

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



Dissertação

**Estudo das relações preditivas entre o Número de Dias de
Chuva e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para o
Rio Grande do Sul**

Graciela Redies Fischer

Pelotas, 2007

GRACIELA REDIES FISCHER

**Estudo das relações preditivas entre o Número de Dias de Chuva e a
Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para o Rio Grande do Sul**

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

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz

Co-orientador: Prof. Dr. Julio Renato Quevedo Marques

Pelotas, 2007

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz (Presidente)

Prof. Dr. Julio Renato Q. Marques (UFPel)

Dr. Francisco Mandelli (EMBRAPA)

Prof. Dr. Jonas da Costa Carvalho (UFPel)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por dar-me forças, saúde e sabedoria e também por ter sempre iluminado meu caminho.

Aos meus pais e ao Márcio, pelo carinho, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz, pela orientação, dedicação, amizade e apoio constante durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Julio Renato Quevedo Marques, pela co-orientação, atenção, disposição e grande ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso, pela dedicação, apoio e amizade.

Aos colegas, pelo estímulo, amizade e colaboração prestada durante o curso.

E todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

FISCHER, Graciela Redies. **Estudo das relações preditivas entre o Número de Dias de Chuva e a Temperatura da superfície do mar (TSM) para o Rio Grande do Sul**. Fevereiro de 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

A precipitação pluvial, medida em estações meteorológicas, nem sempre é um bom parâmetro para avaliar-se a disponibilidade hídrica em determinado período. Os totais da precipitação pluvial correspondem a todo o período considerado, não sendo levado em conta se foram bem ou mal distribuídos. Com o Número de Dias de Chuva, tem-se uma idéia da intensidade da precipitação pluvial, pois ao se analisar o mesmo total de chuva, em intervalos de tempo distintos, obtém-se qual a intensidade, bem como a variabilidade quantitativa da mesma. Conhecer e poder prever grandezas meteorológicas tem sido objeto de estudo de pesquisadores de todo globo: os prognósticos devem contemplar tanto a escala temporal quanto a espacial. Partindo da hipótese de que as escalas dos modelos de previsão de longo prazo, atualmente existentes, não contemplam as diversidades climáticas regionais do Estado do Rio Grande do Sul e que estudos regionalizados podem melhorar as informações demandadas pela sociedade, este trabalho teve como objetivo principal determinar as relações preditivas entre o Número de Dias de Chuva (NDC) de algumas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul e as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM). Nesta pesquisa foram usados dois conjuntos de dados: o primeiro formado por dados mensais de Número de Dias de Chuva de 17 estações meteorológicas do Estado, para o período de 1982 a 2005; o segundo, composto por dados de Temperatura da Superfície do Mar, para o período de 1982 a 2005. A série foi dividida em dois períodos: o dependente, compreendendo o intervalo de 1982 a 2002, para determinação das equações preditivas, bem como os coeficientes de

regressão, e o período independente, cujo intervalo foi de 2003 a 2005, para validação do modelo. Os dados de TSM foram utilizados para, através das equações de regressão, estabelecer as relações entre as variáveis. Depois de estabelecidas as equações, foram calculados os valores previstos de NDC, e então comparados com valores observados, a fim de se verificar a eficiência do modelo. Para todas as regiões e para os meses analisados, obtiveram-se bons resultados na previsão de NDC. A série de dados prevista e a observada seguem um mesmo padrão de distribuição desta variável, embora existam alguns valores previstos que apresentam diferenças dos observados, essas não são significativas. No período independente, a série prevista mostra as maiores diferenças em relação aos valores observados. A região em que o modelo apresenta melhor destreza é a região ecoclimática da Campanha (R9) e o mês de melhor previsão é julho.

Palavras-chave: Previsão Climática. Número de Dias de Chuva. Temperatura da Superfície do Mar. Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

Fischer, Graciela Redies. **The study of predicted relations between Number of Rainfall Days and the Sea Surface Temperature (SST) for Rio Grande do Sul.** Fevereiro de 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A pluvial precipitation measured in meteorologic stations, is not always a good parameter to evaluate the hydric availability in a determined period. The total pluvial precipitation corresponds the whole period considered, not taking into account if they were distributed well or badly. With the Number of Rainfall Days, there is an idea of the intensity of the pluvial precipitation, as analysing the same total of rain in intervals of distinct time, obtaining the intensity as well as the quantitative variability of the same. To know and be able to predict grandeur meteorologics has been the purpose of researchers in the whole world. The forecast must contemplate the temporal scale as much as the spatial. Starting from the theory that the scales of model prediction at long term, now existing, does not contemplate the diverse climatical regions State of Rio Grande do Sul and the regional studies can improve the information demanded by society, this study had as main objective to determine the predicted relations between the Number of Rainfall Days (NRD) of some meteorologic stations of Rio Grande do Sul and the Sea Surface Temperature (SST). In this research, were used two sets of data; the first formed by monthly datas of Number of Rainfall Days in 17 meteorologic stations in the State, from the period of 1982 to 2005. The second, composed of datas of the Sea Surface Temperature, from period 1982 to 2005. The series were divided into two periods, the dependent, comprehending the gap from 1982 to 2002, for determination of predicted equations as well as the factor of regression, and the independent period, which gap was from 2003 to 2005, for

validation of the model. The data of SST were used to, through the equations of regression, establish the relations between the variables. After establishing the equations, the values predicted of NRD were calculated, and then compared with the values observed, in order to verify the efficiency of the model. For all the regions analysed, were obtained good results in the prediction of Number of Rainfall Days for all the months analysed. The series of observed data, proceeds the same standard of distribution of this variable, although there are some foreseen values that present differences in observed values, but are not significant. In the independent period, the foreseen series show the biggest differences in relation to the observed values. The region in which the model presents the best dexterity is the echoclimatic region of Campanha (R9) and the month of best prediction is July.

Keywords: Forecast climate. Number of Rainfall Days. Sea Surface Temperature.
Rio Grande do Sul.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Mapa topográfico do Rio Grande do Sul. Fonte: http://www.paginadogaicho.com.br/ 20 de novembro 2006.....	33
Figura 2 - Posições dos Oceanos Atlântico e Pacífico cujos valores da TSM foram utilizados. Fonte: Marques (2005).....	34
Figura 3 - Estações meteorológicas e regiões ecoclimáticas adaptadas utilizadas. Fonte: Rio Grande do Sul, 1994.....	36
Figura 4 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 no verão.....	40
Figura 5 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 no outono.....	40
Figura 6 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 no inverno.....	40
Figura 7 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 na primavera.....	41
Figura 8 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 no verão.....	41

Figura 9 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 no outono.....	42
Figura 10 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 no inverno.....	42
Figura 11 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 na primavera.....	42
Figura 12 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 no verão.....	43
Figura 13 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 no outono.....	43
Figura 14 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 no inverno.....	44
Figura 15 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 na primavera.....	44
Figura 16 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 no verão.....	45
Figura 17 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 no outono.....	45
Figura 18 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 no inverno.....	45

Figura 19 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 na primavera.....	46
Figura 20 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 no verão.....	46
Figura 21 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 no outono.....	47
Figura 22 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 no inverno.....	47
Figura 23 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 na primavera.....	47
Figura 24 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 no verão.....	48
Figura 25 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 no outono.....	48
Figura 26 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 no inverno.....	49
Figura 27 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 na primavera.....	49
Figura 28 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 no verão.....	50

Figura 29 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 no outono.....	50
Figura 30 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 no inverno.....	50
Figura 31 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 na primavera.....	51
Figura 32 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 no verão.....	51
Figura 33 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 no outono.....	52
Figura 34 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 no inverno.....	52
Figura 35 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 na primavera.....	52

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas, período e instituições a que pertencem.....	34
Tabela 2 - Regiões ecoclimáticas e as estações meteorológicas utilizadas.....	35
Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre a série de dados observada e prevista. Período, 1982 – 2005.....	54
Tabela 4 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para abril, maio e junho com a TSM de fevereiro, período de 1982 a 2002.....	55
Tabela 5 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para julho, agosto e setembro com a TSM de maio, período de 1982 a 2002.....	55
Tabela 6 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para outubro, novembro e dezembro com a TSM de agosto, período de 1982 a 2002.....	55
Tabela 7 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para janeiro, fevereiro e março com a TSM de novembro, período de 1982 a 2002.....	55
Tabela 8 - Erro relativo (ϵ) da previsão do Número de Dias de Chuva para as regiões ecoclimáticas, período de 1982 a 2002.....	56

Tabela 9 - Erro relativo (ϵ) da previsão do Número de Dias de Chuva para as regiões ecoclimáticas, período de 2003 a 2005.....	57
---	----

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Pág.
Apêndice 1 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1.....	65
Apêndice 2 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1.....	66
Apêndice 3 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3.....	67
Apêndice 4 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3.....	68
Apêndice 5 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4.....	69
Apêndice 6 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4.....	70
Apêndice 7 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6.....	71

Apêndice 8 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6.....	72
Apêndice 9 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8.....	73
Apêndice 10 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8.....	74
Apêndice 11 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9.....	75
Apêndice 12 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9.....	76
Apêndice 13 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10.....	77
Apêndice 14 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10.....	78
Apêndice 15 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11.....	79
Apêndice 16 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11.....	80

SUMÁRIO

		Pág.
1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Regressão Linear Múltipla.....	20
2.2	Correlação.....	21
2.3	Erro Relativo.....	22
2.4	Número de Dias de Chuva.....	23
2.5	Precipitação Pluvial.....	24
2.6	Modelos de previsões climatológicas, técnicas empregadas e variáveis utilizadas.....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Caracterização da área de estudo.....	32
3.2	Dados.....	33
3.3	Metodologia.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Relação entre dados previstos e observados do Número de Dias de em estações meteorológicas das regiões ecoclimáticas.....	39
4.2	Avaliação do desempenho do método através do Coeficiente de Correlação entre a série de dados observada e a série de dados prevista.....	53
4.3	Variância das equações prognósticas de Número de Dias de Chuva.....	54

	Chuva.....	
4.4	Teste do modelo.....	56
5	CONCLUSÃO.....	59
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
7	APÊNDICE.....	64

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul, por suas características geográficas e climatológicas, em função não só da latitude e da longitude, mas também pela entrada dos sistemas meteorológicos, como frentes e massas de ar, carece de estudos mais apropriados sobre determinadas variáveis meteorológicas que interferem na produção agropecuária e na qualidade da vida humana.

A precipitação pluvial é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas. A falta de suprimento adequado de água, em períodos críticos do desenvolvimento das plantas, pode ocasionar redução nas produções ou até quebra total de uma safra.

Ao longo do território do Rio Grande do Sul, a precipitação pluvial caracteriza-se bem distribuída durante todo o ano, não há nenhum local onde a precipitação acumulada seja deficiente ou apresente-se com excesso. A precipitação pluvial anual média é da ordem de 1.500mm ao ano, sendo inferior a este valor na metade sul do Estado e superior na metade norte (NIMER, 1979). Segundo Puchalski (2000), o Estado apresenta anomalias positivas de precipitação pluvial em anos de El Niño e negativas em anos de La Niña.

A precipitação pluvial medida em estações meteorológicas nem sempre é um bom parâmetro para avaliar se a disponibilidade hídrica em determinado período é suficiente para o atendimento das necessidades das culturas agrícolas. Os totais de precipitação pluvial correspondem a todo o período considerado, não sendo levado em conta se foram bem distribuídos ao longo do período ou se ocorreram em um único dia. Precipitações pluviais de grande intensidade são responsáveis por aguaceiros, enchentes, e causam transtorno como alagamento das ruas,

transbordamento de bueiros, de córregos, de valetas e rios, causando grandes problemas à população.

Com o Número de Dias de Chuva (NDC), é possível ter-se uma idéia da intensidade da precipitação pluvial, pois, ao se analisar o mesmo total de chuva em intervalos de tempo distintos, revela-se qual a intensidade e a variabilidade quantitativa e qualitativa da mesma.

O entendimento e conhecimento prévio dos fatores que contribuem para a variabilidade de determinados elementos climáticos, dentre eles o Número de Dias de Chuva, são informações a serem buscadas. Partindo da hipótese de que as escalas dos modelos de previsão de longo prazo, atualmente existentes, não contemplam as diversidades climáticas regionais do Estado, e que estudos regionalizados podem melhorar as informações demandadas pela sociedade é que foi estruturado o presente trabalho. Acredita-se que informações regionalizadas acerca das características futuras do clima sejam de grande utilidade no processo de tomada de decisão, possibilitando nortear as práticas agronômicas, especialmente no que se refere ao manejo de planta, do solo e da água, no sentido de minimizar impactos de atividades climáticas e tirar proveito de situações favoráveis.

Este trabalho teve como objetivo principal determinar as relações preditivas entre o Número de Dias de Chuva de algumas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul e as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM).

E tem os seguintes objetivos específicos:

- Buscar as relações entre preditores obtidos das TSM, que possam prever, com antecedência de até três meses, o Número de Dias de Chuva para essas estações;
- Estabelecer as equações preditivas, obter os valores previstos e fazer testes de eficiência do método.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Regressão Linear Múltipla

Segundo Hair et al. (1998), a regressão linear múltipla (eq. 1) é o método de análise apropriado quando o problema de pesquisa envolve um único preditante ou variável dependente (y), relacionada a duas ou mais variáveis preditoras ou variáveis independentes (x), com o objetivo de prever as mudanças na variável dependente em resposta às mudanças nas variáveis independentes.

No caso da regressão múltipla, tomando-se k como o número de variáveis preditoras, a equação de previsão torna-se:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (1)$$

Cada variável preditora k tem seu próprio coeficiente de estimativa de parâmetro (b_1, b_2, \dots, b_k), b_0 é o intercepto ou constante de regressão e \hat{y} é o valor estimado da variável a ser prevista.

Os coeficientes de estimativa de parâmetros de regressão (b_1, b_2, \dots, b_k) são determinados minimizando a soma dos quadrados dos resíduos e resolvendo simultaneamente $k+1$ equações análogas às da regressão linear simples. Estes cálculos são feitos usando alguns “softwares” estatísticos.

Muitas vezes, não se sabe quais ou como, muitos preditores (x_1, x_2, \dots, x_k) são incluídos, tampouco se são úteis no modelo de regressão linear múltiplo. Embora a variável preditante possa estar correlacionada com muitas das variáveis independentes, somente algumas delas explicam grande parte da variância, o que

ocorre devido à alta intercorrelação entre as variáveis. Além disso, se muitos preditores forem incluídos, o preditante pode ser estimado de forma satisfatória, mas a equação pode mostrar não somente as relações físicas, mas também relações de erro, devido a dados não presentes na amostra. Portanto, uma equação com muitos termos pode efetuar uma previsão menos precisa do preditante do que uma com menos termos. Algumas técnicas de redução de preditores (escolha dos melhores) são utilizadas em vários trabalhos, sendo a mais usual a técnica chamada “regressão screening” ou “stepwise”- em muitos trabalhos, chamada regressão linear múltipla “stepwise”. Esse método combina a regressão linear múltipla com um método objetivo, para selecionar um bom conjunto de preditores que serão usados no modelo de regressão, ou seja, consiste em escolher os preditores que adicionam alguma informação, em termos do poder explicativo, que podem acrescentar ao modelo de regressão, e retira aqueles preditores que não contribuem.

2.2 Correlação

O coeficiente de correlação (*Cor*) (eq. 2) (segundo HAIR et al., 1998) é fundamental na análise de regressão, no sentido de descrever a associação entre duas variáveis. Duas variáveis são ditas correlacionadas, se a mudança em uma está associada com a mudança na outra. Desse modo, quando uma variável muda, sabe-se como a outra está se alterando.

$$\text{Cor}_{(x,y)} = \frac{\text{Cov}_{(x,y)}}{\sqrt{\text{Var}_{(x)} \text{Var}_{(y)}}} \quad (2)$$

Onde:

$\text{Cov}_{(x,y)}$ é a covariância de x e y.

$\text{Var}_{(x)}$ é a variância de x.

$\text{Var}_{(y)}$ é a variância de y.

O Coeficiente que indica a força da associação entre duas variáveis métricas quaisquer, pode variar de -1 a $+1$. O valor $+1$ indica uma perfeita relação positiva, zero indica nenhuma relação, e -1 , uma perfeita relação negativa ou reversa (quando uma variável se torna maior, a outra fica menor). O significado não está dado na sua magnitude somente, mas também depende do número de pares de

valores, a partir do qual tem sido obtido: se o número de pares é pequeno, o coeficiente de correlação entre duas variáveis está sujeito a erros e, neste caso, os coeficientes numericamente grandes podem não ser significativos.

2.3 Erro Relativo

Segundo Puchalski (2000), um dos métodos de avaliar resultados obtidos por cálculo, utilizando equações estatísticas e valores observados é o erro relativo (ε) (eq. 3), obtido pela razão entre o erro quadrático médio, σ_{er} (eq. 4) e o desvio padrão, σ_s (eq. 5) e o erro médio (eq. 6), dados por:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{er}}{\sigma_s} \quad (3)$$

$$\sigma_{er} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x}_j)^2}{m}} \quad (5)$$

$$\mu = y_i - \hat{y}_i \quad (6)$$

onde n é o número de casos a prever, m é o tamanho da série original, y_i são os dados observados, \hat{y}_i são os dados previstos, x_j são os dados da série original, \bar{x}_j é o valor médio da série original.

Por esse critério, sempre que ε for menor ou igual a 1, supõe-se que a previsão é aceitável, enquanto que, se ε for maior que 1, considera-se que a previsão não é adequada.

2.4 Número de Dias de Chuva

O Número de Dias de Chuva (NDC) é uma variável meteorológica que tem despertado interesse, principalmente em problemas de produção agrícola. Fontana & Almeida (2002) analisaram e quantificaram, em nível mensal, as normais climatológicas padrão (1931 a 1960 e 1961 a 1990) e a variabilidade interanual do NDC no Estado do Rio Grande do Sul. Também foram analisados os efeitos associados ao fenômeno El Niño e La Niña sobre este elemento. Foram utilizados dados mensais de NDC de 32 estações meteorológicas bem distribuídas no Estado do Rio Grande do Sul, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/8° DISME) e à Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), no período de 1913 a 1998. Concluíram que, o NDC aumenta de oeste para leste, tanto no total anual como para as quatro estações do ano, havendo um incremento deste elemento em todas as regiões ecoclimáticas. Quanto aos fenômenos El Niño e La Niña, os maiores efeitos são verificados no Nordeste do Estado, tendo maior NDC durante os eventos El Niño e menor nos eventos La Niña.

Nery et al. (2002) estudaram a variabilidade do NDC no Estado do Paraná, assim como os efeitos associados ao fenômeno El Niño e La Niña, dentro do período de 1941 a 1998 - dados cedidos pela Agência Nacional de Água e Energia Elétrica (ANEEL). Foi verificado que a região leste apresenta os maiores valores de NDC - janeiro é o mês com os maiores valores desta variável e maio o mês que apresenta os menores valores; em anos de El Niño existe um incremento no NDC no Estado, e uma redução deste nos anos do fenômeno La Niña.

Araújo & Diniz (2004) estudaram a relação do NDC e o evento El Niño na região de Pelotas, através de dados obtidos junto à Estação Agroclimatológica da Embrapa para o período de 1950 – 2000. Verificou-se, através deste estudo, que os eventos El Niños aumentam o número de meses com elevado NDC e também os totais mensais de precipitação pluvial.

2.5 Precipitação Pluvial

Fontana & Berlato (1997) quantificaram a influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a precipitação pluvial mensal no Estado do Rio Grande do Sul, utilizando dados mensais de precipitação pluvial de 29 estações meteorológicas pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de observação compreendido entre 1913 e 1995. Com isso concluíram que, na fase quente, o Estado apresenta condições mais úmidas do que na fase fria e do que na média climatológica. Sendo que, durante o fenômeno El Niño a precipitação pluvial é superior à média climatológica na maioria dos meses do ano; o período de outubro a dezembro é o de maior intensidade de influência do fenômeno, para ambas as fases sobre a precipitação pluvial média no Estado e a porção oeste do Estado é a região mais atingida.

A distribuição da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul foi analisada por Ferreira & Nery (1999), utilizando dados mensais desta variável de 29 estações meteorológicas para o período de 1948 a 1988, dados cedidos pelo DNAEE-Brasília. Concluíram que existe uma maior concentração da precipitação pluvial nas regiões oeste e nordeste do Estado e uma menor concentração, na região noroeste e na região do estuário do Guaíba.

Sansigolo (2005), analisou as relações entre os eventos extremos do ENOS e as anomalias de precipitação pluvial no Sul do Brasil, visando a quantificar, em termos probabilísticos, o impacto dos eventos El Niño e La Niña na região. Os dados utilizados foram os totais mensais de precipitação pluvial em 70 estações na região Sul compreendendo os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Com isso, concluiu que, em termos probabilísticos, o impacto do evento El Niño associado à precipitação pluvial acima das normais na região é muito maior do que o de La Niña, associado a precipitações abaixo das normais, tanto em relação à área afetada quanto às épocas do ano; a maior influência de ambos os eventos ocorre na primavera.

2.6 Modelos de Previsões climatológicas, técnicas empregadas e variáveis utilizadas

Segundo Namias (1968 apud DINIZ, 2002), a história da previsão de longo prazo e o desenvolvimento de métodos científicos parece ter sido iniciada através das pesquisas de Teisserenc de Bort (1880) que, averiguando os campos de pressão ao nível médio do mar, estabeleceu a teoria dos “Centros de Ação”. Esta teoria levou ao entendimento das características futuras do tempo e muitos trabalhos foram posteriormente desenvolvidos nesta linha de pesquisa.

A habilidade de prever as características futuras das variáveis meteorológicas tem sido o objetivo de muitos estudos ao longo do tempo, e vários métodos foram e têm sido utilizados na elaboração de previsões climáticas. Feitas com um adequado grau de precisão, estas previsões proporcionam aos tomadores de decisão e governos a possibilidade de antecipar e planejar, inteligentemente, futuras ações dirigidas a setores de atividades socioeconômicas e à sociedade como um todo.

As previsões climáticas ou previsões de longo prazo são feitas para um período de, no mínimo, um mês. Variações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), continuadas por vários meses, podem ter uma forte influência sobre as anomalias atmosféricas sazonais, especialmente nos trópicos. Técnicas, usando padrões de escala global de dados históricos de TSM, têm sido usadas com sucesso, desde 1986, nos serviços meteorológicos para produzir previsões experimentais da precipitação sazonal na Região Nordeste do Brasil, assim como em outras regiões. Ainda, segundo Diniz (2002), apesar das experiências desde 1986, a previsão climática no Brasil passou a ser mais largamente usada a partir de 1990, quando muitos trabalhos desenvolvidos buscam o desenvolvimento de modelos preditivos. Hastenrath (1995) faz uma revisão dos avanços das previsões climáticas nas regiões tropicais em um período de 5 anos (1990 a 1995), enfocando o entendimento de fatores regionais característicos como as monções na Índia, furacões nos Oceanos Atlântico e Pacífico Norte, El Niño Oscilação Sul no Pacífico equatorial, bem como trabalhos feitos sobre o tema em diversos países tropicais.

Segundo Guetter (1998 apud DINIZ, 2002), as previsões climáticas têm sido realizadas com modelos dinâmicos e estatísticos. Os modelos dinâmicos são representações matemáticas dos processos físicos que visam a simular as

distribuições de umidade e energia sobre todo o globo. Esses modelos são denominados “Modelos de Circulação Geral da Atmosfera” e têm sido desenvolvidos desde 1950, passando a ser explorados como ferramentas para previsão do clima na década de 1980. Os modelos estatísticos de previsão do clima estabelecem relações estatisticamente significativas entre variáveis meteorológicas locais em áreas continentais com preditores locais e remotos. Os preditores locais correspondem ao estado antecedente da variável, enquanto os preditores remotos normalmente correspondem às variáveis meteorológicas em áreas oceânicas ou em outras áreas que não sejam do local da previsão.

Vários são os preditores utilizados em modelos estatísticos de previsões climatológicas: a radiação de onda longa, altitude geopotencial, chuva da pré-estação no Nordeste, e o mais comum a TSM. Por ocuparem três quartos (71%) da superfície do globo e 81% da superfície no Hemisfério Sul, os oceanos exercem uma influência muito grande nas características e comportamento das variáveis meteorológicas nas relações Oceano-Atmosfera.

Muitos pesquisadores desenvolveram trabalhos sobre previsão climatológica para o Brasil, apontando a TSM como um dos principais indicadores das variações de precipitação e temperatura, sendo, portanto, um importante preditor não só para essas variáveis. A seguir, estão relacionados alguns dos trabalhos desenvolvidos por estes pesquisadores.

Pisciottano et al. (1994), usando a mesma metodologia proposta por Ropelewski & Halpert (1987), pesquisaram as relações da precipitação pluvial sobre o Uruguai e a TSM durante ENOS. Os resultados mostram que durante eventos de El Niño, a precipitação pluvial tende à anomalia positiva de novembro a janeiro. Em anos de alto Índice de Oscilação, a anomalia tende a ser negativa de outubro a dezembro. Para a parte sul do Uruguai, as influências sobre a precipitação, durante eventos El Niño, são relativamente fracas.

Barnston & Smith (1996) usaram a TSM para a previsão global da temperatura e precipitação pluvial, através da Análise de Correlação Canônica, em áreas afetadas pelo ENOS, como o norte e o leste da Austrália, partes da África, América do Norte e Sul. Foi observada uma capacidade satisfatória de previsão do modelo para ambas as variáveis. Para a precipitação pluvial na América do Sul, os resultados indicam que as áreas oceânicas de maior importância são as regiões dos ENOS, Índico e Atlântico Sul. Em condições de Atlântico Sul quente, Atlântico Norte

frio (dipolo) e Pacífico equatorial frio, o trimestre de janeiro a março mostrou relações com incremento na precipitação pluvial no Nordeste do Brasil e Paraguai.

O impacto de eventos El Niño e La Niña sobre a precipitação pluvial no Sul do Brasil foi investigado por Grimm et al. (1998), através de dados mensais de precipitação de 250 estações meteorológicas, os quais também utilizaram o método proposto por Ropelewski & Halpert (1987). Os resultados apontam que toda a Região Sul do Brasil, durante eventos de El Niño, apresentam consistentes anomalias positivas de precipitação pluvial na primavera, com um pronunciado pico em novembro; durante eventos de La Niña, a primavera apresenta forte consistência de anomalia negativa de precipitação em toda a região, também com magnitude máxima em novembro.

Khan et al. (1998) procuraram detectar as zonas de TSM de todo Hemisfério Sul que possam influenciar na formação das precipitações no Sul do Brasil. Nesse trabalho, foram utilizadas taxas de precipitações pluviais mensais de 13 estações meteorológicas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no período de 1910 -1995, dados fornecidos pelo 8º Distrito de Meteorologia (INMET); utilizaram-se, também, médias mensais de TSM que foram compostas de três diferentes fontes, fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Meteorologia). Os resultados obtidos apontam que a Zona da Corrente Circumpolar Antártico é a que causa o maior impacto para as precipitações pluviais no extremo Sul do Brasil. Outras zonas de substantiva correlação com a precipitação pluvial também foram evidenciadas fora da Zona El Niño, como a Zona de Convergência do Índico Sul.

As relações entre anomalias de precipitação pluvial e a TSM no Uruguai e Sul do Brasil foram investigadas por Diaz et al. (1998) através de séries mensais de precipitação pluvial de 40 estações meteorológicas, no período de 1917 a 1980, utilizando técnicas estatísticas multivariadas. Concluiu-se que a variabilidade dessa precipitação no local de estudo está ligada a anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico. Os resultados confirmam a relação ENOS com anomalias de precipitação pluvial durante o final da primavera e início do verão, o final do outono e início do inverno. As anomalias de TSM do Oceano Atlântico estão ligadas a anomalias de precipitação pluvial durante outubro-dezembro e abril-julho.

A previsão da precipitação pluvial sazonal na América do Sul Subtropical foi avaliada por Montecinos et al. (2000) que empregaram a TSM do Pacífico Tropical como a variável preditora. No estudo foram utilizados totais mensais de precipitação

pluvial de 106 estações meteorológicas localizadas nos seguintes países: Argentina, Chile, Brasil, Uruguai e Paraguai, no período de 1946 – 1986; também neste período foram empregados dados de TSM. A técnica utilizada para avaliar a previsão da precipitação pluvial sazonal na América do Sul Subtropical foi a Correlação da Análise Canônica, freqüentemente usada por diversos autores. Os resultados apontam que o estudo da sazonalidade e da previsibilidade de precipitação pluvial na América do Sul Subtropical, baseado na TSM do Pacífico Tropical, tem um nível significativo de previsibilidade na maioria dos casos, quando encontrado em regiões e períodos bimestrais onde existe uma significativa relação entre a TSM e precipitação pluvial. Isto é altamente indicativo de que a persistência de anomalias de TSM, no Pacífico Tropical, é a fonte principal de previsibilidade de chuva sazonal, quando TSM for usada como preditor.

No Sul do Brasil, trabalhos envolvendo modelos de previsão climatológica também têm sido objeto de pesquisa, como os desenvolvidos por Diniz (2002), o qual estabeleceu um modelo de previsão climatológica para as temperaturas mínima e máxima em regiões homogêneas do Rio Grande do Sul, usando como variável preditora a TSM. Marques (2005), utilizou-se dos mesmos preditores para desenvolver um modelo estatístico de previsão climatológica da precipitação pluvial também para o Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados indicaram que a TSM do Oceano Pacífico, com defasagem de dois e três meses, apresenta maior influência na precipitação pluvial da região noroeste comparada à região sudeste do Estado e que a TSM do Oceano Atlântico, com defasagem de zero e um mês, apresenta relações mais evidentes na região sudeste que no noroeste do Estado. Para estas mesmas regiões, os meses de inverno apresentam os melhores ajustes nos modelos lineares derivados da TSM.

Pezzi et al. (2000), também desenvolveram um modelo regional climático chamado SIMOC (Sistema de Modelagem dos Oceanos), adaptado para prever anomalias sazonais de precipitação pluvial. O SIMOC baseia-se em um técnica estatística denominada Análise de Correlações Canônicas (ACC) cujos preditores do modelo são os campos de TSM em áreas sobre o Pacífico e o Atlântico Tropical, e o preditando é a precipitação pluvial sobre a Região Sul do Brasil. Observou-se que o uso dos dois oceanos simultaneamente como preditores melhorou sensivelmente a precisão das previsões, quando comparados com os casos dos oceanos individuais.

Cardoso et al. (2004) apresentaram um estudo avaliando a possibilidade de utilizar informações de TSM sobre os oceanos Atlântico e Pacífico para desenvolver um modelo estocástico prognóstico de vazão no Rio Paraná: utilizaram médias mensais de TSM observadas e ajustadas pela Interpolação Ótima de Reynolds; também foram usados dados mensais de vazão sobre o posto Posadas, no Rio Paraná. Consideraram o período de 1950 a 1988 para ajuste no modelo e o período de 1989 a 2001 para a avaliação do desempenho deste. Através da técnica de Análise de Componentes Principais, obteve-se modos de variabilidade de TSM, que foram utilizados como preditores de vazão em um modelo de previsão, aplicou-se, então, a análise de regressão linear múltipla e empregou-se a técnica dos mínimos quadrados para se obter a equação de regressão. Os resultados indicaram que a TSM sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico são covariáveis da vazão no Rio Paraná, sendo evidenciadas as áreas do Oceano Pacífico Tropical e o oeste do Oceano Atlântico Sul. O modelo apresenta uma baixa destreza para defasagem superior a dois meses, mas o mesmo pode servir como mais um indicador de mudanças na vazão.

Através do uso de modelo linear, baseado em regressão linear múltipla, Cardoso & Silva Dias (2004) avaliaram as relações entre TSM e a temperatura na cidade de São Paulo para fins prognósticos. Foram utilizadas médias mensais de TSM e médias mensais de dados climatológicos de temperatura do ar, no período de maio a setembro de 1950 a 1996. Aplicou-se a Análise de Componentes Principais para identificar os principais modos de variabilidade de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico. Os resultados da previsão linear da temperatura do ar na cidade de São Paulo confirmaram que a TSM do Oceano Atlântico e Pacífico exercem influência sobre este elemento e que existe a possibilidade do estabelecimento de condições prognósticas desta variável. Em um trabalho anterior, Cardoso & Silva Dias (2002) sugerem que as anomalias de TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico possuem relações significativas com a precipitação pluvial nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e, portanto, podem ser um dos fatores que influencia a precipitação pluvial nestas regiões.

A partir de desvios normalizados dos dados de 193 estações pluviométricas, Minuzzi & Sediyaama (2004) analisaram a relação mensal e sazonal existentes entre o Padrão do Dipolo do Atlântico e a precipitação pluvial durante o período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. Com os resultados, percebeu-se que a grande

variabilidade espacial e temporal da precipitação na Região Sudeste está relacionada ao Padrão Dipolo positivo do Atlântico e que influências do dipolo durante a sua fase negativa são menos marcantes.

Diversos pesquisadores têm desenvolvido estudos no Nordeste Brasileiro com o objetivo de relacionar as anomalias de TSM com a distribuição da precipitação pluvial nesse local, entre eles, Menezes (1998) avaliou a importância da TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico no estudo prognóstico do período chuvoso do semi-árido nordestino, que compreende março, abril e maio. Esse pesquisador considerou totais mensais de precipitação de 113 postos pluviométricos, distribuídos naquela região, durante o período de 1970-1988 e dados de TSM para o mesmo período. Nesse trabalho foram utilizadas duas técnicas estatísticas: a Análise de Componentes Principais e também a regressão linear múltipla. O modelo de regressão mostrou um ajuste relativamente satisfatório, explicando cerca de 50% da variabilidade da precipitação pluvial no norte do Nordeste. O modelo mostrou-se sensível às variações das TSM do Atlântico e Pacífico Tropicais.

Em um trabalho anterior, Hastenrath & Greischar (1993) exploraram a viabilidade de um sistema de previsão sazonal de precipitação pluvial entre os meses de março a junho, no Nordeste do Brasil. Fizeram a comparação de três métodos, baseados em *stepwise* regressão múltipla, rede neural e análise discriminante linear. Dentre estes métodos, a rede neural não apresentou vantagens sobre o modelo de regressão e a análise discriminante se mostrou melhor para previsões extremas.

Uvo et al. (1998) analisaram as relações entre as anomalias de TSM do Oceano Pacífico e Atlântico Tropical com as precipitações mensais na estação chuvosa no Nordeste do Brasil, utilizando dados mensais de anomalias de precipitação pluvial, normalizadas pelo desvio padrão e dados de TSM sobre o Oceano Pacífico Tropical e Atlântico Tropical para o período 1946 a 1985. Concluíram que alguns meses apresentam maior correlação da precipitação pluvial com TSM do que outros e os que apresentam uma correlação menor sempre mostram, de alguma forma, uma relação significativa com algum oceano, seja com o Pacífico ou com o Atlântico.

A conexão entre a TSM e a temperatura no Nordeste Brasileiro foi investigada por Silva et al. (2006), com o propósito de estabelecer um modelo preditivo da temperatura do ar em função das anomalias de TSM e das coordenadas

geográficas, capaz de reconstruir as séries temporais de temperatura. Para tal, foram utilizados dois modelos: um de regressão e outro de Análise de Componentes Principais, com dados mensais de temperatura obtidas de 69 estações no Nordeste do Brasil e dados de anomalias de TSM do Atlântico Norte e Sul, Trópicos Globais e Oceano Pacífico Tropical, no período de 1961 a 1990. O modelo preditivo apresentado pode ser usado com razoável nível de precisão para reconstrução de séries temporais de temperatura do ar. As anomalias de TSM do Oceano Atlântico Norte e Sul e o Oceano Global Tropical foram melhores preditores da temperatura do ar no Nordeste que as anomalias de TSM do Oceano Pacífico Tropical.

No Sul da África há trabalhos objetivando estabelecer um método para previsão da precipitação pluvial de verão. Hastenrath et al. (1995), utilizaram algumas variáveis preditoras, dentre elas o Índice de Oscilação Sul (IOS). Os resultados mostraram correlação positiva da precipitação com IOS.

Na Europa também existem pesquisas sobre o efeito da TSM no clima: Feddersen (2000) estudou o impacto da TSM nas temperaturas, no nível 850 hPa, no verão e inverno europeu, através de um conjunto de simulações, com dados no período de 1979 – 1993. Com as simulações realizadas, foi possível observar que alguns eventos de ENOS influenciam a temperatura em 850 hPa, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro. Eventos quentes do ENOS estão associados com anomalias frias no Norte da Europa e anomalias quentes no Sul do continente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Rio Grande do Sul está situado na área mais meridional do Brasil, entre as latitudes 27°05' e 33°45' Sul e longitudes de 49°43' e 57°39' Oeste; possui aproximadamente, uma área de 282.184 km² e 622 km de costa marítima; a altitude do Estado é em torno de 1100m na serra do Nordeste e ao nível do mar, no litoral.

Segundo Berlato (1983), utilizando o sistema de classificação climática de Köeppen, o clima do Rio Grande do Sul se enquadra na zona temperada (C), tipo úmido (Cf), com duas variedades específicas: subtropical (Cfa) e temperada (Cfb). As variações de precipitação e temperatura estão principalmente associadas à passagem de sistemas frontais, oriundos de altas latitudes; a precipitação é ainda influenciada pelo desenvolvimento de aglomerados convectivos na região.

Sua topografia é constituída de vales, depressões e regiões montanhosas, (representada na Fig. 1) a qual contribui na distribuição da precipitação e também na temperatura média do ar.

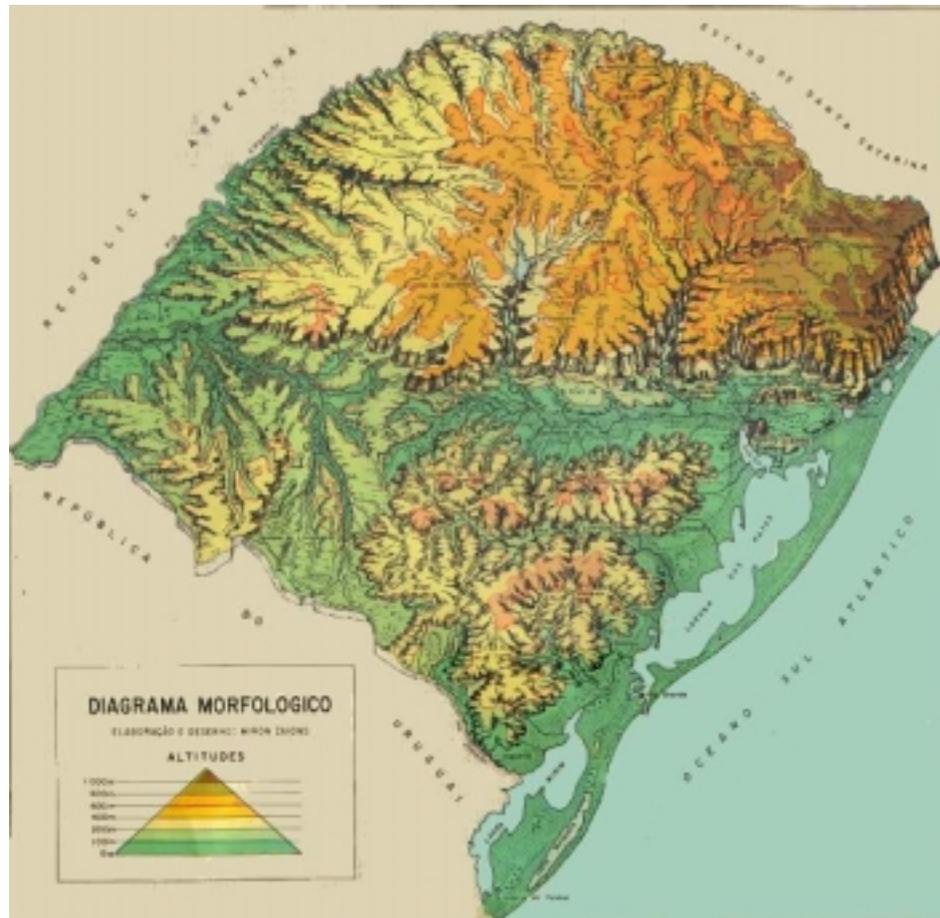


Figura 1 - Mapa topográfico do Rio Grande do Sul.

Fonte: <http://www.paginadogauch.com.br/> 20 de novembro 2006.

3.2 Dados

Para esta pesquisa foram usados dois conjuntos de dados. O primeiro refere-se aos dados mensais de Número de Dias de Chuva (NDC) de 17 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, para o período de 1982 a 2005, perfazendo um total de 24 anos de dados. A série foi dividida em dois períodos: o dependente, compreendendo o intervalo de 1982 a 2002, para determinação das equações preditivas, bem como dos coeficientes de regressão, e o período independente, cujo intervalo foi de 2003 a 2005, para validação do modelo. Estes dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (8^o Distrito de Meteorologia – Porto Alegre), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e na Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuária (FEPAGRO), da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Governo do Rio Grande do Sul, com séries já preenchidas

as falhas através de técnicas apropriadas. Na Tab. 1, estão as localidades das estações meteorológicas do Rio Grande do Sul - objeto do estudo.

Tabela 1 - Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas, período e instituições a que pertencem.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	Fonte
1-Bagé	31°21'	54°06'	215	1982 – 2005	8° DISME
2-Bento Gonçalves	29°15'	51°31'	619	1982 – 2005	8° DISME
3-Bom Jesus	28°40'	50°26'	1047	1982 – 2005	8° DISME
4-Caxias do Sul	29°10'	51°12'	785	1982 – 2005	8° DISME
5-Cruz Alta	28°38'	53°36'	472	1982 – 2005	8° DISME
6-Encruzilhada do Sul	30°32'	52°31'	427	1982 – 2005	8° DISME
7-Iraí	27°11'	53°14'	222	1982 – 2005	8° DISME
8-Passo Fundo	28°15'	52°24'	676	1982 – 2005	8° DISME
9-Pelotas	31°52'	52°21'	13	1982 – 2005	8° DISME
10-Porto Alegre	30°01'	51°13'	46	1982 – 2005	8° DISME
11-Rio Grande	32°01'	52°05'	5	1982 – 2005	8° DISME
12-Santa Maria	29°42'	53°42'	95	1982 – 2005	8° DISME
13-Santa Rosa	27°51'	54°25'	360	1982 – 2005	8° DISME
14-Santa Vitória do Palmar	33°31'	53°21'	6	1982 – 2005	8° DISME
15-São Borja	28°39'	56°00'	96	1982 – 2005	FEPAGRO
16-Taquari	29°48'	51°49'	76	1982 – 2005	8° DISME
17-Uruguaiana	29°45'	57°05'	74	1982 – 2005	8° DISME

O segundo conjunto de dados refere-se à Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos Oceanos Atlântico e Pacífico a partir de 10°N a 60°S e 120°E a 30°E, numa grade de 5°x5°, obtidos da NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center no período de 1982 a 2005, para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro. Existem dados de TSM anterior ao ano de 1982, mas estes não são confiáveis pelo fato de terem sido obtidos de reanálise e terem poucos pontos de medições tipo bóias, navios e outras formas de coleta de dados. A Fig. 2 mostra as áreas dos Oceanos Atlântico e Pacífico, onde foram obtidos os valores de TSM utilizados no trabalho.

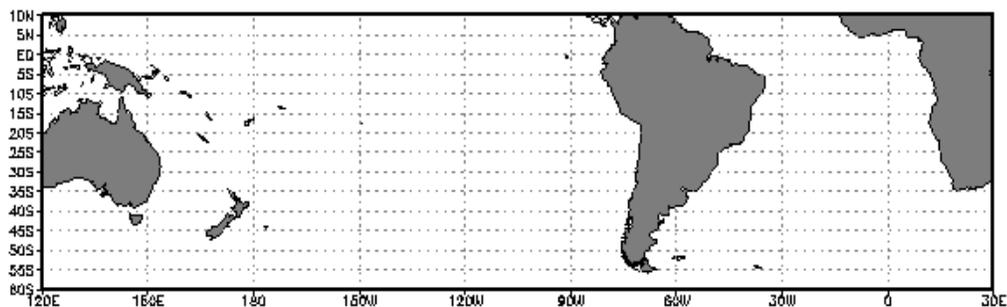


Figura 2 - Posições dos Oceanos Atlântico e Pacífico cujos valores da TSM foram utilizados. Fonte: Marques (2005).

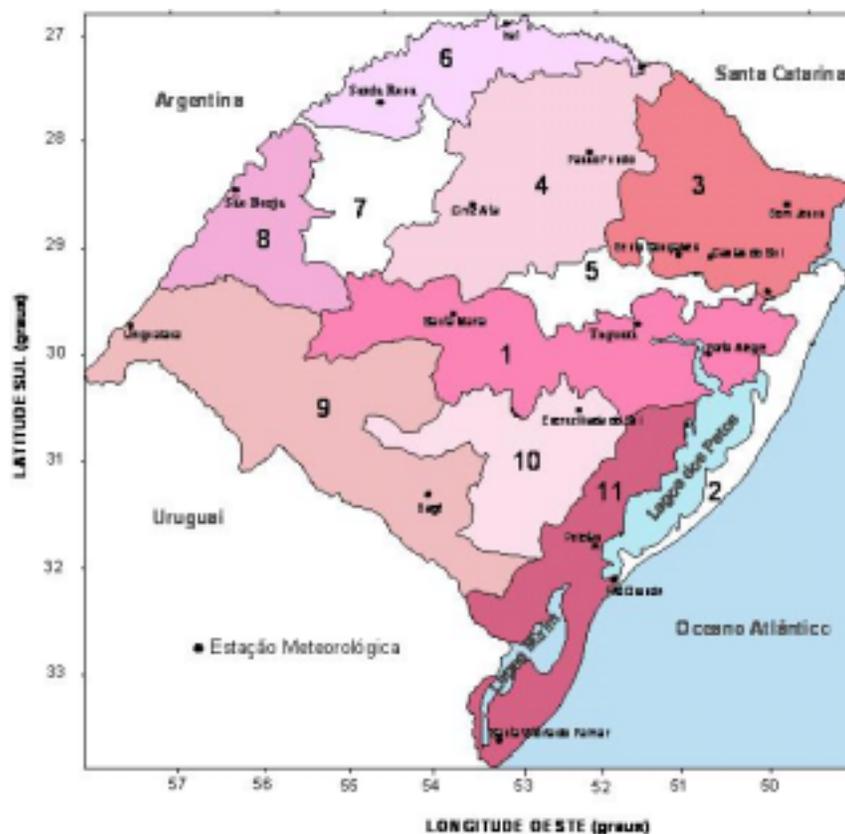
3.3 Metodologia

Os dados de NDC das estações meteorológicas foram separados mensalmente e alocados em suas regiões ecoclimáticas. O total mínimo diário para considerar ocorrência de chuva foi 0,1mm. A Tab. 2 relaciona as regiões ecoclimáticas utilizadas no trabalho e suas estações meteorológicas.

Tabela 2 – Regiões ecoclimáticas e as estações meteorológicas utilizadas.

Região	Estações meteorológicas
R1	Porto Alegre, Santa Maria, Taquarí
R3	Bento Gonçalves, Bom Jesus, Caxias do Sul
R4	Cruz Alta, Passo Fundo
R6	Irai, Santa Rosa
R8	São Borja
R9	Bagé, Uruguaiana
R10	Encruzilhada do Sul
R11	Pelotas, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar

A Fig. 3 apresenta as regiões ecoclimáticas adaptadas (na Região das Grandes Lagoas foi incluída a estação meteorológica de Santa Vitória do Palmar) e as estações meteorológicas utilizadas de cada uma delas. As regiões originalmente determinadas são as seguintes: R1 (Depressão Central), R3 (Planalto Superior e Serra do Nordeste), R4 (Planalto Médio), R6 (Alto Uruguai), R8 (Baixo Vale do Uruguai), R9 (Campanha), R10 (Serra do Sudeste) e R11 (Região das Grandes Lagoas).



- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Depressão Central | 7. Misioneira |
| 2. Litoral | 8. Baixo Vale do Uruguai |
| 3. Planalto Superior e Serra do Nordeste | 9. Campanha |
| 4. Planalto Médio | 10. Serra do Sudeste |
| 5. Encosta Inferior da Serra do Nordeste | 11. Região das Grandes Lagoas |
| 6. Alto Uruguai | |

Figura 3 - Estações meteorológicas e regiões ecoclimáticas adaptadas utilizadas.

Fonte: Rio Grande do Sul, 1994.

Como o modelo preditivo foi desenvolvido utilizando-se regressão linear múltipla, as séries dos dados preditantes (variáveis dependentes) e predictoras (variáveis independentes) foram obtidas da seguinte maneira: separaram-se as estações meteorológicas em suas regiões ecoclimáticas, selecionando-se as regiões ecoclimáticas e as estações cuja série de dados de NDC apresentavam-se completas ou com poucos meses de falhas preenchidas no período de estudo. Como nem todas as estações meteorológicas de uma mesma região ecoclimática

foram utilizadas, calculou-se a correlação (eq. 2) entre as estações e escolheu-se aquelas que apresentaram alto coeficiente de correlação entre seus dados. Escolhidas as estações, constituintes de cada região, calculou-se a média das séries de NDC entre elas, obtendo-se, dessa forma, para cada região ecoclimática, uma série temporal média de NDC que serviram como dados preditantes para o modelo de regressão linear múltipla. Nas regiões em que somente uma estação foi utilizada, a serie temporal dessa estação foi a série de dados preditante.

Os dados de TSM foram empregados como variáveis independentes para estabelecer os coeficientes da equação de regressão. O período de defasagem é de 4 meses - tem-se um mês para o trabalho com os dados obtidos de TSM e os próximos três meses utilizados para a previsão das variáveis dependentes. As relações foram feitas entre a TSM dos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, para determinar equações preditivas do NDC para os meses de abr-mai-jun; jul-ago-set; out-nov-dez; jan-fev-mar; respectivamente, como pode ser visualizado no esquema abaixo:

TSMfev→ prevendo NDC de abr-mai-jun

TSMmai→ prevendo NDC de jul-ago-set

TSMago→ prevendo NDC de out-nov-dez

TSMnov→ prevendo NDC de jan-fev-mar

O modelo de regressão foi construído sobre a base de dados dependentes, obtendo-se, assim, as equações de regressão, bem como seus coeficientes. A partir de então, passaram a ser usadas para prever o NDC, tanto do período dependente quanto do independente. A equação de regressão foi obtida através da matriz apresentada a seguir, onde as três primeiras colunas referem-se aos dados de NDC dos meses a serem previstos e as 672 colunas restantes são dados de TSM. Inicialmente, relaciona-se a primeira coluna com os dados de TSM, depois a segunda coluna com os dados de TSM e o mesmo é feito com a terceira coluna. Os coeficientes de regressão são encontrados através do uso da Técnica dos Mínimos Quadrados.

$$x_{(n \times p)} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdot & \cdot & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & & & x_{2p} \\ \cdot & & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \cdot & \cdot & x_{np} \end{pmatrix}$$

Onde:

$n=24$ (número de anos da série de dados, 1982-2005).

$p=675$ (totais de pontos com séries temporais mensais de Número de Dias de Chuva e séries temporais de TSM).

Depois de estabelecidas as equações, foram calculados os valores de NDC, que foram comparados com os observados, a fim de avaliar o modelo. No processo de validação do modelo, utilizou-se o erro relativo (ϵ) (eq. 3) que permite avaliar se o método nos fornece resultados aceitáveis ou se estes não são adequados. O erro relativo foi calculado tanto para o período dependente como para o período independente, com a finalidade de analisar, separadamente, sua eficácia. Também foi calculada a correlação (eq.2) entre os dados observados e previstos, para considerar a relação entre eles, bem como o skill (precisão) do método.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relação entre dados previstos e observados do Número de Dias de Chuva em estações meteorológicas das regiões ecoclimáticas

Conforme descrito na metodologia (Item 3.3), a partir da série de dados observados, foi construída a série de dados prevista, utilizando os últimos 3 anos da série (2003 a 2005) como período independente para a validação do método. A apresentação dos resultados foi feita de forma a comparar as séries de dados, analisando-se cada região ecoclimática separadamente, a fim de encontrar qual delas teve o melhor resultado. O prognóstico foi feito para todos os meses, mas a seguir são mostrados os resultados das séries previstas e as observadas para o mês central de cada estação do ano (janeiro para o verão, abril para o outono, julho para o inverno e outubro para a primavera) das oito regiões ecoclimáticas analisadas. Os demais resultados, referente aos outros meses, constam no apêndice. Os gráficos do mês de janeiro apresentam dados a partir de 1983 porque, para prever os três primeiros meses do ano de 1982, seriam necessários dados de TSM de 1981, e neste trabalho foram empregados dados de TSM a partir do ano de 1982.

As Figs. 4, 5, 6 e 7 mostram os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R1.

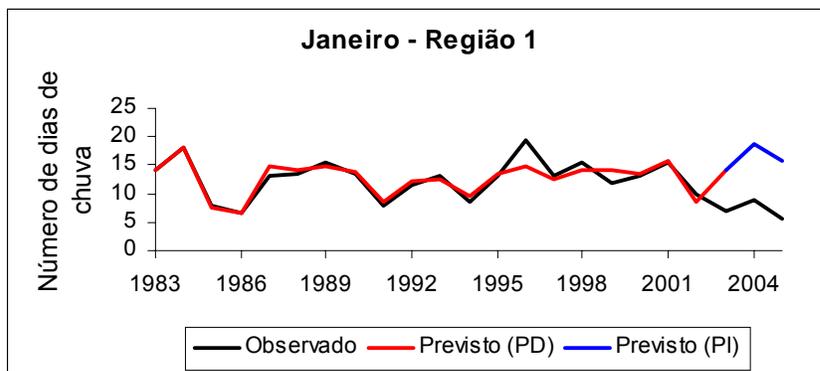


Figura 4 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 no verão.

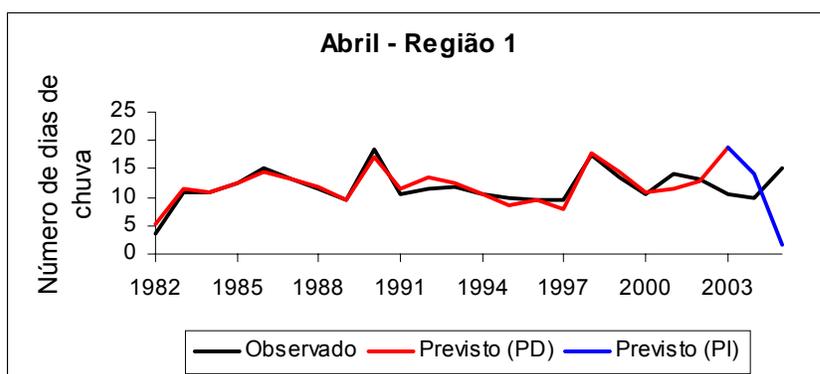


Figura 5 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 no outono.

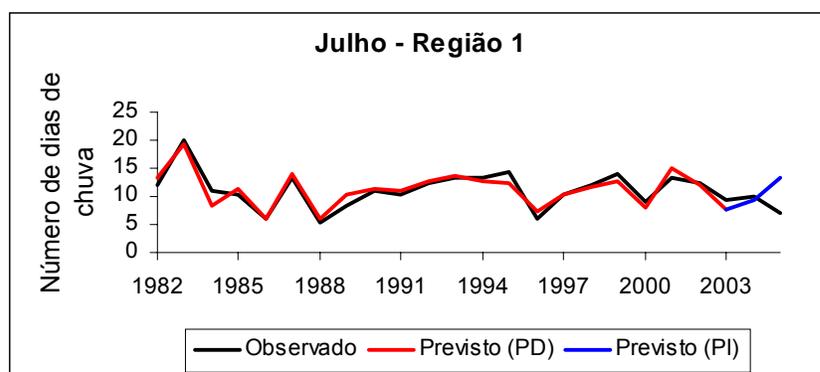


Figura 6 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 no inverno.

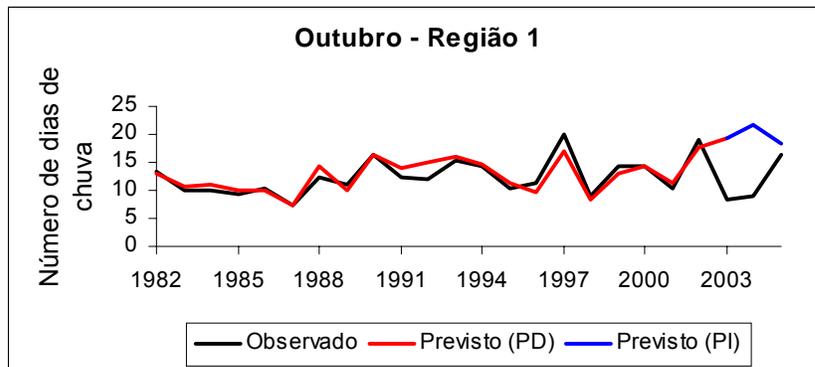


Figura 7 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1 na primavera.

Observa-se que para essa região, bons resultados na previsão de Número de Dias de Chuva (NDC) foram obtidos em todos os meses analisados. As séries previstas e observadas seguem um mesmo padrão de distribuição desta variável; existem alguns picos em que os valores previstos apresentam diferenças dos valores observados, mas não são diferenças significativas. No período independente, a série prevista mostra valores divergentes, em relação aos valores observados. O melhor mês de previsão foi julho, tanto para o período dependente como para o período independente.

As Figs. 8, 9, 10 e 11 apresentam os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R3.

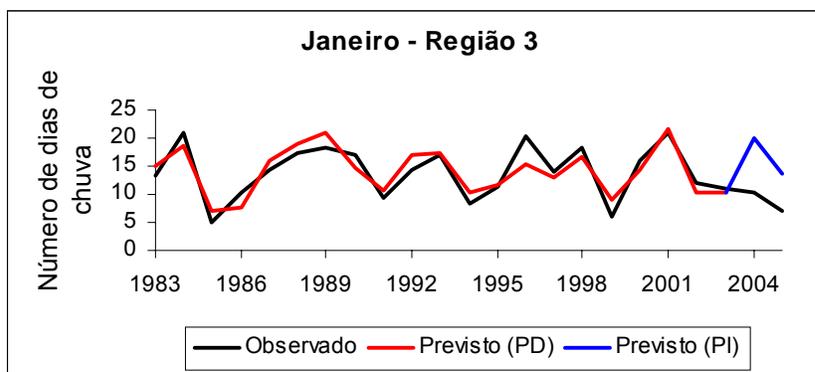


Figura 8 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 no verão.

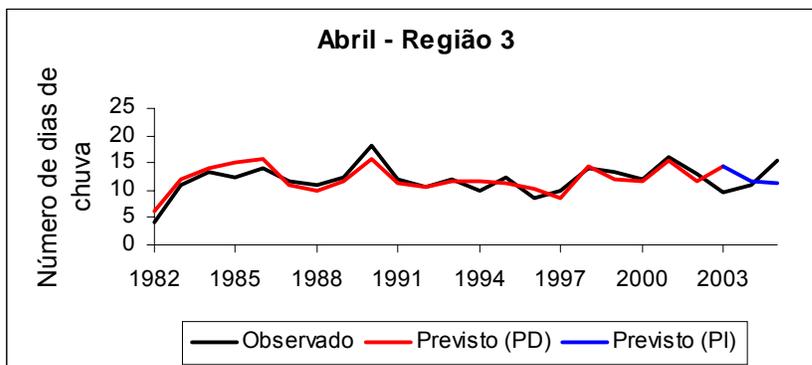


Figura 9 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 no outono.

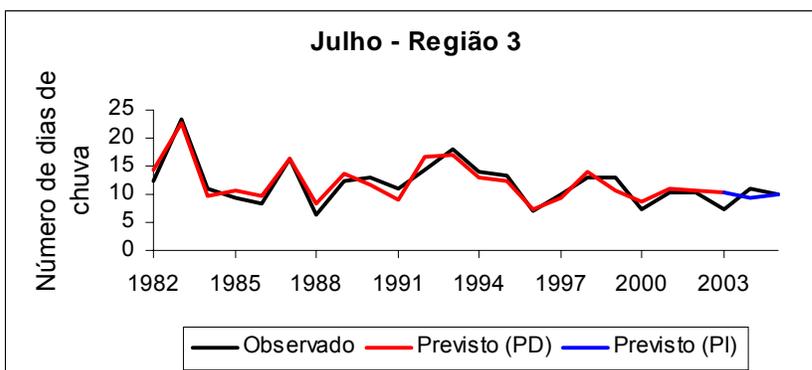


Figura 10 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 no inverno.

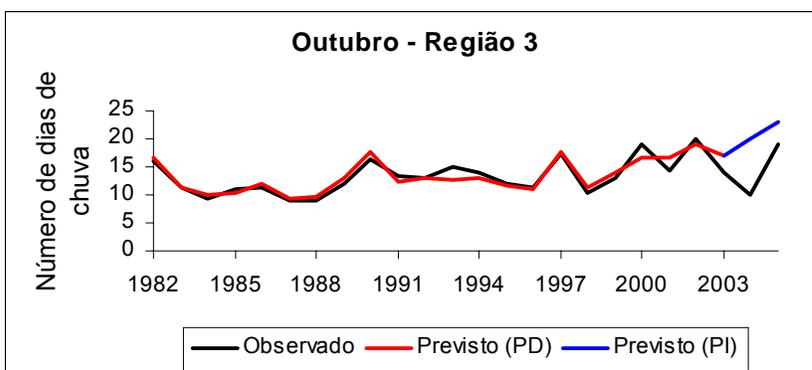


Figura 11 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3 na primavera.

Para a região ecoclimática R3, o modelo também mostra bom ajuste, sendo julho o melhor mês de previsão; e em janeiro ocorreram as maiores diferenças entre os valores observados e previstos.

As Figs. 12, 13, 14 e 15 exibem os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R4.

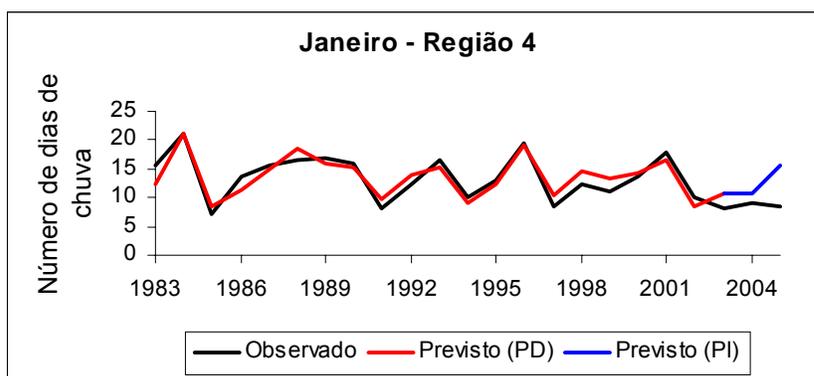


Figura 12 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 no verão.

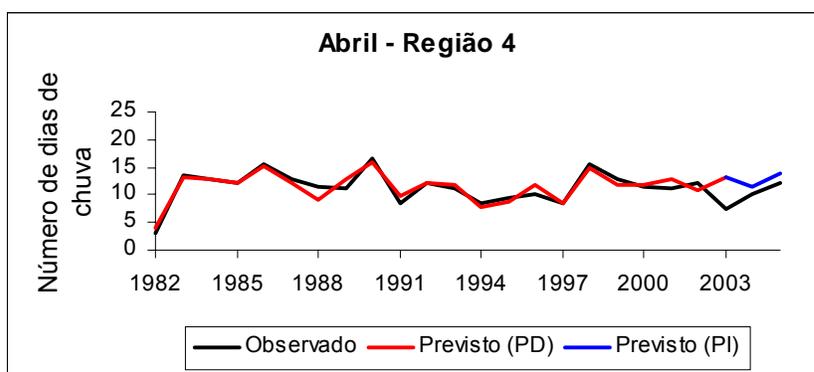


Figura 13 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 no outono.

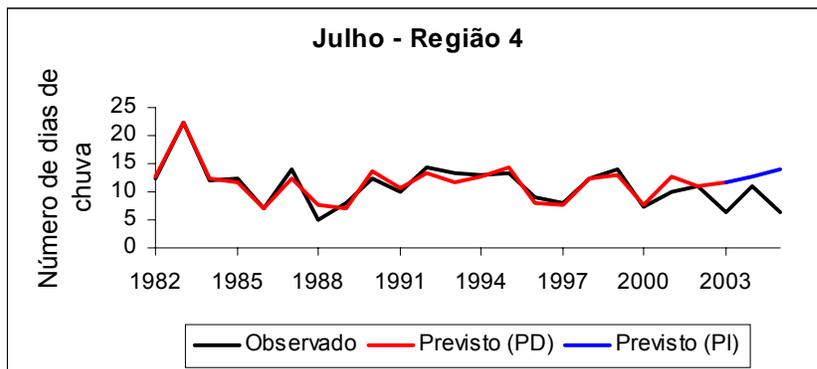


Figura 14 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 no inverno.

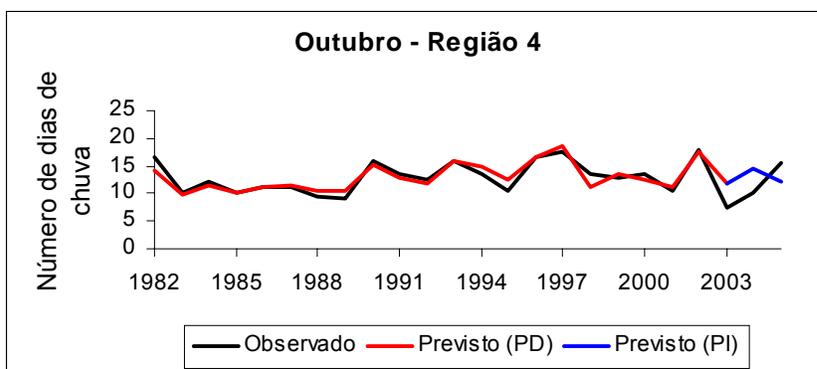


Figura 15 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4 na primavera.

A região R4 apresenta resultados muito satisfatórios na previsão de NDC. Os meses analisados mostraram uniformidade entre os valores observados e previstos, sendo que em abril, pode-se notar melhor esta característica. O mês que mais se distanciou deste padrão foi janeiro.

As Figs 16, 17, 18 e 19 expõem os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R6.

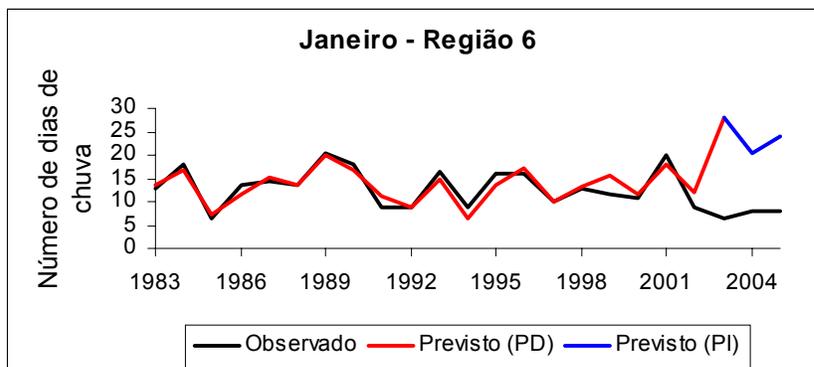


Figura 16 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 no verão.

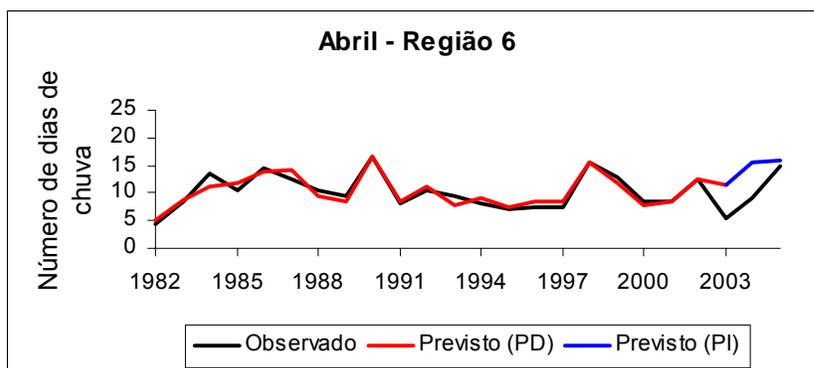


Figura 17 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 no outono.

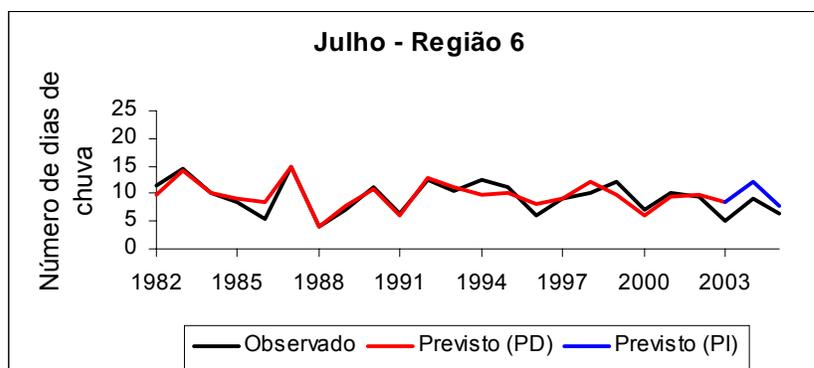


Figura 18 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 no inverno.

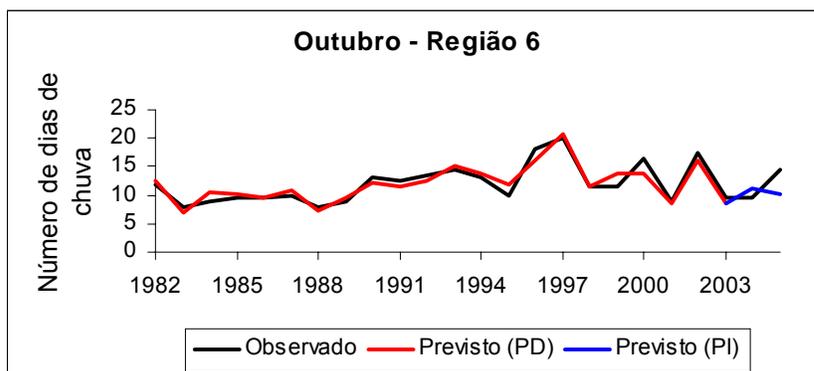


Figura 19 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6 na primavera.

Observa-se nessa região ecoclimática, que a variável NDC segue a mesma tendência para os valores previstos e observados, apresentando pequenas diferenças entre eles. Novamente janeiro é o mês que mais apresentou diferenças entre os valores e outubro o mês que melhor se ajustou aos valores observados. Isto deve-se a qualidade do preditor que, dependendo do mês, contribui muito para a qualidade do valor previsto.

As Figs. 20, 21, 22 e 23 mostram os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R8.

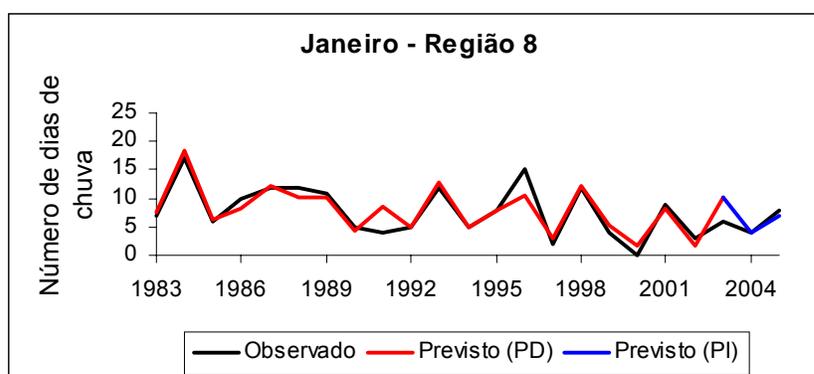


Figura 20 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 no verão.

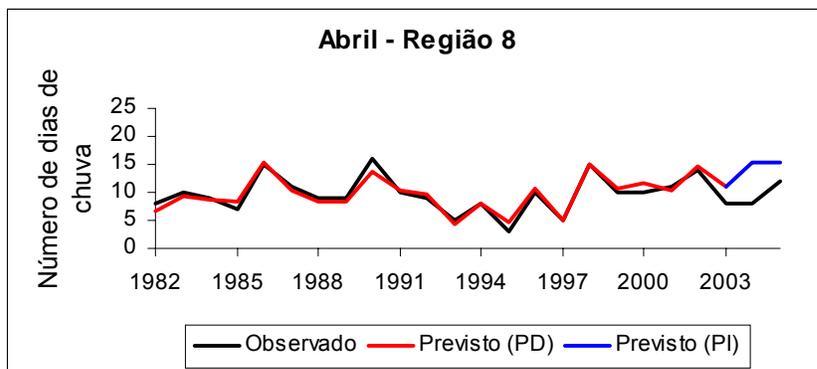


Figura 21 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 no outono.

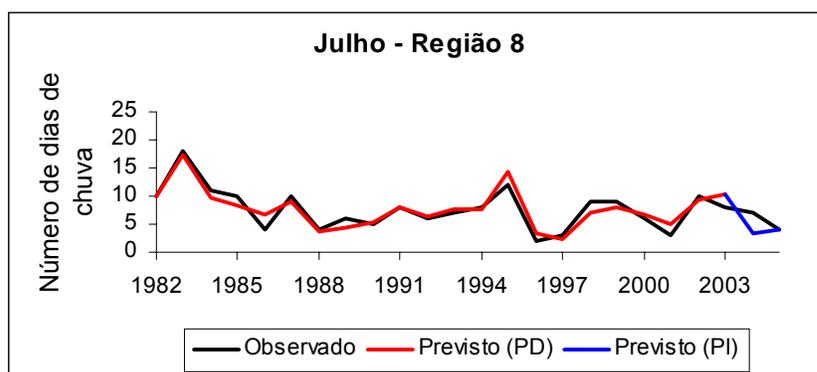


Figura 22 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 no inverno.

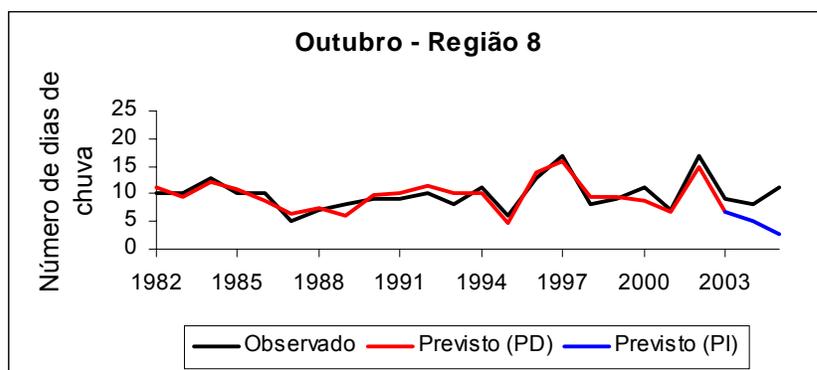


Figura 23 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8 na primavera.

Para essa região podemos notar que o modelo obteve bom desempenho nos resultados: janeiro apresentou maior diversidade entre os valores observados e previstos para o período dependente, já para o período independente, foi o mês que melhor se ajustou aos valores observados. O melhor ajuste no período dependente foi o mês de outubro.

As Figs. 24, 25, 26 e 27 mostram os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R9.

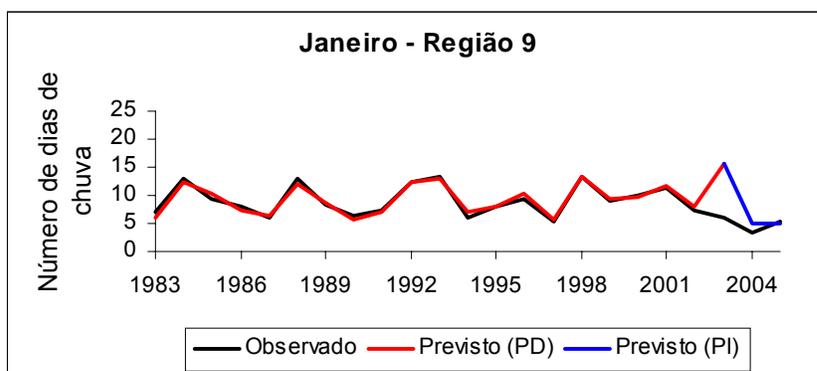


Figura 24 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 no verão.

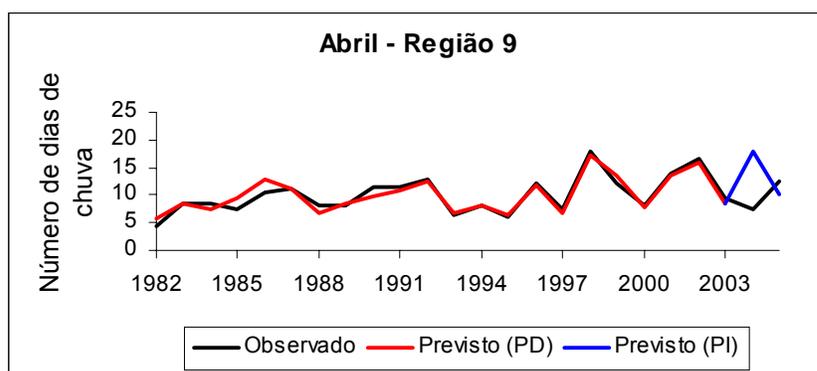


Figura 25 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 no outono.

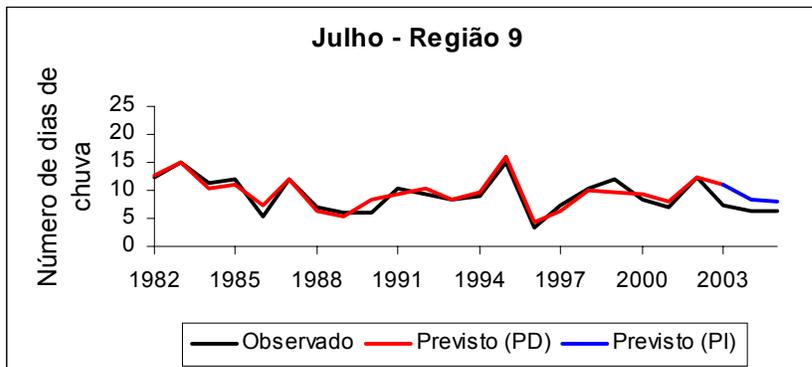


Figura 26 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 no inverno.

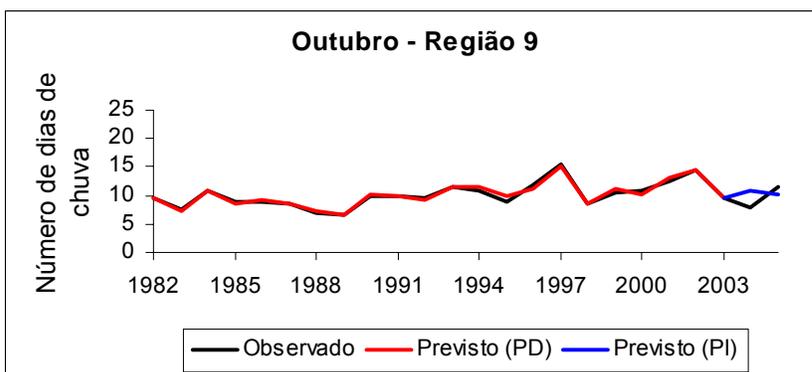


Figura 27 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9 na primavera.

A região ecoclimática R9 obteve excelentes resultados em todos os meses observados. As séries de dados previstas e observadas seguem um mesmo padrão de distribuição, exibindo pequenas diferenças nos meses de abril e julho, já nos meses de janeiro e outubro, estas diferenças tornam-se praticamente inexistentes. O mês de outubro apresentou os melhores resultados, tanto para o período dependente como para o período independente.

As Figs. 28, 29, 30 e 31 apresentam os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R10.

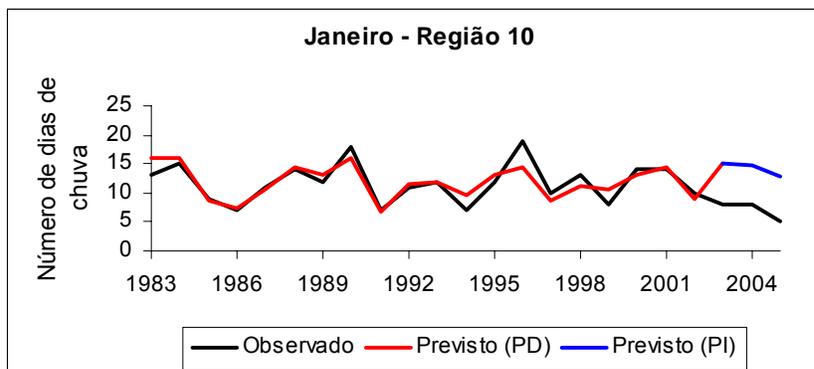


Figura 28 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 no verão.

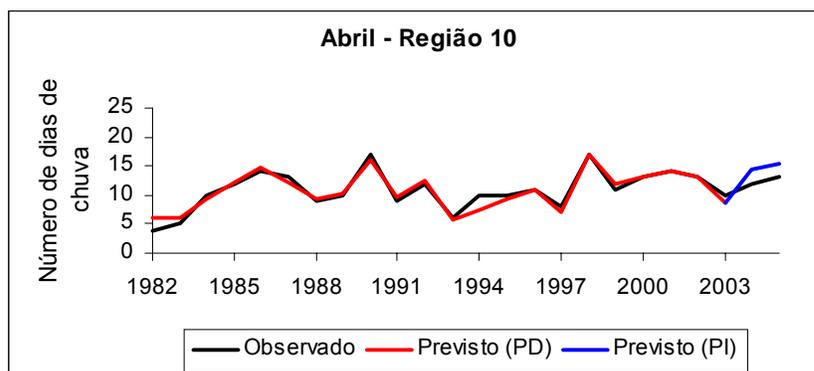


Figura 29 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 no outono.

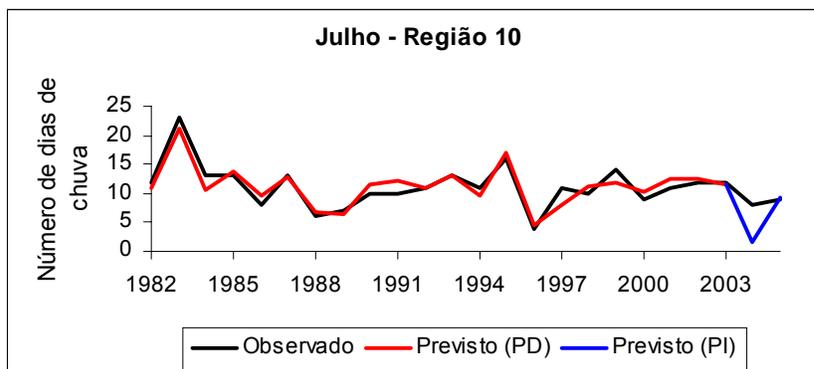


Figura 30 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 no inverno.

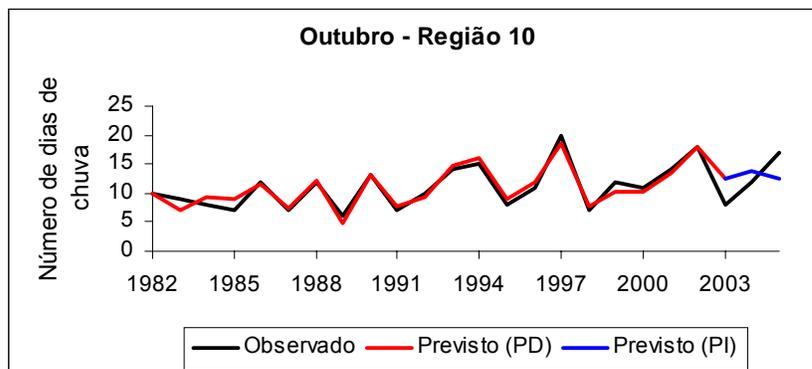


Figura 31 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10 na primavera.

Os resultados também foram bons para esta região: abril apresentou-se como o mês de melhor ajuste do modelo e janeiro o mês que obteve os maiores picos de diferenças entre valores observados e previstos.

As Figs. 32, 33, 34 e 35 mostram os resultados das séries calculadas e observadas para o mês central de cada estação do ano referente à região ecoclimática R11.

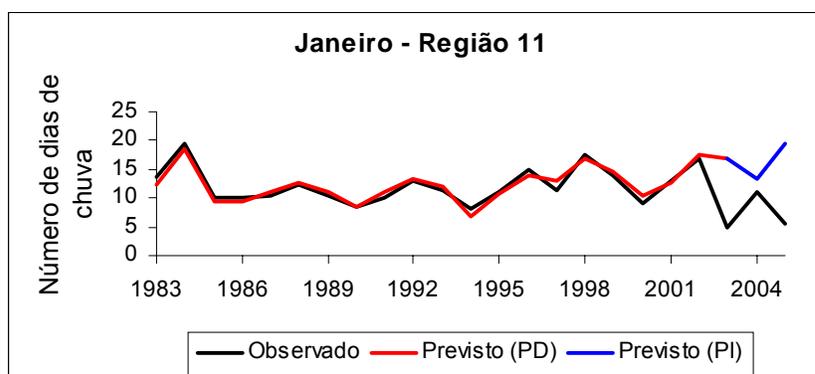


Figura 32 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 no verão.

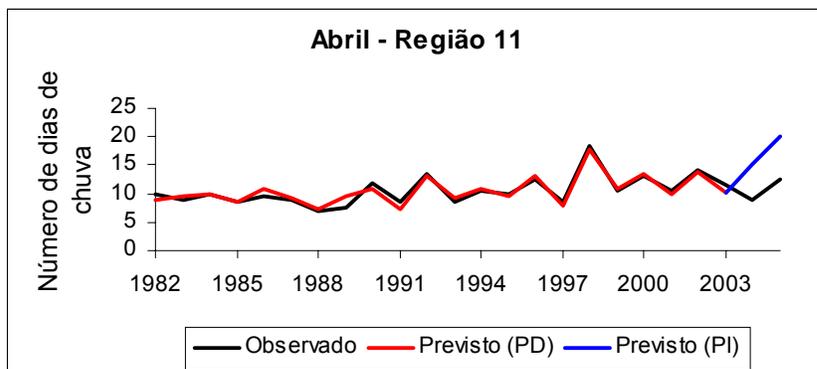


Figura 33 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 no outono.

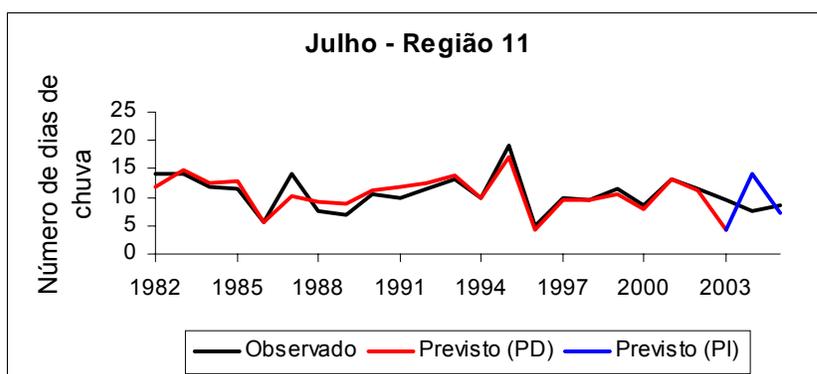


Figura 34 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 no inverno.

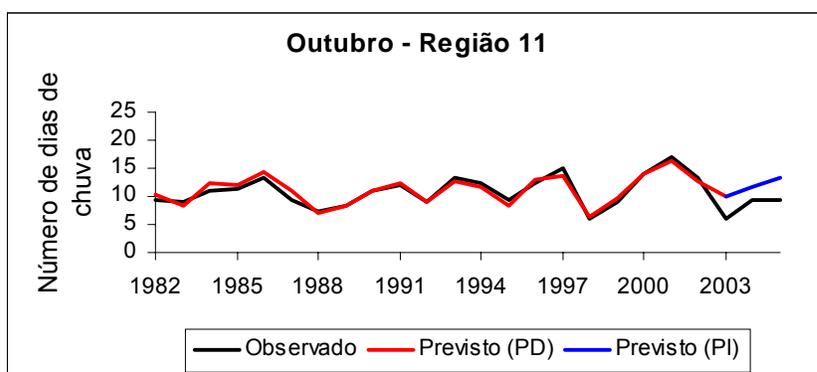


Figura 35 - Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11 na primavera.

Nesta região, para o período dependente, o modelo mostra bons resultados para todos os meses observados, no entanto o período independente apresenta maiores diferenças entre valores observados e previstos, podendo-se ressaltar o mês de janeiro, onde estas diferenças ficam mais visíveis.

Segundo valores obtidos por Diniz (1994; 2002), em cálculo de variáveis meteorológicas, mais precisamente radiação global e temperaturas máxima e mínima; no período independente é normal ter valores previstos um pouco diferente dos valores observados.

A destreza de um modelo de previsão, seja ele de tempo ou clima, está ligado à qualidade do preditor. A TSM, nos modelos climatológicos, tem demonstrado ser um preditor eficiente nos prognósticos de precipitação pluvial (MARQUES, 2005) e nas temperaturas máxima e mínima (DINIZ, 2002) em modelos desenvolvidos para o Rio Grande do Sul. Os oceanos, diferente dos continentes, levam algum tempo para responder ao aquecimento e resfriamento, em função de ser um termoregulador no sistema oceano-atmosfera. Devido a essas variações, as Temperaturas da Superfície do Mar de alguns meses, principalmente as do outono, são melhores preditores do que outros. O modelo proposto, apresentou bons resultados, o que pode ser visto nos gráficos mostrados: o mês de julho, previsto pela TSM do mês de maio, independente da região, foi o melhor mês, tanto no período dependente quanto no independente.

4.2 Avaliação do desempenho do método através do Coeficiente de Correlação entre a série de dados observada e a série de dados prevista

O coeficiente de correlação (r) entre a série de dados observada e a série de dados prevista são mostradas na Tab. 3, onde se pode observar que 81,25% destes encontram-se com valores acima de 0,70 e apenas 6,25% registraram valores menores que 0,50. A região que apresentou os maiores coeficientes de correlação foi R9, caracterizando a região de melhor skill, e a região R6 obteve os menores coeficientes. A relação mais evidente, caracterizando melhor skill, entre os dados observados e previstos foi constatada no mês de julho, em janeiro verificou-se a menor relação entre os dados.

Conforme valores calculados, levando em consideração o número de pares da amostra, qualquer coeficiente de correlação da Tab. 3 maiores que 0,47 são significativos a 1%, os demais são significativos a 5%.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre a série de dados observada e prevista. Período, 1982 – 2005.

Mês	Região 1	Região 3	Região 4	Região 6	Região 8	Região 9	Região 10	Região 11
Janeiro	0,51	0,76	0,85	0,16	0,90	0,74	0,59	0,37
Fevereiro	0,90	0,58	0,93	0,58	0,61	0,85	0,79	0,62
Março	0,68	0,91	0,76	0,90	0,67	0,81	0,64	0,91
Abril	0,47	0,74	0,84	0,80	0,83	0,75	0,94	0,75
Mai	0,64	0,78	0,87	0,54	0,64	0,93	0,86	0,93
Junho	0,87	0,89	0,89	0,79	0,89	0,81	0,74	0,89
Julho	0,85	0,93	0,82	0,85	0,91	0,90	0,88	0,76
Agosto	0,72	0,75	0,45	0,74	0,78	0,84	0,91	0,79
Setembro	0,78	0,79	0,78	0,86	0,77	0,83	0,77	0,89
Outubro	0,49	0,75	0,79	0,90	0,75	0,93	0,89	0,87
Novembro	0,75	0,87	0,88	0,84	0,90	0,83	0,82	0,58
Dezembro	0,87	0,86	0,74	0,30	0,56	0,80	0,78	0,81

Uvo et al. (1998), através de uma pesquisa realizada para o Nordeste do Brasil, também verificaram que alguns meses apresentam maior correlação da precipitação pluvial com TSM que outros.

4.3. Variância das equações prognósticas de Número de Dias de Chuva

A análise das equações foi feita através da variância explicada pelas variáveis independentes (TSM) em relação à variável dependente (Número de Dias de Chuva). As Tabelas 4, 5, 6 e 7 mostram as proporções da variância explicada das equações prognósticas, cujas variáveis dependentes são de um mês e, as independentes, dos meses anteriores (defasagem 1, 2, 3, 4), como por exemplo na Tab. 4: defasagem de 1 mês, (trabalho com os dados para a elaboração do prognóstico); defasagem de 2 meses - fevereiro prevendo abril; defasagem de 3 meses - fevereiro prevendo maio; defasagem de 4 meses - fevereiro prevendo junho.

Tabela 4 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para abril, maio e junho com a TSM de fevereiro, período de 1982 a 2002.

Mês	R1	R3	R4	R6	R8	R9	R10	R11
Fev./abr.	88,0	74,5	86,5	89,0	91,0	90,6	92,5	89,8
Fev./mai	58,0	94,2	93,4	82,3	56,0	90,5	88,3	86,0
Fev./jun	88,6	89,0	86,0	86,7	87,6	83,0	86,4	84,3

Tabela 5 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para julho, agosto e setembro com a TSM de maio, período de 1982 a 2002.

Mês	R1	R3	R4	R6	R8	R9	R10	R11
Mai./jul.	88,3	88,0	89,5	78,4	87,2	87,8	85,8	82,0
Mai./ago.	90,1	77,0	86,4	75,0	84,1	85,7	90,7	88,2
Mai./set.	86,1	85,1	88,6	89,2	74,1	80,3	87,3	81,0

Tabela 6 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para outubro, novembro e dezembro com a TSM de agosto, período de 1982 a 2002.

Mês	R1	R3	R4	R6	R8	R9	R10	R11
Ago./out.	82,6	86,4	82,6	87,4	82,5	96,0	92,4	91,1
Ago./nov.	83,2	82,1	86,5	76,1	87,7	81,6	90,6	87,8
Ago./dez.	86,0	85,3	81,4	81,7	80,4	79,8	90,7	89,0

Tabela 7 - Variância explicativa (%) das equações prognósticas, de Número de Dias de Chuva para janeiro, fevereiro e março com a TSM de novembro, período de 1982 a 2002.

Mês	R1	R3	R4	R6	R8	R9	R10	R11
Nov./jan.	82,0	78,7	83,7	80,6	84,4	94,8	72,7	93,0
Nov./fev.	80,4	89,8	91,7	77,8	89,4	89,0	90,5	87,5
Nov./mar	88,0	88,5	91,3	85,0	81,2	90,0	76,0	94,1

Verifica-se que as variâncias explicadas dos modelos prognósticos obtiveram ótimos resultados, apenas dois valores ficaram abaixo de 70%, que foram

a TSM do mês de fevereiro prevendo maio, das regiões R1 e R8. Este fato ocorreu devido à equação prognóstica ter somente duas variáveis independentes para prever o NDC. O mês de novembro, utilizado como preditor dos meses de janeiro, fevereiro e março, foi o que apresentou valores de variância ligeiramente maiores que os outros meses preditores, por isso o de melhor previsão. Com os presentes resultados, constatou-se ser a região R11, para este mesmo mês preditor, a região com os maiores valores de variância explicada. Em seguida aparece, com uma pequena diferença, a região R9, para o mesmo mês preditor, e R10 com o mês de agosto como preditor. É possível observar que, em R9, as variáveis independentes de TSM do mês de agosto explicaram 96% da variância do NDC de outubro. As regiões que registraram os menores valores de variância explicada foram a R1 e a R8.

4.4 Teste do modelo

A forma de aferição quanto à eficiência do modelo adotado neste trabalho foi realizada através do erro relativo (ϵ). Essa metodologia foi também usada por Diniz & Calvetti (1998), Gonçalves & Kim (1998) e Puchalski (2000). O método foi aplicado primeiramente para o período dependente e num segundo momento para o período independente. As Tabelas 8 e 9 listam o erro relativo da previsão do NDC para as oito regiões ecoclimáticas utilizadas para o período dependente e independente, respectivamente.

Tabela 8 - Erro relativo (ϵ) da previsão do Número de Dias de Chuva para as regiões ecoclimáticas, período de 1982 a 2002.

Mês	Região 1	Região 3	Região 4	Região 6	Região 8	Região 9	Região 10	Região 11
Janeiro	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,3
Fevereiro	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4
Março	0,3	0,3	0,6	0,4	0,4	0,3	0,5	0,2
Abril	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Mai	0,6	0,2	0,3	0,4	0,7	0,3	0,3	0,4

TABELA 8, Cont.

Mês	Região 1	Região 3	Região 4	Região 6	Região 8	Região 9	Região 10	Região 11
Junho	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Julho	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
Agosto	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Setembro	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4
Outubro	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3
Novembro	0,4	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3
Dezembro	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Verifica-se na Tab. 8 que os erros relativos de todas as regiões estão abaixo de 1, o que caracteriza a eficiência do modelo. A região que obteve os erros relativos mais baixos foi a região R11, com um erro relativo médio de 0,34. Os meses de abril e outubro, também com uma média de 0,34, apresentaram os menores erros relativos. As regiões com os maiores erros relativos, com média de 0,41, foram a R6 e a R8 e os meses que registraram os maiores valores foram maio e setembro, com média de 0,40. Com isso, pode-se dizer que houve excelentes resultados para o período dependente.

Tabela 9 - Erro relativo (ϵ) da previsão do Número de Dias de Chuva para as regiões ecoclimáticas, período de 2003 a 2005.

Mês	Região 1	Região 3	Região 4	Região 6	Região 8	Região 9	Região 10	Região 11
Janeiro	2,8	1,4	1,2	4,4	0,6	2,2	2,2	3,6
Fevereiro	0,4	2,7	0,9	2,4	2,5	1,2	1,6	2,3
Março	2,3	0,8	3,0	0,7	2,2	1,5	1,9	1,0
Abril	3,1	1,4	1,2	1,7	1,5	1,8	0,6	2,2
Mai	1,5	1,8	1,3	2,7	1,8	0,7	1,1	0,3
Junho	1,1	0,9	0,8	1,5	0,9	1,4	1,8	0,7
Julho	1,2	0,5	1,5	1,0	0,7	0,8	1,0	1,6
Agosto	2,0	1,4	3,4	1,5	1,5	1,1	0,9	1,6
Setembro	1,6	1,6	1,7	1,3	1,4	1,1	1,9	0,5
Outubro	3,1	2,1	1,5	0,8	1,7	0,8	1,0	1,3
Novembro	1,7	0,8	0,9	0,8	0,7	1,1	1,5	2,5
Dezembro	1,0	1,1	1,9	3,9	2,6	1,3	1,8	1,5

Na Tab. 9, somente 23,95% dos erros relativos encontram valores abaixo de 1. A região que obteve os melhores resultados foi a R9, com um erro relativo médio de 1,37, sendo julho o mês de melhor resultado, com média 1. A região R6 e o mês

de janeiro registraram os maiores erros relativos, com média de 1,9 e 2,3, respectivamente. Um dos fatos do erro relativo apresentar valores bem mais altos no período independente é que, dependendo do período utilizado no desenvolvimento do modelo, as condições oceânicas não apresentam uma variedade maior de situações anômalas e estas situações acontecerem no período de validação do modelo (período independente), criando uma situação nova que não entrou no cálculo dos coeficientes de regressão das equações preditivas.

Deve-se ressaltar que esta pesquisa, por se tratar de previsão climática utilizando modelos estatísticos, referiu-se principalmente ao enfoque estatístico puro e simples, sem se aprofundar nas questões envolvendo processos físicos e dinâmicos da interação Oceano-Atmosfera.

5. CONCLUSÃO

A partir da metodologia proposta, os resultados obtidos permitem concluir que:

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um bom preditor para o Número de Dias de Chuva (NDC). A defasagem temporal ideal entre essas variáveis no desenvolvimento de modelos preditivos é de até quatro meses.

Para todas as regiões analisadas, obtiveram-se bons resultados na previsão de NDC para todos os meses analisados. A série de dados prevista e a série de dados observada seguem um mesmo padrão de distribuição desta variável, entretanto, existem alguns valores previstos que apresentam diferenças dos valores observados, mas não são diferenças significativas. No período independente, a série prevista mostra as maiores diferenças em relação aos valores observados.

A região em que o modelo apresenta melhor destreza é a região ecoclimática da Campanha (R9), e o mês de melhor previsão é julho, pelo fato desse mês ser previsto com TSM do mês de maio.

Com relação à eficiência do modelo, este apresenta bons resultados em meses com um grande número de preditores, facilitando a seleção dos melhores. Os resultados da série prevista, em grande parte, divergiram dos valores observados no período independente, mas alcançaram-se resultados aceitáveis para todo o período em que foi realizado o trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, S.B.; DINIZ, G.B. Relação do evento El Niño e o número de dias de chuva na região de Pelotas–RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: SBMet, 2004. CPC-0101. 1 CD-ROM.

BARNSTON, A.G.; SMITH, T.M. Specification and prediction of global surface temperature and precipitation from global SST using CCA. **Journal of Climate**, v.9, n. 11, p. 2660- 2697, 1996.

BERLATO, M.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 24 out. 1983. Palestra proferida no Simpósio, “Elementos culturais do Rio Grande do Sul”.

CARDOSO, A.O.; SILVA DIAS, P.L. Identificação de trimestres extremos no regime pluviométrico do Sul e Sudeste do Brasil e relação com a TSM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu-PR. **Anais...**: SBMet, 2002. 1 CD-ROM.

CARDOSO, A.O.; SILVA DIAS, P.L. Variabilidade da TSM do Atlântico e Pacífico e temperatura na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.19, n.3, p. 307-324, 2004.

CARDOSO, A.O.; SILVA DIAS, P.L.; CHAMORRO, L. O uso de TSM e vazão como preditores de vazão no Rio Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais ...** São Paulo: SBMet, 2004. PL 0201. 1 CD-ROM.

DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D.; MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. **Journal of Climate**, Boston, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.

DINIZ, G.B. **Determinação de preditores informativos visando um modelo de previsão climática de temperatura máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. 2002. 167 f. Tese (Doutorado - Agrometeorologia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DINIZ, G.B. **Séries temporais de irradiação solar: Recuperação de dados mediante componentes principais**. Campina Grande: UFPB, 1994. 118 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia - Climatologia) - Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.

DINIZ, G.B.; CALVETTI, L. Regiões informativas de TSM (Hemisfério Sul) para previsão de temperatura máxima em algumas estações do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. CL-98137. 1 CD-ROM.

FEDDERSEN, H. Impact of Global sea surface temperature on summer and winter temperatures in Europe in a set of seasonal ensemble simulations. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 126, n.567, p. 2089-2109, 2000.

FERREIRA, J.H.D.; NERY, J.T. Análise estatística da precipitação pluviométrica no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11; REUNIÃO LATINA AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Santa Maria: SBA, 1999. 1 CD-ROM.

FONTANA, D.C; ALMEIDA, T.S. Climatologia do número de dias de chuva com precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria –RS, v.10, n.1, p.135-145, 2002.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria-RS, v.5, n.1, p. 127-132, 1997.

GONÇALVES, F.V.; KIM, I.S. Recuperação de dados climatológicos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO DA FLISMET, 8.; 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. CI-98173. 1 CD-ROM.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, n.11, p. 2863-2880, 1998.

GUETTER, A.K. Previsão Climática de precipitação: Previsão probabilística local. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. CI-98134. 1 CD-ROM.

HAIR, J. S. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998, 593p.

HASTENRATH, S. Recent advances in tropical climate prediction. **Journal of Climate**, Boston, v.8, n.13, p. 1519-1532, 1995.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, Boston v.6, n.10, p. 743-758, 1993.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L.; HEERDEN, J.V. Prediction of the summer rainfall over South Africa. **Journal of Climate**, Boston, v.8, n.6, p. 1511-1517, 1995.

KHAN, V.M.; KIM, I.S.; SARAIVA, J.M. A relação entre as anomalias de TSM no Hemisfério Sul com as anomalias da precipitação no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. 1 CD-ROM.

MARQUES, J. R. **Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos**. 2005. 210f. Tese (Doutorado-Agrometeorologia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MENEZES, R.H.N. Tendência prognóstica das chuvas no nordeste do Brasil em relação às anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO DA FLISMET,8., 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. CL-98141. 1 CD-ROM.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G.C. Relação do dipolo do Atlântico tropical com o período chuvoso da região Sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2002. PL-0057. 1 CD-ROM.

MONTECINOS, A.; DÍAZ, A.; ACEITUNO, P. Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in Subtropical South America based on Tropical Pacific SST. **Journal of Climate**, v 13, n. 4, p. 746-758, 2000.

NAMIAS, J. Long range weather forecasting history, current status and outlook. **Bulletin American Meteorological Society**, Boston, v.49, n.5, p.438-470, 1968.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

NERY, J.T.; STIVARI, S.M.S.; FREITAS, E.D.; MARTINS, M.L.O. Número de dias com precipitação pluvial do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu-PR. **Anais...** SBMet, 2002. 1 CD-ROM.

PEZZI, L.P.; UBARANA, V.; REPELLI, C. Desempenho e previsão de um modelo regional estatístico para a Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n.2, p. 129-146, 2000.

PISCIATTANO, G.; DÍAZ, A.; CAZES, G.; MECHOSO, C. El Niño-Oscillation impact on rainfall in Uruguay. **Journal of Climate**, Boston, v.7, n.8, p. 1286-1301, 1994.

PUCHALSKI, L. A. **Efeito associado ao El niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Rio Grande do Sul**. 200. 100 f. Dissertação (Mestrado - Agrometeorologia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIO GRANDE DO SUL SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, Centro Nacional de Pesquisa do Trigo. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CORAG, 1994. v.2, 57p.

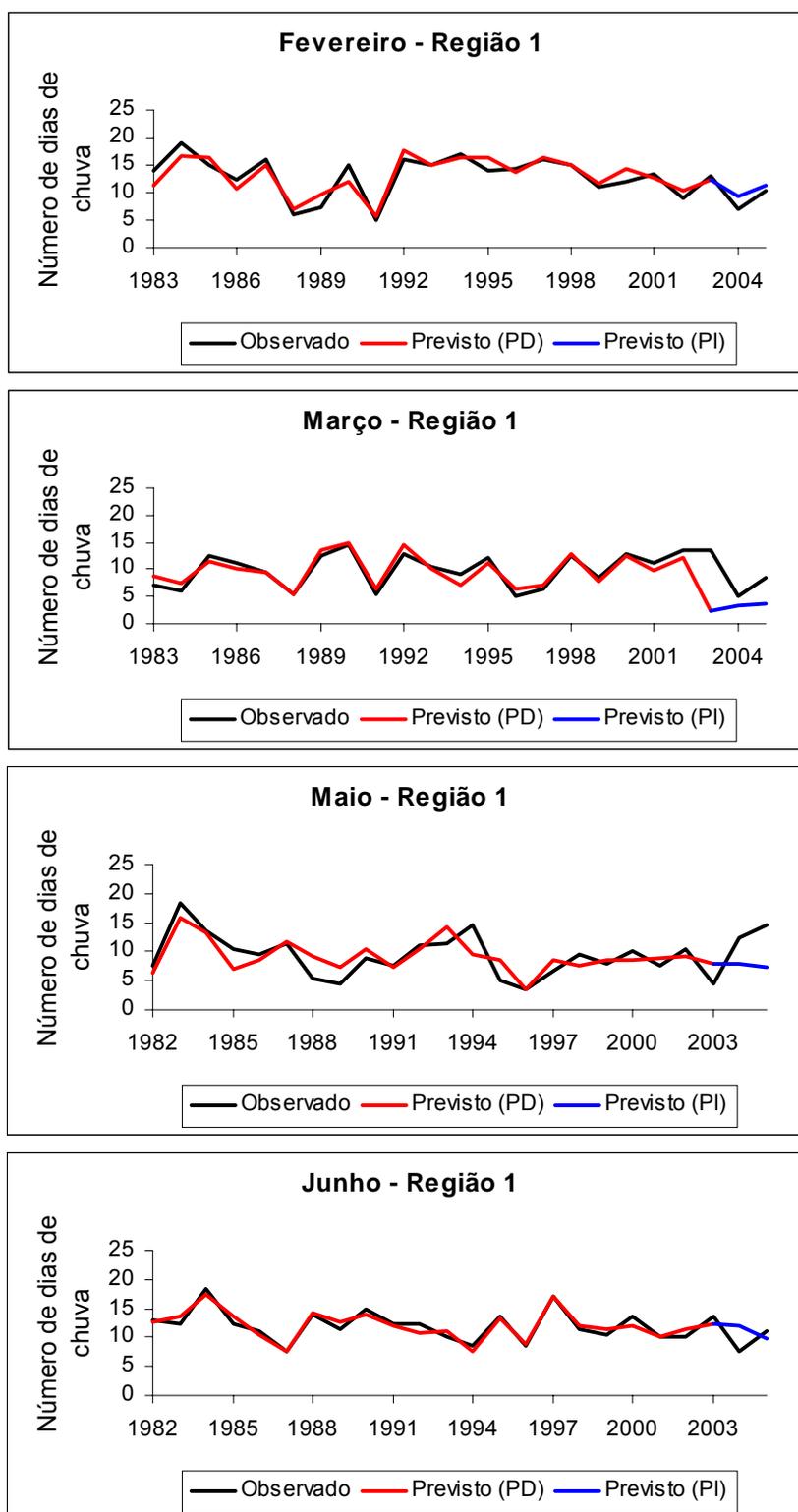
ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/ Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

SANSIGOLO, C.A. Impacto dos eventos extremos de ENSO nas precipitações sazonais do Sul do Brasil. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA E XIV CONGRESSO MEXICANO DE METEOROLOGIA, 2005, Cancun México, **Anais...** Cancun, 2005, 1 CD-ROM.

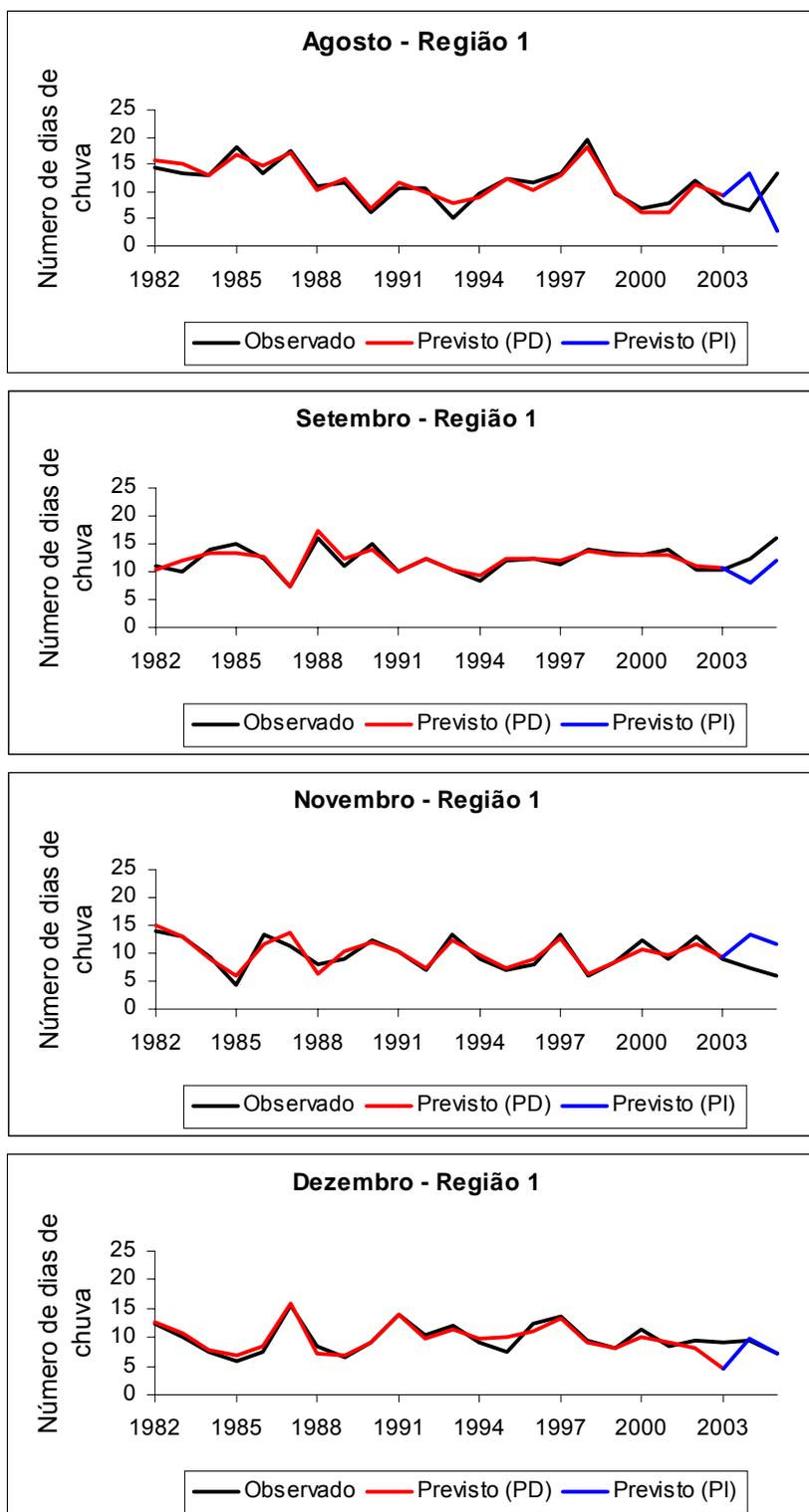
SILVA, V. de P.R.; SOUSA, F.deA.S.; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P.; SILVA, B.B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 68, p. 781-792, 2006.

UVO, C.B.; REPELLI, C.A.; ZEBIAK, S.E.; KUSHNIR, Y. The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v.11, n. 10, p. 551-562, 1998.

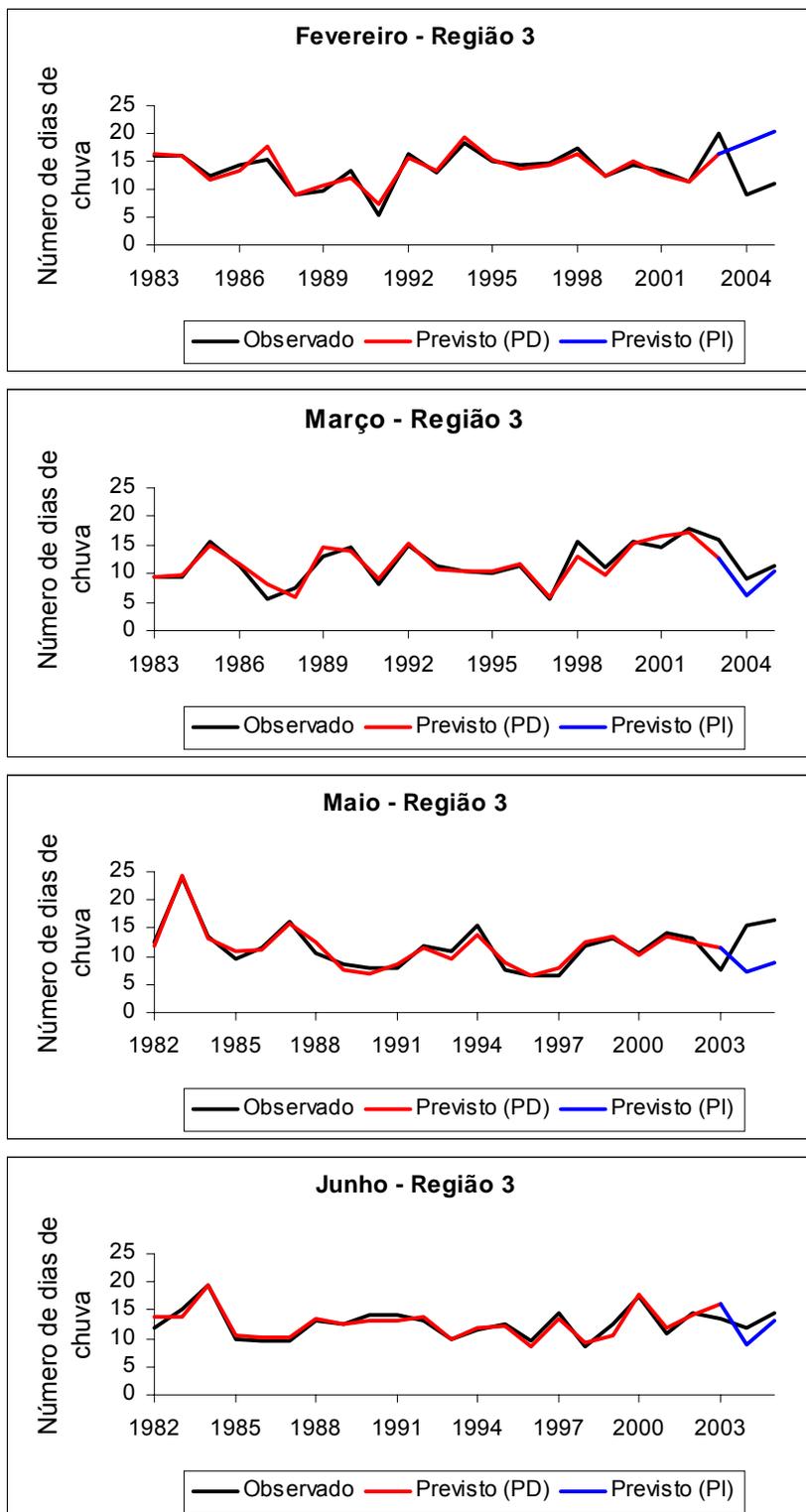
7- APÊNDICE



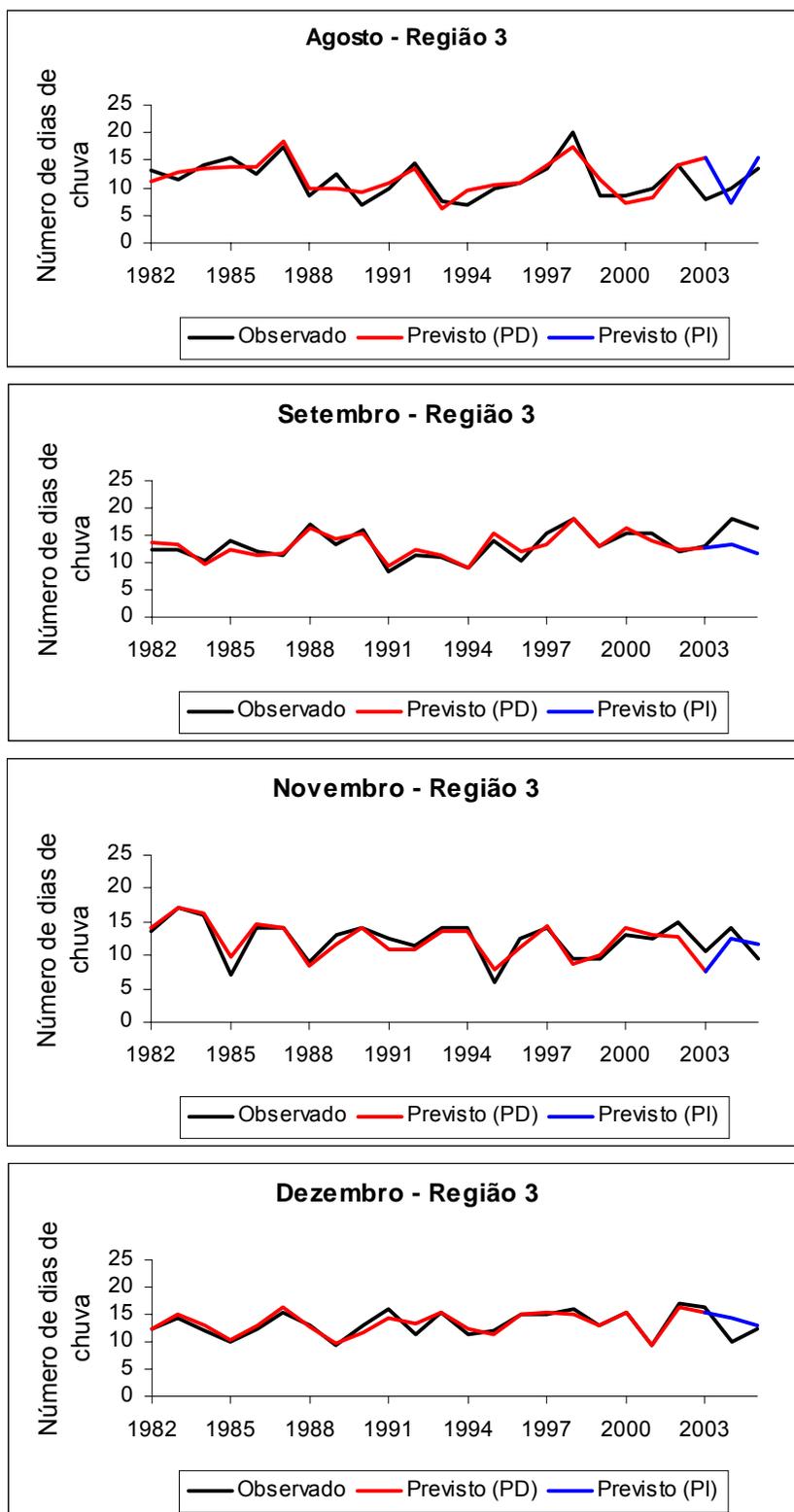
Apêndice 1- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1.



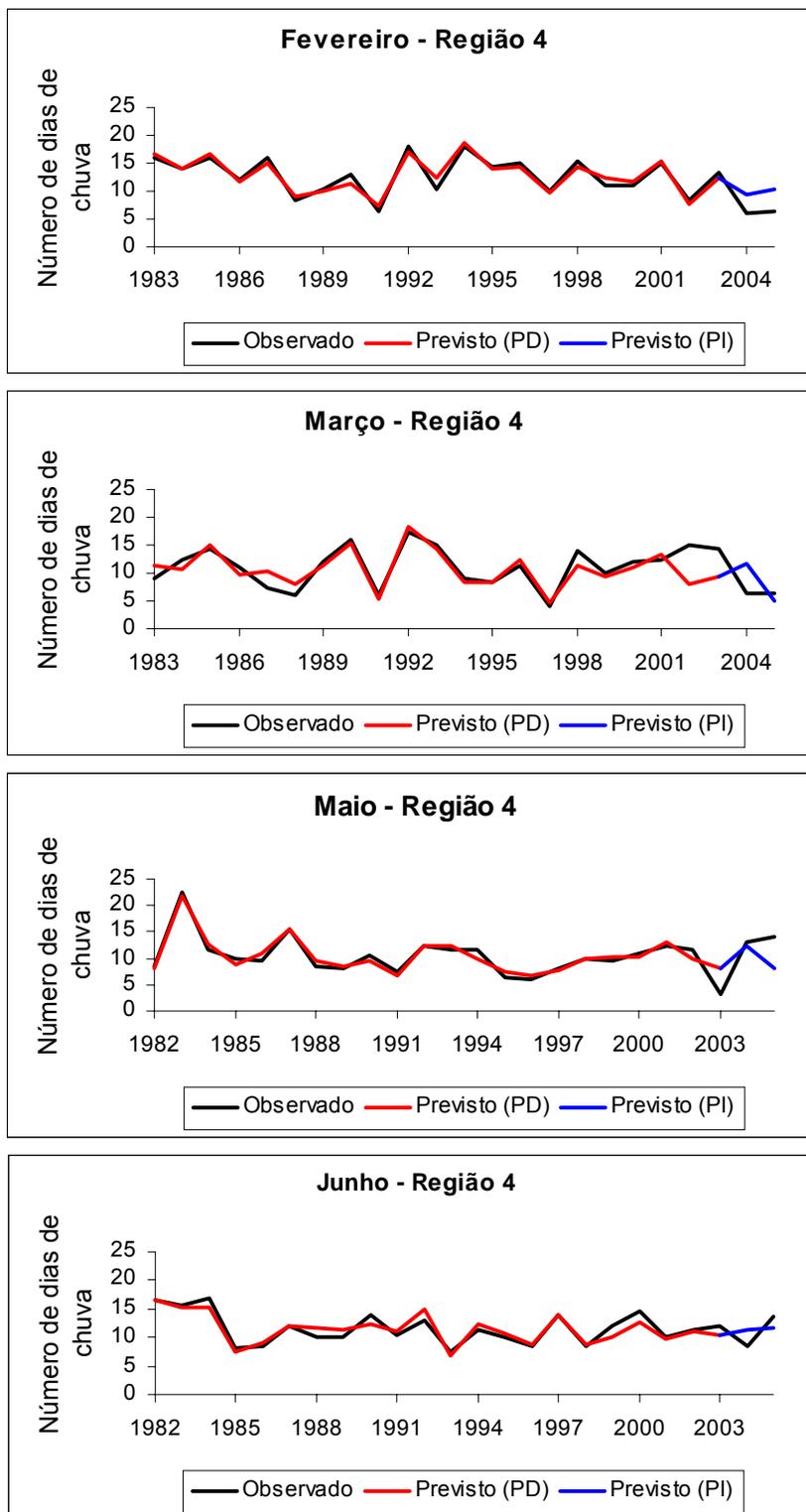
Apêndice 2- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 1.



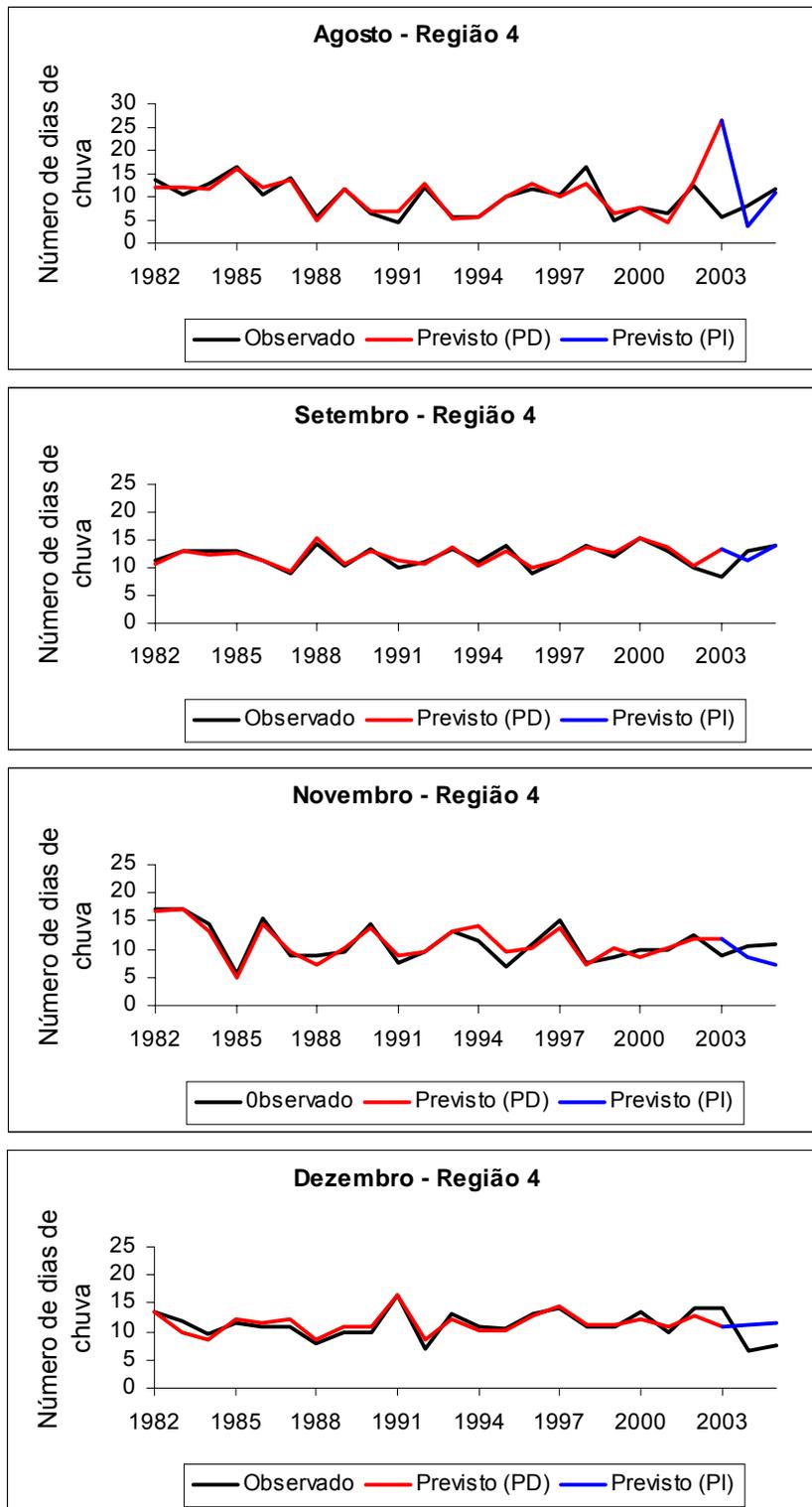
Apêndice 3- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3.



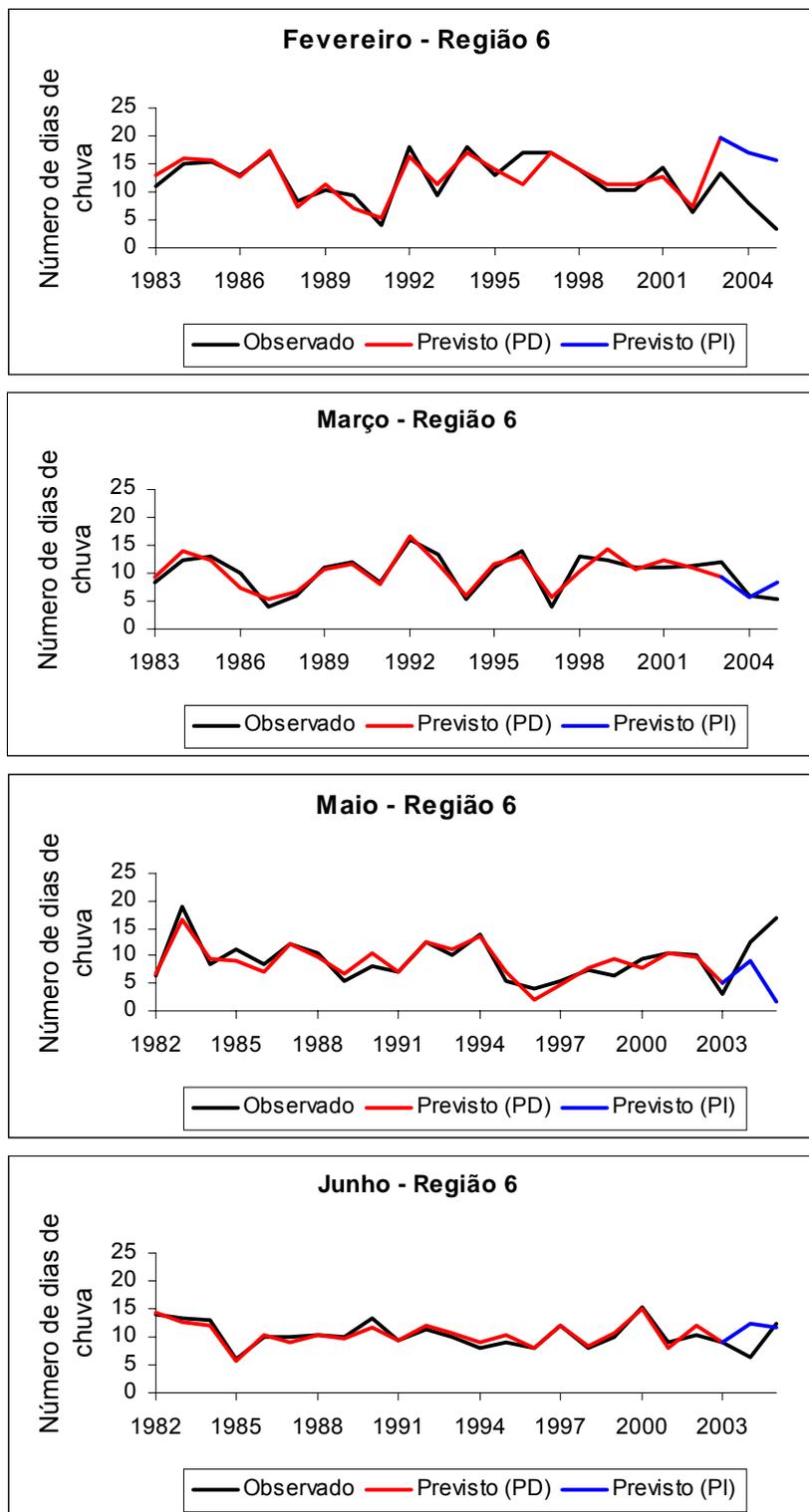
Apêndice 4- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 3.



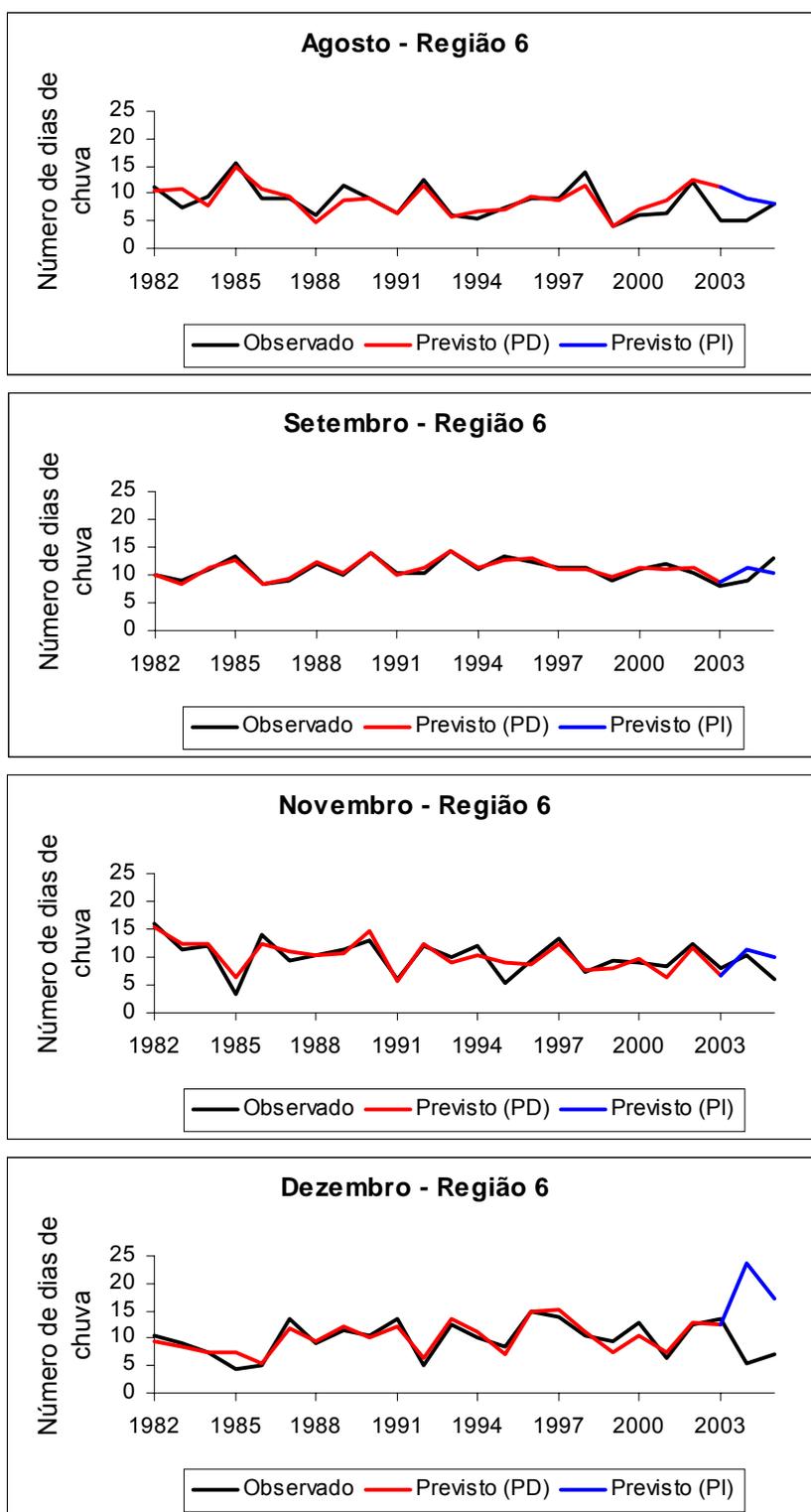
Apêndice 5- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4.



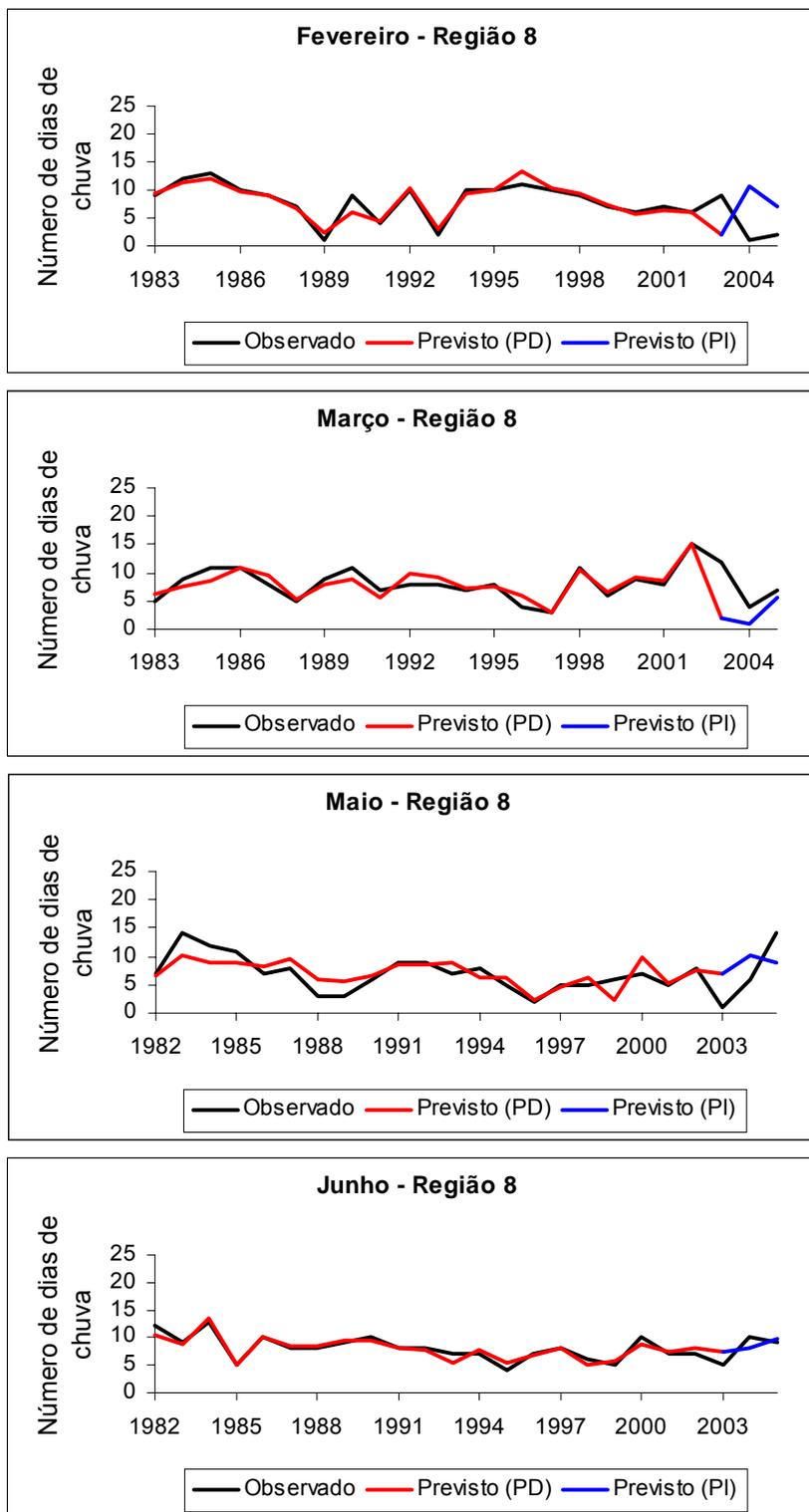
Apêndice 6- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 4.



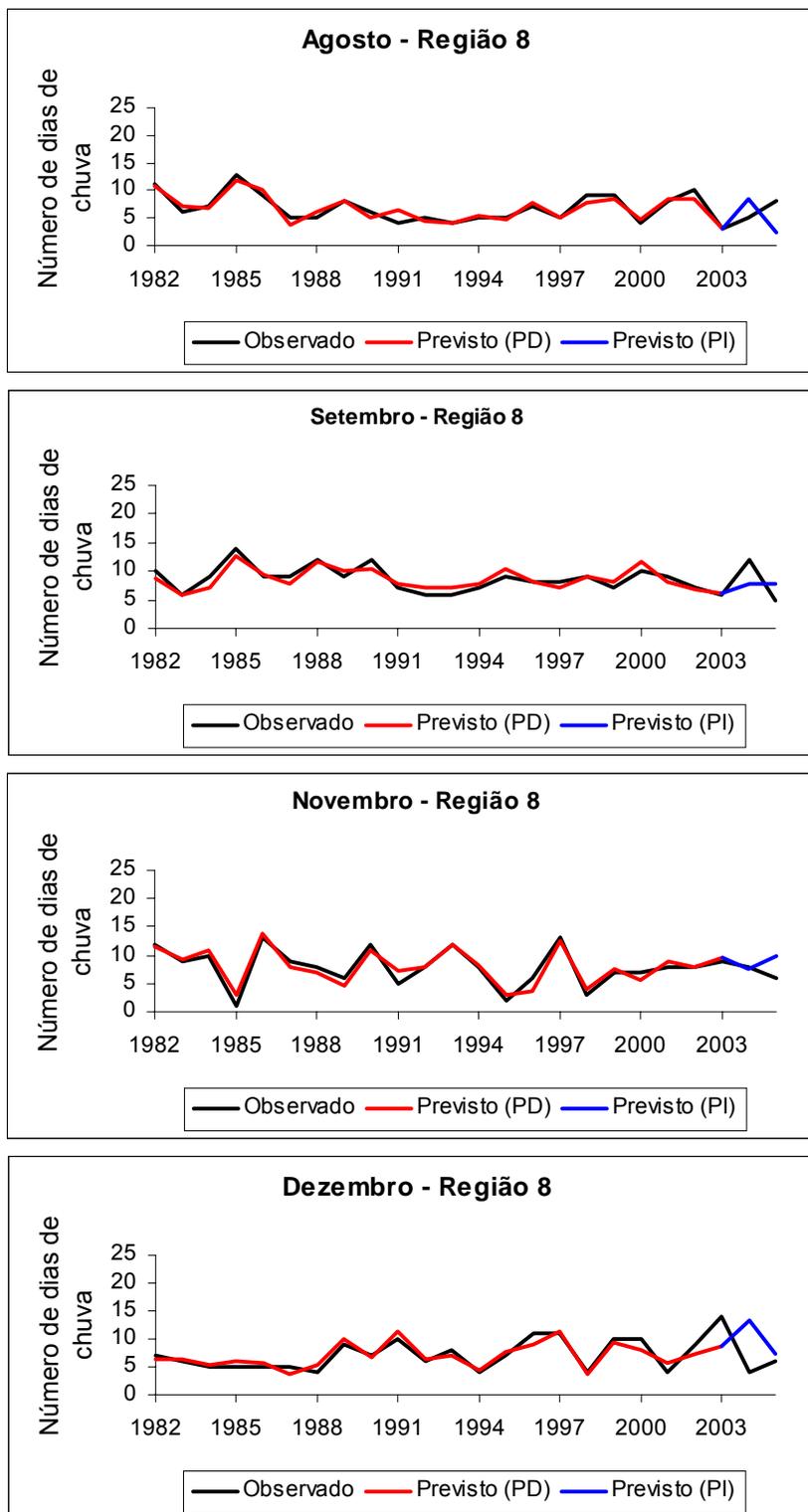
Apêndice 7- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6.



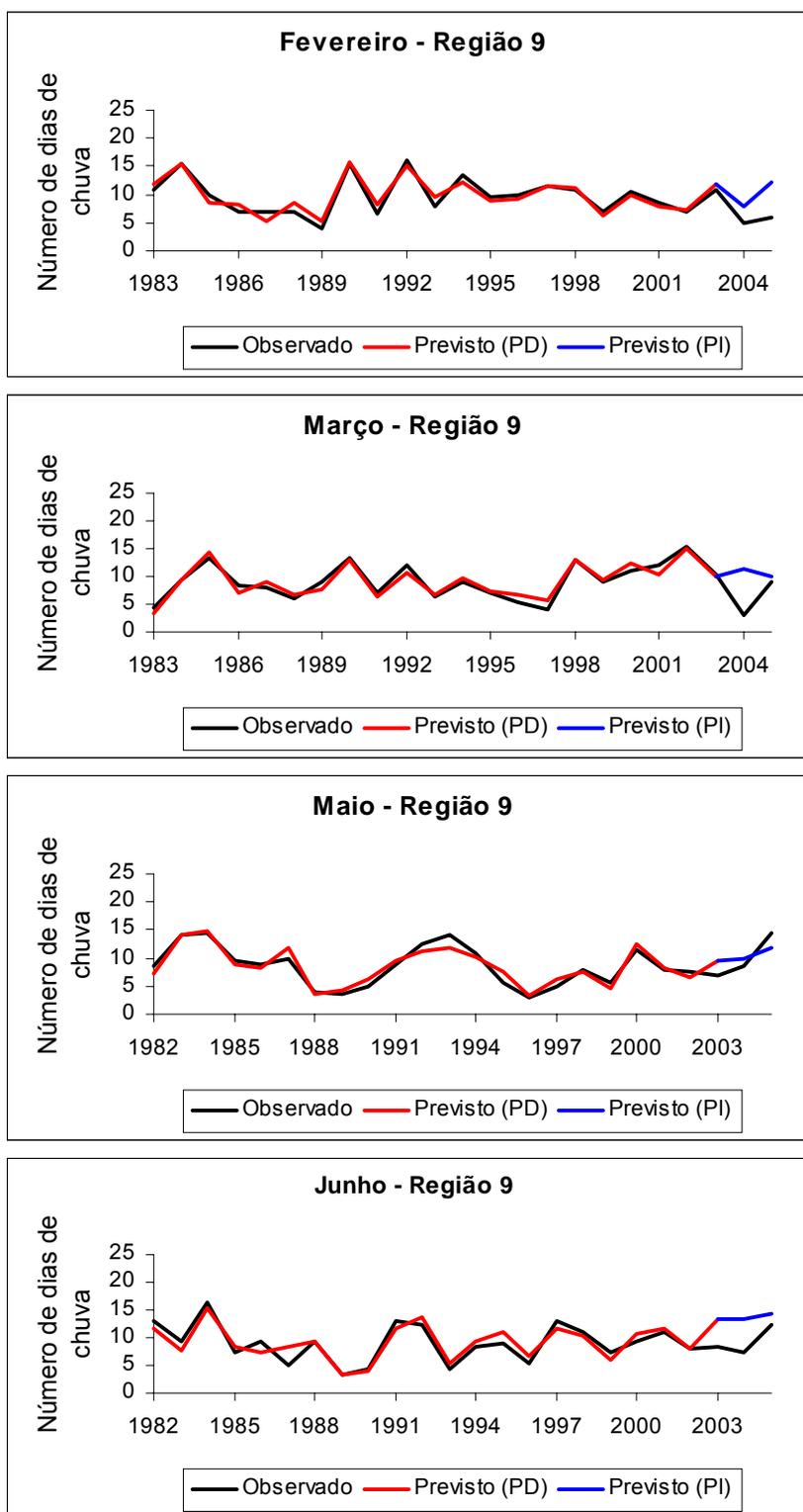
Apêndice 8- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 6.



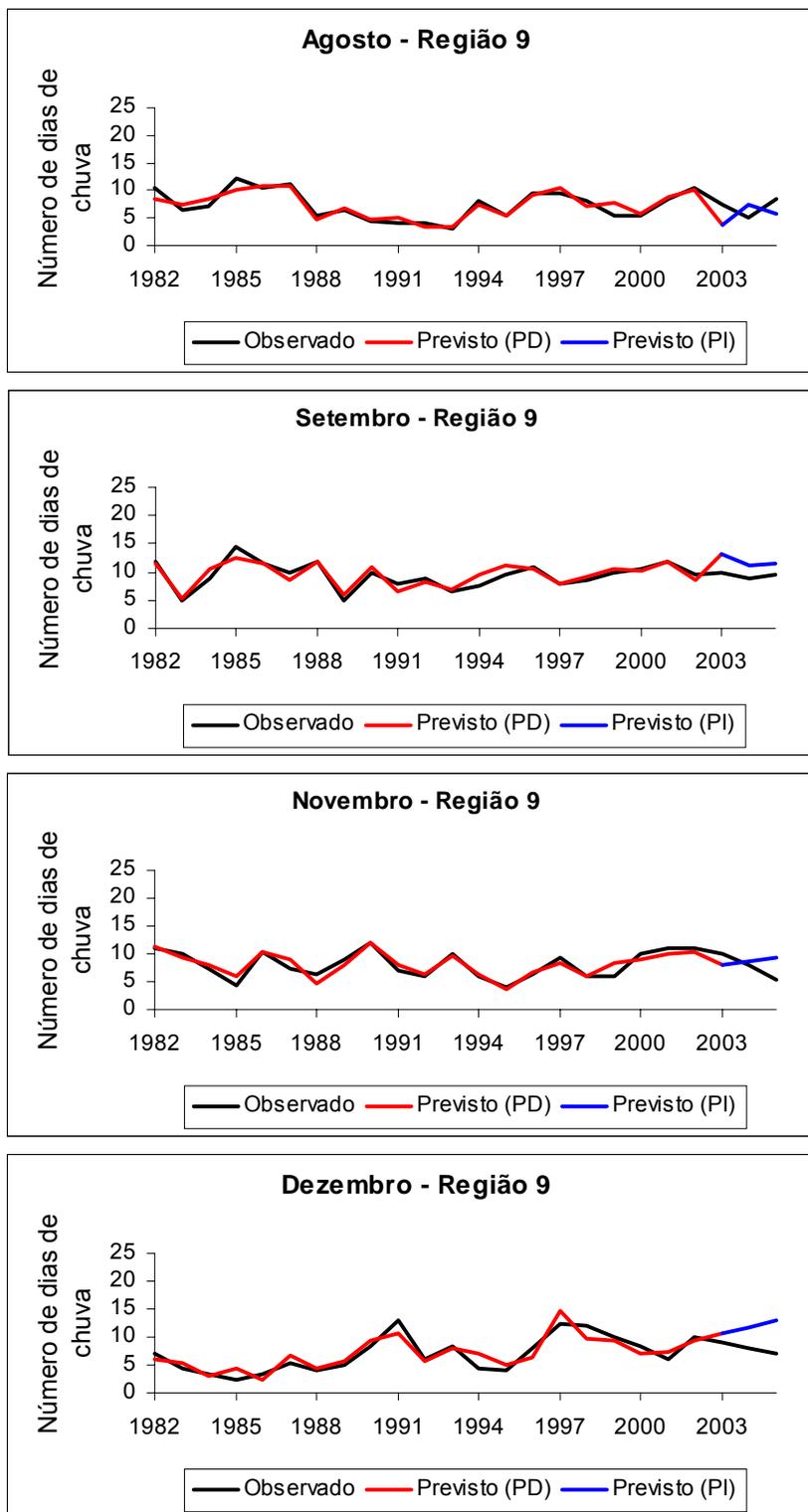
Apêndice 9- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8.



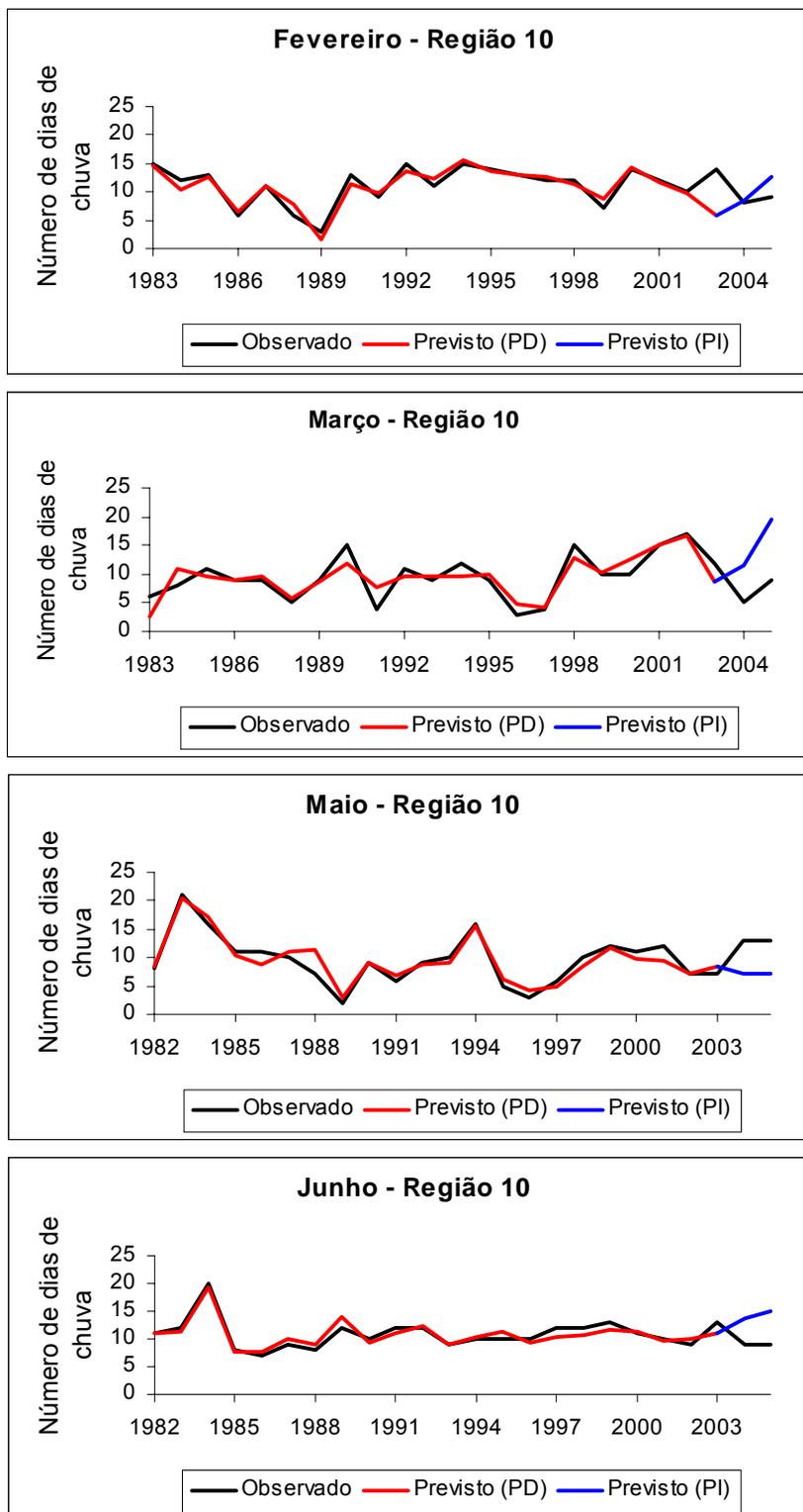
Apêndice 10- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 8.



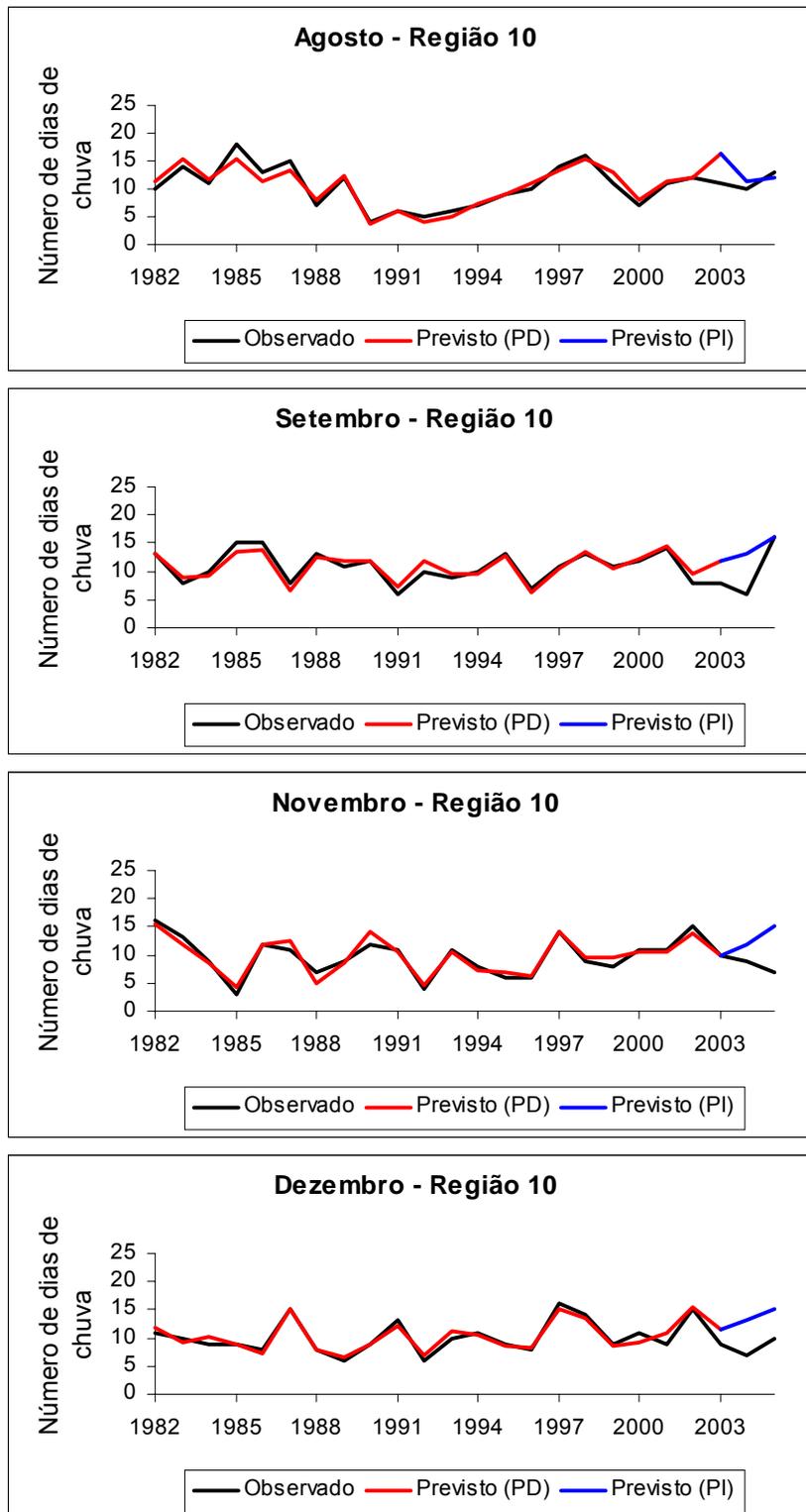
Apêndice 11- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9.



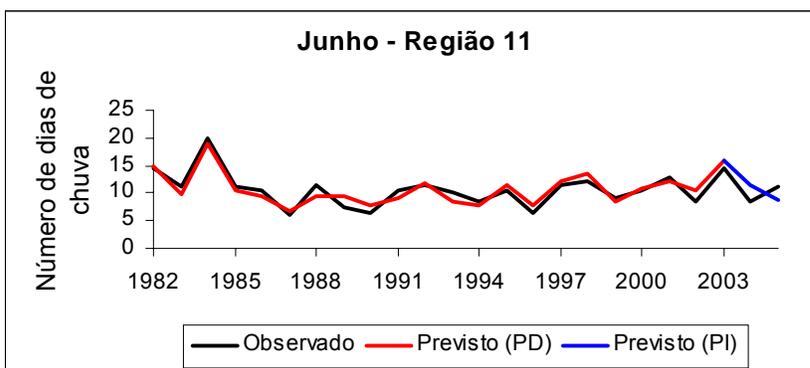
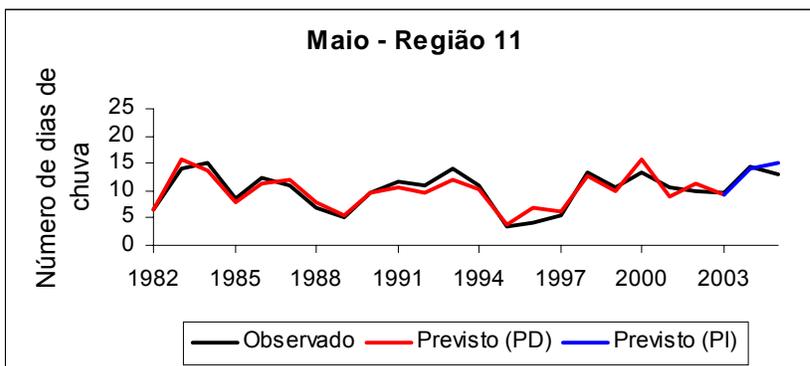
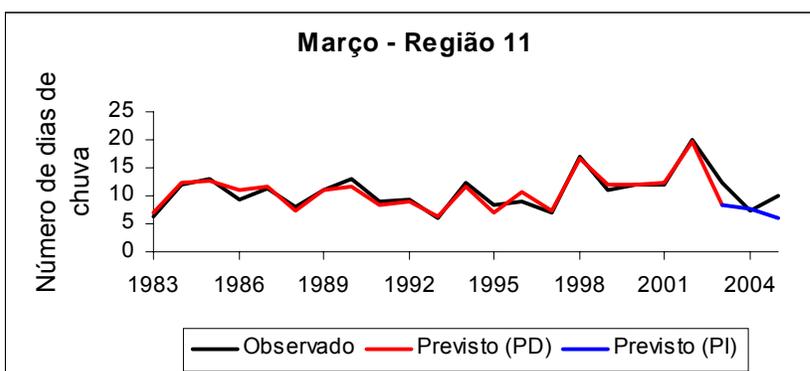
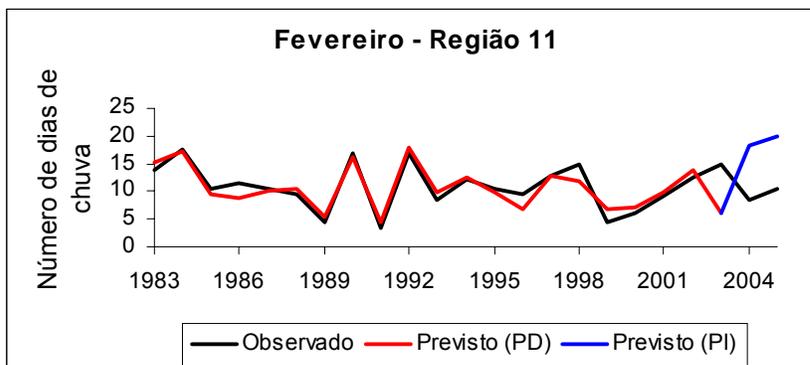
Apêndice 12- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 9.



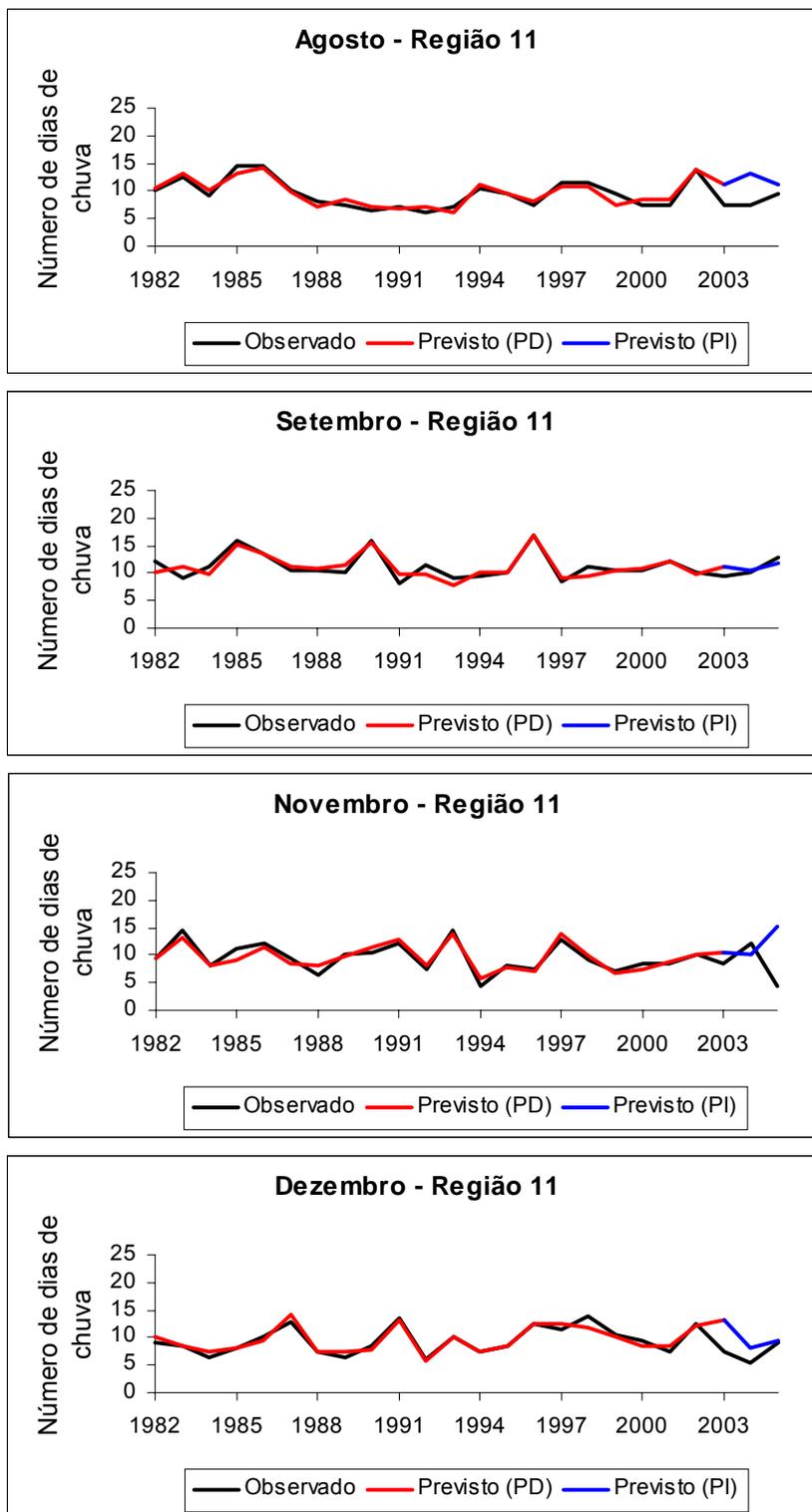
Apêndice 13- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10.



Apêndice 14- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 10.



Apêndice 15- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11.



Apêndice 16- Série do Número de Dias de Chuva previsto e observado para os períodos dependente (PD), 1982-2002 e independente (PI), 2003-2005 para a Região 11.