

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE MÉDIA ANUAL  
DAS CULTURAS DE ARROZ, FEIJÃO, MILHO E CAFÉ NO ESTADO  
DE SÃO PAULO E SUA CORRELAÇÃO COM ÍNDICES CLIMÁTICOS**

**DÉLCIO CARDIM**

Orientador: Prof. Dr. Angelo Cataneo

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP  
AGOSTO - 2004

A meus pais

*Zemiro e Izabel*

e aos meus irmãos

*Cláudio, Cleusa, Gilberto, Márcio e Maria Zelinda,*

que no ceio de uma família pude despertar para vida a razão de viver.

Ofereço

À minha esposa

*Maria Lúcia,*

pelo amor e carinho a mim dedicado, pela inspiração, pela compreensão, pelo conselho amigo de sempre, pela confiança, pela segurança que sempre passou-me e, principalmente, pelo exemplo de otimismo, lealdade e alegria de viver, enfim por tudo que você representa para mim é que você merece festejar junto a mim esta conquista, a você e aos meus filhos

*Guilherme e Henrique,*

pelos quais eu vivo.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, por estar sempre ao meu lado e dar-me a fé para seguir o caminho.

Ao Prof. Dr. Angelo Cataneo, pela brilhante orientação na realização deste trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, especialmente ao Programa de Energia na Agricultura, pelos conhecimentos adquiridos e acolhimento dos professores e funcionários.

Às Faculdades Adamantinenses Integradas – FAI, pelo apoio concedido.

Ao IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, pelo fornecimento dos dados de produtividade.

Ao Prof. Luiz Carlos Galvão, pela leitura dos originais.

À Profa. Dra. Célia Regina Lopes Zimback, pelos ensinamentos transmitidos em geoestatística e na utilização de softwares computacionais.

Ao Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, pelas sugestões apresentadas nas interpretações dos resultados referentes às culturas de feijão e café.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pelas sugestões apresentadas nas interpretações dos resultados referente à cultura do arroz.

Ao Prof. Dr. Silvio José Bicudo e ao pesquisador científico (IAC – Assis/SP) Dr. Aildson Pereira Duarte, pelas sugestões apresentadas nas interpretações dos resultados referente à cultura do milho.

Ao Prof. e pesquisador científico (IAC – Adamantina/SP) Ms. Edison Martin Paulo, pela amizade e valiosas sugestões.

Ao Prof. Dr. Márcio Cardim, pelos incentivos dados em todos os momentos, pelas valiosas sugestões, pelas críticas e por sempre acreditar na minha pessoa.

Ao Engenheiro Agrônomo Takashi Yokoyama (CATI – Casa da Agricultura de Adamantina/SP) e a funcionária Miriam Luíza Spósito Yokoyama, pelo fornecimento de materiais relacionados às culturas em estudo.

Ao Prof. Dr. Gilson João Parisotto, pela amizade e oportunidade oferecida, acreditando na minha pessoa.

À Maria Anguita e Antônio Pina, pelo apoio dado a minha família na minha ausência.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

À Maria Lúcia, Guilherme e Henrique, por compreender minha ausência, pela paciência, pelo constante incentivo e pelo amor oferecido.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	X
RESUMO .....	01
SUMMARY .....	03
1 INTRODUÇÃO .....	05
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	07
2.1 Culturas .....	07
2.1.1 Arroz .....	07
2.1.2 Feijão .....	10
2.1.3 Milho .....	12
2.1.4 Café .....	15
2.2 Estatística Descritiva .....	17
2.2.1 Princípios Básicos .....	17
2.2.2 Coeficiente de Correlação Linear .....	20
2.3 Geoestatística .....	21
2.3.1 Semivariograma .....	22
2.3.2 Krigagem .....	27
2.4 Validação Cruzada .....	30

2.5 Mapeamento Multivariado da Temperatura e Precipitação .....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1 Análise da Normalidade dos Dados .....	45
4.2 Análise da Dependência Espacial .....	49
4.2.1 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Arroz .....	49
4.2.2 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Feijão .....	52
4.2.3 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Milho .....	54
4.2.4 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Café .....	56
4.3 Validação Cruzada .....	59
4.4 Mapas de Isolinhas .....	67
4.4.1 Mapas de Isolinhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Arroz .....	67
4.4.2 Mapas de Isolinhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Feijão .....	73
4.4.3 Mapas de Isolinhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Milho .....	81
4.4.4 Mapas de Isolinhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Café .....	87
4.5 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual das Culturas de Arroz, Feijão, Milho e Café .....	94
4.5.1 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Arroz .....	95
4.5.2 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Feijão .....	98
4.5.3 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Milho .....	100
4.5.4 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Café .....	103
5 CONCLUSÕES .....	106
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1 Respostas do arroz à temperatura em diferentes estágios de crescimento .....	08
2 Requerimentos em água de uma cultura de arroz .....	09
3 Resultado da análise dos componentes principais, após rotação Varimax .....	33
4 Estatísticas da produtividade média anual (kg/ha) das culturas em estudo nas três décadas analisadas .....	46
5 Parâmetros da validação cruzada da produtividade média anual das culturas e décadas analisadas .....	60
6 Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do arroz nas décadas de 70, 80 e 90 .....	72
7 Produtividades médias da cultura do feijão no Estado de São Paulo, no período 1948/1971, em kg/ha .....	73
8 Produtividade média do feijão, em kg/ha, obtidas em ensaios realizados entre 1967 e 1971 em diversas localidades do Estado de São Paulo .....	74
9 Principais cultivares de feijão vendidos na capital de São Paulo – julho 1971 .....	75
10 Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do feijão nas décadas de 70, 80 e 90 .....	81
11 Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do milho nas décadas de 70, 80 e 90 .....	86

12	Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do café nas décadas de 70, 80 e 90 .....	94
13	Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do arroz .....	95
14	Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do feijão .....	98
15	Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do milho .....	101
16	Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do café .....	103



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 Esquema do semivariograma experimental .....	24
2 Modelos de semivariogramas com patamar .....	26
3 Semivariograma do índice térmico .....	35
4 Isolinhas do índice térmico .....	36
5 Semivariograma do índice pluviométrico .....	36
6 Isolinhas do índice pluviométrico .....	37
7 Semivariograma do índice pluviotérmico .....	38
8 Isolinhas do índice pluviotérmico .....	38
9 Localização dos 499 municípios produtores de arroz na década de 90 .....	40
10 Localização dos 501 municípios produtores de feijão na década de 90 .....	41
11 Localização dos 520 municípios produtores de milho na década de 90 .....	41
12 Localização dos 450 municípios produtores de café na década de 90 .....	42
13 Histogramas de produtividade média anual do arroz nas década de 70, 80 e 90 .....	47
14 Histogramas de produtividade média anual do feijão na década de 70, 80 e 90 .....	47
15 Histogramas de produtividade média anual do milho na década de 70, 80 e 90 .....	48
16 Histogramas de produtividade média anual do café na década de 70, 80 e 90 .....	48
17 Semivariograma de produtividade média anual do arroz na década de 70 .....	50
18 Semivariograma de produtividade média anual do arroz na década de 80 .....	50

19	Semivariograma de produtividade média anual do arroz na década de 90 .....	51
20	Semivariograma de produtividade média anual do feijão na década de 70 .....	52
21	Semivariograma de produtividade média anual do feijão na década de 80 .....	53
22	Semivariograma de produtividade média anual do feijão na década de 90 .....	53
23	Semivariograma de produtividade média anual do milho na década de 70 .....	55
24	Semivariograma de produtividade média anual do milho na década de 80 .....	55
25	Semivariograma de produtividade média anual do milho na década de 90 .....	56
26	Semivariograma de produtividade média anual do café na década de 70 .....	57
27	Semivariograma de produtividade média anual do café na década de 80 .....	58
28	Semivariograma de produtividade média anual do café na década de 90 .....	58
29	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 70 .....	61
30	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 80 .....	61
31	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 90 .....	62
32	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 70 .....	62
33	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 80 .....	63
34	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 90 .....	63
35	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 70 .....	64
36	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 80 .....	64
37	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 90 .....	65
38	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 70 .....	65

39	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 80 .....	66
40	Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 90 .....	66
41	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 70 .....	68
42	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 80 .....	69
43	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 90 .....	70
44	Produtividade média da cultura do arroz, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 ..	71
45	Área colhida da cultura do arroz, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 .....	71
46	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 70 .....	76
47	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 80 .....	77
48	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 90 .....	78
49	Produtividade média da cultura do feijão, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 .	79
50	Área colhida da cultura do feijão, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 .....	79
51	Percentual médio mensal de feijão, em relação ao total colhido nos principais estados produtores, 1990 a 1999 .....	80
52	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 70 .....	82
53	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 80 .....	83
54	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 90 .....	84
55	Produtividade média da cultura do milho na safra de verão, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 .....	84

56	Área colhida da cultura do milho na safra de verão, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 .....	85
57	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 70 .....	88
58	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 80 .....	89
59	Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 90 .....	90
60	Produtividade média da cultura do café, região estudada, São Paulo: 1974 – 2000 ...	91
61	Área colhida da cultura do café, região estudada: São Paulo, 1974 – 2000 .....	92
62	Municípios com produtores de café premiados, por Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR), Estado de São Paulo .....	93
63	Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do arroz nas décadas de 70, 80 e 90 .....	96
64	Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do feijão nas décadas de 70, 80 e 90 .....	99
65	Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do milho nas décadas de 70, 80 e 90 .....	102
66	Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do café nas décadas de 70, 80 e 90 .....	104

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da produtividade média anual das culturas do arroz, feijão, milho e café no Estado de São Paulo, empregando técnicas geoestatísticas, visando verificar suas relações com o mapeamento dos índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico obtidos pelo mapeamento do comportamento multivariado da temperatura e precipitação médias no Estado de São Paulo. Estudou-se a produtividade média anual de cada cultura nas décadas de 70, 80 e 90, georreferenciadas por meio das coordenadas geográficas longitude e latitude em cada município. Foi analisada a região do Estado de São Paulo compreendida entre as coordenadas geográficas: 46,43 a 51,85 graus de longitude e -23,96 a -20,05 graus de latitude, visto que os mapas dos índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico foram realizados dentro desta região do Estado de São Paulo. Verificado o comportamento dos dados próximo da distribuição normal por meio da estatística descritiva, efetuou-se a análise geoestatística. Por intermédio dos semivariogramas experimentais, verificou-se a existência de dependência espacial na produtividade média anual para todas as culturas e décadas em estudo. A técnica de validação cruzada permitiu avaliar a qualidade dos ajustes dos semivariogramas e a correlação existente entre os valores observados e os valores estimados. A produtividade média anual para todas as culturas e décadas em estudo comporta-se como um fenômeno isotrópico, ou seja, a análise do semivariograma em uma única direção é suficiente para o estudo da dependência espacial.

Construíram-se mapas de isolinhas para a produtividade média anual das culturas nas décadas analisadas, utilizando os valores de 1747 pontos estimados pelo processo de interpolação por krigagem. Esses mapas permitiram analisar o comportamento da produtividade média anual de cada cultura em cada uma das décadas analisadas. As análises da correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual das culturas permitiram verificar a importância da chuva na produtividade de uma determinada cultura e demonstrou que altas temperaturas, provavelmente, são prejudiciais na obtenção de alta produtividade.

SPATIAL DISTRIBUTION OF MEAN ANNUAL PRODUCTIVITY OF RICE, BEANS, CORN AND COFFEE CULTURES IN SÃO PAULO STATE AND ITS CORRELATION WITH CLIMATIC INDEX. Botucatu, 2004. 116p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Délcio Cardim

Adviser: Prof. Dr. Angelo Cataneo

## **SUMMARY**

This work had like objective evaluate the spatial variability of the mean annual productivity of rice, beans, corn and coffee cultures in the São Paulo State, employing geostatistics techniques, looking for check its relations with the thermal, pluviometric and pluviothermal index maply obtained by maply of the conduct multivaried of mean temperature and precipitation on São Paulo State. It was studied the mean annual productivity of each culture 70, 80 and 90 decades, located by geographic coordinates longitude and latitude in every city. It was analyzed the São Paulo State region understood between the geographic coordinates: 45,43 to 51,85 degrees of longitude and -23,96 to -20,05 degrees latitude, because the thermal, pluviometric and pluviothermal maps of the indexes was accomplished within of this São Paulo State region. Checked the normality of the datas by the descriptive statistics, it was

effected the geostatistics analyze. Through the agency of experimental semivariograms it was checked the being of spatial reliance in the mean annual productivity to every culture and decade in study. The technique of cross validation allowed evaluate the quality of the adjustments of semivariograms and the correlation extant between the observed values and the estimate values. The mean annual productivity to every culture, and decade in study hold like a phenomenon isotropic, this is, the analyze of semivariogram in only one direction is enough the study reliance. It was built map isolines to the mean annual productivity of culture in the analyzed decade, using the values of 1747 points estimated for the interpolation by kriging. These maps allowed to conduct of the mean annual productivity of every culture in every decade of analyzed. The analyzes of the correlation between the climatic index and the mean annual productivity allowed check the importance of the rain on the productivity of a determined culture and demonstrated that high temperature, easily, are bad in the attainment high productivity.

---

Keywords: spatial variability, productivity, semivariogram, kriging.



## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz reveste-se de caráter prioritário; a sua estrutura e comportamento conferem-lhe importância mais social que econômica, pois constitui-se, juntamente com o feijão, no alimento básico da população, principalmente a de menor poder aquisitivo. O milho pode ser considerado como um fator de equilíbrio da propriedade, já que pode ser usado tanto para a alimentação do homem e dos animais, na forma de massa verde, ensilagem, milho verde, fubá, farinha, farelo, grão puro ou como componente de rações. Portanto, desde que o agricultor consiga uma boa produtividade, o milho será sempre um bom negócio. A importância do café na economia brasileira é incontestável. O café chegou a representar, nas décadas de 20 e 50, mais de 60% das exportações totais brasileiras.

Com a globalização da economia, a agricultura brasileira terá de ser mais eficiente e produtiva para ser competitiva. Neste contexto, o aumento de produtividade, assim como a qualidade do produto, devem ser objetivos a serem alcançados.

Dentre as técnicas probabilísticas existentes para análise e interpretação de um determinado fenômeno, a mais recente é a geoestatística, que tem como característica principal analisar a distribuição espacial entre as observações, determinando, por meio de semivariograma experimental, a distância de dependência espacial existente entre elas. O semivariograma indica o grau de continuidade espacial, fornecendo informações necessárias e suficientes para a obtenção de estimativas de valores em locais não amostrados.

A geoestatística tem um método de interpolação chamado krigagem, que se utiliza da dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima, podendo os resultados serem expressos em forma de mapas de isolinhas ou superfície.

O objetivo deste trabalho foi estudar as correlações entre a produtividade média anual das culturas do arroz, feijão, milho e café no Estado de São Paulo e os índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico, obtidos pelo comportamento multivariado da temperatura e precipitação médias no Estado de São Paulo, utilizando técnicas geoestatísticas com a finalidade de verificar a existência de dependência espacial e estimar valores dentro da região estudada confeccionando mapas de isolinhas, classificando regiões homogêneas dentro do Estado de São Paulo em relação à produtividade média das variáveis estudadas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Culturas**

O aumento populacional demandará um acréscimo de 50% na produção de alimentos até o ano 2030, o que se caracteriza em um grande desafio para a ciência e tecnologia, no sentido da conquista de maior produtividade (BRESEGHELLO & STONE, 1998).

Com a globalização da economia, a agricultura brasileira terá de ser mais eficiente e produtiva para ser competitiva. Neste contexto, o aumento de produtividade, assim como a qualidade do produto, devem ser objetos de estudo.

#### **2.1.1 Arroz**

O arroz é uma planta anual, monocotiledônea, pertencente à família Gramineae (*Poaceae*), gênero *Oryza* e espécie *Oryza sativa L.*

Os primeiros cultivos de arroz datam de 3.000 anos antes de Cristo e foram efetuados no Sul da China, provável região de origem da cultura (PINZAN , 1997). O arroz foi introduzido no Brasil pela colonização portuguesa por volta de 1.550.

A cultura do arroz reveste-se de caráter prioritário; a sua estrutura e comportamento no Estado de São Paulo conferem-lhe importância mais social que econômica, pois constitui-se, juntamente com o feijão, no alimento básico da população brasileira, principalmente a de menor poder aquisitivo (PINZAN, 1997).

Em São Paulo, o plantio do arroz concentra-se nos meses de outubro e novembro (55% e 30%, respectivamente), com colheita principalmente nos meses de março e abril (45% e 20%, respectivamente), segundo a FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, (1979 e 1980).

Segundo Ferraz (1983), as temperaturas mínimas e máximas para o arroz se situam geralmente entre 20°C e 30°C, mas variam de acordo com o estágio de crescimento da cultura. A Tabela 1, de Yoshida (1981), mostra o efeito da temperatura em diferentes estágios de crescimento.

**Tabela 1.** Respostas do arroz à temperatura em diferentes estágios de crescimento.

Estágio de crescimento	Temperatura crítica °C		
	Baixa	Alta	Ótima
Germinação	10	45	20 – 35
Emergência e estabelecimento “seedling”	12 – 13	35	25 – 30
Enraizamento	16	35	25 – 30
Alongamento das folhas	7 – 12	45	31
Perfilhamento	9 – 16	33	25 – 31
Início do primórdio da panícula	15	-	-
Diferenciação da panícula	15 – 20	38	-
Antese	22	35	30 – 33
Amadurecimento	12 – 18	39	20 – 25

Fonte: Yoshida (1981).

Segundo Pinzan (1997), a temperatura média adequada para o ciclo vegetativo do arroz varia de 20 a 38°C, porém as ótimas para produção de grãos oscilam entre 29 e 32°C.

O cultivo de sequeiro largamente predominante no Estado de São Paulo é bastante sensível à deficiência hídrica, com estiagens nos períodos de emborrachamento, florescimento e granação diminuindo drasticamente a produção final (MORAIS et al., 1979).

Mahan, apud Yoshida (1981), considerou que o arroz requer mais água do que qualquer outra cultura de duração similar no campo.

A Tabela 2 de Kurg, apud Yoshida (1981), dá uma idéia dos requerimentos de água em uma cultura de arroz.

**Tabela 2.** Requerimentos em água de uma cultura de arroz.

Perdas de água	
Transpiração	1,5 a 9,8 mm diários
Evaporação	1,0 a 6,2 mm diários
Percolação	0,2 a 15,6 mm diários
<hr/>	
Faixa de perda diária	5,6 a 20,4 mm diários
Perdas por operações de campo	
Sementeira	40 mm
Preparação do terreno	200 mm
Irrigação de campo	1000 mm

Fonte: Kurg, apud Yoshida (1981).

Esses dados se referem a culturas irrigadas, mas os gastos de arroz em sequeiro não devem fugir muito a estes valores. Na prática o arroz é cultivado em regiões onde chove em média 1.000 mm por ano.

Em São Paulo, a ocorrência de veranicos (ausência de chuvas) nos meses de janeiro e de fevereiro, por períodos de pelo menos 10 dias, tem probabilidade de 10 a 60% de perda, dependendo da região e do período (ALFONSI et al. e ARRUDA et al., apud SILVA et al., 1986).

De acordo com o Instituto de Economia Agrícola (2002), em 2001, a produção de arroz de sequeiro, no Estado de São Paulo, foi de 926.904 sacas de 60 kg, numa área plantada de 29.608 hectares, tendo uma produtividade média de 1.878,35 kg/ha.

### 2.1.2 Feijão

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é originário das regiões elevadas da América Central (México, Guatemala e Costa Rica).

Elemento básico na alimentação nacional seja na cidade ou na zona rural, o feijão é um prato obrigatório na refeição de grande parcela da população brasileira, principalmente naquela de renda mais baixa. Esse consumo generalizado do feijão faz com que a lavoura seja empreendida em qualquer parte do país onde se realize a agricultura (MEDINA, 1971).

Considerado alimento básico da população do Estado de São Paulo, o feijão, apesar de sua importância alimentar, não tem uma produção que acompanha a demanda. A produtividade, a não ser nas culturas irrigadas, não tem aumentado de modo significativo, estando longe da alcançada pelos produtos chamados de exportação (PINZAN & ROSTON, 1997).

Levando em conta o zoneamento do Estado, a cultura do feijão poderá ser instalada nas águas (cultivo da primavera), na seca (cultivo de verão) e no inverno (cultivo irrigado) (PINZAN & ROSTON, 1997). O cultivo do feijão das águas é aquele em que o plantio é feito nos meses de agosto e setembro, sob condições normais, acompanhando o início da estação chuvosa. Entretanto, a colheita dessa safra corre o risco de ser feita em condições de elevada umidade (em janeiro), tornando-a difícil e o produto de qualidade inferior. Define-se como cultivo de feijão da seca aquele em que o plantio é efetuado de meados de dezembro a fevereiro, sob condições normais do Estado, quando se pode contar com bons índices de chuva para o desenvolvimento inicial das plantas. A cultura dessa época normalmente é menos sujeita a doenças fúngicas e bacterianas, e a colheita geralmente ocorre com tempo seco, sendo o produto de boa qualidade. O feijão de inverno é aquele plantado preferencialmente de meados de abril até final de maio, porém esse cultivo amplia-se de meados de março até final

de julho, conforme a região, e pressupõe a presença da irrigação para a garantia da produção com elevado rendimento. Com o feijão de inverno, houve aprimoramento tecnológico da cultura, que passou a ter altos índices de produtividade e de rentabilidade econômica.

A temperatura em que o feijão se desenvolve razoavelmente varia entre 18 e 34°C segundo (MARTIM & LEONARD, apud BRUNINI, 1997).

Arruda et al (1980) estudaram o efeito da temperatura média diária do ar na produtividade do feijoeiro, e observaram que o limite mínimo favorável ao desenvolvimento da cultura era 20°C nos primeiros 50 dias do ciclo, e podia-se assumir 19°C para todo o ciclo.

De acordo com Pinzan & Roston (1997), o Estado de São Paulo apresenta condições de produzir feijão praticamente o ano todo e em toda a sua extensão. Essas condições baseiam-se na precipitação e temperatura do ar média, necessárias ao feijoeiro, sem ocorrência de excesso de chuva e calor, bem como escassez de água e temperaturas muito baixas. O feijoeiro é uma planta que deve ser cultivada em regiões com condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, com temperaturas entre 15 e 30°C. Temperaturas acima de 30°C tornam-se prejudiciais à cultura, especialmente durante a floração e quando associadas a períodos de déficit hídrico.

Segundo Mello et al. (2002), grandes mudanças começaram a ocorrer no Estado de São Paulo, na década de 70, quanto à adoção de tecnologia na condução do feijoeiro, principalmente no que diz respeito ao uso de adubos e sementes selecionadas, aumentou a sua produção para níveis empresariais.

Embora os níveis de produtividade da lavoura paulista do feijão tenham sido crescentes nos últimos 30 anos, devido principalmente à difusão e adoção das pesquisas agropecuárias, os resultados alcançados não são homogêneos para toda a população dos produtores. De acordo com estudo realizado por Vicente (1997), levando em conta diferentes tamanhos de imóveis rurais com cultivo de feijão no Estado, os maiores ganhos de produtividade da cultura foram obtidos nos estabelecimentos de grandes áreas. Ou seja, para o período estudado de 1971 a 1991, estabelecimentos de até 20 ha de área mostraram crescimento de produtividade de 56%; de 20 a 100 ha, o crescimento foi de 28%; de 100 a 500 ha, ou mais de área, apontou um crescimento em torno de 100%. É importante levar em conta, no caso dos pequenos produtores, os aspectos culturais do preparo educacional, para receber e

incorporar novas tecnologias em sistemas de produção mais modernos, além dos aspectos econômicos relacionados ao seu baixo grau de capitalização.

Ferreira & Barros (2002) demonstraram que a produção média no Estado de São Paulo, no período de 1990 a 1999, foi de 260.230 toneladas.

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (2002), no Estado de São Paulo, em 2001, o feijão das águas obteve uma produção de 1.723.663 sacas de 60 kg, numa área de 74.054 hectares, com produtividade média de 1.396,55 kg/ha; o feijão da seca apresentou uma produção de 1.765.981 sacos de 60 kg, numa área plantada de 81.693 hectares, com produtividade média de 1.297,04 kg/ha e o de inverno apresentou em 2001, uma produção de 431.445 sacas de 60 kg, numa área de 25.146 hectares, com produção média de 1.029,45 kg/ha.

### **2.1.3 Milho**

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura que tem mais de cem utilidades nos mercados interno e externo, podendo ser considerado como um fator de equilíbrio da propriedade, já que pode ser usado tanto para a alimentação do homem e dos animais, na forma de massa verde, ensilagem, milho verde, fubá, farinha, farelo, grão puro ou como componente de rações. Portanto, desde que o agricultor consiga uma boa produtividade, o milho será sempre um bom negócio (MEREGE & MARTINS, 1997).

No âmbito nacional, a cultura do milho pode ser considerada a mais importante, tanto sob o aspecto econômico quanto sob o social. No econômico, destaca-se por apresentar a maior área cultivada entre os principais grãos (14,0 milhões de hectares), bem como a maior produção (36,3 milhões de toneladas). Sua importância social respalda-se, basicamente, em duas evidências. A primeira, por ser componente básico da dieta, principalmente entre a camada mais pobre da população; a segunda, por ser produto típico do pequeno produtor rural. (MELO FILHO & RICHETTI, 1997).

Outra característica marcante da cultura do milho é sua importância agrônômica, por ser componente indispensável do sistema de produção de grãos. O milho é



um dos mais importantes produtos utilizados na rotação de culturas, principalmente em agrossistemas nos quais a soja é a principal cultura.

A cultura do milho é uma das atividades agrícolas que deveria merecer especial atenção por parte das autoridades pela sua importância na participação do emprego e da renda dos agricultores, na alimentação humana e também na composição das rações para animais (MORICOCCHI et al., 1989).

A cultura no Estado de São Paulo é realizada em duas épocas do ano. A primeira safra (verão), que ocorre na primavera-verão, ocupou 702,8 mil hectares na safra 1998/99 e 405,7 mil hectares foram cultivados na segunda safra (safrinha no outono-inverno), sobretudo em sucessão à cultura da soja (ANUÁRIO, apud TSUNECIRO, 2000). A área da cultura de milho de verão no Estado está relativamente dispersa no espaço geográfico. Na safrinha, a distribuição espacial da cultura no Estado é altamente concentrada, em virtude do sistema de sucessão com a cultura da soja.

Segundo Duarte et al. (2000), em São Paulo, são aproximadamente 400 mil hectares, que representam um terço da área total de milho do Estado, localizados, principalmente, nas regiões do Vale do Paranapanema e Norte/Noroeste.

As principais limitações para o desenvolvimento do milho-safrinha são a deficiência hídrica, particularmente nas regiões Norte e Nordeste, e as baixas temperaturas no Sul e Sudoeste do Estado (MEREGE & MARTINS, 1997). O risco na safrinha é relativamente elevado, mesmo nas épocas recomendadas, pois pode ocorrer estiagem e/ou geadas em fases fenológicas críticas da cultura.

De acordo com Merege & Martins (1997), o milho exige calor no período vegetativo, atingindo um ótimo ao redor de 30°C, e chuva para se desenvolver e produzir normalmente. Devido à grande diversidade de variedades, é cultivado numa faixa muito larga de condições, de 58° de latitude N até 40° S, em locais abaixo do nível do mar e em até 3.600 m de altitude; não é cultivado em áreas onde a temperatura média do verão vem abaixo de 19,5°C durante o dia e 12,8° durante a noite.

Pascale, apud Brunini (1999), observou que a cultura do milho floresce e amadurece mais rapidamente quando a temperatura média do ar situa-se em torno de 25°C, ocorrendo um retardamento cada vez maior à medida que diminui essa temperatura, chegando

a concluir que não é possível o cultivo de tal cultura quando a temperatura média do verão é inferior a 19°C; ou quando a temperatura média noturna dessa estação é inferior a 13°C.

Segundo Lazzarotto et al. (1997), para se obter a máxima produtividade, uma lavoura de milho consome em torno de 500 a 800 mm de água durante seu ciclo, dependendo das condições climáticas prevaletentes, absorvidas diferentemente em função do estágio fenológico em que a planta se encontra. Assim, dois dias de estresse por deficiência hídrica no florescimento podem diminuir a produtividade em mais de 20%, enquanto de quatro a oito dias diminuem em mais de 50%.

A precipitação anual, de acordo com as regiões, vai de 250 a 5.000 mm; um mínimo de 200 mm no verão é considerado indispensável para produzir-se sem irrigar. Verões quentes e úmidos, que estimulam o desenvolvimento vegetativo, seguidos de invernos secos, que facilitam a colheita e armazenamento, favorecem a cultura (MEREGE & MARTINS, 1997).

Tsunechiro et al. (1996) constataram na análise do período de 1961 a 1990, que a lasca de crescimento da produção de milho passou de 4,93% ao ano na década de 60, para 2,64% na de 70 e 1,87% na de 80. O crescimento da produtividade não compensou o decréscimo da taxa de expansão da área plantada nessas três décadas. Essa tendência se inverteu a partir do segundo ano da década de 90 com produção de milho em nível Brasil passando de 2.323 kg/ha em 1992 para 2.690 kg/ha em 1995, ou seja, com acréscimo de 15,80% no período. Segundo o autor, o Estado de São Paulo, no período de 1961 a 1995, apresentou um acréscimo na produtividade de 2,30% ao ano.

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (2002), em 2001, a produção do milho no Estado de São Paulo foi de 55.806.053 sacas de 60 kg, numa área de 786.165 hectares, apresentando uma produtividade média de 4.259,11 kg/ha. O milho safrinha apresentou uma produção de 14.196.009 sacas para uma área de 336.369 hectares, obtendo uma produtividade média de 2.532,22 kg/ha.

#### 2.1.4 Café

No Brasil as primeiras sementes e mudas introduzidas por Francisco de Mello Palheta foram plantadas em Belém do Pará e, em seguida, o café foi plantado no Maranhão e daí se irradiou em pequenas plantações, pelos Estados vizinhos, tendo atingido a Bahia em 1770. Em 1774, o desembargador João Alberto Castelo Branco trouxe do Maranhão para o Rio de Janeiro. Do Rio de Janeiro, o café expandiu-se pelos contra-fortes da Serra do Mar, atingindo, em 1825, o Vale do Paraíba, tendo alcançado daí os Estados de São Paulo e Minas Gerais. O café estendeu-se, derrubando a mata, abrindo estradas, fixando povoações e criando riquezas, com a exploração do solo virgem, rico em nutrientes, e da mão-de-obra escrava a baixo custo. Iniciava-se o ciclo do café; após, o do ouro e o da cana. O café atingiu o Oeste Paulista em 1840, quando Campinas plantou seus primeiros cafezais, e alcançou Ribeirão Preto em 1835, o Noroeste Paulista em 1920, a Alta Sorocabana, Alta Paulista e o Estado do Paraná entre 1928 e 1930 (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1985).

A espécie *Coffea arabica*, oriunda da Etiópia, é largamente plantada no continente americano, sendo o Brasil o país que tem a mais extensa área de cultivo. Essa espécie possui um número bastante grande de variedades, sendo que apenas algumas delas apresentam valor econômico. Dentre os cultivares mais conhecidos, temos: Amarelo de Botucatu, Sumatra, Maragogipe, Bourbon Vermelho, Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo, Caturra Vermelho, Mundo Novo, Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho. Os cultivares mais cultivados são Mundo Novo, Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. O Catuaí tem a vantagem de apresentar porte menor que o Mundo Novo, o que facilita a colheita e permite o plantio em espaçamento mais adensado, embora seja de maturação mais tardia (THOMAZIELLO et al., 1987).

Segundo o Instituto Brasileiro do Café (1985), o cafeeiro (*Coffea arabica*) é planta tropical de altitude, adaptada a clima úmido com temperaturas amenas, típicas das Altiplanas da Etiópia, região considerada de origem da espécie. As temperaturas médias anuais ideais para a cafeicultura de arábica são entre 19 e 22°C.

Thomaziello et al. (1997), relataram que temperaturas médias anuais na faixa de 18 a 22°C são as mais favoráveis, sendo que o ideal está entre 19 e 21°C. Temperaturas médias altas provocam prejuízos por ocasião do florescimento, como o

abortamento das flores e o conseqüente aparecimento das “estrelinhas”. Por outro lado, em temperaturas muito baixas, pode ocorrer geada, fenômeno altamente prejudicial aos cafeeiros.

Segundo Silva et al. (1986), a faixa térmica mais adequada ao café arábica parece estar entre 18 e 22°C. As condições de umidade no solo são também fundamentais: o cafeeiro para vegetar e frutificar necessita encontrar umidade elevada no solo, mas na estação de colheita e abotoamento da planta essa umidade pode cair bastante sem maiores problemas para a produtividade.

De acordo com o Instituto Brasileiro do Café (1985), na grande região cafeeira Centro Sul do país, pode-se considerar que precipitações anuais acima de 1.200 mm indicam condições satisfatórias do ponto de vista hídrico, para permitir a cultura comercial.

Segundo Thomaziello et al. (1997), quanto à precipitação, torna-se difícil estabelecer um padrão ótimo anual, visto depender também de outros fatores, principalmente da distribuição das chuvas nos diferentes meses do ano. Todavia, precipitações anuais acima de 1.200 mm são suficientes para o café.

O consumo de café no Estado de São Paulo é da ordem de 3,5 milhões de sacas por ano, constituindo o maior mercado brasileiro para o produto (VEGRO et al., 1997).

A importância do café na economia paulista é incontestável, assim como na moderna estrutura produtiva brasileira. O café chegou a representar, na década de 20, 68% das exportações totais brasileiras, tendo reduzido essa participação até os anos quarenta, quando retorna e atinge 63% nos anos cinqüenta. Na década de 60, ainda representava 46,7% das cambiais internalizadas na economia brasileira, demonstrando que, a despeito da profunda mudança estrutural realizada com o processo de industrialização, a base geradora de receitas da exportação era proveniente das vendas do complexo cafeeiro. Outro ponto a se considerar está relacionado com o volume exportado, que atinge níveis crescentes desde os anos quarenta, quando totalizava 13,5 milhões, chegando a 17,1 milhões de sacas na média dos anos sessentas. No ano 2000, as receitas da exportação de café (US\$ 1,76 bilhão) representam apenas 3% das exportações brasileiras (GONÇALVES et al., 2001).

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (2002), em 2001 a produção de café beneficiado no Estado de São Paulo foi de 2.941.777 sacas de 60 kg, numa

área em produção de 210.896 hectares, apresentando uma produtividade média de 836,94 kg/ha. Neste mesmo ano, foram plantados 38.689 hectares de cafeeiros novos.

## 2.2 Estatística Descritiva

### 2.2.1 Princípios Básicos

Segundo Crespo (1999), a Estatística fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, para utilização dos mesmos na tomada de decisões.

De acordo com Spiegel (1993), é importante estudar os parâmetros estatísticos que descrevem um conjunto de dados, tais como as medidas de posição, de dispersão e de assimetria e curtose.

As medidas de posição representam os fenômenos pelos seus valores médios, em torno dos quais tendem a concentrar-se os dados (MARTINS & DONAIRE, 1990). Essas medidas são a média amostral, a mediana e a moda.

$$\text{Média amostral: } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

onde:  $n$  é o número de elementos da amostra e  $x_i$  é o valor amostral no ponto  $x$ .

Em certos casos, a média amostral pode não ser o parâmetro médio populacional mais adequado para descrever um conjunto de dados, devido, entre outros casos, à existência de valores extremos ou discrepantes (IEMMA, 1992).

A mediana é outra medida de posição definida como o número que se encontra no centro do conjunto de dados, estando estes dispostos segundo uma ordem (CRESPO, 1999).

Segundo Webster & Oliver (1990), matematicamente, a mediana é menos tratável que a média, mas apresenta a vantagem de ser menos sensível a valores extremos.

A moda de um conjunto de dados é o valor que ocorre com a maior frequência, ou seja, é o valor mais comum. A moda pode não existir e, mesmo que exista, pode não ser única (SPIEGEL, 1993).

Segundo Costa Neto (2002), a informação fornecida pelas medidas de posição necessita em geral ser complementada pelas medidas de dispersão. Estas servem para indicar o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central. Caracterizam, portanto, o grau de variação existente no conjunto de valores. As mais utilizadas são a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

$$\text{A variância amostral: } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2)$$

Do ponto de vista prático, a variância tem o inconveniente de se expressar numa unidade quadrática em relação à variável em questão (COSTA NETO, 1997). Esse inconveniente é sanado com a definição do desvio padrão amostral.

$$s = \sqrt{s^2} \quad (3)$$

O desvio padrão se expressa na mesma unidade da variável, sendo, por isso, de maior interesse que a variância nas aplicações práticas.

O desvio padrão por si só não diz muita coisa quando se deseja comparar duas ou mais séries de valores, relativamente à sua dispersão ou variabilidade, quando expressas em unidades diferentes (CRESPO, 1999). Para contornar essas dificuldades e limitações, pode-se caracterizar a dispersão ou variabilidade dos dados em termos relativos a seu valor médio, por meio do coeficiente de variação.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (4)$$

Estatísticas como a média, desvio padrão e coeficiente de variação precisam ser analisados em conjunto, sendo o conhecimento do fenômeno físico fundamental para sua análise (DOURADO NETO, 1989).

Segundo Sokal & Rohlf (1969), os valores esperados num dado ponto são estimados levando-se em consideração a média da população e a variação dos valores medidos em torno da média. Esta estimativa pressupõe também que as amostras sejam independentes e que possuam distribuição normal.

Por intermédio dos coeficientes de assimetria e curtose é possível verificar se os dados seguem uma distribuição normal.

A assimetria é o grau de desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição. De acordo com Costa Neto (2002), o coeficiente de assimetria é obtido pelo quociente do terceiro momento estatístico pelo cubo do desvio padrão amostral, ou seja:

$$a_3 = \frac{m_3}{s^3} \quad (5)$$

Segundo Fonseca & Martins (1996), se o coeficiente de assimetria for zero, a distribuição é simétrica, caso seja maior que zero, a distribuição é assimétrica positiva; menor que zero, a distribuição é assimétrica negativa.

O coeficiente de curtose mede o grau de achatamento de uma curva em relação à distribuição normal (CRESPO, 1999). Podemos ter:

- Curva leptocúrtica: quando a curva é mais fechada que a normal (mais aguda na sua parte superior);
- Curva platicúrtica: quando a curva é mais aberta que a normal (mais achatada na sua parte superior);
- Curva mesocúrtica: quando a curva é normal.

De acordo com Costa Neto (2002), o coeficiente de curtose é obtido pelo quociente do quarto momento estatístico pela potência quarta do desvio padrão amostral, ou seja:

$$a_4 = \frac{m_4}{s^4} \quad (6)$$

Uma distribuição diz-se mesocúrtica, leptocúrtica e platicúrtica conforme, respectivamente,  $C = 3$ ,  $C > 3$  e  $C < 3$ .

Defini-se o momento estatístico de ordem  $t$  de um conjunto de dados como:

$$m_t = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^t}{n}; \quad t = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Portanto, para termos uma distribuição próxima da normal, os coeficientes de assimetria e de curtose devem estar próximos de zero e três, respectivamente.

### 2.2.2 Coeficiente de Correlação Linear

Segundo Fonseca et al. (1985), o coeficiente de correlação ( $r$ ) indica o grau de relação (Linear) existente entre duas variáveis, não dependendo da unidade de medida. O coeficiente de correlação de Person é dado por:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (8)$$

O valor de  $r$  pertence ao intervalo  $[-1, 1]$ . Se  $r=0$ , então não há correlação linear entre as variáveis. Se  $r$  aproxima-se de 1, então existe associação linear positiva e se  $r$  aproxima-se de  $-1$ , então existe associação linear negativa.

Um ponto importante, segundo Costa Neto (2002), é a interpretação do valor de  $r$  obtido a partir de uma amostra. O valor de  $r$ , entre  $-1$  e  $1$ , por si só, deve dar uma boa idéia do grau e do sinal da correlação linear. No entanto, em geral, o valor de  $r$  é calculado com base nos  $n$  elementos de uma amostra aleatória e que, portanto, representa apenas uma estimativa do verdadeiro coeficiente de correlação populacional  $\rho$ . Assim, se desejar-se saber se um dado valor de  $r$ , combinado com o respectivo tamanho da amostra  $n$ , permite concluir, a um dado nível de significância  $\alpha$ , que realmente existe correlação linear entre as variáveis. Testa-se, então, as hipóteses:

$$H_0 : \rho = 0,$$

$$H_1 : \rho \neq 0.$$

Este teste pode ser feito por meio da estatística

$$t_{n-2} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}, \quad (9)$$

que será testada como um  $t$  de Student com  $n-2$  graus de liberdade.



### 2.3 Geoestatística

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, constatou que as variâncias não faziam sentido quando considerava independência entre as amostras. No entanto, as variâncias passavam a fazer sentido, se fossem levadas em consideração as distâncias entre as amostras, ou seja, se passasse a considerar a posição espacial entre elas. Matheron (1963), baseado nestas observações formulou a teoria das variáveis regionalizadas, que contém os fundamentos da geoestatística, tendo como base os conceitos de função aleatória e estacionariedade de segunda ordem.

Segundo Castilho (1998), entende-se por variável regionalizada uma função que varia de um lugar para outro no espaço com certa aparência de continuidade, ou seja, variáveis cujos valores são relacionados de algum modo com a posição espacial que ocupam. A continuidade atribuída às variáveis regionalizadas se observa pela tendência de tomarem valores mais próximos em dois pontos amostrados, quanto menos afastados estão os referidos pontos.

Conforme Guerra (1988), entende-se continuidade como uma flutuação mais ou menos importante entre valores de amostras vizinhas, refletindo um alto grau de dependência ou independência, que existe entre um valor e outro.

A continuidade ou variabilidade espacial, segundo Sturaro (1994), constitui uma das principais características das variáveis regionalizadas, cuja compreensão e modelagem representa a base de toda análise geoestatística.

As variáveis regionalizadas possuem também características qualitativas estreitamente ligadas à estrutura do fenômeno natural que elas representam (UZUMAKI, 1994). Tais características são: localização, continuidade (espacial) e anisotropia.

Segundo Landim (1998), a continuidade geográfica atribuída se manifesta pela tendência que a variável tem de apresentar valores muito próximos em dois pontos vizinhos e mais diferentes à medida que os pontos vão ficando mais distantes.

### 2.3.1 Semivariograma

Segundo Valente (1988), o semivariograma é uma ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas. Ele indica o grau de continuidade espacial e dá um mínimo necessário de informação sobre o fenômeno a ser estudado. A modelagem e a interpretação do semivariograma não são simples, ambas exigem conhecimentos do fenômeno e da maneira que foi realizada a coleta das amostras para que se possa analisar adequadamente os dados.

O semivariograma é uma curva que representa o grau de continuidade de uma variável regionalizada (DINIZ, 1997).

A dependência espacial é dada pela medida da variância das diferenças dos valores amostrais entre todos os pontos, separados por uma distância  $h$ , podendo ser verificada por meio da função semivariograma. O semivariograma é, por definição:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (10)$$

E pode ser estimado por meio de:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (11)$$

onde,  $N(h)$  é o número de pares amostrais,  $(Z(x_i), Z(x_i + h))$ , separados por uma distância  $h$ .

Quando  $h$  cresce, o semivariograma aproxima-se da variabilidade total dos dados, chamado patamar, e, havendo estacionariedade de segunda ordem, o semivariograma expressa o grau de dependência entre os pontos amostrais.

Em termos gerais, o semivariograma é uma função crescente com a distância  $h$ , desde que, em média, quanto maior a distância que ambas as amostras estiverem uma da outra, maiores serão as diferenças entre os seus valores. Esta afirmação fornece um conceito preciso da zona de influência de uma amostra. As características qualitativas da regionalização são muito bem expressas por meio do semivariograma.

O gráfico  $\gamma^*(h)$  "versus" os valores correspondentes de  $h$ , denominado semivariograma experimental, expressa a variabilidade espacial entre as amostras, sendo uma função que só depende do vetor  $h$ . Quando o gráfico do semivariograma experimental exhibe o mesmo comportamento em qualquer direção, ele é chamado isotrópico, isto é, depende apenas do comprimento do vetor de  $h$ , não de sua direção. Caso contrário, se o gráfico for diferente para alguma direção de  $h$ , é chamado anisotrópico, sendo que, neste caso, a análise deve ser feita para várias direções, determinando-se os eixos de maior e menor anisotropia.

Cressie (1993), Uzumaki (1994) e Goovaerts (1997) sugeriram transformações (quando é possível) para se obter isotropia.

De acordo com Isaaks & Shrivastava (1989), as anisotropias mais frequentes são a geométrica e a zonal. Na geométrica, o alcance difere em função da direção e o patamar permanece constante. Na zonal, têm-se semivariâncias diferentes para um mesmo alcance.

Para melhor compreender e interpretar os semivariogramas, é preciso que se atente ao fato de que, para sua construção, não se utilizam os valores observados das variáveis aleatórias e sim as diferenças entre tais valores separados por uma determinada distância. Desta forma, conhecendo a distância que separa dois pontos estima-se o valor da variância da diferença das variáveis aleatórias em estudo nos pontos. Isto só faz sentido admitindo-se a hipótese intrínseca de que tal variância não depende da localização dos pontos, mas apenas da distância entre eles.

O semivariograma experimental (equação 11) deve ser ajustado por um modelo matemático com a finalidade de estimar valores para locais não amostrados, utilizando interpolação por krigagem.

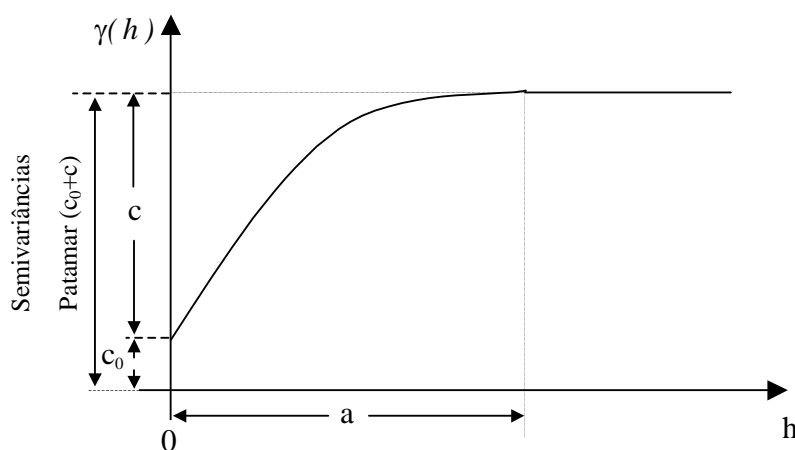
A Figura 1 mostra o esquema de um semivariograma experimental (SÖDERSTRÖM & MAGNUSSON, 1995).

Esquemáticamente a Figura 1 representa:

**Alcance (a):** À medida que a distância entre os pares aumenta, a variabilidade tenderá a aumentar até atingir um determinado nível. À distância onde o

semivariograma atinge este nível é conhecido como “*range*” ou alcance da dependência espacial.

**Efeito Pepita** ( $c_0$ ): Para distância igual a zero ( $h = 0$ ), o semivariograma deveria apresentar variabilidade nula. Entretanto, devido a erros de amostragem e descontinuidades para intervalos menores do que a menor distância entre duas amostras, acrescenta-se o efeito pepita (“*nugget effect*”) nos modelos que irão ajustar o semivariograma experimental (VIEIRA et al., 1983).



**Figura 1.** Esquema do semivariograma experimental.

**Variância Espacial** ( $c$ ): Representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores. Distância entre o efeito pepita e o patamar, também conhecida como “*Sill*”, que é o intervalo onde o semivariograma cresce (PHILLIPS & MARKS, 1996).

**Patamar** ( $c_0 + c$ ): A medida que  $h$  aumenta,  $\gamma(h)$  também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza, aproximando-se da variabilidade total dos valores amostrados.

Dependendo do comportamento de  $\gamma(h)$ , os modelos podem ser com patamar ou sem patamar. Goovaerts (1997), Jian et al. (1995) e Vieira et al. (1983), apresentam os modelos clássicos para ajuste do semivariograma.

Nos modelos com patamar (Figura 2) a semivariância aumenta à medida que aumenta a distância entre as amostras, até atingir um patamar, onde se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral. Os modelos mais utilizados são:

$$\text{a) Efeito pepita puro: } \gamma(h) = \begin{cases} 0 & \text{se } h = 0 \\ c_0 + c & \text{se } h > 0 \end{cases} \quad (12)$$

O efeito pepita puro corresponde a uma total ausência de correlação espacial entre duas variáveis  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  para qualquer distância  $h$ .

$$\text{b) Linear: } \gamma(h) = \begin{cases} c_0 + \frac{c}{a}h; & 0 \leq h < a \\ c_0 + c; & h \geq a \end{cases} \quad (13)$$

Este modelo cresce linearmente até o valor do alcance, atingindo o patamar.

$$\text{c) Esférico: } \gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \left[ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right]; & 0 \leq h < a \\ c_0 + c; & h \geq a \end{cases} \quad (14)$$

O modelo esférico é linear até aproximadamente  $a/3$  e é um dos modelos de transição mais utilizados conforme Souza (1992), Mandallaz (2000) e Watson (2000).

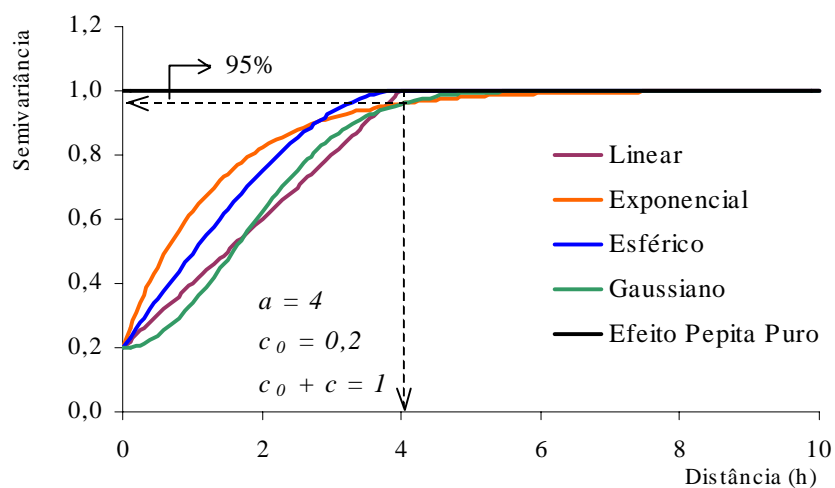
$$\text{d) Exponencial: } \gamma(h) = c_0 + c \left[ 1 - \exp\left(-3\frac{h}{a}\right) \right]; \quad 0 \leq h < d \quad (15)$$

onde:  $d$  é a máxima distância na qual o semivariograma é definido e  $a$  é o “alcance prático”, isto é, à distância na qual o valor do variograma é 95% do patamar ( $c_0 + c$ ).

Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance.

$$e) \text{ Gaussiano: } \gamma(h) = c_0 + c \left[ 1 - \exp\left(-3 \frac{h^2}{a^2}\right) \right]; \quad 0 \leq h < d \quad (16)$$

Este modelo tem um comportamento parabólico na origem e apresenta o patamar semelhante ao modelo exponencial.



**Figura 2.** Modelos de semivariogramas com patamar.

Nos modelos sem patamar o semivariograma experimental cresce indefinidamente e deve ser ajustado por meio de um modelo da forma:

$$\gamma(h) = c_0 + Ah^B; \quad 0 < B < 2 \quad (17)$$

O parâmetro  $B$  tem que ser estritamente maior que zero e menor que 2, a fim de garantir que o semivariograma tenha positividade definida condicional.

Segundo Guerra (1988), a determinação do semivariograma é o primeiro passo no procedimento de uma estimativa através da geoestatística. Pode ser considerado como o passo mais importante, porque o modelo variográfico escolhido será utilizado em todo o processo de estimação e influirá em todos os resultados e conclusões.

Segundo Carvalho (1997), os semivariogramas amostrais que apresentam um número razoável de pares no primeiro intervalo têm boa estabilidade.

O grau de dependência espacial das variáveis, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994), pode ser analisado pela relação  $c_0 / (c_0 + c)$ . Considera-se de dependência forte o semivariograma que tiver efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, de dependência moderada, quando a relação estiver entre 25% e 75% e de dependência fraca quando a relação for maior que 75%.

### 2.3.2 Krigagem

O principal interesse da análise geoestatística é a estimativa de valores em locais não amostrados, para um maior detalhamento da área em estudo. Havendo dependência espacial entre as amostras, verificada pelo semivariograma, pode-se interpolar valores em qualquer posição da área em estudo, sem tendência e com variância mínima, pelo processo de interpolação denominado krigagem.

A krigagem é uma técnica de interpolação geoestatística para estimar valores de uma variável em locais onde ela não foi amostrada. Essa estimativa é dada por combinação linear dos valores nos locais amostrados, sendo que pontos próximos têm maior peso na determinação que pontos distantes. Da mesma forma, pontos agrupados têm mais importância que pontos isolados (BORGELT et al., apud CATANEO & ZIMBACK, 1998).

Conforme Phillips & Marks (1996), a krigagem consiste de três passos. Primeiro: examinar a covariação dos valores observados. Todos os possíveis pares de pontos do conjunto de dados são agrupados em classes de distâncias. Segundo: uma curva do modelo do semivariograma é ajustada para estes pontos. Terceiro: este modelo é usado para

determinar os pesos, que, por meio de combinações lineares com os dados observados, irá estimar pontos não amostrados.

O valor interpolado da variável regionalizada  $Z$  no local  $x_0$  é definido por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (18)$$

onde,  $Z^*(x_0)$  é o valor estimado no ponto  $x_0$ ,  $N$  é o número de valores medidos  $Z(x_i)$ , envolvidos na estimativa e  $\lambda_i$  são os pesos associados a cada valor medido  $Z(x_i)$ .

No processo da krigagem, os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial verificada no semivariograma (VIEIRA, 1998). A maneira como os pesos são distribuídos é que torna a krigagem um interpolador ótimo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA et al., 1983):

$$E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0 \quad (19)$$

$$Var[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = E[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2 = \text{mínima} \quad (20)$$

As equações 19 e 20 representam as condições de não tendência e de variância mínima, respectivamente. Estas duas condições devem ser rigorosamente satisfeitas. A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor medido e o estimado, essas diferenças devem ser mínimas.

Submetendo-se o estimador da equação 18 às condições de não-tendência e de variância mínima, chega-se ao sistema de equações da krigagem:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_i, x_j) + \mu = \gamma(x_i, x_0); & i = 1, \dots, N \\ \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (21)$$



cuja solução gera  $N$  pesos,  $\lambda$ , e um multiplicador de Lagrange,  $\mu$ .

Assim, a estimativa da equação 18 pode ser feita e a variância da estimativa  $\sigma_K^2(x_0)$  é calculada por:

$$\sigma_K^2(x_0) = \mu + \sum_{j=1}^N \lambda_j \gamma(x_j, x_0) \quad (22)$$

Dessa maneira, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para qualquer posição  $x_0$ . Estimando-se valores para locais não amostrados, pela krigagem, é possível construir mapas de isolinhas e mapas de superfícies da área em estudo.

Nalder & Wein (1998) observaram que a interpolação por krigagem pode levar a resultados não desejáveis se o número de pontos não for suficiente. Quantidades pequenas de pontos resultam em semivariogramas instáveis, gerando modelos inapropriados.

Melo et al. (2000) verificaram por meio de semivariogramas a variabilidade espacial e a dependência espacial do conteúdo da matéria orgânica em uma área de solo Nitossolo Vermelho Distrófico, nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm.

Farias et al. (2003) avaliaram a variabilidade espacial de produtividade e tamanho de frutos em pomares de laranja irrigados e não irrigados no município de Luiz Antônio – SP e por meio de mapas de isolinhas determinaram as áreas de alta e baixa produtividade dos talhões em estudo.

Por meio de técnicas geoestatísticas, Fietz (1998) detectou e descreveu a variabilidade espacial do armazenamento de água no solo e da lâmina aplicada por um sistema de irrigação por aspersão. O ensaio foi realizado na EMBRAPA/CPAO de Dourados, MS em uma área cultivada com trigo. Por intermédio do mapeamento da área definiu sub-áreas com menor variabilidade de lâmina real necessária e identificou regiões onde a irrigação proporcionou déficit ou excesso hídrico.

Cataneo & Cardim, M. (1999) analisaram a variabilidade espacial e construíram mapas de isolinhas e superfícies do índice de erosividade da chuva, utilizando índices calculados para um conjunto de 125 postos, pertencentes à rede de postos meteorológicos do Estado de São Paulo. O índice de erosividade anual das chuvas apresentou dependência espacial a uma distância relativa a  $4^{\circ}12'$  de coordenada geográfica e o índice de

erosividade do período mais chuvoso do ano apresentou dependência espacial de  $3^{\circ}48'$  de coordenada geográfica.

Cardim, M. et al. (1999a) estudaram a variabilidade espacial da densidade global do solo, por meio da verificação da dependência espacial entre amostras de solo a 30 cm e 60 cm de profundidade. Observaram por meio de mapas de isolinhas e superfícies que houve uma maior concentração de isolinhas e um maior número de picos e depressões a 30 cm de profundidade, indicando que nesta profundidade a variabilidade foi maior.

Cardim, M. et al. (1999b) analisaram a variabilidade espacial da chuva média mensal e média anual, por meio da verificação da dependência espacial entre amostras de 781 postos de precipitação pluviométrica distribuídos pelo Estado de São Paulo, utilizaram uma série histórica de dados padronizados para 28 anos. Pelos mapas de isolinhas observaram que: os dados de chuvas mensais e anual para o interior de São Paulo sofrem variações diferentes da região litorânea; o período de dezembro a março apresentam os maiores índices de chuvas; no período de novembro a abril existe tendência de maior quantidade de chuvas ao Norte do Estado; no período de maio a setembro a situação se inverte com chuvas em maior quantidade no Sul.

## **2.4 Validação Cruzada**

Sempre existe um certo grau de incerteza sobre os valores calculados durante a análise geostatística. De acordo com Isaaks & Shrivastava (1989), esta incerteza representa o erro da estimativa que pode ser avaliado pelo processo denominado de validação cruzada, que consiste em estimar valores em cada ponto medido. Realiza-se esta estimativa excluindo um ponto do conjunto original de dados e estima-se o valor da variável para aquele ponto a partir dos restantes, utilizando-se a krigagem. Retorna-se o ponto ao conjunto e retira-se o seguinte, repetindo o processo para todos os pontos amostrados. Para cada ponto é possível então obter o erro de estimação e padronizá-lo pelo desvio padrão da estimação. Espera-se que o conjunto dos erros padronizados tenha distribuição normal de média zero e variância unitária.

Segundo Ribeiro Júnior (1995), a validação cruzada não está avaliando simplesmente o modelo escolhido para o semivariograma. Toda a modelagem do processo estocástico em questão está sendo posta a prova. Isto inclui a decisão de estacionaridade, os estimadores utilizados, o tratamento dos dados atípicos, o modelo de semivariograma adotado e a decisão relativa à anisotropia.

Alguns critérios segundo Dubrule (1983), Wackernagel (1995) e Cressie (1993), apud Melem (2002), podem ser utilizados para avaliar a qualidade das estimativas  $Z(x_i)$ , através dos erros de estimação de cada valor ( $E(x_i)$ ):

$$E(x_i) = Z(x_i) - \hat{Z}(x_i) \quad (23)$$

Segundo Wackernagel (1995), a média dos erros deve ser próxima de zero:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)] \cong 0 \quad (24)$$

e que a média do quadrado dos erros padronizados é aproximadamente um:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2}{s_E^2(x_i)} \cong 1 \quad (25)$$

onde o desvio padrão de krigagem  $s_E(x_i)$  representa o erro do valor estimado pelo modelo quando a krigagem é feita para a localização  $x_i$  (omitindo o valor amostral da localização  $x_i$ ).

De acordo com Uzunaki (1994), o gráfico dos erros ( $E(x_i)$ ) “versus” os valores estimados ( $\hat{Z}(x_i)$ ) deverá ser centrado ao redor da linha zero, além disso, o gráfico deverá ter uma dispersão por igual, isto é, a variância do erro deverá depender da grandeza do valor.

A regressão linear entre os pares de valores medidos  $Z(x_i)$  e estimados  $\hat{Z}(x_i)$  de cada ponto amostrado, é dada pela equação:

$$\hat{Z}(x_i) = a + bZ(x_i) \quad (26)$$

onde:  $a$  é o coeficiente linear e  $b$  é o coeficiente angular da regressão.

Quando todos os valores estimados for idênticos aos medidos, o coeficiente de correlação será de 100% e o gráfico de dispersão terá os pontos exatamente sobre a reta 1:1, neste caso os valores de  $a$  será nulo e o de  $b$  unitário.

## 2.5 Mapeamento Multivariado da Temperatura e Precipitação

Cardim, M. (2001) utilizando dados de altitude e dados médios mensais de precipitação e temperatura do ar de 117 postos meteorológicos distribuídos pelo Estado de São Paulo, gerou os índices climáticos (térmico, pluviométrico e pluviotérmico).

Para a geração dos índices climáticos, inicialmente as variáveis originais foram padronizadas a fim de reduzi-las a uma mesma unidade. Padronizadas, as variáveis foram submetidas à análise dos componentes principais, sendo que o objetivo dessa análise é reduzir o número de variáveis.

As 25 variáveis iniciais foram reduzidas em três novas variáveis, que são os três primeiros componentes principais, sendo que o primeiro componente principal reteve 57,20% da informação contida no conjunto das 25 variáveis, o segundo e o terceiro componente principal reteve, respectivamente, 26,18% e 5,88% da informação total.

Sobre os três componentes retidos foi, aplicada a rotação de fatores, conhecida como varimax ou máxima variância, que fornece fatores ortogonalmente independentes. A Tabela 3 mostra os resultados da análise dos componentes principais, após rotação varimax.

Ocorreu diminuição da explicação retida no primeiro fator passando de 57,20% para 53,33% e houve um aumento, na proporção da variância explicada nos dois fatores seguintes, passando de 26,18% para 26,75%, no segundo fator e de 5,88% para 10,03%, no terceiro fator. O fator 3 apresentou somente um coeficiente maior que o valor absoluto 0,79, por isso esse fator não foi considerado na determinação dos índices climáticos.

**Tabela 3.** Resultado da análise dos componentes principais, após rotação Varimax.

Variável	Símbolo	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Altitude	A01	<u>-0.87639</u>	0.34116	0.17067
Chuva de Janeiro	CH01	-0.17371	<u>0.91740</u>	0.09042
Chuva de Fevereiro	CH02	-0.27306	<u>0.82921</u>	0.10008
Chuva de Março	CH03	-0.34012	<u>0.82220</u>	0.27198
Chuva de Abril	CH04	-0.14540	0.03866	<u>0.82372</u>
Chuva de Maio	CH05	-0.24248	-0.62266	0.61276
Chuva de Junho	CH06	-0.31621	<u>-0.81086</u>	0.36612
Chuva de Julho	CH07	-0.37143	<u>-0.79961</u>	0.38175
Chuva de Agosto	CH08	-0.63554	-0.63802	0.32154
Chuva de Setembro	CH09	-0.61909	-0.54763	0.40351
Chuva de Outubro	CH10	-0.41298	0.14580	0.66249
Chuva de Novembro	CH11	-0.00707	<u>0.93587</u>	0.12434
Chuva de Dezembro	CH12	-0.16129	<u>0.92887</u>	0.01493
Temperatura de Janeiro	TE01	<u>0.95458</u>	-0.21264	-0.16348
Temperatura de Fevereiro	TE02	<u>0.94921</u>	-0.23354	-0.16254
Temperatura de Março	TE03	<u>0.96186</u>	-0.16737	-0.15730
Temperatura de Abril	TE04	<u>0.97688</u>	-0.04379	-0.16241
Temperatura de Maio	TE05	<u>0.98331</u>	0.01183	-0.16362
Temperatura de Junho	TE06	<u>0.96776</u>	0.08224	-0.17356
Temperatura de Julho	TE07	<u>0.97446</u>	0.08869	-0.16952
Temperatura de Agosto	TE08	<u>0.97225</u>	0.12514	-0.16876
Temperatura de Setembro	TE09	<u>0.96401</u>	0.17447	-0.16788
Temperatura de Outubro	TE10	<u>0.97474</u>	0.12552	-0.16878
Temperatura de Novembro	TE11	<u>0.98382</u>	-0.00818	-0.16341
Temperatura de Dezembro	TE12	<u>0.97751</u>	-0.09146	-0.17341
% da variância		54.33	26.76	10.03
% da variância acumulada		54.33	81.09	91.12

Fonte: Cardim, M. (2001).

O fator 1 representa o índice térmico ( $I_t$ ), tendo 12 coeficientes de temperatura sustentando positivamente e um coeficiente de altitude sustentando negativamente as maiores proporções de variância dessas variáveis.

$$\begin{aligned}
 I_t = & -0.87639 \times A01 + 0.95458 \times TE01 + 0.94921 \times TE02 + 0.96186 \times TE03 + \\
 & + 0.97688 \times TE04 + 0.98331 \times TE05 + 0.96776 \times TE06 + 0.97446 \times TE07 + \\
 & + 0.97225 \times TE08 + 0.96401 \times TE09 + 0.97474 \times TE10 + 0.98382 \times TE11 + \\
 & + 0.97751 \times TE12
 \end{aligned} \tag{27}$$

O fator 2 representa o índice pluviométrico ( $I_p$ ), tendo 7 coeficientes de precipitação sustentando as maiores proporções de variância dessas variáveis.

$$\begin{aligned}
 I_p = & 0.91740 \times CH01 + 0.82921 \times CH02 + 0.82220 \times CH03 - 0.81086 \times CH06 - \\
 & - 0.79961 \times CH07 + 0.93587 \times CH11 + 0.92887 \times CH12
 \end{aligned} \tag{28}$$

O índice pluviotérmico ( $I_{pt}$ ) foi gerado pela composição dos índices térmico e pluviométrico.

$$I_{pt} = I_p + I_t \tag{29}$$

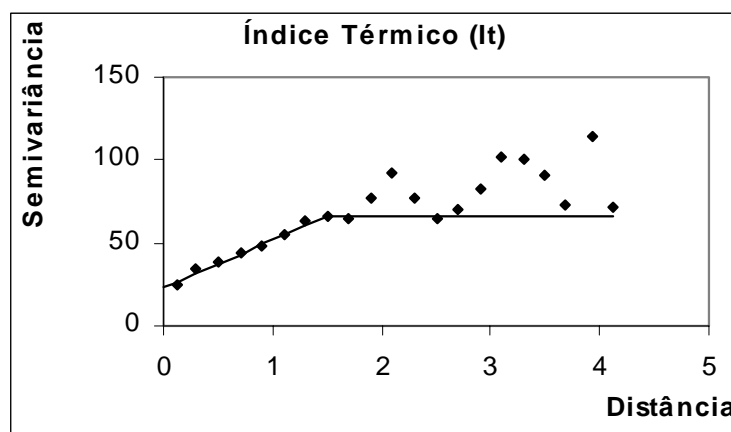
O índice pluviotérmico, por ser a soma dos índices térmico e pluviométrico, leva em consideração as variáveis com maior proporção de variância, tanto do primeiro quanto do segundo fator, representando, assim, uma classificação climática na sua totalidade. Já os índices térmico e pluviométrico representam classificações climáticas individualizadas para a temperatura e para a precipitação, respectivamente.

Em seguida, os índices climáticos foram submetidos à análise geoestatística, onde Cardim, M. (2001) verificou, por semivariogramas, a dependência espacial dos índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico, e, em seguida, fez o mapeamento dos referidos índices utilizando a interpolação geoestatística krigagem.

A construção dos mapas de isolinhas dos índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico, limitou-se à região do Estado de São Paulo compreendida entre as coordenadas geográficas: 46,43 a 51,85 graus de longitude e  $-23,96$  a  $-20,05$  graus de latitude.

Para cada um dos três índices climáticos, precedeu-se o ajuste pelo modelo linear.

A Figura 3 mostra o semivariograma experimental para o índice térmico, apresentando efeito pepita  $c_0 = 23$ , variabilidade total ou patamar  $c_0 + c = 63$  e alcance da dependência espacial  $a = 1,4$  graus de coordenadas georreferenciadas.



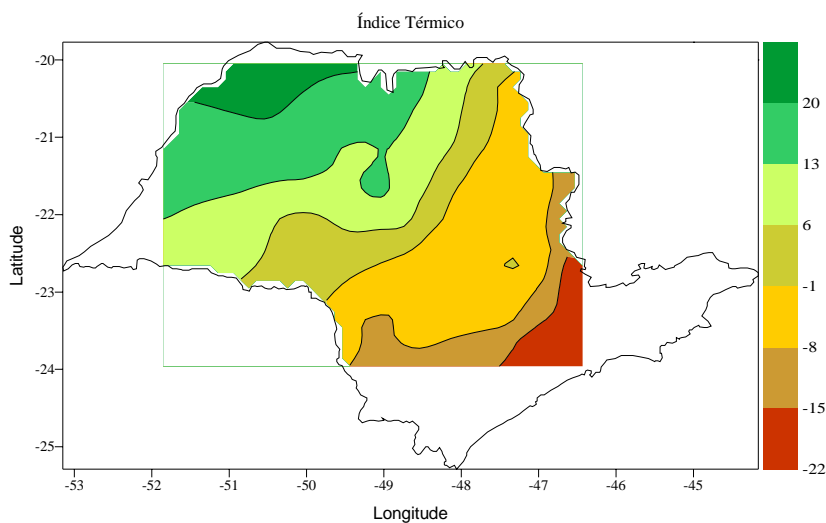
**Figura 3.** Semivariograma do índice térmico.

Fonte: Cardim, M. (2001).

A Figura 4 mostra a distribuição espacial dos valores climáticos para o índice térmico. O autor verificou que os valores do índice térmico aumentam de Sudeste para Noroeste, mostrando que este índice é função da longitude, latitude e altitude.

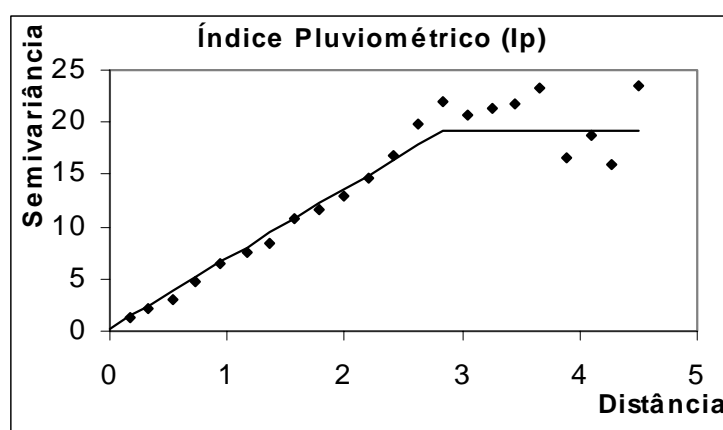
Observou-se, também, que a altitude influi negativamente no índice térmico, com coeficiente de correlação  $-0,89$ , sendo que um aumento na altitude provoca diminuição no índice térmico. O mesmo acontece com a longitude, apresentando um coeficiente de correlação igual a  $-0,70$ . Já a latitude tem influência positiva, com coeficiente de correlação  $0,67$ . Um aumento nesta coordenada provoca um aumento no índice térmico.

A Figura 5 mostra o semivariograma experimental para o índice pluviométrico, apresentando efeito pepita  $c_0 = 0,3$ , variabilidade total ou patamar  $c_0 + c = 18,3$  e alcance da dependência espacial  $a = 2,7$  graus de coordenadas georreferenciadas.



**Figura 4.** Isolinhas do índice térmico.

Fonte: Cardim, M. (2001).



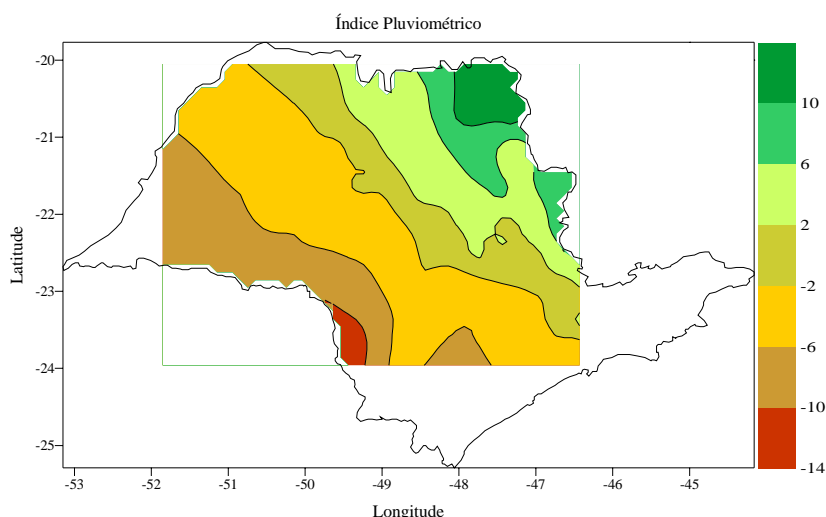
**Figura 5.** Semivariograma do índice pluviométrico.

Fonte: Cardim, M. (2001).



A Figura 6 apresenta a distribuição espacial dos valores climáticos para o índice pluviométrico. Cardim, M. (2001), verificou que o índice pluviométrico aumenta do Sudoeste para Nordeste, mostrando que este índice é função, principalmente da latitude, com coeficiente de correlação 0,572. A longitude teve menor influência do que a latitude, com coeficiente de correlação 0,495. A altitude exerce menos influência que ambas, latitude e longitude, com coeficiente de correlação igual a 0,36.

A Figura 7 mostra o semivariograma experimental para o índice pluviométrico, apresentando efeito pepita  $c_0 = 11$ , patamar  $c_0 + c = 131$  e alcance da dependência espacial  $a = 2,3$  graus de coordenadas georreferenciadas.



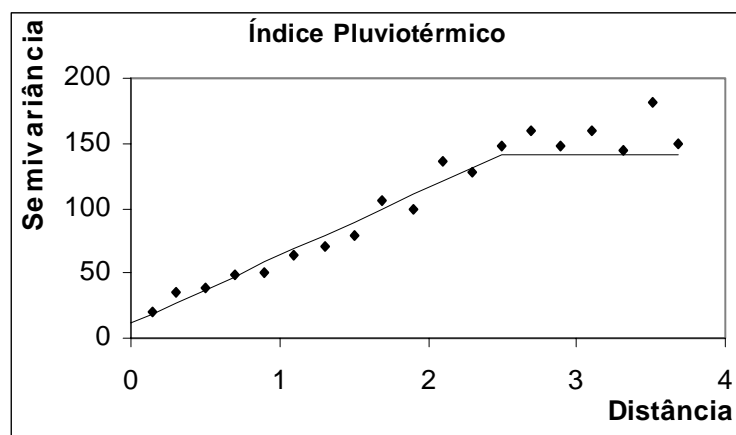
**Figura 6.** Isolinhas do índice pluviométrico.

Fonte: Cardim, M. (2001).

O mapa de isolinhas do índice pluviométrico (Figura 8), tem uma certa predominância a aumentar de Sudeste para Noroeste, com algumas regiões fechadas, provocadas pela influência das precipitações. Suas características aproximam-se mais do mapa de isolinhas de temperatura (Figura 4), uma vez que este teve maior explicação da variabilidade retida.

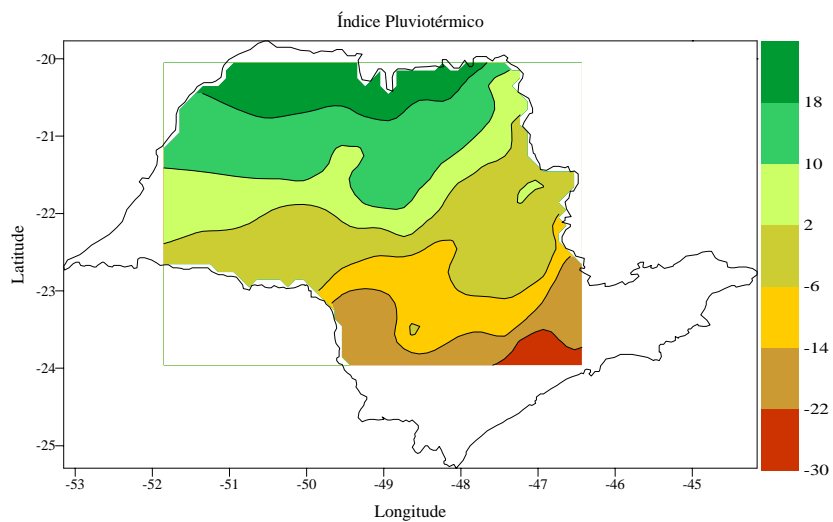
De acordo com Cardim, M. (2001), por ser o mapa do índice pluviométrico o que sintetiza os efeitos de temperatura e precipitação, ele pode ser utilizado na

escolha de culturas, além de se constituir em referência para maior parte dos trabalhos de manejo e condução da agricultura e das reservas naturais da região estudada.



**Figura 7.** Semivariograma do índice pluviotérmico.

Fonte: Cardim, M. (2001).



**Figura 8.** Isolinhas do índice pluviotérmico.

Fonte: Cardim, M. (2001).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente trabalho referem-se à produtividade média anual das culturas do arroz, feijão, milho e café, medidas em kg/ha (quilogramas por hectare), do Estado de São Paulo. Esses dados foram levantados junto ao IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

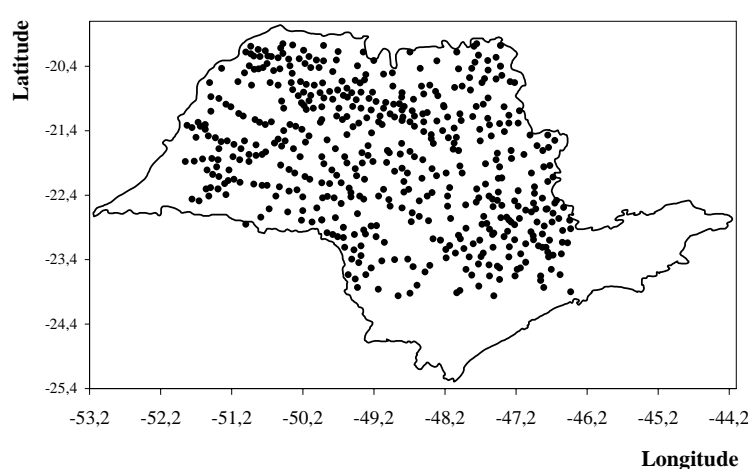
Estudou-se a produtividade média anual de cada cultura nas décadas de 70, 80 e 90, georreferenciadas por municípios, por meio das coordenadas geográficas longitude e latitude.

Foram utilizados os municípios compreendidos entre as coordenadas geográficas: 46,43 a 51,85° de longitude e -23,96 a -20,05° de latitude. Utilizou-se esta região do Estado, visto que os mapas dos índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico obtidos pelo comportamento multivariado da temperatura e precipitação média no Estado de São Paulo, (CARDIM, M. 2001), pelo qual foram correlacionados com o mapeamento da produtividade média das culturas e décadas em estudo, foram realizados nesta região.

Eliminou-se da análise os municípios que apresentaram valores de produtividade média anual discrepantes nos extremos.

Para a cultura do arroz, na década de 70, foram eliminados da análise os municípios de Vargem Grande do Sul e Riversul por apresentarem produtividades maiores que 1.700 kg/ha, sendo analisados neste período dados de produtividade de 456 municípios. Na década de 80, foram analisados 464 municípios e na década de 90 foram analisados 499

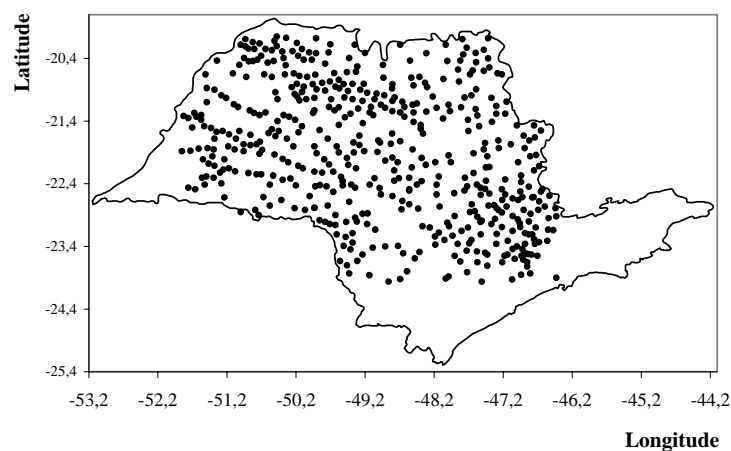
municípios, sendo eliminados os municípios de Tarumã, Campinas, Iguazu do Tietê, Vargem Grande Paulista, Vargem Grande do Sul, Pedrinhas Paulista, Jaú, Florínia e Cosmópolis por apresentarem produtividades maiores que 3.000 kg/ha e os municípios de Bastos, Iacri e Pirapora do Bom Jesus por apresentarem produtividades menores que 600kg/ha. A Figura 9 mostra a localização dos 499 municípios que foram utilizados na análise da cultura do arroz na década de 90.



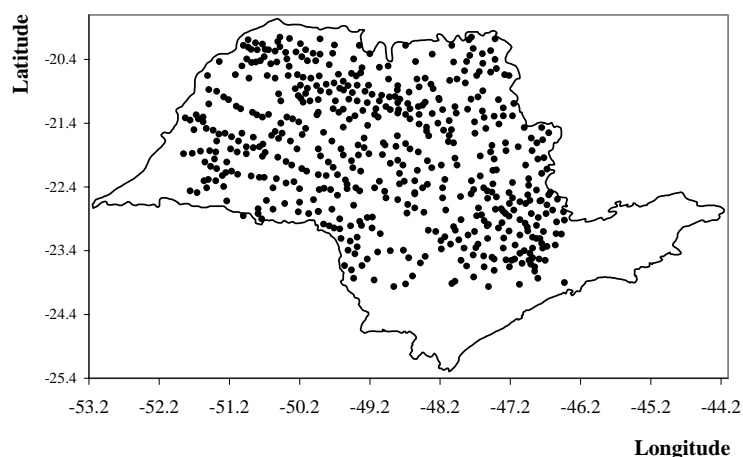
**Figura 9.** Localização dos 499 municípios produtores de arroz na década de 90.

Para a cultura do feijão, na década de 70, foram analisados dados de produtividade média de 465 municípios; na década de 80, foram analisados 470 municípios sendo eliminados os municípios de Cajamar e Orlândia por apresentarem produtividades maiores que 1.700 kg/ha e, na década de 90, analisou-se 501 municípios. A Figura 10 mostra a localização dos 501 municípios utilizados na análise da cultura do feijão na década de 90.

Para a cultura do milho, foram analisados, na década de 70, dados de produtividade de 471 municípios eliminando das análises o município de Paulínia por apresentar produtividade superior a 7.100 kg/ha; na década de 80, foram analisados 474 municípios eliminado-se das análises o município de Carapicuíba por apresentar produtividade menor que 600 kg/ha. Na década de 90 foram analisados dados de produtividade de 520 municípios. A Figura 11 mostra a localização dos 520 municípios que foram utilizados na análise da cultura do milho na década de 90.

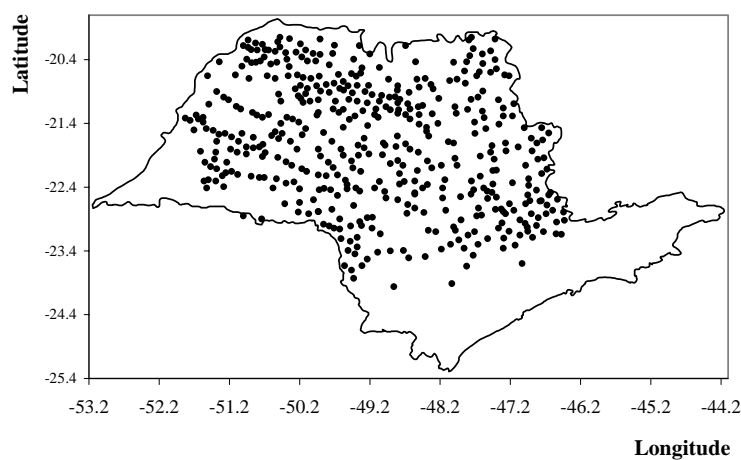


**Figura 10.** Localização dos 501 municípios produtores de feijão na década de 90.



**Figura 11.** Localização dos 520 municípios produtores de milho na década de 90.

Para a cultura do café, na década de 70, foram analisados dados de produtividade de 429 municípios sendo eliminados das análises os municípios de Cristais Paulista, Elias Fausto, Franca, Itirapuã, Patrocinio Paulista, Restinga, Ribeirão Corrente e São José da Bela Vista por apresentarem produtividades superiores a 2500 kg/ha; nas décadas de 80 e 90 foram analisados 427 e 450 municípios, respectivamente. A Figura 12 mostra a localização dos 450 municípios utilizados na análise da cultura do café na década de 90.



**Figura 12.** Localização dos 450 municípios produtores de café na década de 90.

O software GS+ V. 5.0.3 para Windows foi utilizado nas análises da Estatística Descritiva, nas estimativas dos valores para a validação cruzada, no cálculo das semivariâncias, no cálculo dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados e na construção dos gráficos do histograma, da validação cruzada e dos semivariogramas.

O software Surfer 6.01 – Surface mapping system (Surfer, 1995), foi utilizado para realizar estimativas para pontos não amostrados dentro da área em estudo e na construção dos mapas de isolinhas.

Inicialmente os dados foram analisados por meio da Estatística Descritiva, onde as Estatísticas (média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo, assimetria e curtose) foram calculadas para cada cultura e década em estudo. Esta etapa teve como propósito visualizar o comportamento geral dos dados e identificar valores discrepantes.

As médias e os desvios padrões foram calculados conforme as equações 1 e 3, respectivamente.

Com o intuito de verificar a normalidade dos dados foram calculados os coeficientes de assimetria (equação 5) e curtose (equação 6), verificando se estes coeficientes se aproximaram de zero e três, respectivamente. Valores próximos de zero para a assimetria e três para a curtose indicam que os dados seguem uma distribuição próxima da normal.

Realizou-se a análise de distribuição de frequência, elaborando histogramas dos dados que possibilitaram uma avaliação visual da distribuição destes.

Por meio da geoestatística foi possível analisar a variabilidade espacial da produtividade média anual das culturas do arroz, feijão, milho e café em cada uma das décadas analisadas. Por meio da função do semivariograma (equação 11) calculou-se as estimativas das semivariâncias e verificou-se a dependência espacial para cada cultura e década analisada.

Detectada a dependência espacial da produtividade média anual para cada uma das culturas e década estudada, pelo semivariograma experimental, ajustaram-se estes por meio do modelo esférico (equação 14) ou por meio do modelo exponencial (equação 15). O modelo a qual é ajustado o semivariograma é escolhido previamente pelo software GS+ V. 5.0.3 para Windows. A escolha se dá pelo menor valor da soma dos quadrados residual (RSS – Residual Sums of Squares).

Por meio da técnica de validação cruzada ou “cross-validation” foram avaliadas as estimativas realizadas pela geoestatística. Cada valor observado foi eliminado e então este valor foi estimado usando-se informações dos dados restantes, segundo método descrito por Kane et al. (1982) e Goovaerts (1997), apud Zimback (2001).

A média dos erros entre os valores observados e os valores estimados (equação 24) deve ser próxima de 0 (zero) e a média do quadrado dos erros padronizados (equação 25) próximo de 1 (um), para a validação dos modelos do semivariograma.

Os gráficos de dispersão entre os valores estimados “*versus*” os valores observados obtido pela regressão linear (equação 26) permitiram uma análise visual do resultado da validação cruzada.

Com os semivariogramas ajustados, estimou-se valores para pontos não amostrados, por meio do processo de interpolação por krigagem, utilizando-se a equação 18. A região estudada foi dividida em uma grade retangular de 10 em 10 minutos de coordenadas geográficas, totalizando 1.747 pontos.

A partir dos valores obtidos pela krigagem, nesses 1.747 pontos, foram traçados os mapas de isolinhas para cada uma das quatro culturas e décadas analisadas.

Os valores dos índices térmico, pluviométrico e pluviotérmico obtidos pelo comportamento multivariado da temperatura e precipitação média no Estado de São

Paulo por Cardim, M. (2001) foram utilizados, para estimar, também pela técnica de krigagem, valores nas mesmas coordenadas geográficas a qual foram estimados os valores da produtividade média anual de cada cultura e década analisada, totalizando também para os índices climáticos 1.747 pontos.

Os coeficientes de correlação entre a produtividade média anual de cada cultura e década em estudo e os índices climáticos (térmico, pluviométrico e pluviotérmico) foram obtidos por meio dos valores estimados nos 1.747 pontos, utilizando-se a equação 8.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análise da Normalidade dos Dados**

Na Tabela 4, têm-se as principais Estatísticas Descritivas da produtividade média anual das culturas do arroz, feijão, milho e café, em cada década analisada.

Uma distribuição próxima da normal, têm coeficientes de assimetria e curtose próximos de 0 (zero) e 3 (três), respectivamente. Para todas as culturas e décadas analisadas, o coeficiente de assimetria indica um comportamento próximo do simétrico (levemente positivo) e o coeficiente de curtose indica uma distribuição próxima da normal, apresentando uma curva platicúrtica para as culturas do arroz e café na década de 70 e para a cultura do milho na década de 80, e uma curva leptocúrtica para as culturas do feijão e milho na década de 70, para as culturas do arroz, feijão e café na década de 80 e para todas as culturas na década de 90.

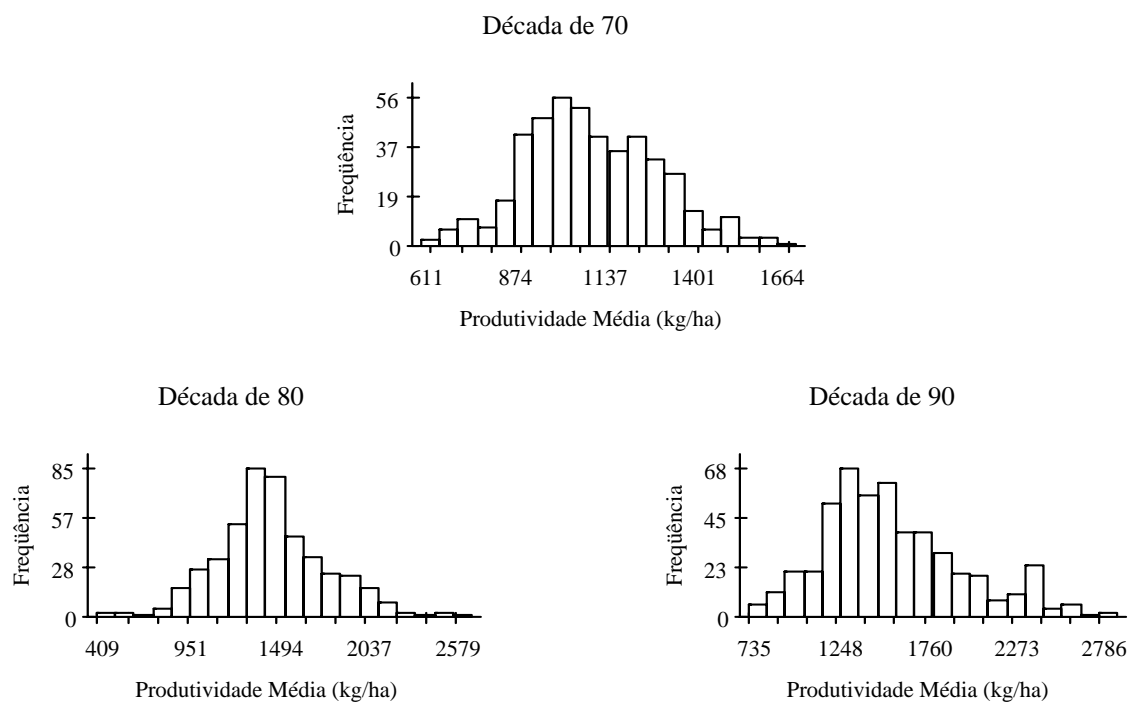
**Tabela 4.** Estatísticas da produtividade média anual (kg/ha) das culturas em estudo nas três décadas analisadas.

	Cultura	N	Média	Mínimo	Máximo	Mediana	DP	Assimetria	Curtose
Década de 70	Arroz	456	1.088	610	1.664	1.065	193	0,26	2,80
	Feijão	465	564	120	1.125	542	182	0,44	3,39
	Milho	471	1.988	950	3.290	1.959	400	0,34	3,15
	Café	429	1.211	373	2.215	1.175	354	0,41	2,80
Década de 80	Arroz	464	1.418	409	2.580	1.390	328	0,29	3,59
	Feijão	470	739	246	1.606	695	263	0,94	3,97
	Milho	474	2.438	1.375	3.750	2.428	465	0,25	2,55
	Café	433	1.110	200	2.500	1.050	373	0,65	3,41
Década de 90	Arroz	499	1.532	735	2.785	1.470	410	0,68	3,10
	Feijão	501	923	301	1.978	877	315	0,88	3,60
	Milho	520	2.776	1.123	5.018	2.754	626	0,42	3,90
	Café	450	1.224	340	2.582	1.174	438	0,71	3,24

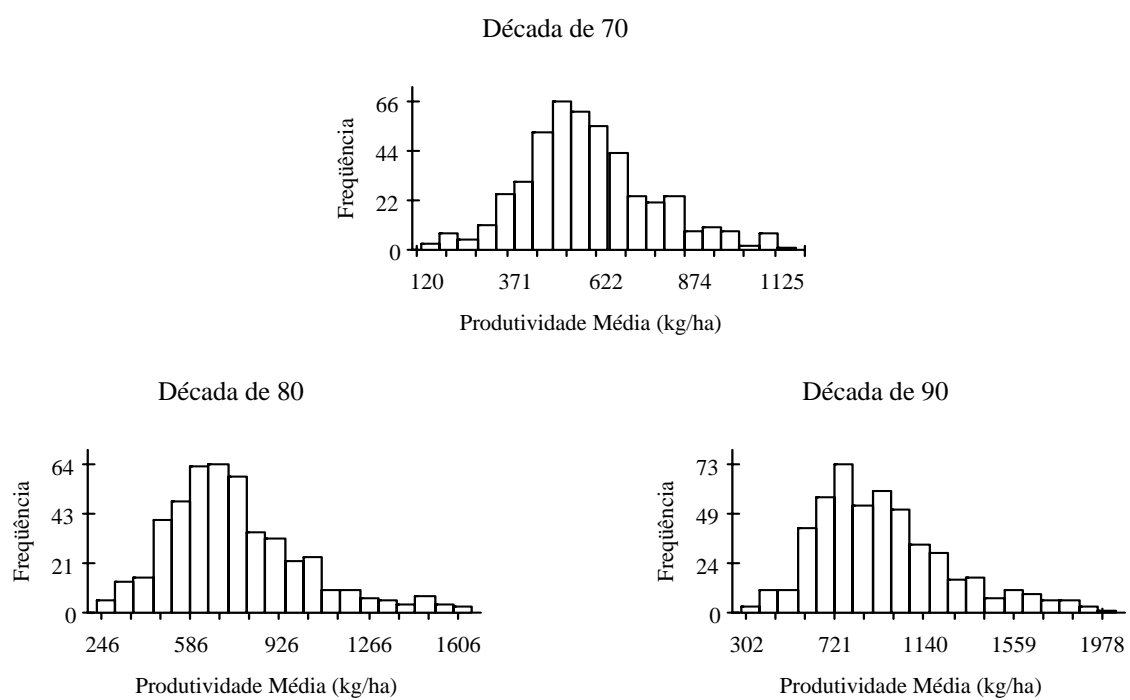
N: número de municípios; DP: desvio padrão.

As Figuras de 13 a 16 apresentam por meio de histogramas o comportamento da produtividade média anual nas décadas de 70, 80 e 90 das culturas de arroz, feijão, milho e café, respectivamente.

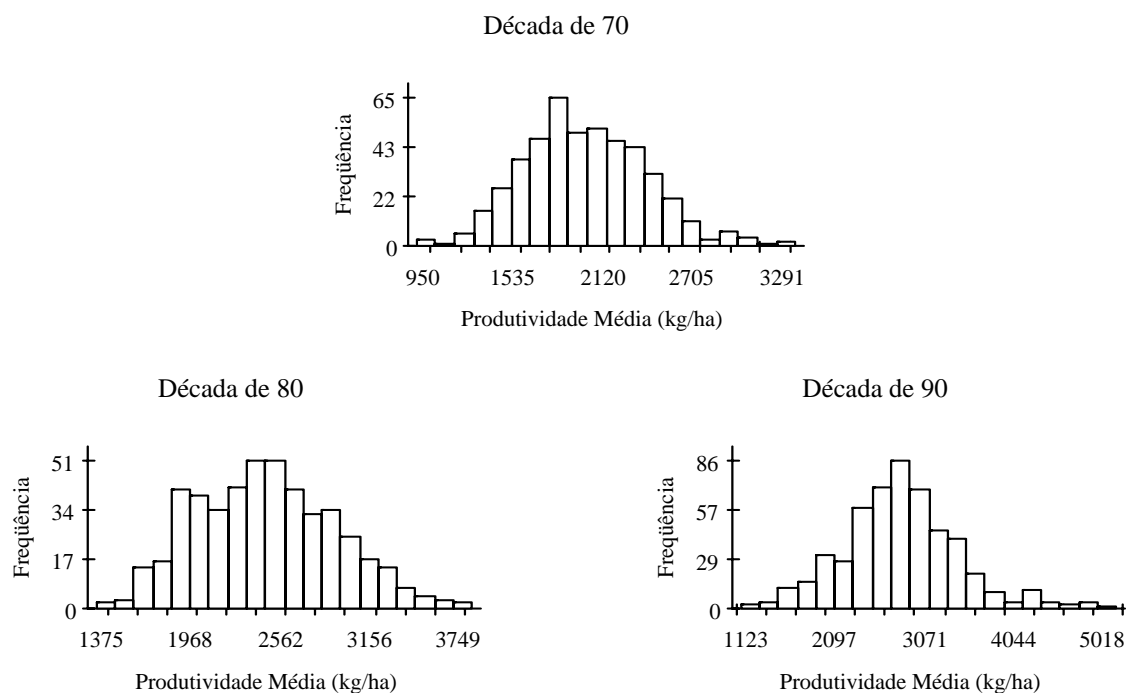
Observa-se, também pelos histogramas, que as culturas do arroz, feijão, milho e café, nas três décadas analisadas, possuem um comportamento próximo da distribuição normal, permitindo, assim, aplicar com maior segurança as técnicas de geoestatística.



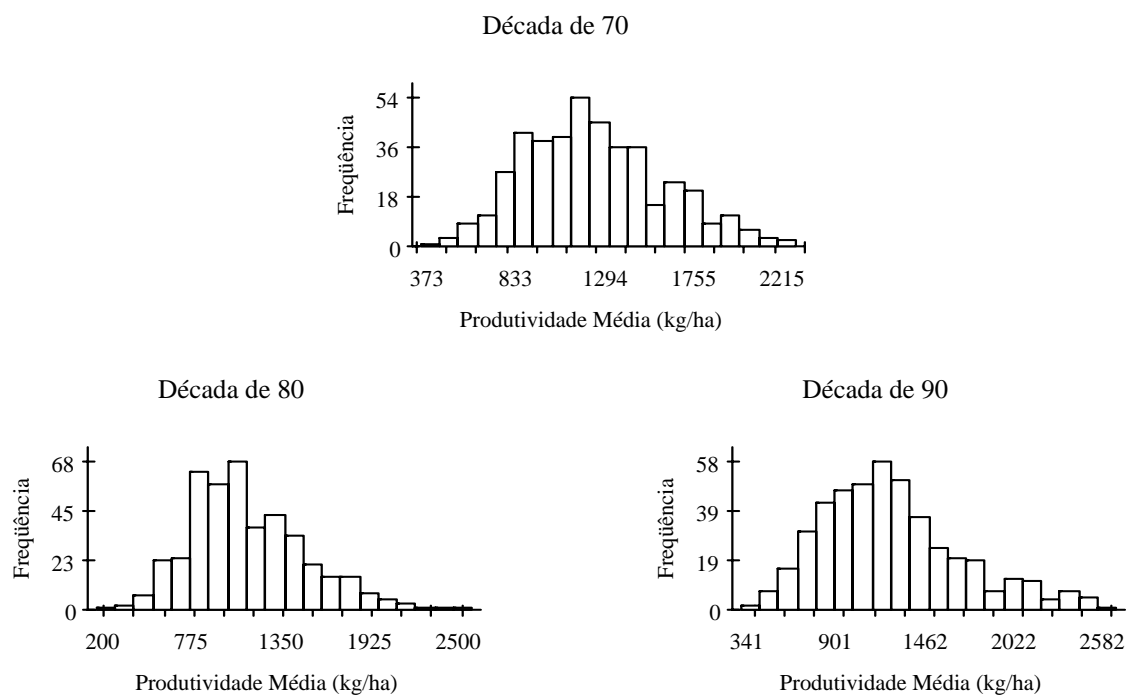
**Figura 13.** Histogramas de produtividade média anual do arroz nas décadas de 70, 80 e 90.



**Figura 14.** Histogramas de produtividade média anual do feijão nas décadas de 70, 80 e 90.



**Figura 15.** Histogramas de produtividade média anual do milho nas décadas de 70, 80 e 90.



**Figura 16.** Histogramas de produtividade média anual do café nas décadas de 70, 80 e 90.

## **4.2 Análise da Dependência Espacial**

O primeiro passo no procedimento da análise geoestatística foi a verificação da dependência espacial entre as amostras, para isto obteve-se, inicialmente, as semivariâncias na qual foram utilizadas na construção dos gráficos dos semivariogramas experimentais, sendo estes ajustado por um dos modelo matemáticos existentes (linear, esférico, exponencial, gaussiano). O modelo a qual é ajustado o semivariograma é escolhido previamente pelo software GS+ V. 5.0.3 para Windows. A escolha se dá pelo menor valor da soma dos quadrados residual (RSS – Residual Sums of Squares).

A produtividade média anual de todas as culturas e décadas analisadas comportam-se como um fenômeno isotrópico, pois foram analisados semivariogramas em várias direções e todos eles apresentaram o mesmo comportamento, indicando que a direção não é importante na geração das semivariâncias. Assim, a análise do semivariograma em uma única direção é suficiente para o estudo da dependência espacial.

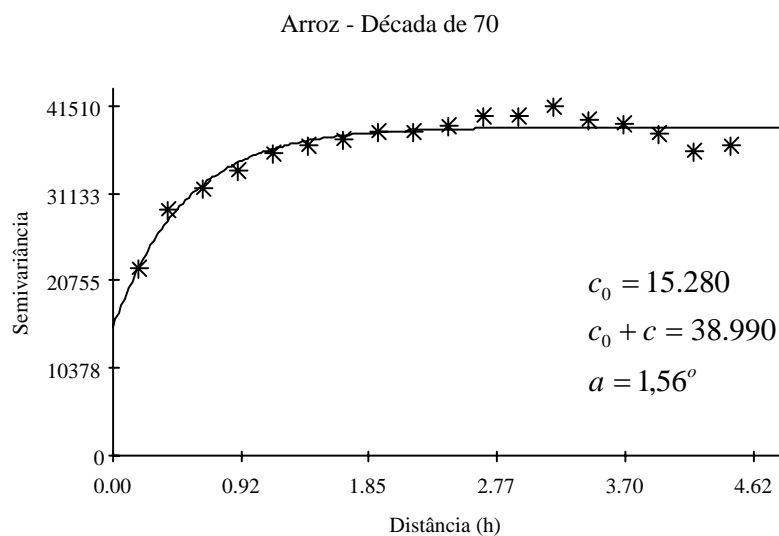
### **4.2.1 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Arroz**

Os semivariogramas para produtividade média anual da cultura do arroz tiveram seu ajuste, para todas as décadas analisadas, por meio do modelo exponencial.

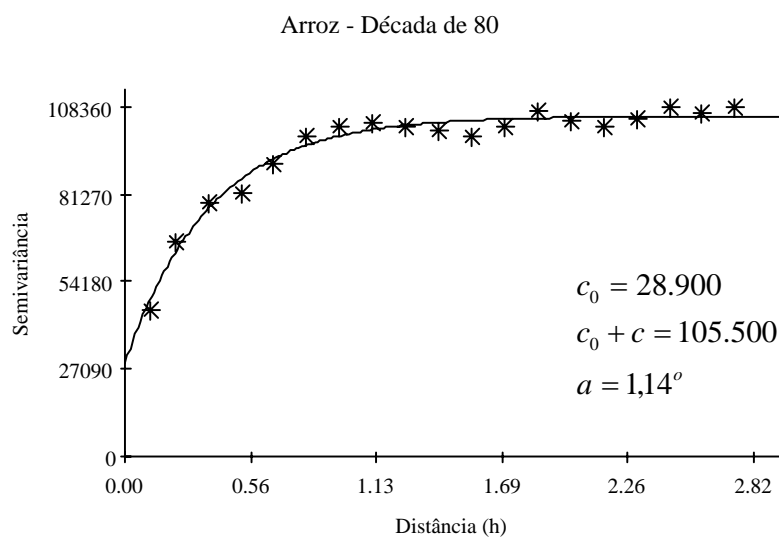
Para todas as décadas os semivariogramas para produtividade média anual da cultura do arroz revelaram a existência de correlação espacial.

A Figura 17 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do arroz na década de 70, apresentando os seguintes parâmetros: efeito pepita de 15.280, variabilidade total ou patamar de 38.990 e alcance da dependência espacial de 1,56 graus de coordenadas georreferenciadas.

A Figura 18 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do arroz na década de 80, apresentando os seguintes parâmetros: efeito pepita de 28.900, variabilidade total ou patamar de 105.500 e alcance da dependência espacial de 1,14 graus de coordenadas georreferenciadas.

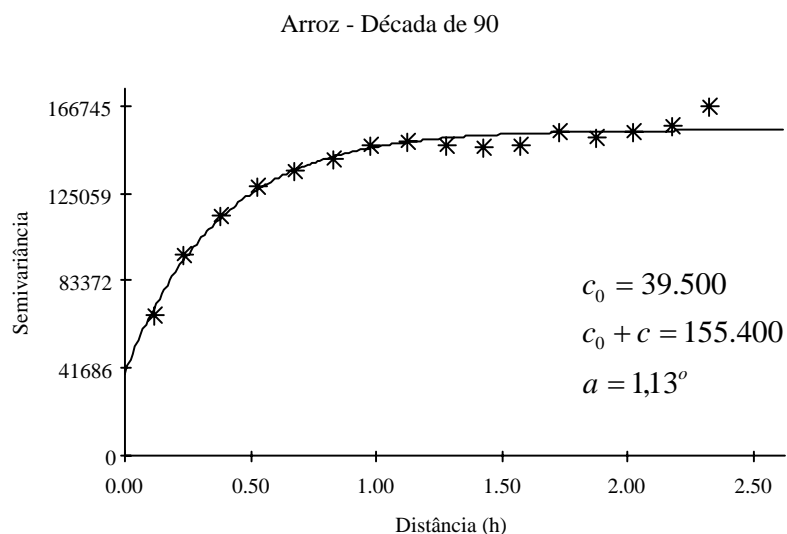


**Figura 17.** Semivariograma de produtividade média anual do arroz na década de 70



**Figura 18.** Semivariograma de produtividade média anual do arroz na década de 80

A Figura 19 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do arroz na década de 90, apresentando os seguintes parâmetros: efeito pepita de 39.500, variabilidade total ou patamar de 155.400 e alcance da dependência espacial de 1,13 graus de coordenadas georreferenciadas.



**Figura 19.** Semivariograma de produtividade média anual do arroz na década de 90

O alcance da dependência espacial é um parâmetro que fornece informações de muita utilidade prática, pois representa a distância em que os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que aqueles localizados fora desta área.

A produtividade média anual da cultura do arroz apresentou um maior alcance da dependência espacial na década de 70 (1,56 graus de coordenadas) e bem próximos nas décadas de 80 e 90 (1,14 e 1,13 graus de coordenadas, respectivamente), ou seja, amostragens realizadas a distâncias maiores que estas podem ser consideradas independentes entre si. Por outro lado, locais separados por distâncias menores que estas apresentam dependência espacial e permitem que se façam interpolações para espaçamentos menores que o amostrado.

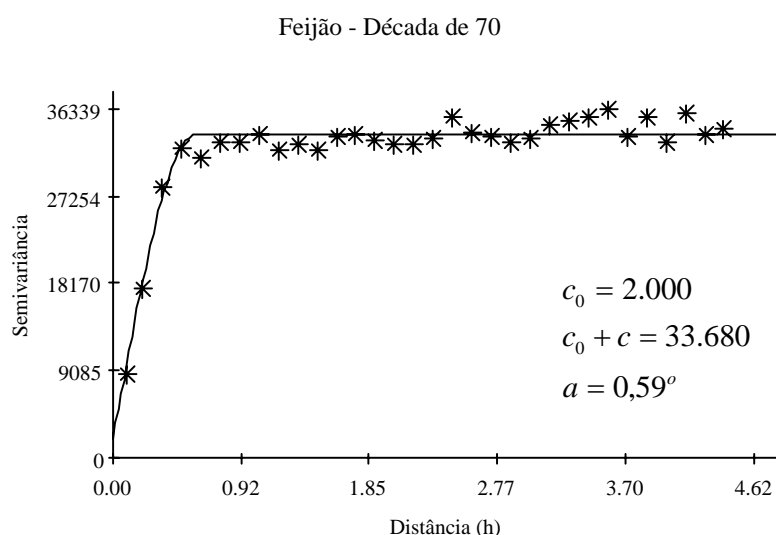
Segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do arroz nas décadas de 70, 80 e 90 apresentaram uma dependência espacial moderada, apresentando um efeito pepita/patamar de 38,19%, 27,39% e 25,42%, respectivamente. Para se ter maior confiança nas estimativas, é desejável que os valores dessa relação sejam pequenos, pois quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a continuidade do fenômeno e menor a variância da estimativa.

#### 4.2.2 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Feijão

O semivariograma de produtividade média anual da cultura do feijão, na década de 70, teve seu ajuste por meio do modelo esférico, enquanto que para as décadas de 80 e 90 o ajuste se deu por meio do modelo exponencial.

Os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do feijão revelaram a existência de correlação espacial em todas as décadas analisadas.

A Figura 20 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 70, apresentando os seguintes parâmetros: efeito pepita de 2.000, variabilidade total ou patamar de 33.680 e alcance da dependência espacial de 0,59 graus de coordenadas georreferenciadas.



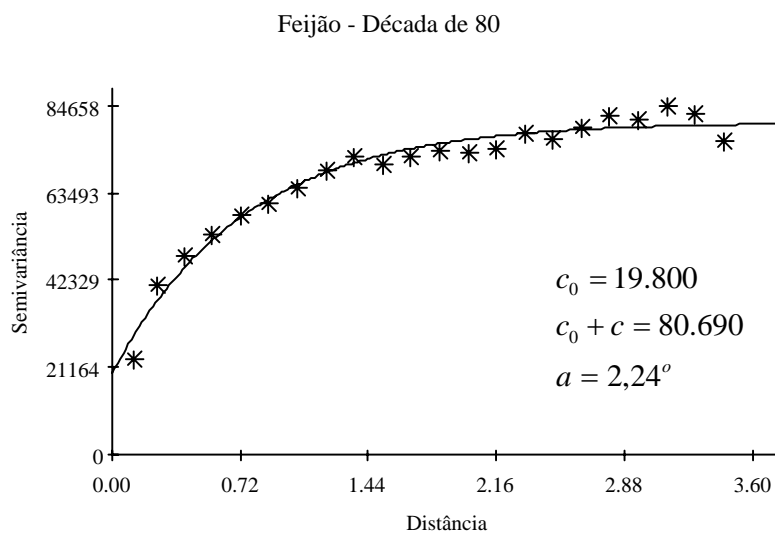
**Figura 20.** Semivariograma de produtividade média anual do feijão na década de 70.

A Figura 21 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 80, apresentando os seguintes parâmetros: efeito pepita de 19.800, variabilidade total ou patamar de 80.690 e alcance da dependência espacial de 2,24 graus de coordenadas georreferenciadas.

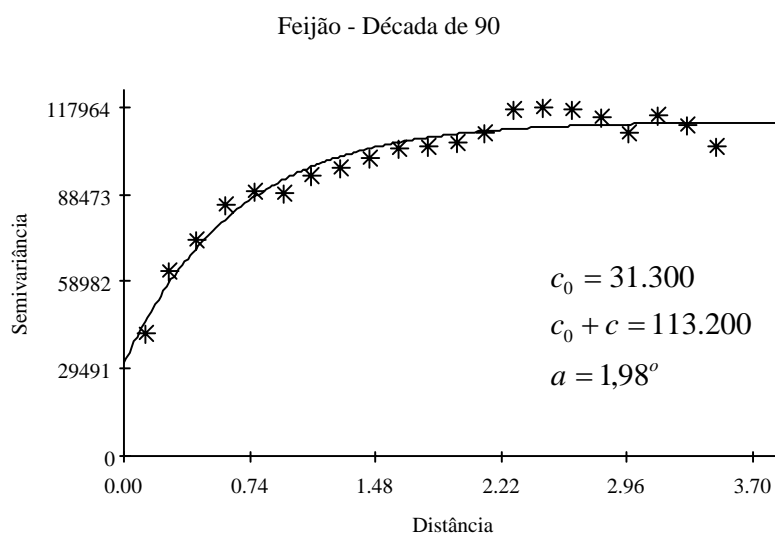
A Figura 22 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 90, apresentando os seguintes parâmetros: efeito pepita de



31.300, variabilidade total ou patamar de 113.200 e alcance da dependência espacial de 1,98 graus de coordenadas georreferenciadas.



**Figura 21.** Semivariograma de produtividade média anual do feijão na década de 80



**Figura 22.** Semivariograma de produtividade média anual do feijão na década de 90

Os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do feijão nas décadas de 70 e 80 apresentaram uma dependência espacial forte, segundo a classificação

de Cambardella et al. (1994), apresentando um efeito pepita/patamar de 5,94% e 24,54%, respectivamente, enquanto que o semivariograma de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 90 apresentou uma dependência espacial moderada, apresentando um efeito pepita/patamar de 27,65%.

O alcance da dependência espacial da produtividade média anual da cultura do feijão foi bem menor na década de 70 (0,59 graus de coordenadas). As décadas de 80 e 90 apresentaram um alcance bem superior (2,24 e 1,98 graus de coordenadas, respectivamente), ou seja, na década de 70 os pontos amostrais estão espacialmente correlacionados entre si a uma distância bem menor do que as décadas de 80 e 90. As décadas de 80 e 90 apresentam semivariogramas praticamente com a mesma forma.

#### **4.2.3 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Milho**

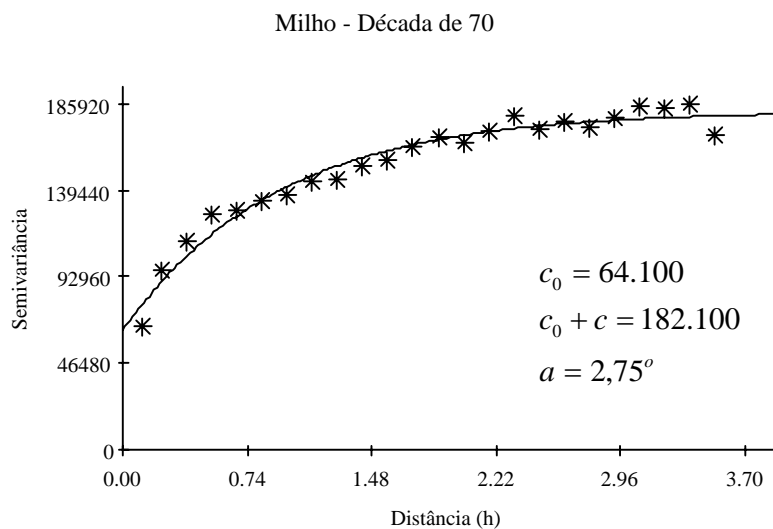
O semivariograma de produtividade média anual da cultura do milho na década de 90 teve seu ajuste por meio do modelo esférico, enquanto que, para as décadas de 70 e 80, o ajuste se deu por meio do modelo exponencial.

Os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do milho revelaram a existência de correlação espacial em todas as décadas analisadas.

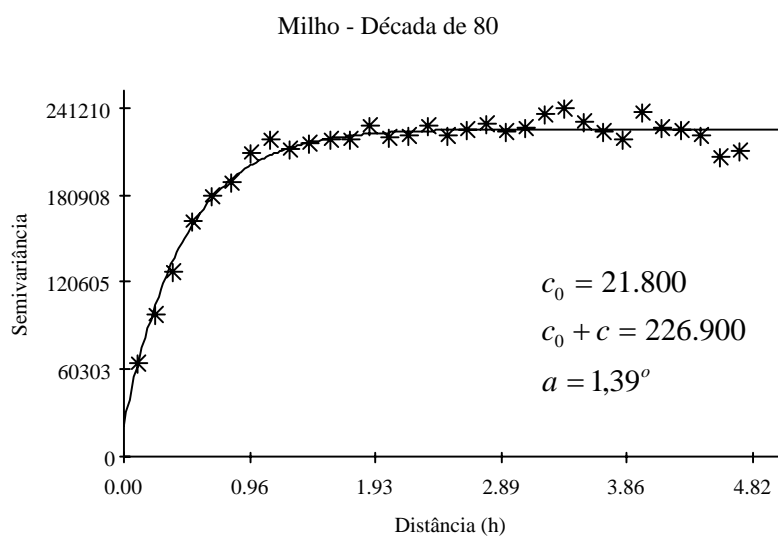
A Figura 23 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do milho na década de 70, apresentando um efeito pepita de 64.100, uma variabilidade total ou patamar de 182.100 e um alcance da dependência espacial de 2,75 graus de coordenadas georreferenciadas.

A Figura 24 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do milho na década de 80, apresentando um efeito pepita de 21.800, uma variabilidade total ou patamar de 226.900 e um alcance da dependência espacial de 1,39 graus de coordenadas georreferenciadas.

A Figura 25 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do milho na década de 90, apresentando um efeito pepita de 139.300, uma variabilidade total ou patamar de 398.600 e um alcance da dependência espacial de 1,04 graus de coordenadas georreferenciadas.



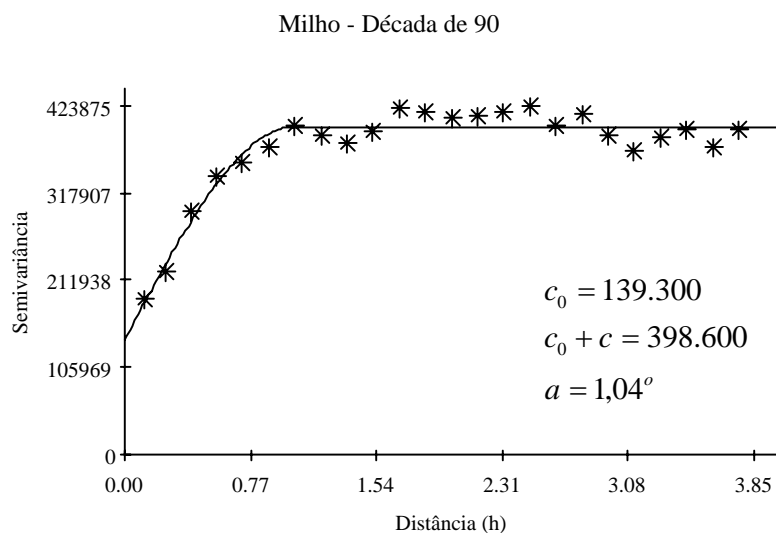
**Figura 23.** Semivariograma de produtividade média anual do milho na década de 70



**Figura 24.** Semivariograma de produtividade média anual do milho na década de 80

De acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994), o semivariograma de produtividade média anual da cultura do milho na década de 80 apresentou uma dependência espacial forte, apresentando um efeito pepita/patamar de 9,61%, enquanto que os semivariogramas da produtividade média anual da cultura do milho, nas décadas de 70

e 90, apresentaram uma dependência espacial moderada, indicando um efeito pepita/patamar de 35,20% e 34,95%, respectivamente.



**Figura 25.** Semivariograma de produtividade média anual do milho na década de 90

O alcance da dependência espacial da cultura do milho na década de 70 (2,75 graus de coordenadas) é bem superior que os das décadas de 80 e 90 (1,39 e 1,04 graus de coordenadas, respectivamente), ou seja, no decorrer das décadas houve um decréscimo na distância de dependência espacial da produtividade média anual da cultura do milho.

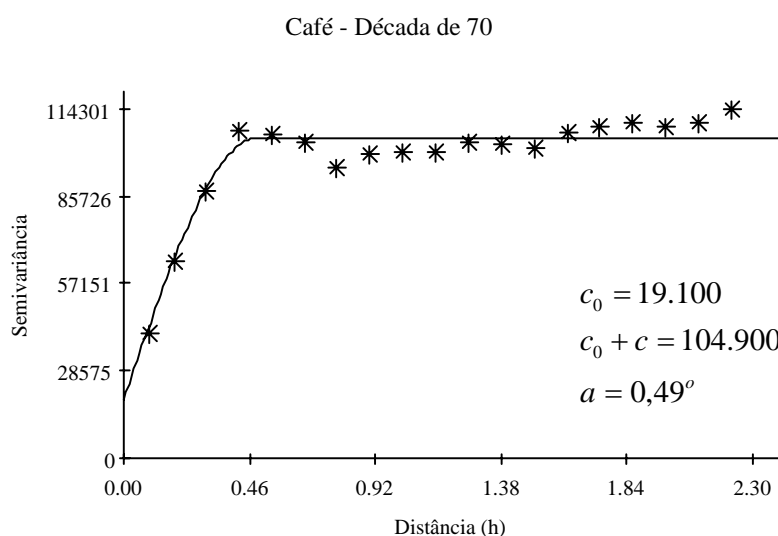
Apesar do ajuste se dar por meio de modelos diferentes, os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do milho nas décadas de 80 e 90 seguem, praticamente, o mesmo estilo.

#### 4.2.4 Semivariogramas de Produtividade Média Anual da Cultura do Café

Na década de 80, o semivariograma de produtividade média anual da cultura do café teve seu ajuste por meio do modelo exponencial, enquanto que nas décadas de 70 e 90 o ajuste se deu por meio do modelo esférico. Os semivariogramas de produtividade

média anual da cultura do café revelaram a existência de correlação espacial em todas as décadas analisadas.

A Figura 26 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do café na década de 70, apresentando um efeito pepita de 19.100, uma variabilidade total ou patamar de 104.900 e um alcance da dependência espacial de 0,49 graus de coordenadas georreferenciadas.



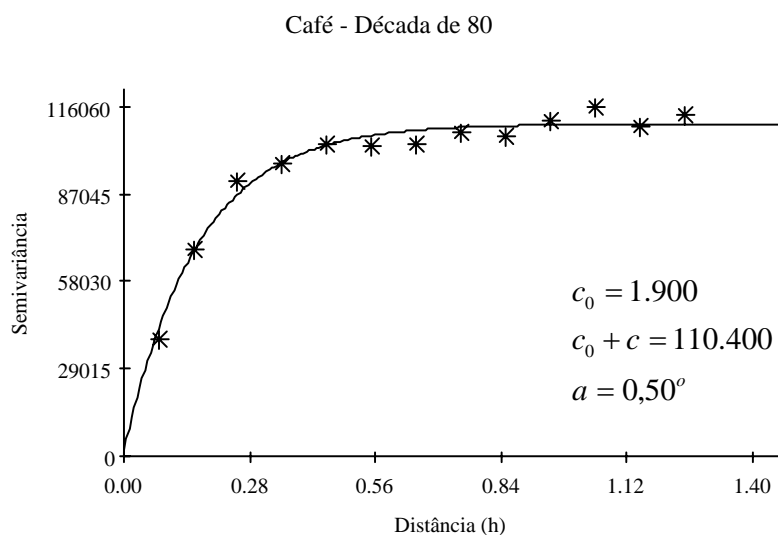
**Figura 26.** Semivariograma de produtividade média anual do café na década de 70.

A Figura 27 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do café na década de 80, apresentando um efeito pepita de 1.900, uma variabilidade total ou patamar de 110.400 e um alcance da dependência espacial de 0,50 graus de coordenadas georreferenciadas.

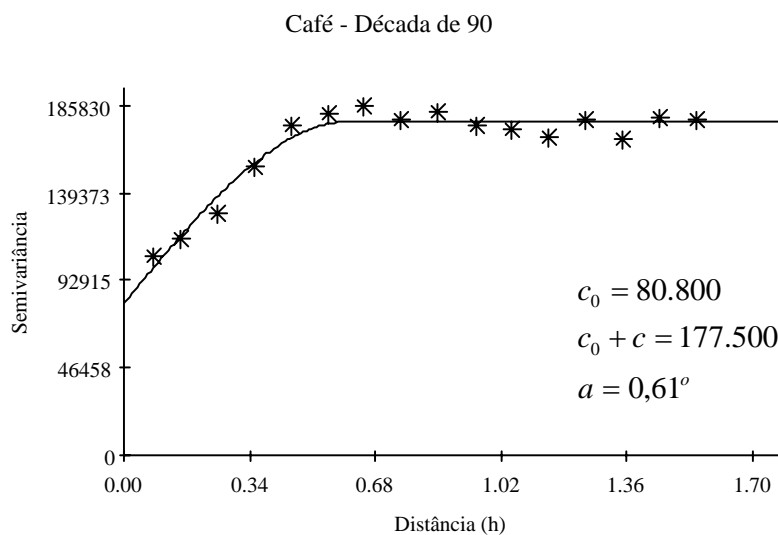
A Figura 28 mostra o semivariograma de produtividade média anual da cultura do café na década de 90, apresentando um efeito pepita de 80.800, uma variabilidade total ou patamar de 177.500 e um alcance da dependência espacial de 0,61 graus de coordenadas georreferenciadas.

De acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994), os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do café nas décadas de 70 e 80 apresentaram uma dependência espacial forte, indicando um efeito pepita/patamar de 18,21%

e 1,72%, respectivamente, enquanto que o semivariograma de produtividade média anual da cultura do café na década de 90 apresentou uma dependência espacial moderada, indicando um efeito pepita/patamar de 45,52%.



**Figura 27.** Semivariograma de produtividade média anual do café na década de 80.



**Figura 28.** Semivariograma de produtividade média anual do café na década de 90.

A produtividade média anual da cultura do café apresentou um alcance da dependência espacial bem próximos nas décadas de 70 e 80 (0,49 e 0,50 graus de coordenadas geográficas, respectivamente) e um alcance um pouco maior na década de 90 (0,61 graus de coordenadas), ou seja, houve acréscimo no decorrer das décadas na distância de dependência espacial da produtividade média anual da cultura do café.

Os semivariogramas de produtividade média anual da cultura do café apresentaram estilos bem diferentes em cada uma das décadas analisadas.

### 4.3 Validação Cruzada

Para efetuar a validação cruzada, estimou-se, pelo processo de interpolação por krigagem, valores de produtividade para cada município, sendo assim possível, com os pares de valores observados e estimados, avaliar a qualidade dos ajustes dos semivariogramas, por meio da análise de regressão.

A Tabela 5 mostra a média da produtividade, as médias dos erros entre os valores observados e os valores estimados, a média do quadrado dos erros padronizados, o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o coeficiente de regressão para cada uma das culturas e décadas analisadas.

Pode-se observar que, para todas as culturas e décadas analisadas, as médias dos erros encontram-se próxima de zero para os erros entre os valores observados e estimados e próxima de um para o quadrado dos erros padronizados, características essas desejáveis na validação cruzada, segundo Wackernagel (1995).

Os valores significativos de  $r^2$  (coeficiente de determinação) e valores próximos de um para o coeficiente de regressão, indicam que houve bom ajuste para a função linear, descrevendo, assim, uma eficiente relação entre os valores estimados e observados.

Nos gráficos da validação cruzada (Figuras de 29 a 40) estão representados os valores estimados por krigagem “*versus*” os valores observados das culturas e décadas analisadas. Pode-se observar duas características que são desejáveis na validação cruzada, de acordo com Ribeiro Junior (1995):

- Os pontos devem estar acompanhando a diagonal traçada (reta estimada pela regressão) o mais próximo possível;
- Os dois lados da diagonal devem estar equilibrados.

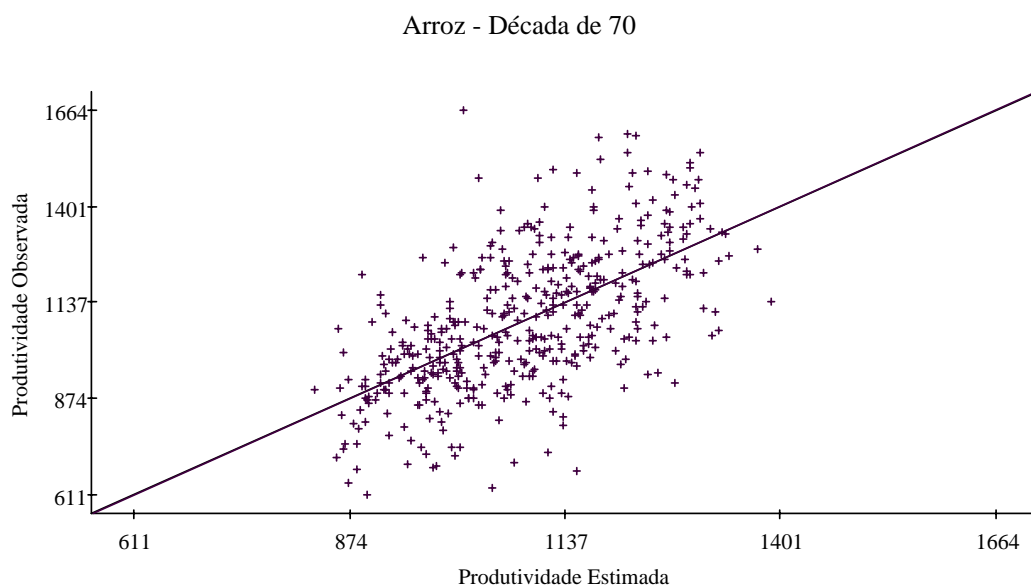
**Tabela 5.** Parâmetros da validação cruzada da produtividade média anual das culturas e décadas analisadas.

	Década	Médias de Produtividade (kg/ha)	Médias dos erros*	Médias do Quadrado dos erros padronizados	Coefficiente de determinação ( $r^2$ )	Coefficiente de regressão
Arroz	70	1.088	0,11	0,99	0,38	1,00
	80	1.418	-1,59	0,99	0,46	0,99
	90	1.532	-2,51	0,99	0,51	0,99
Feijão	70	564	-0,09	0,99	0,59	0,96
	80	739	-1,77	0,99	0,60	1,08
	90	923	-1,34	0,99	0,50	1,04
Milho	70	1.988	-0,65	0,99	0,50	1,08
	80	2.438	-2,38	0,99	0,67	1,01
	90	2.776	-0,72	0,99	0,51	1,06
Café	70	1.211	0,63	0,99	0,44	0,88
	80	1.110	-0,87	0,99	0,43	0,93
	90	1.224	1,42	0,99	0,40	0,99

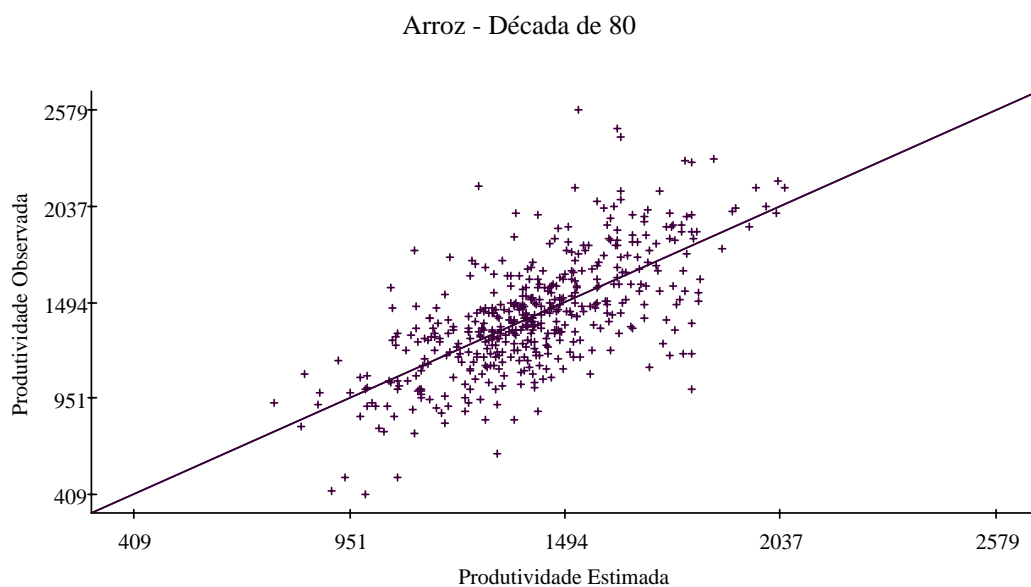
\* médias dos erros = observados – estimados.

Observa-se que, para todas as culturas e décadas analisadas, a krigagem foi um eficiente interpolador, ou seja, as relações entre os valores observados e estimados foram positivas com valores muito próximos entre si (retas coincidentes). Quanto mais próximas as retas, maior a coincidência entre os dados observados e estimados pela krigagem (GS+, 2000).

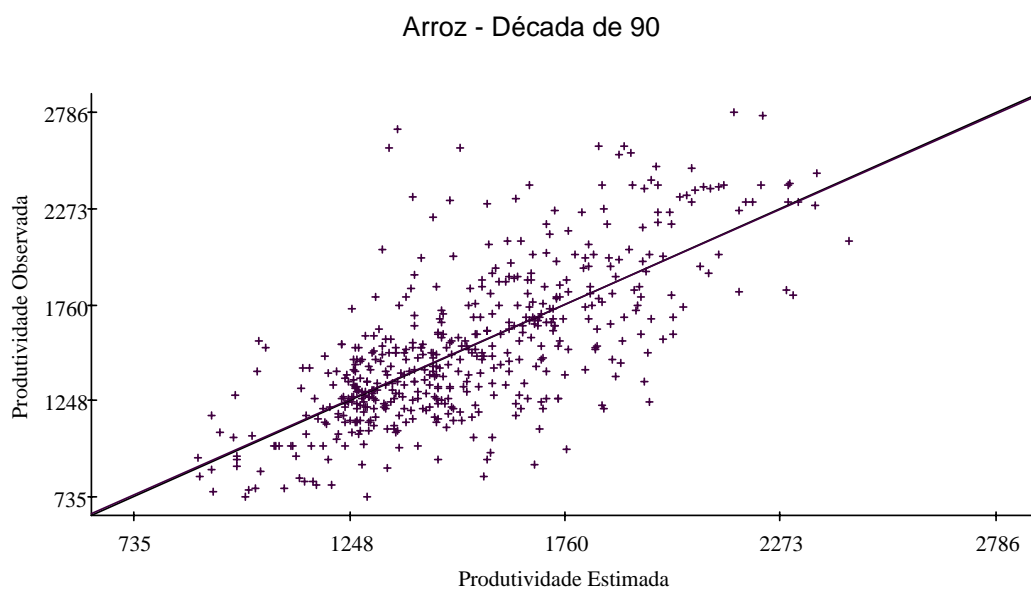




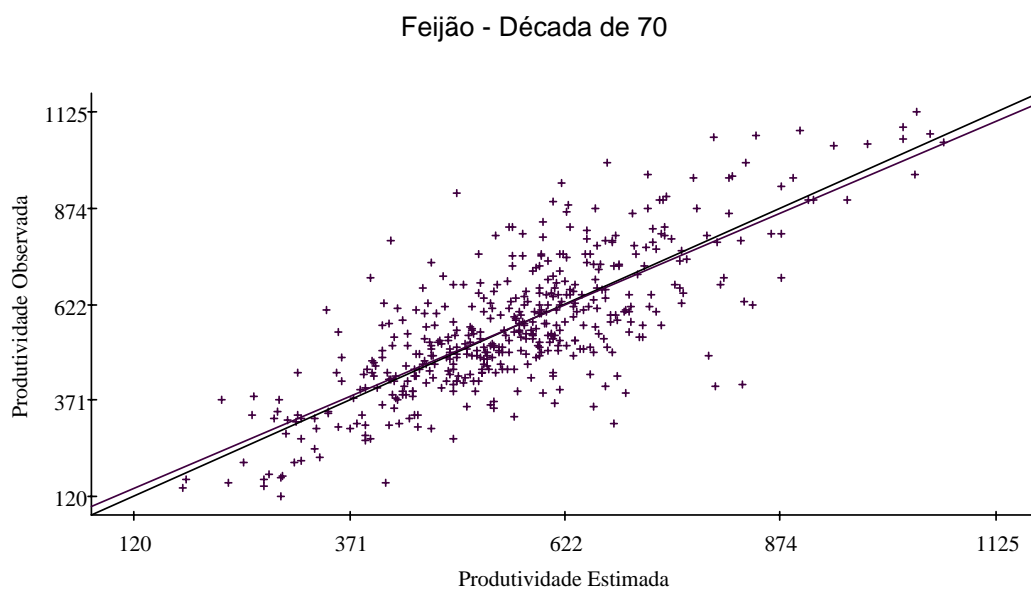
**Figura 29.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 70.



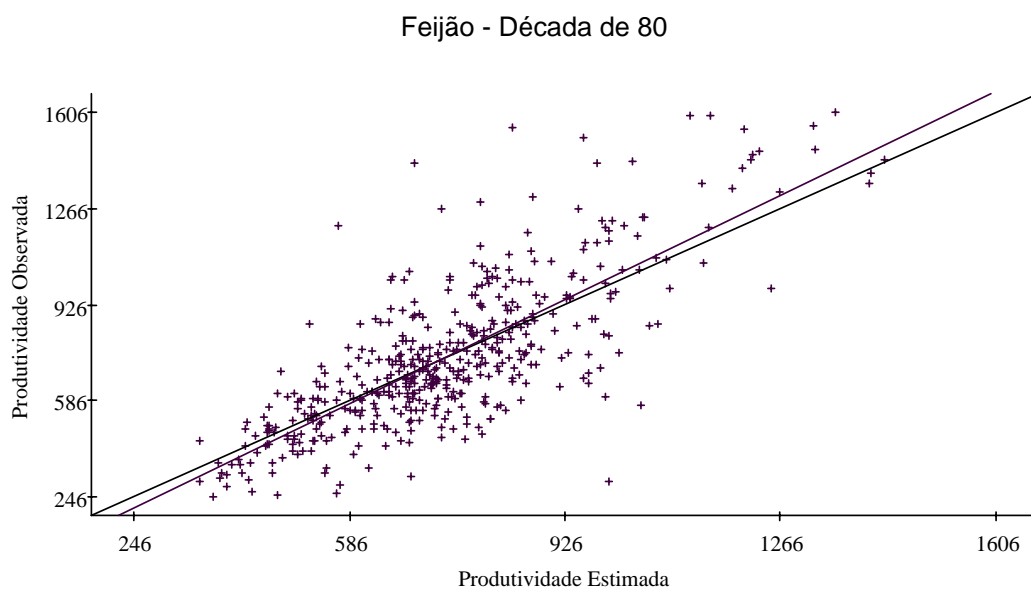
**Figura 30.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 80.



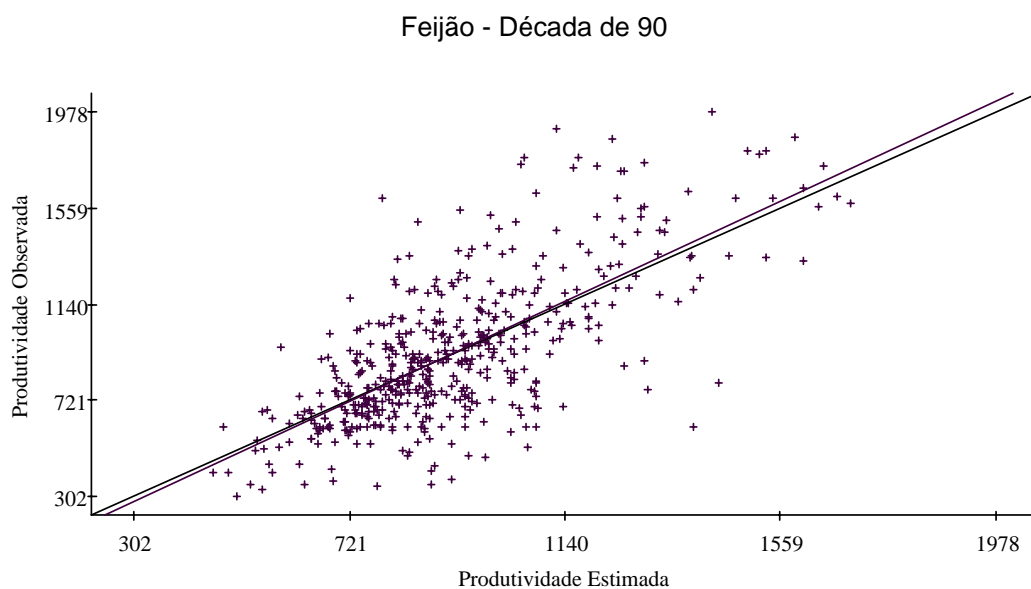
**Figura 31.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 90.



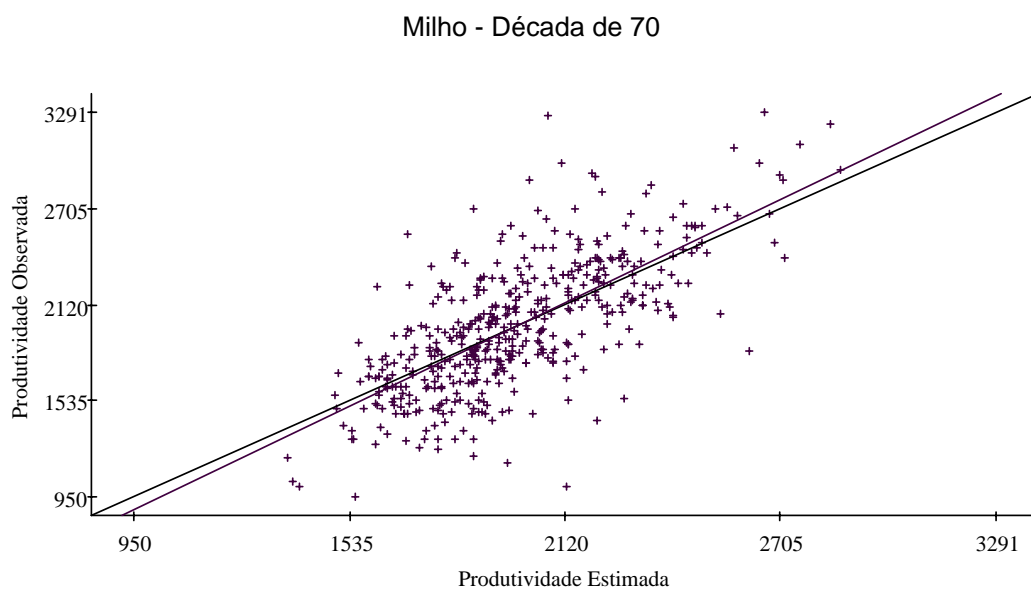
**Figura 32.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 70.



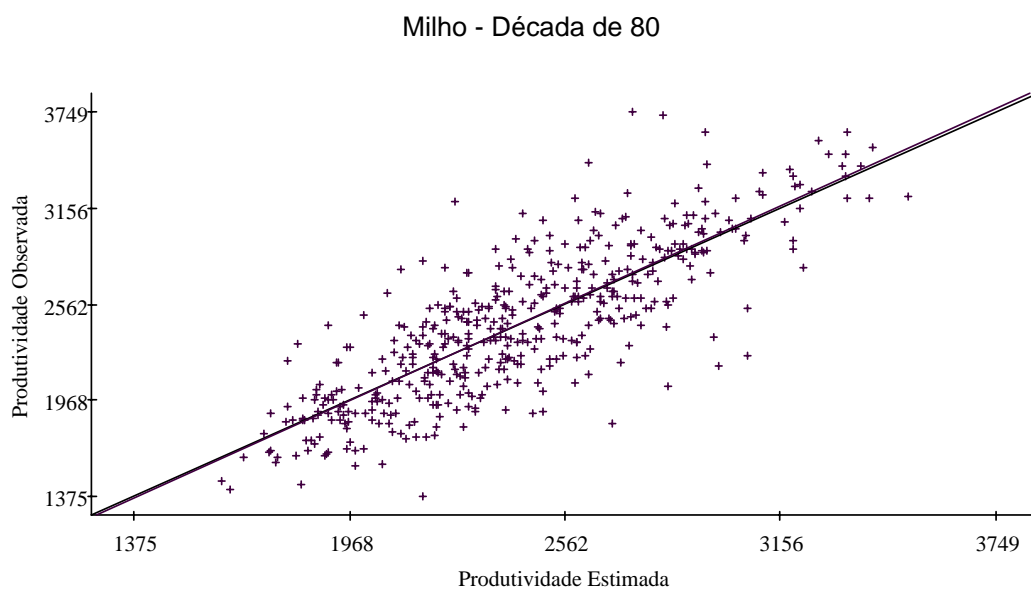
**Figura 33.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 80.



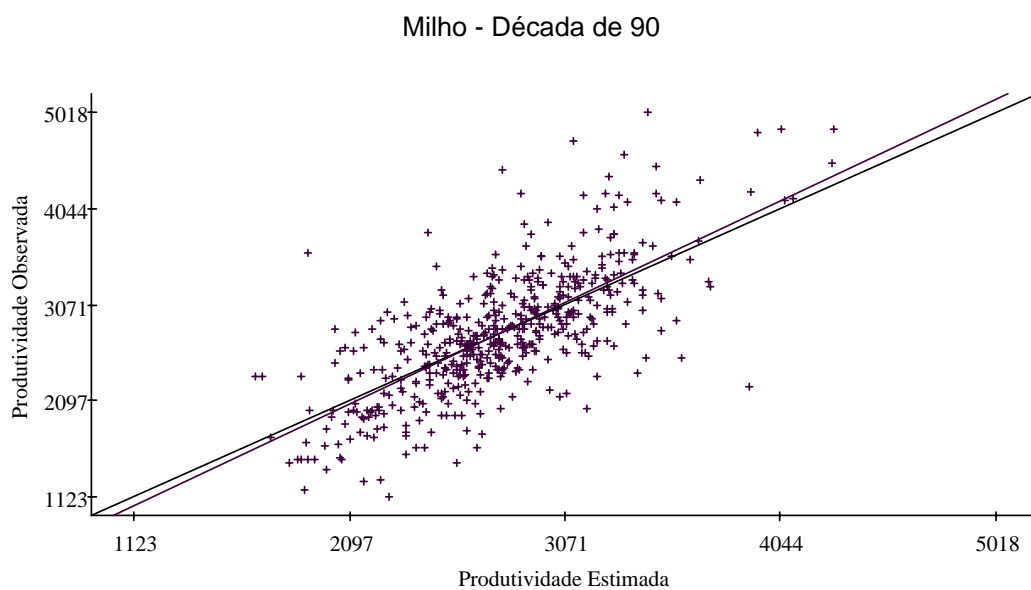
**Figura 34.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 90.



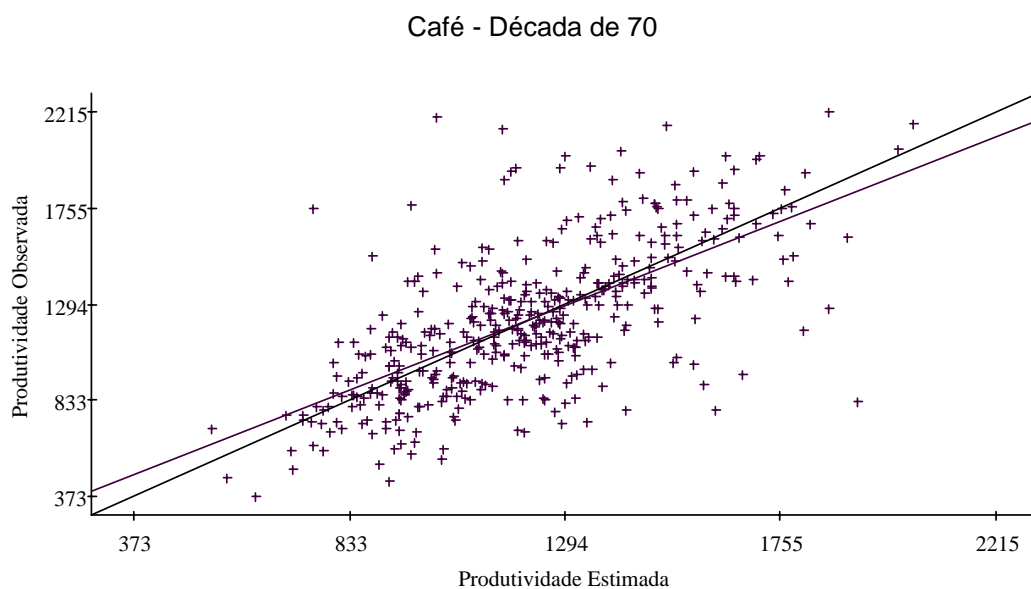
**Figura 35.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 70.



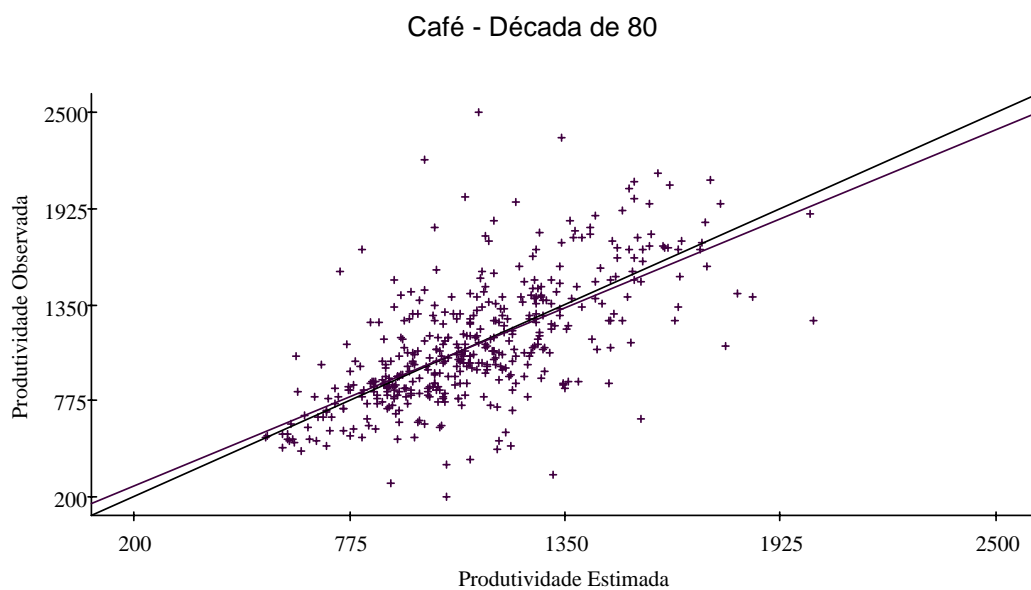
**Figura 36.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 80



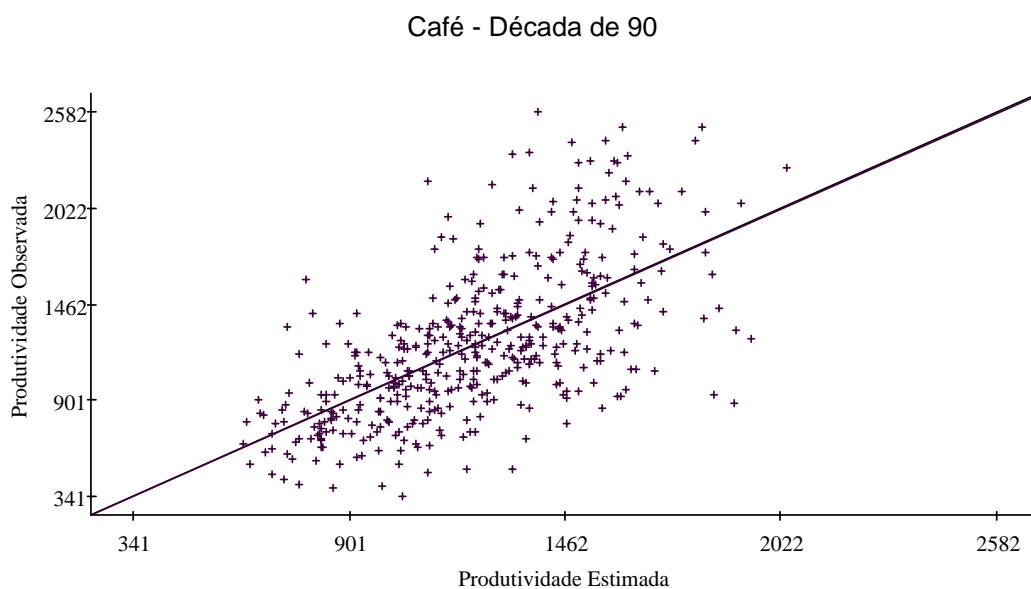
**Figura 37.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 90



**Figura 38.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 70



**Figura 39.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 80.



**Figura 40.** Validação cruzada da produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 90.

#### **4.4 Mapas de Isolinhhas**

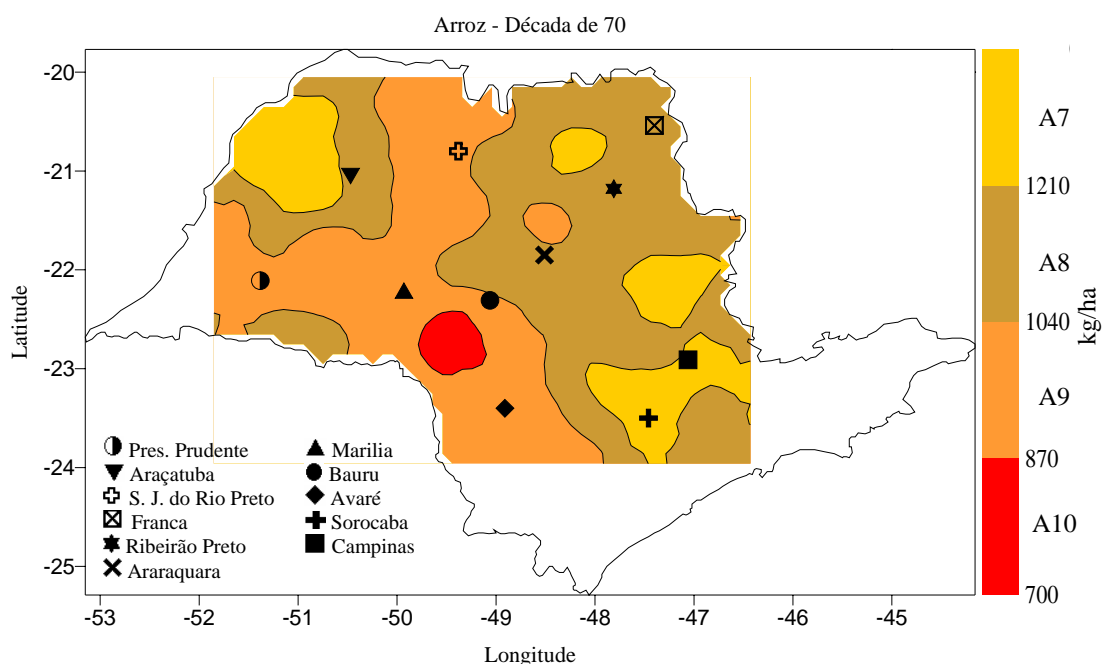
Os semivariogramas para a produtividade média anual das culturas em estudo revelaram a existência de correlação espacial para todas as décadas analisadas. Com os modelos de semivariogramas ajustados aos dados, utilizando-se o processo de interpolação por krigagem, estimou-se a produtividade média anual em uma malha de 10 x 10 minutos de coordenadas geográficas, totalizando 1.747 pontos interpolados na região do Estado de São Paulo, onde se efetuou a análise. Elaborou-se, a partir desses valores, os mapas de isolinhhas de produtividade média anual para cada cultura e década analisada. Para melhor visualização do comportamento da produtividade média, estipulou-se, a partir da amplitude total da produtividade média anual estimada, para cada cultura um máximo de dez isolinhhas. Essas isolinhhas foram identificadas de A1 até A10, em ordem decrescente de produtividade, ou seja, da isolinha de maior produtividade para a isolinha de menor produtividade, respectivamente.

##### **4.4.1 Mapas de Isolinhhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Arroz**

Nas Figuras de 41 a 43 estão representados os mapas de isolinhhas de produtividade média anual da cultura do arroz nas décadas de 70, 80 e 90, respectivamente. Por intermédio da amplitude total da produtividade média anual estimada nas décadas em estudo, definiu-se uma amplitude de 170 kg/ha para cada isolinha da cultura do arroz.

Observa-se, pelos mapas de isolinhhas, que houve uma evolução na produtividade média do arroz no decorrer das décadas, praticamente, em todas as regiões do Estado. A década de 70 (Figura 41) apresentou produtividade média anual apenas nas quatro isolinhhas de menor produtividade (A10, A9, A8 e A7), ou seja, entre 700 e 1.380 kg/ha. Já na década de 80 (Figura 42) observa-se regiões apresentando produtividade média anual acima de 1.800 kg/ha e na década de 90 (Figura 43) observa-se regiões com produtividade média anual superior a 2.200 kg/ha. Essa evolução está relacionada à melhoria genética dos cultivares e emprego de maior nível tecnológico, como correção adequada do solo, adubação adequada, entre outros. Um outro fator que ajudou a aumentar a produtividade foi o surgimento de novas moléculas, como herbicidas, fungicidas e inseticidas, que até a década de 70 não existiam.

Fornasieri Filho & Fornasieri (1993) afirmaram que, na instalação da cultura do arroz, a utilização de sementes de boa qualidade, ou seja, portadora de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários, é essencial à obtenção de elevada produtividade. Afirmaram, também, os autores que um dos fatores tecnológicos capaz de contribuir para a elevação da produtividade orizícola está na utilização racional dos fertilizantes químicos e orgânicos.

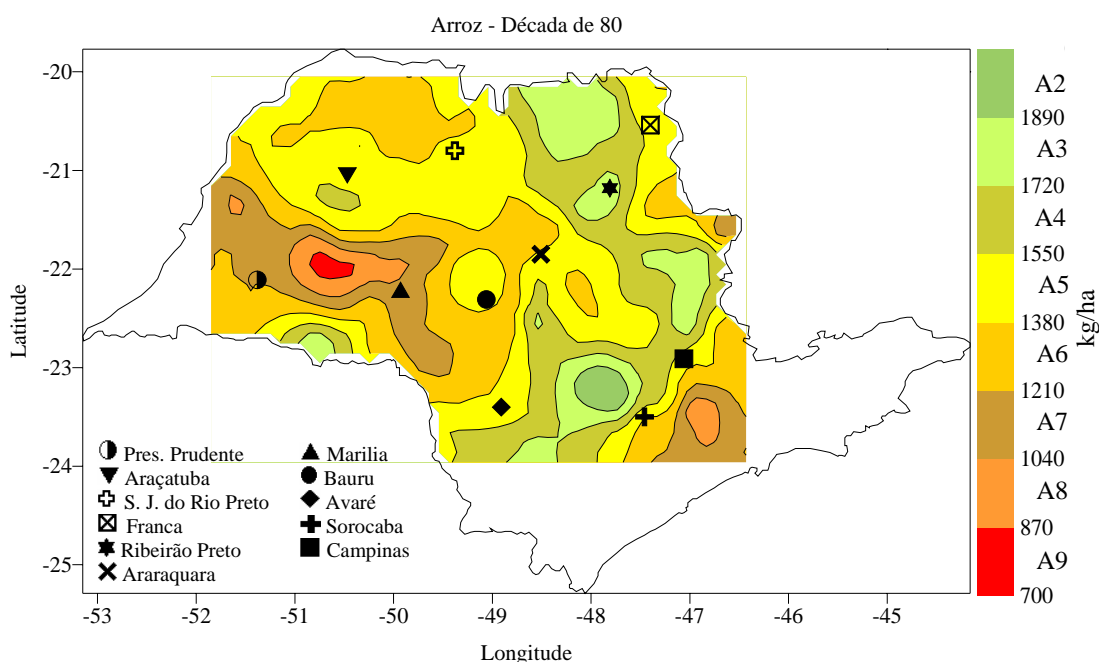


**Figura 41.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 70.

A Figura 44, também, mostra a evolução da produtividade média da cultura do arroz no Estado de São Paulo, na região e décadas estudadas. Observa-se que, nas décadas de 70 e 80, a produtividade média oscila, apresentando anos consecutivos com alta e baixa produtividade, o que não ocorreu na década de 90, onde a produtividade média cresce constantemente no decorrer dos anos. Já em relação à área colhida da cultura do arroz (Figura 45), há uma queda sensível no decorrer do período estudado, passando de mais ou menos 550.000 hectares no ano de 1976, pico mais alto, para menos de 50.000 hectares, em 2000.



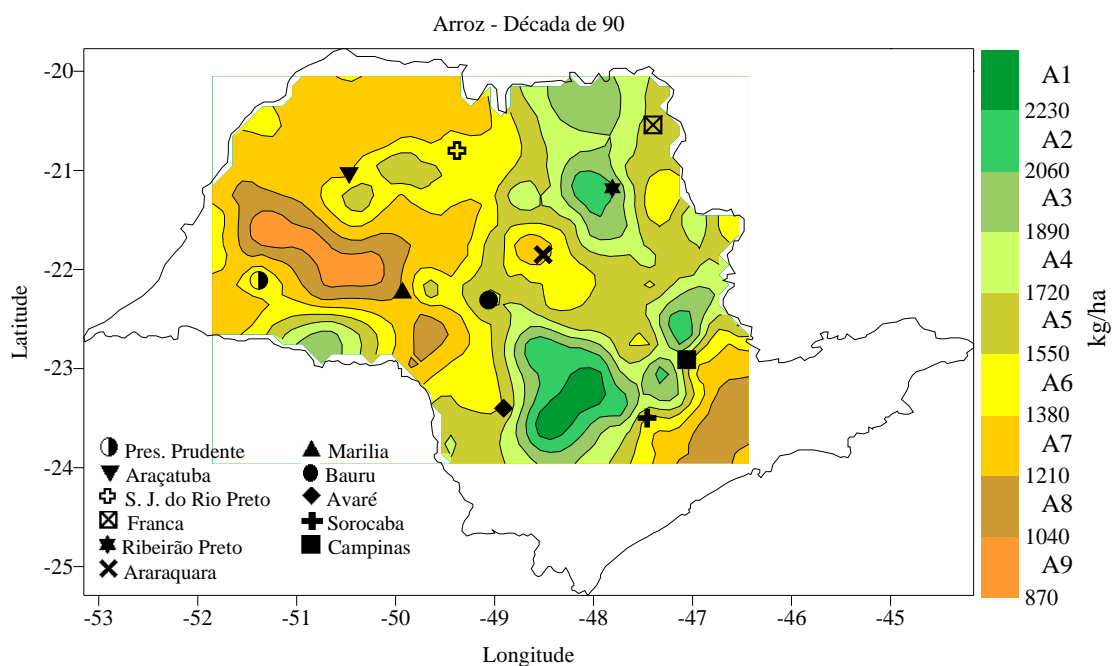
Nota-se, pelos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do arroz nas décadas de 80 (Figura 42) e 90 (Figura 43), que a região situada entre Sorocaba e Avaré apresentou a maior produtividade do Estado. Isso se deve ao alto nível tecnológico dos produtores dessa região e também devido à altitude mais elevada, o que proporciona queda de temperatura no período noturno, acarretando menor respiração da planta durante este período, fato benéfico ao desenvolvimento da cultura.



**Figura 42.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 80.

Comprovando a maior produtividade em locais com altitudes elevadas, Stelnmetz & Meireles (1999) afirmaram que, nas localidades de maior altitude, é possível que haja alguma influência da temperatura no desenvolvimento e na produtividade do arroz. Em Planaltina-GO, por exemplo, a temperatura mínima média, nos meses de janeiro e fevereiro é de 16,6 a 17,3°C, respectivamente (FAGERIA, 1984, apud STELNMETZ & MEIRELES, 1999). Isso sugere que, pelo menos durante algumas horas, em alguns dias, a temperatura pode atingir valores iguais ou inferiores a 15°C. Afirmaram os autores que, caso esses níveis de

temperatura ocorra durante a fase mais crítica da planta, é provável que haja alguma influência na esterilidade das espiguetas e, conseqüentemente, na produtividade do arroz.

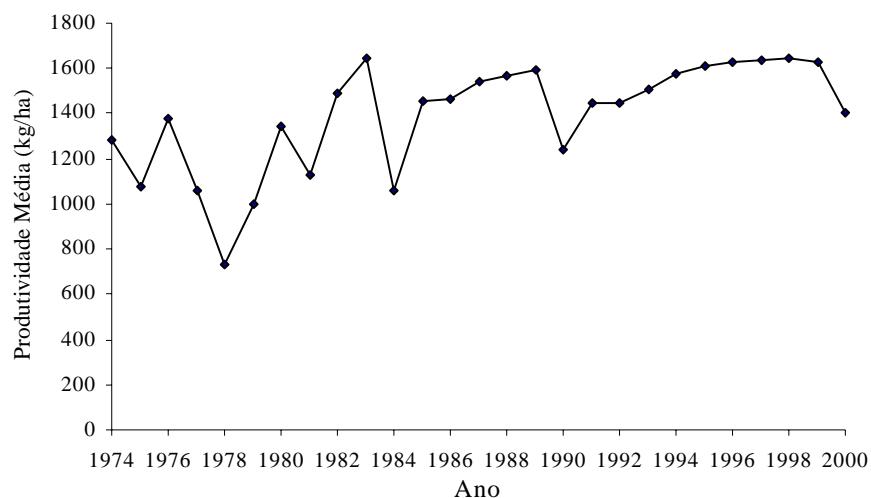


**Figura 43.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do arroz na década de 90.

A região de Araçatuba (Noroeste do Estado) apresentou na década de 70 (Figura 41) uma importância relativa na produtividade do arroz, enquanto que nas décadas de 80 (Figura 42) e 90 (Figura 43) houve um decréscimo na importância da produtividade da cultura nessa região, mantendo, praticamente, a mesma produtividade da década de 70.

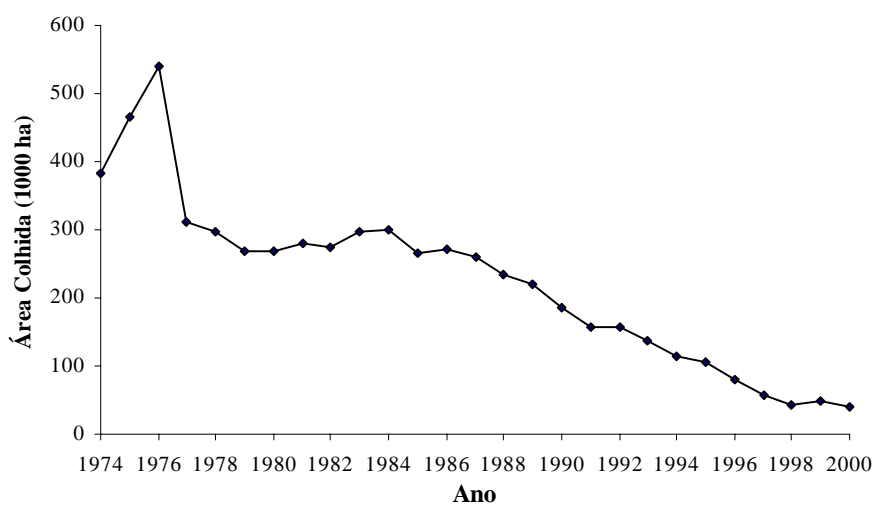
A alta produtividade registrada nas regiões de Ribeirão Preto e Franca, em todas as décadas, está relacionada, principalmente, com os solos de alta fertilidade existente nessas regiões.

Produtividade elevada na região do Vale do Paranapanema, também tem reflexo dos solos de alta fertilidade, do alto nível tecnológico dos produtores dessa região, como o uso de irrigação, altos níveis de adubação e também pela ocorrência de temperaturas mais amenas.



**Figura 44.** Produtividade média da cultura do arroz, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.



**Figura 45.** Área colhida da cultura do arroz, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.

A temperatura é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz (STELNMETZ & MEIRELES, 1999). O arroz não tolera temperaturas excessivamente baixas nem

excessivamente altas (FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 1993). A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C (YOSHIDA, 1981). Segundo Pinzan (1997), a temperatura média adequada para o ciclo vegetativo do arroz varia de 20 a 38°C.

A região Oeste do Estado vem apresentando menor produtividade devido à ocorrência, principalmente de veranicos (períodos secos) durante a fase reprodutiva do arroz, o que é comprovado por Alfonsi et al. & Arruda et al., apud Silva et al. (1986), que diz que a ocorrência de veranicos nos meses de janeiro e fevereiro, por períodos de pelo menos 10 dias, são prejudiciais à produção de arroz. A maior parte dessas regiões encontra-se no extremo Oeste do Estado de São Paulo, nas proximidades do Rio Paraná, que, segundo Fornasieri Filho & Fornasieri (1993), mostra-se inapta à rizicultura de sequeiro, por insuficiência hídrica no período de desenvolvimento da cultura.

A Tabela 6 mostra a porcentagem da área total colhida de cada isolinhas. Observa-se que, a década de 70 apresentou maior concentração de área colhida, mais de 70% do total, nas isolinhas A9 e A8 (produtividade média entre 870 e 1.210 kg/ha), enquanto que, nas décadas de 80 e 90 está concentração ocorreu nas isolinhas A7, A6 e A5 com cerca de 65 e 60% do total, respectivamente (produtividade média entre 1.210 e 1.720 kg/ha).

**Tabela 6.** Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do arroz nas décadas de 70, 80 e 90.

Isolinhas	Limites das isolinhas (kg/ha)	Década de 70 (%)	Década de 80 (%)	Década de 90 (%)
A1	2.230 - 2.400	-	-	6,0
A2	2.060 - 2.230	-	-	5,4
A3	1.850 - 2.060	-	12,3	9,8
A4	1.720 - 1.850	-	7,2	6,9
A5	1.550 - 1.720	-	16,2	21,7
A6	1.380 - 1.550	-	23,2	17,2
A7	1.210 - 1.380	18,0	26,0	20,6
A8	1.040 - 1.210	26,9	9,7	9,2
A9	870 - 1.040	44,3	3,8	3,2
A10	700 - 870	10,8	1,6	-

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.

Observa-se, também na Tabela 6, que as três isolinhas de menor produtividade (A10, A9 e A8), que na década de 70 representava mais de 80% da área colhida, na década de 80 e 90 caiu para 15 e 12%, respectivamente. Já nas duas isolinhas de maior produtividade (A1 e A2), que nas décadas de 70 e 80 não apresentaram área colhida, apresentou na década de 90, uma área relativamente importante na cultura do arroz, mais de 11% do total.

#### 4.4.2 Mapas de Isolinhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Feijão

Para a construção dos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão (Figuras de 46 a 48), definiu-se para cada isolinha uma amplitude de 160 kg/ha, a partir da amplitude total da produtividade média anual estimada pela krigagem em cada década.

Antes da década de 70, a cultura do feijão foi marcada por apresentar cultivares de baixo potencial produtivo e suscetível a doenças, apresentando, portanto, uma produtividade média no Estado, muito baixa. A Tabela 7, de Junqueira et al. (1971), apresenta as produtividades médias de feijão no Estado de São Paulo, correspondente ao período de 1948 a 1971.

**Tabela 7.** Produtividades médias da cultura do feijão no Estado de São Paulo, no período 1948/1971, em kg/ha.

Anos	Produtividade kg/ha	Anos	Produtividade kg/ha	Anos	Produtividade kg/ha
1948	653	1956	429	1964	384
1949	686	1957	477	1965	572
1950	621	1958	416	1966	467
1951	640	1959	445	1967	437
1952	657	1960	436	1968	521
1953	619	1961	391	1969	338
1954	387	1962	325	1970	489
1955	317	1963	415	1971	532

Fonte: Junqueira et al. (1971).

A década de 70 foi marcada pelo lançamento da cultivar Carioca, pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Esta cultivar se destacou por apresentar elevado potencial produtivo e por ser mais resistente a doenças, o que foi comprovado em ensaios comparativos das principais cultivares de feijão no Estado de São Paulo. Os resultados desses ensaios estão apresentados na Tabela 8, de Vieira et al. (1971). Nota-se a superioridade da cultivar Carioca em todas as localidades, com produções bem melhores que as outras cultivares.

Essa década também era marcada pela comercialização de uma diversidade muito grande de vários formatos e cores dos grãos pertencentes a vários grupos comerciais (rosinha, manteiga, mulatinho, roxinho, entre outros). A Tabela 9 mostra as cultivares mais vendidas nos supermercados e nos empórios na capital de São Paulo, em junho de 1971 (JUNQUEIRA et al., 1971).

**Tabela 8.** Produtividade média de feijão, em kg/ha, obtidas em ensaios realizados entre 1967 e 1971, em diversas localidades do Estado de São Paulo.

Cultivar	Tietê	Monte Alegre do Sul	Mococa	Campinas	Ribeirão Preto	Limeira	Botucatu	São Simão	Média
Carioca	3.241	1.773	1.817	1.437	1.388	1.703	1.038	1.431	1.729
Rosinha G-2	2.494	1.071	1.320	1.083	917	1.160	769	1.139	1.244
Bico de ouro	2.467	1.452	1.238	1.223	856	1.174	909	991	1.289
Chumbinho opaco	2.663	1.506	1.526	1.241	1.110	1.136	833	1.158	1.397
Pintado	2.574	1.605	1.441	1.102	873	1.400	808	859	1.333

Fonte: Vieira et al. (1971).

Com ótima produtividade e outras características de boa qualidade, a cultivar Carioca, que apresenta sementes com fundo creme e listras havana, fator que, na opinião de muitos técnicos, não seria bem aceito por produtores e donas-de-casa (ALMEIDA, 2000). Para que as donas-de-casa se adaptassem a nova cultivar, a Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo comprava as outras cultivares nos supermercados e empórios, e imbutia a cultivar Carioca no lugar. Além disso, de acordo com Almeida (2000), estabeleceu-se um

plano de distribuição de amostras de sementes, juntamente com folheto demonstrando as características da nova cultivar, sobretudo para os agricultores da Região Sudoeste do Estado de São Paulo, onde se concentrava cerca de 60% da produção de feijão.

**Tabela 9.** Principais cultivares de feijão vendidos na capital de São Paulo – julho 1971.

Cultivar	Supermercados (%)	Empórios (%)
Roxinho	43,4	36,5
Rosinha	12,0	28,2
Jalo	20,3	17,6
Opaquinho	14,9	9,9
Chumbinho	7,3	0,2
Preto	1,4	3,0
Bico de ouro	-	1,3
Branco	0,6	0,7
Rajado	-	0,2
Outros	0,1	2,4

Fonte: Junqueira et al. (1971).

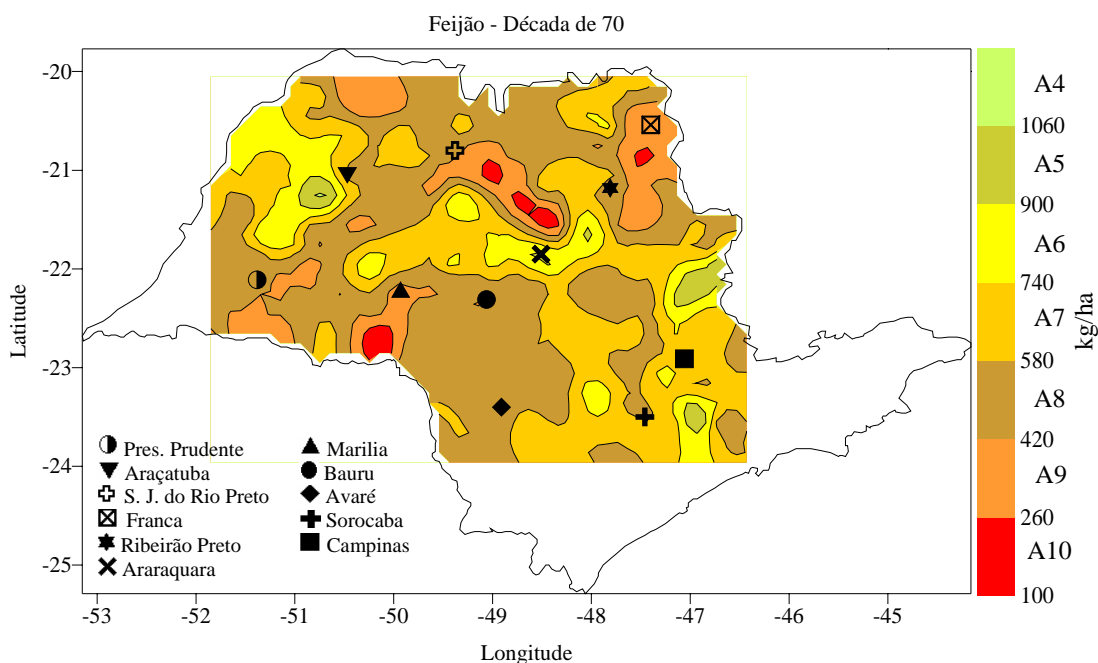
Até hoje, a cultivar Carioca é cultivado no Brasil, devido a sua ampla adaptação ambiental e estabilidade de produção. Segundo Guimarães (1992), a cultivar Carioca propicia ampla adaptação devido à manutenção da absorção de água, em condições de deficiência hídrica no solo, através do ajustamento do sistema radicular. CIAT e IAPAR, apud Vicente et al. (2000) verificaram que a Carioca possui tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade, pois sua produção comparada à de outras variedades, era sempre superior, mesmo quando cultivado em condições mais adversas.

A grande região produtora de feijão do Estado de São Paulo compreende a Dira de Sorocaba, mais especificamente o Sudeste Paulista, no feijão das águas e da seca. No entanto, nas décadas de 70 e 80, não se utilizava irrigação na região, era produzido por pequenos e médios proprietários, sem o uso de tecnologia e insumo (semente certificada, adubação química, correção do solo e uso de defensivos no controle de pragas e doenças).

Houve evolução, em algumas regiões do Estado, na produtividade média da cultura do feijão no decorrer das décadas, o que pode ser observado pelos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura (Figuras 46, 47 e 48, décadas de 70, 80 e 90,

respectivamente). Essa evolução, também, pode ser observada na Figura 49, que mostra a produtividade média do feijão na região estudada no período de 1974 a 2000, passando de cerca de 500 kg/ha no ano de 1974 para, mais ou menos, 1.100 kg/ha no ano de 2000. Já em relação à área colhida nesse período (Figura 50) não ocorreu o mesmo, houve um relativo crescimento até 1982, quando atingiu seu pico máximo (cerca de 450 mil hectares). A partir daí, houve um decréscimo na área colhida da cultura do feijão ano após ano, estagnando em torno de 200 mil hectares nos últimos quatro anos do período.

Por intermédio dos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão nas décadas de 70 (Figura 46) e 80 (Figura 47), observa-se que as produtividades médias anuais nas regiões de Presidente Prudente e Marília permaneceram, praticamente, as mesmas. Na década de 90 houve nessas regiões uma pequena evolução na produtividade, mais acentuada na região de Presidente Prudente.

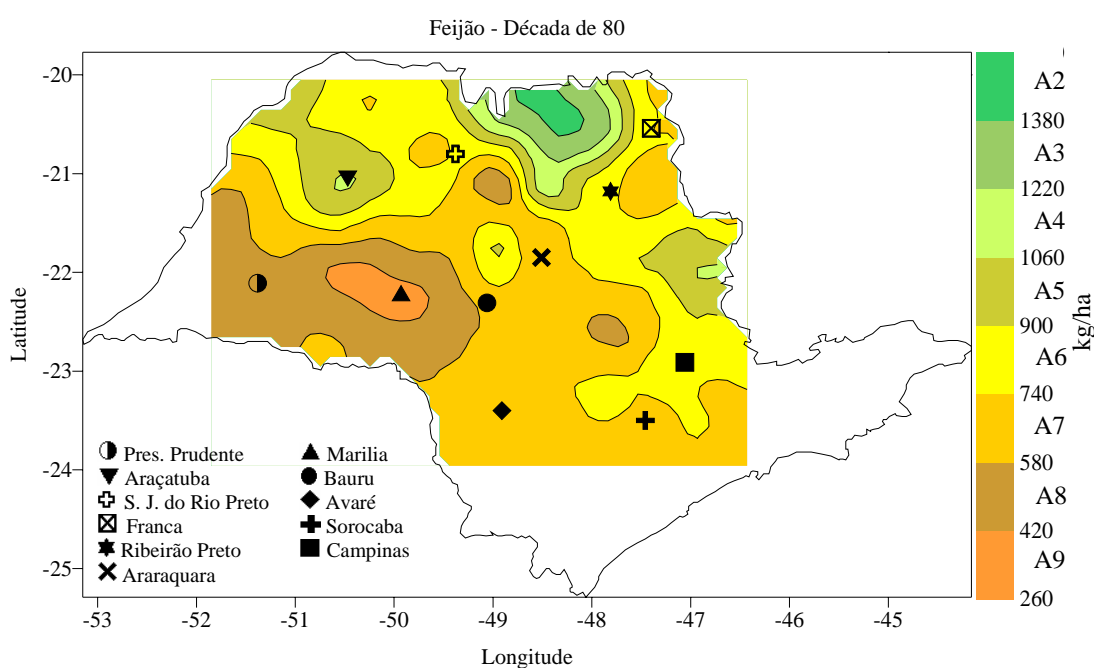


**Figura 46.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 70.

Um marco importante ocorrido na década de 80 foi o aumento da produtividade no Norte do Estado de São Paulo, o que pode ser observado na Figura 47.



Segundo Bulisani (1990), apud Lemos (1997), este aumento é explicado pela implantação do programa Pró-Feijão Irrigado a partir de 1980 pelo Governo Paulista, que começou a fazer experiências na produção de feijão no outono-inverno, com o uso de irrigação nos municípios de Guaíra e Barretos. A semeadura do feijão de inverno proporciona um aumento na produtividade de grãos, pelo fato da cultura ter menos interferência de fatores climáticos, ocorrer maior estabilidade de produção e o envolvimento de empresários agrícolas, exigindo maior investimento e a melhoria de tecnologia (CAIXETA et al. (1981), CHAGAS et al. (1983), CHAGAS (1988) e ROSTON (1990), apud LEMOS, 1997).

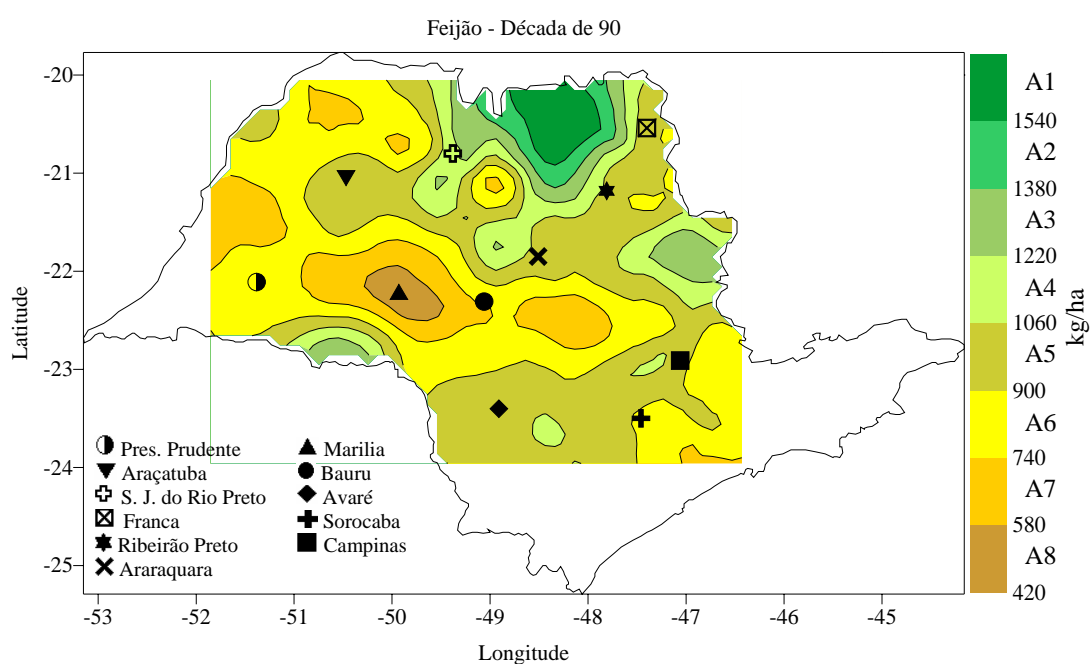


**Figura 47.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 80.

Percebe-se, pelo mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 90 (Figura 48), a expansão da produtividade na região Norte do Estado e também na região de Araçatuba (feijão de inverno). Na região Sudoeste Paulista, percebe-se aumento na produtividade de grãos. Isto ocorreu em função da utilização de tecnologia, principalmente irrigação, uso de insumos e cultivares com alto potencial produtivo,

dentre eles, o próprio Carioca, Pérola Rubi, FT-Bonito, IAPAR-80, IAC-Carioca, IAC-Carioca Eté, Campião-2 e Carioca Precoce.

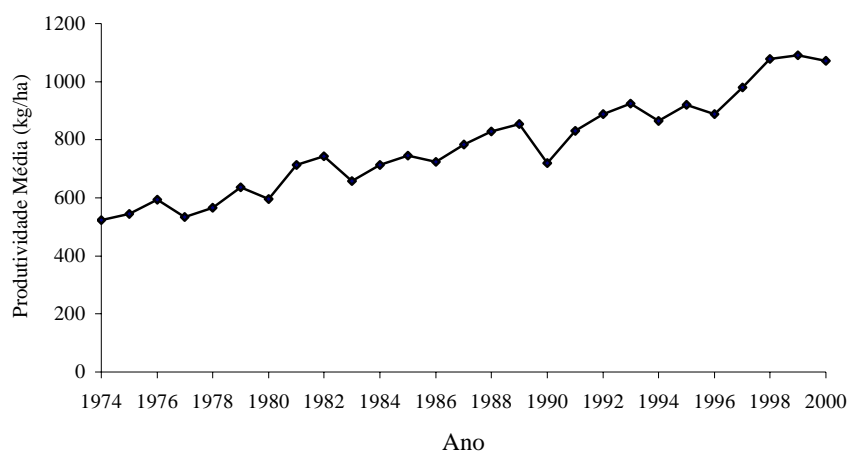
Associado a tudo isso, no Brasil e no Estado de São Paulo colhe-se apenas 8% de todo o feijão produzido nos meses de setembro, outubro e novembro, como é mostrado na Figura 51 (FERREIRA et al., 2002). Devido a este fato, os produtores do Sudoeste Paulista iniciam seu plantio entre 15 de julho a 15 de agosto, com o uso de irrigação, para colher o feijão a partir do mês de novembro e obter melhores preços.



**Figura 48.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do feijão na década de 90.

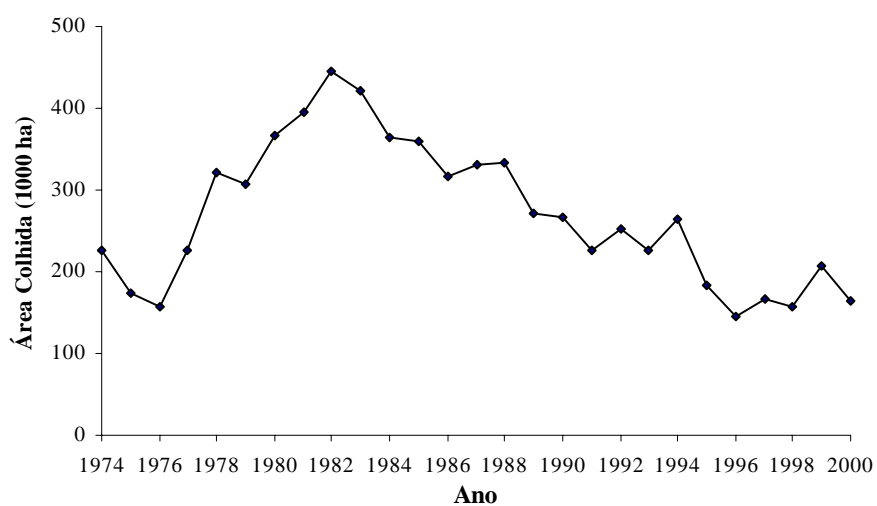
Na Tabela 10, estão apresentadas as porcentagens da área total colhida da cultura do feijão de cada isolinhas e década estudada, nota-se que, nas isolinhas de maior produtividade (A1, A2 e A3), houve um crescimento na área colhida no decorrer das décadas. Não apresentando área colhida, nessas isolinhas, na década de 70. Apresentou um pouco mais de 2% na década de 80 e na década de 90 cerca de 14%, ou seja, uma área relativamente importante na produtividade da cultura do feijão. Essas isolinhas de maior produtividade estão concentradas, principalmente, na região Norte do Estado, fato que pode ser observado por

meio dos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura nas décadas de 80 (Figura 47) e 90 (Figura 48).



**Figura 49.** Produtividade média da cultura do feijão, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

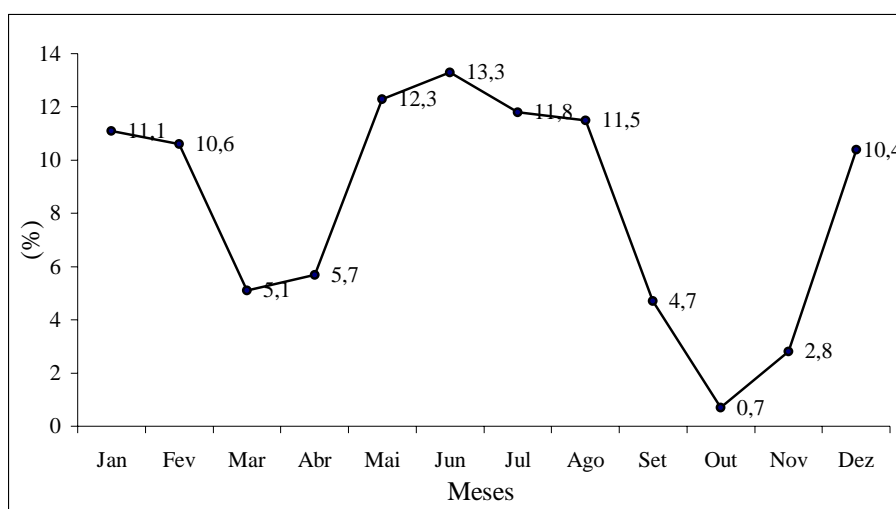
Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.



**Figura 50.** Área colhida da cultura do feijão, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.

Observa-se, também na Tabela 10, que na década de 70 a maior concentração de área colhida, mais de 80%, encontra-se nas isolinhas A8 e A7 (produtividade média entre 420 e 740 kg/ha). Na década de 80 a maior concentração encontra-se nas isolinhas A7 e A6 (produtividade média entre 580 e 900 kg/ha), apresentando quase 70% de área colhida. Já na década de 90 as isolinhas A6, A5 e A4 (produtividade entre 740 e 1220 kg/ha) foram as que apresentaram a maior concentração de área colhida, com cerca de 70%.



**Figura 51.** Percentual médio mensal de feijão, em relação ao total colhido nos principais Estados produtores, 1990 a 1999.

Fonte: Ferreira et al., (2002).

Comparando os mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão nas décadas de 70 (Figura 46), 80 (Figura 47) e 90 (Figura 48), pode-se observar esse decréscimo na área colhida nas isolinhas de menor produtividade. A década de 70 apresentou área colhida nas três isolinhas de menor produtividade (A10, A9 e A8), principalmente na isolinha A8 (63,7%, Tabela 10), distribuídas em todo o Estado. Enquanto que a década de 80 só apresentou área colhida, em proporções bem menores, nas isolinhas A9 e A8, concentradas nas regiões de Presidente Prudente e Marília. Já na década de 90, das três isolinhas de menor produtividade, só a isolinha A8 apresentou área colhida, em pequena proporção, localizada na região de Marília.

**Tabela 10.** Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do feijão nas décadas de 70, 80 e 90.

Isolinhas	Limites das isolinhas (kg/ha)	Década de 70 (%)	Década de 80 (%)	Década de 90 (%)
A1	1.540 - 1.700	-	-	6,8
A2	1.380 - 1.540	-	-	1,7
A3	1.220 - 1.380	-	2,6	5,6
A4	1.060 - 1.220	0,2	2,2	16,2
A5	900 - 1.060	0,8	6,2	33,5
A6	740 - 900	5,6	16,1	23,2
A7	580 - 740	20,2	53,5	10,8
A8	420 - 580	63,7	13,4	2,2
A9	260 - 420	7,8	3,9	-
A10	100 - 260	1,7	-	-

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.

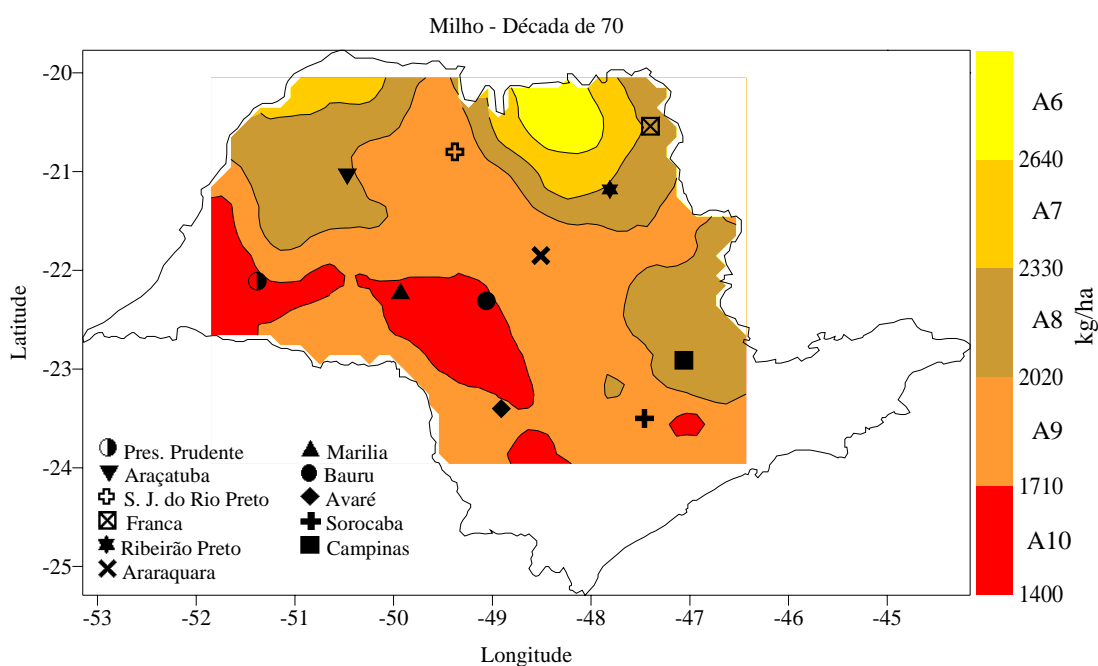
#### 4.4.3 Mapas de Isolinhas de Produtividade Média Anual da Cultura do Milho

Por intermédio da amplitude total da produtividade média anual estimada pelo processo de interpolação krigagem para a cultura do milho nas três décadas em estudo, estipulou-se uma amplitude de 310 kg/ha para cada isolinhas, a fim de construir os mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho.

Observa-se, pelos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho nas décadas de 70, 80 e 90 (Figuras 52, 53 e 54, respectivamente), que houve uma evolução, em quase todas as regiões, na produtividade média anual do milho no decorrer das décadas. Essa evolução de produtividade deve-se ao aumento de propriedades, usando-se tecnologia no cultivo do milho ao passar das décadas, sendo que, na década de 70, eram poucas propriedades que faziam o uso de tecnologias modernas. Como novas tecnologias, podemos citar o uso de sementes geneticamente melhoradas, maior mecanização, melhoramento no uso das técnicas no preparo do solo, incremento no uso de fertilizantes.

Segundo Tsunehiro & Ferreira (1996), o aumento de produtividade da cultura do milho são resultados dos esforços de pesquisa agrônômica de

diferentes naturezas (genética e melhoramento, adubação, práticas culturais, controle de pragas e doenças e pesquisas biológicas básicas) ao longo dos últimos 60 anos.



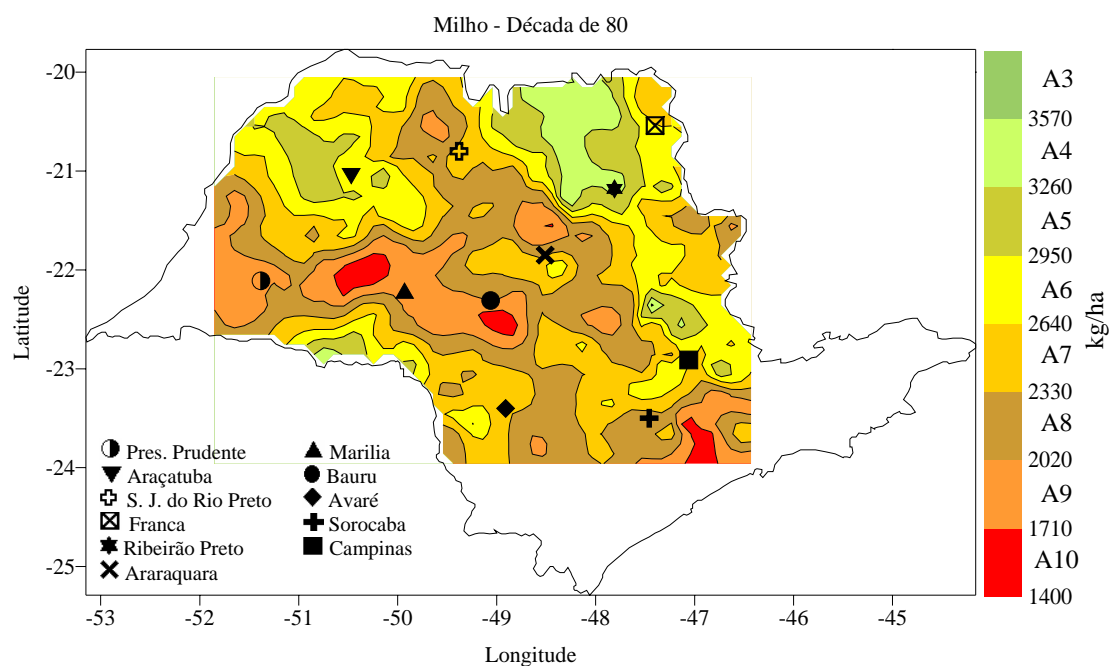
**Figura 52.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 70.

De acordo com Toledo (1987), a boa semente é responsável pela formação de uma lavoura sem falhas, isto é, com “stand” adequado, proporcionando, assim, maior produtividade.

Esse crescimento na produtividade média da cultura do milho no Estado de São Paulo, também, pode ser observado na Figura 55, passando de cerca de 2.000 kg/ha em 1974 para mais de 3.000 kg/ha em média no ano de 2.000. O que não ocorreu com a área colhida nesse período (Figura 56), que, embora tenha ocorrido pico positivo no início da década de 90, está estagnada em torno de 1 milhão a 1,2 milhões de hectares.

Houve um deslocamento espacial da cultura devido à competição com outras culturas (ex: citrus, região de Araraquara e cana-de-açúcar, região de São Joaquim da Barra), sendo o milho realocado para solos de menor fertilidade e mais exigentes quanto ao manejo e um deslocamento temporal do verão para a safrinha, na região de Assis e Ourinhos

(Vale do Paranapanema), e Guairá e Itapeva (Norte do Estado). Ao mesmo tempo, houve investimentos em manejo do solo que viabilizaram a expansão da área e produtividade em regiões até então pouco explorada com a cultura, como a região Sul do Estado.

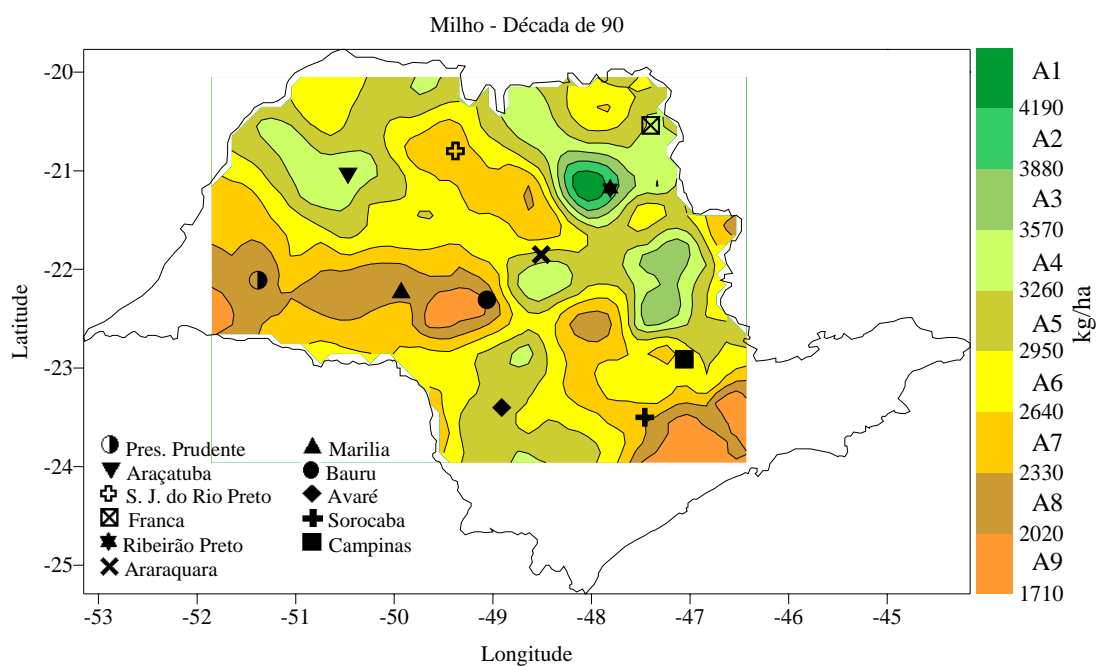


**Figura 53.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 80.

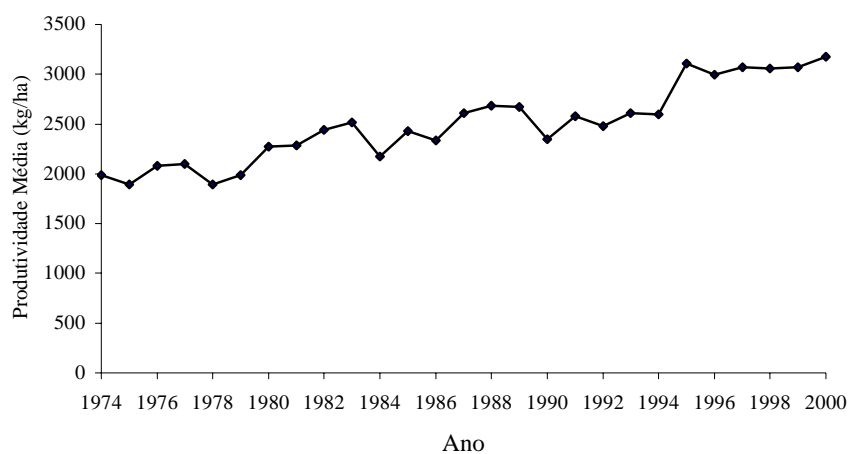
Nota-se, no mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho na década de 90 (Figura 54), que houve um decréscimo da importância da cultura no Vale do Paranapanema e na região Norte em relação à década de 80 (Figura 53). Isso se deve à imigração do milho de verão para o outono-inverno (safrinha) nessas regiões. Segundo Tsunehiro (2000), as principais regiões produtoras paulistas (Escritórios de Desenvolvimento Rural - EDRs) de milho safrinha são Assis, com 37,2% da área plantada em 1998/99, Ourinhos (4,4%) (Vale do Paranapanema), Orlandia (22,8%) e Barretos (10,2%) (Norte do Estado).

Constatou-se um gradiente de produtividade da região Norte para a região Sul e Oeste/Sudoeste. Na década de 90, as áreas de maior produtividade estão mais bem

definidas em relação à década de 80, destacando-se as regiões de Araras, Ribeirão Preto e Araçatuba.



**Figura 54.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do milho na década de 90.

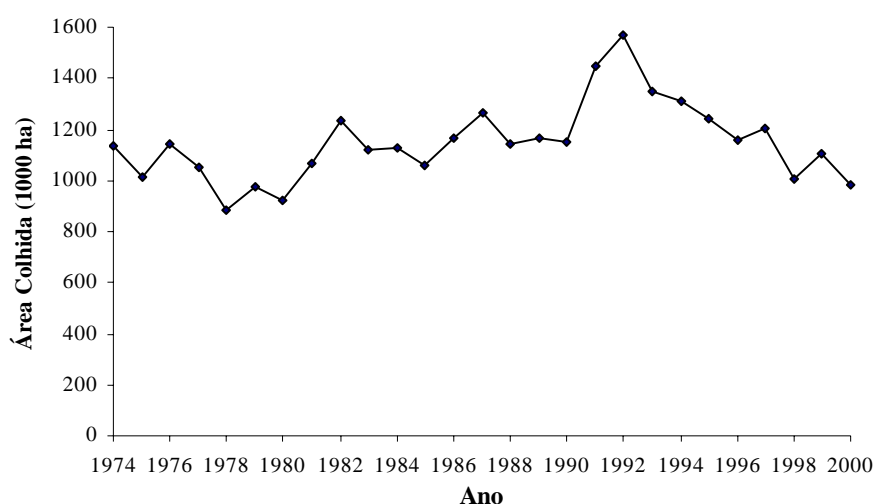


**Figura 55.** Produtividade média da cultura do milho na safra de verão, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.



A região Sul (Avaré, Paranapanema e Itapeva) nas duas últimas décadas e a região Leste (Araras, Limeira e Mogi Mirim) em todo o período apresentam alta produtividade, isto, provavelmente, é decorrência dos investimentos em tecnologias e da alta altitude na região que proporciona temperaturas noturnas amenas, acarretando menor respiração da planta durante este período, fato que é benéfico para o desenvolvimento da cultura. Já a alta produtividade apresentada na região de Araçatuba, no Noroeste do Estado, está relacionada à implantação da cultura para reformas de pastagens em solos de boa fertilidade natural.



**Figura 56.** Área colhida da cultura do milho na safra de verão, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE

A Tabela 11 mostra a porcentagem da área total colhida da cultura do milho de cada isolinhas. A década de 70 registrou área colhida somente nas cinco isolinhas de menor produtividade (A10, A9, A8, A7 e A6), apresentando em cada isolinha uma área relativamente importante, com maior concentração, mais de 50%, nas isolinhas A9 e A8 (produtividade média entre 1.710 e 2.330 kg/ha), o que, também, pode ser observado no mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho na década de 70 (Figura 52).

Na década de 80 houve um decréscimo na área colhida nas três isolinhas de menor produtividade (A10, A9 e A8) e um aumento na área colhida nas isolinhas A7 e A6 em comparação com a década de 70. A década de 80, ao contrário da década de 70, também registrou área colhida nas isolinhas A5, A4 e A3, nessa última uma área insignificante em relação com as demais. As isolinhas de maior concentração de área colhida, na década de 80, foram as isolinhas A7 e A6 (produtividade média entre 2.330 e 2.950 kg/ha), apresentando cerca de 45% da área total. A década de 90 não apresentou área colhida na isolinha de menor produtividade (A10). Em comparação com a década de 80, a década de 90 apresentou uma diminuição na área colhida nas isolinhas A9, A8 e A7, isolinhas de menor produtividade, e um crescimento na área colhida nas isolinhas de maior produtividade (A6, A5, A4 e A3). A década de 80, ao contrário das décadas de 70 e 80, também, apresentou área colhida nas duas isolinhas de maior produtividade (A1 e A2), mais de 5% do total. A maior concentração de área colhida na década de 90 ocorreu nas isolinhas A7, A6 e A5 (produtividade média entre 2.330 e 3.260 kg/ha), apresentando mais de 70% da área total, o que, também, pode ser observado no mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho na década de 90 (Figura 54).

**Tabela 11.** Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do milho nas décadas de 70, 80 e 90.

Isolinhas	Limites das isolinhas (kg/ha)	Década de 70 (%)	Década de 80 (%)	Década de 90 (%)
A1	4.190 - 4.500	-	-	3,3
A2	3.880 - 4.190	-	-	2,4
A3	3.570 - 3.880	-	0,8	4,4
A4	3.260 - 3.570	-	11,0	13,0
A5	2.950 - 3.260	-	13,9	19,7
A6	2.640 - 2.950	13,4	18,0	27,1
A7	2.330 - 2.640	13,4	27,1	24,3
A8	2.020 - 2.330	21,7	14,5	4,0
A9	1.710 - 2.020	32,4	12,4	1,8
A10	1.400 - 1.710	19,1	2,3	-

#### 4.4.4 Mapas de Isolinas de Produtividade Média Anual da Cultura do Café

Na construção dos mapas de isolinas de produtividade média anual da cultura do café nas décadas de 70 (Figura 57), 80 (Figura 58) e 90 (Figura 59), definiu-se, a partir da amplitude total da produtividade média estimada para cada década em estudo, uma amplitude de 200 kg/ha para cada isolinha.

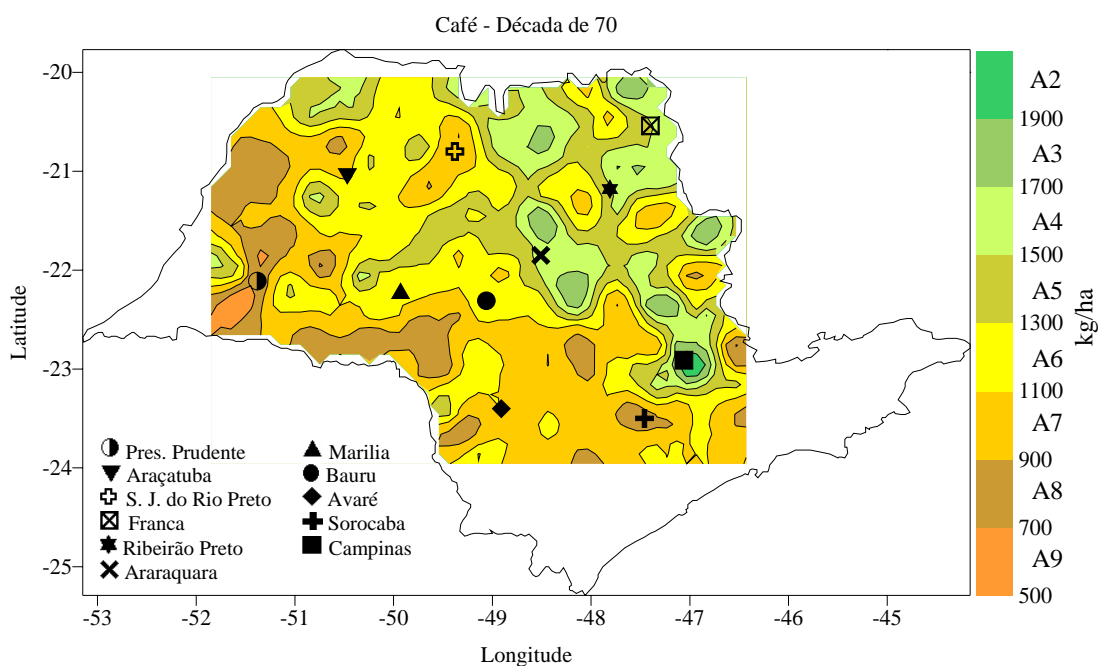
A partir de 1969, o Instituto Brasileiro do Café (IBC) iniciou uma renovação da cafeicultura em São Paulo e demais regiões cafeeiras, empregando sementes selecionadas das cultivares Mundo Novo, Acaiaí, Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo de *C. arabica*, resultando na rápida difusão por todo o país de linhagens selecionadas pelo Instituto Agrônomo, onde, em São Paulo, em 1987, havia cerca de 700 milhões de cafeeiros, 65% seriam de Mundo Novo, 25% de Catuaí e 10% de Bourbon Vermelho ou Bourbon Amarelo. (CARVALHO & FAZUOLI, 1993).

Os experimentos de linhagens, realizados em diversas localidades paulistas, indicaram que as de Mundo Novo produziam, em média, 2.340 kg de café beneficiado por hectare; as de Bourbon Amarelo 1.745 kg/ha; de Bourbon Vermelho, 1.333 kg/ha e do Arábica, apenas 745 kg/ha. O Mundo Novo, sem seleção, produziu 1.360 kg/ha. Esses valores são um pouco elevados, pois foram obtidos em experimentos que receberam adubações e tratamentos culturais adequados. (CARVALHO & FAZUOLI, 1993).

Em média, a produtividade média do café permaneceu, praticamente, a mesma no período analisado, fato que pode ser observado nos mapas de isolinas de produtividade média anual da cultura do café nas décadas de 70 (Figura 57), 80 (Figura 58) e 90 (Figura 59). Essa não evolução da produtividade média do café, também, pode ser observada na Figura 60. Nota-se que, na década de 70, houve um pico de baixa produtividade no ano de 1976. Isso se deve a uma geada severíssima ocorrida em 1975, causando morte total das plantas e sendo necessária a erradicação das mesmas. Outro pico de baixa produtividade ocorreu no ano de 1986, provavelmente, devido à ocorrência de várias pequenas geadas no ano anterior.

De acordo com Pino et al. (1999), no Estado de São Paulo ocorreu diminuição da área plantada durante toda a década de 80, com abandono ou erradicação

motivados pela expansão das culturas da cana-de-açúcar e da laranja, sendo em alguns locais substituída também por pastagens.

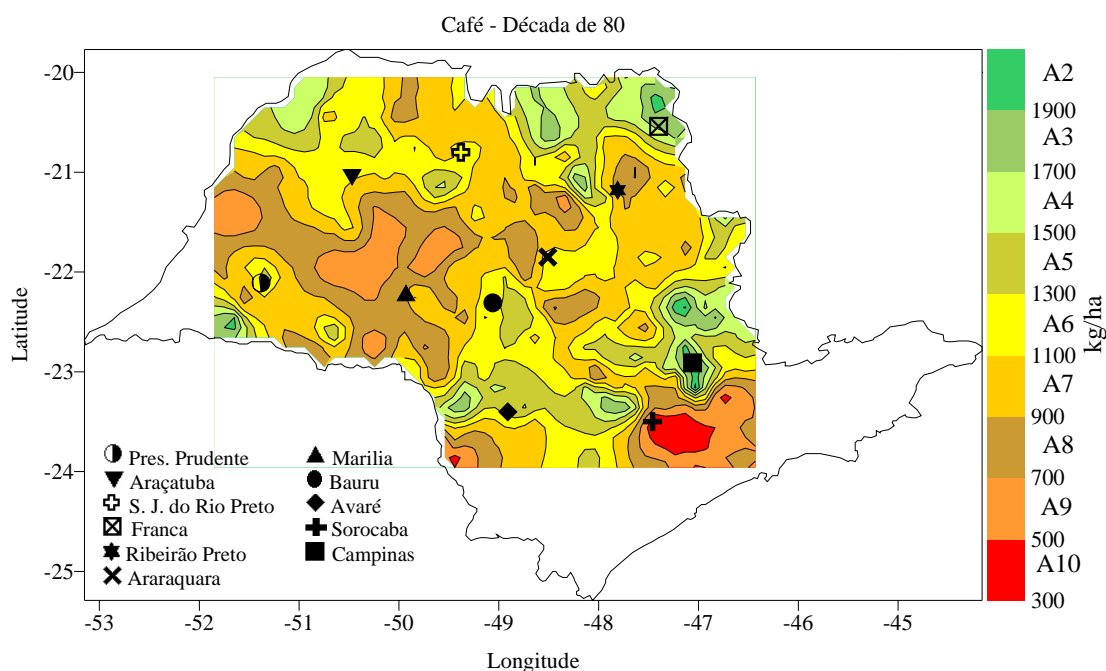


**Figura 57.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 70.

A Figura 61 mostra a área total colhida da cultura do café na região estudada. Nota-se que, no período de 1974 a 1987, a área total colhida oscilou de um ano para outro, apresentando um pico de baixa em 1976, provavelmente, devido à geada ocorrida em 1975 e um pico de maior área colhida no ano de 1981. A partir de 1987, houve um decréscimo, ano após ano, na área colhida da cultura, até o ano de 1995, estabilizando-se, a partir daí, em torno de um pouco mais de 200 mil hectares/ano.

A década de 80 foi marcada por um período longo de preços baixos do café, conseqüentemente poucos investimentos na lavoura, queda de produtividade e até desistência de produtores. Essa queda pode ser observada no mapa de isolinhas da cultura do café na década de 80 (Figura 58), onde as regiões de maior expressividade na cafeicultura paulista: Marília, Araraquara, Ribeirão Preto e Espírito Santo do Pinhal/São João da Boa Vista apresentaram produtividade inferiores às registradas na década de 70 (Figura 57). As exceções

foram às regiões de Franca, Campinas e Piraju, que mantiveram suas médias ou tiveram uma pequena elevação.

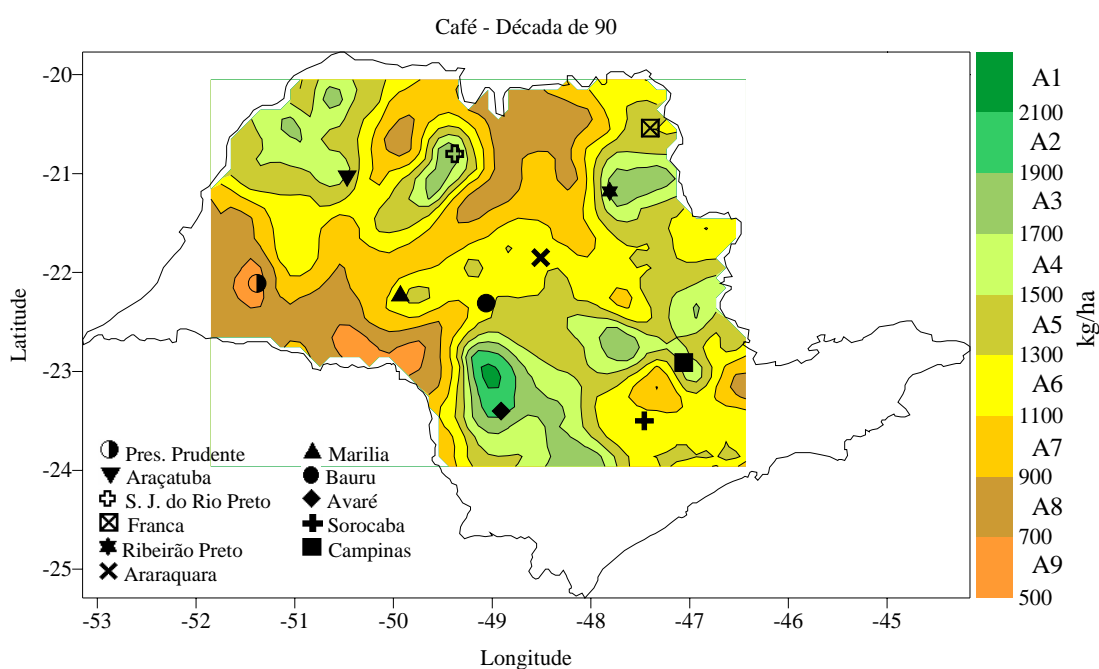


**Figura 58.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 80.

No início da década de 90, o café apresentava preços baixos, estoque mundial baixo e o consumo nos países ricos estava em alta. Associados a isso, em 1994, ocorreu uma geada muito forte no Brasil, atingindo os cafezais do Estado de São Paulo, desestabilizando o mercado mundial e os preços voltaram a subir. No período de 1994 a 2000, os preços do café foram competitivos, surgindo no Estado de São Paulo novas áreas visando à exploração do café, sendo a mais expressiva a região de Piraju. Nessa região houve uma evolução da produtividade média do café no decorrer das décadas. Na década de 70 (Figura 57) apresentou uma produtividade média relativamente baixa, enquanto que na década de 80 (Figura 58) a produtividade média nessa região foi bem expressiva. Já na década de 90 (Figura 59) foi à região que apresentou a maior produtividade média do Estado, além disso, houve uma expansão da área colhida com maior produtividade, principalmente, para o Sul do Estado.

Vegro et al. (2000) afirmaram que a cafeicultura paulista com expressão econômica encontra-se fundamentalmente nas regiões de Franca, Espírito Santo do Pinhal/São João da Boa Vista, Marília (Getulina e Vera Cruz) e Piraju.

Por intermédio do mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do café na década de 90 (Figura 59), observa-se que nessas regiões houve uma expansão nas áreas com maior produtividade em relação à década de 70 (Figura 57) e à década de 80 (Figura 58).

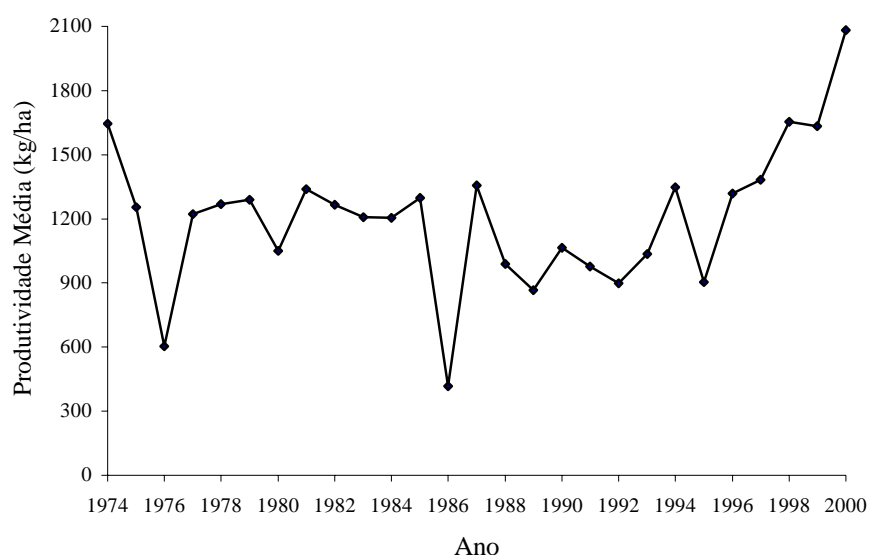


**Figura 59.** Mapa de isolinhas de produtividade média anual (kg/ha) da cultura do café na década de 90.

Pino et al. (1999) afirmaram que a retomada do cultivo veio a ocorrer com a melhoria dos preços internacionais e o redescobrimto do potencial brasileiro em termos de volume e de qualidade do produto. Esses fenômenos estimularam plantios incorporando novos padrões tecnológicos e agrônômicos, estimando-se que, no Estado, entre 1994 e 1998, tenham sido cultivados cerca de 50 mil hectares de lavouras novas.

Como o agricultor deveria ter produtividade associada à qualidade, com redução de custos, adotaram-se novas tecnologias na cafeicultura, entre elas, o plantio do

cafezal pelo sistema de adensamento. Resultados encontrados por Matsunaga (1981) indicaram que a adoção do adensamento seria alternativa que permitiria menor custo de produção por saca. Bessa Junior & Martin (1992) concluíram que sistemas de produção de café mais tecnificados e com maior produtividade tiveram maior capacidade de resistir às eventuais crises de preços, frente àqueles em que prevaleciam padrões mais tradicionais. Gonçalves et al. (2001) afirmaram que o plantio adensado possibilita produtividades muito superiores, o que permite dimensionar um grande parque cafeeiro com base em inúmeras propriedades familiares com cultivo superadensado, gerando cafés de alta qualidade com produtividade elevada.

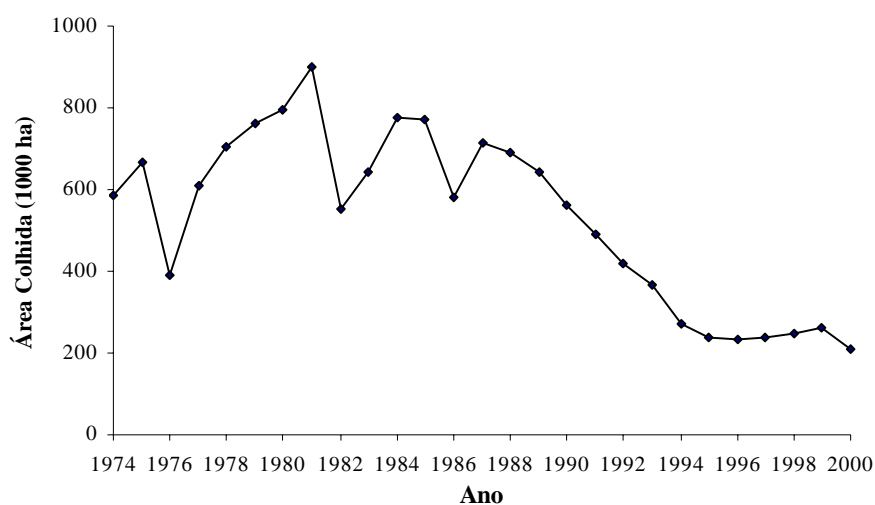


**Figura 60.** Produtividade média da cultura do café, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE.

A década de 90 também foi marcada pelo surgimento da Câmara Setorial do Café e de vários prêmios oferecidos para o café de melhor bebida. Como consequência, surge, no início do século XXI, o “Selo de Qualidade” nas categorias cafés de bebidas “superior” e cafés de bebida “gourmet”, incentivando, assim, os cafeicultores a produzir, cada vez mais, produtos de melhor qualidade.

Segundo Souza et al. (2003), cafés gourmet são os produtos excelentes, raros e exclusivos, sendo que todos seus atributos de qualidade são positivos. Suas características únicas e marcantes conferem-lhes valor agregado muito mais elevado. Segundo o mesmo autor, cafés superiores são aqueles cuja qualidade é reconhecidamente boa. Os consumidores que os valorizam mantêm a fidelidade à bebida, sobretudo pelo preço acessível.



**Figura 61.** Área colhida da cultura do café, região estudada: São Paulo, 1974-2000.

Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pelo IBGE

De acordo com Veiga et al. (2001), a produção do café especial, por demandar cuidados maiores e constantes no seu preparo, é adequada às unidades de produção de menor área, que predominam no Estado, devido à disponibilidade de mão-de-obra assegurada dentro da propriedade.

A certificação permite que os produtores familiares se incorporem com mais facilidade ao mercado de cafés diferenciados, pois, quando há certificados por agências com reconhecimento internacional, há grande interesse do consumidor externo em comercializar diretamente com o produtor ou com grupos de pequenos produtores, o que reduz o número de intermediários e favorece a negociação das margens (SOUZA et al., 2002).

Os vencedores paulistas, tanto do prêmio *illy* como do Cup of Excellence, encontram-se nas regiões assinaladas na Figura 62 (SOUZA et al., 2003).



Comparando-se o mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do café na década de 90 (Figura 59) com o mapa dos municípios com produtores de café premiados (Figura 62), pode-se associar a obtenção de qualidade às regiões com maior produtividade no Estado.



**Figura 62.** Municípios com produtores de café premiados, por Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR), Estado de São Paulo.

Fonte: *illy* e BSCA, apud Souza et al. (2003).

Sendo o café uma cultura perene de elevado investimento, a inserção de inovações tecnológicas impactantes, como novas variedades mais produtivas e tolerantes a pragas e doenças devem ter lenta introdução no sistema de renovação do parque cafeeiro, o que comprova as pequenas variações crescentes de produtividade observadas no decorrer do tempo.

Na Tabela 12, estão apresentadas as porcentagens da área colhida de cada isolinha, observa-se que as isolinhas com maior concentração de área colhida, tanto na

década de 70 como na década de 90, foram as isolinhas A7, A6 e A5 (produtividade média entre 900 e 1.500 kg/ha), apresentando mais de 65% de área colhida na década de 70 e quase 64% na década de 90, enquanto que na década de 80, as isolinhas com maior concentração de área colhida (A8, A7 e A6, com mais de 65% da área colhida) são isolinhas de menor produtividade, apresentando produtividade média entre 700 e 1.300 kg/ha. Isso, provavelmente, foi em virtude da ocorrência, nessa década, de um período longo de preços baixos do café, desestimulando os cafeicultores a investir na lavoura, provocando queda de produtividade. Observa-se, também, que a década de 90 em comparação com as demais décadas, apresentou um acréscimo na porcentagem de área colhida nas isolinhas de maior produtividade (A1, A2, A3 e A4).

**Tabela 12.** Porcentagem da área total colhida de cada isolinha, cultura do café nas décadas de 70, 80 e 90.

Isolinhas	Limites das isolinhas (kg/ha)	Década de 70 (%)	Década de 80 (%)	Década de 90 (%)
A1	2.100 - 2.300	-	-	4,6
A2	1.900 - 2.100	2,9	3,5	3,3
A3	1.700 - 1.900	6,9	4,8	7,5
A4	1.500 - 1.700	7,8	6,2	9,6
A5	1.300 - 1.500	19,3	8,5	20,0
A6	1.100 - 1.300	22,4	15,5	26,5
A7	900 - 1.100	23,7	21,3	17,4
A8	700 - 900	15,5	28,8	7,9
A9	500 - 700	1,5	11,0	3,2
A10	300 - 500	-	0,4	-

#### 4.5 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual das Culturas do Arroz, Feijão, Milho e Café

Para efetuar a correlação entre os índices climáticos (térmico, pluviométrico e pluviotérmico) e a produtividade média anual das culturas foram estimados valores pelo processo de interpolação por krigagem, em 1.747 pontos na região em estudo para

cada um dos índices climáticos e para a produtividade média anual de cada cultura e década analisada.

Para melhor entendimento da correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual das culturas em estudo, elaborou-se mapas com a mesma quantidade de isolinhas, tanto para os índices climáticos como para a produtividade média anual de cada cultura e década analisada.

#### 4.5.1 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Arroz

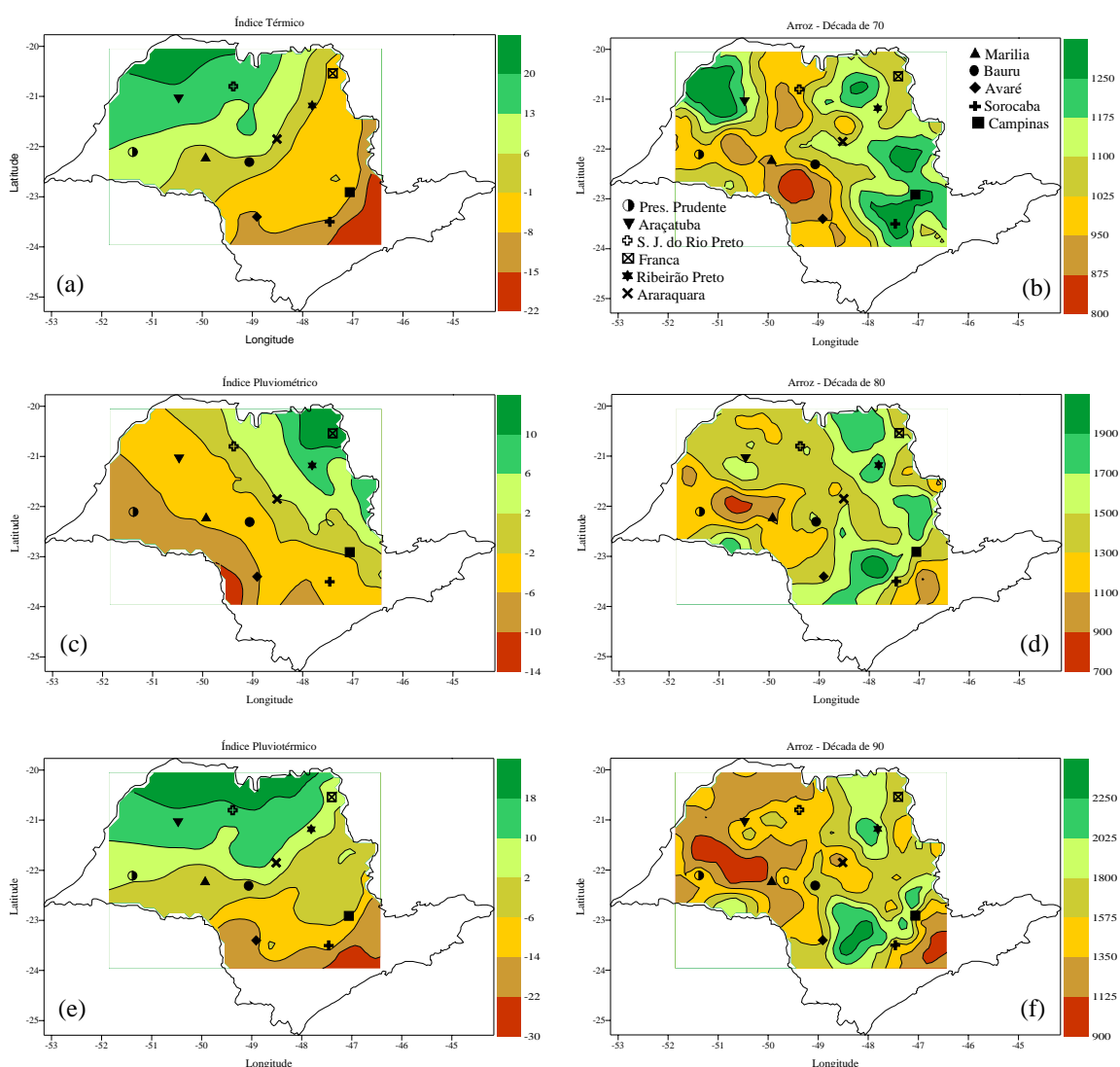
Na Tabela 13, encontram-se os coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual da cultura do arroz nas décadas de 70, 80 e 90.

**Tabela 13.** Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual da cultura do arroz.

Índice	Década de 70	Década de 80	Década de 90
Térmico	-0,0883	-0,1468	-0,3692
$\rho$	0,0002	0,0001	0,0001
Pluviométrico	0,3126	0,3789	0,3063
$\rho$	0,0001	0,0001	0,0001
Pluviotérmico	0,0902	0,0582	-0,1846
$\rho$	0,0002	0,0149	0,0001

A influência negativa do índice térmico sobre a produtividade do arroz, observada na Tabela 13, pode ser explicada comparando os mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do arroz nas décadas de 70 (Figura 63b), 80 (Figura 63d) e 90 (Figura 63f) com o mapa de isolinhas do índice térmico (Figura 63a), elaborado por Cardim, M. (2001), onde se pode observar, com pequenas exceções, que nas regiões em que o

índice térmico é alto a produtividade do arroz é mais baixa do que nas regiões onde o índice térmico é baixo. Observa-se, também, pela Tabela 13, que o coeficiente de correlação entre o índice térmico e a produtividade do arroz aumenta no decorrer das décadas, podendo ser em função do desmatamento ocorrido no Estado, provocando temperaturas mais elevadas, principalmente no período noturno, na maior parte do Estado, o que, com o passar do anos, influenciou negativamente o índice térmico.



**Figura 63:** Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do arroz nas décadas de 70, 80 e 90.

Na década de 90, a influência negativa do índice térmico sobre a produtividade do arroz é bem caracterizada, o que pode ser observado na comparação do mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do arroz na década de 90 (Figura 63f) com o mapa de isolinhas do índice térmico (Figura 63a), onde há ocorrências de menor produtividade nas regiões com índice térmico maiores. Nessa década, o coeficiente de correlação do índice térmico, em módulo, supera o índice pluviométrico. Isso se deve ao fato de que, nessa época, há uma grande área com produtividade mais baixa, provavelmente pela ocorrência de altas temperaturas, mesmo depois das chuvas, fazendo com que essas altas temperaturas sobreponha o índice pluviométrico.

O índice pluviométrico influencia positivamente sobre a produtividade do arroz, mantendo-se quase o mesmo coeficiente de correlação em todas as décadas. Essa influência positiva pode ser notada na comparação dos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do arroz nas décadas de 70 (Figura 63b), 80 (Figura 63d) e 90 (Figura 63f) com o mapa de isolinhas do índice pluviométrico (Figura 63c), elaborado por Cardim, M. (2001). Nota-se que, nas regiões que apresentam índice pluviométrico baixo, a produtividade média do arroz também é baixa e as regiões que apresentam índice pluviométrico mais elevado apresentam as melhores produtividades. As exceções ocorrem na região Noroeste do Estado, na década de 70, onde o índice pluviométrico é baixo e a produtividade média do arroz é alta. Isso se deve ao fato de que, nessa época, a região estava sendo aberta e apresentava solos com boa fertilidade. A região situada entre Sorocaba e Avaré, nas três décadas, apresentou, também, alta produtividade com índice pluviométrico baixo. Essa alta produtividade está relacionada à altitude mais elevada, proporcionando queda de temperatura no período noturno, acarretando um aumento na taxa fotossintética líquida da planta. Outra exceção é a região do Vale do Paranapanema, que, também, apresenta índice pluviométrico baixo com alta produtividade, principalmente nas décadas de 80 e 90. O alto nível tecnológico dos produtores dessa região (uso de irrigação, altos níveis de adubação) e a alta fertilidade do solo são reflexos dessa alta produtividade.

Como o índice pluviotérmico é a soma do índice térmico e o índice pluviométrico (CARDIM, M., 2001), pode-se verificar, pela Tabela 13, que a correlação entre o índice pluviotérmico e a produtividade do arroz está correlacionada aos índices térmico e pluviométrico, pois o índice pluviotérmico influencia negativamente na produtividade do arroz

somente na década de 90, onde o valor absoluto do coeficiente de correlação do índice térmico é superior ao do índice pluviométrico, o que não ocorre nas décadas de 70 e 80, onde os valores absoluto do coeficiente de correlação do índice térmico são menores do que os do índice pluviométrico, tendo, então, o índice pluviotérmico uma influência positiva na produtividade do arroz.

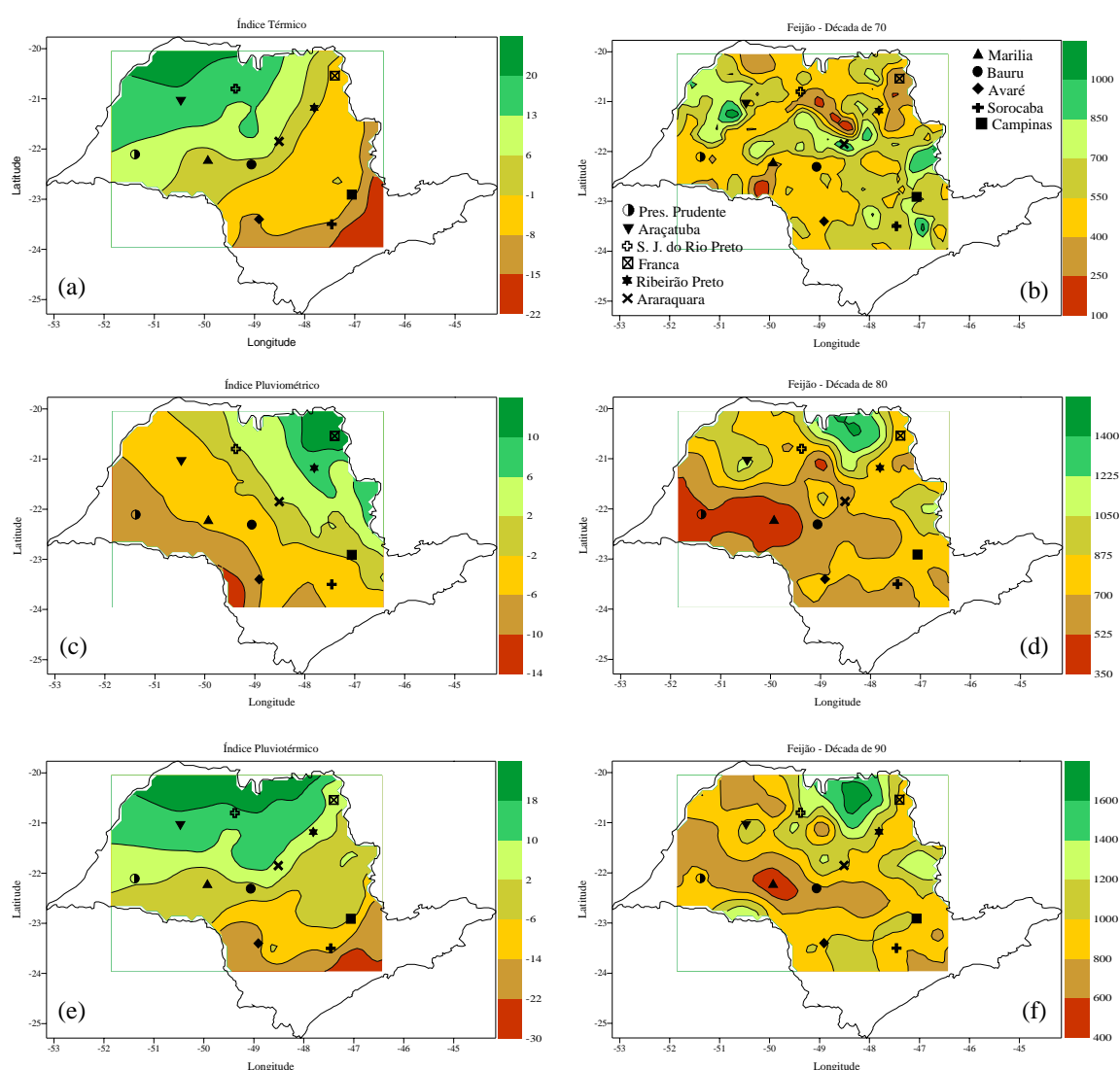
#### 4.5.2 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Feijão

Na Tabela 14, encontram-se os coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual da cultura do feijão nas décadas de 70, 80 e 90. Observa-se que, na década de 70, todos os coeficientes de correlação são baixos e negativos, ou seja, os índices climáticos (térmico, pluviométrico e pluviotérmico) influenciaram negativamente e muito pouco na produtividade do feijão. Isso se deve ao fato de que, nessa década, a cultura do feijão apresentou regiões de alta e baixa produtividade muito diversificada, em todo o Estado, o que pode ser verificado pelo mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 70 (Figura 64b).

**Tabela 14.** Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do feijão.

Índice	Década de 70	Década de 80	Década de 90
Térmico	-0,0923	0,1558	0,0311
$\rho$	0,0000	0,0001	0,1934
Pluviométrico	-0,0492	0,6113	0,5503
$\rho$	0,0397	0,0001	0,0001
Pluviotérmico	-0,0884	0,4317	0,2861
$\rho$	0,0002	0,0001	0,0001

O índice térmico teve uma influência positiva muito baixa na produtividade do feijão na década de 80. Na década de 90, a influência não foi significativa a 5% de significância. Comparando-se o mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão na década de 80 (Figura 64d) com o mapa de isolinhas do índice térmico (Figura 64a), observa-se que essa pequena influência positiva deve-se à região Norte do Estado que apresentou alta produtividade com índice térmico alto, o que não é de se esperar. Essa alta produtividade nessa região deve-se ao uso de tecnologia, principalmente à irrigação.



**Figura 64:** Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do feijão nas décadas de 70, 80 e 90.

Comparando-se os mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do feijão nas décadas de 80 (Figura 64d) e 90 (Figura 64f) com o mapa de isolinhas do índice pluviométrico (Figura 64c), nota-se que a influência positiva que o índice pluviométrico exerceu na produtividade do feijão, nessas décadas, é aceitável, pois nas regiões onde a produtividade é baixa o índice pluviométrico também é baixo; nas regiões onde a produtividade é alta o índice pluviométrico também é alto. A exceção foi na década de 90, onde a região de Assis e a região entre Avaré e Sorocaba apresentam alta produtividade com índice pluviométrico baixo. Isto talvez se deva à utilização de alta tecnologia, principalmente irrigação, uso de insumos e cultivares com alto potencial produtivo.

A correlação entre o índice pluviotérmico e a produtividade do feijão, como na correlação com a cultura do arroz, está correlacionada aos índices térmico e pluviométrico, tendo o índice pluviotérmico influência negativa na produtividade do feijão somente na década de 70 quando o valor absoluto do coeficiente de correlação do índice térmico é superior ao do índice pluviométrico, o que não ocorre nas décadas de 80 e 90, onde o índice pluviotérmico influencia positivamente na produtividade do feijão, pois os valores do coeficiente de correlação do índice pluviométrico são maiores do que os do índice térmico e positivos.

#### **4.5.3 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Milho**

Na Tabela 15, encontram-se os coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual da cultura do milho nas décadas de 70, 80 e 90. Observa-se que, no decorrer das décadas, houve uma diminuição da influência do índice térmico na produtividade do milho. O melhor coeficiente apresentado na década de 70 talvez se deva ao fato de que, nessa década, houve alta produtividade de milho nas regiões Norte e Noroeste com alto índice térmico, e baixa produtividade na região compreendida entre Avaré e Sorocaba com baixo índice térmico, o que pode ser constatado comparando-se o mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho (Figura 65b) com o mapa de isolinhas do índice térmico (Figura 65a). Já na década de 90 (Figura 65f) houve alta



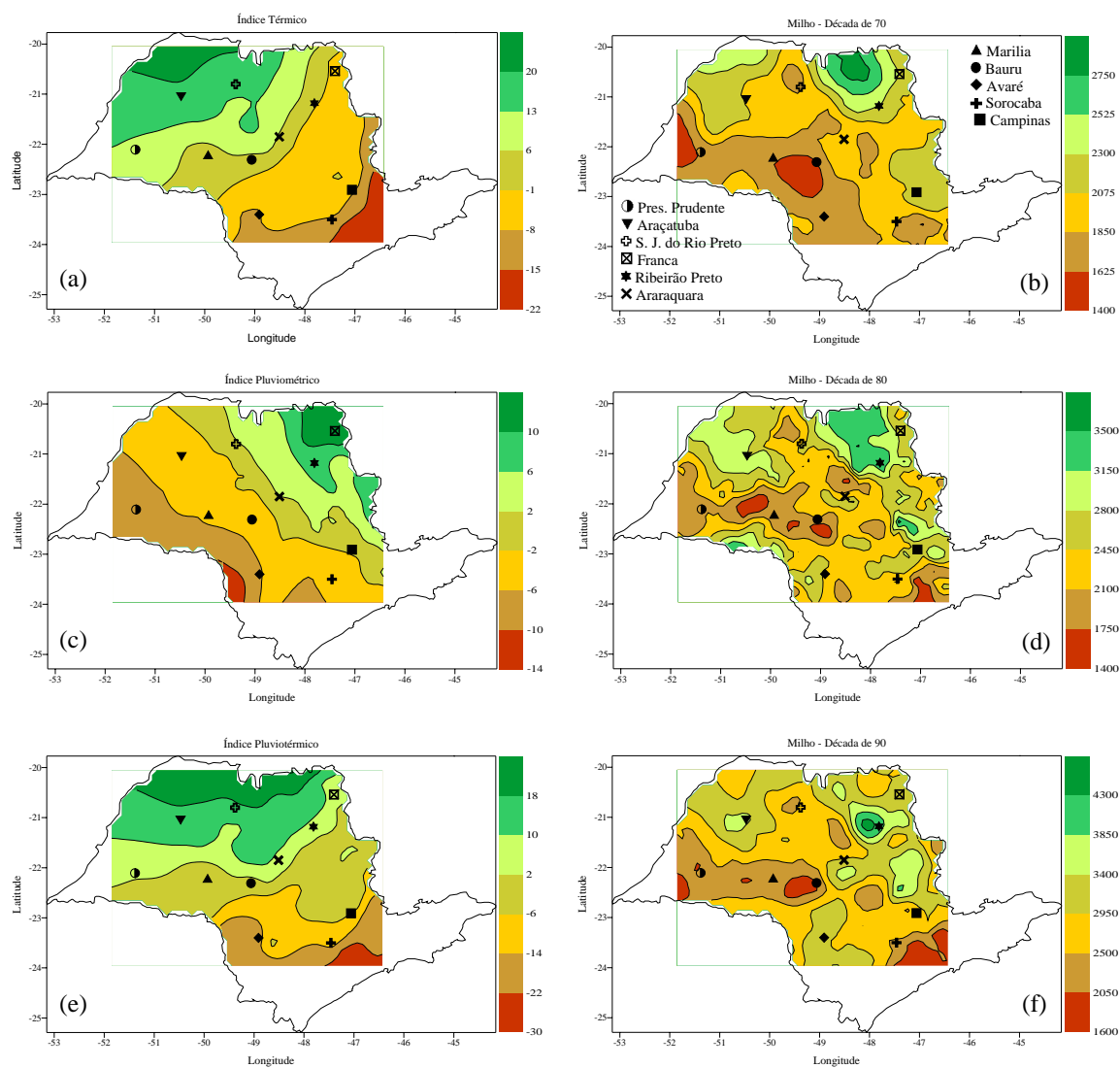
produtividade de milho nas regiões de Avaré e na região compreendida entre Campinas e Ribeirão Preto que apresentaram índices térmicos baixos, diminuindo, assim, a influência do índice térmico na produtividade de milho.

**Tabela 15.** Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do milho.

Índice	Década de 70	Década de 80	Década de 90
Térmico	0,2383	0,2058	0,1170
$\rho$	0,0002	0,0001	0,0001
Pluviométrico	0,6535	0,4198	0,4573
$\rho$	0,0001	0,0001	0,0001
Pluviotérmico	0,5238	0,3961	0,3239
$\rho$	0,0001	0,0001	0,0001

O índice pluviométrico tem uma influência positiva sobre a produtividade do milho nas três décadas estudadas, sendo que, na década de 70, esta influência é bem significativa. Comparando o mapa de isolinhas do índice pluviométrico (Figura 65c) com o mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho na década de 70 (Figura 65b) observa-se que as regiões com maior produtividade apresentam índices pluviométricos também maiores e, nas regiões com índices pluviométricos baixos as produtividades também são baixas.

Nota-se, pelos mapas de isolinhas de produtividade média anual da cultura do milho nas décadas de 80 (Figura 65d) e 90 (Figura 65f), que as regiões do Vale do Paranapanema e de Avaré apresentam alta produtividade com índice pluviométrico baixo, diminuindo, assim, a influência do índice pluviométrico sobre a produtividade do milho nessas décadas. A alta produtividade nessas regiões foi consequência do uso de novas tecnologias. Assim, pode-se concluir que, provavelmente, na década de 70, a água tenha tido maior importância na produtividade do milho do que nas décadas de 80 e 90, quando com tecnologia, pôde-se ter uma maior produtividade com índice pluviométrico menor.



**Figura 65:** Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do milho nas décadas de 70, 80 e 90.

O índice pluviotérmico, soma dos índices térmico e pluviométrico, influenciou na produtividade do milho positivamente, mantendo o mesmo comportamento dos índices térmico e pluviométrico, ou seja, sua influência foi diminuindo no decorrer das décadas.

#### 4.5.4 Correlação entre os Índices Climáticos e a Produtividade Média Anual do Café

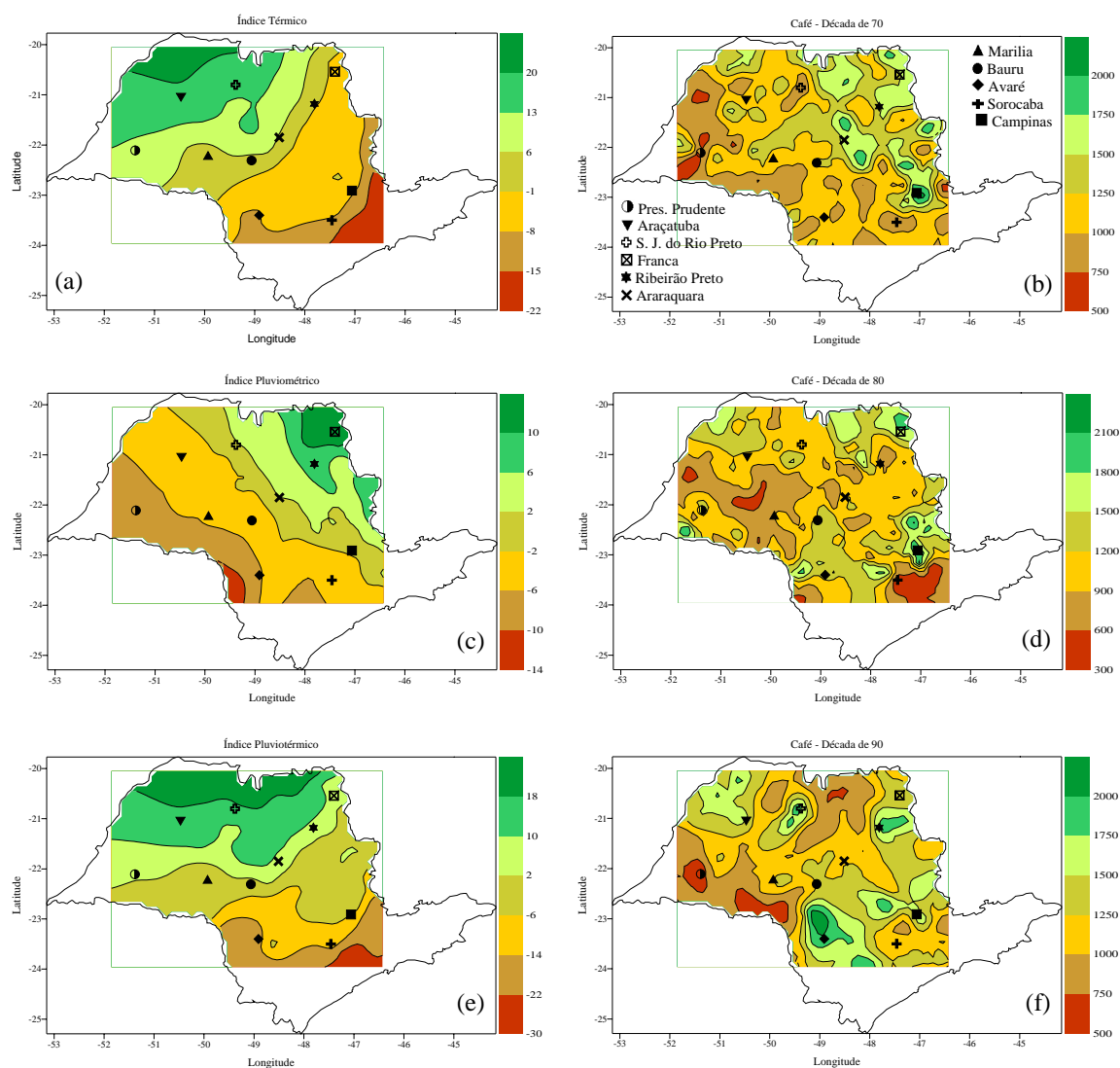
Na Tabela 16, encontram-se os coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média anual da cultura do café nas décadas de 70, 80 e 90. Observa-se que a correlação entre o índice térmico e a produtividade do café não são significativas, ao nível de 5% de significância, para as décadas de 70 e 80, não se podendo, assim, tirar conclusão. Na década de 90, o índice térmico influencia negativamente na produtividade do café. Esta influência pode ser constatada comparando-se o mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do café na década de 90 (Figura 66f) com o mapa de isolinhas do índice térmico (Figura 66a). Verifica-se que, na maioria das regiões produtoras de café do Estado com maior produtividade, o índice térmico é baixo e, onde a produtividade é baixa, o índice térmico é alto, tendo como exceções à região de Sorocaba, que apresenta baixa produtividade com baixo índice térmico e as regiões de Araçatuba e São José do Rio Preto, que apresentam alta produtividade com alto índice térmico.

**Tabela 16.** Coeficientes de correlação entre os índices climáticos e a produtividade média da cultura do café.

Índice	Década de 70	Década de 80	Década de 90
Térmico	-0,0037	0,0144	-0,2911
$\rho$	0,8787	0,5485	0,0001
Pluviométrico	0,6204	0,3114	0,0792
$\rho$	0,0001	0,0001	0,0009
Pluviotérmico	0,2671	0,1590	-0,2294
$\rho$	0,0001	0,0001	0,0001

Observa-se, também pela Tabela 16, que a correlação entre o índice pluviométrico e a produtividade média da cultura do café diminui no decorrer das décadas. Na década de 70, o índice pluviométrico teve uma influência significativa na produtividade do café, o que pode ser verificado comparando-se o mapa de isolinhas de produtividade média

anual da cultura do café na década de 70 (Figura 66b) com o mapa de isolinhas do índice pluviométrico (Figura 66c), em que na maioria das regiões do Estado com alta produtividade de café, como Campinas, Araraquara, Ribeirão Preto e Franca, tem-se, também, um alto índice pluviométrico e as regiões com baixa produtividade apresentam baixo índice pluviométrico.



**Figura 66:** Mapas dos índices climáticos e da produtividade média anual do café nas décadas de 70, 80 e 90.

Na década de 80, cai significativamente a influência do índice pluviométrico na produtividade do café, o que pode ser explicado através da comparação do mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do café na década de 80 (Figura 66d) com o mapa de isolinhas do índice pluviométrico (Figura 66c). Nessa época há várias regiões no Estado apresentando produtividade baixa com índice pluviométrico alto e vice-versa.

Já na década de 90 a influência do índice pluviométrico na produtividade do café é praticamente nula. Essa década apresenta novas regiões com alta produtividade, como a região de Avaré e a região Noroeste do Estado, como pode ser visto no mapa de isolinhas de produtividade média anual da cultura do café na década de 90 (Figura 66f), apresentando baixo índice pluviométrico (Figura 66c). Essa alta produtividade, principalmente na região de Avaré, está relacionada à abertura de novas regiões cafeeiras no Estado de São Paulo, devido à alta de preços a partir de 1994, objetivando os novos produtores a ter alta produtividade com qualidade, o que foi conseguido com o uso de alto grau de tecnologia.

Nota-se, pela Tabela 16, que o índice pluviotérmico influencia negativamente a produtividade do café somente na década de 90, onde o valor absoluto do coeficiente de correlação do índice térmico é superior ao do índice pluviométrico, o que não ocorre nas décadas de 70 e 80. Isso porque o índice pluviotérmico é a soma do índice térmico e do índice pluviométrico.

## 5 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos no presente trabalho estabeleceram-se as seguintes conclusões:

As técnicas de geoestatística detectaram e descreveram a variabilidade espacial da produtividade média anual para todas as culturas e décadas analisadas.

A krigagem foi um interpolador eficiente, demonstrando a correlação existente entre os valores observados e os valores estimados. Relação essa, verificada por intermédio da técnica da validação cruzada.

Os mapas de isolinhas permitiram analisar o comportamento da produtividade média anual de cada cultura em cada uma das décadas analisada, identificando classes de regiões onde a cultura apresentou as melhores e as piores produtividades no Estado de São Paulo, comprovando, assim, que a geoestatística é uma boa alternativa para analisar fenômenos agrícolas georreferenciados.

Com exceção da cultura do feijão na década de 70, o índice pluviométrico influenciou positivamente a produtividade média de todas as culturas nas décadas analisadas, mostrando a importância da chuva na produtividade das culturas.

O índice térmico influenciou negativamente a produtividade média da cultura do arroz em todas as décadas, do feijão na década de 70 e do café na década de 90. Os coeficientes de correlação não foram significativos para a cultura do café nas décadas de 70 e

80 e para a cultura do feijão na década de 90, demonstrando que altas temperaturas, provavelmente, são prejudiciais na obtenção de alta produtividade.

Dependendo de interesses da pesquisa outras variáveis relacionadas à agricultura, como umidade relativa do ar, radiação solar, propriedades físicas e químicas do solo, poderão ser incluídas na metodologia proposta. Uma diminuição nos períodos analisada, provavelmente trará estimativas mais precisas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. D. O feijão carioca: Reflexos de sua adoção. Dia de Campo de Feijão, 16<sup>o</sup>, Capão Bonito, 2000. Anais do 16<sup>o</sup> Dia de Campo de Feijão, 18 e 19 de abril de 2000. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 83p.
- ARRUDA, F. B., TUBELIS, A., NASCIMENTO, F. J. L. Efeito da temperatura média diária do ar na produtividade do feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.* 15(4), 1980.
- BESSA JUNIOR, A. A., MARTIN, N. B. Custos e rentabilidade na cultura do café. *Informações Econômicas*. São Paulo, v.22, n.7, p.30-35, jul, 1992.
- BRESEGHELLO, F., STONE, L. F. Tecnologia para o arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. 161p.
- BRUNINI, O. Elementos meteorológicos e o comportamento vegetal. Centro de Ecofisiologia e Biofísica. Instituto Agronômico, 1999.
- BRUNINI, O. Temperatura do ar e desenvolvimento vegetal. 1<sup>o</sup> Curso: Uso da agrometeorologia no planejamento agrícola. Instituto Agronômico/CPA, 1997.
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CARDIM, M. Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo. Botucatu, 2001. 124p. Tese



- (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista.
- CARDIM, M.; CATANEO, A.; CARDIM, D. Estudo da variabilidade espacial da chuva média mensal do Estado de São Paulo. In: SINERGIA: Anais do I Simpósio em Energia na Agricultura, Botucatu, UNESP-FCA, 1999b, v.2 p.547-552.
- CARDIM, M.; CATANEO, A.; PAULO, E.M.; MELO, C.M.; GABRIEL, L.R.A.; GUIMARÃES, E.C. Estudo da variabilidade espacial da densidade do solo. In: SINERGIA: Anais do I Simpósio em Energia na Agricultura, Botucatu, UNESP-FCA, 1999a, v.2 p.535-540.
- CARVALHO, A., FAZUOLI. Café. In: FURLANI, A. M. C., VIÉGAS, G. P. O merolhamento de plantas no Intituto Agrônômico. Campinas, Intituto Agrônômico, 1993. p.29-76.
- CARVALHO, M. S. Aplicação de métodos de análise espacial na caracterização de áreas de risco a saúde. Rio de Janeiro, 1997. 138p. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica) - COPPE/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CASTILHO, H. J. Estudo da distribuição espacial de cupins subterrâneos através da Geoestatística em área de cultivo de cana-de-açúcar. São Carlos, 1998. 165p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade de São Paulo.
- CATANEO, A., ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento da suscetibilidade à erosão em uma área de reflorestamento. In: *Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural Latinoamericana*. CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERÍA RURAL, CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL. Promoção Asociación Latinoamericana y del Caribe de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de La Plata. Editores R.H. Balbuena, S.H. Benez e D. Jorajuíra. La Plata, Argentina, Editora da U.N.L.P., p.41-46, 1998.
- CATANEO, A.; CARDIM, M. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Estado de São Paulo. In: SINERGIA: Anais do I Simpósio em Energia na Agricultura, Botucatu, UNESP-FCA, 1999, v.2 p.529-534.
- COSTA NETO, P. L. O. Estatística. São Paulo: Edgard Bücher, 1997. 264p.
- COSTA NETO, P. L. O. Estatística. São Paulo: Edgard Bücher, 2002. 266p.

- CRESPO, A. A. Estatística fácil. 17 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 1999. 224p.
- CRESSIE, N. A. C. Statistics for spatial data. Rev. ed. New York: John Wiley, 1993. 900p.
- DINIZ, R.A.V. A aplicação da metodologia Geoestatística para a classificação geomecânica de uma camada da “hangwall” na mina São Bento - MG. São Carlos, 1997. 154p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- DOURADO NETO, D. Variabilidade espacial das alturas de chuva e irrigação e de potenciais da solução do solo. Piracicaba, São Paulo, 1989. 180p. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1989.
- DURATE, A. P., MARTINS, A. C. N., BRUNINI, O., CANTARELLA, H., DEUBER, R., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., TSUNECHIO, A., SAWAZAKI, E., DENUCCI, S., FANTIN, G.M., RECO, P. C. Milho safrinha - Técnicas para o cultivo no Estado de São Paulo. Campinas, 2000. 16p. (Documento Técnico, 113).
- FARIAS, P.R.S.; NOCITI, L.A.S.; BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. Revista Brasileira de Fruticultura, v.25, n.2, p.235-241, agosto. 2003.
- FERRAZ, E. C. Fisiologia da cultura do arroz. Simpósio sobre a Cultura do Arroz de Sequeiro. Jaboticabal, p.77-90, 1983.
- FERREIRA, C. M., BARROS, G. S. C. Perfil econômico do feijão na década de 90. Informações Econômicas, São Paulo, v.32, n.3, p.23-34, mar., 2002.
- FERREIRA, C. M., PELOSO, M. J. D., FARIA, L. C. Feijão na economia nacional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 47p. (Documentos 135)
- FIETZ, C. R. Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão. Piracicaba, 1998. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998.
- FONSECA, J. S., MARTINS, G.A. Curso de estatística. 6 ed. São Paulo: Atlas, 1996. 320p.
- FONSECA, J. S., MARTINS, G.A., TOLEDO, G. L. Estatística aplicada. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1985. 267p.
- FORNARIERI FILHO, D., FORNARIERI, J. L. Manual da cultura do arroz. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.

- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Distribuição e concentração mensal do plantio e de colheita de produtos vegetais. Rio de Janeiro, 1979. 40p.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Distribuição e sazonalidade de produção agrícola. Rio de Janeiro, 1980. 112p.
- GONÇALVES, J. S., SOUZA, S. A. M., MARTIN, N. B. Café de família: lavoura competitiva de alta produtividade e qualidade superior. Instituto de Economia Agrícola. Informações Econômicas. São Paulo, v.31, n.7, p.7-16, jul., 2001.
- GOOVAERTS, P. Geostatistics for natural resources evaluation. New York, Oxford University Press, Inc., 1997. 483p.
- GS+ for Windows 5.0.3 Beta: Geoestatistics for the environmental sciences. Michigan: Gamma Design Software, 2000. Disponível em [www.gammadesign.com](http://www.gammadesign.com).
- GUERRA, P. A. G. Geoestatística operacional. Ministério das Minas e Energia, 1988. 145p.
- GUIMARÃES, C. M. Características morfo-fisiológicas do feijoeiro relacionadas com a resistência à seca. Campinas, 1992. Tese (Doutorado) - UNICAMP.
- IEMMA, A. F. Estatística descritiva. Piracicaba: Publicações, 1992, 182p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Grupo executivo de racionalização da cafeicultura. Cultura de café no Brasil, manual de recomendações. 5<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro, 1985. 580p.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Série informações estatísticas da agricultura. Anuário IEA, 2001. São Paulo, v.13, n.1, 2002. 302p.
- ISAAKS, E.H., SHRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics. New York, Oxford University Press, Inc., 1989. 561p.
- JIAN, X., OLEA, R. A., YU, Y. S. Semivariogram modeling by weighted least squares. *Computers & Geosciences*, v.22, n.4, p.387-389, 1995.
- JUNQUEIRA, P. C., CANCEGLIERO, L. F. B., MATSUNAGA, M., YAMAGUISHI, C. T. Aspectos econômicos da produção e comercialização do feijão. Anais do I Simpósio Brasileiro de Feijão, Campinas, v.2, p.573-626, 1971.
- KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. *Journal Chem. Metall. Min. Soc. S. Afr.*, v.52, p.119-139, 1951.
- LANDIM, P. M. B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: UNESP, 1998. 226p.
- LAZZAROTTO, C., URCHEI, M. A., TEIXEIRA, M. R. O., ENDRES, V. C., SANS, L. M. A., PITOL, C., MUNIZ, J. A. Épocas de semeadura e zoneamento agrícolas. EMBRAPA:

- Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Milho: Informações Técnicas. Dourados, MS, 1997. 222p.
- LEMOS, L. B. Comportamento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e interação genótipo x ambiente em Jaboticabal-SP. Jaboticabal, 1997. 101p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Departamento de Fitotecnia, 1997.
- MANDALLAZ, D. Estimation of the spatial covariance in universal kriging: application to forest inventory. *Environ. Ecol. Stat.*, v.7, p.263-84, 2000.
- MARTINS, G. A., DONAIRE, D. Princípios da estatística. 4 ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 224p.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*. El Paso, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MATSUNAGA, M. Alternativas tecnológicas na cultura do café no Estado de São Paulo. São Paulo: USP/FEA, 1981. Dissertação de Mestrado.
- MEDINA, J. C. O feijão no Brasil. Anais do I Simpósio Brasileiro de Feijão. Campinas, 1971.
- MELEM, V. M. Utilização da geoestatística na construção de mapas de temperatura média mensal para o estado do Paraná. Botucatu, 2002. 125p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista.
- MELLO, N. T. C., NOGUEIRA, E. A., OKAWA, H. A produção de feijão do sudoeste paulista no contexto do desenvolvimento regional. Instituto de Economia Agrícola. Informações Econômicas. São Paulo, v.32, n.7, p.43-46, jul., 2002.
- MELO FILHO, G. A., RICHETTI, A. Aspectos socioeconômicos da cultura do milho. p.13-38. EMBRAPA: Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Milho: Informações Técnicas. Dourados, MS, 1997. 222p.
- MELO, C. M.; CATANEO, A.; BICUDO, S. J.; CARDIM, M.; Variabilidade espacial do teor de matéria orgânica em duas profundidades de um nitossolo vermelho distrófico de Botucatu - SP. In: SINERGIA: Anais do II Simpósio em Energia na Agricultura, Botucatu, UNESP-FCA, 2000, v.2 p.374-379.
- MEREGE, W. H., MARTINS, A. C. N. Milho (*Zea mays* L.). Campinas, CATI, 1997. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Manual técnico das culturas. 2 ed. rev. Atual. Campinas, p.399-437, 1997.

- MORAIS, O. P., ANTUNES, F. Z., SOARES, P. C. Exigências climáticas de cultura do arroz. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 5(55): p.16-19, jul., 1979.
- MORICOCCHI, L., FERREIRA, C. R. R. P. T., VICENTE, J. R., PIVA, L. H. O. Potencial de produção e produtividade da agricultura paulista: o caso milho. Agricultura em São Paulo. Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola, São Paulo, 36(1), p.127-148, 1989.
- NALDER, I.A., WEIN, R.W. Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.92, p.211-225, 1998.
- PHILLIPS, D.L., MARKS, D.G. Spatial uncertainty analysis: propagation of interpolation errors in spatially distributed models. *Ecological Modelling*, v.91, p.213-229, 1996.
- PINO, F. A., VEGRO, C. L. R., FRANSCISCO, V. L. F. S., CARVALHO, F. C. A cultura do café no Estado de São Paulo, 1995-96. Agricultura em São Paulo. São Paulo, v.46, t.2, p.107-167, 1999.
- PINZAN, N. R. Arroz (*Oryza sativa* L.). Campinas, CATI, 1997. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Manual técnico das culturas. 2 ed. rev. Atual. Campinas, p.103-155, 1997.
- PINZAN, N. R., ROSTON, A. J. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Campinas, CATI, 1997. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Manual técnico das culturas. 2 ed. rev. Atual. Campinas, p.289-332, 1997.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo. Piracicaba, São Paulo, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1995.
- SILVA, G. L. S. P., VICENTE, J. R., CASER, D. V. Variações do tempo e produtividade agrícola: um subsídio à previsão de safras no Estado de São Paulo. Campinas, Fundação Cargil, 1986. 148p.
- SÖDERSTRÖM, M., MAGNUSSON, B. O. Assessment of local agroclimatological conditions-a methodology. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.72, p.243-260, 1995.
- SOKAL, R. R. ROHLF, F. J. Biometry. San Francisco: Freeman, 1969.

- SOUZA, L. S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre, 1992. 162p. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUZA, M. C. M., SAES, M. S. M., OTANI, M. N. Diagnóstico da produção no segmento de cafés especiais Paulista. Instituto de Economia Agrícola. Informações Econômicas. São Paulo, v.33, n.6, p.22-38, jun., 2003.
- SOUZA, M. C. M., SAES, M. S. M., OTANI, M. N. Pequenos agricultores familiares e sua inserção no mercado de cafés especiais: uma abordagem preliminar. Instituto de Economia Agrícola. Informações Econômicas. São Paulo, v.32, n.11, p.16-26, nov., 2002.
- SPIEGEL, M. R. Estatística. 3 ed. São Paulo: Makron Books, 1993. 643p.
- STELNMETZ, S., MEIRELES, E. J. L. Clima. In: VIEIRA, N. R. A., SANTOS, A. B., SANT'ANA, E. P. A cultura do arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA. Arroz e Feijão, 1999, p.58-87.
- STURARO, J. R. Mapeamento geoestatístico de propriedades geológicas – geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento. São Carlos, 1994. 172p. Tese (Doutorado em Geoestatística). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- SURFER. Surface mapping system version 6.01. Colorado, 1995.
- THOMAZIELLO, R. A., OLIVEIRA, E. G., TOLEDO FILHO, J. A., COSTA, T. E. Café (*Coffea arabica* L. var. *arabica*). Campinas, CATI, 1997. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Manual técnico das culturas. 2 ed. rev. Atual. Campinas, p.399-437, 1997.
- THOMAZIELLO, R. A., OLIVEIRA, E. G., TOLEDO FILHO, J. A., COSTA, T. E. Cultura do café. Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1987, 56p. (Boletim técnico, 193).
- TOLEDO, F. F., Tecnologia das sementes. In: PATERNIANI, E., VIÉGAS, G. P. Melhoramento e produção de milho. Campinas: Fundação Cargil, 1987, v.2, p.715-751.
- TSUNECHIRO, A. Importância e rentabilidade da cultura do milho nas principais regiões produtoras do Estado de São Paulo. Campinas, 2000. Fatores bióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/EMPRESAS – 1999/2000. Campinas, Instituto Agrônomo, p.01-10, 2000.

- TSUNECHIRO, A., FERREIRA, C. R. R. P. T. Aspectos econômicos da adubação do milho no Brasil. Instituto de Economia Agrícola. Informações Econômicas. São Paulo, v.26, n.11, p.21-28, nov., 1996.
- TSUNECHIRO, A., FERREIRA, C. R. R. P. T., MORICOCCHI, L. Produtividade da cultura do milho no Brasil: Evolução e diferenças estaduais. Agricultura em São Paulo – Instituto de Economia Agrícola, vol.43, p.117-136, 1996.
- UZUMAKI, E. T. Geoestatística multivariada: estudo de métodos de predição. Campinas, 1994. 104p. Dissertação (Mestrado em Estatística). Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação. Universidade Estadual de Campinas.
- VALENTE, J. M. G. P. Geomatemática i lições de Geoestatística. 2.ed. Ouro Preto: Fundação Gorceix, 1988. 8v. 2.210p.
- VEGRO, C. L. R, MARICOCCHI, L., JOHNSON, B. Café: realidade e perspectivas. São Paulo: SAA, 1997. 79p.
- VEGRO, C. L. R, MARTIN, N. B., MARICOCCHI, L. Sistemas de produção e competitividade da cafeicultura paulista. Informações Econômicas, São Paulo, v.30, n.6, jun 2000.
- VEIGA, J. E. R. et al. Relações de Trabalho na cafeicultura paulista. Instituto de Economia Agrícola. Informações Econômicas. São Paulo, v.31, n.5, p.61-90, maio, 2001.
- VICENTE, J. R. Determinantes da adoção de tecnologia e da eficiência na produção agrícola paulista. São Paulo, 1997. 223p. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo.
- VICENTE, J. R., ALMEIDA, L. D., GONÇALVES, J. S., SOUZA, S. A. M. Feijão carioca: Impactos do cultivar gerado pela pesquisa Paulista. Dia de Campo de Feijão, 16<sup>o</sup>, Capão Bonito, 2000. Anais do 16<sup>o</sup> Dia de Campo de Feijão, 18 e 19 de abril de 2000. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 83p.
- VIEIRA, C., BUSS, A., CARVALHO, B. C. L., BRANDES, D., DUQUE, F. F., ZIMMERMANN, F. J. P., BALDANZI, G., COSTA, J. G. C., ALMEIDA, L. D., PONTE, N. T., GUAZZELLI, R. J., MIYASAKA, S. Variedades melhoramentos e genética do feijoeiro. Anais do I Simpósio Brasileiro de Feijão, Campinas, v.1, p.155-200, 1971.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial. Campinas: IAC, paginação irregular, 1998.

- VIEIRA, S. R., HATFIELD, J. L., NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and applications to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*. Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- WACKERNAGEL, H. Multivariate geostatistics: an introduction with applications. New York: Springer-Verlag, 1995. 257p.
- WATSON, S. Spatial dependence and blok designs in spaced plant herbage trials. *J. Agric. Sci.*, v.134, p.245-58, 2000.
- WEBSTER, R., OLIVER, M. A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316p.
- YOSHIDA, S. Fundamentals of ricescience. IRRI, 1981.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Botucatu, 2001. Tese (Livre Docente). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista.