

VILNA EYRA CUELLAR MONDRAGÓN

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM MINAS
GERAIS, BASEADA EM VARIÁVEIS AGROCLIMÁTICAS E EM TENDÊNCIA
TECNOLOGICA

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

VICOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
MARÇO - 1990

Ficha catalográfica preparada pela Área de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

C965e Cuéllar Mondragón, Vilna Eyra.

1990 Estimativa da produtividade da cultura do milho em Minas Gerais, baseada em variáveis agroclimáticas e em tendências tecnológicas. Viçosa, UFV, 1990.

68p. ilustr.

Tese (M.S.) - UFV

1. Meteorologia agrícola. 2. Milho - Produtividade. 3. Milho - Modelos agroclimáticos. 4. Climatologia agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 18.ed. 630.2515

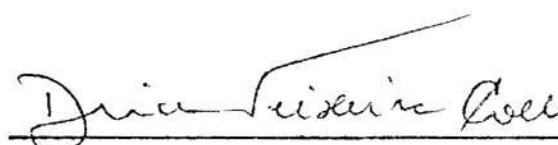
CDD 19.ed. 630.2515

VILNA EYRA CUÉLLAR MONDRAGÓN

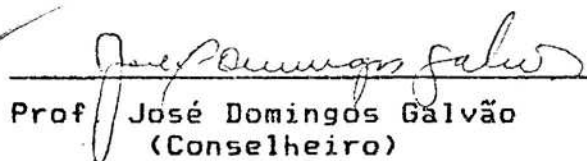
ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM MINAS
GERAIS, BASEADA EM VARIÁVEIS AGROCLIMÁTICAS E EM TENDÊNCIA
TECNOLOGICA

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

APROVADA: 15 de dezembro de 1989



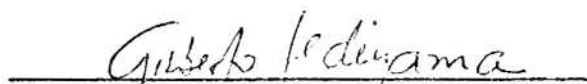
Prof. Dirceu Teixeira Coelho
(Conselheiro)



Prof. José Domingos Galvão
(Conselheiro)



Prof. Rubens Leite Vianello



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama



Prof. José Maria N. da Costa
(Orientador)

Aos meus pais, Hugo e Vilna;

Aos meus irmãos, Elzibir, Hugo e Ricardo; e

Ao meu sobrinho, Husuito.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables, pela oportunidade oferecida para a realização deste curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao 5^o DISME/INEMET, Belo Horizonte, pelo fornecimento de dados meteorológicos.

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pela orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos professores conselheiros, Dirceu T. Coelho e José D. Galvão, pelas sugestões apresentadas e pela amizade.

A Carlitos Ramirez (INRENARE), pela consideração, o que muito contribuiu na etapa final deste trabalho.

A Carlos Antonio Oliveira Vieira, pelo desenvolvimento dos programas do computador, utilizados nesta pesquisa.

Aos professores do curso de Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

As secretárias do Departamento de Engenharia Agrícola da

Universidade Federal de Viçosa, Edna, Maria do Carmo e Paula.

A minha família adotiva do Brasil, Laisi e Mario e seus filhos Sheyla, Rejane e Marin.

Aos meus amigos, Gloria e José, Carmen Lucia e Hugo, Sandra e Ronaldo, Mara e Luiz, Isabel, Regina C., Maysa, Renildes e Felix, Amaury e Gracinha, que tornaram mais agradável a minha estada aqui no Brasil.

Aos professores do Instituto de Pesquisas Espaciais: Carlos Afonso, Jesús Marden e Claudio.

Aos colegas do curso, pelo convívio.

A Sergio, pelo amor, pela compreensão e paciência.

A todos os que me deram estímulo e não me deixaram fraquejar....

BIOGRAFIA

Vilna Eyra Cuéllar Mondragón, filha de Hugo Marcelo Cuéllar e Vilna Mondragón de Cuéllar, nasceu em Panamá, Panamá, em 19 de setembro de 1960.

Em março de 1980, concluiu o curso de Meteorologia, na Universidade Nacional de Panamá.

Foi contratada como técnica, em abril de 1981, assumindo o cargo de chefe da seção de Estações e Instrumental Agrometeorológico, no Instituto de Recursos Naturales Renovables.

Iniciou, em março de 1987, o curso de Meteorologia Agrícola, a nível de mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
EXTRATO	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Exigências Bioclimáticas da Cultura de Milho.....	4
2.1.1. Exigências Térmicas	4
2.1.2. Exigências Hídricas	5
2.2. Modelos Agrometeorológicos de Previsão de Produtividade	7
3. MATERIAL E MÉTODO	13
3.1. Localização da Região Estudada	13
3.2. Dados Utilizados	14
3.2.1. Dados Meteorológicos	14
3.2.1. Dados da Cultura de Milho	14
3.3. Métodos Utilizados	14
3.3.1. Determinação da Data de Plantio	14
3.3.2. Determinação da Evapotranspiração Potencial	16
3.3.3. Estimativa da Disponibilidade Hídrica ..	17
3.3.4. Descrição do Modelo Utilizado	18

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Avaliação da Influência Tecnológica e das Variáveis Agroclimáticas na Produtividade da Cultura do Milho.....	21
4.1.1. Tendência Tecnológica.....	21
4.1.2. Seleção de Variáveis Agroclimáticas para o Desenvolvimento dos Modelos de Estimativa da Produtividade de Milho.....	36
4.2. Modelos Agroclimáticos de Estimativa da Produtividade de Milho em Oito Localidades de Minas Gerais.....	48
4.3. Teste dos Modelos.....	59
5. RESUMO E CONCLUSÕES	61
BIBLIOGRAFIA	64

LISTA DE QUADROS

QUADRO	Página
1) Coordenadas Geográficas das Estações.....	13
2) Produtividade da Cultura do Milho para as Localidades Estudadas, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1988/1989.....	15
3) Estimativa dos Coeficientes de Regressão da Equação de Tendência Tecnológica $TEND_t = a + bt$, para cada Localidade com o Respetivo Coeficiente de Determinação (R^2) e a Fração da Variância da Produtividade Explicada pelas Variáveis Agroclimáticas (V.A).....	22
4) Produtividade Média de Milho (Kg/ha) e Coeficiente de Variação (%) Durante o Período de 1972-1987, para Oito Localidades Produtoras de Estado de Minas Gerais.....	23
5) Variação Anual entre a Produtividade Observada e a Estimada pela Equação da TEND, para as Oito Localidades nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	34
6) Variação entre os Extremos dos Desvios Calculados entre a Produtividade Anual de Milho Observada e a Tendência Tecnológica, para cada Localidade Durante os Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.....	35
7) Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência	

	Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Machado, no Período de 1972 a 1987.....	39
8)	Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Uberaba, no Período de 1972 a 1987.....	40
9)	Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Viçosa, no Período de 1972 a 1987.....	41
10)	Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Sete Lagoas, no Período de 1972 a 1987.....	42
11)	Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Lavras, no Período de 1972 a 1987.....	43
12)	Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Patos de Minas, no Período de 1972 a 1987.....	44

- 13) Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Araxá, no Período de 1972 a 1987..... 45
- 14) Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Manga, no Período de 1972 a 1897..... 46
- 15) Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para todas as Localidades, no Período de 1972 a 1987..... 47
- 16) Equação da Regressão para Estimar a Produtividade de Milho, em Kg/ha, em Oito Localidades de Minas Gerais..... 49
- 17) Produtividade de Milho Observada e Produtividade Estimada pelos Modelos nos Anos Agrícolas 1987/1988 e 1988/1989..... 59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1) Determinação da Época de Plantio, (a) Curva da ETP, (b) Curva de ETP/2, (c) Curva de Precipitação Pluvial e (d) Data de Plantio.....	16
2) Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Machado, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	24
3) Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Uberaba, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	25
4) Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Viçosa, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	26
5) Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Sete Lagoas, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	27
6) Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Lavras, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	28
7) Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Pa-	

	tos de Minas, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	29
8)	Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Araxá, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	30
9)	Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Manga, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	31
10)	Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para todas as Localidades, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.....	32
11)	Distribuição Média Decendial da Precipitação, para as Localidades de Machado (1972/1973 a 1986/1987) e Manga (1978/1987).....	33
12)	Variação da Temperatura Média Decendial para os Anos Agrícolas 1977/1978 e 1979/1980 em Araxá.....	37
13)	Variações dos Déficit Hídricos Decendiais nos Anos Agrícolas 1980/1981 e 1981/1982 em Manga.....	38
14)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Machado.....	50
15)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Uberaba.....	51
16)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Viçosa.....	52
17)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Sete Lagoas.....	53

18)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Lavras.....	54
19)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Patos de Minas.....	55
20)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Araxá	56
21)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Manga.....	57
22)	Comparação entre a Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para todas as Localidades.....	58
23)	Relação entre Produtividade Observada e Produtividade Estimada pelos Modelos Propostos, nos Anos Agrícolas de 1987/1988 e 1988/1989.....	60

EXTRATO

CUÉLLAR M., Vilna Eyra, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 1990. Estimativa da Produtividade da Cultura do Milho em Minas Gerais, baseada em Variáveis Agroclimáticas e em Tendência Tecnológica. Professor Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Professores Conselheiros: Dirceu T. Coelho e José Domingos Galvão.

Modelos agroclimáticos de estimativa da produtividade da cultura de milho foram desenvolvidos para oito localidades do Estado de Minas Gerais, baseados na tendência tecnológica e em variáveis derivadas do balanço hídrico decendial. A tendência tecnológica foi expressa por uma função linear do número de ano. A seleção de variáveis, para os modelos agroclimáticos, foi avaliada por técnicas de correlação e de regressão múltipla. Os modelos propostos estimam a produtividade da cultura do milho com uma antecedência de pelo menos dois meses da colheita. O teste dos modelos com dados independentes apresentou resultados satisfatórios para a maioria das localidades. Cerca de 60% dos anos testados apresentaram erros menores que 20%, sendo que em aproximadamente 3/4 desses anos os erros foram inferiores a 10%, o que sugere o potencial

de aplicação desta técnica para previsão de safra em escala regional. Constatou-se, também, que o índice "I" das necessidades hídricas, determinado a partir do balanço decendial, não se destacou como uma variável preditiva nos modelos agroclimáticos, conforme se verificou em outras pesquisas realizadas em regiões da África, Europa e Oriente Médio.

1. INTRODUÇÃO

O milho (Zea mays L.) é um cereal cultivado desde latitudes de 58° N, na União Soviética e no Canadá, até de 40° S, na Argentina, e também a partir de altitudes abaixo do nível do mar, na região do mar Cáspio, até mais de 3.600 m de altitude nos Andes Peruanos (2). Esta cultura é a que ocupa a maior área cultivada no Brasil, com cerca de 12 milhões de hectares, e é explorada em todos os Estados (16).

A importância dessa cultura não se restringe apenas ao fato de ser produzida em grande variedade de condições climáticas, mas também à função sócio-econômico que representa. O milho é utilizado na alimentação humana e animal e constitui matéria-prima básica para uma série de produtos industrializados, movimentando grandes complexos industriais, onde milhares de pessoas encontram seu sustento (33). O Brasil é o terceiro produtor mundial de milho, embora sua produtividade média seja bastante baixa, em torno de 1.600 Kg/ha, colocando-se em quinquagésimo sexto lugar na relação dos países produtores (18). O Estado de Minas Gerais tem-se destacado nos últimos

anos como o quarto maior produtor de milho no Brasil, com uma produtividade média de aproximadamente 2.000 kg/ha (21). O seu cultivo concentra-se principalmente nas zonas fisiográficas no Sul de Minas, Zona da Mata, Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, parte do Alto Médio São Francisco e Vale do Rio Doce (47).

A importância das condições do tempo, durante a estação de crescimento na produtividade da cultura do milho, é amplamente reconhecida por muitos pesquisadores (6, 9, 11, 40, 45). Por outro lado, as características agroclimáticas de várias localidades podem influenciar diferentemente a produtividade final da cultura. A quantificação da relação entre a produtividade da cultura e variáveis agroclimáticas permitirá que o impacto dessas variáveis na produtividade, durante o ciclo da cultura, seja avaliado.

No Estado de Minas Gerais são escassos os trabalhos sobre a influência das variáveis agroclimáticas e tecnológicas na produtividade de milho. Para atender a esta necessidade, a presente pesquisa foi realizada com os seguintes objetivos:

1- Determinar a equação de tendência tecnológica mais apropriada para as localidades estudadas;

2- Selecionar as variáveis agroclimáticas para o modelo de estimativa da produtividade de milho, com base na relação entre os resíduos da produtividade observada, a partir da tendência tecnológica de cada localidade, e as variáveis agroclimáticas decendiais; e

3- Desenvolver modelos agroclimáticos de estimativa da produtividade de milho específico, para cada localidade, e um modelo geral para todas as localidades estudadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Exigências Bioclimáticas da Cultura do Milho

2.1.1. Exigências Térmicas

A temperatura do ar mais adequada para a cultura do milho varia com o estágio fenológico. OBENDORF (35) constatou que a temperatura do ar ótima para a germinação do milho é de 30°C. Segundo esse mesmo autor, a germinação do milho cessa para condições em que a temperatura do ar esteja abaixo de 9 e acima de 40°C.

Poucos trabalhos sobre as exigências térmicas do milho no período emergência-diferenciação do pendão são encontrados na literatura. COLIGADO e BROWN (10), em estudos realizados com o milho, observaram que a temperatura do ar ótima para o período emergência-início do pendramento está entre 25 e 30°C.

PASCALE (36) observou que a cultura do milho atinge a floração e a maturação mais rapidamente quando as temperaturas médias do ar estão em torno de 25°C, ocorrendo atraso cada

vez maior, à medida que a temperatura diminui. Enquanto para MARTIN et alii (28) a temperatura ótima para floração e maturação do milho é de 27°C.

A temperatura do solo também é importante para o desenvolvimento da cultura do milho (2). Segundo BARBOSA (5), em regiões onde as temperaturas noturnas do solo ficam abaixo de 10°C, a germinação do milho não ocorre. De acordo com WANG (49), a temperatura mínima do solo para que o milho germine é de 10°C e, a máxima, de 40,6°C, enquanto a temperatura do solo ótima para germinação oscila entre 15 e 35°C. CAL e OBENDORF (7) concluíram que a germinação do milho varia em função da temperatura do solo, observaram, também, que a germinação do milho, em solos com temperaturas de 12, 16 e 20°C, demora 21, 15 e 5 dias, respectivamente.

2.1.2. Exigências Hídricas

A quantidade de água que se encontra disponível no solo durante as fases fenológicas da cultura é amplamente reconhecida como fundamental para o sucesso da produção agrícola. Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, a disponibilidade de água no solo deve oscilar entre 400 e 640mm, dependendo da época de semeadura, do local e dos tratamentos culturais (29,30,31,37). DOORENBOS e KASSAN (13) verificaram que as necessidades hídricas do milho, para uma produtividade de 7 a 9 toneladas por hectare, em regiões subtropicais, variam entre 500 e 800 mm de água. A EMBRAPA/CNPMS (15) cita, para as condições de Sete Lagoas-MG, um consumo médio de água de 4,8 mm por dia, para cultivares de milho com ciclo de 120

dias. MATZENAUER e SUTILI (30) determinaram o consumo de água da cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul, com plantio em setembro, e detectaram um consumo médio de 4,3 mm por dia, durante o ciclo.

Pesquisas realizadas sobre produtividade do milho e estresse hídrico, nos diversos estádios de desenvolvimento da cultura, têm demonstrado que o pendoamento, o "embonecamento" e a polinização são os mais sensíveis ao estresse hídrico. Deficiências de água nesses estádios podem causar redução de grãos por espiga, gerando significativas reduções na produção (26,27,39). DENMEAD e SHAW (11) verificaram que déficit hídrico durante o "embonecamento" do milho reduziu a produção em 50%. Durante o período vegetativo ou no estádio de formação de espigas, a ocorrência de déficit hídrico resultou numa diminuição da produção de 15 a 20%. Segundo BARBOSA (5), a ocorrência de déficit hídrico no subperíodo pendoamento-espigamento determinou considerável redução na produtividade de grãos. Esse mesmo autor afirma que deficiências de água no pendoamento provocam atraso no aparecimento do estilo-estigma, com perdas de grande parte da polinização, acarretando um número maior de plantas improdutivas. Este resultado tem sido confirmado por outros pesquisadores (27,44).

As pesquisas realizadas sobre a produtividade do milho e excedente hídrico, nos diversos estádios de desenvolvimento da cultura, têm demonstrado que as fases mais sensíveis ao excesso de água no solo são a germinação a diferenciação do pendão e do espigamento até a maturação fisiológica.

JONHSON (24), estudando o excesso de água sobre a cultura do milho em Illinois, EUA, concluiu que as reduções

ocorridas na produtividade foram causadas pelas condições de saturação de água do solo nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura. O excesso de água não é favorável à germinação, porque restringe a aeração do solo, limitando sua disponibilidade de oxigênio, que é fundamental para a respiração da semente. O excesso de umidade do solo durante o período de espigamento também é prejudicial, uma vez que pode favorecer o surgimento de doenças, ocasionando sensíveis reduções na produtividade (19).

Um aspecto a ser considerado na avaliação da disponibilidade de água para as culturas é a profundidade do sistema radicular. MARIANATO (27) afirma que as raízes do milho podem aprofundar-se desde 60 cm até 180 cm, dependendo do tipo de solo. ESPINOZA (17) observou que, em latossolos, 85-90% da água extraída pela cultura de milho encontra-se nos primeiros 60 cm do perfil do solo. REICHARDT *et alii* (37) observaram que a cultura do milho extrai água em um Latossolo Vermelho-Amarelo, fase arenosa, até a uma profundidade de 127 cm, aproximadamente.

2.2. Modelos Agrometeorológicos de Previsão de Produtividade

As relações entre variáveis climáticas e produtividade agrícola são de grande complexidade, porque essas variáveis podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das culturas sob as diferentes formas, nas diversas fases do ciclo. Para conhecer melhor essas interações, têm sido desenvolvidos modelos que procuram quantificar os efeitos das variações climáticas e tecnológicas sobre a produtividade das culturas.

O conhecimento antecipado da produtividade agrícola contribui para melhor gerenciamento do sistema nacional de alimentos, permitindo o monitoramento das áreas mais susceptíveis a reduções na produção de alimentos e no planejamento da política agrícola (38). Vários modelos têm sido desenvolvidos, com diferentes enfoques, para o estabelecimento da relação quantitativa entre a produtividade das culturas e as variáveis climáticas.

BAIER (3) classificou os modelos existentes na literatura em três categorias:

- a) modelos de simulação do crescimento das culturas;
- b) modelos empírico-estatísticos; e
- c) modelos de análise planta-clima.

Os modelos de simulação do crescimento das culturas consideram que o impacto das variáveis meteorológicas em processos específicos das plantas, tais como fotossíntese, transpiração ou respiração, pode ser adequadamente simulado por intermédio de um conjunto de equações matemáticas. Do ponto de vista da aplicação prática, os modelos de simulação apresentam severas restrições, por falta de informação detalhada sobre a fisiologia da planta. Exemplos típicos destes modelos são os desenvolvidos por DE WIT et alii (12), SCHAWCROFT et alii (43) e HOLT et alii (23).

A segunda categoria é composta de modelos empírico-estatísticos, construídos a partir de séries históricas de dados meteorológicos ou agrometeorológicos e de dados de produtividade de uma cultura para uma região específica. A validade e o potencial de aplicação desses modelos dependem da

representatividade dos dados, da seleção das variáveis e das características do modelo. Esses modelos são os mais utilizados na quantificação dos efeitos do clima na produtividade agrícola. Modelos típicos nesta categoria são os desenvolvidos por BAUDER e RANDAL (6), THOMPSON (45,46) e por WILLIAMS et alli (50).

A terceira categoria, proposta por BAIER (3), é composta pelos modelos de análise planta-clima. Estes modelos têm por objetivo explicar, com base nos processos físicos e fenológicos, o efeito de uma ou mais variáveis meteorológicas, agrometeorológicas ou derivadas, numa resposta quantificável da cultura, como crescimento vegetativo, desenvolvimento reprodutivo e produtividade. Nesta categoria, incluem-se os modelos desenvolvidos por BAIER (4), HAUN (22) e FRÈRE e POPOV (20).

THOMPSON (45), utilizando técnicas de regressão curvilínea múltipla para verificar a influência das variáveis climáticas e da tendência tecnológica sobre a produtividade do milho em diversos locais nos Estados Unidos da América, observou que a alta produtividade estava associada à temperatura média do ar nos meses de julho e agosto e a precipitação pluvial média de julho, em razão da ocorrência dos períodos fenológicos mais críticos para a cultura do milho nesses meses. O referido autor também observou que a tendência tecnológica de 1960 a 1967 indicou uma relação crescente da produtividade, em virtude do maior uso de fertilizantes. A correlação entre a produtividade estimada pelo método proposto por THOMPSON (id. ibid.) e a produtividade determinada pelo

Departamento de Agricultura dos Estados Unidos foi relativamente alta, com um coeficiente de 0,98.

RUNGE e ODELL (40) usaram técnicas de regressão múltipla para selecionar as variáveis climáticas mais fortemente correlacionadas com a produtividade do milho. Concluíram que 67% da variância da produtividade do milho, no período de 1903 a 1956 em Illinois, EUA, foi explicada pela variação da precipitação pluvial e da temperatura máxima diária do ar 50 a 74 dias antes do pendoamento e precipitação pluvial e temperatura máxima diária do ar 14 a 30 dias depois do pendoamento. Ao incluírem a tendência tecnológica no modelo, esses autores puderam explicar a produtividade com um acerto de 75%. CHEN e FONSECA (9), utilizando técnicas de regressão múltipla, verificaram que a evaporação total de outubro a março e a umidade relativa neste mesmo período foram as variáveis climáticas que melhor explicaram a produtividade do milho em Ribeirão Preto-SP. O modelo final desenvolvido pelos mencionados autores inclui a tendência tecnológica linear e a umidade relativa de outubro a março. A evaporação total nesse mesmo período foi excluída devido à multicolinearidade existente, com a umidade relativa. O erro da previsão variou de 1,97 a 4,32%.

JUNQUEIRA (25) utilizou a precipitação pluvial na época de plantio, no florescimento e na colheita, juntamente com a tendência tecnológica, para estimar o efeito dessas variáveis sobre a produtividade do milho, na região de Ribeirão Preto-SP. Os resultados não foram satisfatórios, apresentando coeficientes de correlação entre 0,51 e 0,60.

MOTA (32), trabalhando com elementos meteorológicos e com a tendência tecnológica, caracterizou o efeito do clima sobre a produção de milho no sul do Brasil, utilizando a técnica estatística de regressão múltipla, e encontrou coeficientes de determinação em torno de 0,80.

CELASCHI (8) desenvolveu vários modelos de produtividade da cultura do milho para o Estado de São Paulo, utilizando do método dos períodos críticos, o qual quantifica, decendialmente, a influência dos elementos climáticos sobre a produtividade. O mencionado autor obteve modelos dependentes da precipitação pluvial e da temperatura do ar, que apresentaram coeficientes de determinação média de 0,90 e erro médio de previsão de 5,89%.

WADSTED (48), utilizando técnicas de regressão para verificar a influência da precipitação pluvial, da temperatura média do ar e da tendência tecnológica sobre a cultura do milho no Estado de São Paulo, constatou que não existe tendência tecnológica significativa, devido à ocorrência de uma produtividade estável. O melhor modelo foi obtido com as variáveis temperatura do ar e precipitação pluvial, nos meses de outubro e novembro, com coeficientes de determinação de 0,67.

Variáveis meteorológicas derivadas, geralmente expressas em termos de índices, têm-se apresentado como os indicadores mais promissores para expressar a variação de produtividade da cultura do que os próprios parâmetros meteorológicos (34,41,42). O modelo proposto por FRÈRE e POPOV (20), com base principalmente nas exigências hídricas das culturas, constitui uma ilustração deste enfoque metodológico.

Neste método, o balanço hídrico cumulativo gera um índice agrometeorológico que indica as necessidades hídricas da cultura, durante os vários estádios de desenvolvimento. Os referidos autores, ao correlacionarem este índice com a produtividade do milho em diversos países, obtiveram resultados muito animadores.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Localização da Região Estudada

O presente trabalho foi desenvolvido para os locais apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Coordenadas Geográficas das Estações

Local	Latitude	Longitude	Altitude
Machado	21° 41' S	45° 56' W	873,35 m
Uberaba	18° 45' S	47° 55' W	742,90 m
Viçosa	20° 45' S	42° 53' W	689,73 m
Sete Lagoas	19° 27' S	44° 14' W	732,00 m
Lavras	21° 14' S	45° 00' W	918,84 m
Patos de Minas	18° 35' S	46° 32' W	940,48 m
Araxá	19° 35' S	46° 55' W	1003,87 m
Manga	15° 03' S	44° 01' W	452,00 m

3.2. Dados Utilizados

3.2.1. Dados Meteorológicos

Para a elaboração deste trabalho, utilizaram-se dados diários de temperatura máxima do ar, temperatura média do ar, temperatura mínima do ar, duração de brilho solar, velocidade do vento, precipitação pluvial e umidade relativa. Os dados foram fornecidos pelo 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, de Belo Horizonte.

3.2.2. Dados da Cultura de Milho

Os dados fenológicos da cultura de milho, utilizados neste trabalho, referem-se às datas médias de ocorrência do plantio, início do pendoamento, espigamento e maturação (acúmulo máximo de matéria seca nos grãos). Estes dados foram obtidos em publicações da EMBRAPA/CNPMS (14), para os diferentes anos estudados. Os dados de produtividade utilizados foram obtidos na Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de Belo Horizonte, MG (Quadro 2).

3.3. Métodos Utilizados

3.3.1. Determinação da Data de Plantio

A data de plantio do milho, para cada ano, foi determinada segundo o critério proposto por FRÈRE e POPOV (20), que recomendam o plantio quando a precipitação pluvial torna-se igual ou maior que a metade da evapotranspiração

QUADRO 2- Produtividade da Cultura do Milho para as Localidades Estudadas, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1988/1989

Ano agrícola	PRODUTIVIDADE (Kg/ha)							
	Machado	Uberaba	Viçosa	Sete Lagoas	Lavras	Patos de Minas	Araxá	Manga
72/73	1560	1080	1000	1080	1232	833	1614	-
73/74	2000	2513	1200	1080	1400	2434	1381	-
74/75	1529	1200	650	1080	1218	1740	1250	-
75/76	1767	1862	1517	755	1100	2318	1200	-
76/77	1500	1005	1800	2000	800	1940	1205	-
77/78	1800	1500	2081	2000	1100	1886	1200	-
78/79	2215	1400	1944	2000	1100	2267	1500	1500
79/80	2000	1400	1800	2000	1700	2000	2100	1500
80/81	2300	1376	1944	2000	1600	2100	1800	450
81/82	2400	1800	1800	2000	2000	2400	1800	1125
82/83	2400	2400	1500	2000	1500	2640	1800	720
83/84	3000	2400	1500	1600	1540	2000	2000	600
84/85	3000	2400	1725	2000	1360	2400	1800	900
85/86	3000	2050	1725	2128	2000	2400	2200	800
86/87	3000	3000	2400	1200	2000	2520	2000	560
87/88	3200	3000	2158	3000	2000	2400	2400	600
88/89	3400	3200	2100	3000	2002	3000	2400	450

Fonte: IBGE

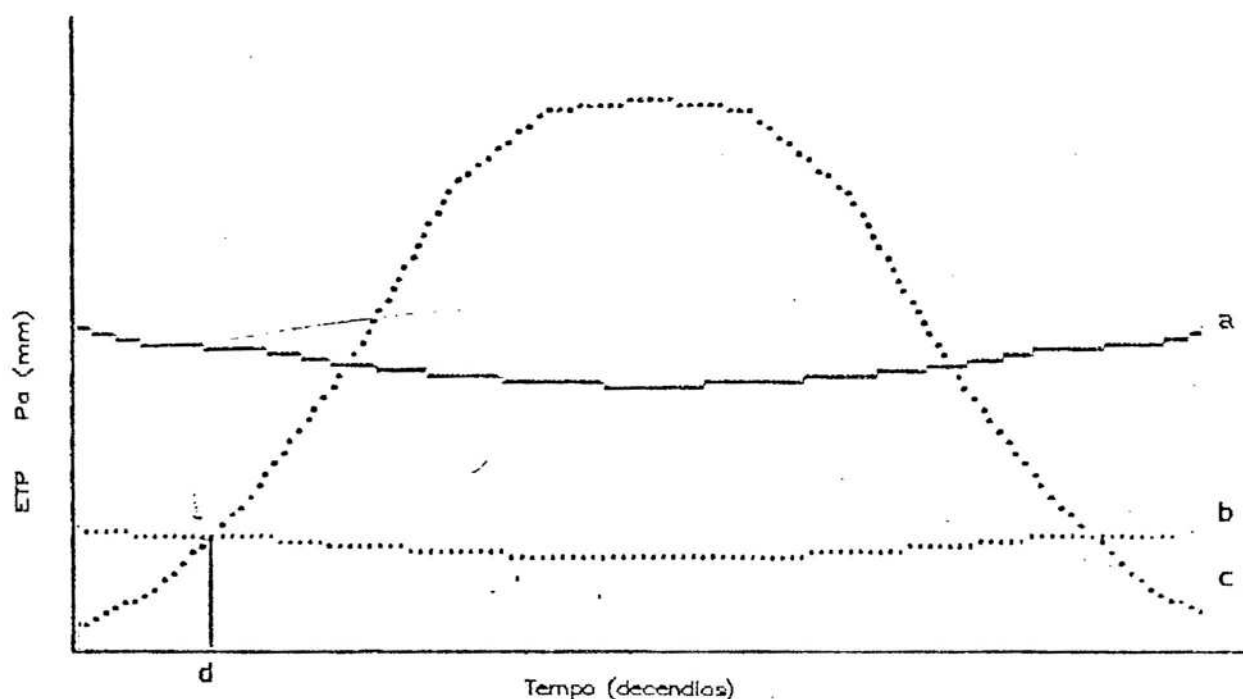


FIGURA 1- Determinação da Época de Plantio. (a) Curva da ETP, (b) Curva de ETP/2, (c) Curva de Precipitação Pluvial e (d) Data de plantio.

potencial (ETP), Figura 1.

A data de colheita foi estabelecida como sendo 14^o decênio a partir da data de plantio, uma vez que a duração média do ciclo da cultura do milho, nas áreas estudadas, está em torno de 140 dias, segundo publicações da EMBRAPA/CNPMS(14).

3.3.2. Determinação da Evapotranspiração Potencial

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) foi obtida, utilizando-se a equação de Penman (20):

$$ETP = \frac{(0.017 R_n)(\Delta/\gamma) + E_a}{(\Delta/\gamma) + 1} \quad \text{eq. 1}$$

$$E_a = 0,35 (e_s - e_a) (1,0 + U /160), \quad \text{eq. 2}$$

em que:

- ETP = Evapotranspiração potencial, mm.dia⁻¹;
- R_n = Saldo de radiação, cal.cm⁻².dia⁻¹;
- Δ = Tangente à curva de saturação do vapor d'água, mmHg. °C⁻¹;
- γ = Constante psicrométrica, mmHg. °C⁻¹
- (e_s - e_a) = Déficit de pressão de saturação de vapor de água à temperatura do ar, mmHg; e
- U = Velocidade média do vento a 2m de altura acima da superfície do solo, km.dia⁻¹.

3.3.3. Estimativa da Disponibilidade Hídrica

Utilizou-se o balanço hídrico, segundo o método proposto por FRÈRE e POPOV (20), determinando-se a evapotranspiração potencial, conforme descrita anteriormente pelo método de Penman.

Foi utilizada, no balanço hídrico, uma reserva hídrica de 100 mm, por serem os solos dos locais estudados, em sua maioria, do tipo latossolo e ser de um metro, aproximadamente, profundidade do perfil do solo aproveitado pelas raízes.*

Os valores dos coeficientes da cultura utilizados no presente estudo foram obtidos da publicação da FAO Nº 73 (20).

* Referência pessoal do Prof. Mauro Resende-Professor do Departamento de Solos/ UFV.

Estes valores são semelhantes aos encontrados por ANDRADE (1) para a região de Sete Lagoas-MG.

O balanço hídrico foi calculado em nível decendial, obtendo-se as seguintes variáveis:

- a) necessidades hídricas;
- b) excesso hídrico;
- c) déficit hídrico; e
- d) índice "I" das necessidades hídricas.

O índice "I" das necessidades hídricas da cultura é calculado de acordo com o seguinte procedimento. Suponha-se que no início do ciclo da cultura o índice atinja o valor 100, devido às satisfatórias disponibilidades hídricas para a cultura. O índice permanecerá com este valor até que apareça nos decêndios subseqüentes déficit hídrico ou excesso hídrico superior a 100 mm. Se ocorrer um déficit hídrico num determinado decêndio, calcula-se o quociente entre o referido déficit e as necessidades hídricas totais da cultura, expresso em percentagem. Este percentagem será subtraído do índice do decêndio anterior para se obter o valor do índice no decêndio atual. Quando ocorrer um decêndio com excesso hídrico superior a 100 mm o índice deste decêndio corresponderá ao índice do decêndio anterior subtraído de três unidades.

3.3.4. Descrição do Modelo Utilizado

O modelo agroclimático de milho é composto de uma variável associada com a tendência tecnológica e do menor número de variáveis que expresse a variabilidade

agroclimática. A principal suposição na formulação deste modelo é que os desvios da produtividade observada de milho, a partir da estimativa da tendência tecnológica, estão relacionados com as variáveis agroclimáticas.

A tendência tecnológica será expressa por uma equação linear da variável de tendência temporal (ano). A seleção de variáveis para o desenvolvimento do modelo, para cada localidade, foi realizada com base em análise de correlação entre o desvio da produtividade observada a partir da estimativa da tendência tecnológica e as variáveis agroclimáticas decendiais de temperatura média do ar, precipitação pluvial, necessidades hídricas da cultura, excesso hídrico, déficit hídrico e índice "I" das necessidades hídricas da cultura.

A associação entre a fenologia da cultura e os valores decendiais das variáveis agroclimáticas foi estabelecida dividindo-se o ciclo da cultura em quatro períodos: plantio à diferenciação do pendão, correspondendo ao período do 1º ao 3º decêndio; diferenciação do pendão ao início do pendoamento, correspondendo o período do 4º ao 6º decêndio, início do pendoamento ao espigamento, correspondendo ao período do 7º ao 9º decêndio e o período do espigamento à maturação correspondendo aos decêndios a partir do 10º até o 14º. Para que as variáveis selecionadas tivessem algum valor de previsão na estimativa da produtividade, foram consideradas apenas as melhores correlações até o 9º decêndio.

O modelo proposto para expressar as relações quantitativas entre produtividade de milho, tendência tecnológica e variáveis agroclimáticas foi obtido por meio de análise de regressão múltipla e pelo método "stepwise backward",

utilizando-se do programa "Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas, (SAEG)", para microcomputador.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da Influência da Tendência Tecnológica e das Variáveis Agroclimáticas na Produtividade da Cultura do Milho

4.1.1. Tendência Tecnológica

A contribuição tecnológica na produtividade da cultura do milho, em oito localidades do Estado de Minas Gerais, foi expressa pela equação linear (3):

$$\text{TEND}_t = a + bt \quad \text{eq. 3}$$

em que TEND_t é a produtividade estimada pela tendência tecnológica em Kg/ha; t é a variável de tendência temporal expressa por $t = \text{ano} - 1972$ para todas as localidades com a exceção de Manga em que $t = \text{ano} - 1978$, uma vez que os dados da produtividade são disponíveis apenas a partir do ano agrícola 1978/1979; a e b são coeficientes de regressão estimados pelo método dos mínimos quadrados. Escolheu-se a equação 3, por mostrar-se mais apropriada do que outros modelos também

testados, por exemplo modelos quadráticos e cúbicos.

O Quadro 3 apresenta as estimativas dos coeficientes de regressão da equação de tendência tecnológica, para cada localidade, acompanhados dos respectivos coeficientes de determinação, além da fração da variância da produtividade a ser explicada pelas variáveis agroclimáticas.

QUADRO 3- Estimativa dos Coeficientes de Regressão da Equação de Tendência Tecnológica $TEND_t = a + bt$, para cada Localidade, com o Respectivo Coeficiente de Determinação (R^2) e a Fração da Variância da Produtividade Explicada pelas Variáveis Agroclimáticas (V.A)

Localidade	Estimativa dos Coeficientes de Regressão da Equação da $TEND_t$		R^2	V.A
	a	b		
Machado	1307,1*** (10,56)	115,5*** (8,49)	0,85	0,15
Uberaba	1152,2*** (4,27)	84,2** (2,84)	0,38	0,62
Viçosa	1138,3*** (5,93)	64,9*** (3,07)	0,42	0,58
Sete Lagoas	1199,4*** (4,97)	61,1** (2,30)	0,29	0,71
Lavras	990,6*** (6,55)	56,6*** (3,40)	0,47	0,53
Patos de Minas	1651,1*** (8,26)	59,3*** (2,70)	0,36	0,64
Araxá	1175,2*** (9,43)	60,2*** (4,39)	0,60	0,40
Manga	1363,2*** (5,85)	-91,4** (-2,21)	0,41	0,59
Todas as Localidades	1271,4*** (17,75)	54,9*** (6,97)	0,79	0,21

*** Significativo a 1% de probabilidade

** Significativo a 5% de probabilidade

() teste "t"

As Figuras de 2 a 10 mostram a variação anual da produtividade do milho, em cada localidade no período estudado, com a correspondente equação de tendência tecnológica.

A produtividade média anual de milho em Kg/ha, para as localidades estudadas, apresentada no Quadro 4, indica uma considerável variabilidade, conforme mostram os valores dos coeficientes de variação, acima de 20%. Observa-se, também, neste Quadro que a localidade com menor produtividade média (Manga) apresentou maior coeficiente de variação, enquanto Machado que teve a maior produtividade média apresentou um dos menores coeficientes de variação. Esta variabilidade de produtividade entre essas duas localidades pode ser explicada principalmente em função da melhor distribuição de precipitação durante o ciclo da cultura em Machado, conforme pode ser observado na Figura 11, e também do total de precipitação pluvial ocorrido durante o ciclo da cultura, que apresentou valores médios de 1106mm para Machado e 824mm para Manga.

QUADRO 4 - Produtividade Média de Milho (Kg/ha) e Coeficiente de Variação (%) Durante o Período de 1972-1987, para Oito Localidades Produtoras do Estado de Minas Gerais

Localidade	Produtividade Média (Kg/ha)	C.V (%)
Machado	2231	25,2
Uberaba	1826	33,3
Viçosa	1657	27,0
Sete Lagoas	1688	30,1
Lavras	1443	25,6
Patos de Minas	2125	20,8
Araxá	1657	21,0
Manga	906	43,1

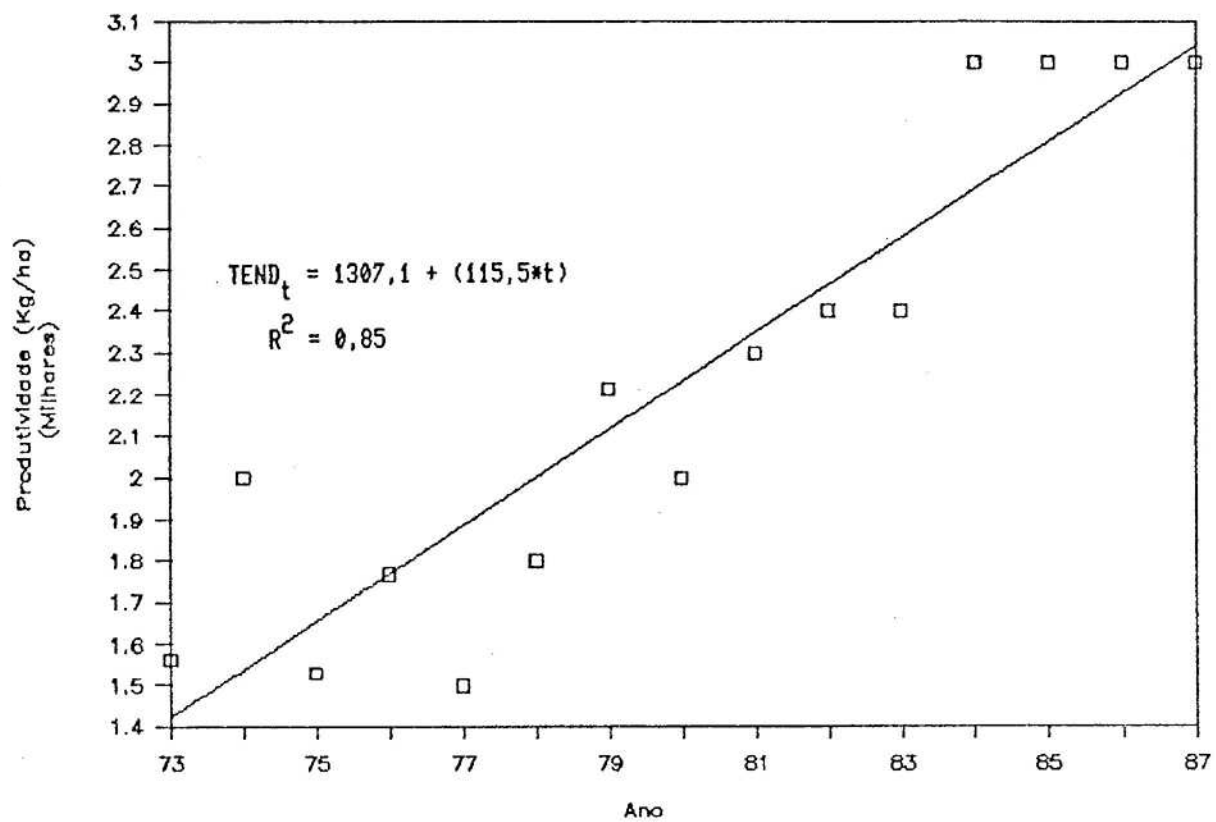


FIGURA 2- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Machado, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.

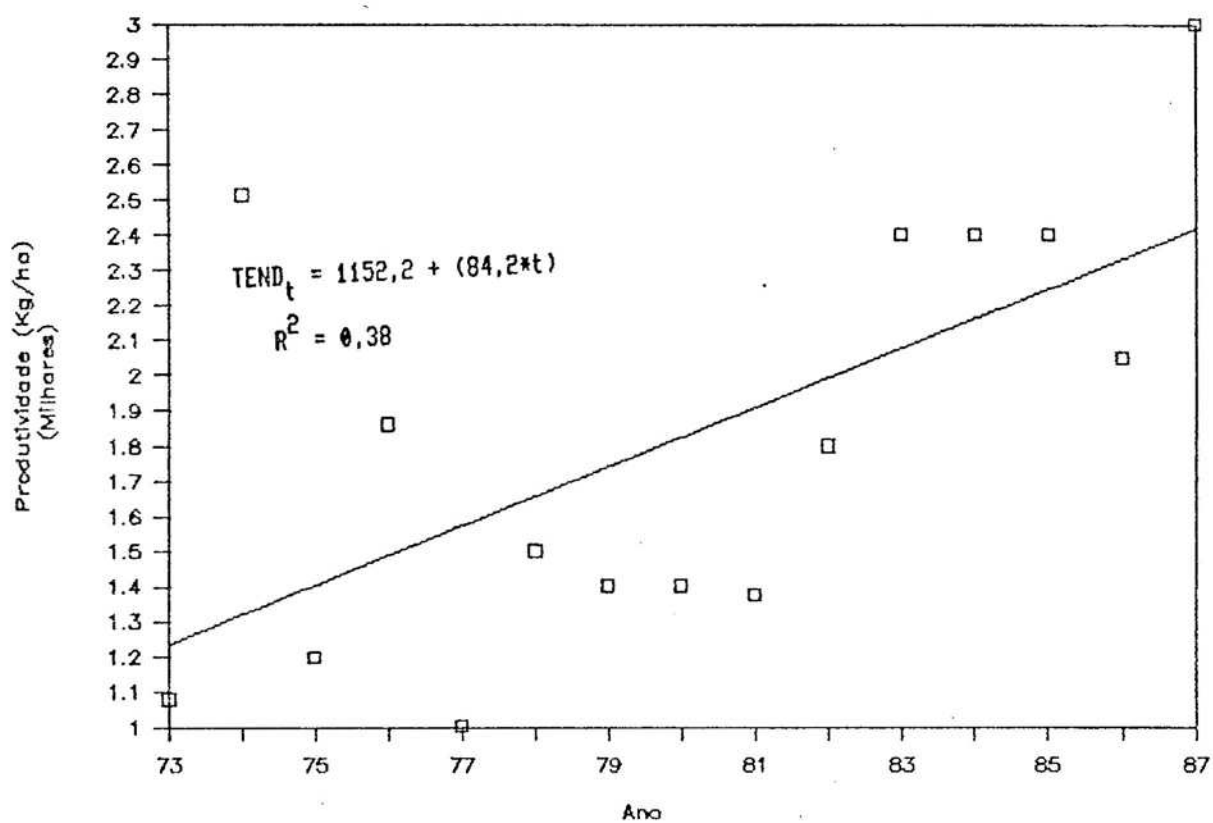


FIGURA 3- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Uberaba, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987.

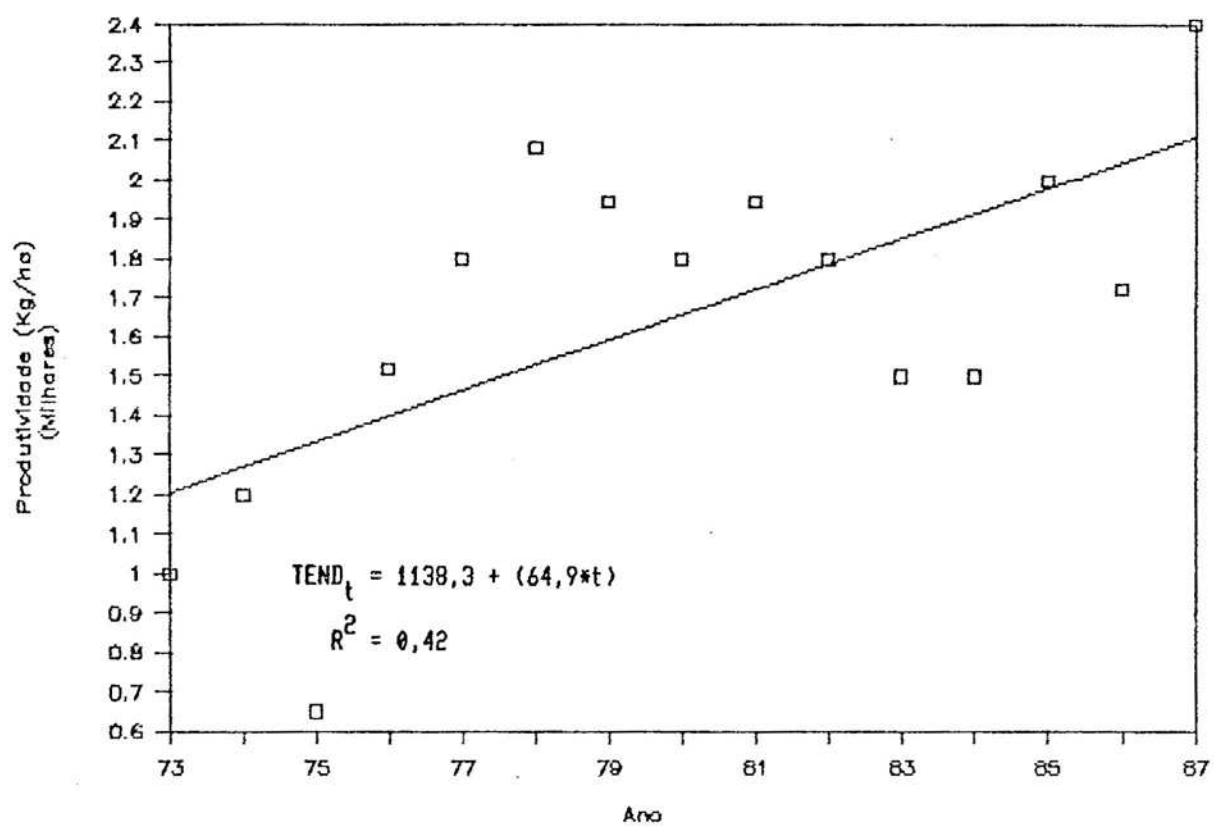


FIGURA 4- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Viçosa, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.

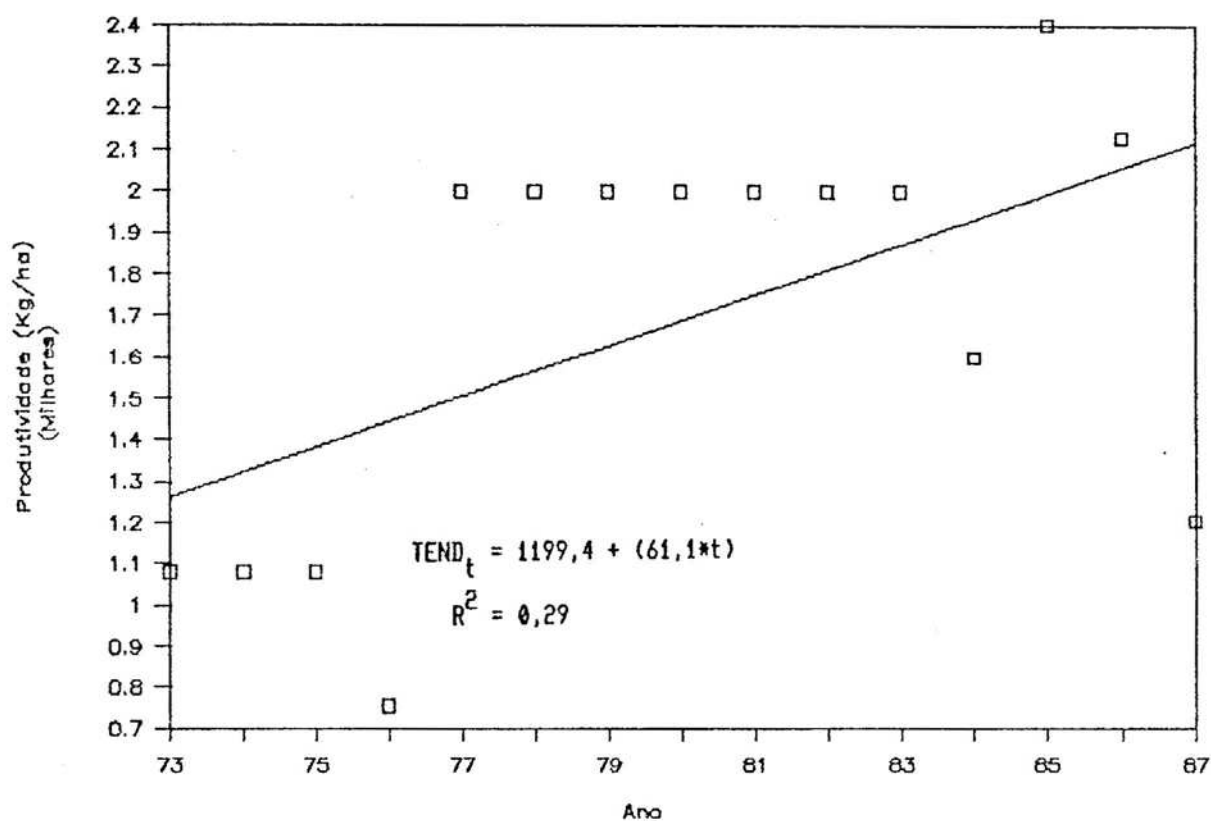


FIGURA 5- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Sete Lagoas, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

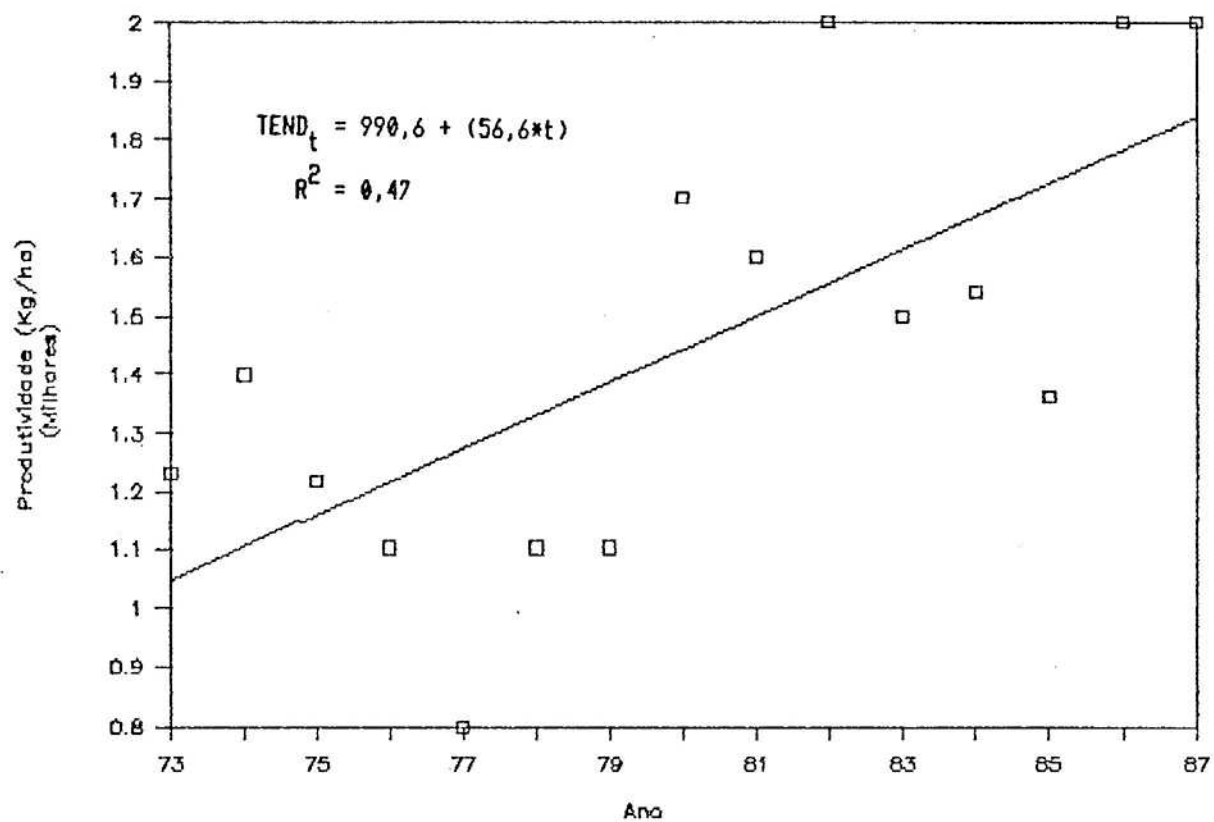


FIGURA 6- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Lavras, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.

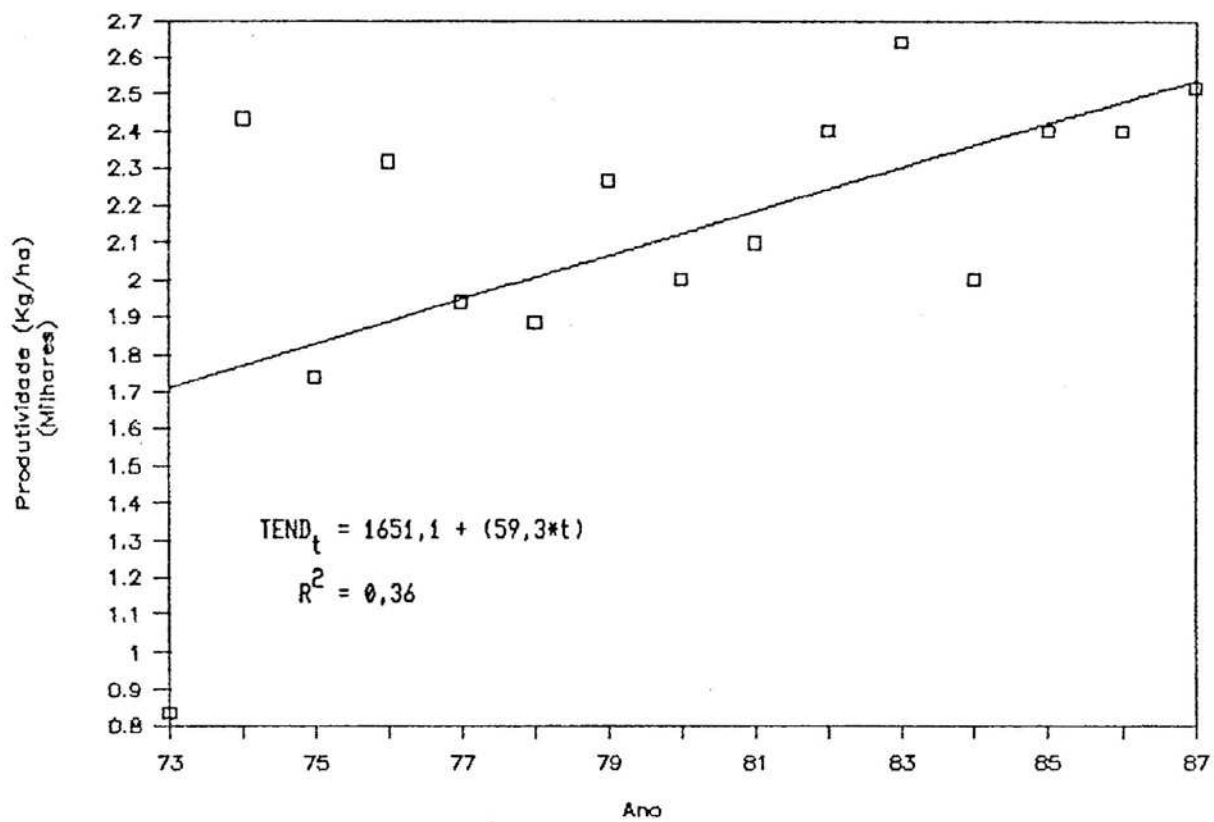


FIGURA 7- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Patos de Minas, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.

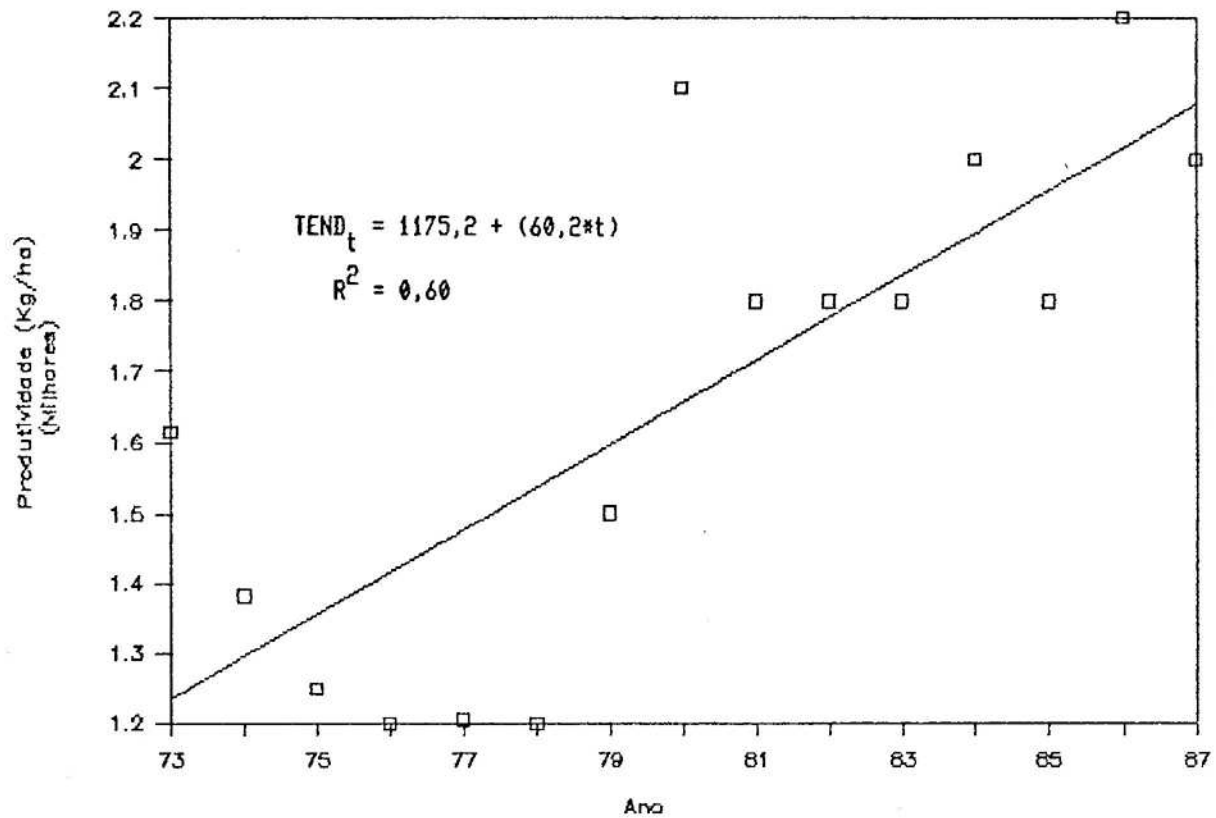


FIGURA 8- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Araxá, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.

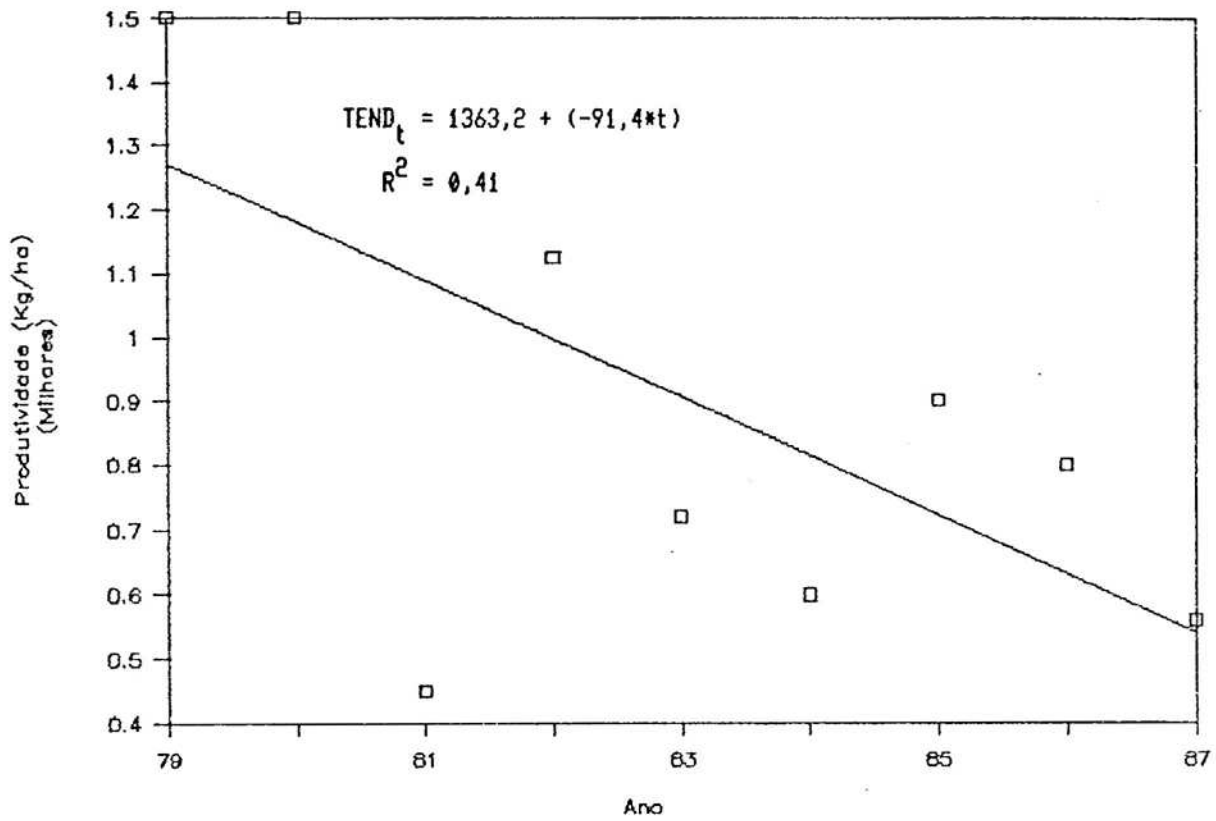


FIGURA 9- Variação Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para a Localidade de Manga, nos Anos Agrícolas 1978/1979 a 1986/1987.

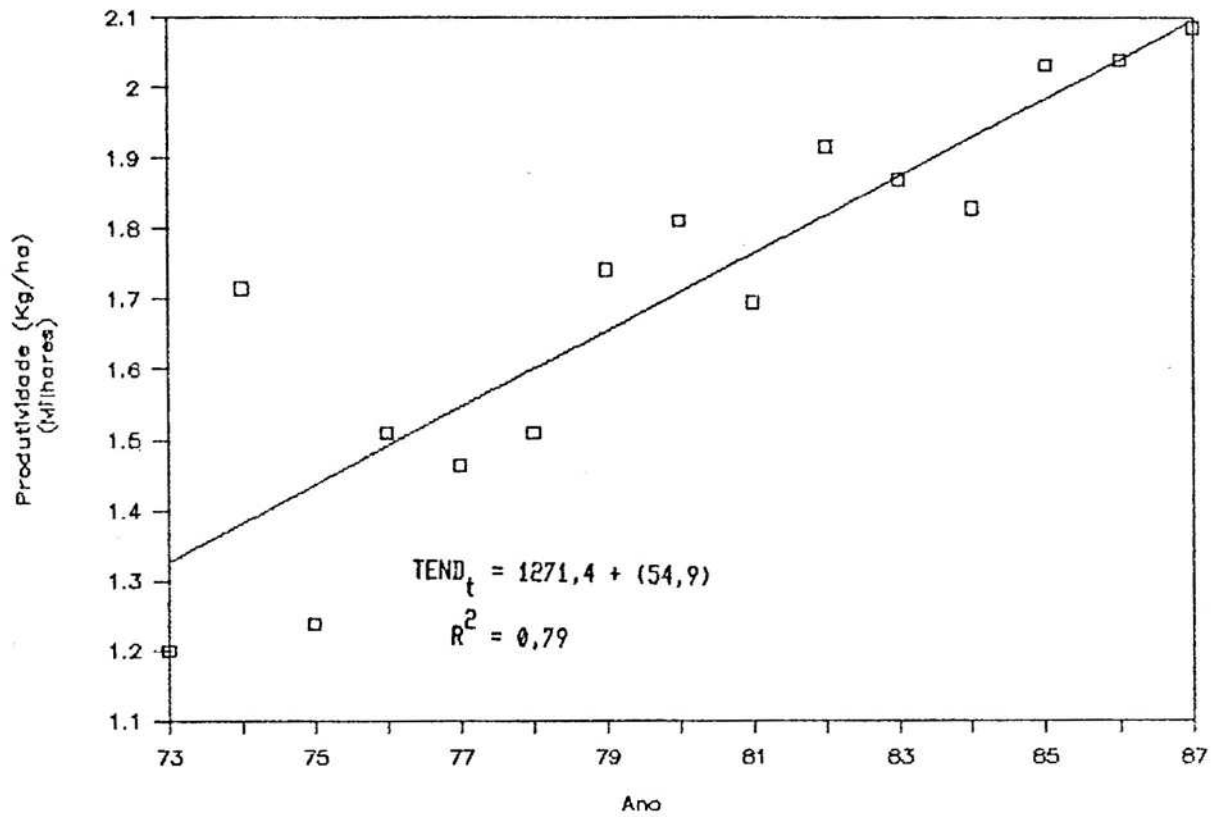


FIGURA 10-Varição Anual da Produtividade da Cultura do Milho, para Todas as Localidades, nos Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987.

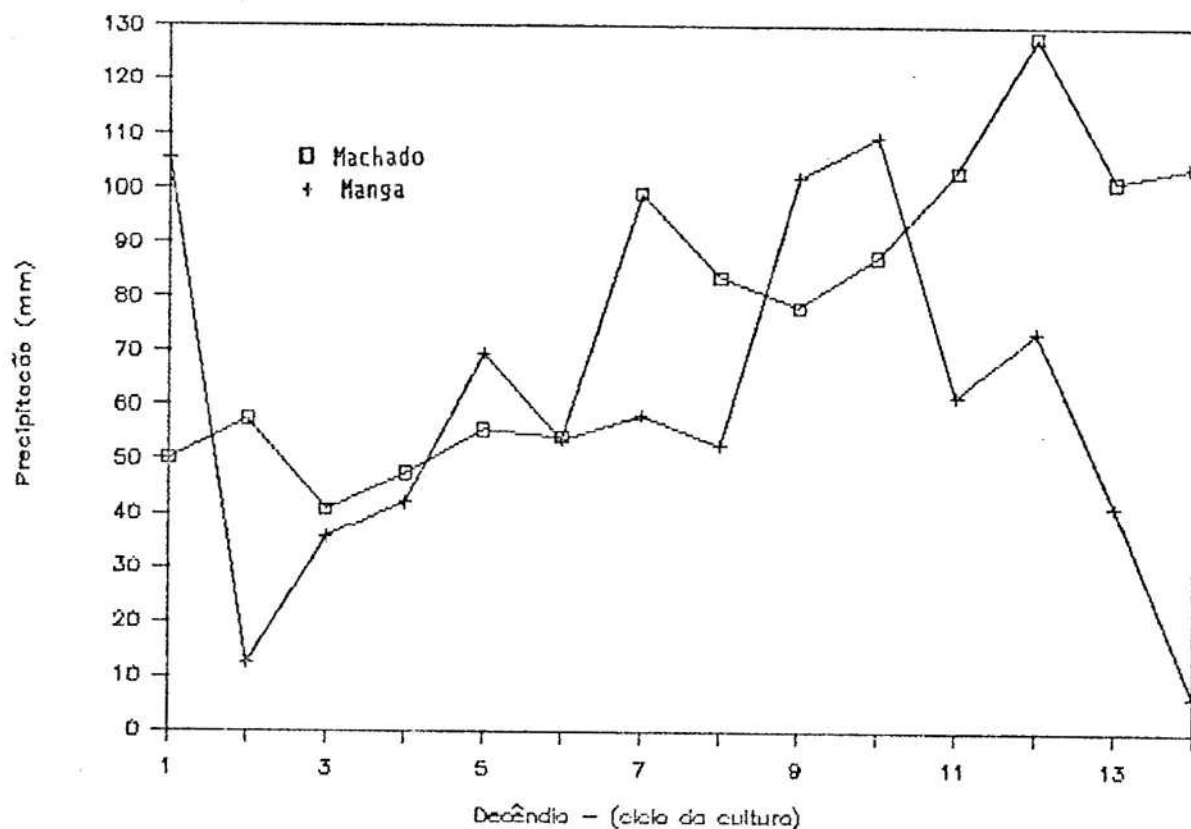


FIGURA 11- Distribuição Média Decennial da Precipitação para as Localidades de Machado (1972/1973 a 1986/1987) e Manga (1978/1979 a 1986/1987).

O Quadro 5 apresenta a variação anual entre a produtividade observada e a produtividade estimada pela equação da tendência tecnológica para as oito localidades, nos anos agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987. Um resumo dessa variabilidade dos desvios entre a produtividade observada e a produtividade estimada pela tendência tecnológica devido, principalmente, às variações agroclimáticas das localidades no período analisado, está apresentado no Quadro 6, com base nos valores extremos desses desvios.

Os resultados apresentados no Quadro 6 ilustram uma considerável variação para todas as localidades nos desvios entre produtividade observada e produtividade estimada pela

QUADRO 5- Variação Anual entre a Produtividade Observada e a Produtividade Estimada pela Equação da TEND, para as Oito Localidades, nos Anos Agrícolas de 1972/1973 a 1986/1987

Ano agrícola	Variação Anual (Kg/ha)							
	Machado	Uberaba	Viçosa	Sete Lagoas	Lavras	Patos de Minas	Araxá	Manga
72/73	137	-156	-203	-180	185	-877	379	-
73/74	462	1193	-68	-242	296	664	85	-
74/75	-125	-205	-683	-303	58	-89	-106	-
75/76	-2	373	119	-689	-117	430	-216	-
76/77	-385	-568	337	495	-473	-7	-271	-
77/78	-200	-157	553	434	-230	-121	-336	-
78/79	99	-341	352	373	-287	201	-96	228
79/80	-231	-426	143	312	257	-125	443	320
80/81	-47	-534	222	251	100	-84	83	-639
81/82	-62	-194	13	190	444	156	23	128
82/83	-178	322	-352	129	-113	337	-37	-186
83/84	307	238	-417	-333	-130	-362	103	-215
84/85	191	153	18	406	-366	-21	-157	177
85/86	75	-281	-322	73	217	-81	182	168
86/87	-40	585	288	-916	161	-20	-78	20

equação da tendência tecnológica. Observa-se também que os valores extremos dos desvios calculados entre a produtividade anual do milho observada e a produtividade estimada pela tendência tecnológica, para cada localidade, foram predominantes na primeira metade do período estudado, sugerindo que a contribuição da tecnologia na elevação da produtividade resulta em menor variação nos desvios da produtividade a partir da estimativa da tendência tecnológica causada pelas variações agroclimáticas.

Embora a distribuição e o total de precipitação durante o ciclo da cultura tenham se apresentado bem correlacionados com o desvio entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica, também foram identificadas outras variáveis, como a temperatura do ar e o déficit hídrico, para explicar os valores extremos desses desvios nas localidades de Araxá e Manga, conforme ilustram as Figuras 12 e 13, respectivamente.

QUADRO 6- Variação entre os Valores Extremos dos Desvios Calculados entre a Produtividade Anual de Milho Observada e a Tendência Tecnológica, para cada Localidade, Durante os Anos Agrícolas 1972/1973 a 1986/1987

Localidade	Valores positivos		Valores negativos	
	ano	desvio	ano	desvio
Machado	73/74	462	76/77	-385
Uberaba	73/74	1193	76/77	-568
Viçosa	77/78	553	74/75	-683
Sete Lagoas	76/77	495	86/87	-916
Lavras	81/82	444	76/77	-473
Patos de Minas	73/74	664	72/73	-877
Araxá	79/80	443	77/78	-336
Manga	79/80	320	80/81	-639

A Figura 12 mostra as variações decendiais da temperatura do ar em Araxá, nos anos agrícolas de 1977/1978 e 1979/1980. O ano agrícola 1977/1978, que apresentou um desvio extremo negativo entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica, caracterizou-se principalmente pelas temperaturas do ar relativamente baixas, com um valor médio decendial de $21,8^{\circ}\text{C}$, variando durante o ciclo da cultura entre $20,5^{\circ}\text{C}$ e $24,7^{\circ}\text{C}$. Entretanto, o ano agrícola 1979/1980, que apresentou um desvio extremo positivo, caracterizou-se por temperaturas do ar acima do normal para o local, com um valor médio de $25,7^{\circ}\text{C}$, variando de $22,9^{\circ}\text{C}$ a 29°C .

A Figura 13 apresenta as variações decendiais do déficit hídrico em Manga, nos anos agrícolas de 1980/1981 e 1981/1982. O ano agrícola de 1980/1981 desta localidade apresentou um desvio extremo negativo entre a produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica, tendo sido caracterizada por consideráveis déficits hídricos que totalizaram 215 mm no ciclo da cultura. Todavia, o ano agrícola de 1981/1982, que apresentou um desvio extremo positivo, teve apenas déficit de 9 mm durante o ciclo da cultura.

4.1.2. Seleção de Variáveis Agroclimáticas para o Desenvolvimento dos Modelos de Estimativa da Produtividade de Milho

O Quadro 7 apresenta as correlações entre os desvios da produtividade a partir da tendência tecnológica e os valores decendiais das variáveis agroclimáticas para a localidade de Machado. Durante o período plantio-diferenciação do pendão, as variáveis deficiência hídrica e temperatura do ar

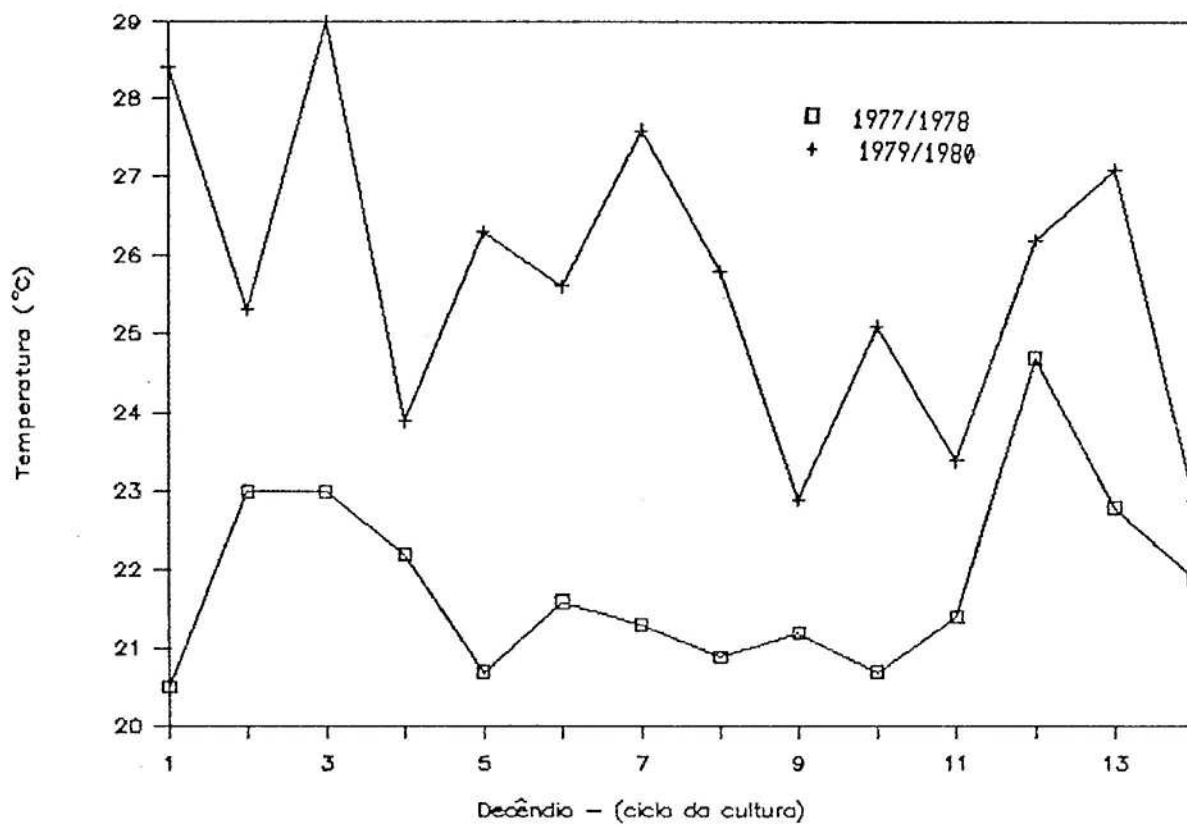


FIGURA 12 - Variação da Temperatura Média Decendial para os Anos Agrícolas 1977/1978 e 1979/1980 em Araxá.

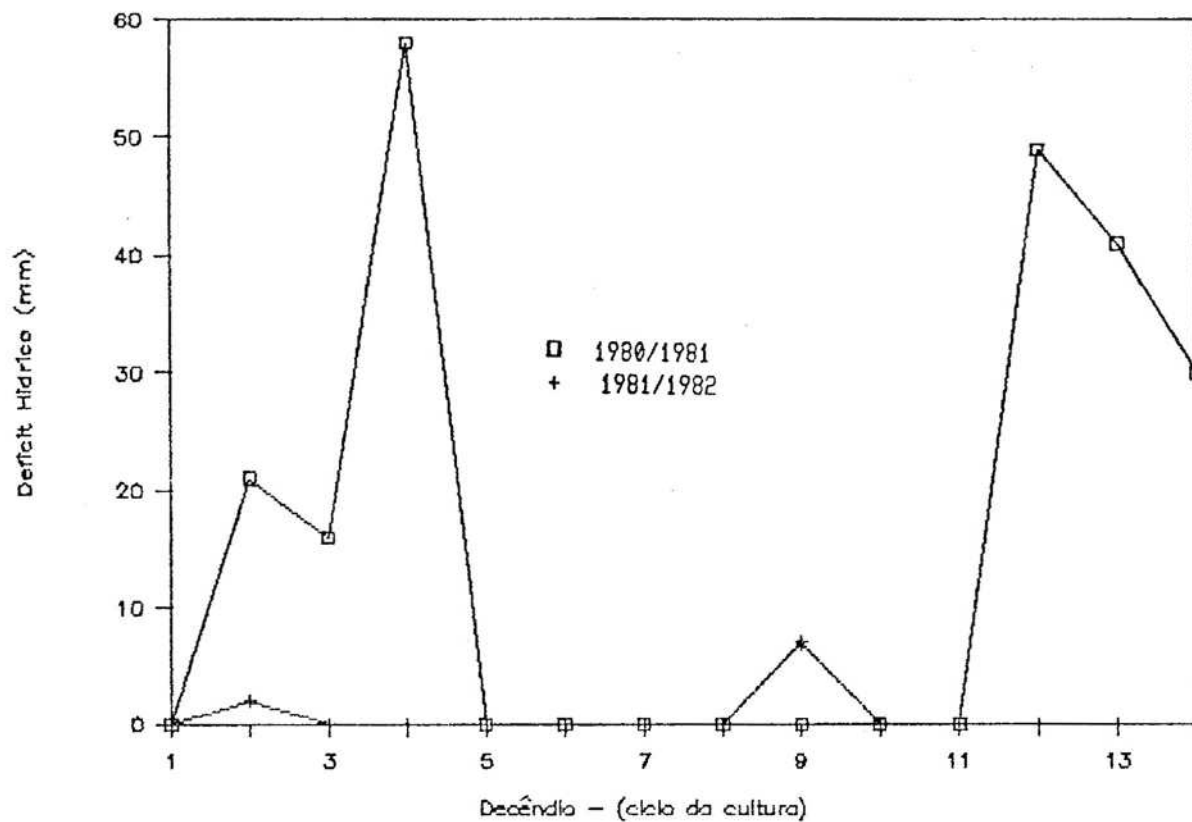


FIGURA 13- Variações dos Déficits Hídricos Decendiais nos Anos Agrícolas 1980/1981 e 1981/1982 em Manga.

apresentaram-se positivamente correlacionadas com os resíduos da produtividade. Durante o período da diferenciação do pendão ao início do pendoamento, no 5º decêndio, a precipitação foi positivamente correlacionada e a temperatura do ar foi negativamente correlacionada com o resíduo da produtividade. No período de pendoamento ao espigamento, as necessidades hídricas e o déficit hídrico foram positivamente correlacionados com o resíduo da produtividade, ambos no 9º decêndio, enquanto a precipitação e o excesso hídrico, no 8º decêndio, foram negativamente correlacionados com este resíduo.

QUADRO 7- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Machado, no Período de 1972 a 1987

Decêndio	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	0,32	0,14	0,00	0,00	-0,33	
2	-0,06	0,23	0,00	0,58*	0,42*	
3	-0,07	-0,36*	0,00	0,00	-0,20	
4	-0,03	-0,20	0,00	0,44*	0,11	
5	0,47*	-0,32	0,00	-0,05	-0,37*	
6	0,28	0,05	0,00	0,00	0,28	
7	-0,06	-0,05	-0,10	-0,15	0,16	
8	-0,42*	0,05	-0,41*	0,00	0,16	
9	-0,33	0,41*	-0,22	0,58*	0,02	-0,15

* nível de significância até 10%

O Quadro 8 mostra as correlações entre os resíduos da produtividade a partir da tendência tecnológica e os valores decendiais das variáveis agroclimáticas para a localidade de Uberaba. No período do plantio à diferenciação do pendão, o

excesso hídrico mostrou-se, no 3º decêndio, positivamente correlacionado e, no 2º decêndio, negativamente correlacionado com os resíduos da produtividade. No período da diferenciação do pendão, ao início do pendoamento, a precipitação foi positivamente correlacionada com os resíduos da produtividade, no 5º decêndio, enquanto as variáveis necessidade hídrica e déficit hídrico foram negativamente correlacionadas com os resíduos da produtividade no 6º decêndio. Na fase do pendoamento ao espigamento destacou-se apenas o excesso hídrico, que foi positivamente correlacionado, no 9º decêndio, com os resíduos da produtividade.

QUADRO 8- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Uberaba, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	-0,05	-0,03	-0,24	0,00	-0,04	
2	-0,23	0,21	-0,31*	-0,10	-0,01	
3	-0,15	-0,14	0,34*	-0,02	-0,15	
4	-0,05	-0,04	0,02	-0,21	0,02	
5	0,47*	-0,11	0,17	-0,15	-0,11	
6	0,12	-0,52*	0,16	-0,39*	-0,11	
7	-0,06	-0,24	0,06	-0,22	-0,13	
8	-0,12	-0,20	0,06	0,00	-0,10	
9	0,06	0,12	0,27*	0,00	0,01	0,21

* nível de significância até 10%

O Quadro 9 apresenta as correlações entre os desvios da produtividade observada e a estimada pela tendência tecnológica com as variáveis agroclimáticas decendiais para Viçosa.

Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, a precipitação foi, no 2º decêndio, negativamente correlacionada e, no 3º decêndio, foi positivamente correlacionada com os resíduos da produtividade. Na fase da diferenciação do pendão ao início do pendoamento, no 4º decêndio, a temperatura do ar foi positivamente correlacionada com os resíduos da produtividade. Na fase de início do pendoamento ao espigamento, três variáveis apresentaram-se significativamente correlacionadas com os resíduos da produtividade, sendo uma positivamente correlacionada, a temperatura do ar, no 7º decêndio, e duas negativamente correlacionadas, a precipitação e o excesso hídrico, ambas no 8º decêndio.

QUADRO 9- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Viçosa, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	-0,22	-0,31	0,00	0,00	-0,15	
2	-0,48*	-0,06	-0,02	0,00	-0,21	
3	0,41*	-0,09	-0,10	0,22	-0,16	
4	-0,06	0,14	-0,11	-0,01	0,52*	
5	-0,03	-0,13	-0,16	0,20	-0,26	
6	0,32	-0,33	0,17	0,00	-0,09	
7	-0,32	0,21	0,12	0,00	0,57*	
8	-0,42*	0,08	-0,47*	0,00	0,29	
9	-0,28	0,30	-0,25	0,00	0,05	-0,00

* nível de significância até 10%

O Quadro 10 ilustra as correlações entre os resíduos da produtividade e as variáveis agroclimáticas decendiais para

Sete Lagoas. Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, três variáveis agroclimáticas foram significativamente correlacionadas com o resíduo da produtividade, sendo duas positivamente correlacionadas às necessidades hídricas e à temperatura do ar, no 3º decêndio, enquanto a precipitação foi negativamente correlacionada com os resíduos da produtividade no 2º decêndio. Na 2ª fase, da diferenciação do pendão ao início do pendoamento, a precipitação e as necessidades hídricas foram negativamente correlacionadas com o resíduo da produtividade no 4º e 5º decêndios respectivamente, e novamente a precipitação e o déficit hídrico foram positivamente correlacionados com os resíduos da produtividade nos decêndios 6º e 5º, respectivamente. Na 3ª fase, do início do pendoamento ao espigamento, as variáveis necessidade hídrica, no 8º decêndio,

QUADRO 10- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Sete Lagoas, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	-0,02	-0,05	0,06	0,00	-0,13	
2	-0,45*	0,12	-0,07	0,00	-0,12	
3	-0,09	0,36*	0,01	0,18	0,43*	
4	-0,36*	0,06	-0,08	0,23	-0,00	
5	0,18	-0,36*	-0,09	0,36*	0,05	
6	0,37*	-0,26	0,29	0,20	-0,01	
7	0,07	0,09	0,21	-0,19	0,42*	
8	-0,12	-0,36*	0,25	0,27	-0,33	
9	0,02	-0,16	0,03	0,00	-0,16	-0,42*

* nível de significância até 10%

e o índice "I" das necessidades hídricas, no 9º decêndio, foram negativamente correlacionadas e a temperatura do ar foi positivamente correlacionada, no 7º decêndio, com os resíduos da produtividade.

O Quadro 11 mostra as correlações entre os resíduos da produtividade de milho e as variáveis agroclimáticas do balanço hídrico decendial para Lavras. Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, a variável déficit hídrico e temperatura do ar foram positivamente correlacionadas com os resíduos da produtividade nos decêndios 3º e 4º respectivamente. Na 2ª fase, da diferenciação do pendão ao início do pendoamento, a precipitação pluvial e o excesso hídrico foram positivamente correlacionados com os resíduos da produtividade no 6º decêndio, enquanto a temperatura do ar foi negativamente cor-

QUADRO 11- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Lavras, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	0,22	0,20	0,21	0,00	0,31*	
2	-0,18	0,00	-0,25	0,00	0,01	
3	-0,08	0,00	0,09	0,30*	-0,16	
4	-0,14	0,00	-0,07	0,19	-0,39*	
5	0,16	-0,12	0,09	-0,06	0,12	
6	0,37*	-0,18	0,40*	0,13	-0,06	
7	-0,39*	0,06	-0,07	0,00	0,11	
8	-0,03	0,55*	-0,16	0,19	0,41*	
9	-0,07	-0,07	-0,03	0,16	0,15	-0,16

* nível de significância até 10%

relacionada no 4º decêndio. Na 3ª fase, as necessidades hídricas e a temperatura do ar foram positivamente correlacionadas com os resíduos da produtividade no 8º decêndio, enquanto a precipitação pluvial foi negativamente correlacionada com os resíduos da produtividade no 7º decêndio.

O Quadro 12 apresenta as correlações entre os resíduos da produtividade de milho e as variáveis agroclimáticas para Patos de Minas. Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, a temperatura do ar, no 1º decêndio, foi positivamente correlacionada com o resíduo da produtividade. Na 2ª fase, da diferenciação do pendão ao início do pendoamento, os resíduos da produtividade foram negativamente correlacionados com a precipitação, com as necessidades hídricas e com o excesso hídrico, no 6º, 5º e 6º decêndio, enquanto a temperatura do ar foi negativamente correlacionada com a produtivi-

QUADRO 12- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Patos de Minas, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	-0,21	-0,03	0,00	0,00	0,40*	
2	-0,07	-0,00	0,00	0,00	-0,02	
3	0,21	-0,16	0,28	0,00	-0,11	
4	-0,09	0,09	-0,02	-0,07	0,01	
5	0,30	-0,36*	0,29	-0,07	-0,44*	
6	-0,46*	0,30	-0,33*	0,00	-0,36*	
7	0,06	0,07	0,14	-0,02	-0,15	
8	-0,02	0,20	-0,24	0,00	-0,30	
9	0,01	-0,10	-0,08	0,52*	-0,11	0,05

* nível de significância até 10%

dade nos decêndios 5º e 6º. Na 3ª fase, do início do pendramento ao espigamento, apenas o déficit hídrico foi significativamente correlacionado com o resíduo da produtividade, no 9º decêndio.

O Quadro 13 ilustra os coeficientes de correlação entre os resíduos da produtividade de milho e as variáveis agroclimáticas decendiais para Araxá. Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, a precipitação pluvial, no 3º decêndio, e o excesso hídrico, no 2º e 3º decêndios, foram positivamente correlacionados com os resíduos da produtividade. Na 2ª fase, da diferenciação do pendão ao início do pendramento, a temperatura do ar, no 5º decêndio, e as necessidades hídricas, no 4º decêndio, foram positivamente correlacionadas com os resíduos da produtividade. Na 3ª fase, do início do pendramento ao espigamento, o excesso hídrico, no 9º decêndio,

QUADRO 13- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Araxá, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	-0,18	-0,15	0,00	0,00	0,30	
2	0,09	-0,05	0,35*	0,25	0,28	
3	0,39*	-0,34	0,55*	0,00	0,30	
4	-0,30	0,46*	-0,28	0,10	0,08	
5	-0,09	0,28	-0,10	0,00	0,54*	
6	0,03	-0,01	0,06	0,00	0,28	
7	-0,10	-0,07	-0,29	0,10	0,48*	
8	-0,09	-0,20	-0,01	0,00	0,46*	
9	0,20	0,10	0,48*	0,00	0,36*	-0,4

* nível de significância até 10%

e a temperatura do ar, nos decêndios 7º, 8º e 9º, foram positivamente correlacionados com os resíduos da produtividade.

O Quadro 14 mostra os coeficientes de correlação entre os resíduos da produtividade de milho e as variáveis agroclimáticas decendiais de Manga. Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, o déficit hídrico foi negativamente correlacionado com os resíduos da produtividade no 2º decêndio. Na 2ª fase, da diferenciação do pendão ao início do pendoamento, a precipitação, no 4º decêndio, e a temperatura do ar, no 6º decêndio, foram positivamente correlacionadas com os resíduos da produtividade. As variáveis precipitação e excesso hídrico, no 6º decêndio, e a temperatura do ar, no 5º decêndio, foram negativamente correlacionadas com os resíduos da produtividade. Na 3ª fase, do início do pendoamento ao

QUADRO 14- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para Manga, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	Variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	-0,04	-0,00	0,40	0,00	-0,23	
2	0,17	-0,41	0,21	-0,79*	-0,36	
3	0,05	0,12	0,00	-0,18	0,44	
4	0,62*	-0,33	0,00	-0,81*	-0,34	
5	-0,16	-0,22	0,21	-0,21	-0,64*	
6	-0,47*	0,17	-0,80*	-0,15	0,55*	
7	-0,28	0,16	-0,61*	0,13	0,29	
8	0,34	-0,47*	0,21	0,02	0,07	
9	0,44	-0,27	0,40	-0,23	-0,05	0,37

* nível de significância até 10%

espigamento, o excesso hídrico, no 7º decêndio, e as necessidades hídricas, no 8º decêndio, foram negativamente correlacionados com os resíduos da produtividade.

O Quadro 15 ilustra os coeficientes de correlação entre os resíduos da produtividade média do milho de todas as localidades e as variáveis agroclimáticas decendiais. Na 1ª fase, do plantio à diferenciação do pendão, nenhuma variável agroclimática foi significativamente correlacionada com os resíduos da produtividade. Na fase da diferenciação do pendão ao início do pendoamento as variáveis precipitação, nos decêndios 4º e 5º, e o excesso hídrico, no 5º decêndio, foram positivamente correlacionados com os resíduos da produtividade. As variáveis precipitação, no 6º decêndio, necessidades hídricas, no 4º decêndio, excesso hídrico, no 6º decêndio, e déficit hídrico, nos decêndios 4º, 5º e 6º, foram negativamen-

QUADRO 15- Correlação entre os Resíduos da Produtividade de Milho a partir da Tendência Tecnológica e as Variáveis Agroclimáticas Decendiais de Precipitação Pluvial, Pa; Necessidades Hídricas, Nh; Excesso Hídrico, E; Déficit Hídrico, D; Temperatura do Ar, T e Índice "I" das Necessidades Hídricas para todas as Localidades, no Período de 1972 a 1987

Decêndios	variáveis					
	Pa	Nh	E	D	T	I
1	0,01	-0,01	-0,22	0,00	0,12	
2	-0,00	0,29	-0,15	0,00	0,07	
3	-0,24	-0,05	0,07	-0,15	0,11	
4	0,49*	-0,54*	0,07	-0,36*	0,08	
5	0,68*	-0,16	0,49*	-0,42*	-0,09	
6	-0,44*	0,02	-0,34*	-0,43*	0,06	
7	-0,06	0,32	0,04	0,04	0,11	
8	-0,37*	0,23	-0,42*	-0,02	0,07	
9	0,21	0,33	-0,25	0,00	0,08	0,40*

* nível de significância até 10%

te correlacionados com os resíduos da produtividade. Na 3ª fase, do início do pendoamento ao espigamento, o índice "I" das necessidades hídricas foi positivamente correlacionado com os resíduos da produtividade, enquanto a precipitação e o excesso hídrico, no 8º decêndio, foram negativamente correlacionados.

4.2. Modelos Agroclimáticos de Estimativa da Produtividade de Milho em Oito Localidades de Minas Gerais

O modelo resultante para estimar a produtividade de milho em Minas Gerais foi expresso pela seguinte equação:

$$\text{PROD}_t = a + b\text{TEND}_t + c_1X_1 + e \quad \text{eq. 4}$$

em que PROD_t é a produtividade de milho no ano "t" em Kg/ha; "a" é uma constante em Kg/ha; "b" e "c₁" são coeficientes de regressão múltipla das variáveis "TEND_t" e X₁, respectivamente; TEND_t é a estimativa de produtividade de milho pela tendência tecnológica em Kg/ha; X₁ são as variáveis agroclimáticas decendiais; "e" é o termo de erro aleatório que indica as diferenças não explicadas entre a produtividade de milho observada e a estimada.

As equações de regressão que apresentaram a melhor combinação de variáveis na estimativa da produtividade de milho, para as oito localidades de Minas Gerais, estão apresentadas no Quadro 16, juntamente com o coeficiente de determinação, nível de significância e teste "t".

QUADRO 16- Equações de Regressão para Estimar a Produtividade de Milho, em Kg/ha, em Oito Localidades de Minas Gerais

Local	Equações de Regressão	R ²
Machado	$\text{PROD}_t = -2374,9 + (1,0 \times \text{TEND}_t) + (2,4 \times \text{Pa}_5) + (108,9 \times \text{T}_2)$ <p style="text-align: center;"> (**) (-2,23) (***) (10,51) (**) (2,39) (**) (2,22) </p>	0,92
Uberaba	$\text{PROD}_t = 2590,0 + (0,9 \times \text{TEND}_t) + (-39,5 \times \text{Nh}_6) + (20,5 \times \text{E}_{3-9}) + (-16,0 \times \text{D}_6)$ <p style="text-align: center;"> (***) (3,72) (***) (4,924) (***) (-4,68) (***) (5,17) (**) (-2,54) </p>	0,89
Viçosa	$\text{PROD}_t = -3354,2 + (0,5 \times \text{TEND}_t) + (7,0 \times \text{Pa}_3) + (227,2 \times \text{T}_4) + (-18,6 \times \text{Nh}_6)$ <p style="text-align: center;"> (***) (-3,19) (***) (2,18) (***) (3,12) (***) (3,97) (**) (-2,67) </p>	0,88
Sete Lagoas	$\text{PROD}_t = 3978,6 + (1,0 \times \text{TEND}_t) + (-47,2 \times \text{I}) + (3,3 \times \text{Pa}_6)$ <p style="text-align: center;"> (***) (3,13) (***) (3,50) (***) (-3,97) (**) (2,80) </p>	0,75
Lavras	$\text{PROD}_t = -4760,7 + (1,1 \times \text{TEND}_t) + (2,0 \times \text{E}_6) + (35,9 \times \text{D}_3) + (209,8 \times \text{T}_8)$ <p style="text-align: center;"> (**) (-2,78) (***) (4,99) (*) (1,91) (**) (2,79) (**) (2,68) </p>	0,79
Araxá	$\text{PROD}_t = -774,4 + (0,5 \times \text{TEND}_t) + (67,0 \times \text{T}_5) + (3,3 \times \text{E}_3)$ <p style="text-align: center;"> (**) (-2,72) (**) (2,58) (***) (4,01) (**) (2,45) </p>	0,89
Patos de Minas	$\text{PROD}_t = 6840,8 + (0,8 \times \text{TEND}_t) + (-8,5 \times \text{E}_6) + (146,9 \times \text{D}_9) + (-292,4 \times \text{T}_5)$ <p style="text-align: center;"> (**) (2,77) (**) (2,38) (**) (-2,47) (***) (2,90) (***) (-3,29) </p>	0,82
Manga	$\text{PROD}_t = 5554,8 + (0,96 \times \text{TEND}_t) + (-7,8 \times \text{E}_6) + (-221,7 \times \text{T}_5)$ <p style="text-align: center;"> (**) (2,63) (***) (4,46) (***) (-3,71) (**) (-2,60) </p>	0,91
Geral	$\text{PROD}_t = -2032,7 + (0,9 \times \text{TEND}_t) + (2079,0 \times \text{T}_{35}) + (2,1 \times \text{Pa}_5) + (-4,7 \times \text{E}_6)$ <p style="text-align: center;"> (**) (-2,63) (***) (14,65) (***) (6,23) (**) (2,13) (**) (-3,54) </p>	0,96

*** Significativo a 1% de probabilidade

** Significativo a 5% de probabilidade

* Significativo a 10% de probabilidade

() teste "t"

As Figuras de 14 a 22 ilustram as produtividades de milho observadas e as produtividades estimadas pelos modelos propostos para cada localidade.

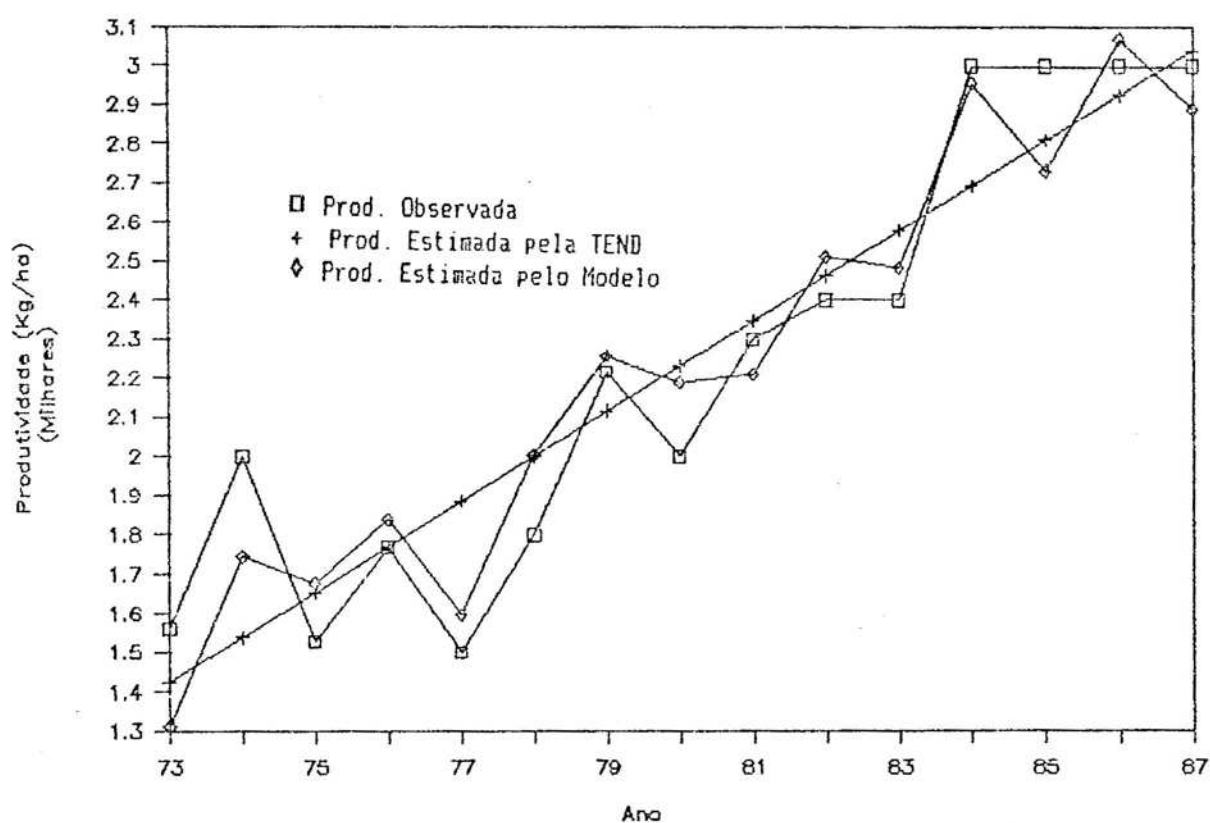


FIGURA 14- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Machado.

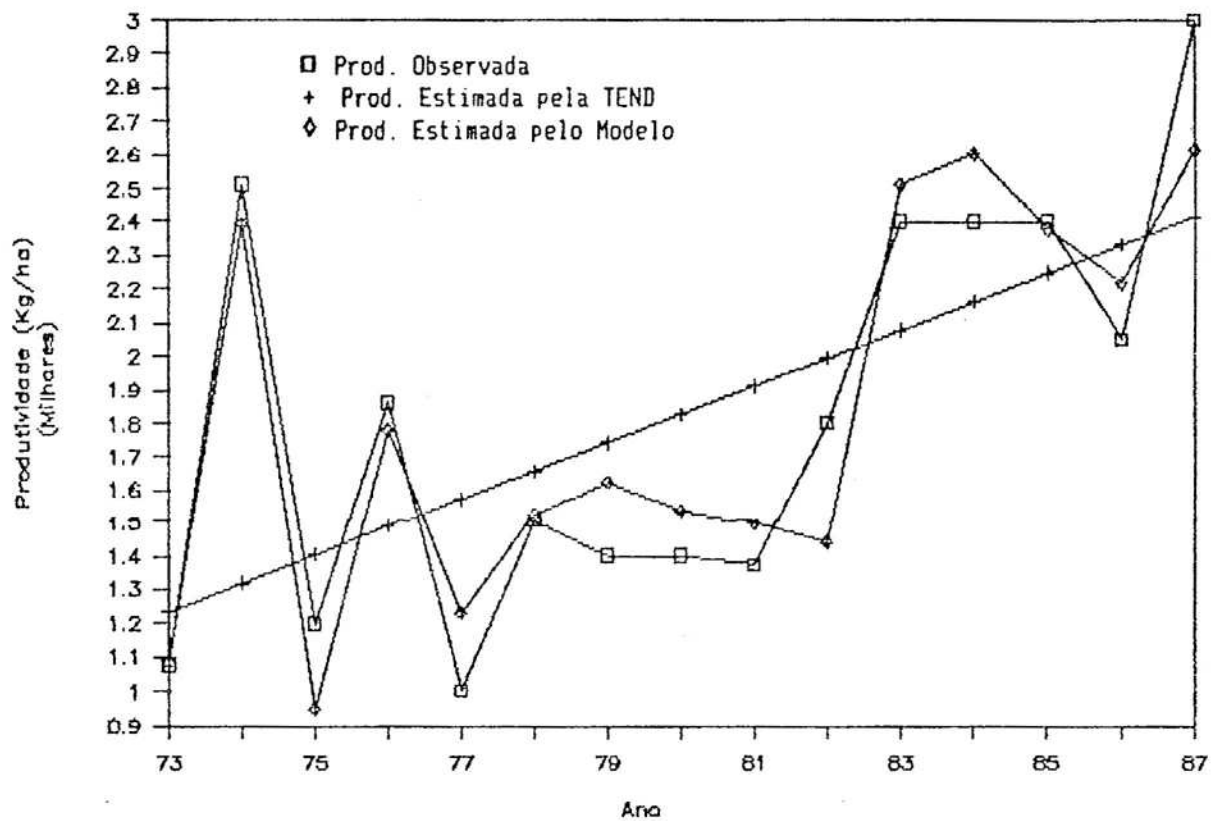


FIGURA 15- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Uberaba.

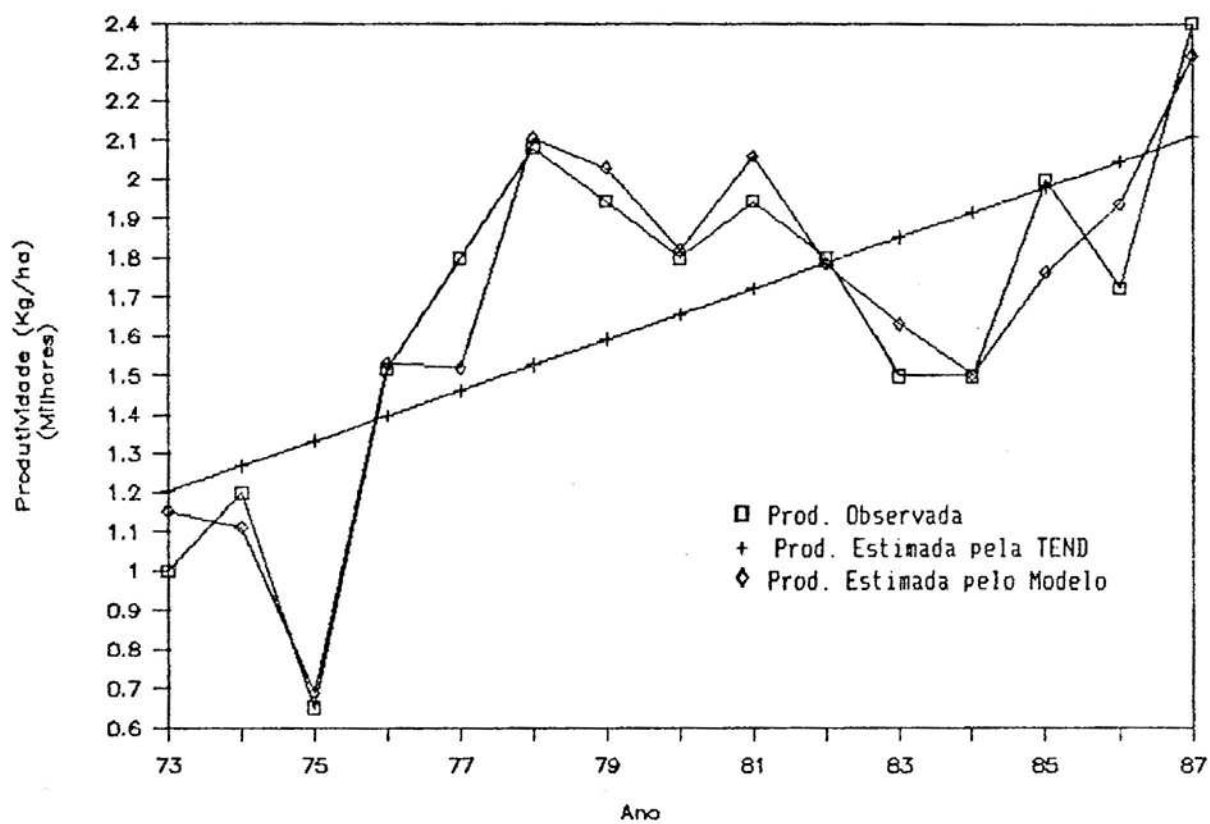


FIGURA 16- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Viçosa.

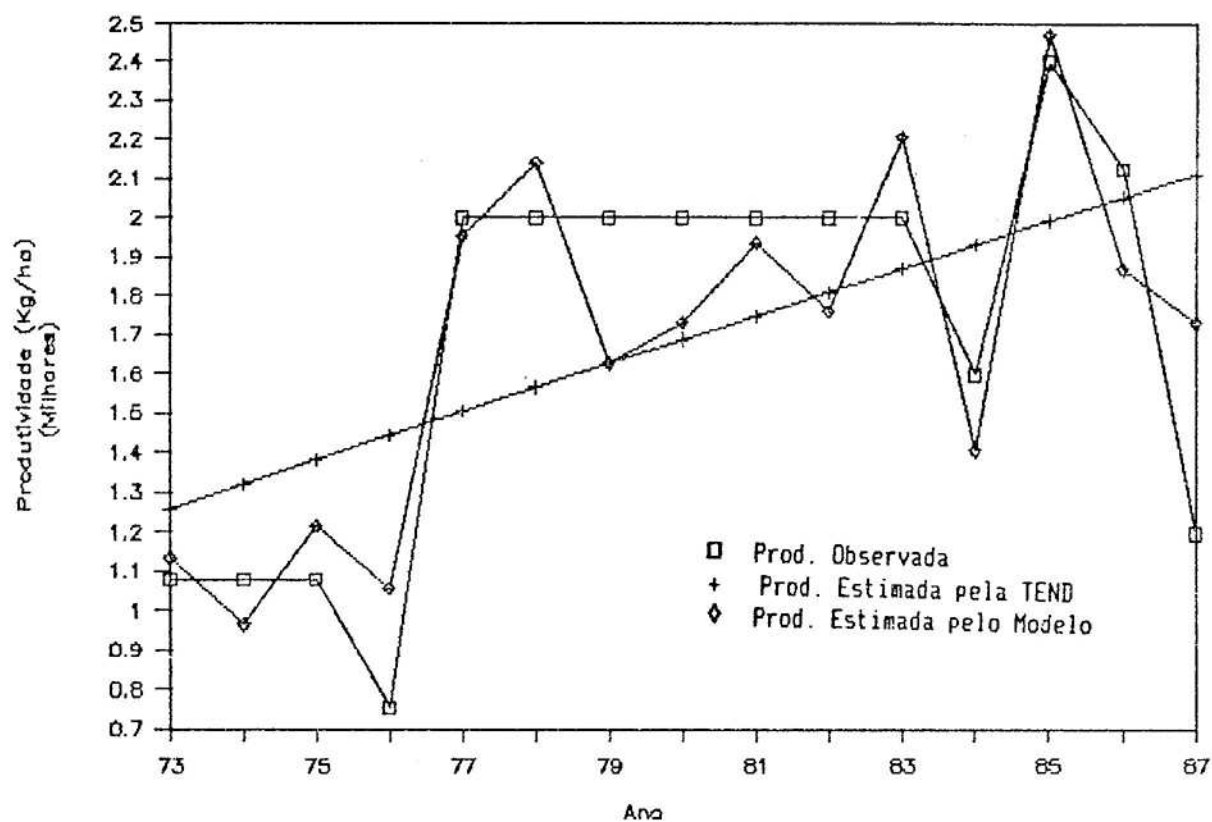


FIGURA 17- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Sete Lagoas.

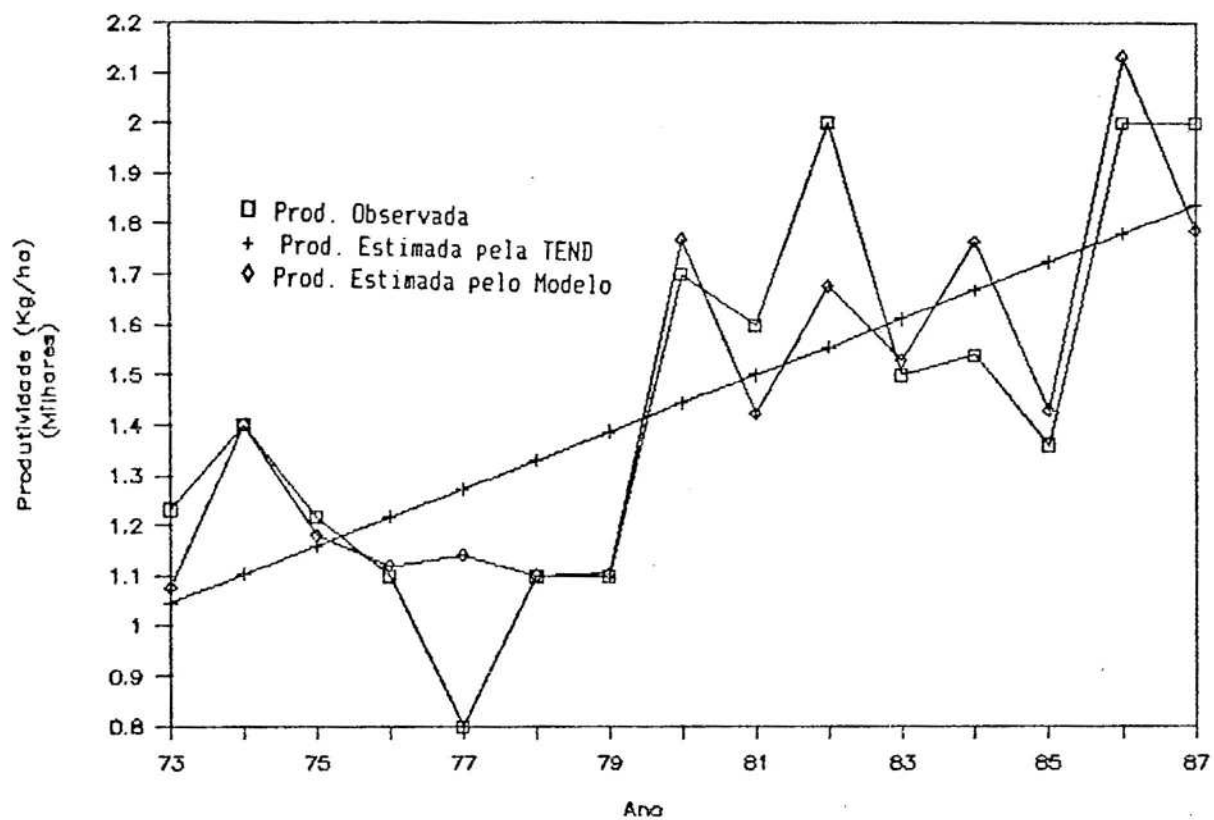


FIGURA 18- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Lavras.

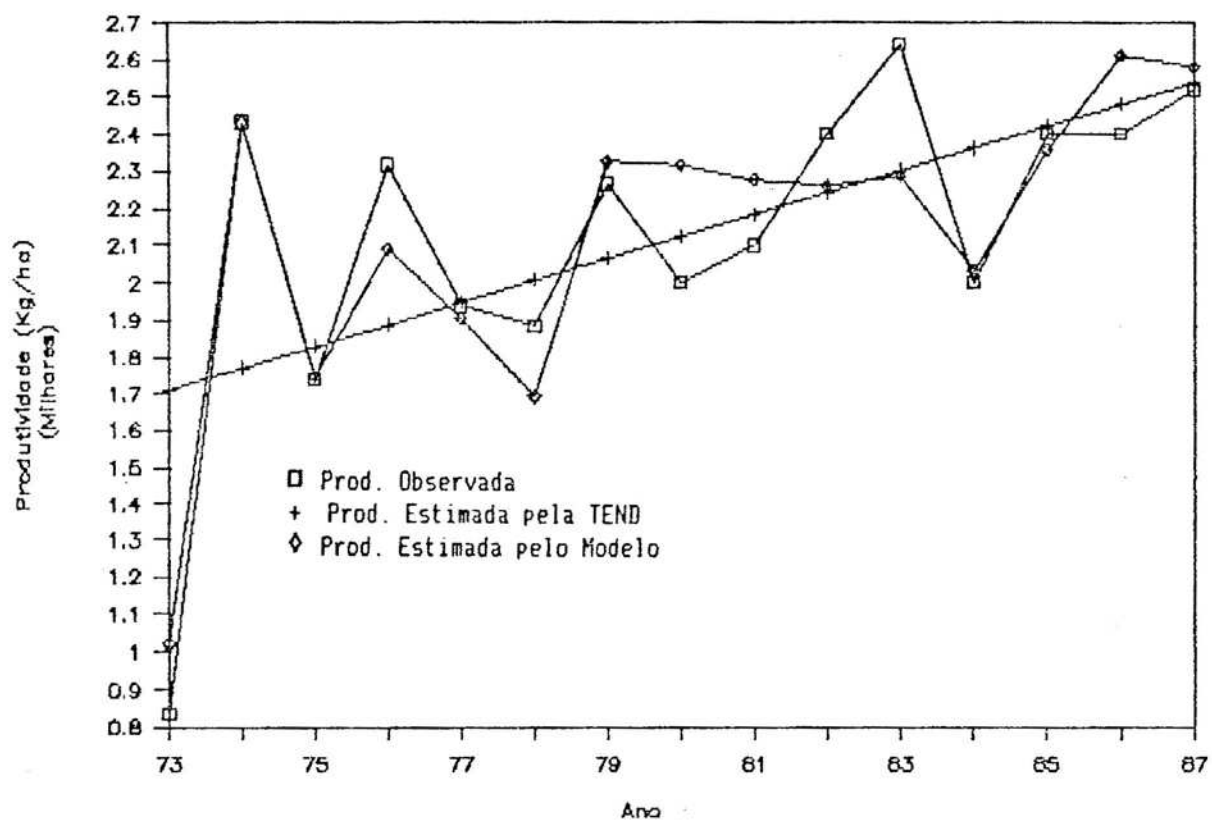


FIGURA 19- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Patos de Minas.

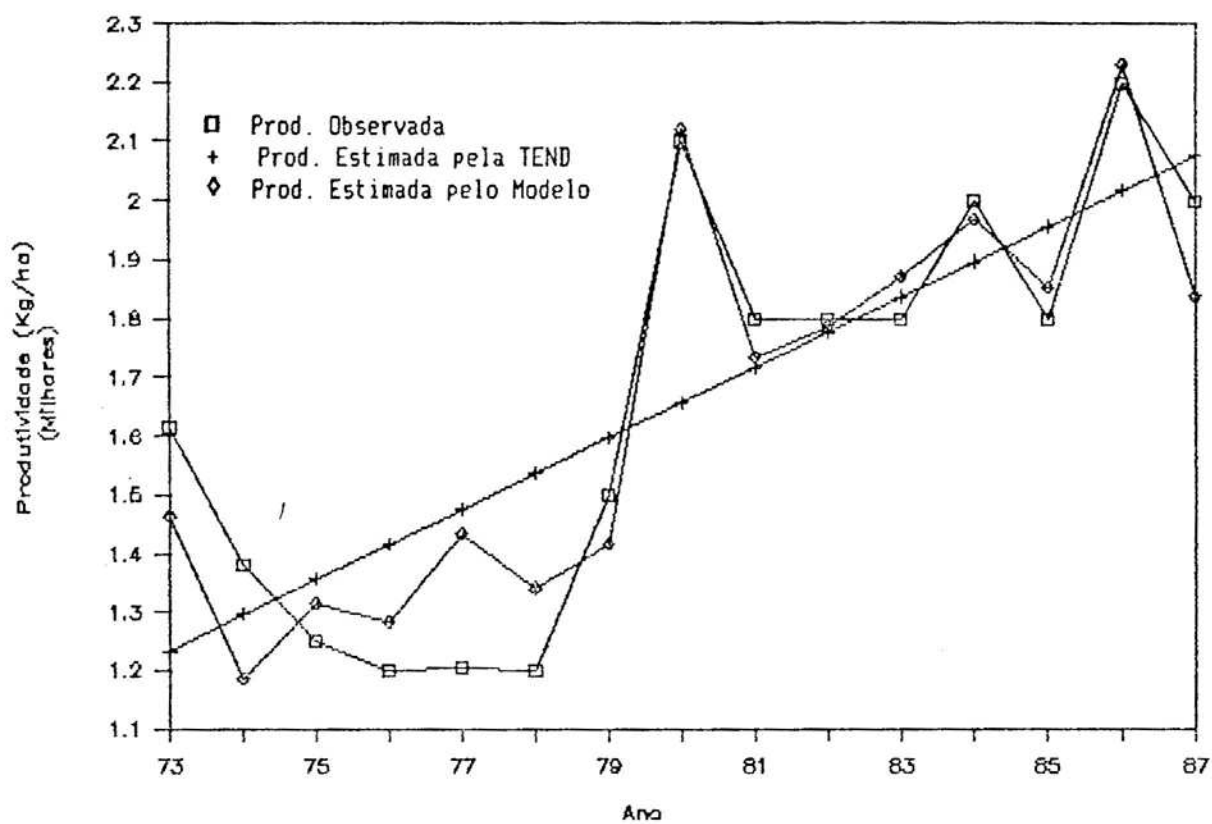


FIGURA 20- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Araxá.

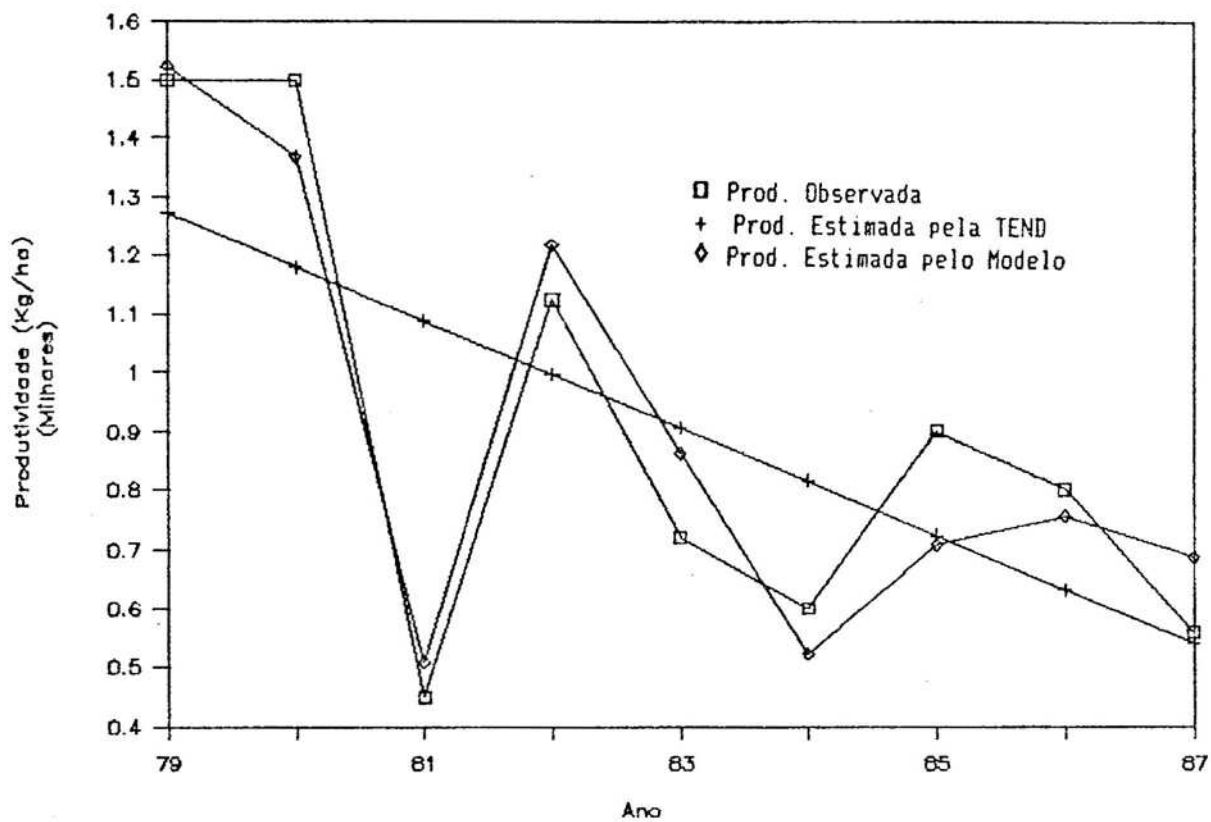


FIGURA 21- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Manga.

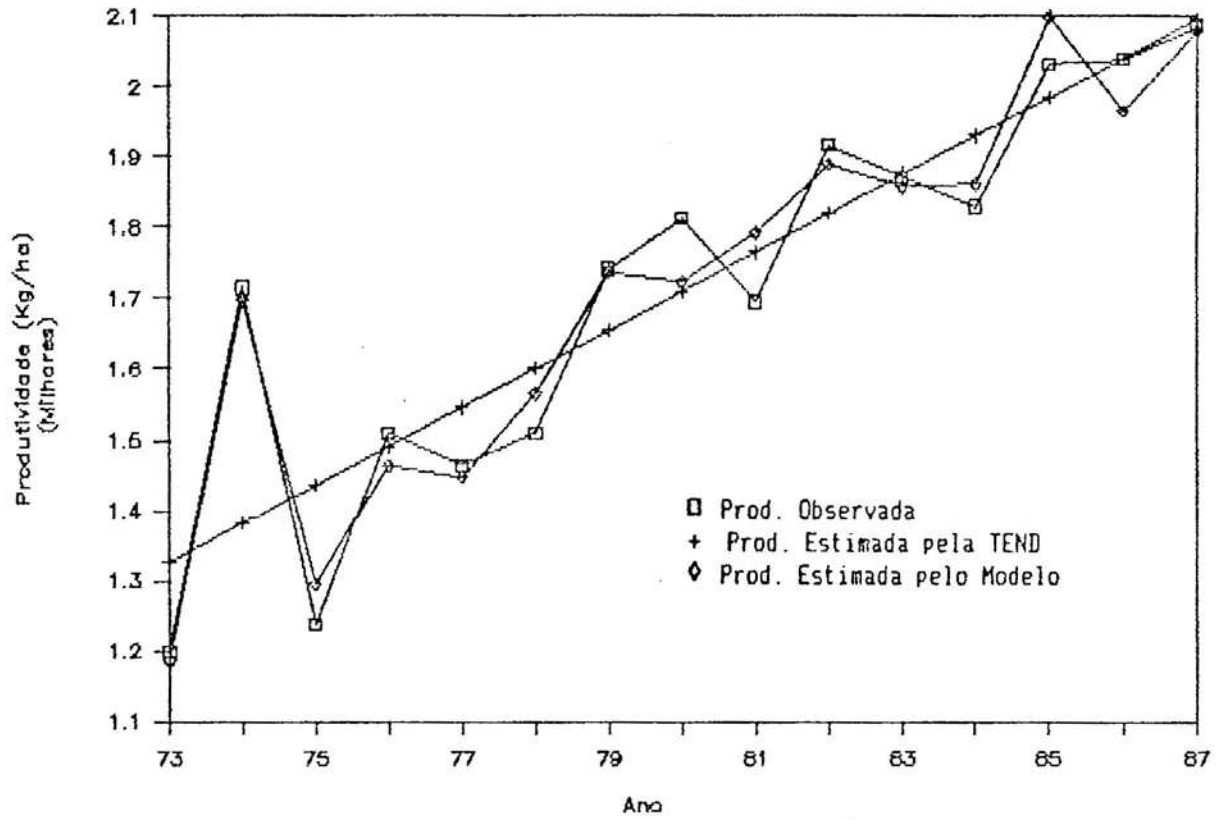


FIGURA 22- Comparação da Produtividade de Milho Observada, a Produtividade Estimada pela Tendência Tecnológica e a Produtividade Estimada pelo Modelo para Todas as Localidades.

3. Teste dos Modelos Propostos

Os modelos foram testados para os anos agrícolas de 1987/1988 e 1988/1989, que não foram incluídos no período utilizado para o desenvolvimento dos modelos. O Quadro 17 apresenta a produtividade de milho observada nos anos selecionados para teste e a produtividade de milho estimada pelos modelos.

QUADRO 17- Produtividade de Milho Observada e Produtividade Estimada pelos Modelos nos Anos Agrícolas 1987/1988 e 1988/1989

Localidade	Ano Agrícola	Produtividade (Kg/ha)		
		Observada	Estimada	% Erro
Machado	1987/1988	3200	3157	-1,3
	1988/1989	3400	3438	+1,1
Uberaba	1987/1988	3000	2114	-29,5
	1988/1989	3200	2737	-14,5
Viçosa	1987/1988	2150	2243	+3,9
	1988/1989	2100	1658	-11,5
Sete Lagoas	1987/1988	3000	2096	-30,1
	1988/1989	3000	1805	-39,8
Lavras	1987/1988	2000	1920	-4,0
	1988/1989	2002	1856	-7,3
Patos de Minas	1987/1988	2400	2196	-8,5
	1988/1989	3000	3179	+6,0
Araxá	1987/1988	2400	1900	-20,8
	1988/1989	2400	1797	-25,1
Manga	1987/1988	600	801	+33,5
	988/1989	450	289	-35,8
Geral	1987/1988	2345	2060	-12,2
	1988/1989	2444	2210	-9,6

A comparação entre as produtividades observadas e as estimadas pelos modelos está ilustrada na Figura 23.

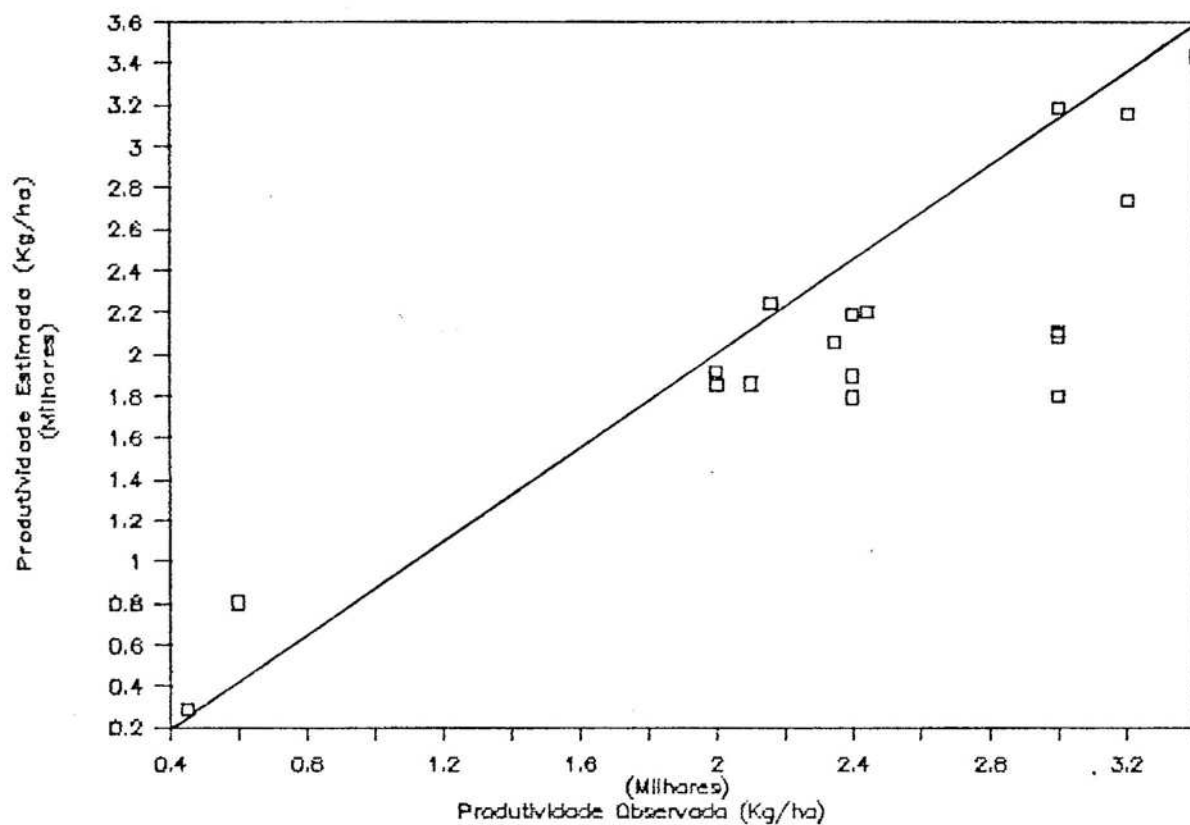


FIGURA 23- Relação entre Produtividade Observada e Produtividade Estimada pelos Modelos Propostos, nos Anos Agrícolas de 1987/1988 e 1988/1989.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os modelos agroclimáticos de estimativa de produtividade basearam-se em uma série histórica de dados de produtividade de milho e de dados diários de temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima do ar, duração do brilho solar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluvial de oito localidades do Estado de Minas Gerais, para o período de 1972/1989. Utilizando-se esses dados meteorológicos diários determinaram-se as seguintes variáveis do balanço hídrico decendial para cada localidade: necessidades hídricas, excesso hídrico, déficit hídrico e índice "I" das necessidades hídricas.

Os modelos desenvolvidos a partir de técnicas de regressão múltipla consistem de uma variável de tendência tecnológica, combinada com o menor número de variáveis agroclimáticas decendiais, que expressam a variabilidade na produtividade de milho. A seleção de variáveis, para os modelos agroclimáticos, baseou-se em análise de correlação entre os resíduos da produtividade de milho a partir da tendência

tecnológica, e das variáveis agroclimáticas do balanço hídrico decendial para cada localidade.

Com base nos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

1) A tendência tecnológica mais apropriada para as localidades estudadas foi expressa por uma função linear do ano;

2) Todas as localidades estudadas, com exceção de Manga, apresentaram tendência tecnológica linear crescente, indicando a necessidade de pesquisas no sentido de melhorar a participação tecnológica, associada às condições climáticas locais na produtividade de milho;

3) A análise de regressão múltipla, feita para cada localidade, indicou que a tendência tecnológica e as variáveis agroclimáticas explicaram 75 a 92% da variação de produtividade nessas localidades. O modelo geral obtido também por análise de regressão múltipla, utilizando os dados combinados de todas as localidades estudadas, mostrou que a tendência tecnológica e as variáveis agroclimáticas decendiais responderam por 96% da variação anual da produtividade de milho;

4) O teste dos modelos com dados independentes apresentou resultados satisfatórios para a maioria das localidades. Cerca de 60% dos anos testados apresentaram erros menores que 20% , e que em aproximadamente 3/4 desses anos os erros foram inferiores a 10%;

5) Os modelos propostos permitiram que produtividade do milho fosse estimada com uma antecipação de aproximadamente dois meses da colheita; e

6) Constatou-se que o índice "I" das necessidades hídricas não teve a utilidade esperada na estimativa da produtividade da cultura de milho em Minas Gerais.

BIBLIOGRAFIA

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1- ANDRADE, C. T. Balanco de água em um latossolo vermelho escuro álico, cultivado com milho (Zea mays L.) sob irrigação por aspersão. Viçosa, UFV, 1987. 84p. (Tese M.S).
- 2- AVELAR, B. C. Fatores climáticos. In:EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultura do milho. Brasília, 1983. p.3-5.
- 3- BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. Agric. Meteorol., 20(2):137-45, 1979.
- 4- BAIER, W. Crop - weather analysis model, 1 Summary. Int. J. Biometeorol., 17(4):313 -20, 1973.
- 5- BARBOSA, J. V. A. Fisiologia do milho. In:EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultura do Milho. Brasília, 1983. p.7-12.
- 6- BAUDER, J.W. & RANDAL, G.W. Regression models for predicting corn yields from climatic data and management practice. Soil Sci. Soc. Am. J., 46(1):158-61, 1982.
- 7- CAL, J.P. & OBENDORF, R.L. Differential growth of corn (Zea Mays L.) hybrids seeded at cold roct zone temperature. Crop Sci., 12(5): 572-75, 1972.
- 8- CELASCHI, W. & ALMEIDA, F. C. Um modelo para estimar produtividade do milho no Estado de São Paulo. In:CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, Pelotas, 1981. ANAIS... Pelotas, 1981. p.
- 9- CHEN, S. C. & FONSECA, L. B. de. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. Agric. Meteorol., 22(3-4):341-49, 1980.

- 10- COLIGADO, M. C. & BROWN, D. M. Response of corn (*Zea Mays* L.) in the pre-tassel initiation period to temperature and photoperiod. Agric. Meteorol., 14:357-67, 1975.
- 11- DENMEAD, D. T. & SHAW, R. H. The effects of soil moisture stress at different stage of growth on the development and yield of corn. Agron. J., 52(1):272-4, 1960.
- 12- DE WIT, C. T.; BROUWER, R. ; PENNING de VRIES, F.W.T. A dynamic model of plant crop growth. In: WAREING P.P. & COOPER, J. R. eds. Potential crop production, a case study. London, Heinemann Educational Books, 1977. p.117-42.
- 13- DOORENBOS, J. & KASSAN, A. H.. Yield response to water. Roma, FAO, 1979. 193 p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper,33).
- 14- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Ensaio nacional de milho normal. Sete Lagoas, 1974 - 1986.
- 15- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1979-1980. Sete Lagoas, 1981. 207p..
- 16- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Milho: Programa nacional de pesquisa. Brasília, 1981. 50p..
- 17- ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em latossolo da região dos cerrados. Pesq. Agropec. Bras., 15:69-78,1980.
- 18- FAO Productions Yearbook. Roma, 1988. v.41 (FAO statistics series, 82).
- 19- FERREIRA, A.; Fernandes, F. T. & Leite, L. Cultura do Milho - Estado de Minas Gerais. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Doenças do milho. Brasília, 1983. p.167-74.
- 20- FRÈRE, M. & POPOV, G. F. Pronóstico de cosechas basados en datos agrometeorológicos. Roma, FAO, 1980. 68p. (Estudio FAO: Produccion y Proteccion Vegetal, 17).
- 21- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuário estatístico do Brasil, Rio de Janeiro, 1987.
- 22- HAUN, J. R. Prediction of spring wheat yields from temperature and precipitation data. Agron. J., 66(3):405-9, 1974.
- 23- HOLT, D. A.; BULA, R. J.; MILES, G. E.; SCHREIBER, M. M. PEART, R. M.. Environmental physiology modelling and simulations of alfalfa growth: 1 - Conceptual development of SIMED. West Lafayette, Purdue Agric. Exp. Sta. Res, 1975. (Bulletin, 907).

- 24- JONHSON, W. L. Some effects of excess water in soil upon the growth and development of maize. (PhD. theses). University of Illinois, Urbana, Illinois, 1953.
- 25- JUNQUEIRA, A. A. Efeitos de precipitação pluviométrica e da modificação tecnológica sobre a produtividade física de quatro culturas na região de Riberão Preto, 1947 a 1967. Jaboticabal, Faculdade de Medicina, Veterinária e Agronomia, 1973. 43 p..
- 26- LEMEURE, R. & BLAD, B.L. A critical review of light models of estimating the shortwave radiation of plant canopies. Agric. Meteorol., 14:255-86, 1974.
- 27- MARIANATO, R. Irrigação em milho. Inf. Agropec., 6(72): 42-5, 1980.
- 28- MARTIN, J. H.; LEONARD, W. H.; STAMP, D. L.. Principles of Field Crop Production. 1980. 327 p..
- 29- MATZENAUER, R. & MALUF, J. R. T.. Evapotranspiração do milho em duas épocas de semeadura-1985/86. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 31, Porto Alegre, 1986. ATA... Porto Alegre, IPAGRO/EMATER, 1986. 236 p..
- 30- MATZENAUER, R. & SUTILI, V. R.. Evapotranspiração do Milho em duas épocas de semeadura-1984/85. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 30, Porto Alegre, 1985. ATA... Porto Alegre, IPAGRO/EMATER, 1985. 380 p..
- 31- MATZENAUER, R. & WESTPHALEN, S. Efeito de períodos de irrigação sobre o rendimento e desenvolvimento do milho em diferentes épocas de semeadura-1984/85. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 30, Porto Alegre, 1985. ATA... Porto Alegre, IPAGRO/EMATER, 1985. 380 p..
- 32- MOTA, F. S. Weather - technology models for corn and soybeans in the south of Brazil. Agric. Meteorol., 28(1):49-64, 1983.
- 33- MOURA, P. A. & OLIVEIRA, A. C. S. de. Aspectos econômicos da cultura do milho. Inf. Agropec., 6(72):3-6, 1980.
- 34- NIX, H.A & FITZPATRICK, E. A. An index of crop water stress related to wheat and grain sorghum yield. Agric. Meteorol., 6(5):321-37, 1969.
- 35- OBENDORF, R. L. Factors associated with early germination in corn under cool condition. In: ANNUAL CORN & SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, Ithaca, 1972. New York, Cornell University, 1972. 139p..
- 36- PASCALE, A. J. Mapa fenológico del maíz en la República Argentina. Meteoros, 3(4):384-94, 1953.

- 37- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SAUNDERS, L.C.; CADIMA, Z. Dinâmica da água no solo cultivado com milho. Rev. Bras. Ci. Solo, 3(1):1-5, 1979.
- 38- ROBERTSON, G. W. World weather watch and wheat. WMO Bulletin, 23(3):149-154, 1974.
- 39- ROBINS, J. & DOMINGO, C. E. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stage of corn. Agron. J., 45(12):618-21, 1953.
- 40- RUNGE, E. C. & ODELL, R.T. The relation between precipitation, temperature and the yield of corn on the agronomy south farm, Urbana, Illinois. Agron. J., 50(7):449-54, 1958.
- 41- SÁ, L. D. & ALMEIDA, F. C. de. Variáveis derivadas na estimativa da produtividade agrícola. São José dos Campos, INPE, 8p. 1984 (INPE - 3372 - Pre/647).
- 42- SHAW, R. H. A weighted moisture - stress index for corn in Iowa. Iowa State J. Res., 49(2):101-14, 1974.
- 43- SHAWCROFT, R. W.; LEMON, E. R.; ALLEN, L. H.; STEWART, D. W.; JENSEN, S. E. The soil-plant-atmosphere model and some of its predictions. Agric. Meteorol., 14(1-2):287-307, 1974.
- 44- STEWART, J. I; MISRA, R. D; PRUITT, W. O. & HAGAN, R. M. Irrigating corn and grain sorghum with a deficient water supply. Transac. ASAE, 18:270-80, 1975.
- 45- THOMPSON, L. M.. Weather and technology in the production of corn in the U.S. Corn Belt. Agron. J., 61(3):453-6, 1969.
- 46- THOMPSON, L. M.. Weather and technology in the production of soybeans in the central United States. Agron. J., 62(2):232-6, 1970.
- 47- VIANA, A. C et alii. Cultura do Milho - Estado de Minas Gerais. In:EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultura do Milho. Brasília, 1983. p.269-302.
- 48- WADSTED, O.G. O Clima e a economia; análise de algumas culturas no Estado de São Paulo. Rev. Bras. Econ., 37(2):225-44, 1983.
- 49- WANG, J.. Agricultural Meteorology. Milwaukee, Pacemaker Press, 1963. 693 p..
- 50- WILLIAMS, G. D. V.; JOYNT, M. I.; McCORMICK, P. A. Regression analysis of canadian prairie crop district cereal yield, 1961-1972, in relation to weather, soil and trend. Can. J. Soil. Sci., 55:43-53, 1975.