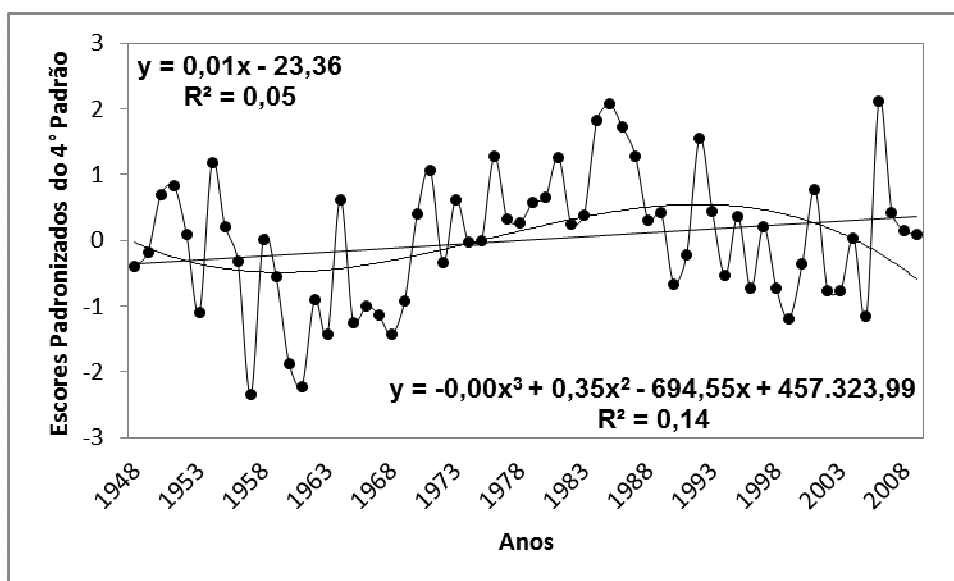
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de outubro



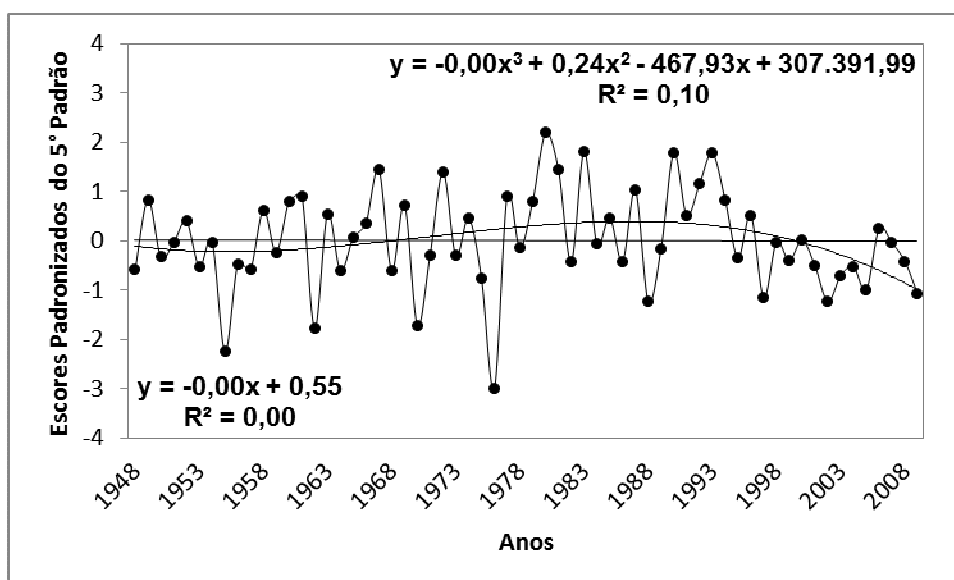
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de outubro



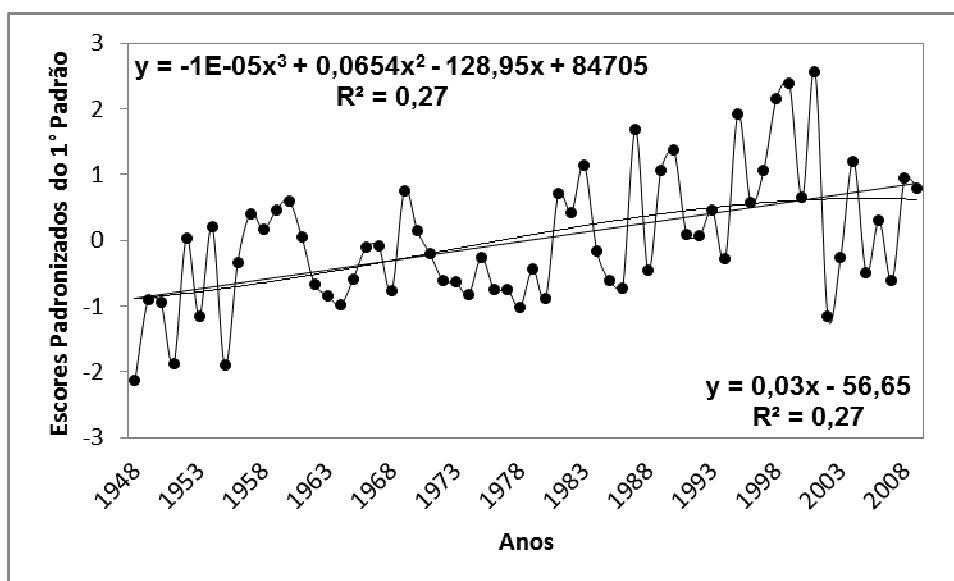
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de outubro



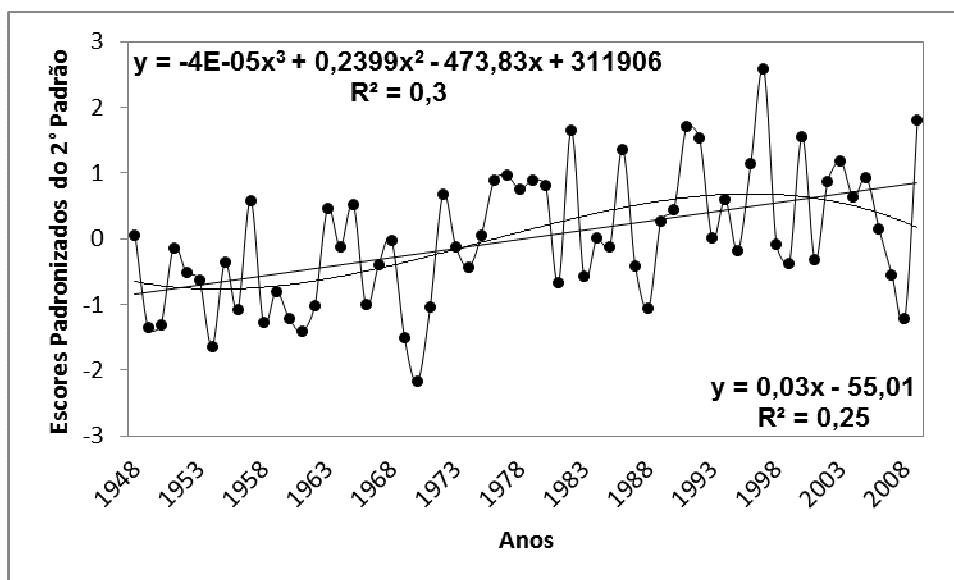
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de outubro



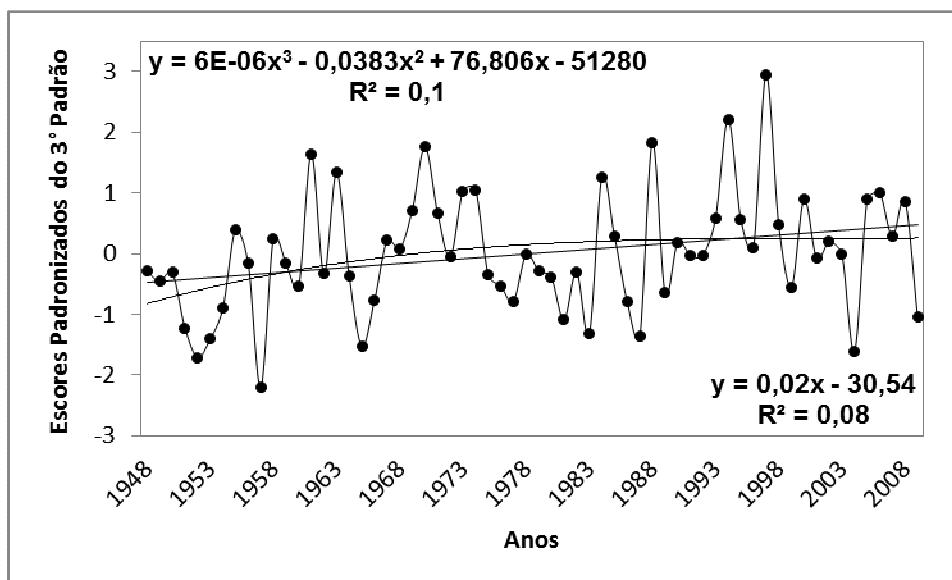
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de outubro



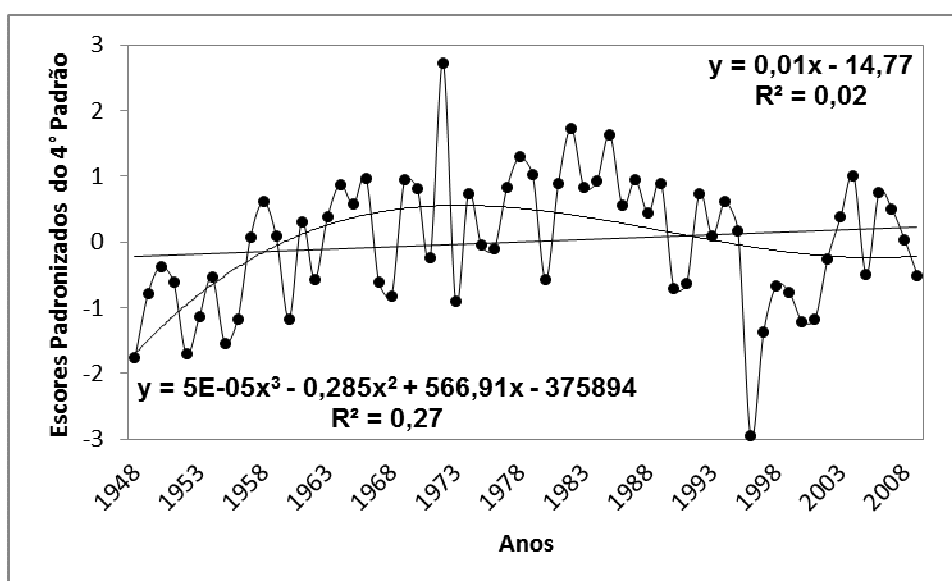
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de novembro



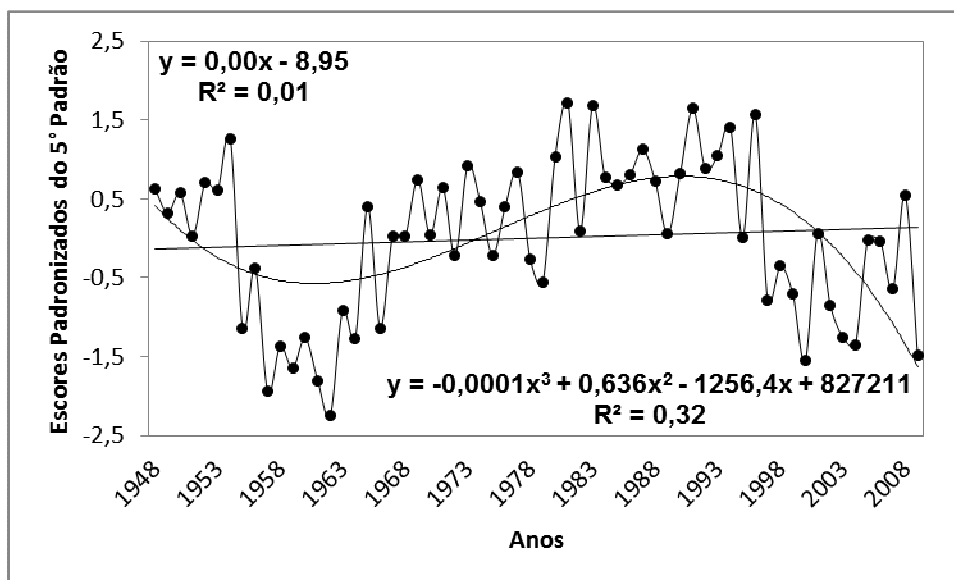
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de novembro



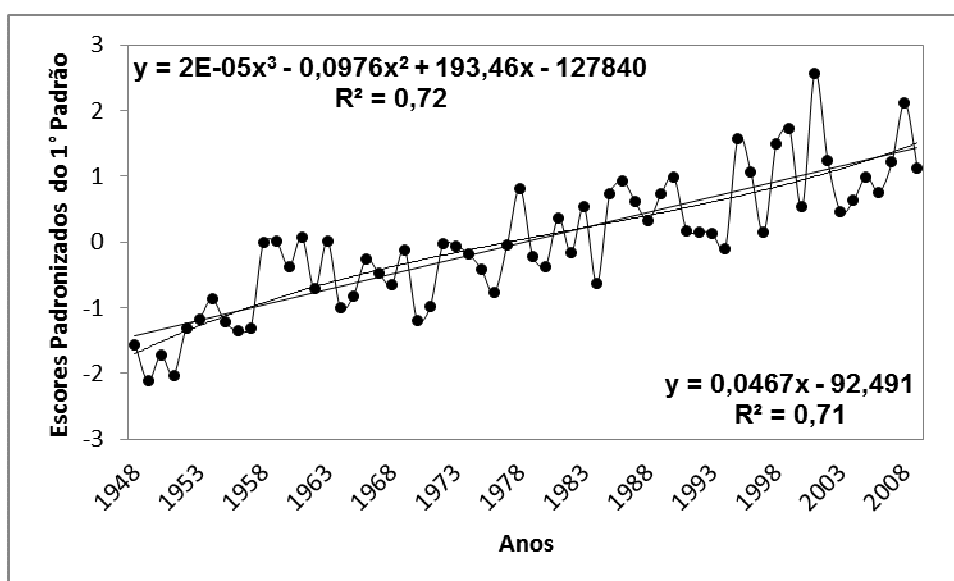
Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de novembro



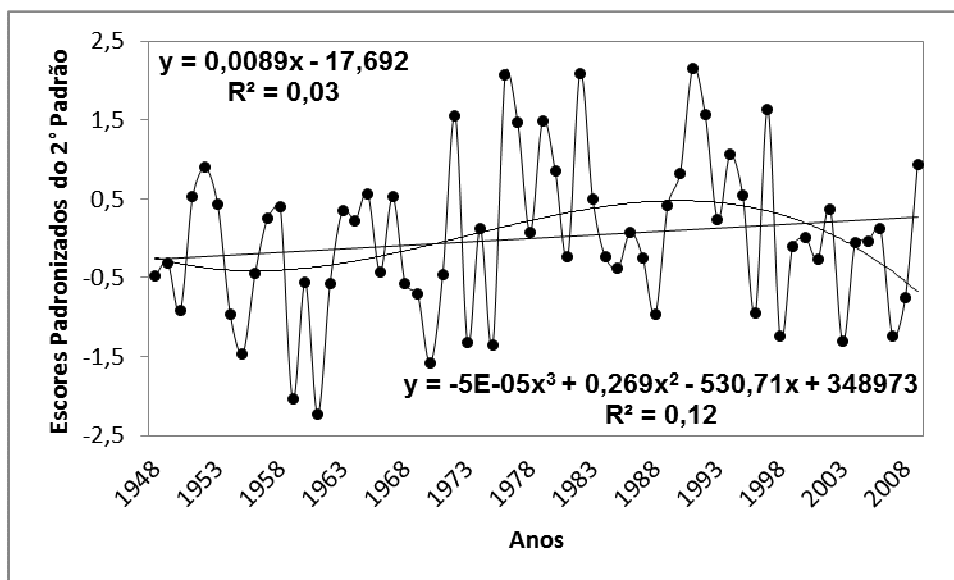
Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de novembro



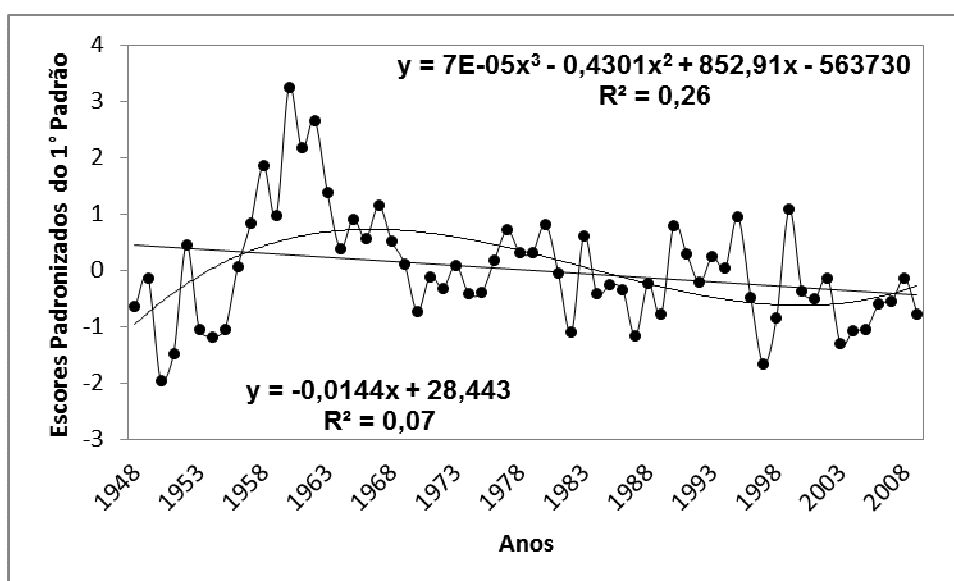
Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de novembro



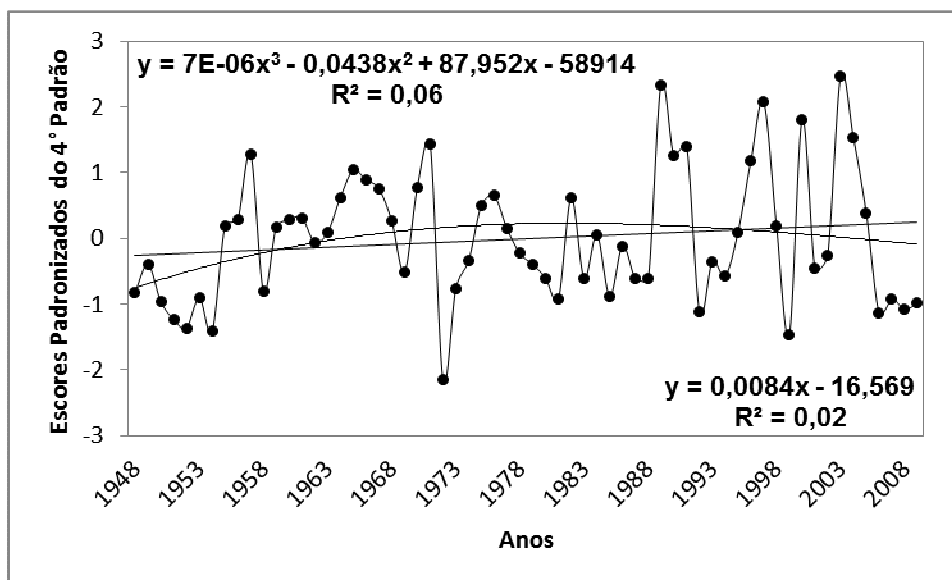
Escores do primeiro padrão de oscilação principal do mês de dezembro



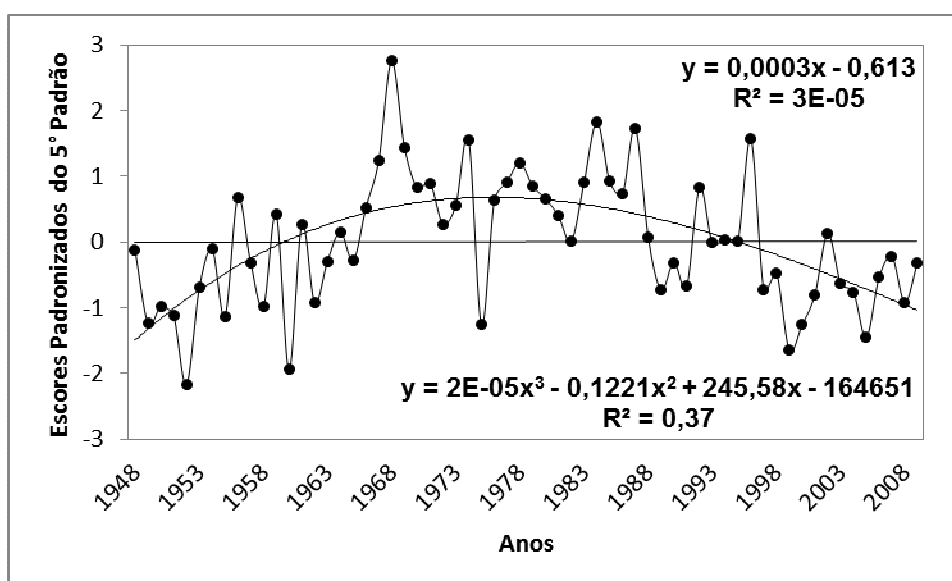
Escores do segundo padrão de oscilação principal do mês de dezembro



Escores do terceiro padrão de oscilação principal do mês de dezembro



Escores do quarto padrão de oscilação principal do mês de dezembro



Escores do quinto padrão de oscilação principal do mês de dezembro