



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13599-TDI/1038

**RELAÇÕES ENTRE A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E A
PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE SOJA E MILHO NAS
REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL**

Danielle Barros Ferreira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos
Drs. Sergio Henrique Franchito e Vadlamudi Brahmananda Rao,
aprovada em 25 de fevereiro de 2005.

551.578.4: 631 (815/816)

FERREIRA, D. B.

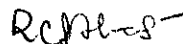
Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil / D. B. Ferreira. - São José dos Campos: INPE, 2005.

123p.; – (INPE-13599-TDI/1038).

1.Precipitação. 2.Produtividade. 3.Milho. 4.Soja.
5.Oscilação sul. I. Título.

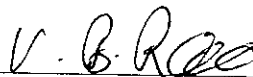
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Meteorologia

Dra. Regina Célia dos Santos Alvalá



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Vadlamudi Brahmananda Rao



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Sérgio Henrique Franchito



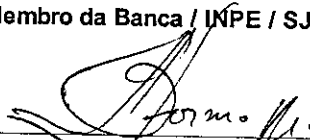
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Antonio Roberto Formaggio



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Romísio Geraldo Bouhid André



Convidado(a) / UENF / Macaé - RJ

Aluno (a): Danielle Barros Ferreira

São José dos Campos, 25 de fevereiro de 2005

“Não se deve ir atrás de objetivos fáceis. É preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio de maiores esforços”.

ALBERT EINSTEIN

*Aos meus pais,
FERREIRA e VIVI
e ao meu irmão,
BRUNO LEONARDO.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me presenteado com mais essa vitória em minha vida.

Aos meus pais Ferreira e Vivi, pelo exemplo de dignidade, caráter e por sempre me incentivarem ao estudo.

Ao meu irmão Bruno Leonardo, por ser amigo e sempre acreditar no meu potencial.

A todos os meus familiares presentes, pelo apoio dedicado, e aos ausentes, que estariam felizes pela minha conquista.

Aos Drs. Vadlamudi Brahmananda Rao e Sergio Henrique Franchito, pela orientação, ensinamentos transmitidos e incentivo na carreira de pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, pelas críticas e sugestões, em especial a Dra. Regina Célia dos Santos Alvalá, por ser responsável pela correção tão cuidadosa deste documento.

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

Aos amigos e companheiros: Luis André Rodrigues dos Santos, Paulo Ricardo Bardou Barbieri, Mateus da Silva Texeira, Reinaldo Olmar Kneib, Gilberto Ricardo Bonatti, Robson Lopes, Solange Silva de Souza e Tatiane Felinto.

Aos professores do corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia.

A todos os colegas do Curso de Mestrado em Meteorologia do INPE, que compartilharam comigo a busca por um ideal

Aos professores do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Pará, que contribuíram em minha formação acadêmica, em especial aos professores e amigos: Maria do Carmo Felipe de Oliveira, Dimitrie Nechet e Júlia Clarinda Paiva Cohen.

A todos os órgãos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial: ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER, Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB e Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, pelos dados fornecidos para a realização deste trabalho.

RESUMO

A variabilidade interanual da precipitação determina estações seca e chuvosa influenciando a agricultura em diferentes regiões do País. Atualmente, a principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual é o fenômeno chamado El Niño - Oscilação Sul (ENOS), o qual provoca sensíveis anomalias na circulação atmosférica em escala global, sendo que as anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases: quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este trabalho apresenta um estudo das relações entre clima e a produção agrícola nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, utilizando séries temporais no período de 1970 a 1998 de algumas variáveis climatológicas, tais como precipitação e índice de oscilação sul (IOS) e tem como objetivo estudar o comportamento das culturas de soja e milho, além da influência da precipitação sobre elas. Foram calculadas correlações simples entre a precipitação e a produtividade agrícola, tendo sido verificado que a precipitação influenciou diretamente a produtividade das culturas estudadas, de acordo com a sazonalidade. Além disso, foram analisados os impactos causados pelo fenômeno ENOS sobre a precipitação e a produtividade das culturas, em que durante a fase fria obteve-se precipitação (SON e DJF) abaixo da média; contudo, não afetou a produtividade das culturas. Durante a fase quente a produtividade foi favorecida. Visando examinar a possibilidade de prever a produtividade da soja a partir dos dados de precipitação (JFM), foi utilizada uma técnica de previsão empírica através de equações de regressão linear simples, durante o período de 1944 a 1998, para o Estado do Rio Grande do Sul. Com isso, encontrou-se um período ideal de aproximadamente 23 anos de dados para originar equações preditoras, sendo que o uso de mais ou menos dados para gerar a previsão pode prejudicar o desenvolvimento do modelo.

RELATIONS BETWEEN THE VARIABILITY OF THE PRECIPITATION AND THE PRODUCTIVITY OF SOYBEAN AND MAIZE IN THE SOUTH REGIONS AND SOUTHEASTERN OF BRAZIL

ABSTRACT

The interannual variability of the precipitation determines rainy and dry seasons and consequently influences the agricultural yield in different regions. The El Niño - Southern Oscillation (ENSO) phenomenon provokes strong anomalies in the global atmospheric circulation. Extreme climate anomalies are related with the warm phase (El Niño) and cold phase (La Niña) of ENSO. This work shows a study of the relationships between climate and crop yields in the South and Southeast Regions of Brazil. Data from 1970 - 1998 of some climatological variables, such as precipitation and Southern Oscillation Index (SOI) are used to study the influence of the precipitation on corn and soybean yields in these regions. Computed correlation coefficients between the rainfall and corn and soybean yields showed that the precipitation influences seasonally crop yields. During the cold phase of ENSO the precipitation (SON and DJF) was lower than the mean value. However, this did not affect the crop yields. During the warm phase of ENSO there was an increase in the crop yields. The feasibility of predicting soybean yields in Rio Grande do Sul State from prior observations of precipitation was investigated. For the purpose, a linear regression technique was used for the period 1944 - 1998. The results showed that the ideal number of years of the data series needed to derive prediction equation is 23.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE SÍMBOLOS	19
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	21
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	23
1.1 - Características gerais das Regiões Sul e Sudeste do Brasil	25
1.2 – Objetivos	27
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 – Aspectos Gerais	29
2.2 – Principais culturas	31
2.3 – A influência do ENOS na agricultura	33
CAPÍTULO 3 – DADOS E METODOLOGIA	39
3.1. Dados	39
3.2 – Metodologia	41
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	49
4.1 - Regime Pluviométrico	49
4.2 – Característica das culturas	57
4.2.1 – Milho	57
4.2.2 – Soja	67
4.3 – Influência da Precipitação sobre a produtividade das Culturas	74
4.3.1 – Milho	74
4.3.2 – Soja	80

4.4 – Impactos do El Niño - Oscilação Sul sobre a produtividade das culturas e precipitação	84
4.4.1 – Milho	86
4.4.2 – Soja	96
4.5 – Estudo de Caso: Técnica de Previsão Empírica da produtividade da Soja para o Estado do Rio Grande do Sul	101
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	109
5.1 – Considerações finais	109
5.2 – Sugestões	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
APÊNDICE I – TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DO TESTE <i>t-student</i>	123

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Estações pluviométricas localizadas na Região Sul e Sudeste do Brasil, para o período de 1970 – 1998.....	39
4.1 - Trimestre chuvoso (a) e menos chuvoso (b) nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, no período de 1970 a 1998.....	50
4.2 - Precipitação média na Região Sul (a) e Sudeste (b) do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.....	52
4.3 - Variação interanual da anomalia de precipitação na Região Sul do Brasil.....	54
4.4 - Variação interanual da anomalia de precipitação na Região Sudeste do Brasil.....	55
4.5 - Evolução das características do cultivo de milho nos Estados da Região Sul do Brasil, durante 1970 a 1998.....	59
4.6 - Evolução das características do cultivo de milho nos Estados da Região Sudeste do Brasil, durante 1970 a 1998.....	60
4.7 - Variação interanual da produtividade original do milho (com a tendência) e a corrigida (sem a tendência) nos Estados da Região Sul do Brasil (1970 - 1998)	64
4.8 - Variação interanual da produtividade original do milho (com a tendência) e a corrigida (sem a tendência) nos Estados da Região Sudeste do Brasil (1970-1998)	65
4.9 - Evolução das características do cultivo de soja nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, durante 1970 a 1998.....	69
4.10 - Variação interanual da produtividade original da soja (com a tendência) e a corrigida (sem a tendência) nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).....	73
4.11 - Anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) de precipitação (dezembro a fevereiro) e produtividade do milho (corrigida) na Região Sul do Brasil (1970 - 1998).....	78

4.12 - Anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) de precipitação (dezembro a fevereiro) e produtividade do milho (corrigida) na Região Sudeste do Brasil (1970 – 1998)	79
4.13 - Anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) de precipitação (dezembro a fevereiro) e produtividade da soja (corrigida) na Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).....	83
4.14 - Evolução do Índice de Oscilação, durante o período de 1970 a 1998. Anos de El Niño – vermelho / Anos de La Niña / Anos neutros.....	85
4.15 - Desvios da média de precipitação de setembro a fevereiro (mm) e a produtividade corrigida do milho (kg/ha) na Região Sul do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.....	93
4.16 - Desvios da média de precipitação de setembro a fevereiro (mm) e a produtividade corrigida do milho (kg/ha) na Região Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.....	94
4.17 - Desvios da média de precipitação de setembro a fevereiro (mm) e a produtividade corrigida da soja (kg/ha) na Região Sul e Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.....	100
4.18 - Comportamento da Precipitação de janeiro a março no Rio Grande do Sul, durante o período de 1944 a 1998.....	103
4.19 - Avaliação da previsão de produtividade da soja através de estatísticas de erro médio quadrático (EMQ), erro médio absoluto (EMA) e tendência (TEND), a partir da precipitação (JFM) e coeficiente de correlação (r) entre a produtividade observada e prevista no Rio Grande do Sul (1974 - 1998), de acordo com a variação de n.....	106
4.20 - Avaliação da previsão de produtividade da soja através de estatísticas de erro médio quadrático (EMQ) a partir da precipitação (JFM) e coeficiente de correlação (r) entre a produtividade observada e prevista no Rio Grande do Sul (1974 - 1998), de acordo com a variação de lag.....	107

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Produtividade média original do milho nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.....	62
4.2 - Produtividade média original da soja nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.....	71
4.3 - Coeficientes de correlação entre a precipitação trimestral e a produtividade anual do milho nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).....	76
4.4 - Coeficientes de correlação entre a precipitação trimestral e a produtividade anual da soja nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).....	81
4.5 - Coeficientes de correlação entre a precipitação trimestral e a produtividade anual da soja no Estado do Rio Grande do Sul (1944 - 1998).....	102

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

A	Coeficiente empírico
B	Coeficiente empírico
$^{\circ}C$	Graus Celsius
d	Lag (Defasagem)
ha	Hectare
i	Variável que representa um ano qualquer
km^2	Quilômetros quadrados
kg/ha	Quilograma por hectare
mm	Milímetros
n	Tamanho da amostra
\bar{P}	Precipitação média
PRP	Precipitação trimestral observada de maior influência sobre a produtividade da cultura (maior r)
Pa	Precipitação anual
Pn	Desvio normalizado de precipitação
r	Coeficiente de correlação
$\bar{P}d$	Produtividade média
Pda	Produtividade anual
Pde	Produtividade estimada da cultura
Pdn	Desvio normalizado de produtividade

Pdy	Produtividade observada da soja no ano y
$Pdyn$	Produtividade prevista da soja no ano y
t	Toneladas
t	Valor percentil da distribuição t de Student
$X e Y$	Variáveis consideradas no calculo do coeficiente de correlação
y	Ano em que a previsão é feita
Yci	Produtividade corrigida do ano i
Yi	Produtividade original do ano i
$Y(Xi)$	Produtividade do ano i estimado pelo modelo de regressão
$Y(Xo)$	Produtividade do primeiro ano da série histórica de produtividade estimada pelo modelo de regressão

Gregos

v	Graus de liberdade da amostra
s	Desvio padrão da amostra

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMJ	- Abril – Maio – Junho
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CONAB	- Companhia Nacional de Abastecimento
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / INPE
DJF	- Dezembro – Janeiro – Fevereiro
EMA	- Erro Médio Absoluto
EMATER	- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	- El Niño – Oscilação Sul
EMQ	- Erro Médio Quadrático
EUA	- Estados Unidos da América
FMA	- Fevereiro – Março – Abril
HS	- Hemisfério Sul
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS	- Índice de Oscilação Sul
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
JFM	- Janeiro – Fevereiro – Março
JJA	- Junho – Julho – Agosto

MAM	- Março – Abril – Maio
NDJ	- Novembro – Dezembro – Janeiro
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
OND	- Outubro – Novembro – Dezembro
SIGRH	- Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
SON	- Setembro – Outubro – Novembro
TEND	- Tendência
TSM	- Temperatura da superfície do Mar
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o meio ambiente vem passando continuamente por mudanças climáticas e tem sido motivo de vários estudos visando evitar que os efeitos causados por estas prejudiquem as diversas formas de vida na superfície terrestre. O conhecimento destas alterações em uma determinada região faz-se necessário, pois o clima corresponde a um fator preponderante para a existência da vida de um modo geral e no desenvolvimento das diversas atividades humanas na área considerada.

As adversidades no clima podem ser causadas por mudanças antropogênicas ou naturais. As alterações climáticas de origem antropogênica são causadas pela ação do homem no meio físico e, de um modo geral, são irreversíveis e apresentam escala de extensão variando de pequena até a meso-escala. Quanto às alterações de origem natural, estas podem variar sua extensão da meso à grande escala e estão relacionadas com a circulação geral da atmosfera (enchentes, secas, etc...), além de estarem associadas com eventos climáticos extremos.

A variabilidade climática é de grande importância para os diversos setores, tais como: economia, pecuária, engenharia e produção de energia. No setor da economia, a agricultura é uma das atividades mais vulneráveis a estas mudanças, sendo a responsável por grande parte das exportações brasileiras, bem como pela geração de milhares de empregos. As mudanças climáticas podem afetar os sistemas agrícolas regionais com sérias conseqüências na produção de alimentos. Os impactos específicos dependem de como os efeitos das mudanças são transferidos para os fatores que determinam a viabilidade e a utilização destas áreas.

As chuvas, assim como a falta delas, estão relacionadas com fenômenos meteorológicos pertencentes às várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global (El Niño e La Niña) às condições locais (chuvas localizadas). A variabilidade da precipitação determina as estações seca e chuvosa, influenciando a agricultura em

diferentes regiões do País. De fato, o clima ainda é uma variável importante para a produção agrícola, apesar dos avanços tecnológicos e científicos ocorridos nos últimos tempos, além de exercer uma influência direta sobre as fases da cadeia de produção. De acordo com Berlato e Fontana (1999), as alterações anuais da produtividade de soja no sul do Brasil são funções das oscilações no regime pluviométrico, o qual é fortemente influenciado pela ocorrência de fenômenos climáticos, como El Niño e La Niña.

Os riscos climáticos associados às culturas, decorrentes da alta variabilidade da precipitação interanual entre regiões, podem ser minimizados com a determinação das características e quantidades de chuvas. Por exemplo, o principal fator de risco no norte de São Paulo é o déficit hídrico sendo atenuado nas áreas de maior altitude, em razão das temperaturas amenas proporcionarem menor evapotranspiração. Além disso, existe o risco de geada em algumas áreas, por exemplo, no sudoeste do estado (Vale do Paranapanema), onde as geadas ocorrem com maior frequência de junho a agosto.

O conhecimento das características e duração dos períodos chuvoso e menos chuvoso possibilita que muitas atividades agrícolas, como a irrigação e o preparo do solo, possam ser planejadas e realizadas de forma racional, diminuindo os custos da produção. Isto permite, também, que o agricultor tome decisões mais confiáveis sobre épocas de semeadura, de forma que estágios de desenvolvimento fenológico mais sensíveis à disponibilidade de água no solo não ocorram durante os períodos secos.

Vários estudos têm explorado o potencial de informações úteis no planejamento de atividades agrícolas a partir da análise de dados de precipitação: Arruda e Pinto (1980) analisaram a distribuição de frequência de chuvas na região de Campinas-SP; Camargo et al. (1985) estudaram as melhores épocas de semeadura para a cultura de trigo no Estado de São Paulo; Goodwin e Sans (1976) analisaram a interação entre a probabilidade de chuva, data de semeadura e consumo de água da cultura de milho em Minas Gerais, mais precisamente em Sete Lagoas.

A variabilidade climática é manifestada pelas variações de elementos meteorológicos que podem ser persistentes ou prolongadas por vários meses, principalmente na atmosfera tropical. Os fenômenos El Niño e La Niña fazem parte da grande escala e afetam diretamente a circulação atmosférica definindo alterações na precipitação em diversas regiões do globo, podendo atingir a produtividade agrícola.

Estudos indicam uma possível conexão entre o fenômeno El Niño – Oscilação Sul (ENOS) e a variação da produtividade de alimentos. Na Austrália, a variabilidade da produtividade de trigo e cana-de-açúcar foi em grande parte explicada pelo Índice de Oscilação Sul (IOS) (Rimmington e Nicholls, 1993), enquanto Handler (1984) observou que a tendência da variação anual da produtividade de milho acima da média no Estado de Illinois-EUA estava associada à ocorrência de anomalias positivas de temperatura da superfície do mar (fenômeno ENOS), no oceano Pacífico Equatorial.

No Brasil, o impacto do fenômeno ENOS possui implicações regionais específicas nos padrões de precipitação e, conseqüentemente, na produção agrícola. Rao et al. (1997) mostraram que em regiões como o nordeste do Brasil existe algum potencial de previsibilidade da produtividade agrícola. Contudo, há necessidade de estudos posteriores de previsão climática, visando aproveitamento máximo da produtividade agrícola nas diversas regiões do País.

1.1 Características gerais das Regiões Sul e Sudeste do Brasil

Formada pelos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a Região Sul possui uma área de 577.214 km², ocupando 6,75% do território brasileiro, o que corresponde à região de menor área no Brasil. Quanto ao clima, caracteriza-se pela diversidade de temperatura em diferentes áreas da região, ou seja, em regiões de planaltos mais elevados as temperaturas são mais baixas e nas planícies dos pampas, mais ao sul, as temperaturas são mais elevadas. Portanto, é uma região que possui uma variabilidade anual de temperatura maior se comparada às outras regiões brasileiras.

É interessante citar que nesta área podem ocorrer temperaturas abaixo de 0°C, ocasionando geadas. A distribuição anual de precipitação é bem uniforme, com média anual variando de 1250 a 2000mm, sendo que cada uma das quatro estações do ano explica em torno de 25% da precipitação anual e geralmente é influenciada pela passagem de sistemas frontais.

A Região Sudeste é composta pelos Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, ocupando 10,85% da superfície brasileira, com uma área de 927.286,2 km². O clima desta região, por situar-se nos subtropicais, corresponde a uma faixa de transição entre duas regiões de diferentes comportamentos climáticos: clima quente de uma região semi-árida ao norte (Região Nordeste do Brasil) e ao sul, um clima mesotérmico do tipo temperado (Região Sul do Brasil) (Nimer, 1979).

Esta região é afetada pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o sul do País, com algumas diferenças em termos de intensidade e sazonalidade do sistema. A estação chuvosa acontece no verão austral, devido principalmente à presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Em razão da sua localização, entre duas regiões contrastantes e à falta de um melhor entendimento dos processos associados a ZCAS, a previsibilidade climática da Região Sudeste nas escalas sazonal e interanual é baixa (Cavalcanti et al., 2001), se comparada às das regiões nordeste e sul do País.

A agricultura da Região Sul desempenha um importante papel, pois é praticada em larga escala com uso de técnicas modernas, que propiciam boa produtividade das culturas de trigo, soja, milho, arroz. A Região Sudeste também apresenta esta característica, porém a atividade agropecuária não tem um padrão tecnológico homogêneo. Esta região possui grande investimento de capital, por exemplo, o caso da soja, cana-de-açúcar e café, lado a lado com outras baseadas em práticas tradicionais e de pequena produtividade (Sader, 1996). É importante citar que na safra de milho em 2000/2001, 77% da área plantada e 92% da produção concentraram-se nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A Região Sudeste participou com 19,01% da área e 19,62% da produção brasileira, enquanto que a Região Sul participou com 42,32% da área e 53,7% da produção brasileira.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo estudar:

- a influência da precipitação sobre a produtividade das culturas de milho e soja nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil;
- os impactos dos episódios de ENOS sobre a precipitação e a produtividade das culturas mencionadas acima;
- investigar o potencial de previsibilidade da produtividade agrícola da soja, aplicando-se uma técnica de previsão empírica visando descrever o comportamento da produtividade através da precipitação observada e/ou estimada no Estado do Rio Grande do Sul.

No geral, esperam-se obter informações que possam subsidiar um melhor planejamento agrícola em face às flutuações climáticas e conseqüente redução de prejuízos relevantes a este setor, dada a importância das culturas estudadas para a agricultura e para a economia do País.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO

2.1 Aspectos Gerais

A produtividade agrícola no Brasil depende criticamente do clima e sua variabilidade. Esta dependência é importante durante o ciclo de vida de determinadas culturas, sendo a responsável pela alternância das produções anuais destas. Isto influencia diretamente no balanço da produção, havendo perdas ou ganhos em função das condições climáticas de uma região. Um exemplo disso é o balanço percentual da produção de cereais na América do Sul, que ganha cerca de 30 milhões de toneladas; sendo que dos seus 12 países, 6 perdem mais de 60 milhões de toneladas e outros ganham 90 milhões. O Brasil, que representa metade da população da região, perde 14% da produção de grãos (IPCC, 2001).

Os elementos climáticos, como a radiação solar, vento, precipitação pluviométrica e a temperatura do ar, possuem influência decisiva no crescimento das plantas, além de provocarem diversos efeitos sobre regiões produtoras de alimentos. Muitas vezes esses efeitos podem acarretar em perdas quase totais da produção, provocando escassez de alimentos. Por isso, fazem-se necessários estudos mais detalhados sobre as características dos elementos climáticos, contribuindo, assim, para um melhor planejamento na produção agrícola, determinando a época de plantio mais apropriada, de modo que uma referida cultura não seja prejudicada por condições climáticas adversas.

O regime de precipitação é a principal característica climática que determina a duração da estação de crescimento das plantas em regiões tropicais, em contraste com as regiões temperadas, nas quais o início e o fim da estação de crescimento são definidos pelo regime sazonal da temperatura do ar (Oliveira et al., 2000). A época de plantio de uma

cultura está diretamente condicionada ao regime de chuvas de uma determinada região e a fertilidade do solo explorado.

A quantidade e a distribuição de chuvas são importantes para as culturas, pois a demanda de água deve ser considerada para que as plantas apresentem um bom desenvolvimento, proporcionando uma boa produtividade agrícola. Suas necessidades hídricas são determinadas em função da demanda imposta pelas condições ambientais, da água no solo para a cultura e também por fatores inerentes à própria planta (área foliar, distribuição do sistema radicular, etc).

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Possui ainda papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição de calor (EMBRAPA, 2001).

2.2 Principais culturas

As culturas selecionadas para o estudo (milho e soja) são de grande importância para todos os estados brasileiros, pois podem ser cultivadas em praticamente todo o território nacional. Porém, estas estão basicamente concentradas no Centro-sul do Brasil, correspondendo a 70% da produção nacional e, segundo Tsunehiro (2004), são as duas culturas de maior área plantada no País, representando, respectivamente, 41,5% e 30,1% da área de grãos (cereais, leguminosas e oleaginosas). Ressalta-se que no período de 1976 a 2000, a Região Sul respondeu por 49% da produção nacional de milho e 53% da produção de soja, enquanto que a Região Sudeste alcançou 27 e 10% da produção de milho e soja, respectivamente.

Segundo Camargo et al. (1974), o milho e a soja são culturas de verão que possuem exigências climáticas semelhantes e encontram condições satisfatórias em climas tropicais, subtropicais e temperados, com temperatura média dos meses de verão variando de 21 a 27°C. As restrições climáticas trazidas pelo fator hídrico são consequência quer do prolongamento da estação seca, que dificulta a maturação e a colheita, quer da umidade do solo excessiva durante o ano todo, que traz sérios problemas à lavoura.

O milho não é muito exigente em umidade, suporta pequenas deficiências hídricas no início do crescimento, forçando o desenvolvimento do sistema radicular. A ocorrência de estresse hídrico durante os períodos mais críticos, compreendidos entre a floração e enchimento de grãos, podem levar a baixos níveis de produtividade do milho.

Segundo Camargo et al. (1974), o milho (*Zea mays L.*) pode ser cultivado em regiões de precipitação anual entre 250 mm e 5000mm. Um mínimo de 200mm no verão é indispensável para a produção da cultura sem irrigação. Segundo Mota (1983), a variabilidade anual da produtividade da cultura de milho no Rio Grande do Sul está associada com a ocorrência de secas (ocasionadas pelo evento La Niña), sendo que a irrigação é uma possível solução para o problema.

Outro evento relacionado à falta de chuvas é o veranico, que consiste em dias consecutivos sem chuvas no meio do período chuvoso de uma determinada região, sendo comum principalmente na parte Centro-sul do Brasil. Este prolongamento da estiagem pode causar quebra na produtividade das culturas (milho e soja), variando de acordo com a intensidade e a duração do estresse hídrico, além do estágio de desenvolvimento da planta (Couto et al., 1986).

O milho pode ser semeado desde setembro a novembro, porém a produtividade é maior quando as condições do clima permitem o plantio nos meses de setembro e outubro. Logo, o plantio de milho na época adequada à sua região faz com que o produtor rural evite perdas desnecessárias. Na Região Sul do Brasil, devido à ocorrência regular de chuvas, a época de plantio é maior: de agosto a dezembro. Em qualquer região, se o milho for plantado depois da época recomendada a produtividade pode cair até 30 kg/ha por dia de atraso. Para lavouras não irrigadas, a época de plantio deve ser planejada para coincidir a floração do milho e o enchimento dos grãos (fases mais exigentes em água) com o período de chuvas. Já o milho irrigado pode ser plantado durante todo o ano, exceto no inverno das regiões onde ocorrem geadas.

Tendo em vista que as exigências climáticas básicas, térmicas e hídricas da soja são comparáveis às do milho, vale ressaltar que esta cultura suporta melhor que o milho certos rigores climáticos, como curtas estiagens no período vegetativo, depois das plantas estarem bem estabelecidas ou a umidade elevada da estação.

A soja (*Glycine max L., Merrill*) pode ser cultivada em diversas áreas do globo, desde regiões de clima temperado-frio, como é o caso do norte dos Estados Unidos onde ocupa a primeira posição entre os países produtores (78 milhões de toneladas), até regiões equatoriais quentes, como o Brasil que é o segundo maior produtor de soja e que na safra de 2003 produziu 50 milhões de toneladas. Porém, o sucesso da produtividade da cultura está na dependência de se utilizar variedades adaptadas às condições climáticas da região.

A disponibilidade de água para esta cultura é importante, principalmente em dois períodos de desenvolvimento: germinação-emergência e floração enchimento dos grãos. Para a obtenção da produtividade máxima, a necessidade de água para a cultura da soja, durante todo o seu ciclo, varia entre 450 a 800mm dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do seu ciclo. É importante ressaltar que uma das principais causas da variação da produtividade da soja no Brasil tem sido a ocorrência de déficit hídrico. Por exemplo, as estiagens ocorridas no Rio Grande do Sul constituem a principal adversidade climática à cultura de soja (Berlato e Fontana, 1999).

A época de plantio da soja pode ser alterada quando há um bom regime de chuvas e fertilidade elevada do solo. De um modo geral, o período de plantio em que a produtividade da soja tende a ser elevada abrange os meses de outubro a dezembro, porém o mês de novembro corresponde ao mês preferencial de plantio.

2.3 A influência do ENOS na agricultura

A agricultura é uma das atividades do setor econômico de certas regiões que pode ser severamente afetada pelas variações do clima, ou seja, os elementos meteorológicos exercem influência direta sobre a produtividade agrícola de determinadas culturas. A não previsibilidade da variabilidade climática é uma das principais fontes de risco para as atividades agrícolas (Hardaker et al., 1997). A maioria das dificuldades enfrentadas pelas safras brasileiras é devido às causas climáticas: secas, chuvas fortes e geadas. Podemos citar as culturas de verão (arroz, feijão, milho, soja, mandioca e outras plantadas na época de chuvas, de setembro em diante) em que as perdas por seca ou por chuvas fortes alcançam até 60% e 32%, respectivamente (Rossetti, 2002). Em alguns casos, o excesso de chuvas pode favorecer algumas culturas, como milho e soja, que representam 75% da produção de grãos da Região Sul do Brasil (Berlato e Fontana, 1997).

Atualmente, a principal fonte conhecida da variabilidade climática interanual com atuação em todo o globo é o fenômeno chamado ENOS, o qual provoca sensíveis anomalias no escoamento atmosférico em escala global (Kousky et al., 1984; Kousky e Cavalcanti, 1984). As anomalias climáticas extremas estão relacionadas com as fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do ENOS. Este fenômeno tem origem no Oceano Pacífico Tropical e é resultado de uma interação oceano-atmosfera, em que ocorre uma variação da temperatura da superfície do mar (TSM) na parte central e junto à costa oeste da América do Sul (Niño 3), em associação com os campos de pressão (referentes ao IOS) afetando conseqüentemente o clima em diversas áreas do mundo (Ropelewski e Halpert, 1987; 1989). Aspectos gerais e seus impactos podem ser encontrados em: Philander (1990), Moura (1994), Glantz (1996) e Silva (2000), entre outros.

Vários índices têm sido utilizados para medir a intensidade do ENOS, dentre eles tem-se o IOS que reflete a diferença de pressão atmosférica entre Taiti (17,5°S, 149,6°W) e Darwin (12,4°S, 130,9°E). É importante ressaltar que o IOS mede a intensidade da Oscilação Sul (componente atmosférica) e a TSM da região Niño 3 mede a intensidade do El Niño (componente oceânica). O El Niño consiste no aquecimento das águas oceânicas do Pacífico leste, enquanto que La Niña é o resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico equatorial central e oriental.

No caso do Brasil, as áreas mais afetadas são: a parte norte da Região Nordeste, o leste da Amazônia (na faixa tropical) e a Região Sul (na faixa extratropical), área compreendida em uma grande região localizada no sudeste da América do Sul. Devido à grande extensão de seu território, verificam-se conseqüências diferentes diante de determinadas fases do fenômeno.

No sul do Brasil, a fase quente (El Niño) em geral está associada com excesso de precipitação durante a primavera do primeiro ano e posteriormente o fim do outono e início do inverno do segundo ano, e na fase fria (La Niña) a precipitação apresenta-se abaixo da normal na primavera e começo do verão. Já na Região Sudeste não existe mudança no padrão característico de chuvas da região. Isto não quer dizer que a região

não seja afetada pelo fenômeno, pois apresenta aumento substancial da temperatura durante o inverno em anos de El Niño, tornando-o mais ameno. Porém, em anos de La Niña a área apresenta baixa previsibilidade. No nordeste, verifica-se o inverso em relação à Região Sul (Rao e Hada, 1990). Estudos complementares para o Brasil foram realizados, como Alves e Repelli (1992) e Uvo et al. (1994) para a Região Nordeste, e Grimm et al. (1996a, b), Fontana e Berlato (1997) e Diaz et al. (1998) para Região Sul. Estes estudos visam entender a relação entre os impactos intra-regionais das fases do ENOS sobre o regime de precipitação.

Evidências mostram que o ENOS influencia a produtividade de culturas através de alterações nos padrões de clima em algumas regiões. Os impactos deste fenômeno sobre a agricultura dependem da cultura e época do calendário agrícola, em que a precipitação apresenta-se acima ou abaixo da normal. Tendo em vista a possibilidade de quantificação da variabilidade climática associada às fases deste fenômeno, tornam-se necessárias aplicações dessas informações no manejo de culturas, visando reduzir riscos ou melhorar o aproveitamento de condições climáticas favoráveis. Existem diversos estudos relacionando as fases do fenômeno ENOS associadas à sua variabilidade climática e a produtividade das culturas, dentre os quais podem ser citados:

Cane et al. (1994) encontraram uma forte correlação entre o ENOS, a precipitação e a produtividade do milho no Zimbábue, sul da África, que explica mais de 60% da variação, mostrando que uma componente da variabilidade interanual na produção do milho pode ser explicada pela TSM do Pacífico, na região conhecida como NINO 3.

Keppen (1995) identificou a influência do ENOS nos preços futuros da soja através de análise espectral, utilizando análise de componentes principais para isolar a variabilidade espacial e temporal, associada com as oscilações de uma série de tempo dos preços futuros da soja e o IOS.

Mjelde e Keplinger (1998) examinaram o impacto dos eventos extremos da Oscilação Sul na estimativa e previsão da produtividade de sorgo e trigo de inverno no Texas. Os

resultados sugerem que a Oscilação Sul causa impacto sobre a produtividade das colheitas de formas diferentes, ou seja, a produtividade do trigo de inverno parece sofrer mais influência da Oscilação Sul do que a produtividade de sorgo no Texas.

A influência do ENOS na produção de colheita no sudeste dos Estados Unidos foi estudada por Hansen et al. (1998), visando identificar as colheitas que são mais vulneráveis à variabilidade do ENOS. Foram utilizadas anomalias trimestrais da TSM no Pacífico equatorial oriental e foram analisadas as relações com seis colheitas (amendoim, tomate, algodão, tabaco, milho e soja) em quatro estados (Alabama, Flórida, Geórgia, e Carolina do Sul). Concluíram que eventos de ENOS causam impacto econômico na agricultura da região estudada.

Em relação ao Brasil, cita-se Fontana e Berlato (1996), que analisaram a influência do ENOS sobre a precipitação e a produtividade de milho no Rio Grande do Sul e encontraram uma correlação positiva entre o El Niño e a produtividade de grãos em duas localidades: Cruz Alta e Passo Fundo.

Rao et al. (1997) sugeriram que o IOS pode ser útil para prever a produtividade de milho na Região Nordeste do Brasil, constatando que houve uma forte correlação positiva entre o índice e a colheita de milho, em sete estados da área estudada, nos meses de fevereiro a abril.

Cunha et al. (1999) identificaram a influência das fases do fenômeno ENOS sobre a produtividade da cultura de trigo no Brasil e concluíram que nesta cultura o fenômeno, em geral, causa impactos positivos, nos anos de La Niña, e negativos nos anos de El Niño, particularmente no sul do País.

Berlato e Fontana (1999) relacionaram a variabilidade interanual da precipitação e a produção de soja no Rio Grande do Sul considerando os eventos de ENOS. Mostraram que a precipitação explica 80% da variação interanual da produtividade e que o El Niño

favorece a cultura de soja, levando na maioria das vezes a produtividades e produções recordes dessa cultura no Estado.

Mota (2000) estudou a influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade do arroz irrigado na região de Pelotas, RS. Constatou que a produtividade manteve-se acima da média em anos de La Niña, enquanto em anos de El Niño não houve modificação significativa da produtividade do arroz irrigado, pois dependendo do ano a produtividade foi inferior, igual ou superior a média.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Para investigar as relações entre clima e a produção agrícola nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, foram utilizadas séries temporais de 1970 a 1998 de algumas variáveis climáticas, tais como precipitação e IOS. Além disso, foram verificadas as suas relações com a produtividade de milho e soja na área de estudo.

O conjunto de dados de precipitação mensal de 238 estações meteorológicas foi obtido através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH) distribuídas por Estado ao longo das Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Figura 3.1).

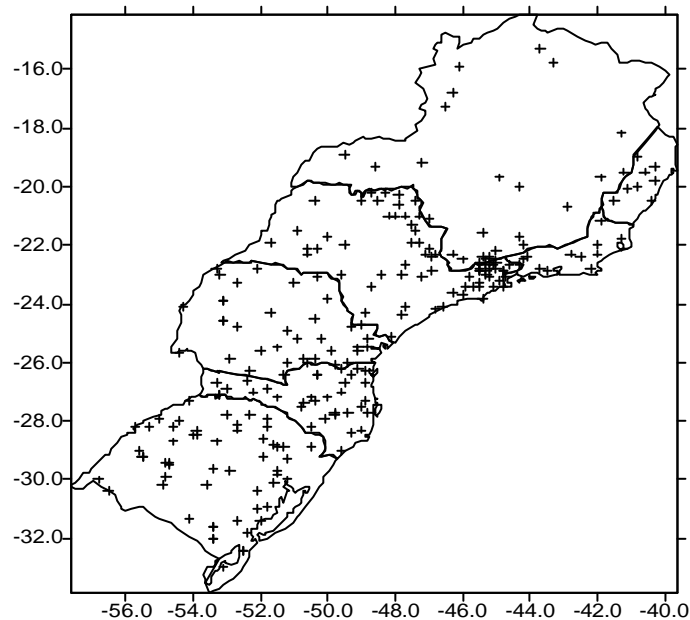


FIGURA 3.1 – Estações pluviométricas localizadas na Região Sul e Sudeste do Brasil, para o período de 1970 – 1998.

Os dados de IOS da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) utilizados, encontram-se disponíveis na internet, <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Os dados lá disponíveis são mensais e calculados utilizando anomalias normalizadas das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin e Taiti.

Para a produção agrícola foram utilizados dados de totais anuais de milho e soja (toneladas), área plantada (hectares) e produtividade média anual (quilogramas por hectare) dos Estados das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, no período compreendido entre 1970 e 1998. Estes dados foram obtidos de estatísticas oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

Para o estudo de caso (Rio Grande do Sul), foram utilizados dados de precipitação pluvial mensal de 15 estações pertencentes ao INMET distribuídas ao longo do estado, além das produtividades médias anuais de soja referidos à EMATER-RS, durante um período de 55 anos (1944 - 1998).

3.2 Metodologia

A avaliação da variabilidade climática ao longo do tempo em uma determinada região pode mostrar a ocorrência de alterações contínuas ou ciclos bem demarcados dos elementos meteorológicos, como chuvas ou temperaturas, em associação com a produção agrícola de várias culturas. No desenvolvimento deste estudo, foram calculadas correlações simples e utilizada técnica estatística de regressão linear simples (Rao and Hada, 1990; 1994; Rao et al., 1997), visando analisar a relação entre produtividade agrícola (milho e soja) e precipitação.

Para estudar o regime pluviométrico e a produtividade agrícola, foram calculados os totais anuais e trimestrais da precipitação para todos os Estados das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, visando caracterizar os trimestres chuvoso e menos chuvoso e analisar a contribuição da precipitação de acordo com as estações do ano na área de estudo. Além disso, calcularam-se anomalias de precipitação ao longo dos anos da série estudada, com objetivo de observar a variabilidade interanual da precipitação nos sete estados analisados. Através dos valores anuais de produção (toneladas) e área plantada (hectares) examinou-se a evolução das características do cultivo de milho e soja e foi analisada a produtividade média das culturas durante o período estudado (1970 - 1998).

Rao et al. (1997) verificaram um decréscimo na produtividade de milho no nordeste brasileiro, diferentemente do sul do Brasil, onde existe um aumento da tendência quadrática na produtividade média em função do ano. Isto se deve ao fato da incorporação de novas tecnologias no sistema de produção, tais como cultivares com maior potencial de produtividade e melhoria das práticas de manejo.

As variações interanuais da produtividade das colheitas selecionadas para estudo foram analisadas, sendo que estes dados originais da série foram submetidos a uma análise de regressão, utilizando o ano como variável independente, com objetivo de retirar o efeito das tecnologias adotadas no sistema de produção, ao longo do tempo. A tendência tecnológica associada aos dados foi retirada a partir da equação: $Y_{ci} = Y_i - Y(X_i) +$

$Y(X_0)$, em que Y_{ci} é a produtividade corrigida do ano i ; Y_i é a produtividade original do ano i , $Y(X_i)$ é a produtividade do ano i estimado pelo modelo de regressão e $Y(X_0)$ é a produtividade do primeiro ano da série histórica de produtividade estimada pelo modelo de regressão. Através desta nova série foram calculadas anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) e desvios da média da produtividade (milho e soja).

Para estudar a influência da precipitação sobre a produtividade agrícola do milho e da soja foi realizada uma análise de correlação entre precipitação pluvial trimestral centrada nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março (OND, NDJ, DJF, JFM, FMA) e a produtividade anual corrigida das culturas dos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil. Com isso, foi identificado o período (meses) em que a precipitação exerceu maior influência sobre a produtividade do milho e da soja através dos valores dos coeficientes de correlação (r) encontrados.

O coeficiente de correlação (r) fornece o grau de relacionamento linear entre duas variáveis, ou seja, mede a correlação entre duas variáveis. O valor de r pode variar entre -1 e $+1$, sendo que quando o coeficiente é maior que zero significa que a correlação linear é positiva e quando o coeficiente é menor que zero significa que a correlação linear é negativa. Porém, se r for igual ou próximo de zero, diz-se que não existe correlação linear, porém pode existir correlação não linear entre as variáveis. O valor de r pode ser obtido através da expressão:

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (3.1)$$

Em que:

r é o coeficiente de correlação entre as variáveis;

X e Y são as variáveis consideradas;

n é o tamanho da amostra.

Foi verificado o nível de significância dos coeficientes de correlação entre a precipitação pluvial trimestral e a produtividade das culturas através do teste de *t-student*, em níveis de 95 e 99% para uma amostra de 29 anos (1970 - 1998) e um amostra de 55 anos (1944 - 1998).

O teste de hipóteses de *t-student* é utilizado para pequenas amostras de tamanho $n < 30$ para variáveis independentes, onde determina se duas amostras provêm de populações com médias diferentes. Pode-se dizer que a distribuição de *t-student* é uma distribuição amostral estatística de pequena amostra, porém os resultados obtidos são válidos tanto para as grandes como para as pequenas amostras. Nesta distribuição, podem ser definidos os intervalos de confiança de 95 e 99% ou outros, mediante o emprego da tabela da distribuição *t* do Apêndice I. A significância de r foi verificada através do teste de *t-student*, utilizando a seguinte expressão:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.2)$$

Em que:

t é o valor tabelado;

r é o coeficiente de correlação entre as variáveis (X e Y);

n é o tamanho da amostra;

$n - 2$ corresponde aos graus de liberdade da amostra, representado por v .

Para representar o padrão da variabilidade interanual da produtividade do milho e da soja, além da precipitação no período mais importante com coeficiente de correlação significativo, foram calculadas anomalias padronizadas pelos seus respectivos desvios padrões durante o período de 1970 a 1998. Essas anomalias normalizadas foram obtidas com base nas expressões:

$$P_n = \frac{P_a - \bar{P}}{s} \quad (3.4)$$

$$Pd_n = \frac{Pd_a - \bar{Pd}}{s} \quad (3.5)$$

Em que:

P_n é o desvio normalizado da precipitação;

Pd_n é o desvio normalizado da produtividade;

P_a é a precipitação anual (mm);

Pd_a é a produtividade anual (kg/ha);

\bar{P} é a precipitação média (mm);

\bar{Pd} é a produtividade média (kg/ha);

s é o desvio padrão da amostra.

Em várias regiões do globo as precipitações estão relacionadas com o ENOS (Ropelewski e Halpert, 1987), que por sua vez afetam a produção agrícola em diversas regiões. Então, para o período considerado no presente estudo, foram classificados os anos de ocorrência de eventos de ENOS através da análise dos dados de IOS.

Segundo Ropelewski e Jones (1987), na fase quente do ENOS (El Niño) o valor de IOS durante cinco ou mais meses seguidos apresenta-se menor ou igual a $-0,5$. Já na fase fria (La Niña) o IOS permanece com valor igual ou maior a $0,5$ em pelo menos cinco meses consecutivos. Porém, neste trabalho classificou-se como um episódio de El Niño os anos onde os índices apresentaram-se menores ou iguais a -1 , um episódio de La Niña os anos onde os índices foram maiores ou iguais a 1 e os anos classificados como neutros os índices ocorreram no intervalo entre -1 e 1 .

Com base nesta classificação foi analisado o comportamento da precipitação trimestral de SON (primavera) e DJF (verão), além da produtividade média anual do milho e da soja nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, de acordo com os eventos de El Niño, La Niña e neutros, através dos desvios da média das variáveis citadas.

Para sugerir a potencialidade do uso da precipitação para previsão da produtividade anual da soja no Rio Grande do Sul, foi realizada uma análise de correlação entre a precipitação pluvial trimestral centrada nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio (DJF, JFM, FMA, MAM, AMJ) e a produtividade anual corrigida da soja no estado, visando identificar o período de maior influência da precipitação sobre a produtividade. Além disso, foi observado o comportamento anual da precipitação durante o trimestre de maior coeficiente de correlação (JFM).

A previsão da produtividade da soja a partir da precipitação (JFM) foi feita através da equação de regressão linear simples: $Pde = A \times PRP + B$ onde Re é a produtividade estimada da cultura, PRP é a precipitação trimestral observada de maior influência sobre a produtividade da cultura (maior r) e A, B são os coeficientes empíricos. As constantes A e B são determinadas a partir da precipitação, em que faz-se a previsão de produtividade da soja em determinado número de anos ($n - 1$) para futuros anos (n^{n+1}).

Devido à variabilidade climática causada pelos efeitos antropogênicos e naturais, as séries de dados meteorológicos não são estacionárias, sendo assim o uso permanente de uma série completa para gerar equações preditoras pode não ser o ideal. Portanto, para analisar a precisão das equações prognósticas em um longo período utilizou-se uma série longa de 55 anos de dados (1944 - 1998), em que esta foi dividida em duas novas séries. Os dados da primeira série (1944 - 1974) foram utilizados para produzir através de regressão linear os dados da segunda série (1974 - 1998). O modelo foi avaliado através dos cálculos estatísticos do erro médio quadrático (EMQ), erro médio absoluto (EMA) e tendência (TEND):

$$EMQ = \left[\sum_{y=1974}^{1998} (P_{dyn} - P_{dy})^2 / n \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

$$EMA = \sum_{y=1974}^{1998} |P_{dyn} - P_{dy}| / n \quad (3.7)$$

$$TEND = \sum_{y=1974}^{1998} (P_{dyn} - P_{dy}) / n \quad (3.8)$$

Em que:

y é o ano em que a previsão é feita (de 1974 a 1998);

n são os anos de dados da amostra, 25 anos no presente estudo;

P_{dy} é a produtividade observada da soja no ano y ;

P_{dyn} é a produtividade prevista da soja no ano y .

As medidas estatísticas como erro médio quadrático (EMQ), erro médio absoluto (EMA) e tendência (TEND) são utilizados para quantificar a capacidade do modelo. O EMQ é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre a previsão e as observações. O EMA é a média das diferenças dos valores absolutos entre previsão e a observação de um campo particular. O erro (TEND) mede a tendência do modelo para avaliar uma variável.

O coeficiente de correlação linear r entre P_{dy} e P_{dyn} foi utilizado durante o período de 1974 a 1998 e calculado para diferentes valores de n , em que os erros e correlações foram calculados utilizando um período de teste de 25 anos. Neste caso, a previsão a partir de regressão linear foi derivada em n anos (1944 a 1974). Utilizou-se uma pequena amostra, em que foi escolhido um período mínimo de 5 anos para gerar uma equação prognóstica. Assim, n variou de 5 a 30 anos, portanto a precisão das equações predictoras derivadas a partir de n anos, foram testadas na amostra de 25 anos (1974 a 1998).

A precisão do modelo depende muito do número de anos utilizados para gerar as equações prognósticas (n) e do intervalo compreendido entre o ano final do período utilizado para gerar as equações prognósticas e o ano em que a previsão é aplicada. Nicholls (1984) ressaltou que a quantidade ótima de anos para obtenção de equações predictoras de longo prazo foi de 15 anos, sendo que o uso de mais ou menos dados conduziu a deterioração nas previsões.

Além disso, o fato da série estudada não ser estacionária pode prejudicar a previsão, pois as previsões podem sofrer danos quando utilizam-se mais do que alguns anos após o fim do período dos dados de que foram derivados. Então, faz-se necessário uma atualização contínua das equações preditoras (Nicholls,1984). A atualização das equações pode ser examinada através da variação de defasagem (d), em que a regressão linear é derivada em n anos de dados (variando de 5 a 30).

A letra d representa o lag, que corresponde a diferença entre a quantidade total de anos disponíveis para prever a produtividade da soja ($y = 31$ anos) e o número de anos utilizados para gerar a equação prognóstica (n varia de 5 a 30). Assim como a série de dados disponíveis é limitada, d também é limitado e representado pela seguinte expressão: $d_{max} = 31 - n$. Então, em uma amostra de 30 anos foi calculada a regressão com lags variando de 1 a 26 anos.

Nesses modelos estatísticos empíricos os coeficientes gerados não são constantes universais mais sim estimadores estatísticos sujeitos a várias fontes de erros. Um exemplo é o erro de colinearidade, em que a existência de correlação entre os elementos meteorológicos é utilizada como variáveis independentes (Katz, 1977). Berlato (1987) constatou que esses modelos podem apresentar bom desempenho para um determinado conjunto de dados e apresentar resultados inconsistentes do ponto de vista biológico ou agrônômico, para outros conjuntos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do estudo realizado com base nos dados de precipitação, produtividade agrícola do milho e da soja, bem como o IOS. Nas seções 4.1 e 4.2, são apresentadas características do regime pluviométrico e da produtividade das culturas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil respectivamente, e posteriormente é estudada a relação entre a produtividade agrícola e os fatores climáticos através de uma análise de correlação entre as variáveis citadas acima (seção 4.3). Os impactos das fases do ENOS podem ser verificados na seção 4.4, em que procurou-se mostrar a influência do fenômeno sobre a produtividade anual das culturas selecionadas para o estudo e a precipitação, durante o período de 1970 a 1998. Além disso, selecionou-se um estudo de caso, especificamente para o Estado do Rio Grande do Sul, utilizando uma técnica empírica de previsão (Nicholls, 1984), visando examinar a possibilidade de prever a produtividade anual da soja a partir da precipitação trimestral de janeiro a março.

4.1 Regime Pluviométrico

Para determinação das estações seca e chuvosa nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, foram considerados 29 anos de dados de precipitação média mensal, agrupados em trimestres. Inicialmente, foram analisados os trimestres que obtiveram maiores e menores valores médios de precipitação nas 238 estações distribuídas ao longo da área de estudo. As Figuras 4.1a e 4.1b mostram os três meses chuvosos e menos chuvosos, respectivamente. As três letras simbolizam as iniciais dos três meses consecutivos de maior e menor contribuição de precipitação em relação aos outros meses do ano.

Na Figura 4.1a, observa-se que praticamente em todos os Estados da Região Sudeste os meses que apresentaram maiores valores de precipitação foram dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), porém na costa dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo os meses de setembro, outubro e novembro (SON) são os meses mais chuvosos. Na Região

Sul do Brasil observa-se o mesmo, exceto no Estado do Rio Grande do Sul, em que nota-se uma grande variabilidade espacial da precipitação, ou seja, os trimestres apresentaram-se diferenciados. Na parte oeste do estado os meses de maior precipitação foram de março a maio; ao norte, de setembro a novembro; e na parte centro-sul do estado, de junho a agosto.

Na Figura 4.1b verifica-se que o período menos chuvoso abrange o trimestre junho, julho e agosto (JJA) em todos os Estados da Região Sudeste, de forma característica. Já na Região Sul, o Estado do Paraná apresentou o mesmo período menos chuvoso da Região Sudeste, porém em Santa Catarina e nas partes norte e central do Rio Grande do Sul o período seco concentrou-se nos meses de março a maio. Nas partes sul e oeste do Rio Grande do Sul ocorreu baixa precipitação nos trimestres JJA e SON, respectivamente. É importante ressaltar que na maior parte da área de estudo, a estação chuvosa concentrou-se durante o verão (DJF) do Hemisfério Sul (HS) e a estação seca ocorreu durante o inverno (JJA) do HS, com exceção do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (no inverno).

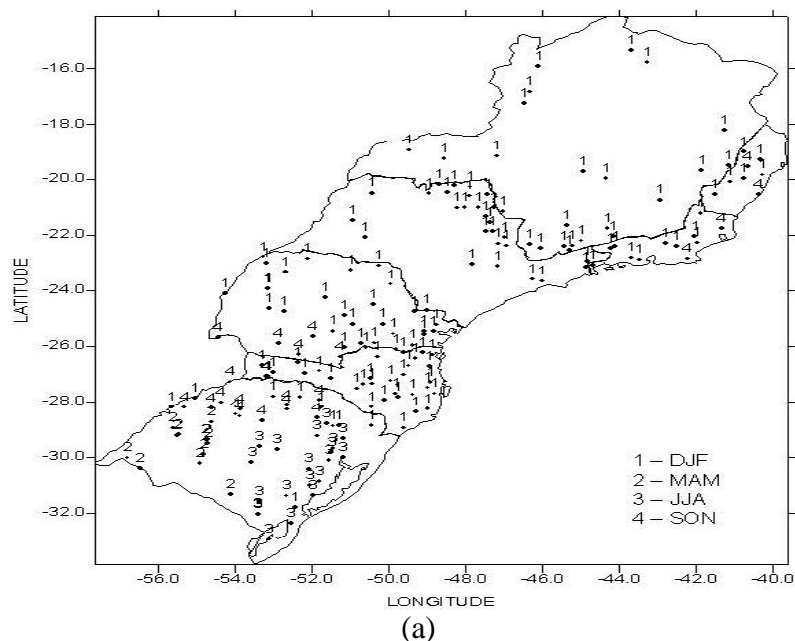


FIGURA 4.1 – Distribuição espacial dos trimestres chuvoso (a) e menos chuvoso (b) nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, no período de 1970 a 1998.

(continua)

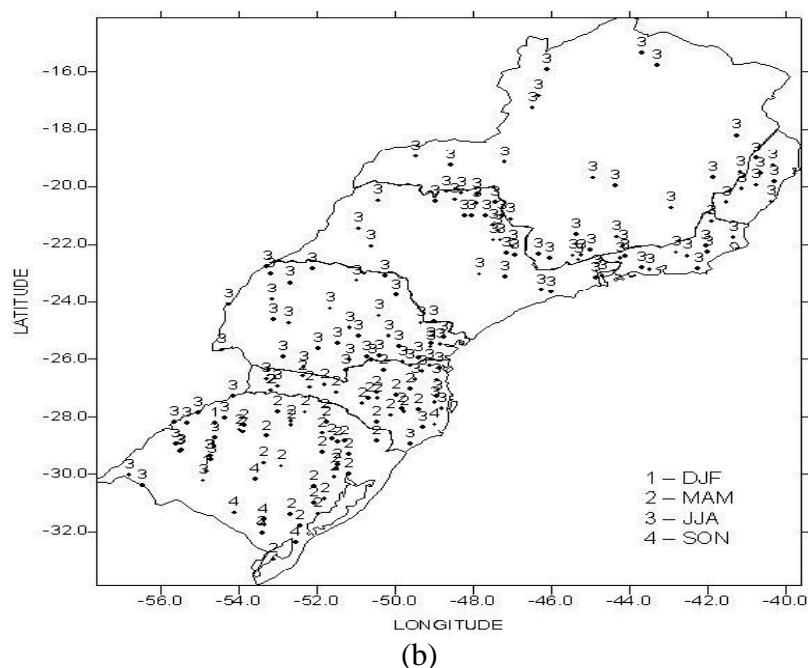
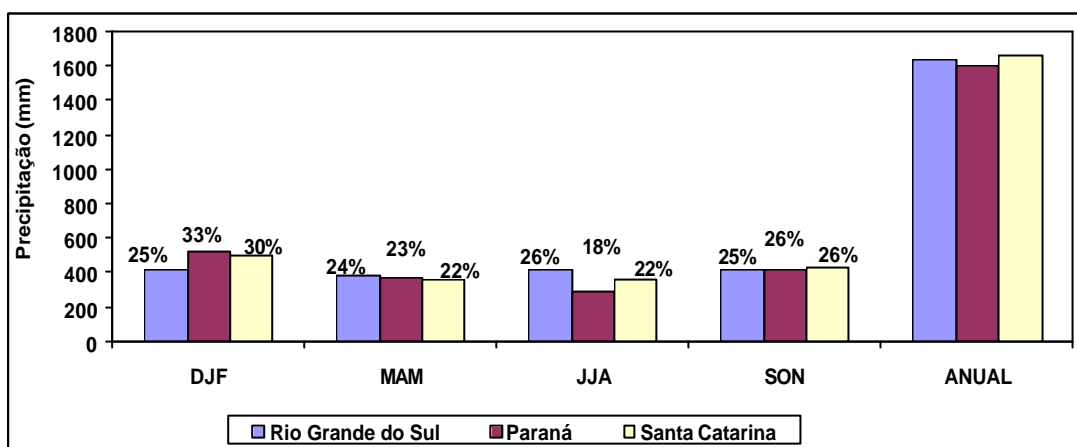


FIGURA 4.1 – Conclusão.

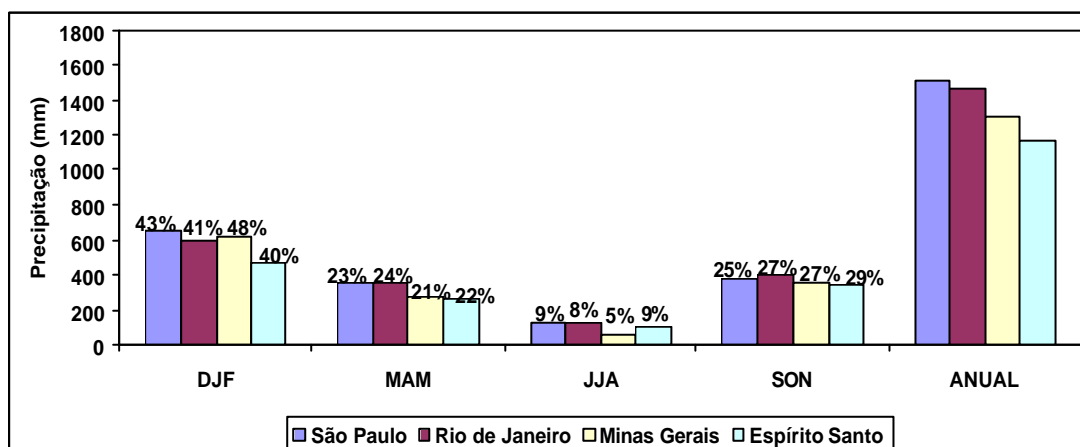
A variação sazonal é mostrada na Figura 4.2, em que foi calculada a percentagem da chuva em cada estação do ano em relação ao total anual de precipitação para as Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Na Região Sul (Figura 4.2a) os três estados apresentaram a precipitação média de maneira uniforme durante os quatro trimestres. Verifica-se que no Rio Grande do Sul não existe muita variação anual das chuvas, pois recebe em média 25% de chuva durante as quatro estações do ano. Nos Estados do Paraná e Santa Catarina o trimestre DJF obteve 33% e 30%, respectivamente, do total anual de chuva, enquanto que JJA contribui com 18% e 22%, respectivamente. Observa-se que os totais anuais de precipitação não são muito diferenciados entre os três Estados da Região Sul, chegando a um total anual médio de 1630mm durante o período de 1970 a 1998.

Na Região Sudeste (Figura 4.2b) a maior percentagem de chuva ocorreu nos meses de dezembro a fevereiro, sendo que o Estado de Minas Gerais chegou a contribuir com 48% do total anual. Assim, DJF (verão do HS) corresponde à estação chuvosa da Região Sudeste do País. Durante março, abril e maio (MAM), os estados da Região Sudeste recebem em torno de 21 a 24% da chuva anual. Em JJA esta região recebe pouca precipitação em relação aos outros trimestres, variando de 5 a 9%. Então, pode-se

dizer que JJA (inverno do HS) corresponde à estação seca da Região Sudeste. Nos meses de setembro a novembro (primavera do HS) a quantidade de chuva chega a 29% no Espírito Santo, 25% em São Paulo e os Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais recebem cada um 27% do total médio anual de chuva neste período.



(a)



(b)

FIGURA 4.2 – Precipitação média na Região Sul (a) e Sudeste (b) do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.

A Figura 4.3 representa a variabilidade interanual da precipitação nos sete Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil. Foram calculadas anomalias de chuva ao longo dos anos da série estudada. Nos Estados da Região Sul (Figura 4.3a) é evidente a grande

variabilidade interanual da precipitação; porém, dos três estados analisados, o que apresenta maior variação é o Rio Grande do Sul (Figura 4.3a).

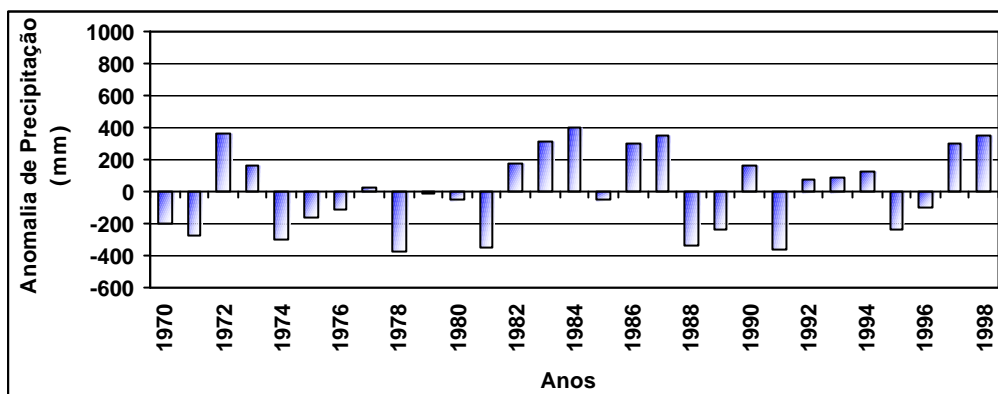
Os anos em que os três Estados da Região Sul apresentaram precipitação coincidentemente acima da média foram: 1972, 1983, 1990 e 1997. Nos anos citados, as anomalias de precipitação apresentaram-se próximas ou superiores a 200mm, chegando a apresentar 883mm acima da média em 1983 no Estado de Santa Catarina (Figura 4.3b) e 600mm acima da média no Estado do Paraná (Figura 4.3c). Foram identificadas ainda anomalias positivas de precipitação acima de 200mm no Rio Grande do Sul e Santa Catarina nos anos de 1984 e 1998.

Destacam-se os anos de 1974, 1978, 1981, 1988 e 1991 com anomalias negativas de chuva, entre 200 e 400mm, nos três Estados da Região Sul. Durante o período estudado os casos mais críticos de déficits de precipitação para o sul do País ocorreram nos anos de 1978 nos três estados, com anomalias negativas acima de 350mm, de 1985 no Estado do Paraná (Figura 4.3c), atingindo aproximadamente 500mm abaixo da média e no ano de 1991 no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que obtiveram respectivamente 357 e 456mm abaixo da média. Pode-se destacar ainda, que o Paraná foi o único estado que apresentou anomalia de precipitação negativa de 383mm no ano de 1998.

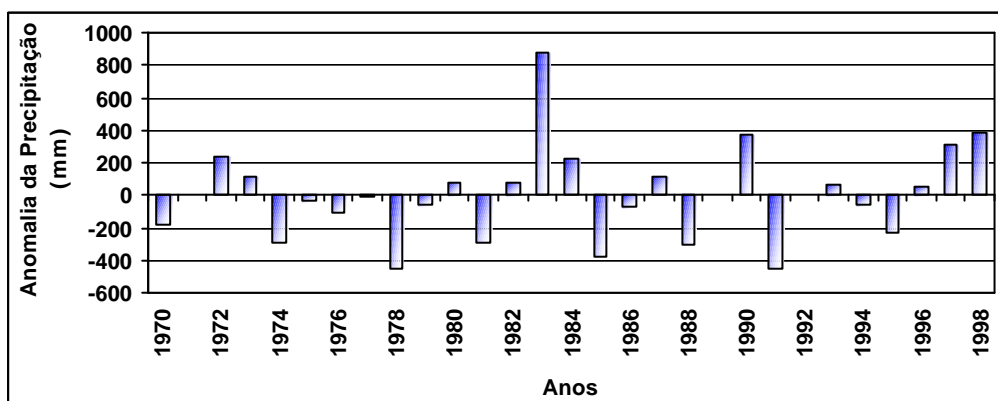
A Figura 4.4 mostra o comportamento anual da precipitação nos Estados da Região Sudeste. No ano de 1983, as anomalias positivas de chuva foram bastante altas (entre 400 e 600mm), principalmente em Minas Gerais (Figura 4.4a) e São Paulo (Figura 4.4b), em que alcançaram 653 e 631mm acima da média. No ano de 1990, observam-se baixos valores de chuva (200 a 400mm abaixo da média) em todos os estados do sudeste; destacando-se a anomalia negativa de 360mm inferior à média no Estado do Rio de Janeiro (Figura 4.4d).

Em São Paulo e Rio de Janeiro a maioria das oscilações ocorreu abaixo da média, principalmente no ano de 1984. Já nos Estados do Espírito Santo (Figura 4.4c) e Minas Gerais, a variabilidade ao longo dos anos é grande, sendo que as anomalias positivas

ocorreram em 1979 e 1992 e as negativas nos anos de 1990 e 1993, variando de 200 a 400mm. Quanto aos anos em que as anomalias de precipitação foram superiores e inferiores a 400mm, destacam-se o ano de 1976 em São Paulo (445mm acima da média) e o ano de 1989 no Estado do Espírito Santo (~600mm abaixo da média).

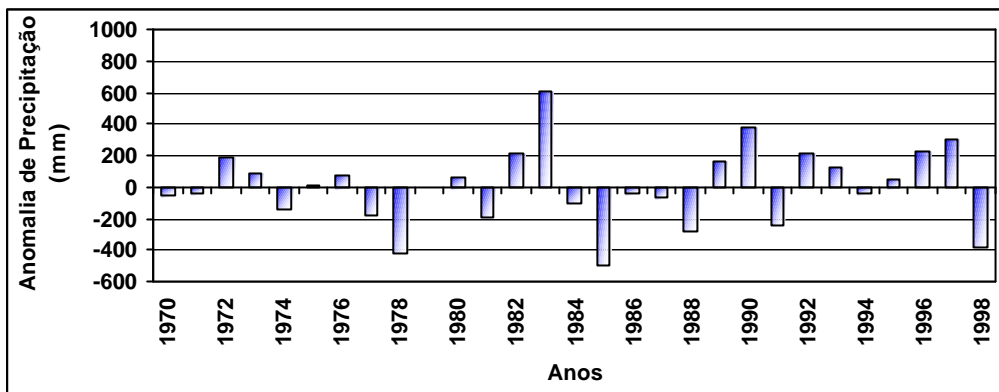


(a) Rio Grande do Sul



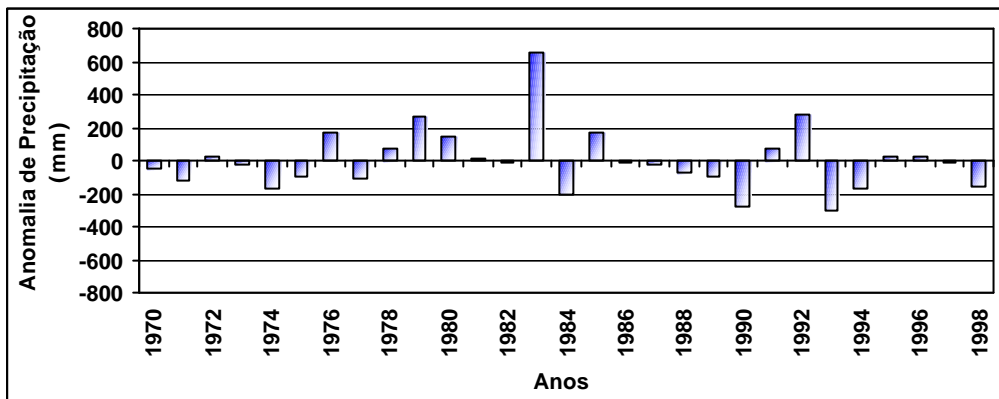
(b) Santa Catarina

FIGURA 4.3 – Variação interanual da anomalia de precipitação na Região Sul do Brasil.

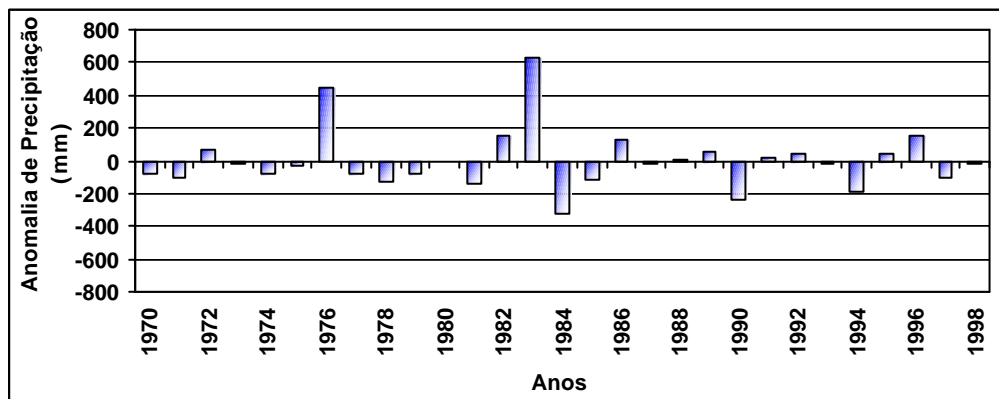


(c) Paraná

FIGURA 4.3 – Conclusão.



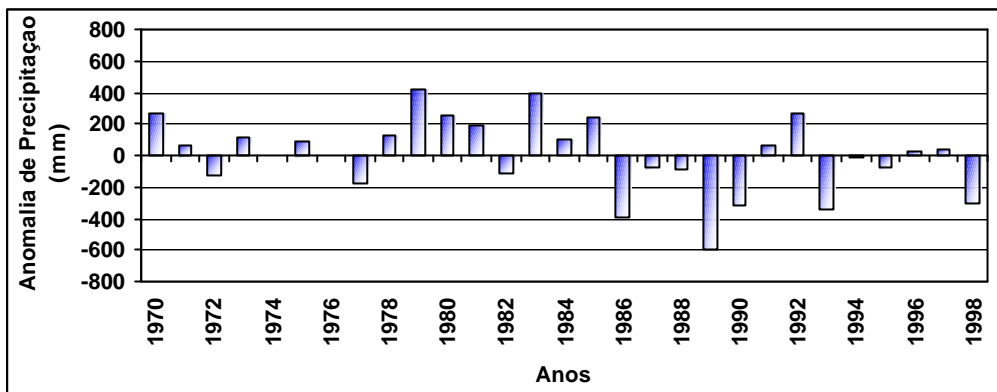
(a) Minas Gerais



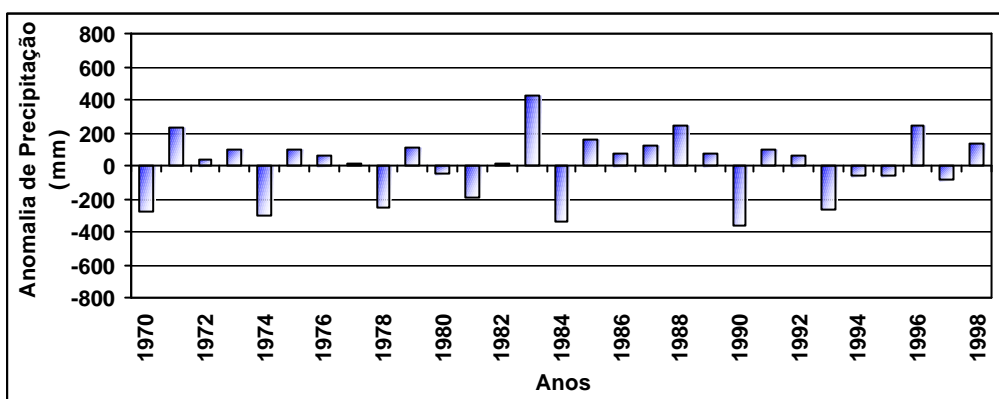
(b) São Paulo

FIGURA 4.4 – Variação interanual da anomalia de precipitação na Região Sudeste do Brasil.

(continua)



(c) Espírito Santo



(d) Rio de Janeiro

FIGURA 4.4 – Conclusão

4.2 Característica das culturas

Visando estudar a evolução das produções de milho e de soja, foram analisados dados de área semeada, produção e produtividade agrícola nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante o período de 1970 a 1998. É importante lembrar que no caso da soja foram selecionados alguns Estados da Região Sul e Sudeste, ou seja, somente os Estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais, em que a cultura da soja é de grande expressão. Porém, a cultura de soja nos outros estados restantes da região vem crescendo sensivelmente, se comparados aos estados que já produziam regularmente.

4.2.1 Milho

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram a variabilidade da área cultivada e a produção da cultura de milho nos estados da região estudada. Nota-se que no sul do País a participação na área plantada manteve-se praticamente constante ao longo dos anos, principalmente no Estado de Santa Catarina (Figura 4.5b), porém houve alguns picos em 1987/1988 e em 1992/1993 nos Estados do Paraná (Figura 4.5c) e Rio Grande do Sul (Figura 4.5a), respectivamente.

Em termos de área o Estado do Paraná merece destaque, pois é o responsável pela maior área cultivada de milho no País, tendo alcançado no ano de 1987/1988 quase 3 milhões de hectares, seguido do Rio Grande do Sul que cultivou 2 milhões de hectares. Ressalta-se que no período estudado Santa Catarina apresentou a menor área semeada de milho em relação aos outros dois estados, em média 960 mil hectares.

Analisando a produção de milho, notam-se pequenas variações. Nos anos 70, a produção de milho teve um pequeno crescimento, sendo que em Santa Catarina ocorreu de forma mais significativa, principalmente no período de 1970 a 1977, com uma variação de 1,6 milhões de toneladas. Na década de 80, observa-se pouca variação nos Estados da Região Sul, porém nos anos 90 a região atinge um novo patamar, com ganhos substanciais na produtividade.

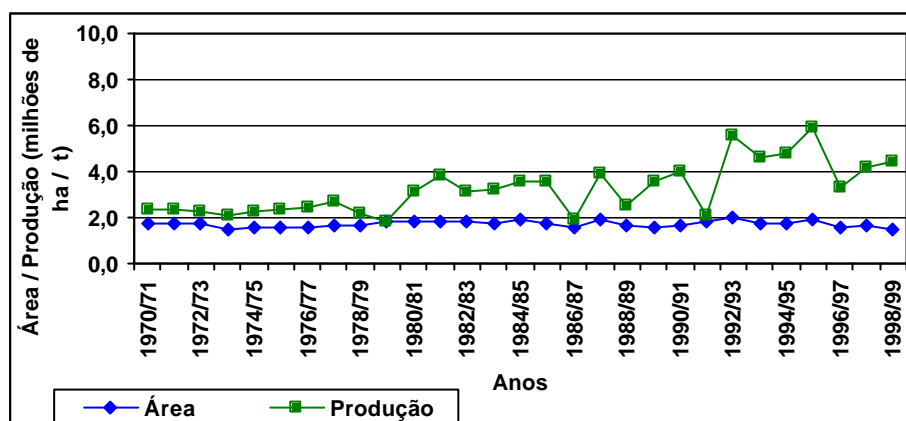
Durante o período de 1991/1992 a 1998/1999, observou-se um grande crescimento de 117% na produção de milho no Rio Grande do Sul, 69% em Santa Catarina e 64% no Paraná, em que no ano de 1995/1996 chegou a alcançar uma produção recorde de 9 milhões de toneladas de milho no Paraná, 6 milhões de toneladas no Rio Grande do Sul e 3,7 milhões de toneladas em Santa Catarina. É importante ressaltar que tal crescimento ocorreu após a queda de produção no ano de 1991/1992, sendo esta mais significativa nos Estados do Rio Grande do Sul (decréscimo de 2 milhões de toneladas) e de Santa Catarina (decréscimo de 1,2 milhões de toneladas).

Na Região Sudeste (Figura 4.6) verifica-se uma relativa estagnação das áreas plantadas de milho em Minas Gerais (Figura 4.6a) e em São Paulo (Figura 4.6b) e uma moderada queda nos anos 90. Esse decréscimo ocorreu a partir do ano de 1991 em Minas Gerais e 1992 em São Paulo, com uma queda de 310 e 460 mil hectares, respectivamente. As áreas semeadas de milho no Espírito Santo (Figura 4.6c) e no Rio de Janeiro (Figura 4.6d) decresceram aproximadamente 79 e 77% respectivamente, no período entre 1970/1971 e 1998/1999. A produção de milho em toneladas na Região Sudeste apresentou uma nítida tendência positiva nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, enquanto que Espírito Santo e Rio de Janeiro apresentaram tendência negativa, durante o período de 1970 a 1998.

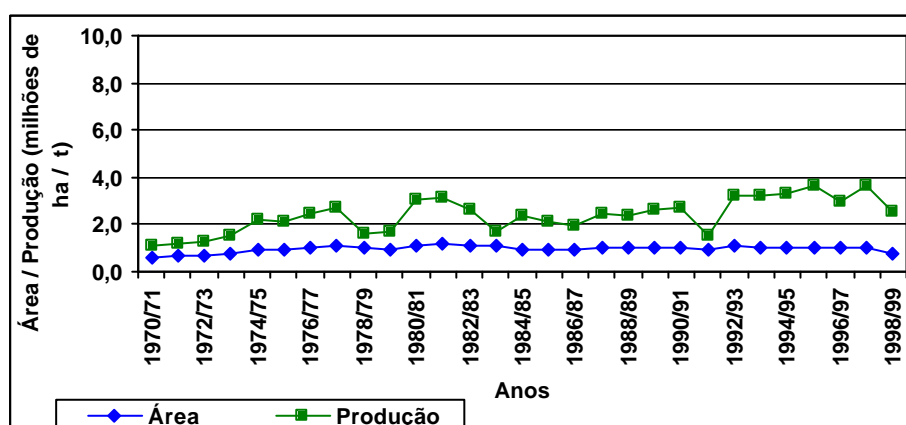
Pode-se destacar que, no ano de 1990/1991 todos os Estados da Região Sudeste apresentaram uma queda na produção e no ano posterior a produção voltou a subir, principalmente em Minas Gerais e em São Paulo, que atingiram uma certa estabilidade até o fim dos anos 90. Essa estabilidade não aconteceu nos Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, pois obtiveram esse crescimento após o ano de 1990/1991 que durou até o ano de 1993/1994, sendo que neste ano a produção de milho voltou a decaírem 58 e 44%, respectivamente, entre o período de 1993/1994 a 1998/1999.

Em termos de quantidade, Minas Gerais e São Paulo obtiveram maiores produções, com uma média de aproximadamente 3 milhões de toneladas durante o período estudado, chegando a obter 4,2 (1995/1996) e 4,1 milhões de toneladas (1997/1998),

respectivamente. Porém, o Rio de Janeiro foi o responsável pelos menores índices de produção da Região Sudeste, obtendo uma média de 60 mil toneladas durante 1970/1971 a 1998/1999.



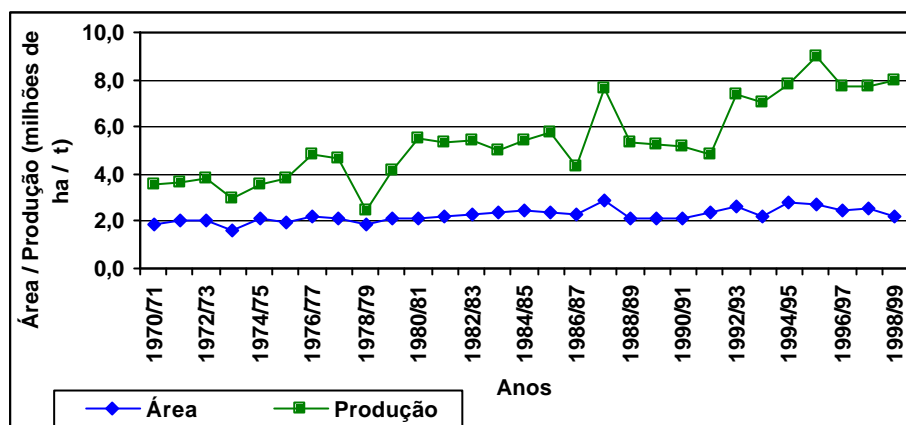
(a) Rio Grande do Sul



(b) Santa Catarina

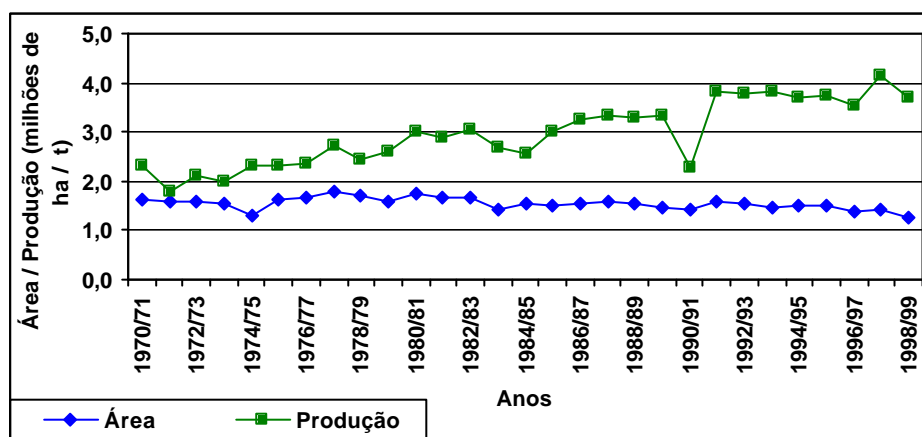
FIGURA 4.5 – Evolução das características do cultivo de milho nos Estados da Região Sul do Brasil, durante 1970 a 1998.

(continua)

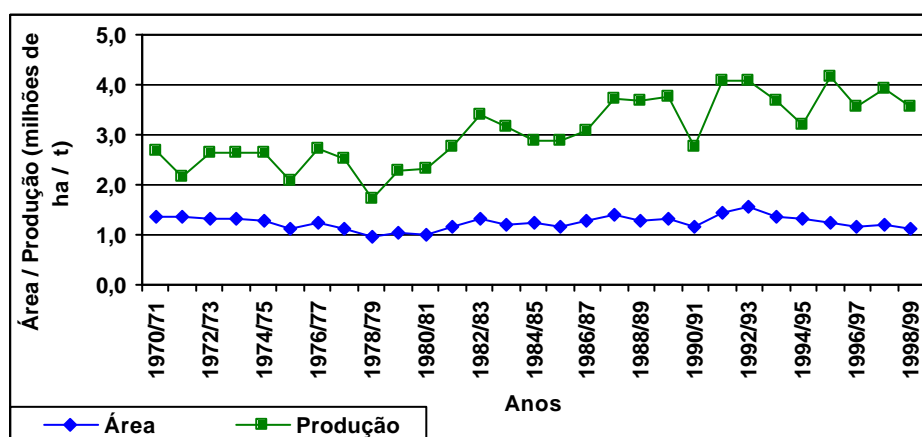


(c) Paraná

FIGURA 4.5 – Conclusão

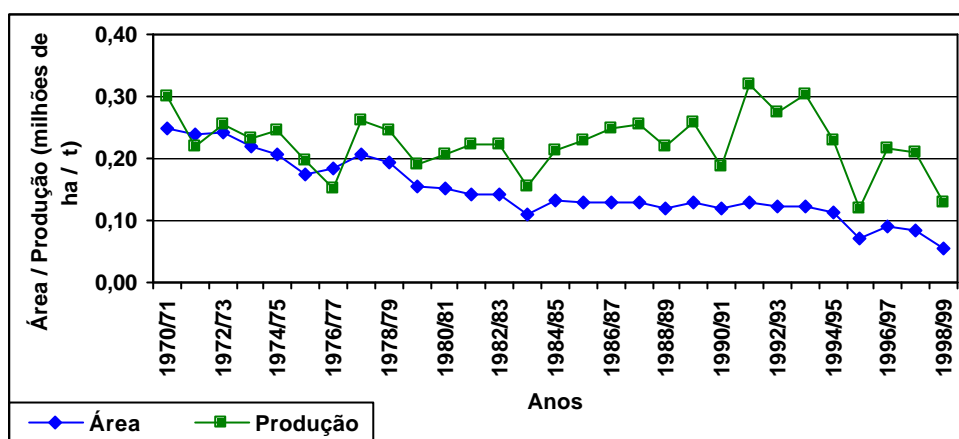


(a) Minas Gerais

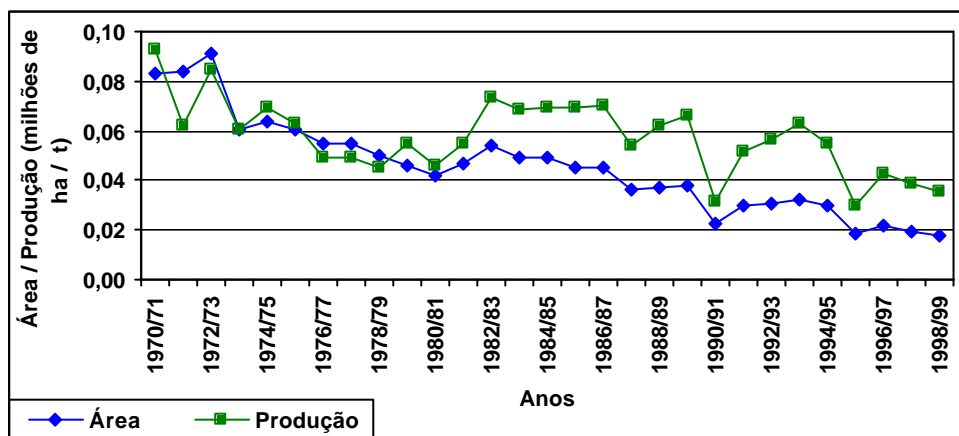


(b) São Paulo

FIGURA 4.6 – Evolução das características do cultivo de milho nos Estados da Região Sudeste do Brasil, durante 1970 a 1998. (continua)



(c) Espírito Santo



(d) Rio de Janeiro

FIGURA 4.6 – Conclusão.

Na Tabela 4.1, encontram-se os valores médios de produtividade do milho para os Estados das Regiões Sul e Sudeste do País, durante o período de 1970 a 1998. O Estado de Santa Catarina é o que possui maior produtividade (2452 kg/ha), seguido de São Paulo (2443 kg/ha) e Paraná (2383 kg/ha). É preciso levar em consideração que essas médias foram obtidas para diferentes regiões com características e sistemas de cultivos diferentes. As produtividades médias tendem a ser maiores nos estados que contam com produtores dedicados às lavouras comerciais, e que consideram o aprimoramento de técnicas culturais. Além disso, ressalta-se que nos últimos anos a cultura de milho no

País vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos de produtividade e de produção.

TABELA 4.1 - Produtividade média original do milho nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.

Estados	Produtividade do Milho (kg/ha)
Minas Gerais	1942
Paraná	2383
Rio Grande do Sul	1887
Santa Catarina	2452
São Paulo	2443
Espírito Santo	1647
Rio de Janeiro	1397

Na Figura 4.7, observa-se o comportamento da produtividade do milho durante o período de 1970 a 1998 dos dados originais, ou seja, sem retirar a tendência tecnológica, e os dados corrigidos (após a retirada da tendência), para todos os Estados das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Nas séries originais nota-se uma tendência de crescimento na produtividade médio do milho em função do ano. Esses aumentos substanciais na produtividade original do milho podem ser explicados pela incorporação de novas tecnologias no sistema de produção da cultura (variedades, insumos e mecanização), principalmente a partir da década de 80.

Durante os anos 70, as linhas da série original e da série corrigida mantiveram-se próximas, ou seja, não houve incremento de novas tecnologias. Após a retirada da tendência tecnológica, tem-se a série corrigida, em que observa-se uma variabilidade interanual, constatando o efeito de outro(s) fator(es) de natureza não tecnológica sobre a produtividade. Isto quer dizer que não existe somente o efeito da tecnologia na produção agrícola, existe também uma influência dos elementos meteorológicos na agricultura, principalmente em relação a precipitação. Porém, esta influência será discutida mais a diante (Seção 4.3).

É importante ressaltar que a Região Sul apresenta uma grande variabilidade interanual da produtividade do milho, evidenciando certa instabilidade se comparada à Região Sudeste, em que o Estado do Rio Grande do Sul (Figura 4.7a) destaca-se por obter as maiores oscilações da região, fato explicado pela variabilidade da precipitação. O Estado de Santa Catarina (Figura 4.7c) é o responsável pela maior produtividade de milho da Região Sul, alcançando 2325 kg/ha no ano de 1997/1998, enquanto o Paraná (Figura 4.7b) obteve a sua produtividade máxima no ano posterior (2077 kg/ha). O Rio Grande do Sul, ao ser comparado com os outros estados, apresentou produtividades médias inferiores, atingindo um patamar de 1837 kg/ha no ano de 1995/1996.

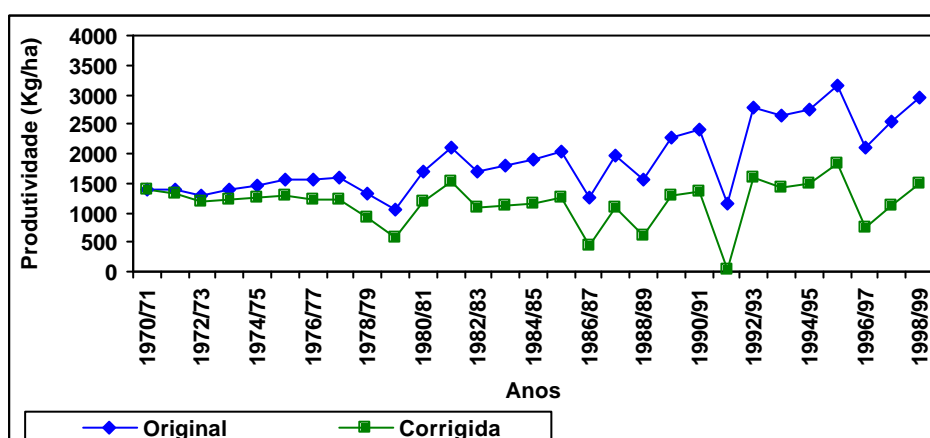
As grandes quedas da produtividade ocorreram na Região Sul no ano de 1978/1979, com um declínio de 985 kg/ha em Santa Catarina e 920 kg/ha no Paraná. Já em 1991/1992 o decréscimo foi mais significativo, com uma queda de 90% na produtividade do milho no Rio Grande do Sul. Durante o período de 1992/1993 a 1995/1996, os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul obtiveram aumentos consideráveis na produtividade, voltando a decair no ano de 1996/1997, com uma diminuição de 560 e 1100 kg/ha com relação à produtividade do ano anterior, respectivamente.

Na Região Sudeste (Figura 4.8), a variabilidade interanual da produtividade agrícola do milho apresenta-se melhor distribuído. Evidencia-se que o Estado de São Paulo (Figura 4.8b) contou com as maiores produtividades médias de milho da região, alcançando 2200 kg/ha no ano de 1995/1996. O Estado de Minas Gerais (Figura 4.8a) apresentou-se em segundo lugar, com um máximo de 1600 kg/ha no ano de 1974/1975.

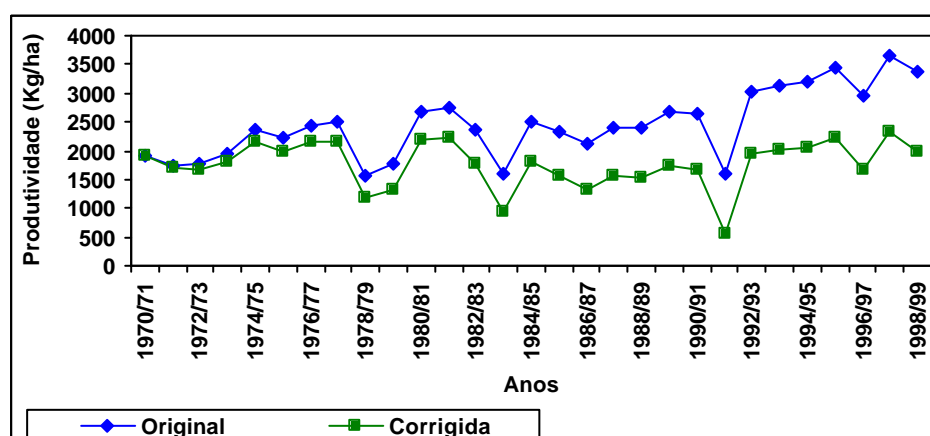
É importante salientar que, no ano de 1990/1991 houve uma acentuada queda na produtividade do milho em todos os Estados da Região Sudeste, principalmente em Minas Gerais, em que a redução em relação ao ano anterior foi de 60%. Após esta queda, a produtividade do estado manteve-se estável até o final dos anos 90. Já o Estado de São Paulo obteve um acréscimo até o ano de 1993/1994; sendo que no ano posterior

atingiu um pequeno declínio de 20% e em 1995/1996 voltou a elevar a sua produtividade expressivamente em 870 kg/ha em relação ao ano anterior.

Os Estados do Espírito Santo (Figura 4.8c) e Rio de Janeiro (Figura 4.8d) são responsáveis pelas menores produtividades de milho da Região Sudeste, mas também obtiveram queda em 1990/1991, com uma taxa de declínio de aproximadamente 45%. Porém, no ano posterior houve um aumento substancial até o ano de 1994/1995, voltando a decair em 1995/1996. No ano posterior apresentou novamente um aumento, mas não tão significativo quanto após a queda de 1990/1991.

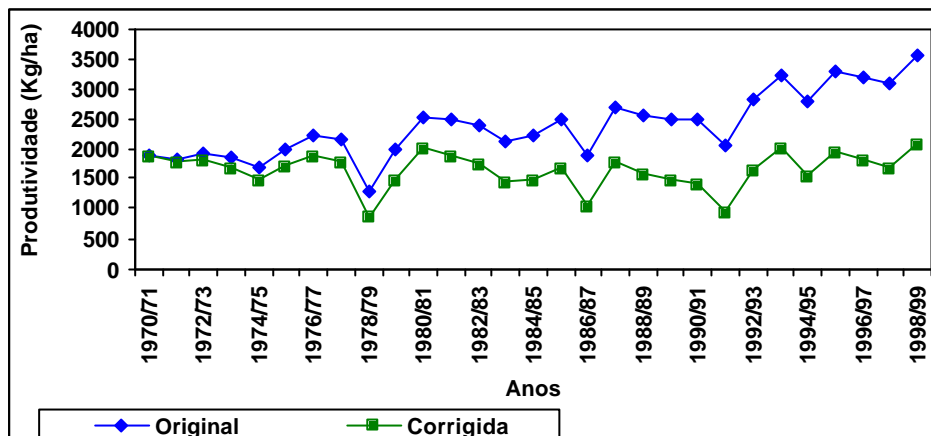


(a) Rio Grande do Sul



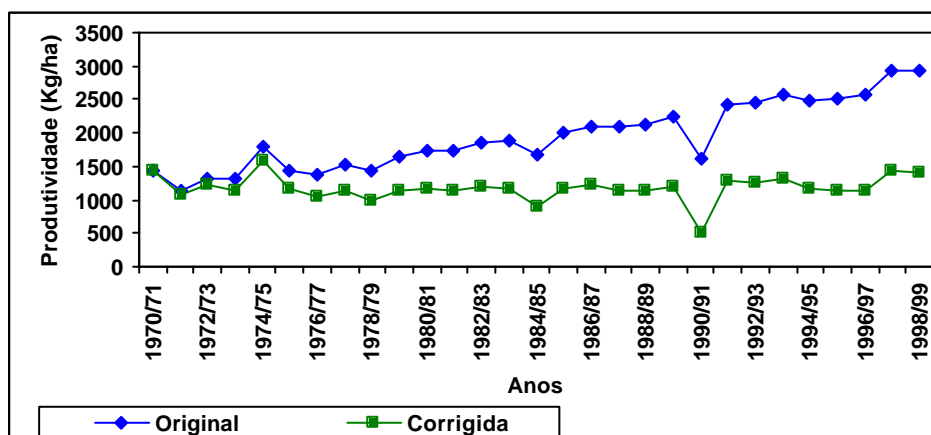
(b) Santa Catarina

FIGURA 4.7 - Variação interanual da produtividade do milho original (com a tendência) e a corrigida (sem a tendência) nos Estados da Região Sul do Brasil (1970 - 1998). (continua)



(c) Paraná

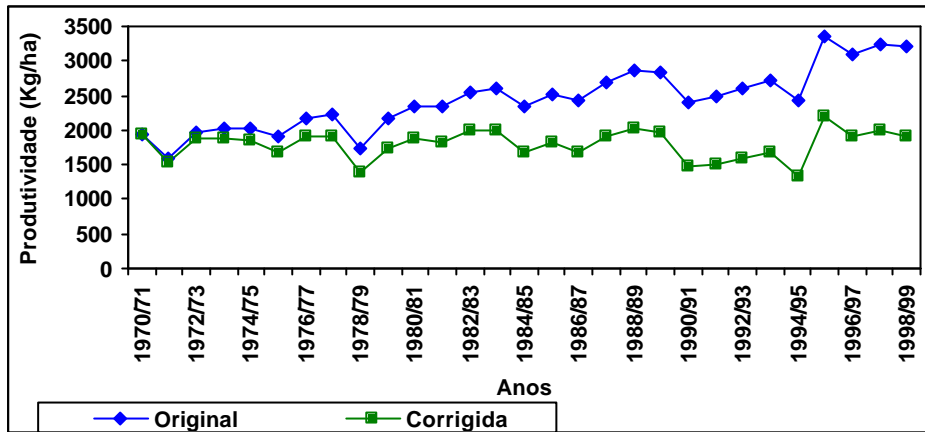
FIGURA 4.7 – Conclusão



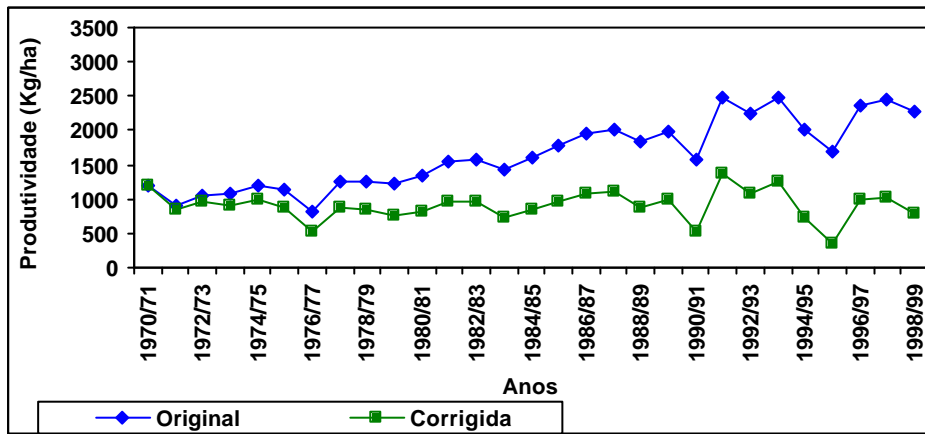
(a) Minas Gerais

FIGURA 4.8 - Variação interanual da produtividade do milho original (com a tendência) e a corrigida (sem a tendência) nos Estados da Região Sudeste do Brasil (1970 - 1998).

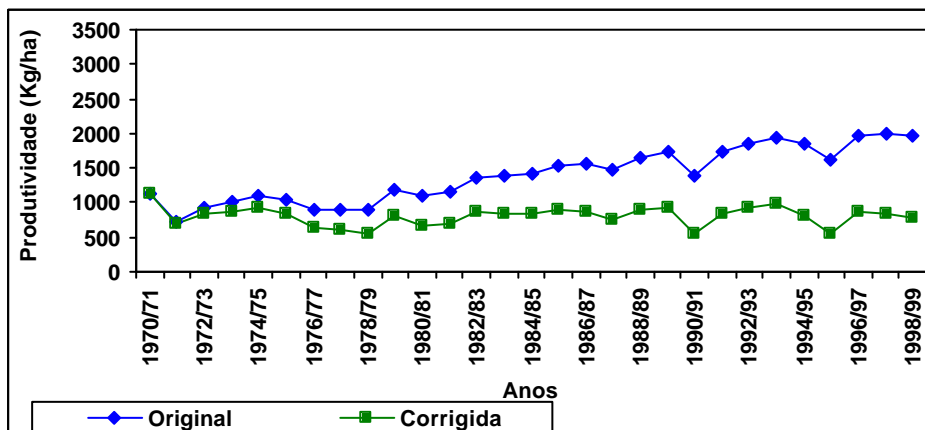
(continua)



(b) São Paulo



(c) Espírito Santo



(d) Rio de Janeiro

FIGURA 4.8 - Conclusão

4.2.2 Soja

A variabilidade da área plantada e a produção da cultura de soja nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais são mostradas respectivamente na Figura 4.9 a-c. Verifica-se que o Rio Grande do Sul apresenta a maior área plantada, com uma média de 3 milhões de hectares, seguida do Paraná com área média de 2 milhões de hectares. Porém, Minas Gerais apresentou menor área em relação aos outros estados (área média de 300 mil hectares).

Observa-se que durante o início dos anos 70, os três estados apresentaram uma significativa tendência de crescimento da área cultivada. Este crescimento ocorreu até o ano de 1979/1980 no Rio Grande do Sul, alcançando 4 milhões de hectares neste mesmo ano, com este valor correspondendo à máxima área registrada durante o período estudado (1970 - 1998). Já o Paraná, obteve seu crescimento de área até 1980/1981, passando de uma área cultivada de 300 mil hectares em 1970/1971 a 2,4 milhões de hectares em 1980/1981. Em Minas Gerais verificou-se um aumento gradativo até o ano de 1985/1986, em que até este ano os valores de área mantiveram-se abaixo de 500 mil hectares.

A partir de 1980/1981, inicia-se uma tendência de queda da área cultivada no Rio Grande do Sul, apresentando valores abaixo de 4 milhões de hectares até o final do período estudado, com pequenas oscilações ao longo dos anos. A área cultivada no Estado do Paraná obteve um ligeiro decréscimo no início dos anos 80, mais precisamente até o ano de 1987/1988, voltando a aumentar nos 2 anos consecutivos, e decaindo em 1990/1991 a 1992/1993. Porém, destaca-se que a partir do ano de 1993/1994 houve um avanço da área em alcançar maiores valores, apresentando um máximo de aproximadamente 2 milhões de hectares no ano de 1998/1999.

Após o crescimento da área plantada no Estado de Minas Gerais durante os anos 70 e início dos 80, a área manteve-se praticamente estável no período de 1985/1986 a 1988/1989, sendo que no ano posterior observou-se um pequeno aumento até o final dos

anos 90, com valores superiores a 400 mil hectares, em que se destaca a área máxima de 600 mil hectares no ano de 1995/1996.

Nota-se que as médias de produção da soja nos dois Estados da Região Sul mantiveram-se próximas, em torno de 4 (Paraná) a 4,6 (Rio Grande do Sul) milhões de toneladas. Outrossim, o Estado de Minas Gerais possui a maior produção de soja da Região Sudeste com uma média de 600 mil toneladas. O comportamento da produção apresentou-se semelhante ao da área plantada.

No início dos anos 70, também houve um intenso aumento da produção de soja até o ano de 1977/1978 nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná, decaindo no ano posterior. É importante ressaltar que a produção a partir do ano de 1977/1978 manteve seus valores de produção superiores a 3 milhões de toneladas até o final do período analisado (1998/1999). Porém, neste mesmo ano de 1998/1999, a produção aumentou cerca de 12 vezes mais no Paraná e 6 vezes no Rio Grande do Sul, em relação ao ano de 1970/1971.

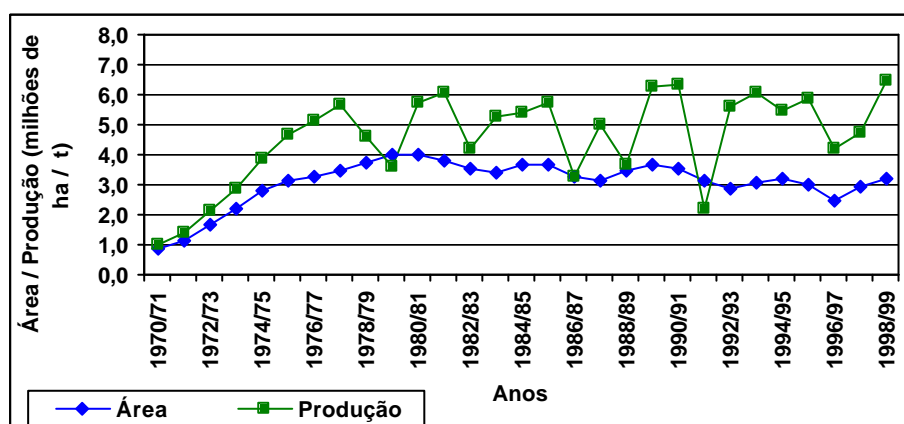
No Estado de Minas Gerais o aumento foi bastante significativo nos anos 70 e início dos 80, apresentando uma tendência positiva de aproximadamente 25 mil toneladas por ano no período de 1970/1971 a 1985/1986, em que se destaca uma produção de 1.600 toneladas no período inicial, passando a obter 880 mil toneladas no final do período. No ano posterior houve um pequeno decréscimo na produção de soja, porém a partir de 1987/1988 os valores mostraram-se superiores a 800 mil toneladas até 1998/1999, com exceção de 1990/1991 (750 mil toneladas) quando houve um decréscimo de 400 mil toneladas em relação ao ano anterior.

O Estado do Rio Grande do Sul apresentou maiores flutuações em relação aos outros estados, ou seja, maior instabilidade na produção, com alguns picos nos anos de 1989/1990, 1990/1991 e 1998/1999, sendo que neste último ano alcançou o máximo de produção de 6,5 milhões de toneladas, em relação a todo período estudado. Destaca-se

ainda que no ano de 1991/1992 houve uma queda substancial na produção de soja no estado, chegando a decair 4 milhões de toneladas em relação a safra do ano anterior.

O Paraná também apresentou uma queda de produção neste mesmo ano de 1991/1992 (1,2 milhão de toneladas), porém não tão significativa quanto a ocorrida no Rio Grande do Sul. Com o decréscimo em 1978/1979, após a longa tendência de acréscimo ocorrida no início dos anos 70, a variabilidade da produção passou a ter algumas oscilações até 1992/1993 e, a partir daí, voltou a ter uma tendência de aumento até o final dos anos 90.

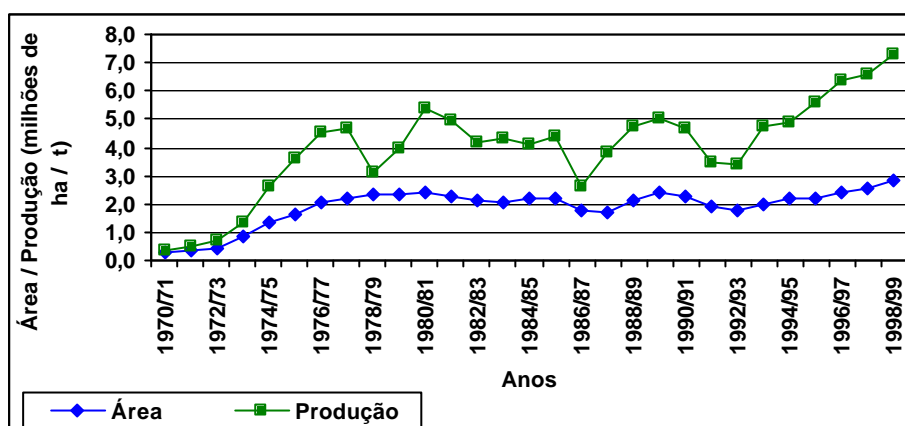
Nota-se nos anos 90 que se inicia uma tendência de aumento na produtividade nos três estados analisados, alcançando os maiores valores de produção apresentados durante o período de 1970/1971 a 1998/1999. É importante destacar o último ano do período analisado (1998/1999), pois os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais apresentaram os máximos valores de produção de 7,3; 6,5 e 1,3 milhões de toneladas, respectivamente.



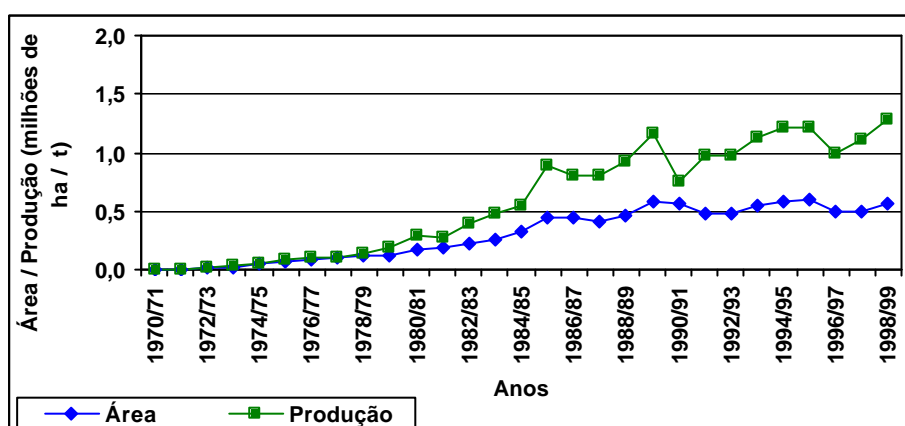
(a) Rio Grande do Sul

FIGURA 4.9 – Evolução das características do cultivo de soja nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, durante 1970 a 1998.

(continua)



(b) Paraná



(c) Minas Gerais

FIGURA 4.9 – Conclusão.

Na Tabela 4.2, encontram-se os valores médios de produtividade da soja para os Estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais, durante o período de 1970 a 1998. Verifica-se que o Paraná possui a maior produtividade média de soja (2014 kg/ha), destacando-se como segundo maior estado produtor de soja brasileiro, sendo responsável pelas maiores produtividades do País. Em segundo lugar tem-se o Estado de Minas Gerais (1672 kg/ha), seguido do Rio Grande do Sul (1475 kg/ha).

O crescimento da produção e o aumento da capacidade competitiva da soja sempre estiveram associados aos avanços científicos e a disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. Todavia, a implantação de novas tecnologias, juntamente com a

expansão das áreas de plantio, resulta em altas produtividades da cultura de soja. Esses ganhos substanciais na produtividade da soja serão discutidos com mais detalhes posteriormente.

TABELA 4.2 - Produtividade média original da soja nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.

Estados	Produtividade da Soja (kg/ha)
Rio Grande do Sul	1475
Paraná	2014
Minas Gerais	1672

A Figura 4.10 apresenta o comportamento médio anual da produtividade da soja durante o período de 1970 a 1998 dos dados originais (com tendência) e corrigidos (sem tendência) em alguns Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil. A nítida tendência de aumento das produtividades originais de soja deve-se ao mesmo fato que o milho, ou seja, à incorporação de novas tecnologias adotadas principalmente a partir dos anos 80.

A maior tendência da série original observada ocorreu nos Estados de Minas Gerais (~ 42 kg/ha por ano) e Paraná (~ 32 kg/ha por ano). Porém, o Rio Grande do Sul apresentou menor tendência (~20 kg/ha), além das séries original e corrigida de produtividade apresentarem-se próximas comparando-se aos outros dois estados. Nota-se que essa aproximação foi observada com maior ênfase no período de 1970/71 a 1980/81. Já nos Estados de Minas Gerais e Paraná as linhas de produtividade original e corrigida da soja permaneceram vizinhas até o ano de 1974/75.

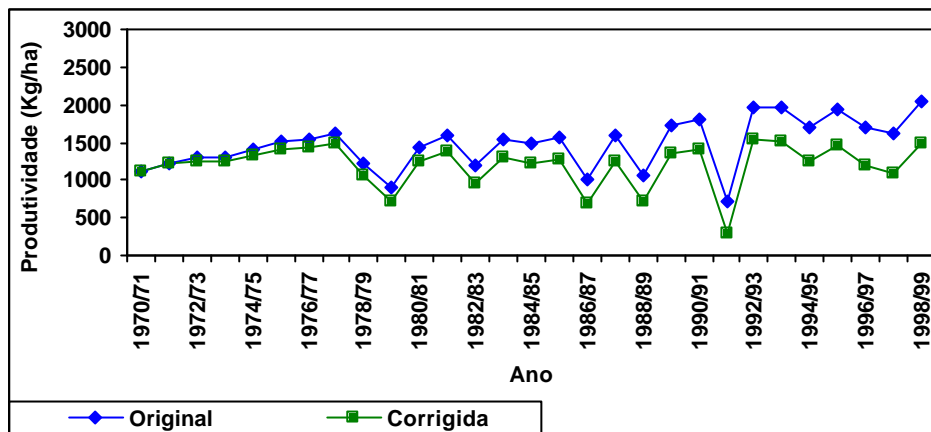
A variabilidade interanual da produtividade da soja é mais evidenciada no Rio Grande do Sul, seguido do Estado do Paraná. Isto pode ser explicado pelo fato de haver algumas regiões caracterizadas por uma proporção maior de pequenos produtores, que têm dificuldades de acesso ao crédito para suavizar variações de renda, gerando maior

probabilidade de variações nas produtividades de culturas, como por exemplo, o milho e a soja. Porém, isto não ocorre em Minas Gerais, em que a variabilidade da produtividade mantém-se quase estável, ou seja, com poucas oscilações.

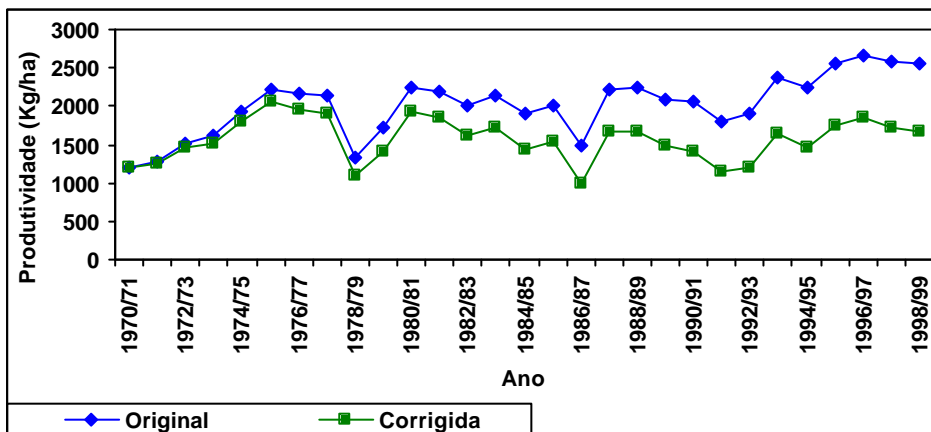
O responsável pela maior produtividade de soja na área de estudo é o Paraná, no qual foi observado um nítido salto da produtividade entre o período de 1970/71 (1210 kg/ha) a 1975/76, sendo que neste último ano apresentou um máximo de produtividade em torno de 2061 kg/ha em relação ao período de 1970 a 1998. Além disso, durante o período analisado os valores de produtividade da soja mantiveram-se superiores a 1000 kg/ha, exceto no ano de 1986/87, em que atingiu um valor de 978 kg/ha. Ressalta-se que o estado apresentou menores variações de produtividade comparando-se ao Rio Grande do Sul e, como exemplo, pode-se citar o ano de 1991/92 em que o decréscimo da produtividade não foi tão significativo.

Nos anos 70, mais precisamente no período de 1970/71 a 1977/78, notou-se um ligeiro aumento da tendência da produtividade da soja no Rio Grande do Sul, porém não tão intenso como o ocorrido no início dos anos 70 no Paraná. Os valores médios de produtividade mantiveram-se acima de 800 kg/ha, exceto nos anos de 1979/80, 1986/87, 1988/89 e principalmente em 1991/92, ano em que houve uma queda brusca na produtividade, passando de 1400 kg/ha (1990/91) a 300 kg/ha (1991/92). Todavia, no ano posterior houve um significativo aumento da produtividade, alcançando um máximo de 1527 kg/ha, em relação a todo período de estudo.

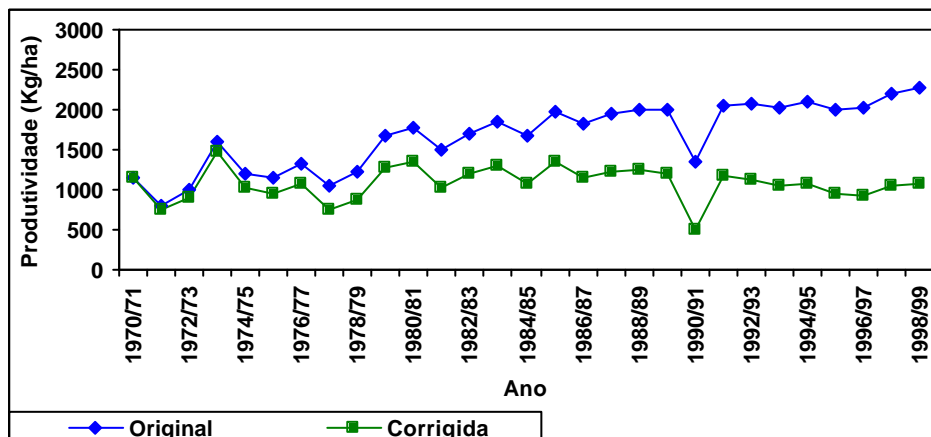
O Estado de Minas Gerais não sofreu muitas variações ao longo do tempo, porém destaca-se a produtividade máxima de 1466 kg/ha apresentada no ano de 1973/74. Os valores de produtividade no estado foram superiores a 800 kg/ha, exceto nos anos de 1971/72, 1977/78 e 1990/1991. O ano de 1990/1991 apresentou uma produtividade mínima de 497 kg/ha em relação a todo o período estudado, em que a queda substancial foi de aproximadamente 700 kg/ha em relação a safra anterior, porém no ano posterior os valores de produtividade mantiveram-se na média (~ 100kg/ha) até o ano de 1998/99.



(a) Rio Grande do Sul



(b) Paraná



(c) Minas Gerais

FIGURA 4.10 - Variação interanual da produtividade da soja original (com a tendência) e a corrigida (sem a tendência) nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).

4.3 Influência da Precipitação sobre a produtividade das Culturas

A produtividade das diferentes culturas agrícolas é altamente dependente da oferta pluviométrica, bem como de sua frequência e intensidade. Com isso, a época do plantio das culturas está diretamente ligada aos elementos climáticos, dentre eles a precipitação. A época mais recomendada para o plantio depende da distribuição das chuvas na região, pois coincide com o início do período chuvoso, que é variável com as diferentes regiões brasileiras.

Visando estudar a relação entre a precipitação pluvial trimestral e a produtividade média anual do milho e da soja (dados corrigidos) dos Estados da Região Sul e Sudeste do País, durante o período de 1970 a 1998, foram calculados coeficientes de correlação (r) entre as variáveis, como mostram as Tabela 4.3 e 4.4, respectivamente. A significância dos valores obtidos foi testada através do teste de *t-student*, para uma amostra de 29 anos. Os valores dos coeficientes obtidos, ao nível de 95 e 99% de significância, foram 0,36 e 0,43, respectivamente.

4.3.1 Milho

A Tabela 4.3 mostra os coeficientes de correlação (r) entre a precipitação trimestral e a produtividade do milho, na qual observa-se que as precipitações do trimestre dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) e janeiro, fevereiro e março (JFM) foram as que mais correlacionaram-se com a produtividade do milho em todos os Estados da Região Sul e somente no Estado de São Paulo na Região Sudeste. Estes meses caracterizam-se por intensa atividade agrícola e correspondem as estações chuvosas destas regiões. Isto quer dizer que o milho, sendo uma cultura de primavera-verão, em geral é conduzido sem irrigação e, portanto, depende diretamente da precipitação.

O maior coeficiente de correlação observado foi de 0,63 no trimestre DJF no Estado de São Paulo, período em que ocorre o florescimento das plantas. Esta é a fase fenológica, na qual a cultura de milho necessita de maior disponibilidade hídrica e a falta de água

no início da floração (liberação do pendão) até o enchimento dos grãos afeta ou compromete a produtividade agrícola do milho.

Na Região Sul, os maiores coeficientes de correlação obtidos no trimestre DJF apresentaram menores magnitudes em relação ao obtido para o Estado de São Paulo. Nota-se um coeficiente de correlação de 0,48 no Paraná, 0,46 no Rio Grande do Sul e 0,43 em Santa Catarina. Um segundo coeficiente foi encontrado entre a precipitação de JFM e a produtividade da cultura de milho nos Estados da Região Sul e o Estado de São Paulo na Região Sudeste, mostrando que as oscilações na produtividade são vulneráveis às variações no padrão de precipitação durante o ano.

Normalmente, o ciclo da cultura de milho coincide com o período de novembro a março, época de maior precipitação e cobertura de nuvens na área de estudo. Dentre os estados mencionados na Tabela 4.3, São Paulo foi o que apresentou maior coeficiente de correlação (0,63) entre a precipitação de DJF e a produtividade. Esse fato pode ser explicado pela maior disponibilidade de dados meteorológicos, portanto são mais representativos se comparados aos outros estados.

Quanto à magnitude dos coeficientes encontrados neste trabalho, deve-se levar em conta o fato de que foram correlacionados a precipitação medida na estação meteorológica e os dados estatísticos de produtividade, sendo que nestes, os fatores como a fertilidade, épocas de semeadura e tratos culturais não foram mantidos como constantes. Diante das correlações obtidas, nota-se que a precipitação nos meses de dezembro a fevereiro responde pela maior parte da variabilidade interanual da produtividade de milho nas regiões estudadas, principalmente nos Estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina.

TABELA 4.3 - Coeficientes de correlação entre a precipitação trimestral e a produtividade anual do milho nos Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).

Estados	Períodos				
	OND	NDJ	DJF	JFM	FMA
São Paulo	0,22	0,03	0,63??	0,38?	0,28
Minas Gerais	-0,01	-0,35	0,19	0,30	0,15
Espírito Santo	-0,28	-0,14	0,19	0,16	0,07
Rio de Janeiro	-0,19	-0,30	0,18	0,31	0,18
Rio Grande do Sul	-0,28	-0,15	0,46??	0,45	0,15
Santa Catarina	-0,01	0,02	0,43??	0,36?	0,10
Paraná	0,16	0,22	0,48??	0,36?	0,34

? significativo a nível de 95%.

?? significativo a 99%.

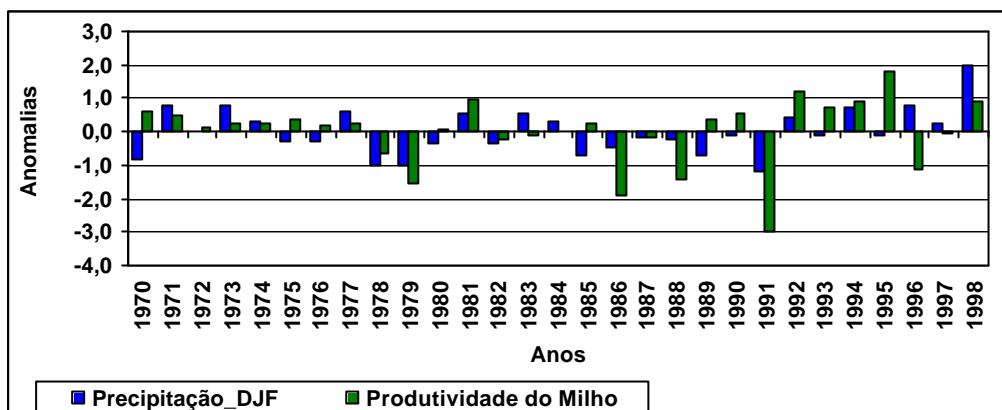
As Figuras 4.11 e 4.12 mostram os desvios padronizados da produtividade do milho e da precipitação do período de maior correlação (DJF), nos Estados da Região Sul e Sudeste, respectivamente. Observa-se na Figura 4.11, que os sinais das anomalias foram coincidentes em 52% dos anos nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e 57% no Paraná, durante o período de 1970 a 1998. Além disso, a variabilidade interanual da produtividade esteve associada à variabilidade da precipitação de DJF, ou seja, a distribuição de produtividade e a precipitação foram aparentemente semelhantes, principalmente em relação às anomalias coincidentes positivamente.

Os anos que apresentaram as produtividades de milho na Região Sul significativamente abaixo da média, coincidindo com as estiagens, foram: 1978, 1979, 1986, 1988 e 1991. Os casos em que as anomalias positivas de precipitação coincidiram com as positivas de produtividade, representaram 38% dos anos no Estado do Paraná, 31% em Santa Catarina e 28% no Rio Grande do Sul. Os principais anos em que a produtividade e a precipitação (DJF) apresentaram-se acima da média em todos os Estados da Região Sul foram: 1973, 1977, 1981, 1992, 1994 e 1998, sendo que o Paraná apresentou sinais de anomalias positivas em diferentes anos, exceto nos anos de 1981 e 1998.

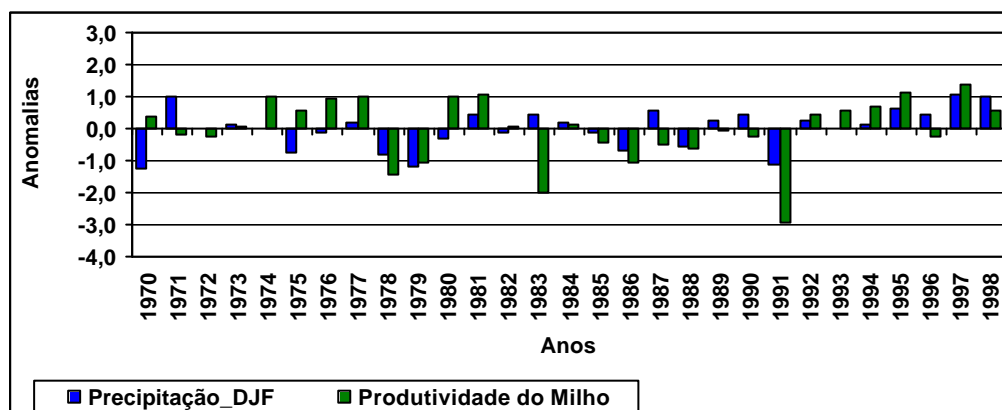
Na Região Sudeste os sinais de anomalias de precipitação (DJF) e da produtividade do milho foram coincidentes em 76% em São Paulo, 69% no Rio de Janeiro, 55% em Minas Gerais e 38% no Espírito Santo (Figura 4.12). É importante ressaltar que os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro foram os que mais representaram a influência da precipitação de verão sobre a produtividade do milho, obtendo maior percentagem de anomalias equivalentes, embora o Estado do Rio de Janeiro não tenha atingido um coeficiente de correlação significativo, conforme mostrado anteriormente na Tabela 4.2. Todavia, os restantes dos Estados das Regiões Sul e Sudeste do Brasil sofreram grande instabilidade, pois apresentaram percentuais ponderados de anomalias coincidentes e não coincidentes.

Nota-se na Figura 4.12 que 45% dos casos em que as anomalias positivas de precipitação (DJF) estiveram associadas com anomalias positivas de produtividades ocorreram em São Paulo e no Rio de Janeiro. Porém, Minas Gerais apresentou oito anos com sinais iguais de anomalias positivas e negativas de precipitação e produtividade. Já o Espírito apresentou seis anos de anomalias negativas de precipitação e produtividade coincidentes e cinco anos de anomalias positivas.

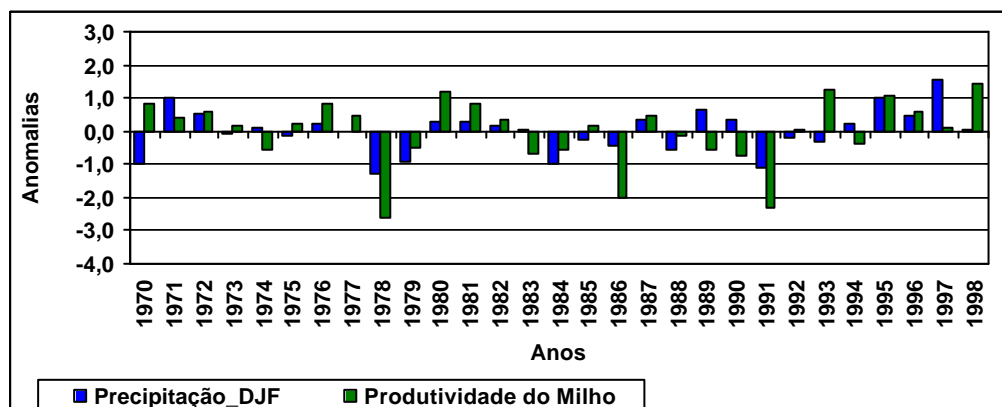
No geral, o padrão de variabilidade das variáveis (precipitação e produtividade) é interdependente, mas não efetivamente interligado, pois não é constantemente que precipitações acima da média conduzem a produtividades elevadas ou precipitações abaixo da média conduzem a baixas produtividades. Leva-se em consideração que eventos extremos, como inundações ou secas, induzem a impactos sobre as culturas. Entretanto, o principal fator dos anos com produtividade agrícola alta ou baixa em uma determinada região ocorre devido à grande variabilidade pluviométrica interanual ao longo da mesma.



(a) Rio Grande do Sul

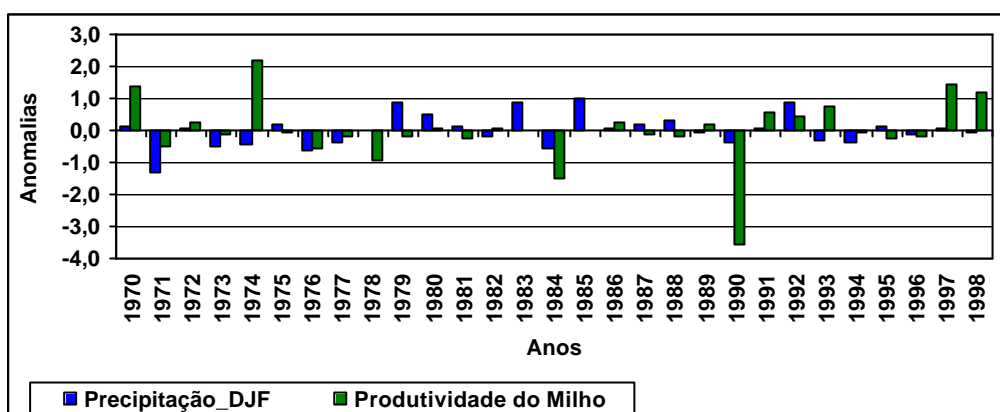


(b) Santa Catarina

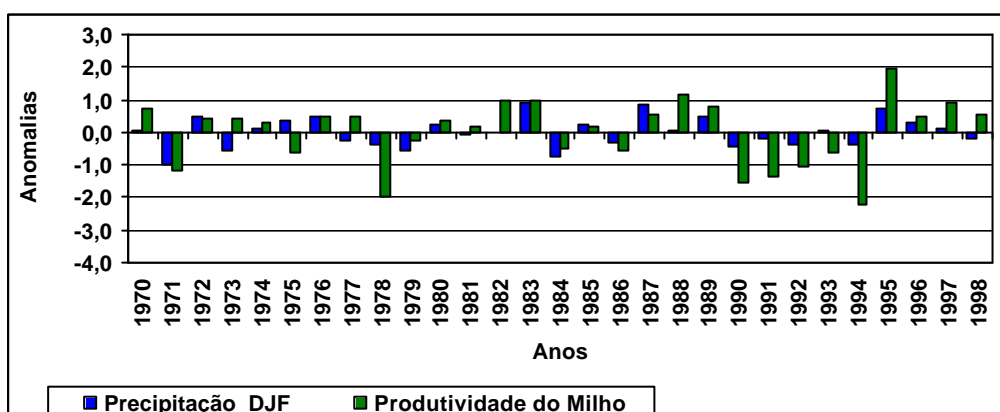


(c) Paraná

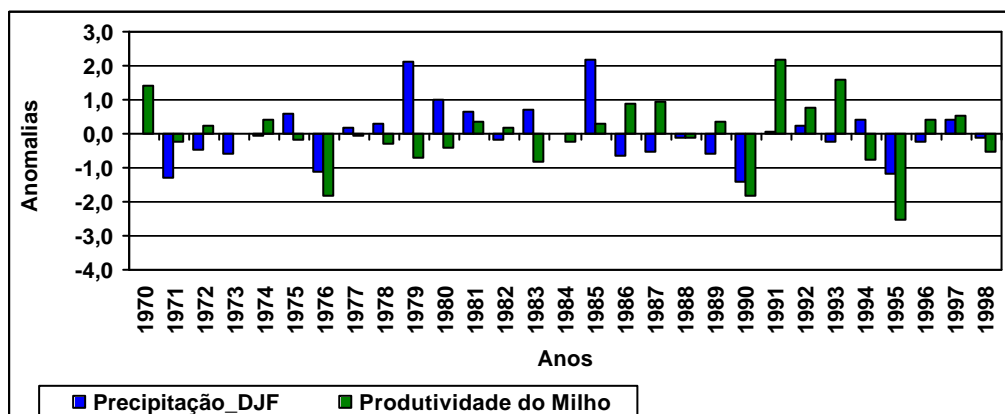
FIGURA 4.11 - Anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) de precipitação (dezembro a fevereiro) e produtividade do milho (corrigida) na Região Sul do Brasil (1970 - 1998).



(a) Minas Gerais

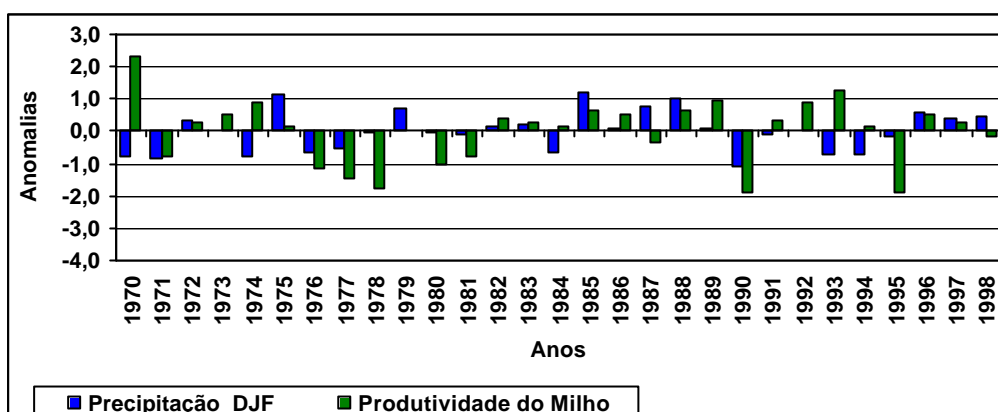


(b) São Paulo



(c) Espírito Santo

FIGURA 4.12 - Anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) de precipitação (dezembro a fevereiro) e produtividade do milho (corrigida) na Região Sudeste do Brasil (1970 - 1998). (continua)



(d) Rio de Janeiro

FIGURA 4.12 – Conclusão

4.3.2 Soja

Na Tabela 4.4 observam-se os coeficientes de correlação (r) entre a precipitação trimestral e a produtividade da soja nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais. Os coeficientes de correlação iguais e superiores a 0,43 têm nível de significância de 99%. Estes valores de r ocorrem principalmente durante o trimestre de DJF nos três estados. É importante ressaltar que os meses de dezembro a fevereiro correspondem aos meses de verão, em que coincidentemente concentra-se a estação chuvosa da maior parte da área de estudo, segundo as características normais das condições atmosféricas da região.

Os coeficientes de correlação (r) entre a precipitação trimestral e a produtividade da soja foram significativos no período de dezembro a março no Rio Grande do Sul, no período de dezembro a abril em Minas Gerais e o Estado do Paraná apresentou valor significativo somente no trimestre de DJF. O máximo valor de r encontrado ocorreu no trimestre JFM nos Estados do Rio Grande do Sul ($r = 0,63$) e Minas Gerais ($r = 0,53$).

No Rio Grande do Sul o período de dezembro a março compreende o crescimento vegetativo, florescimento e enchimento dos grãos da cultura de soja. Porém, no

trimestre JFM, período no qual apresentou maior coeficiente de correlação entre a precipitação e a produtividade, coincidiu com os meses de floração e enchimento dos grãos. A redução das chuvas durante estas fases fenológicas exerce influência direta na produtividade final da soja, pois corresponde a dois períodos críticos da cultura em relação à água.

Ressalta-se ainda que no caso da cultura de milho no Rio Grande do Sul, a correlação entre precipitação de DJF e a produtividade do milho foi significativa ($r = 0,43$), porém apresentou menor valor de r comparando-se com a soja ($r = 0,53$). Já no Estado do Paraná ocorreu o inverso, pois apresentou um valor de r igual a 0,43 em DJF em relação à soja e 0,48 em relação ao milho.

Em Minas Gerais, o coeficiente de correlação entre a precipitação (DJF) e a cultura de milho não foi significativo, ou seja, a precipitação de verão não contribuiu de forma direta na produtividade do milho, porém no caso da soja as chuvas no trimestre DJF contribuíram em grande parte na produtividade da cultura. Além disso, o Estado de Minas Gerais apresentou coeficientes de correlação (r) significativos nos trimestres de DJF e JFM, em relação à soja e foi o único que obteve correlação significativa com a precipitação de FMA, mostrando que possivelmente a disponibilidade hídrica normal neste período (fim do enchimento de grãos e início da colheita) atendeu a demanda da cultura.

TABELA 4.4 - Coeficientes de correlação entre a precipitação trimestral e a produtividade anual da soja em alguns Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).

Estados	Períodos				
	OND	NDJ	DJF	JFM	FMA
Rio Grande do Sul	-0,30	-0,21	0,53 ??	0,63 ??	0,24
Paraná	0,35	0,25	0,43 ??	0,29	0,12
Minas Gerais	0,19	0,05	0,51??	0,53 ??	0,48 ??

? significativo a nível de 95%.

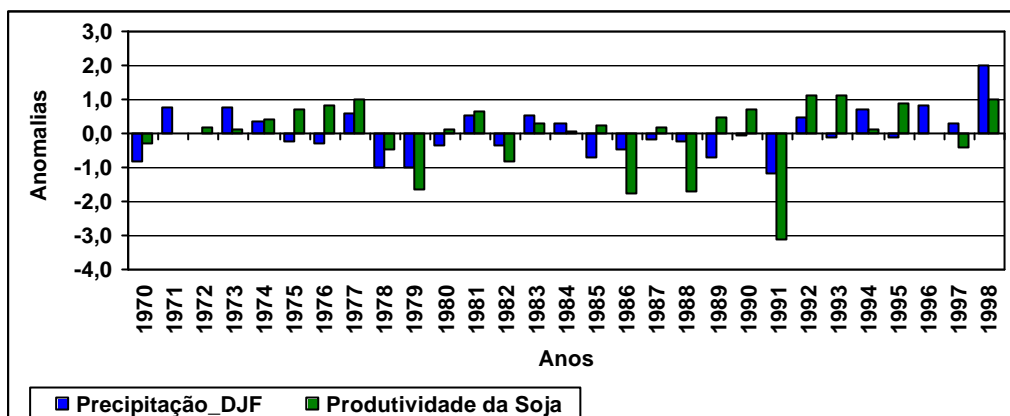
?? significativo a 99%.

Os desvios padronizados de produtividade da soja e da precipitação no período em que os três Estados da Região Sul e Sudeste apresentaram correlação significativa (DJF) estão representados na Figura 4.13. Verifica-se que na maioria dos anos os sinais das anomalias foram coincidentes, alcançando um total de 66% no Rio Grande do Sul (Figura 4.13a) e 72% no Paraná (Figura 4.13b), no período estudado. Porém, Minas Gerais (Figura 4.13c) apresentou um certo equilíbrio entre as anomalias coincidentes (55%) e não coincidentes (45%).

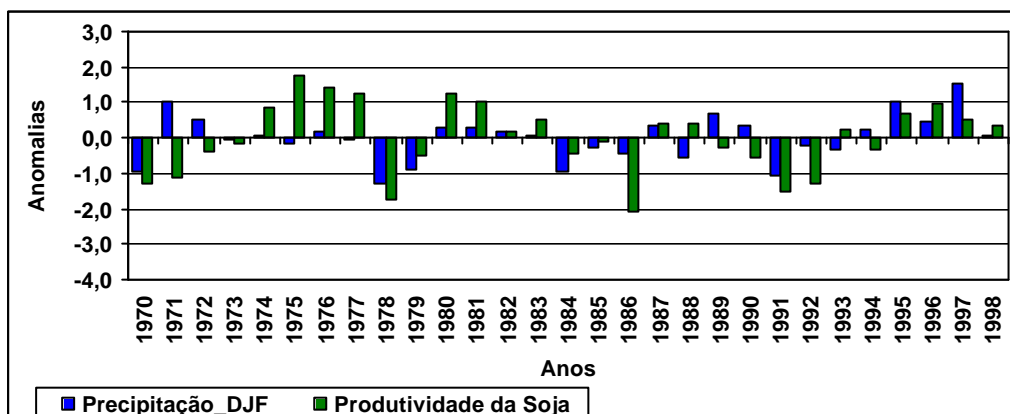
De um modo geral, na maior parte dos anos as anomalias positivas de precipitação em DJF coincidiram com as positivas de produtividade da soja, principalmente no Rio Grande do Sul alcançando 42% dos anos, seguido dos Estados do Paraná (41%) e Minas Gerais (34%). Isto mostra que a variabilidade da precipitação de verão (DJF) e a produtividade de soja estiveram associadas principalmente às anomalias positivas coincidentes.

Os principais anos em que a produtividade da soja e a precipitação de DJF apresentaram-se acima da média nos dois Estados da Região Sul foram: 1974, 1977, 1981, 1983, 1996 e 1998, sendo que dentre estes anos somente o ano de 1983, o Estado de Minas Gerais também apresentou anomalias positivas de precipitação e produtividade, porém para este estado pode-se destacar ainda os anos de 1980 e 1985, em que as anomalias foram superiores a 1.

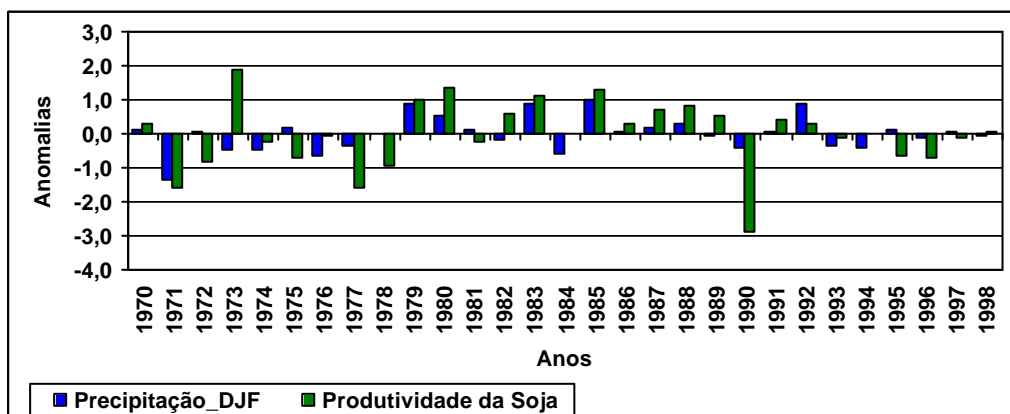
As anomalias coincidentes negativamente foram verificadas em menor percentagem, ou seja, em 24% dos anos no Rio Grande do Sul e 31% dos anos no Paraná. Destacam-se os anos de 1970, 1978, 1979, 1986 e 1991, em que a precipitação de verão e a produtividade da soja apresentaram-se abaixo da média. Em Minas Gerais, os sinais das anomalias negativas de precipitação de DJF coincidiram com as negativas de produtividade em 21% dos anos durante todo o período estudado, em que observou-se que os principais anos de ocorrência destas anomalias foram 1971, 1977 e 1990.



(a) Rio Grande do Sul



(b) Paraná



(c) Minas Gerais

FIGURA 4.13 - Anomalias padronizadas (pelo desvio padrão) de precipitação (dezembro a fevereiro) e produtividade da soja (corrigida) na Região Sul e Sudeste do Brasil (1970 - 1998).

4.4 Impactos do El Niño - Oscilação Sul sobre a produtividade das culturas e precipitação

Na seção anterior (Seção 4.3) a precipitação mostrou-se como um fator determinante para a produtividade do milho e da soja na área de estudo, principalmente no trimestre DJF. Muitos estudos têm sido realizados visando estudar a relação entre a precipitação e o fenômeno ENOS em todo globo, inclusive no Brasil.

Rao e Hada (1990) encontraram correlação significativa ($\pm 0,4$) entre a precipitação anual e o IOS no País, incluindo as Regiões Sul e Sudeste e constataram que há um forte sinal do ENOS sobre o clima destas regiões, principalmente no sul do País; em que durante os anos de El Niño (fase quente), em geral, determina-se o excesso de chuvas e em anos de La Niña (fase fria) tem-se precipitação abaixo da normal. Apesar da influência ocorrer durante todo o período de atuação do evento, quando correlacionaram o IOS com a precipitação nas quatro estações do ano, houve um período em que o coeficiente apresentou-se altamente significativo (-0,7). Isto ocorreu durante os meses de primavera (SON). Diante desta constatação da relação entre a precipitação e o fenômeno ENOS, espera-se que a produtividade anual das culturas também esteja, em parte, relacionada a este.

A Figura 4.14 mostra a evolução do IOS, durante o período de 1970 a 1998. Observa-se que neste período ocorreram mais índices negativos que positivos. Caracteristicamente, classificam-se as fases do ENOS de acordo com a intensidade do IOS. Em geral, em anos em que o IOS apresentou valores maiores ou iguais a 1, classificou-se como um episódio de La Niña e nos anos em que o índice apresentou valores menores ou iguais a -1, classificou-se como episódio de El Niño. Além disso, os valores de índices entre -1 e 1, foram classificados como anos neutros.

Nota-se que os maiores índices positivos ocorreram nos anos de 1973/1974, 1975/1976 e 1988/1989, considerados como eventos de La Niña de intensidade forte, enquanto os anos de 1970/1971, 1995/1996, 1996/1997 e 1998/1999 foram determinados como

eventos de intensidade moderada e fraca. Já os índices negativos de maiores magnitudes absolutas ocorreram nos anos de 1972/1973, 1982/1983, 1991/1992, 1992/1993, 1993/1994 e 1997/1998, considerados como episódios de El Niño de intensidade forte, sendo que os anos de 1976/1977, 1977/1978, 1986/1987 e 1994/1995, variaram de fracos a moderados. Destaca-se que durante o período de 1991 a 1994, foi observada uma seqüência de índices negativos (menores que -1), caracterizando um evento de El Niño longo ou podemos chamá-lo de El Niño estendido.

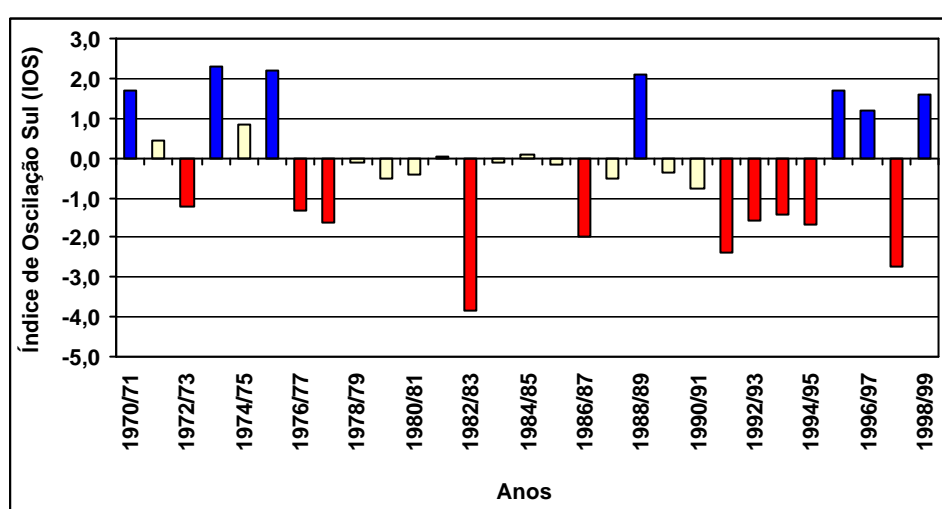


FIGURA 4.14 – Evolução do Índice de Oscilação, durante o período de 1970 a 1998. Anos de El Niño – vermelho / Anos de La Niña – azul / Anos neutros – amarelo.

Durante o período analisado (1970 – 1998), ocorreram 10 eventos de El Niño (35%), 7 eventos de La Niña (24%) e os anos considerados como neutros, ocorreram em maior frequência, ou seja, 12 eventos sucedidos (41%). Foram selecionados trimestres de maior influência do ENOS sobre a precipitação (SON e DJF). Os meses de setembro a fevereiro correspondem ao período em que o ENOS exerce maior influência na precipitação da área de estudo, principalmente na Região Sul. Além disso, abrange a estação de crescimento da cultura e corresponde ao período essencial na determinação da produtividade final das culturas de primavera-verão, como o milho e a soja. Portanto, serão analisados os impactos causados pelos episódios quentes (El Niño), frios (La Niña) e neutros sobre a precipitação e as culturas.

4.4.1 Milho

As Figuras 4.15 e 4.16 evidenciam os desvios da média de precipitação nos trimestres SON (primavera) e DJF (verão) e produtividade média anual do milho nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Nota-se na Região Sul (Figura 4.15) que os desvios positivos e negativos de precipitação trimestral em SON permaneceram praticamente em balanço nos Estados do Rio Grande do Sul (Figura 4.15a) e Santa Catarina (Figura 4.15b), porém para o Estado do Paraná observa-se que a maioria dos desvios foram negativos, alcançando 62% durante o período estudado.

No verão (DJF) os desvios de precipitação foram equilibrados em Santa Catarina e Paraná (Figura 4.15c), enquanto o Rio Grande do Sul alcançou 60% de desvios de precipitação (DJF) negativos. Quanto às produtividades de milho, todos os Estados da Região Sul apresentaram a maioria dos desvios positivos, essencialmente Rio Grande do Sul (66%) e Paraná (62%), sendo que Santa Catarina apresentou pouca diferença entre os desvios positivos e negativos, em relação aos outros estados.

Analisando os impactos causados pelos eventos de La Niña, observa-se que a maior parte dos desvios de chuva na Região Sul durante a primavera (SON) e verão (DJF) foram negativos, com exceção de Santa Catarina que apresentou 57% dos desvios de chuva positivos em DJF. Ressalta-se que estas chuvas abaixo da média ocorridas em anos de La Niña não foram tão prejudiciais a produtividade final do milho, exceto no ano de 1988/1989 em que todos os Estados da Região Sul apresentaram produtividades inferiores à média, sendo que o Rio Grande do Sul e Santa Catarina foram os estados mais prejudicados, obtendo desvios negativos de -531 e -248 kg/ha, respectivamente. Além disso, observa-se que neste ano a estação chuvosa da região (DJF) apresentou chuvas abaixo da normal, sendo que este episódio foi considerado de intensidade forte.

Durante o evento de La Niña de 1996/1997 também apresentaram desvios negativos de produtividade, porém este episódio não foi tão intenso quanto ao de 1988/1989. Durante

os anos de El Niño, verifica-se que 60% da precipitação no Rio Grande do Sul e Santa Catarina mantiveram-se acima da média no trimestre SON e abaixo da média em DJF. Já o Estado do Paraná apresentou um maior número de desvios de precipitação negativos na primavera e mesmo número de desvios positivos e negativos durante o verão.

Dos 10 eventos de El Niño ocorridos durante o período estudado na Região Sul, sete anos expressaram produtividades de milho superiores à média, constatando que o fenômeno conduz a significativas produtividades. Nos episódios de El Niño em 1976/1977 e 1977/1978 as chuvas de SON ocorreram abaixo da média em todos os Estados da Região Sul, com exceção de Santa Catarina em 1977/1978 que apresentou precipitação ligeiramente acima da média; contudo esses resultados não prejudicaram as safras destes anos.

No ano de 1982/1983 ocorreu o evento de El Niño considerado até então o mais forte do século, que provocou chuvas excessivas no início de 1983 (janeiro a fevereiro) na Região Sul, prejudicando a colheita deste ano, principalmente em Santa Catarina que obteve 814 kg/ha abaixo da média e precipitação superior a 575 mm em DJF. Já no evento de 1986/1987 as chuvas foram acima da média em SON no Rio Grande do Sul e Santa Catarina e abaixo da média em DJF nos três estados, conduzindo a níveis baixos de produtividade do milho (desvios negativos superiores a -300 kg/ha). Porém, este episódio de El Niño foi considerado de intensidade moderada.

É importante ressaltar que a considerável estiagem ocorrida no ano de 1991/1992 (início de evento El Niño) trouxe grandes prejuízos em relação as produtividades de milho em todos os Estados da Região Sul. Destacam-se os Estados do Rio Grande do Sul e Paraná, que alcançaram desvios negativos superiores à -600 kg/ha. O período de setembro a fevereiro corresponde aos meses mais chuvosos da região, porém no ano de 1991/1992 as chuvas estiveram abaixo da normal devido às características atmosféricas apresentadas durante este período. Essas anomalias negativas de precipitação podem prejudicar a produtividade das culturas de primavera-verão (milho e soja) se ocorrerem

durante um período importante de preparo do solo, semeadura e desenvolvimento das plantas.

Durante o El Niño estendido (1991 – 1994), destacam-se os anos de 1992/1993, 1993/1994 e 1994/1995, em que as produtividades foram acima da média na Região Sul, exceto no Paraná no ano de 1994/1995. As chuvas causadas na região durante este fenômeno contribuíram de forma direta para os altos valores de produtividade. No último El Niño (1997/1998), o Estado de Santa Catarina foi o mais favorecido pela precipitação acima da média durante a primavera/verão, atingindo a produtividade média de 2325 kg/ha, correspondendo a produtividade máxima deste estado durante o período estudado (1970 – 1998). Porém, o Rio Grande do Sul sofreu um impacto negativo sobre a produtividade, alcançando somente 730 kg/ha.

Nos anos considerados como neutros, os Estados de Santa Catarina e Paraná apresentaram mais desvios de precipitação negativos do que positivos durante a primavera (SON), sendo que no verão (DJF) ocorreu o inverso. No Rio Grande do Sul, os desvios de precipitação positivos e negativos mantiveram-se em equilíbrio no trimestre SON e o maior número de desvios negativos ocorreu no trimestre DJF. Considerando que a estação chuvosa da Região Sul concentra-se no verão (DJF), é de se esperar que a maior parte dos desvios de precipitação sejam positivos neste trimestre, principalmente em anos de neutralidade. Isto não ocorreu no Rio Grande do Sul devido à grande variabilidade espacial das chuvas em todo o estado, como foi visto anteriormente (Seção 4.1).

A maioria dos impactos causados pela variabilidade climática sobre as produtividades do milho durante os anos neutros foram negativos no Paraná e Santa Catarina e positivos no Rio Grande do Sul. A principal causa dos desvios negativos de produtividade do milho na Região Sul foram as chuvas de DJF abaixo da média, destacando-se os anos de 1978/1979 em que o Paraná chegou a obter um desvio negativo de -782 kg/ha, e 1979/1980 no qual o Rio Grande do Sul alcançou -588 kg/ha.

Em 1981/1982, os três Estados da Região Sul apresentaram desvios positivos de produtividade quando a precipitação em DJF ocorreu acima da média.

Ressalta-se, ainda, que a precipitação muito acima da média durante o verão também pode conduzir a baixas produtividades de milho. Por exemplo, em Santa Catarina e Paraná ocorreram chuvas acima da média durante os anos de 1989/1990 e 1990/1991, que prejudicaram as produtividades, pois o excesso de chuvas no período de maturação e colheita diminuiu a produtividade da cultura.

Na Região Sudeste (Figura 4.16), observa-se que 52% dos desvios de precipitação em SON e DJF foram positivos em São Paulo (Figura 4.16a) e Minas Gerais (Figura 4.16b), enquanto que os Estados do Espírito Santo (Figura 4.16c) e Rio de Janeiro (Figura 4.16d) alcançaram 55% de desvios negativos durante o período de 1970/1971 a 1998/1999. Em relação as produtividades de milho, nota-se que a maioria dos desvios foram positivos em São Paulo (62%) e Rio de Janeiro (65%), porém Minas Gerais e Espírito Santo mantiveram seus desvios positivos e negativos quase em equilíbrio.

Em geral, observa-se que em São Paulo e Rio de Janeiro a precipitação de SON e DJF apresentou-se acima da média durante a fase fria do fenômeno ENOS, bem como as produtividades de milho. Porém, Minas Gerais e Espírito Santo apresentaram maior parte da precipitação de SON acima da média e precipitação de DJF e as produtividades abaixo da média.

No episódio de 1970/1971, todos os Estados da Região Sudeste obtiveram bons resultados de produtividade do milho, com desvios superiores a 160 kg/ha e uma contribuição média de 100 mm de precipitação na primavera destacando-se o Estado do Rio de Janeiro que apresentou produtividade máxima de 1120 kg/ha durante o período estudado.

No evento de La Niña em 1975/1976, considerado de intensidade forte, ocorreram chuvas acima da média em SON e DJF, acarretando em baixos valores de

produtividades na Região Sudeste, exceto o Rio de Janeiro que apresentou produtividades ligeiramente acima da média. Já o episódio de 1995/1996 foi mais fraco e os desvios de precipitação de verão foram negativos em Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, prejudicando a produtividade de milho. Porém, o Estado de São Paulo não obteve prejuízos em sua safra, pois alcançou sua produtividade máxima de 2200 kg/ha em relação ao período de estudo, além de contar com uma contribuição de 760 mm de chuva no trimestre DJF.

Em anos de El Niño nota-se que, na maioria das vezes, os desvios de precipitação trimestral de SON foram negativos em Minas Gerais e Espírito Santo, positivos em São Paulo, sendo que no Rio de Janeiro houve um equilíbrio entre os desvios positivos e negativos. Quanto à chuva de DJF, o maior número de desvios foram negativos na Região Sudeste, com exceção do Espírito Santo que apresentou mesmo número de desvios positivos e negativos. Os impactos dos eventos de El Niño foram positivos sobre a produtividade do milho em Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Porém, no Estado de São Paulo ocorreram tanto desvios positivos quanto negativos de produtividade.

Durante o episódio de El Niño de 1972/1973, considerado como forte, observou-se que a precipitação ocorreu acima da média tanto na primavera quanto no verão, beneficiando a produtividade do milho neste ano, principalmente nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. O Estado do Espírito Santo também apresentou produtividades acima da média, porém as chuvas ocorreram abaixo da média. Já no ano de 1976/1977, a fase quente foi menos intensa produzindo chuvas de verão abaixo da média, desfavorecendo as produtividades de milho na Região Sudeste, com exceção do Estado de São Paulo, que alcançou um desvio positivo de 100 kg/ha e precipitação acima da média nos trimestres SON e DJF.

Em 1982/1983, as chuvas também ocorreram abaixo da média nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, porém não chegaram a prejudicar as produtividades do milho. A cultura de milho foi fortemente influenciada pelo fenômeno

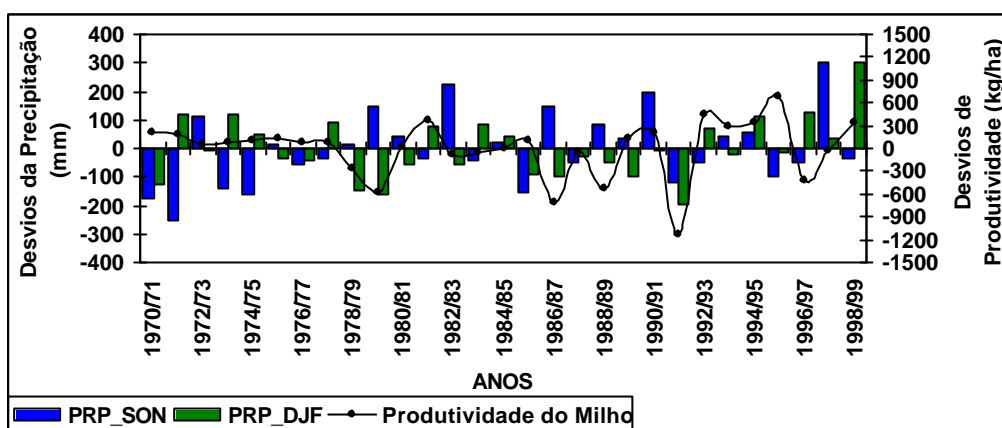
El Niño estendido (1991 - 1994), no qual as produtividades médias mantiveram-se acima da média nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro durante os anos de 1991/1992 a 1993/1994. Contudo, nestes três anos o Rio de Janeiro obteve desvios negativos de precipitação nos trimestres SON e DJF, não prejudicando a produtividade do milho. Os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo apresentaram precipitação de DJF acima da média nos anos de 1991/1992 e 1992/1993, sendo que no ano posterior os desvios foram negativos. No fim do fenômeno (1994/1995) as chuvas permaneceram abaixo da média, conduzindo a desvios negativos de produtividades em Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, porém o Rio de Janeiro obteve um moderado aumento na produtividade.

Nos 12 anos considerados como neutros a precipitação em SON apresentou-se abaixo da média na maioria das vezes na Região Sudeste, com exceção do Rio de Janeiro que apresentou grande parte dos desvios positivos. Destaca-se o predomínio de desvios positivos de precipitação em DJF nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, porém o Espírito Santo obteve um balanço entre os desvios positivos e negativos. Quanto às produtividades de milho, os desvios negativos superaram os positivos em Minas Gerais e Espírito Santo, enquanto que em São Paulo ocorreu o inverso e no Rio de Janeiro foi observada uma igualdade entre os desvios positivos e negativos.

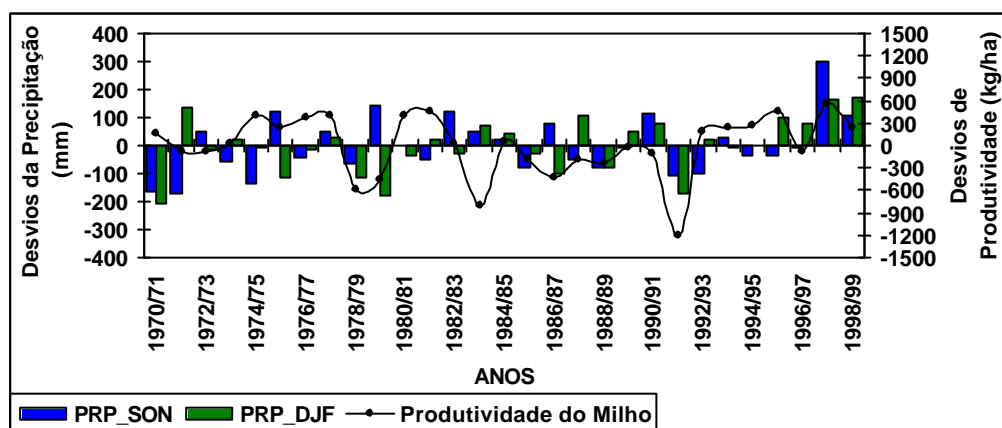
A precipitação de verão permaneceu abaixo da média no ano de 1971/1972, prejudicando as produtividades de milho, principalmente em São Paulo, pois este chegou a obter um desvio negativo de 248 kg/ha. Durante o ano de 1974/1975 os desvios de chuva em SON conduziram a elevadas produtividades, destacando-se o Estado de Minas Gerais que alcançou 415 kg/ha acima da média. Nos anos de 1978/1979 e 1979/1980, as chuvas excessivas de verão não contribuíram para bons resultados na produtividade de milho em Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, sendo que em São Paulo as chuvas de verão permaneceram abaixo da média.

Já em 1983/1984 as chuvas excessivas de DJF auxiliaram positivamente as produtividades na Região Sudeste, exceto no Espírito Santo, enquanto que no ano posterior os desvios negativos de precipitação em DJF estabeleceram desvios negativos de produtividade do milho, com exceção do Rio de Janeiro. Em 1985/1986, voltou a ocorrer chuvas de verão acima da média (acima de 70 mm), em que se destaca o máximo de precipitação no Espírito Santo (450 mm acima da média) durante o período analisado.

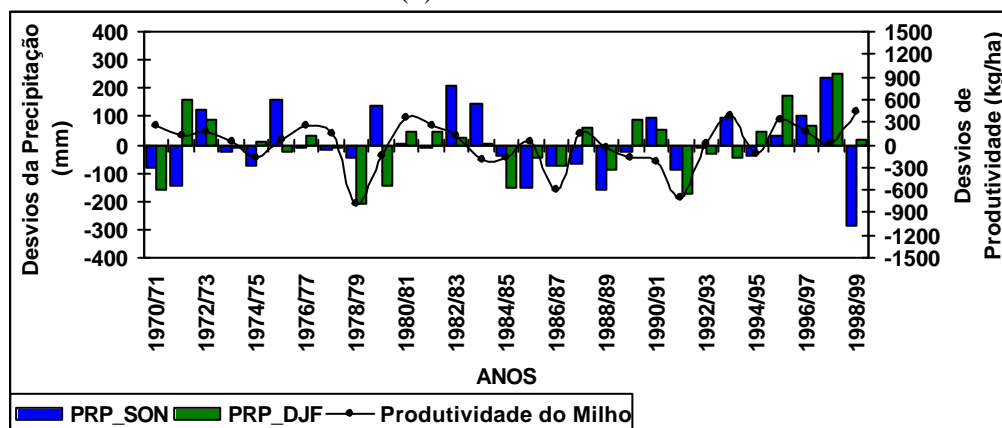
Evidencia-se o longo período de estiagem no ano de 1990/1991 ocorrido na Região Sudeste, em que a precipitação manteve-se abaixo da média na primavera/verão, prejudicando as produtividades de milho. A deficiência de precipitação na região provocou desvios na produtividade superiores a -250 kg/ha, sendo que o Estado de Minas Gerais foi o mais prejudicado alcançando 660 kg/ha abaixo da média. Possivelmente, as chuvas de SON e DJF abaixo da média podem ser explicadas pela ocorrência de veranicos, estabelecendo um período de estiagem durante a estação chuvosa.



(a) Rio Grande do Sul

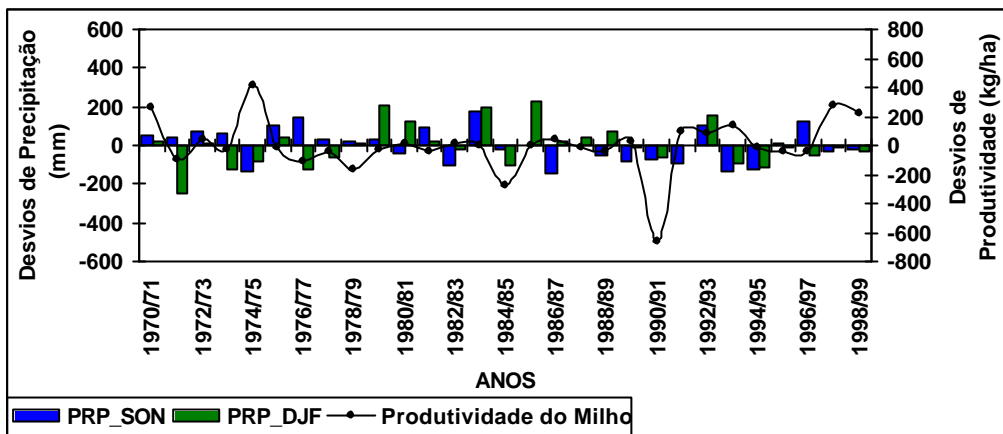


(b) Santa Catarina

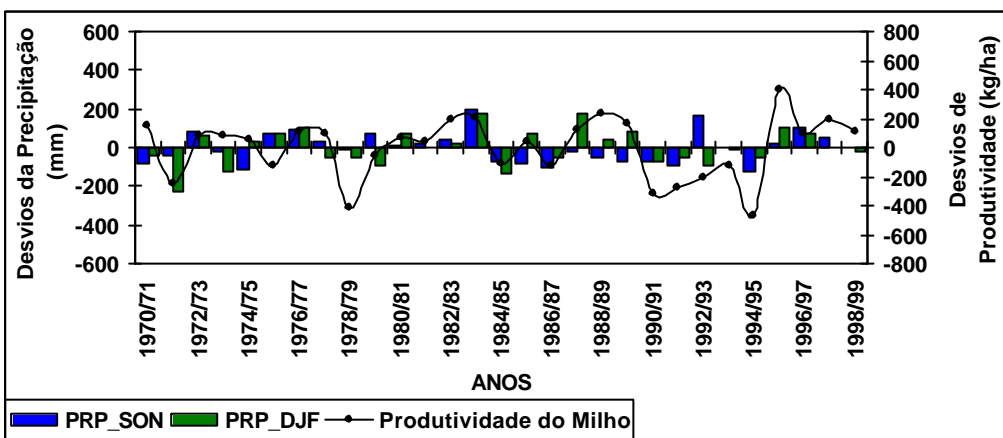


(c) Paraná

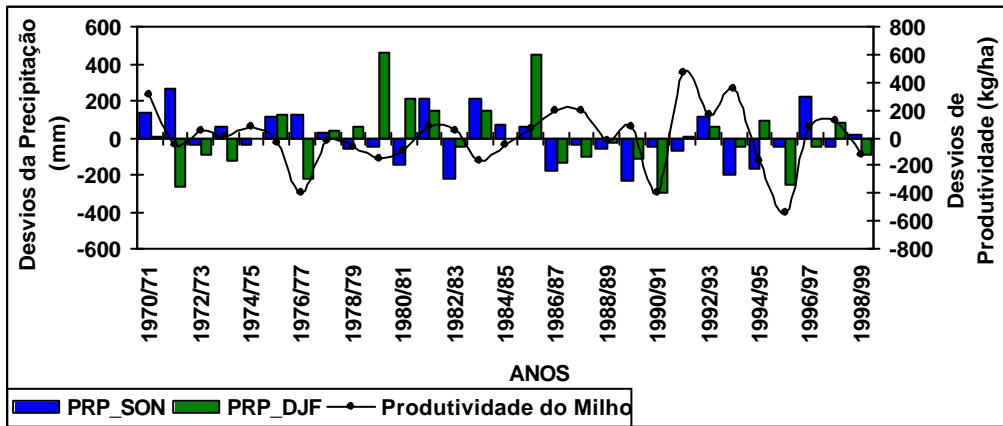
FIGURA 4.15 – Desvios da média de precipitação de setembro a fevereiro (mm) e a produtividade corrigida do milho (kg/ha) na Região Sul do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.



(a) Minas Gerais

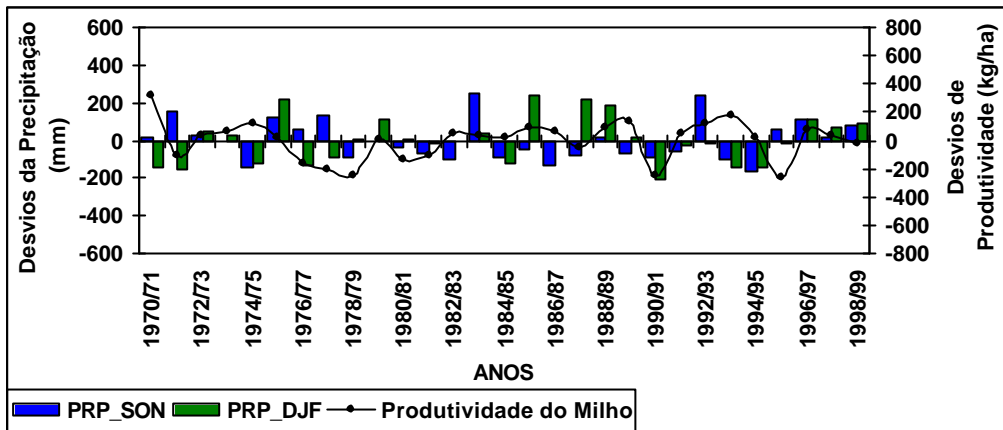


(b) São Paulo



(c) Espírito Santo

FIGURA 4.16 – Desvios da média de precipitação de setembro a fevereiro (mm) e a produtividade corrigida do milho (kg/ha) na Região Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998. (continua)



(d) Rio de Janeiro

FIGURA 4.16 – Conclusão

4.4.2 Soja

Assim como no caso do milho, a cultura de soja apresenta um período importante para o seu crescimento, que serve de fator preponderante na determinação da produtividade final, correspondendo aos meses selecionados (SON e DJF). A Figura 4.17 mostra os desvios da média de precipitação (SON e DJF) e produtividade da soja.

Como já foi visto anteriormente, os desvios positivos e negativos de chuva na primavera (SON) estiveram praticamente em equilíbrio nos Estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, e no Paraná prevaleceram os desvios negativos. Já os desvios de chuva no verão (DJF), comportaram-se negativamente em Minas Gerais e Rio Grande do Sul, enquanto que no Paraná ocorreu o inverso.

Quanto à produtividade da soja, houve um balanço entre os desvios positivos e negativos no Paraná e Minas Gerais, no entanto o Estado do Rio Grande do Sul apresentou consideravelmente maior número de desvios positivos na produtividade, atingindo 70% de desvios.

Em anos de La Niña, observa-se que os desvios de precipitação em SON foram em sua maioria negativos nos Estados do Rio Grande do Sul (71%) e Paraná (57%). Em Minas Gerais os desvios foram positivos, alcançando 71% dos casos durante o período estudado. Os desvios de precipitação em DJF prevaleceram-se negativos nos três estados, atingindo 57% dos casos.

Durante a fase fria, os desvios de produtividade da soja foram positivos na maior parte dos casos, principalmente no ano de 1975/76 no Rio Grande do Sul (206 kg/ha acima da média) e Paraná (495 kg/ha acima da média), em que os desvios de produtividades foram acima da média e as chuvas de verão foram um pouco abaixo da média. No ano de 1995/96 o Rio Grande do Sul atingiu 255 kg/ha acima da média e no ano posterior o Paraná apresentou um desvio positivo de 274 kg/ha. Em Minas Gerais, destaca-se o ano

de 1973/74, em que a produtividade da soja apresentou-se 385 kg/ha acima da média, mesmo com um desvio de -121 mm de precipitação (DJF).

As chuvas de verão (DJF) abaixo da média com desvios negativos acima de 100mm, prejudicaram as produtividades da soja durante o evento de La Niña de 1970/71, em que o Paraná obteve um desvio de -357 kg/ha, porém no Rio Grande do Sul a perda não foi tão significativa, atingindo um desvio de -80 kg/ha. Já o episódio de La Niña em 1988/89 foi mais intenso, prejudicando a produtividade de soja somente no Estado do Rio Grande do Sul, obtendo um desvio de -500 kg/ha.

Durante a ocorrência de eventos El Niño, o Rio Grande do Sul apresentou maior quantidade de desvios positivos de precipitação em SON alcançando 60% dos casos, enquanto que nos Estados de Minas Gerais e Paraná ocorreu o inverso. Em relação à precipitação em DJF os desvios positivos e negativos mantiveram-se em equilíbrio durante a fase quente do ENOS nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná, enquanto Minas Gerais obteve 60% de desvios negativos.

No evento quente ocorrido no ano de 1976/77, o Estado do Paraná obteve um desvio de produtividade positivo no valor de 402 kg/ha acompanhado de um desvio positivo de precipitação de verão (DJF). No ano posterior continuou apresentando produtividade acima da média no valor de 346 kg/ha, porém a precipitação de DJF ocorreu abaixo da média. Neste mesmo ano, o Estado de Minas Gerais apresentou um desvio de produtividade de 318 kg/ha abaixo da média e um desvio de precipitação (DJF) negativo. Porém, destaca-se que este estado apresentou 60% dos desvios de produtividade da soja negativos em anos de El Niño.

As chuvas de DJF abaixo da média conduziram a baixas produtividades nos anos de 1986/87 e 1991/92, com valores de desvios negativos acima de 400 kg/ha. O Rio Grande do Sul, durante a estiagem que ocorreu na Região Sul durante o ano de 1991/1992, apresentou um desvio de produtividade de -900 kg/ha, enquanto que o Paraná atingiu 430 kg/ha abaixo da média. No entanto, leva-se em consideração que o

fenômeno ENOS não é o único fator que determina as chuvas da Região Sul, pois existem outros sistemas atuantes, como por exemplo, frentes, vórtices ciclônicos, complexos convectivos de mesoescala, bloqueios, dentre outros.

No Rio Grande do Sul observou-se que 60% dos desvios de produtividade da soja em anos de El Niño foram positivos, principalmente durante o El Niño estendido (1991 - 1994), destacando-se os anos de 1992/93 e 1993/94, em que o estado alcançou uma média de 1525 kg/ha nestes dois anos. Destaca-se que estes valores corresponderam aos dois máximos verificados durante todo o período estudado (1970- 1998).

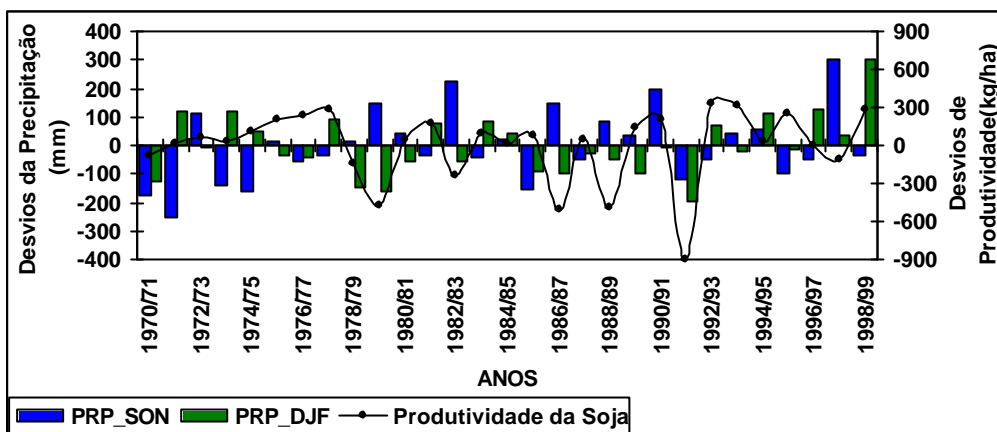
O Estado do Paraná apresentou um certo equilíbrio entre os desvios positivos e negativos de produtividade da soja. Contudo, destaca-se o ano de 1992/93, no qual a precipitação abaixo da média em SON e DJF comprometeu a produtividade em 365 kg/ha abaixo da média. No último evento de El Niño (1997/98) os Estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais apresentaram produtividades abaixo da média e o Paraná manteve-se acima da média. Neste mesmo ano as chuvas de SON e DJF apresentaram-se bem acima da média somente nos Estados da Região Sul (~200mm acima da média), enquanto que em Minas Gerais ocorreu o inverso.

Em anos neutros a maioria dos desvios de produtividade da soja no Rio Grande do Sul correspondeu a 83% de desvios positivos, no Paraná 58% dos desvios foram negativos e em Minas Gerais houve um equilíbrio entre as anomalias positivas e negativas. No ano de 1971/72 o Paraná e Minas Gerais obtiveram produtividade abaixo da média e o Rio Grande do Sul manteve-se próximo da média.

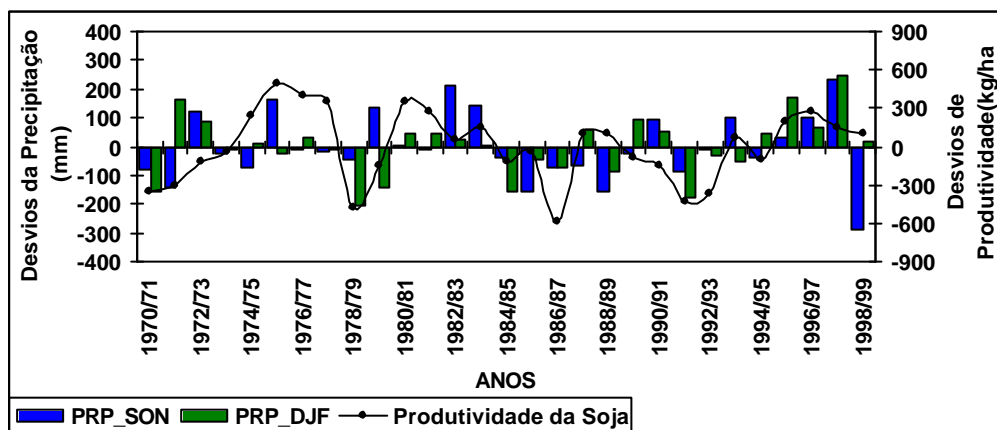
Já em 1978/79, a precipitação de verão (DJF) apresentou-se abaixo da média conduzindo a produtividade de soja inferior à média. No ano posterior, somente o Rio Grande do Sul e Paraná obtiveram desvios de precipitação (DJF) e produtividade negativos e Minas Gerais apresentou desvio de produtividade positiva acompanhado de precipitação (DJF) acima da média.

Em 1980/81, os três estados estudados obtiveram produtividades de soja elevadas, principalmente o Paraná que atingiu 354 kg/ha acima da média com chuvas de SON e DJF próximas da média. Em Minas Gerais, no ano de 1983/84 a produtividade da soja foi de 225 kg/ha acima da média com desvio de precipitação em SON e DJF acima de 170 mm.

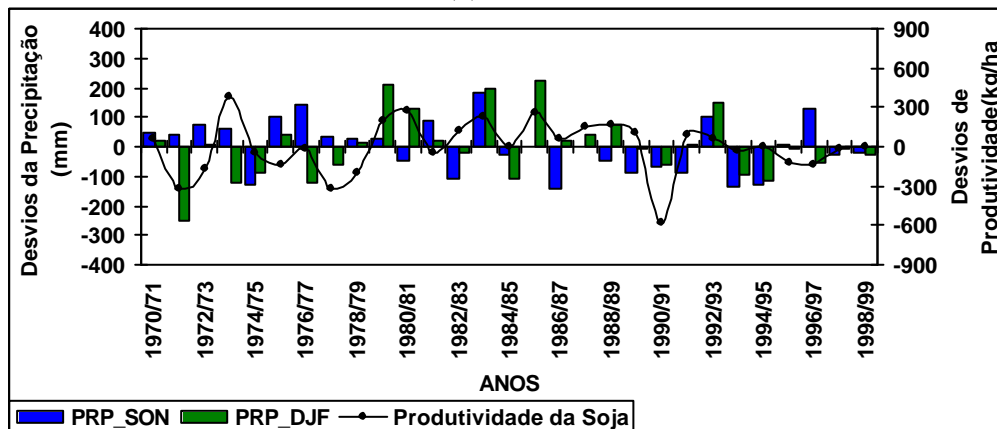
No último ano considerado como neutro (1990/91), ocorreram desvios negativos de produtividade no Paraná e Minas Gerais, sendo que neste último estado observou-se uma produtividade mínima de 497 kg/ha conduzida pela precipitação de SON e DJF abaixo da média. Ressalta-se que durante este ano a Região Sudeste foi bastante atingida pela estiagem, prejudicando a produtividade da soja em Minas Gerais.



(a) Rio Grande do Sul



(b) Paraná



(c) Minas Gerais

FIGURA 4.17 – Desvios da média de precipitação de setembro a fevereiro (mm) e a produtividade corrigida da soja (kg/ha) na Região Sul e Sudeste do Brasil, durante o período de 1970 a 1998.

4.5 Estudo de Caso: Técnica de Previsão Empírica da Produtividade da Soja para o Estado do Rio Grande do Sul

O clima está sujeito a alterações que variam de ano para ano e com diferentes intensidades. Seu comportamento médio em uma determinada região é estabelecido após um período de 30 a 40 anos de observações. Portanto, para caracterizar o clima sobre uma dada área é preciso avaliar os elementos climáticos, sendo a precipitação um dos mais importantes, uma vez que rege diretamente a produtividade agrícola.

Procurando avaliar o efeito das variações de precipitação sobre a cultura de soja no Rio Grande do Sul durante o período de 1944 a 1998 foram realizadas correlações entre as variáveis (precipitação e produtividade). Na Tabela 4.5 são apresentados os valores de coeficientes de correlação linear, em que a significância ao nível de 95 e 99% correspondeu a 0,22 e 0,31, respectivamente, em uma amostra de 55 anos.

Verifica-se que as chuvas trimestrais correlacionaram-se positivamente com a produtividade da soja. Os coeficientes de correlação foram significativos nos meses de dezembro a abril, sendo que o período no qual a precipitação apresentou maior coeficiente de correlação com a produtividade da soja foi no trimestre JFM ($r = 0,42$), período considerado crítico para a cultura em relação à água, correspondendo a fase fenológica de floração e enchimento de grãos (Berlato et al., 1992). Nos outros trimestres os coeficientes foram 0,33, 0,31, 0,23 e 0,22 em DJF, FMA, MAM e AMJ, respectivamente.

TABELA 4.5 - Coeficientes de correlação entre a precipitação trimestral e a produtividade anual da soja no Estado do Rio Grande do Sul (1944 - 1998).

Períodos	Coeficientes de Correlação (r)
DJF	0,33 ??
JFM	0,42 ??
FMA	0,31 ??
MAM	0,23 ?
AMJ	0,22 ?

?significativo a nível de 95% .

?? significativo a 99%.

Como o período de JFM corresponde aos meses que exerceram maior influência sobre a cultura de soja no Rio Grande do Sul, analisou-se o comportamento da precipitação média de janeiro a março durante o período de 55 anos (1944 - 1998), em que a média pluviométrica foi de 376 mm. Pode-se observar na Figura 4.18 um certo aumento da tendência nos totais pluviométricos no trimestre JFM de aproximadamente 3 mm por ano e oscilações que passam por um mínimo de 175 mm no ano de 1964 e um máximo de 700 mm no ano de 1998. Um segundo mínimo (196 mm) foi observado no ano de 1991, enquanto que o segundo máximo (573 mm) ocorreu no ano de 1966.

As variações verificadas ao longo dos anos podem ser causadas pelas mudanças nos padrões gerais da circulação atmosférica. Essas alterações podem ser conduzidas por efeitos antropogênicos, como queima de combustíveis fósseis que aumentam a concentração de dióxido de carbono na atmosfera ou até mesmo pelos efeitos naturais. Deste modo pode-se dizer que as séries meteorológicas não são estatisticamente estacionárias, ou seja, não mantêm as suas características no decorrer do tempo.

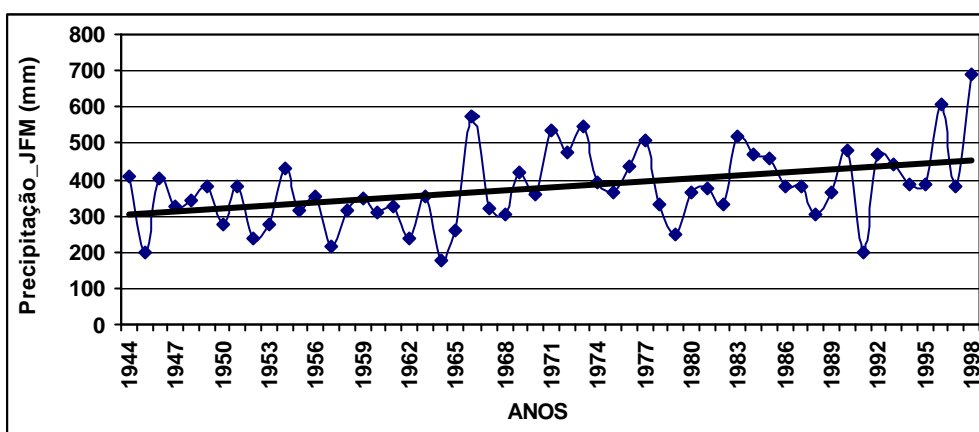


FIGURA 4.18 – Comportamento da Precipitação de janeiro a março no Rio Grande do Sul, durante o período de 1944 a 1998.

Neste contexto, o modelo de estimativa empírica de produtividade da soja foi aplicado somente para a fase crítica da cultura em relação à precipitação (JFM), ou seja, o período favorável (período de maior correlação) para originar as equações prognósticas. A precisão destas equações foi examinada através do erro médio quadrático (EMQ), erro médio absoluto (EMA) e tendência (TEND) e avaliada em 31 anos (1944 - 1974) de dados de chuva aplicados para previsão de produtividade da soja no período de 1974 a 1998, em que n (número de anos utilizados para gerar a equação prognóstica) variou de 5 a 30 anos. O coeficiente de correlação linear entre P_{dy} (produtividade observada) e P_{dyn} (produtividade prevista) no período de 1974 a 1998, também foi calculado para diferentes valores de n .

A Figura 4.19 mostra o resultado da avaliação da estimativa de produtividade da cultura de soja através dos índices de acerto (EMQ, EMA e TEND). A estatística de TEND apresentou um valor pequeno, inferior a 100 kg/ha, alcançando um máximo de 76 kg/ha em uma amostra de 10 anos de dados e um mínimo de -28 kg/ha em uma amostra de 23 anos de dados.

Nota-se que nas amostras de 5 a 16 anos, os valores de TEND foram positivos demonstrando uma predisposição em superestimar o modelo. Porém, em n igual a 17 e

18 TEND manteve-se próximo de zero indicando que os valores de produtividades observados e previstos foram próximos e a partir de n igual 19 os erros foram negativos implicando que a produtividade prevista apresentou-se abaixo da observada.

De um modo geral existe uma tendência negativa de TEND (-4.6 kg/ha) de acordo com o aumento do tamanho da amostra (n). Além disso, o TEND manteve-se próximo ao erro médio quadrático (EMQ) até n igual a 13 e logo após sofre um decaimento apresentando menores valores em relação ao EMQ.

As outras três estatísticas (EMQ, EMA e r) apresentaram valores maiores quando se utilizou poucos anos de dados para gerar a previsão. Observa-se que EMQ decresce linearmente, variando aproximadamente -2 kg/ha com o aumento do tamanho da amostra (n), não sofrendo oscilações ao longo desta. O maior valor de EMQ resultante foi 74 kg/ha (n = 5) e o menor foi 41 kg/ha (n = 21). É importante ressaltar que houve uma queda em torno de 41% ao longo do número de anos da amostra (n variando de 5 a 30) e que a partir de 20 anos de dados verifica-se uma certa estabilidade do erro com valores variando entre 41 e 45 kg/ha.

O EMA apresentou um nítido decréscimo com o aumento do número de anos das amostras (-6.6 kg/ha). Observa-se que o EMA e EMQ possuíram o mesmo comportamento, porém em diferentes magnitudes. Isto ocorre, pois o EMA é uma medida estatística que não avalia o peso dos grandes erros, enquanto que o EMQ tende a dar maior influência sobre as grandes discrepâncias entre os campos observados e previstos. Os valores de erros absolutos são superiores aos valores obtidos nas outras estatísticas, alcançando um máximo de 371 kg/ha (n = 5) e um mínimo de 205 (n = 21), além disso, também apresentou estabilização da produtividade a partir de 20 anos, em torno de 208 kg/ha.

O coeficiente de correlação entre a produtividade da soja observada e a prevista (r) em uma amostra de 30 anos foi calculado ao nível de significância 99% (r = 0,46). Verificou-se que os valores significativos (maiores e igual a 0,46) encontram-se a partir

de 17 anos, exceto em n igual a 18. Tal período seria o mais favorável para gerar equações prognósticas, pois apresentaram maiores valores de r, enquanto que os valores dos coeficientes obtidos abaixo de n igual a 17, não seriam recomendados para gerar tais equações, pois apresentaram menores valores de coeficientes de correlação (r).

Na Figura 4.19, nota-se que o maior coeficiente de correlação encontrado foi 0,56 (n = 23) e o mínimo foi -0,02 (n = 7). Além disso, observa-se uma nítida tendência de crescimento do valor de r ao longo do número de anos da amostra (n), porém a partir de n igual a 20 verificam-se pequenas variações, indicando uma certa estabilidade dos valores do coeficiente de correlação entre a produtividade observada e a prevista.

Diante do decréscimo dos erros estatísticos à medida que se aumenta o número de anos da amostra até tornarem-se estáveis e do máximo coeficiente de correlação encontrado, quando n foi igual a 23 anos (0,56), observou-se que não existe a necessidade de utilizar mais de 23 anos de dados para gerar equações prognósticas, no caso de uma previsão feita para o período de 1974 a 1998. Ressalta-se ainda que, o valor de r não apresentou grande variação a partir de n igual a 23, somente uma ligeira tendência de decaimento entre n igual a 24 (r = 0,54) e 27 (r = 0,50), voltando a elevar-se em direção a n igual a 30.

Tal fato pode indicar um certo risco de deterioração da previsão da produtividade da soja com o aumento de n, sendo que o decaimento do coeficiente e a deterioração da previsão seriam melhores investigados se houvesse maior quantidade de dados para comparação entre o previsto e observado.

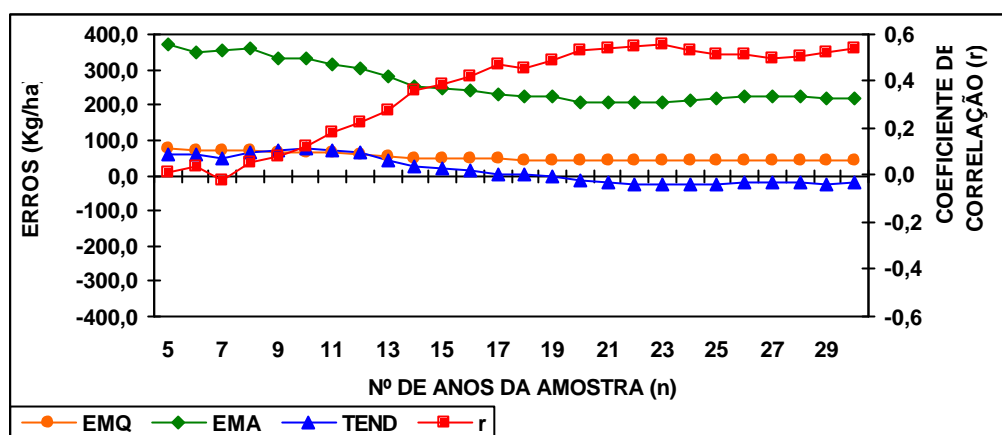


FIGURA 4.19 – Avaliação da previsão de produtividade da soja através de estatísticas de erro médio quadrático (EMQ), erro médio absoluto (EMA) e tendência (TEND), a partir da precipitação (JFM) e coeficiente de correlação (r) entre a produtividade observada e prevista no Rio Grande do Sul (1974 - 1998), de acordo com a variação de n.

A determinação em provocar danos à previsibilidade a partir de n igual a 23 sugeriu que a série de dados analisados não se mostrou estatisticamente estacionária. Nesse caso, recomenda-se uma contínua atualização das equações prognósticas incluindo novos dados, para verificar se realmente a série não é estacionária (Kung e Sharif, 1982). A necessidade de atualização pode ser solucionada fazendo-se uma defasagem do tempo, ou seja, variando-se o lag entre o fim do período utilizado para gerar a previsão e o ano em que a equação é feita, e assim verificar quantos anos podem ser previstos sem a necessidade de utilizar novos dados. Então, a diferença entre a quantidade total de anos disponíveis para prever a produtividade da soja ($y = 31$ anos) e o número de anos utilizados para gerar a equação prognóstica (n varia de 5 a 30) será o lag.

Na série de dados estudada, o máximo lag é dado por: $dmáx = 31 - n$, em que a amostra de 30 anos apresentou lag variando de 1 a 26. A Figura 4.20 mostra o EMQ e o coeficiente de correlação entre a produtividade da soja observada e a prevista de acordo com a variação do lag. Observa-se que à medida que o lag aumenta, tem-se um decréscimo gradativo do coeficiente de correlação de 0,52 (lag = 6) a -0,02 (lag = 24),

mostrando que o desempenho da previsão tende a ser desfavorável, possivelmente devido a grande distância entre o período em que foi gerada a equação prognóstica e o período previsto. Os valores de EMQ também confirmam tal resultado, pois verifica-se um grande aumento dos mesmos proporcionalmente ao aumento do lag, variando de 44 kg/ha (lag = 6) até 74 kg/ha (lag = 26).

Pode-se destacar que o coeficiente de correlação entre a produtividade da soja observada e a prevista e o erro médio quadrático mantiveram-se uniformes até 11 anos de defasagem, apresentando uma média de 0,53 e 43,1, respectivamente. Porém, a partir do valor de lag igual a 12, observa-se um nítido decréscimo de r e um substancial aumento do EMQ à medida que se eleva o lag. Isto indica que o modelo é válido para realizar uma previsão de até 11 anos, com valores significativos de r e baixos erro médio quadrático utilizando a série estudada, porém haverá necessidade de atualização com novos dados no caso de uma previsão para mais de 11 anos.

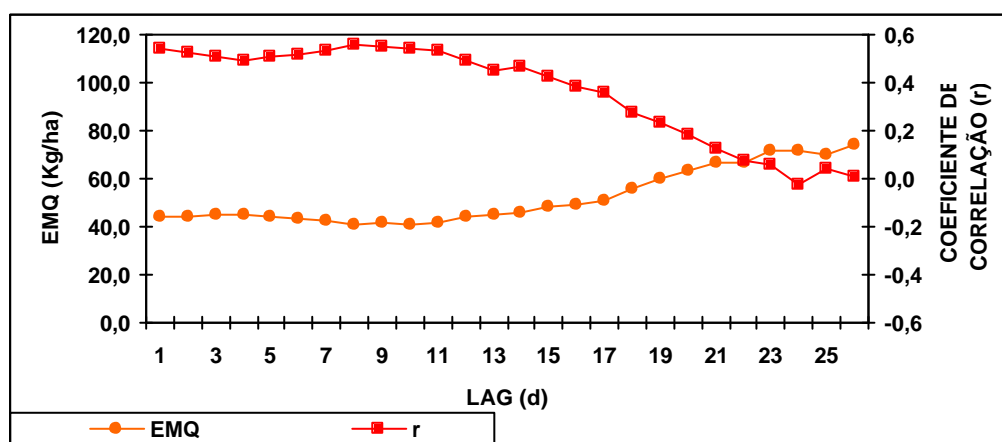


FIGURA 4.20 – Avaliação da previsão de produtividade da soja através de estatísticas de erro médio quadrático (EMQ) a partir da precipitação (JFM) e coeficiente de correlação (r) entre a produtividade observada e prevista no Rio Grande do Sul (1974 - 1998), de acordo com a variação de lag.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

5.1 Considerações finais

Na maior parte da área estudada, o trimestre chuvoso concentrou-se em DJF, correspondendo ao verão do HS, enquanto o trimestre menos chuvoso foi observado em JJA, correspondendo ao inverno do HS. Porém, observou-se que o Estado do Rio Grande do Sul apresentou grande variabilidade espacial da precipitação, tanto no verão quanto no inverno e Santa Catarina apresentou tal variabilidade somente no inverno.

A variabilidade sazonal foi analisada, tendo sido constatado que a precipitação da Região Sul apresenta-se de maneira uniforme durante as quatro estações do ano. Na Região Sudeste a maior contribuição de chuva ocorreu no trimestre DJF e a menor ocorreu em JJA, sendo que em DJF correspondeu à estação chuvosa e JJA à estação seca da região. A variabilidade interanual da precipitação foi maior na Região Sul, principalmente no Rio Grande do Sul. Já no Sudeste, nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro a maioria das anomalias de precipitação ocorreram abaixo da média, enquanto que o Espírito Santo e Minas Gerais obtiveram maior variabilidade da precipitação ao longo dos anos.

A evolução da área cultivada de milho na Região Sul apresentou-se praticamente constante com os anos, destacando o Estado do Paraná que apresentou maior área plantada de milho da Região Sul. A área cultivada de soja foi maior no Estado do Rio Grande do Sul, sendo observada uma tendência positiva da área nos três estados analisados e uma queda no início dos anos 80 (Rio Grande do Sul e Paraná), voltando a crescer nos anos 90. Porém, Minas Gerais obteve estabilidade até os anos 80, voltando a crescer a partir dos anos 90. Na Região Sudeste houve uma relativa estagnação da área plantada de milho em Minas Gerais e São Paulo até os anos 90 e uma moderada queda

após este período, enquanto que os Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro apresentaram um nítido decréscimo durante todo o período estudado.

Quanto à produção de milho, verificou-se um certo aumento nos anos 70, pouca variação na década de 80 e a partir dos anos 90 foi atingido um novo patamar com ganhos substanciais na produção. Na Região Sudeste, os Estados de Minas Gerais e São Paulo obtiveram um crescimento ao longo dos anos e foram responsáveis pelos maiores índices de produção, enquanto que nos Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro ocorreu o inverso, além de apresentarem os menores índices da região. Em relação à soja, o comportamento da produção foi semelhante ao da área plantada, porém o Rio Grande do Sul apresentou maiores variações em relação aos outros dois estados analisados.

As séries originais de produtividades de milho e de soja apresentaram um crescimento devido à incorporação de novas tecnologias de produção ao longo do tempo. A Região Sul apresentou uma variabilidade da produtividade do milho mais instável do que a Região Sudeste, sendo Santa Catarina o responsável pela maior produtividade, seguido do Paraná. No Sudeste, as produtividades de milho foram melhores distribuídas, com destaque para o Estado de São Paulo que apresentou maior produtividade de milho da região seguida de Minas Gerais. A variabilidade interanual da produtividade da soja foi melhor evidenciada nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná, porém em Minas Gerais manteve-se estável. Além disso, destaca-se que o Paraná apresentou maior produtividade da soja em relação aos outros estados estudados.

A precipitação no trimestre DJF correlacionou-se melhor com as culturas de milho em todos os Estados da Região Sul e em São Paulo, enquanto no trimestre JFM as correlações foram melhores somente para os Estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. A cultura de soja apresentou coeficientes significativos entre a precipitação em DJF e a produtividade da soja nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Minas Gerais; porém em relação à precipitação, no trimestre JFM somente os Estados Rio Grande do Sul e Minas Gerais apresentaram coeficientes significativos. Estes meses

correspondem aos meses de verão e de intensa atividade agrícola, além de corresponder à estação chuvosa na maior parte da área estudada.

De um modo geral, na maior parte dos anos as anomalias positivas de precipitação de DJF coincidiram com as anomalias positivas de produtividade do milho e da soja durante o período estudado. Contudo, constatou-se que a variabilidade da precipitação em DJF foi a grande responsável por anos com produtividade agrícola alta ou baixa, pois as culturas de primavera/verão, como o milho e a soja, geralmente são conduzidas sem irrigação, portanto dependem diretamente da precipitação.

Os impactos do ENOS sobre a precipitação (SON e DJF) e as produtividades de milho e de soja foram analisados. Verificou-se que durante os anos de La Niña os Estados da Região Sul apresentaram precipitação (SON e DJF) abaixo da média, porém isto não chegou a prejudicar a produtividade de milho na região. Na Região Sudeste, os Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro apresentaram precipitação (SON e DJF) e produtividade do milho acima da média durante a fase fria, porém em Minas Gerais e Espírito Santo ocorreu precipitação de SON acima da média e precipitação de DJF e produtividade do milho abaixo da média. As produtividades da soja apresentaram-se acima da média na maior parte dos casos, mesmo as chuvas de DJF ocorrendo abaixo da média nos três estados analisados.

Em anos de El Niño, o Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentaram a maior parte dos desvios de precipitação em SON positivos e negativos em DJF, sendo que o Estado do Paraná obteve precipitação de SON abaixo da média e números iguais de desvios positivos e negativos em DJF. Na Região Sudeste, durante a fase quente ocorreram impactos negativos sobre a precipitação de SON nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e positivos em São Paulo, enquanto no Rio de Janeiro houve um equilíbrio entre os desvios positivos e negativos. Quanto à precipitação em DJF, prevaleceram os impactos negativos em todos os Estados da Região Sudeste, exceto no Espírito Santo.

Evidenciou-se que o fenômeno El Niño favoreceu as produtividades de milho em praticamente todos os Estados da Região Sul e Sudeste do Brasil, exceto em São Paulo que manteve o equilíbrio entre as produtividades positivas e negativas de milho. Quanto às produtividades de soja, Estado do Rio Grande do Sul foi favorecido apresentando impactos positivos na produtividade. O Estado de Minas Gerais apresentou impactos negativos, enquanto que o Estado do Paraná apresentou equilíbrio entre os desvios negativos e positivos de produtividade da soja.

Em anos considerados como neutros, os Estados de Santa Catarina e Paraná apresentaram precipitação abaixo da média em SON e acima da média em DJF, enquanto que o Rio Grande do Sul apresentou os desvios de precipitação positivos e negativos em equilíbrio no trimestre SON e chuvas abaixo da média em DJF. Na Região Sudeste verificou-se que a precipitação em SON foi acima da média, exceto no Estado do Rio de Janeiro. Porém, as chuvas em DJF também se apresentaram acima da média, exceto no Espírito Santo. As produtividades de milho, durante os anos neutros, apresentaram-se abaixo da média nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, enquanto que em São Paulo as produtividades foram acima da média e o Rio de Janeiro manteve o equilíbrio entre os desvios de produtividade positivos e negativos. Além disso, as produtividades foram favorecidas pelos anos neutros.

Destacam-se que os anos de estiagem, de 1990/91 na Região Sudeste e de 1991/92 na Região Sul, trouxeram prejuízos significativos às produtividades de milho e soja; porém nestes casos a falta de chuva ocorreu devido às características atmosféricas observadas durante aqueles períodos, constatando que o fenômeno ENOS não é o único fator que determina a falta ou o excesso de precipitação em uma determinada região.

No Estado do Rio Grande do Sul durante o período de 1944 a 1998, a variabilidade interanual da precipitação no trimestre JFM foi um fator determinante para a variabilidade da produtividade da soja. Logo, aplicou-se um modelo de estimativa empírica de produtividade da soja somente para a fase crítica da cultura em relação à precipitação (JFM). Os resultados mostram que o modelo subestimou os valores de

produtividades de soja previstos a partir de uma amostra de 19 anos de dados. Ressalta-se, ainda, que os erros tenderam a ser maiores quando utilizou-se poucos anos de dados para gerar as equações prognósticas.

O período ideal encontrado neste trabalho foi de aproximadamente 23 anos de dados; logo, o uso de mais ou menos dados para gerar a previsão pode prejudicar o desenvolvimento do modelo. Além disso, através da variação de defasagem, verificou-se também que neste modelo pode-se prever até 11 anos de dados, porém é preciso uma atualização com novos dados para previsões superiores a este valor.

De fato, a previsão de adversidades climáticas deve ser realizada com antecedência, para que possa ser feito um melhor planejamento agrícola, com objetivo de diminuir os impactos gerados por um clima adverso à agricultura, bem como a redução dos prejuízos causados por este. A utilização de modelos de estimativa da produtividade agrícola baseado em elementos climáticos visa dar uma contribuição neste contexto.

5.2 Sugestões

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

- utilizar a mesma técnica de previsão empírica, considerando série de dados mais longa;
- melhorar a qualidade dos dados de produtividade, levando-se em consideração os fatores biológicos ou agrônômicos. Além disso, obter dados mais detalhados, de microrregiões ou municípios de diversos estados do Brasil;
- utilizar outros indicadores do fenômeno ENOS, como a TSM;
- correlacionar as produtividades de outras culturas com outras variáveis meteorológicas, como por exemplo: temperatura, umidade, radiação, evapotranspiração, etc;
- levar em consideração a circulação geral da atmosfera;
- estender o estudo para outras regiões brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, J.M.B.; Repelli, C.A. A variabilidade pluviométrica no setor do nordeste e os eventos El Niño - Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n.2, p. 583-592, 1992.

Arruda, H.V.; Pinto, H. A simplified gamma probability model for analysis of the frequency distribution of rainfall in the region of Campinas, SP - Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 22, n.2, p.101-108, 1980.

Berlato, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 93 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

Berlato, M.A.; Fontana, D.C.; Gonçalves, H.M. Relação entre o rendimento de grãos de soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 27, n. 5, p. 695-702, 1992.

Berlato, M.A.; Fontana, D.C. El Niño Oscilação Sul e a agricultura da Região Sul do Brasil. In: Berri, G.J. (Comp). **Efectos de El Niño sobre la variabilidad climática, agricultura y recursos hídricos en el sudeste de Sudamérica**. [Buenos Aires] : Ministerio de Cultura y Educación - Secretaría de Ciencia y Tecnología, p. 27-30. (Taller y Conferencia sobre El Niño 1997/ 98, Montevideo, Uruguay, 1997).

Berlato, M.A.; Fontana, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja na Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.119-125, 1999.

Camargo, A.P.; Pinto, H.S.; Pedro Jr, M.J.; Brunini, O.; Alfonsi, R.R.; Ortolani, A.A. Aptidão climática de culturas agrícolas. In: VERDADE, F.C. (Coord.). **Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1974. v.1, p.109.

Camargo, M.B.P.; Arruda, H.V.; Pedro Jr, M.J.; Brunini, O., Alfonsi, R.R. Melhores épocas de plantio do trigo no Estado de São Paulo baseadas na probabilidade de atendimento hídrico. **Bragantia**, v.44, n.1, p.255-261, 1985.

Cane, M.A; Eschel, G.; Buckland, R.W. Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. **Nature**, v.370, p.204-205, 1994.

Cavalcanti, I.F.A.; Satyamurty, P.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Trosnikov, I.; Bonatti, J.P.; Manzi, A.O.; Tarasova, T.; D'Almeida, C.; Sampaio, G.; Castro, C.C; Sanches, M.; Camargo, H.; Pezzi, L.P. **Climate characteristics in an ensemble simulation using CPTEC/COLA Atmospheric GCM**. São José dos Campos: INPE, 2001. (INPE 8 150-RPQ/717).

Couto, L.; Costa, E.F.; Viana, R.T. Efeito do veranico sobre a produção de cultivares de milho. In: **Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1980 – 1984**, Sete Lagoas, MG: EMPRAPA – CNPMS, 1986. p. 77 – 78.

Cunha, G.R.; Dalmago, G.A.; Estefanel, V. Enso influences on wheat crop in Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.127-138, 1999.

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.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil**. Londrina, PR: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2001. Documentos, 167.

Fisher, R. A.; Yates. F. **Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research**. 5.ed. London: Longman, 1974.

Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Relação entre o El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p. 39-45, 1996.

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, v. 5, n. 1, p. 127- 132, 1997.

Glantz, M.H. **Current of change: El Niño's impact on climate and society**. Cambridge: University of Cambridge, 1996. 194 p.

Goodwin, J.B; Sans, L.M.A. Análise de interação da data de plantio, probabilidade de chuvas e consumo de água pela cultura do milho. Nota preliminar. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, 2,. **Anais...** Piracicaba-SP: ESALQ, 1976. p 483-97.

Grimm, A.M.; Teleginski, S.E.; Costa, S.M.S. Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos La Niña. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9.,1996, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia; Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996a. v. 2, p. 1113-1117.

Grimm, A.M.; Teleginski, S.E.; Freitas, E.D. Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos El Niño. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., 1996, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia; Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996b. v. 2, p. 1098-1102.

Handler, P. Corn yields in United States and sea surface anomalies in the equatorial Pacific ocean. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, p. 25-32, 1984.

Hansen, J.W.; Hodges, A.W.; Jones, J.W. ENSO Influences on Agriculture in the Southeastern United States. **Journal of Climate**, v. 11, p. 404-411, 1998.

Hardaker, J.B.; Huirne, R.B.M.; Anderson, J.R. **Coping with risk in agriculture**. Oxon: CAB International, 1997. p.274.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. In: Working Group, 2. TAR: Summary for Policymakers. Disponível em: <http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf> Acesso em: 3 abr. 2003.

Katz, R.W. Assessing the impact of climatic change on food production. **Climate Change**, v.1, p.85-96, 1977.

Keppenne, C.L. An ENSO Signal in Soybean Futures Prices. **Journal of Climate**, v. 8, p.1685-1689, 1995.

Kousky, V.E.; Kayano, M.T.; Cavalcanti, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36, p. 490-504, 1984.

Kousky, V.E; Cavalcanti, I.F.A. Eventos Oscilação Sul / El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v.36, n.11, p.1888-1899, 1984.

Kung, E.C.; Sharif, T.A. Long-range forecasting of the Indian summer monsoon onset and rainfall with upper air parameters and sea surface temperature. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v 60, p. 672-681, 1982.

Mjelde, J.W.; Keplinger, K. Using the Southern Oscillation to Forecast Texas Winter Wheat and Sorghum Crop Yields. **Journal of Climate**, v. 11, p. 54-60, 1998.

Mota, F.S.. Weather-technology models for corn and soybeans in the South of Brazil. **Agricultural Meteorology**, v 28, p. 49-64, 1983.

Mota, F.S. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do arroz irrigado na Região de Pelotas- RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.2, p.21-24, 2000.

Moura, A.D. Prospects for seasonal-to-interannual climate prediction and applications for sustainable development. **World Meteorological Organization Bulletin**, Geneva, v. 43, n. 3, p. 207-215, 1994.

Nicholls, N. The Stability of Empirical Long-Range Forecast Techniques: A Case Study. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.23, p. 143-147, 1984.

Nimer, E. Climatologia do Brasil. **Superintendência de Recursos Naturais Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1979.

Oliveira, A.D.; Costa J.M.N.; Leite, R.A.; Soares P.C.; Soares A.A. Probabilidade de chuvas e estimativas de épocas de semeadura para cultivares de arroz de sequeiro, em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.2, p 295-309,2000.

Philander, S.G. **El Niño, La Niña, and the southern oscillation**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 293.

Rao, V.B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**. v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

Rao, V.B.; Hada, K. An experiment with linear regression in forecasting of spring rainfall over south Brazil. **Atmosfera**, v. 7, p. 83-87, 1994.

Rao, V.B.; Sá, L.D.A; Franchito, S.H.; Hada, K. Interannual variations of rainfall and corn yields in northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 85, p. 63-74, 1997.

Rimmington, G.M.; Nicholls, N. Forecasting Wheat Yields In Australia With The Southern Oscillation Index. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 44, p. 625-632, 1993.

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

Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v. 4, p. 268-284, 1989.

Rossetti, L.A. Reduzindo os riscos da agricultura e propiciando indicadores confiáveis para um desenvolvimento regional sustentável, Seminário Brasileiro de Zoneamento Agrícola, 1., 2002. **Anais eletrônicos...** Disponível em : <<http://masrv54.agricultura.gov.br/anais/seminario.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2003.

Sader, R. Alguns aspectos da Região Sul. **Brasil: O Livro dos 500 anos**. 1996. Disponível em: <<http://www.terrabrasileira.net/folclore/regioes/sul/sul.html>>. Acesso em: 15 jan. 2003.

Silva, J.F. **El Niño, o fenômeno climático do século**. Brasília: [S.n.], 2000. p. 139.

Tsunechiro, A. **Os municípios maiores produtores de soja e milho**. Disponível em: <<http://www.fazendasmt.com.br/artigos/>>. Acesso em: 18 set. 2004.

Uvo, C.B.; Repelli, C.A.; Zebiak, S. A study on the influence of the pacific and atlantic SST on the northeast Brazil monthly precipitation using singular value decomposition (SVD). In: International Training Course on Practical and Theoretical Aspects of Short Term Climate Prediction, 1., Columbia, apr. 1993 – jan. 1994. **Report...** São José dos Campos: INPE, 1994. p.30.

APÊNDICE A

TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DO TESTE *t-student*.

<i>n</i>	<i>t</i> _{0,995}	<i>t</i> _{0,99}	<i>T</i> _{0,975}	<i>t</i> _{0,95}	<i>t</i> _{0,90}	<i>t</i> _{0,80}	<i>t</i> _{0,75}	<i>t</i> _{0,70}	<i>t</i> _{0,60}	<i>t</i> _{0,55}
1	63,66	31,82	12,71	6,31	3,08	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158
2	9,92	6,96	4,30	2,92	1,89	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142
3	5,84	4,54	3,18	2,35	1,64	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137
4	4,60	3,75	2,78	2,13	1,53	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134
5	4,03	3,36	2,57	2,02	1,48	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132
6	3,71	3,14	2,45	1,94	1,44	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131
7	3,50	3,00	2,36	1,90	1,42	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130
8	3,36	2,90	2,31	1,86	1,40	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130
9	3,25	2,82	2,26	1,83	1,38	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129
10	3,17	2,76	2,23	1,81	1,37	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129
11	3,11	2,72	2,20	1,80	1,36	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129
12	3,06	2,68	2,18	1,78	1,36	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128
13	3,01	2,65	2,16	1,77	1,35	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128
14	2,98	2,62	2,14	1,76	1,34	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128
15	2,95	2,60	2,13	1,75	1,34	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128
16	2,92	2,58	2,12	1,75	1,34	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128
17	2,90	2,57	2,11	1,74	1,33	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128
18	2,88	2,55	2,10	1,73	1,33	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127
19	2,86	2,54	2,09	1,73	1,33	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127
20	2,84	2,53	2,09	1,72	1,32	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127
21	2,83	2,52	2,08	1,72	1,32	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127
22	2,82	2,51	2,07	1,72	1,32	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127
23	2,81	2,50	2,07	1,71	1,32	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127
24	2,80	2,49	2,06	1,71	1,32	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127
25	2,79	2,48	2,06	1,71	1,32	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127
26	2,78	2,48	2,06	1,71	1,32	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127
27	2,77	2,47	2,05	1,70	1,31	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127
28	2,76	2,47	2,05	1,70	1,31	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127
29	2,76	2,46	2,04	1,70	1,31	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127
30	2,75	2,46	2,04	1,70	1,31	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127
40	2,70	2,42	2,02	1,68	1,30	0,851	0,681	0,529	0,255	0,126
60	2,66	2,39	2,00	1,67	1,30	0,848	0,679	0,527	0,254	0,126
120	2,62	2,36	1,98	1,66	1,29	0,845	0,677	0,526	0,254	0,126
∞	2,58	2,33	1,96	1,645	1,28	0,842	0,674	0,524	0,253	0,126

FONTE: Fisher e Yates (1974).