

CONDIÇÕES DO TEMPO E PRODUTIVIDADE TOTAL DE FATORES NA AGRICULTURA PAULISTA, 1962-2002¹

José R. Vicente²

Renata Martins³

1 - INTRODUÇÃO

Os ciclos biológicos das lavouras condicionam o processo produtivo agrícola e são fortemente influenciados pelas variações do tempo. Dessa maneira, no planejamento agrícola devem ser considerados os riscos e as incertezas decorrentes de tal condicionante.

Condições de tempo favoráveis podem, por um lado, proporcionar um incremento no volume e na qualidade das safras, mas, por outro, condições desfavoráveis podem influenciar na oferta de produtos e comprometer a economia como um todo (SILVA; VICENTE; CASER, 1986).

Nesse sentido, o conhecimento dos impactos das condições do tempo sobre a produção agrícola, isolando seus efeitos dos de outros determinantes da produtividade, pode colaborar na obtenção de estimativas confiáveis sobre o volume de produção agrícola e subsidiar decisões e políticas públicas que visem amenizar as consequências econômicas de fenômenos climáticos.

Pela importância do problema, considerável esforço de pesquisa vem sendo dirigido a esse tema; há décadas, no Instituto de Economia Agrícola (IEA), diversos estudos foram conduzidos com o objetivo de contribuir para um melhor entendimento dos efeitos das condições de tempo sobre a agricultura. Silva; Caser; Vicente (1985) mensuraram o efeito das condições do tempo sobre a produtividade de culturas perenes e anuais do Estado de São Paulo, estimando as relações entre deficiência hídrica, geada e produtividade da terra, para o pe-

ríodo de 1956 a 1983. Os resultados indicaram grande sensibilidade das lavouras à deficiência de água. Silva; Vicente; Caser (1986) estimaram modelos para previsão de rendimentos das principais culturas do Estado de São Paulo, utilizando como variáveis explicativas deficiência hídrica e geada.

Vicente; Caser; Silva (1988) estimaram perdas de produção devidas às adversidades climáticas, no período de 1958 a 1987, para importantes culturas do Estado de São Paulo, e analisaram os efeitos de decisões governamentais motivadas por algumas dessas ocorrências. Vicente (1994) utilizou métodos multivariados e variáveis climáticas para modelar os rendimentos do milho no período de 1958 a 1988.

Para permanecerem relevantes, essas análises têm que ser refeitas periodicamente, não apenas incorporando variáveis mais acuradas e métodos de estimação mais adequados, mas também devido às características do objeto de estudo: novas variedades, mais produtivas, exigem maior disponibilidade de água; lavouras diferentes apresentam sensibilidade distinta a eventos climáticos adversos e, portanto, mudanças na composição da área cultivada alteram o impacto dessas ocorrências; e eventuais alterações nas temperaturas ou nas precipitações pluviométricas podem refletir-se em mudanças nos níveis de deficiência hídrica das regiões.

O objetivo deste estudo é mensurar a influência das condições do tempo sobre a produtividade agrícola agregada do Estado de São Paulo para o período de 1962 a 2002. Adicionalmente, pretende-se verificar a ocorrência de alterações nos padrões de deficiência hídrica nesse período, e estimar as perdas de safras motivadas por adversidades climáticas.

2 - METODOLOGIA

Para representar a produtividade agrícola (variável dependente) foram utilizados índices de produtividade total de fatores (PTF), teori-

¹Uma versão preliminar foi apresentada em palestra durante o Fórum Permanente de Agronegócios - Mudanças Climáticas, promovido pela UNICAMP, e realizado em Campinas (SP), em 28 de abril de 2005. Os autores agradecem a colaboração de Orivaldo Brunini e Marcelo Bento Paes de Camargo. Registrado no CCTC, IE-22/2006.

²Engenheiro Agrônomo, Doutor, Assistente Técnico de Direção no Gabinete do Coordenador da APTA (e-mail: jvicente@sp.gov.br).

³Administradora de Empresas, Pesquisadora Científica do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: renata@iea.sp.gov.br).

camente superiores a medidas parciais de produtividade⁴, calculados através das fórmulas superlativas de Fisher ou de Törnqvist, que se caracterizam por se aproximar entre si até a segunda ordem, o que limita a amplitude das variações medidas (DIEWERT, 1976)⁵. As fontes desses índices foram os seguintes trabalhos: Silva (1984), para os anos anteriores a 1980, que utilizou a fórmula de Fisher; Araújo et al. (2002), para o período 1980 a 1995, que empregaram a fórmula de Törnqvist; e, Vicente e Martins (2004), de 1995 em diante, que utilizaram a fórmula de Fisher.

As variáveis explicativas escolhidas para representar as condições do tempo foram deficiência hídrica e geada. A deficiência hídrica é definida como a diferença entre as evapotranspirações real e potencial. A evapotranspiração potencial representa a quantidade de água necessária para fazer frente à evaporação do solo e à transpiração das plantas, e é determinada pela temperatura e pelo comprimento do dia, que varia com a latitude. A evapotranspiração real representa a quantidade de água efetivamente evaporada pelo solo e transpirada pelas plantas, e é condicionada pela precipitação pluviométrica e pela água armazenada no solo. As deficiências hídricas foram calculadas através de balanços hídricos seqüenciais, conforme o roteiro existente em Ortolani et al. (1970) assumindo-se um nível de armazenamento pelo solo de 50mm, que propiciou os melhores resultados no estudo de Silva; Vicente; Caser (1986).

Foram utilizados dados de 16 postos meteorológicos representativos dos Pólos Regionais de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios (PRDTAs) - divisões regionais da Agência Paulista de Desenvolvimento dos Agronegócios (APTA) - gentilmente cedidos pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO) do Instituto Agrônomo (IAC) (Figura 1). As deficiências hídricas mensais foram agregadas em cinco subperíodos - setembro a abril, outubro a abril, outubro a março, outubro a fevereiro e novembro a fevereiro - e um dado único para o Estado de São Paulo foi obtido ponderando-se as informações de cada Pólo Regional por sua participação no valor da produção estadual.

Geadas fortes e moderadas, capazes de reduzir sensivelmente a produtividade, espe-

cialmente de lavouras suscetíveis como o café, foram inseridas nos modelos por meio de variável binária, que assumiu valor 1 em anos imediatamente posteriores ao da ocorrência do fenômeno, e zero nos demais.

Fatores não explicitamente considerados, e capazes de influenciar a PTF, como tecnologia e eficiência, foram representados por meio de tendência temporal. Como a PTF é não-estacionária (Figura 2), a tendência temporal foi desagregada em variáveis associadas às décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990, capazes de permitir diferenças de intercepto (variável binária associada a cada década) e de inclinação (produto dessa variável binária pelo tempo, representado pelos dígitos do ano)⁶ nas diferentes décadas. Esse procedimento foi adotado procurando tornar a tendência determinística e os resíduos dos modelos estacionários $[I_{(0)}]$, o que permite obter estimativas consistentes com as variáveis em nível (MATOS, 2000)⁷.

Para comparar os resultados dos diferentes modelos, além dos critérios estatísticos usuais, foi utilizado o coeficiente de desigualdade (U_2) de Theil (1966), um indicador da acurácia das variações previstas entre períodos:

$$U_2 = \sqrt{\frac{\sum_t (\Delta P_t - \Delta A_t)^2}{\sum_t \Delta A_t^2}}$$

$$\Delta P_t = \frac{P_t - A_{t-1}}{A_{t-1}} = \text{Variação prevista}$$

$$\Delta A_t = \frac{A_t - A_{t-1}}{A_{t-1}} = \text{Variação realizada}$$

Onde P_t é o valor previsto, A_t é o valor observado, e t é o período de tempo.

A interpretação de U_2 é simples: se for igual a zero, as variações previstas são iguais às observadas (previsões perfeitas); quanto maior o valor de U_2 , pior o procedimento de previsão. Se $U_2=1$, o procedimento de previsão envolve o mesmo erro quadrático médio de um procedimento ingênuo, o de não prever variações.

Para ilustrar a aderência das previsões dos modelos, empregou-se o diagrama de previsão-realização de Theil (1966): um sistema de

⁴A esse respeito ver, por exemplo, Alves (1979), Silva (1984) e Vicente (2002).

⁵Essa característica foi verificada empiricamente, com dados do Estado de São Paulo, por Silva; Carmo (1986).

⁶Detalhes em Hoffmann; Vieira (1977).

⁷Não se cogitou trabalhar com variáveis estacionárias nas diferenças, porque isso tornaria inviável efetuar as simulações de perdas de valor da produção que serão descritas em seguida.

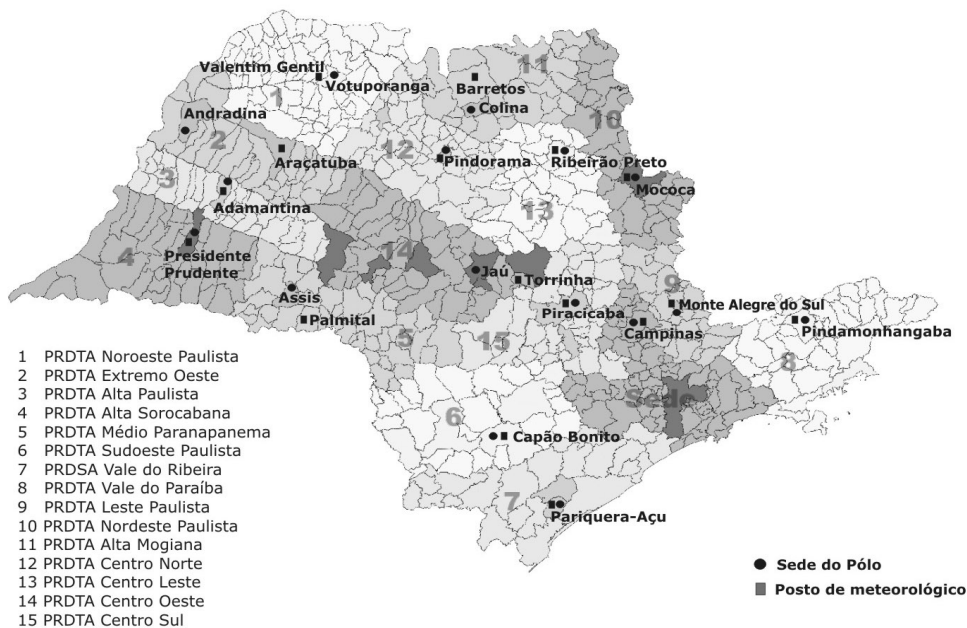


Figura 1 - Postos Representativos dos Pólos Regionais de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios (PRDTA).
 Fonte: Elaborada pelos autores.

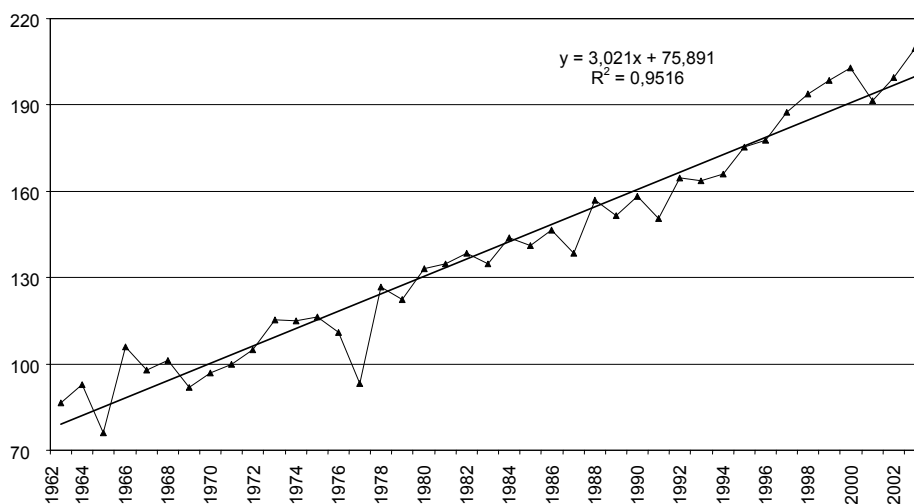


Figura 2 - Evolução da Produtividade Total de Fatores, Estado de São Paulo, 1962 a 2002.
 Fonte: Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

eixos cartesianos em que cada ponto representa um par de variações, uma prevista e outra realizada. Os pontos da bissetriz dos quadrantes de mesmo sinal correspondem a previsões perfeitas. Erros por superestimação, subestimação e mudança de sentido podem ser visualizados pela posição dos pontos no diagrama.

Após o ajuste dos modelos, foram estimados os níveis de PTF que seriam atingidos sem as adversidades climáticas - igualando-se as

deficiências hídricas a zero - conforme sugerido em Vicente; Caser; Silva (1988)⁸. Para evitar superestimação dos efeitos das condições do tempo, as perdas foram consideradas como o menor valor entre: as diferenças das estimativas

⁸Ressalte-se que aqueles autores efetuaram essas simulações individualmente para as principais culturas de São Paulo, e utilizaram uma medida de produtividade parcial (produtividade da terra); neste estudo, as simulações referem-se à PTF e ao setor de lavouras.

dos modelos sem adversidades climáticas e a PTF observada; e as diferenças das estimativas dos modelos sem adversidades climáticas e a PTF estimada pelo modelo original (com adversidades climáticas). Formalmente.

$$Perda = \min[(EPTF - PTF); (EPTF - PPTF)]$$

onde:

EPTF = produtividade total de fatores estimada pelo modelo sem adversidades climáticas;

PTF = produtividade total de fatores observada; e

PPTF = produtividade total de fatores estimada pelo modelo com as deficiências hídricas efetivamente ocorridas.

Para simular os valores das perdas, foi calculado quanto cada ponto percentual a menos na *PTF* representava em termos de valor da produção das lavouras.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das deficiências hídricas mensais de cada um dos 16 postos de informações representativos dos Pólos Regionais, foram calculadas médias quinqüenais centradas⁹, acumuladas para os subperíodos setembro a abril, outubro a abril, outubro a março, outubro a fevereiro e novembro a fevereiro, no período de 1964 a 2002. Posteriormente, por meio de regressões simples, testou-se a existência de tendência estatisticamente significativa em cada um dos 16 postos e subperíodos.

Os PRDTAs localizados na região oeste do Estado¹⁰ (Nordeste Paulista, Extremo Oeste, Alta Paulista e Alta Sorocabana) apresentaram sempre coeficientes positivos e significativos - pelo menos a 5% de probabilidade - para a tendência, indicativos de aumento de deficiências hídricas no período (Tabela 1).

Resultado semelhante foi obtido para

⁹Esse procedimento foi empregado para diminuir a variância e realçar o movimento da tendência (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

¹⁰A divisão regional adotada para os PRDTAs neste estudo foi a seguinte: região Central - Centro Leste, Centro Norte, Centro Oeste e Centro Sul; região Norte - Alta Mogiana e Nordeste Paulista; região Oeste - Alta Paulista, Noroeste Paulista, Extremo Oeste e Alta Sorocabana; região Sul - Sudoeste Paulista, Médio Paranapanema e Vale do Ribeira; e região Leste - Vale do Paraíba, Leste Paulista e Sede.

os Pólos Regionais da região Norte (Nordeste Paulista e Alta Mogiana), exceto para o subperíodo novembro-fevereiro, com dados do posto meteorológico de Mococa (Nordeste Paulista).

Na região Central do Estado, os PRDTAs do Centro Leste, Centro Sul e Centro Norte também exibiram tendências positivas e significativas a pelo menos 5%, exceto para este último Pólo, no subperíodo novembro a fevereiro. Já o Pólo do Centro Sul, embora sempre com o sinal positivo, apresentou significância a 5% para dois subperíodos (outubro-abril e outubro-fevereiro), a 10% para mais dois subperíodos (setembro-abril e outubro-março), e tendência não significativa para o subperíodo novembro-fevereiro.

O Pólo do Leste Paulista e a Sede APTA apresentaram alguma evidência de aumento de deficiência hídrica (dois subperíodos positivos e significativos a 10%; no primeiro caso, um dos subperíodos foi negativo e significativo a 10%); o outro PRDTA da região Leste (Vale do Paraíba), pelo contrário, mostrou tendências negativas, duas delas significativas a 5% (outubro-abril e novembro-fevereiro), indicativas de diminuição nos níveis de deficiência hídrica no período 1964 a 2002.

Na região Sul, os Pólos do Sudoeste Paulista e do Vale do Ribeira também mostraram tendências negativas e significativas a pelo menos 10% de probabilidade, enquanto que o PRDTA do Médio Paranapanema exibiu tendências não significativas, exceto para o subperíodo outubro-fevereiro, que apareceu como positivo e significativo a 10%.

A partir do cálculo de médias das deficiências hídricas das regiões, para os cinco subperíodos, observou-se comportamento similar para todos os agregados de meses. No mais abrangente, de setembro a abril, é possível resumir os resultados discutidos anteriormente para os Pólos Regionais: tendência positiva e significativa nos PRDTAs das regiões Oeste ($R^2 = 0,42$, sig. a 1%), Norte ($R^2 = 0,39$, sig. a 1%) e Central ($R^2 = 0,52$, sig. a 1%), e negativa e significativa nos PRDTAs das regiões Leste ($R^2 = 0,15$, sig. a 5%) e Sul ($R^2 = 0,23$, sig. a 1%) (Figura 3).

Representando-se as condições a que esteve sujeita a agricultura do Estado de São Paulo pela média quinqüenal centrada - calculada a partir das deficiências hídricas mensais dos PRDTAs, ponderada pelas respectivas participações no valor da produção estadual - constata-se

TABELA 1 - Resultados do Ajuste de Tendência às Deficiências Hídricas de Diversos Períodos, Estado de São Paulo

Período da def. hídrica	Sede do Pólo/Posto de Informações (PRDTA)							
	Votuporanga/Valentim Gentil - Noroeste Paulista				Andradina/Araçatuba - Extremo Oeste			
	Intercepto	Ano	R2	Valor P	Intercepto	Ano	R2	Valor P
Set.-abr.	-760,69	0,389	0,665	7,6E-09	-504,23	0,262	0,235	0,001745
Out.-abr.	-710,01	0,362	0,531	1,52E-06	-670,87	0,344	0,366	4,47E-05
Out.-mar.	-490,23	0,251	0,457	2,34E-06	-710,91	0,364	0,451	2,91E-06
Out.-fev.	-652,78	0,334	0,539	1,05E-07	-623,34	0,320	0,357	5,98E-05
Nov.-fev.	-190,16	0,099	0,104	0,045539	-391,87	0,201	0,178	0,007377
	Adamantina - Alta Paulista				Presidente Prudente - Alta Sorocabana			
Set.-abr.	-787,59	0,405	0,426	6,77E-06	-572,47	0,295	0,542	9,16E-08
Out.-abr.	-995,24	0,509	0,530	1,51E-07	-632,81	0,324	0,589	1,2E-08
Out.-mar.	-1.125,18	0,574	0,657	4,11E-10	-601,60	0,308	0,639	1,05E-09
Out.-fev.	-1.291,38	0,658	0,668	2,18E-10	-474,28	0,244	0,558	4,73E-08
Nov.-fev.	-850,75	0,434	0,435	5,02E-06	-249,37	0,130	0,213	0,003095
	Mococa-Nordeste Paulista				Barretos/Colina - Alta Mogiana			
Set.-abr.	-380,21	0,195	0,345	8,57E-05	-529,00	0,274	0,355	6,28E-05
Out.-abr.	-322,30	0,164	0,284	0,000472	-602,88	0,309	0,423	7,34E-06
Out.-mar.	-259,52	0,132	0,321	0,00017	-590,25	0,302	0,524	1,88E-07
Out.-fev.	-276,69	0,141	0,337	0,000106	-719,00	0,367	0,591	1,1E-08
Nov.-fev.	-31,50	0,017	0,049	0,174641	-307,77	0,157	0,165	0,010289
	Jau/Torrinha - Centro-Oeste				Pindorama - Centro Norte			
Set.-abr.	-276,06	0,142	0,358	5,73E-05	-326,44	0,169	0,265	0,000783
Out.-abr.	-325,55	0,166	0,362	4,97E-05	-399,05	0,204	0,436	4,68E-06
Out.-mar.	-277,41	0,141	0,476	1,17E-06	-347,82	0,178	0,514	2,77E-07
Out.-fev.	-340,62	0,173	0,508	3,52E-07	-315,35	0,162	0,389	2,16E-05
Nov.-fev.	-123,88	0,063	0,156	0,012556	-0,4221	0,002	0,000	0,94315
	Ribeirão Preto - Centro Leste				Piracicaba - Centro Sul			
Set.-abr.	-359,80	0,186	0,550	6,58E-08	-98,41	0,053	0,074	0,09337
Out.-abr.	-404,84	0,207	0,599	7,3E-09	-169,76	0,088	0,136	0,020761
Out.-mar.	-396,14	0,202	0,666	2,42E-10	-161,72	0,084	0,092	0,059139
Out.-fev.	-498,20	0,253	0,648	6,32E-10	-218,95	0,113	0,114	0,034841
Nov.-fev.	-150,88	0,077	0,284	0,000467	-46,65	0,025	0,013	0,481752
	Monte Alegre - Leste Paulista				Campinas - Sede			
Set.-abr.	73,56	-0,035	0,095	0,056159	-18,07	0,013	0,005	0,663958
Out.-abr.	-24,49	0,013	0,017	0,418797	-96,98	0,052	0,068	0,106985
Out.-mar.	-49,00	0,025	0,081	0,078434	-62,21	0,034	0,034	0,257585
Out.-fev.	-92,45	0,047	0,226	0,002213	-170,37	0,088	0,140	0,018529
Nov.-fev.	-12,11	0,006	0,020	0,390242	157,97	-0,077	0,129	0,024365
	Pindamonhagaba - Vale do Paraíba				Assis/Palmital - Médio Paranapanema			
Set.-abr.	265,67	-0,131	0,403	1,42E-05	14,56	-0,003	0,000	0,936993
Out.-abr.	128,11	-0,062	0,123	0,028337	-91,92	0,049	0,029	0,297917
Out.-mar.	71,48	-0,034	0,027	0,313312	-101,20	0,054	0,063	0,120711
Out.-fev.	69,31	-0,033	0,019	0,391683	-124,12	0,065	0,089	0,064632
Nov.-fev.	127,55	-0,063	0,202	0,004074	-16,56	0,010	0,003	0,706843
	Capão Bonito - Sudoeste Paulista				Pariquera-Açu - Vale do Ribeira			
Set.-abr.	454,76	-0,226	0,313	0,00021	177,12	-0,086	0,138	0,019563
Out.-abr.	435,67	-0,216	0,270	0,000689	164,83	-0,080	0,098	0,051293
Out.-mar.	515,04	-0,256	0,297	0,000331	198,45	-0,097	0,098	0,051361
Out.-fev.	618,91	-0,308	0,329	0,000132	210,75	-0,102	0,077	0,086694
Nov.-fev.	580,87	-0,289	0,353	6,62E-05	250,90	-0,122	0,097	0,053137

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados do Instituto Agrônômico.

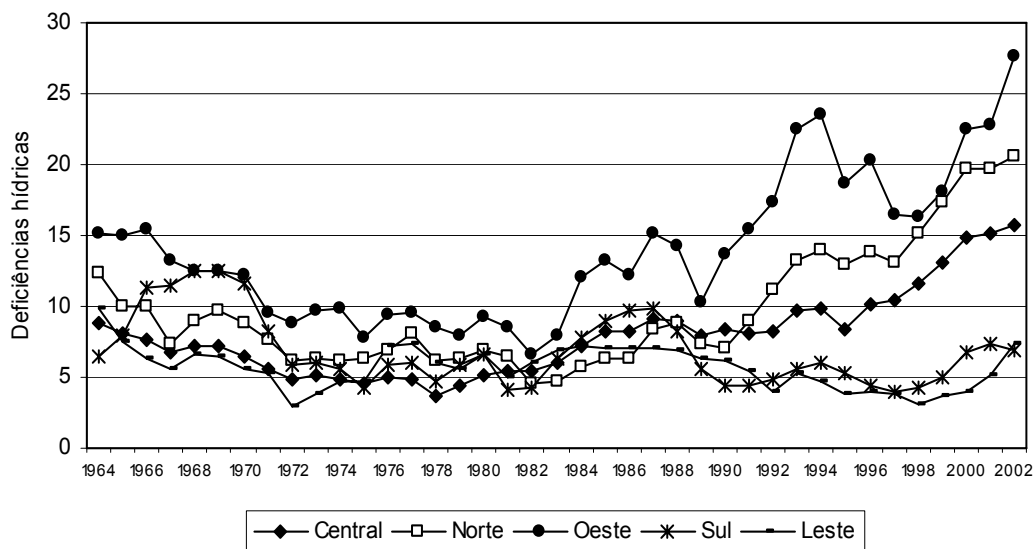


Figura 3 - Deficiências Hídricas Médias nas Regiões¹, Período Setembro-Abril, Estado de São Paulo, 1964-2002.

¹Conjunto de PRDTAs - Central: Centro Leste; Centro Norte; Centro Oeste e Centro-Sul. Norte: Alta Mogiana e Nordeste Paulista. Oeste: Alta Paulista; Noroeste Paulista; Extremo Oeste e Alta Sorocabana. Sul: Sudoeste Paulista; Médio Parana-panema e Vale do Ribeira. Leste: Vale do Paraíba, Leste Paulista e Sede.

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados do Instituto Agrônomo.

um nítido movimento ascendente, com tendências sempre positivas e significativas a 1% de probabilidade, para os subperíodos setembro-abril ($R^2 = 0,31$), outubro-abril ($R^2 = 0,40$), outubro-março ($R^2 = 0,55$) e outubro-fevereiro ($R^2 = 0,54$) (Figura 4)¹¹. Portanto, em média, as lavouras do Estado de São Paulo experimentaram níveis crescentes de deficiências hídricas no período 1964-2002.

3.1 - Efeitos das Condições do Tempo sobre a PTF

Nos modelos ajustados, os coeficientes estimados para as variáveis representativas da deficiência hídrica sempre apareceram com os sinais negativos esperados e significativos: os dos períodos iniciados em setembro e outubro a 5% de probabilidade, e os dos subperíodos iniciados em novembro, a 10%. A variável binária representativa da ocorrência de geada no ano anterior também sempre foi negativa e significativa a 5% (Tabela 2).

¹¹Mesmo os subperíodos novembro-março e novembro-fevereiro, que apresentam resultados menos conclusivos, sugerem tendência positiva e significativa ($R^2 = 0,15$, sig. a 5%, e $R^2 = 0,09$, sig. a 10%, respectivamente).

Entre as variáveis representativas da tendência, tanto as associadas ao intercepto (D60, D70, D80 e D90), quanto às associadas à inclinação (DT60, DT70, DT80 e DT90) exibiram significância estatística: as representativas da década de 1960 a 10%; as demais, a 1%.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos modelos ficaram entre 0,93 e 0,94, e nenhum valor calculado da estatística de Durbin-Watson foi significativo a 10%, indicando ausência de autocorrelação de primeira ordem.

De acordo com o coeficiente de desigualdade (U2) de Theil, as melhores previsões de PTF foram as fornecidas pelos modelos com deficiências hídricas dos subperíodos setembro-abril ($U2=0,442$) e outubro-abril ($U2=0,455$), e as piores as dos modelos com dados dos subperíodos outubro-fevereiro ($U2=0,480$) e novembro-fevereiro ($U2=0,473$).

O diagrama de previsão-realização, em que foram plotados somente os pontos do melhor e do pior modelos, mostra, nos dois casos, a grande maioria dos pontos muito próximos da linha de previsão perfeita, e poucos deles no segundo e no quarto quadrantes, que representam os piores resultados dos modelos (mudança de sentido, ou seja, a PTF variou no sentido inverso ao da estimativa). Como os valores de U2 de todos os modelos são baixos e aproximados,

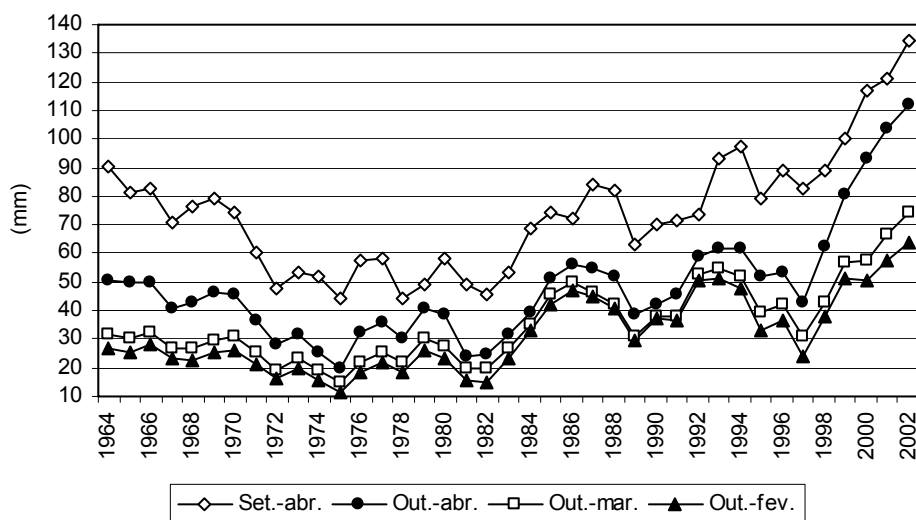


Figura 4 - Deficiências¹ Hídricas Acumuladas, Estado de São Paulo, 1964-2002.

¹Médias ponderadas quinquenais centradas.

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados do Instituto Agrônômico.

TABELA 2 - Principais Resultados dos Modelos Explicativos da PTF, Estado de São Paulo, 1962-2002

Variável	Período de deficiência hídrica (DH)/nível de significância					
	Set.-abr.	Valor P	Out.-abr.	Valor P	Out.-mar.	Valor P
DH	-0,079	0,013	-0,101	0,011	-0,100	0,034
Geadas	-5,593	0,029	-7,1650	0,005	-6,971	0,008
D60	-2.449,190	0,097	-2.811,920	0,052	-3.089,540	0,038
D70	-6.269,290	0,000	-6.731,790	0,000	-6.658,970	0,000
D80	-4.763,790	0,002	-5.007,260	0,001	-4.981,380	0,002
D90	-9.192,000	0,000	-9.683,430	0,000	-8.645,070	0,000
DT60	1,299	0,084	1,483	0,045	1,623	0,033
DT70	3,237	0,000	3,471	0,000	3,434	0,000
DT80	2,478	0,001	2,600	0,001	2,586	0,001
DT90	4,704	0,000	4,950	0,000	4,429	0,000
R ²	0,938	0,000	0,938	0,000	0,936	0,000
DW	2,200	0,686	2,025	0,870	2,015	0,874
U2	0,442	-	0,455	-	0,472	-

Variável	Período de deficiência hídrica (DH)/nível de significância					
	Out.-fev.	Valor P	Nov.-mar.	Valor P	Nov.-fev.	Valor P
DH	-0,095	0,042	-0,173	0,064	-0,185	0,062
Geadas	-7,001	0,008	-8,235	0,003	-8,372	0,003
D60	-3.129,540	0,037	-3.548,860	0,020	-3.612,400	0,019
D70	-6.589,940	0,000	-6.368,030	0,000	-6.268,060	0,000
D80	-5.013,690	0,002	-4.741,110	0,003	-4.842,340	0,003
D90	-8.496,590	0,000	-7.934,860	0,000	-7.588,410	0,000
DT60	1,643	0,032	1,857	0,017	1,889	0,016
DT70	3,399	0,000	3,287	0,000	3,236	0,000
DT80	2,603	0,001	2,465	0,002	2,516	0,002
DT90	4,354	0,000	4,073	0,000	3,899	0,000
R ²	0,936	0,000	0,935	0,000	0,935	0,000
DW	1,998	0,115	2,226	0,654	2,198	0,688
U2	0,480	-	0,466	-	0,473	-

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônômico; Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

o diagrama de previsão-realização permite visualizar essa indicação de previsões aderentes à linha de previsão perfeita e com pouca dispersão (Figura 5).

Pelos testes de raiz unitária do tipo Dickey-Fuller Aumentado (MARGARIDO e ANEFALOS, 1999), aplicados aos resíduos dos modelos ajustados, rejeitam-se as hipóteses de existência de raiz unitária; portanto, pode-se considerar que a introdução das variáveis representativas da tendência, na tentativa de torná-la determinística, foi bem-sucedida (Tabela 3). Como os resíduos são estacionários, é improvável que inexistam relação estável de longo prazo entre a PTF e as variáveis explicativas utilizadas.

Analisando-se as médias e os máximos dos índices de PTF e das deficiências hídricas, verifica-se que os maiores valores dizem respeito à década de 1990, à qual foram agregados os anos de 2001 e 2002. Isso reforça a evidência encontrada anteriormente com o ajuste de tendências, de que, em média, a agricultura paulista vem enfrentando níveis crescentes de adversidades climáticas, representadas pelas deficiências hídricas (Tabela 4).

Calculando-se os valores das elasticidades nos pontos médios, do índice de PTF em relação às deficiências hídricas, de acordo com os resultados dos diferentes modelos, foram encontrados valores entre -0,021 e -0,043 para a série 1962-2002 (Tabela 5). Repetindo-se esse procedimento para as quatro décadas cobertas pelo estudo, verifica-se que os maiores valores dessas elasticidades estavam na década de 1960 (entre -0,026 e -0,070), seguida pela década de 1990 (entre -0,023 e -0,043); essas duas décadas apresentaram, respectivamente, o menor e o maior valores médios de PTF.

Com as elasticidades calculadas, procurou-se em seguida estimar o percentual de perdas de produtividade - representada pelo índice de PTF - que níveis de deficiência hídrica iguais aos máximos observados, no período 1962-2002 e nos quatro subperíodos, poderiam ocasionar (Tabela 6). As maiores perdas potenciais encontraram-se nas décadas de 1960 (de 6,0% a 14,22%) e de 1990 (de 5,2% a 7,9%); ressalte-se, novamente, que os níveis de PTF dessa última década eram cerca de duas vezes maiores do que os da primeira. Esse resultado indica que o potencial de prejuízos à agricultura paulista, tendo como causa deficiências hídricas severas, continua sendo muito elevado.

Com os resultados das simulações efetuadas excluindo-se os efeitos das deficiências hídricas (assumindo-se $DH=0$), obtidos através dos modelos ajustados, percebe-se que as maiores quedas nos índices de PTF (em pontos percentuais) verificaram-se na década de 1990 (Tabela 7). Os três primeiros modelos, cujas variáveis representativas das deficiências hídricas cobriram os maiores períodos mensais (setembro-abril, outubro-abril e outubro-março), não apontaram sequer um ano da década de 1990 sem perdas de PTF devido a esse fator. Também, em média, as perdas estimadas para a década de 1990 foram as maiores de todos os subperíodos analisados.

A partir das simulações de PTF fornecidas pelos modelos, expurgados dos efeitos das deficiências hídricas, conjugadas aos dados de valor da produção publicados pelo IEA, efetuaram-se estimativas do valor das perdas de safras paulistas para o período 1970-2002¹². Obviamente, essas estimativas dependem da imposição de condições *ceteris paribus*, especialmente quanto aos preços recebidos pelos produtores. Essa pressuposição parece defensável em períodos mais recentes, pós-processo de abertura da economia brasileira, em que a possibilidade de importações e exportações amortece as variações dos preços. Entretanto, para as décadas de 1970 e de 1980, as estimativas devem ser vistas com muito mais cautela: exceto em ocasiões de adversidades climáticas circunscritas ao Estado de São Paulo, e para produtos facilmente disponíveis em outras Unidades da Federação, provavelmente a ocorrência de quebras de safras contribuiu para elevações nos níveis de preços recebidos pelos produtores, e produções adicionais, caso ocorressem, dificilmente seriam comercializadas em condições idênticas.

Com essas ressalvas, as estimativas obtidas através dos diferentes modelos indicam perdas de safras, em média, entre R\$142 milhões e 333 milhões¹³, para o período 1970 a 2002 (Tabela 8). Na década de 1970 (incluindo aqui o ano de 1970), as médias ficaram entre R\$65 milhões e R\$203 milhões; na década de

¹²Não foram encontrados dados publicados de valor da produção anteriores a 1970 que fossem considerados confiáveis pelos autores.

¹³Em R\$ de 2004; os valores foram deflacionados pelo IGP-DI (de 1970 a 1979), pelo INPC (de 1980 a 1989) e pelo IPCA (de 1989 em diante).

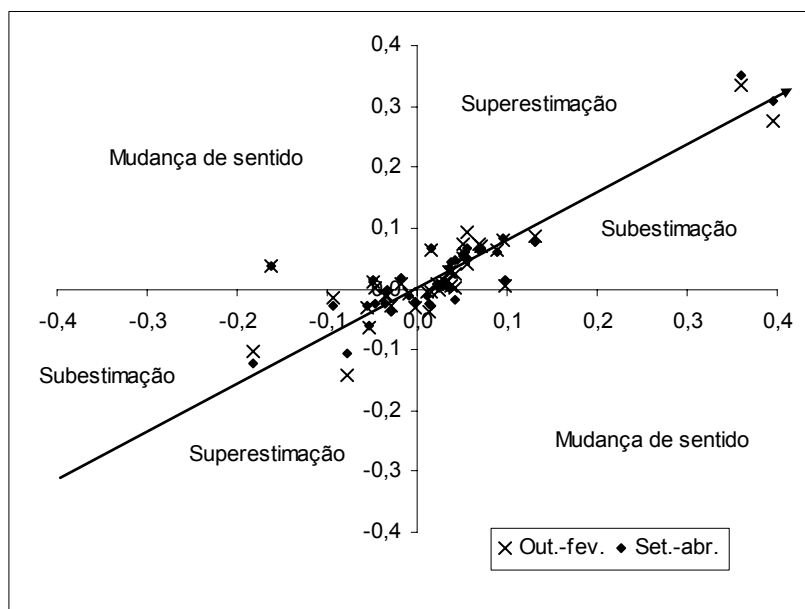


Figura 5 - Diagrama de Previsão e Realização dos Modelos, Estado de São Paulo, 1962-2002.
Fonte: Resultado da pesquisa.

TABELA 3 - Resultados dos Testes de Raízes Unitárias nos Resíduos dos Modelos¹

Teste	Período de deficiência hídrica					
	Set.-abr.	Out.-abr.	Out.-mar.	Out.-fev.	Nov.-mar.	Nov.-fev.
Lag	1	4	4	4	5	4
π	-4,38a	-4,72 ^a	-4,75a	-4,73a	-4,16b	-4,73a
$\Phi 3$	9,60a	11,22 ^a	11,36a	11,24a	8,78a	11,28a
$\tau\mu$	-4,44a	-4,81 ^a	-4,81a	-4,79a	-4,21a	-4,81a
$\Phi 1$	9,87a	11,51 ^a	11,64a	11,51a	8,91a	11,62a
τ	-4,50a	-4,89 ^a	-4,90a	-4,88a	-4,30a	-4,90a

¹Testes ADF (Dickey-Fuller aumentado); nível de significância: a=1%; b=2%. $\tau\mu$ testa a existência de modelo somente com constante, π a de modelo com constante e com tendência, τ a de modelo sem constante e sem tendência, $\Phi 3$ testa simultaneamente raiz unitária, constante e tendência, e $\Phi 1$ testa simultaneamente raiz unitária, constante ou tendência.
Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônômico; Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

TABELA 4 - Médias e Máximos de PTF e de Deficiência Hídrica, Estado de São Paulo, 1962 a 2002¹

Período	PTF ²	Período de deficiência hídrica (mm)					
		Set.-abr.	Out.-abr.	Out.-mar.	Out.-fev.	Nov.-mar.	Nov.-fev.
Médias							
1962-2002	139,33	76,17	49,28	35,39	31,28	21,07	16,96
Década 1960	95,41	84,75	48,40	30,40	26,02	22,74	18,35
Década 1970	120,59	50,26	33,12	24,65	20,79	15,70	11,85
Década 1980	148,69	65,96	39,02	33,01	31,25	14,70	12,94
Década 1990	187,80	101,19	74,12	51,87	45,64	30,21	23,98
Máximos							
1962-2002	209,73	174,16	147,03	103,58	103,58	66,20	66,20
Década 1960	105,92	171,26	104,24	73,32	60,30	45,99	35,66
Década 1970	138,62	88,83	77,97	46,00	40,17	30,43	22,66
Década 1980	164,77	138,83	95,48	87,90	87,11	29,81	24,10
Década 1990	209,73	174,16	147,03	103,58	103,58	66,20	66,20

¹Os anos de 2001 e 2002 foram considerados na década de 1990.

²1970=100.

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônômico; Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

TABELA 5 - Elasticidade da PTF em relação às Deficiências Hídricas, Estado de São Paulo, 1962-2002

Período	Período de deficiência hídrica					
	Set.-abr.	Out.-abr.	Out.-mar.	Out.-fev.	Nov.-mar.	Nov.-fev.
1962-2002	-0,043	-0,036	-0,025	-0,021	-0,026	-0,023
Década 1960	-0,070	-0,051	-0,032	-0,026	-0,041	-0,036
Década 1970	-0,033	-0,028	-0,020	-0,016	-0,023	-0,018
Década 1980	-0,035	-0,026	-0,022	-0,020	-0,017	-0,016
Década 1990	-0,043	-0,040	-0,028	-0,023	-0,028	-0,024

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônomo; Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

TABELA 6 - Perda Potencial de PTF devido às Deficiências Hídricas Máximas Observadas, Estado de São Paulo, 1962-2002

Período	Período de deficiência hídrica					
	Set.-abr.	Out.-abr.	Out.-mar.	Out.-fev.	Nov.-mar.	Nov.-fev.
1962-2002	-9,9	-10,6	-7,4	-7,1	-8,2	-8,8
Década 1960	-14,2	-11,0	-7,7	-6,0	-8,3	-6,9
Década 1970	-5,8	-6,5	-3,8	-3,2	-4,4	-3,5
Década 1980	-7,4	-6,5	-5,9	-5,6	-3,5	-3,0
Década 1990	-7,4	-7,9	-5,5	-5,2	-6,1	-6,5

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônomo; Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

TABELA 7 - Estimativas das Perdas de PTF Ocasionadas por Deficiências Hídricas, Estado de São Paulo, 1962-2002

(em pontos percentuais)

Modelo/variável	1962-2002	Década 1960	Década 1970	Década 1980	Década 1990
Set.-abr.					
Média	4,5	5,6	2,2	3,3	6,6
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
Máximo	13,8	13,6	7,0	10,0	13,8
Anos s/ perdas	7	2	3	2	0
Out.-abr.					
Média	3,6	3,8	1,7	2,5	6,2
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7
Máximo	14,8	10,5	7,9	7,7	14,8
Anos s/ perdas	7	2	3	2	0
Out.-mar.					
Média	2,3	2,4	0,9	2,1	3,5
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Máximo	10,4	7,3	4,4	7,2	10,4
Anos s/ perdas	10	3	5	2	0
Out.-fev.					
Média	1,9	1,9	0,7	1,9	2,9
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	9,8	5,7	3,8	6,8	9,8
Anos s/ perdas	16	4	6	2	4
Nov.-mar.					
Média	2,3	3,1	1,0	1,5	3,6
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	10,7	7,9	5,3	5,2	10,7
Anos s/ perdas	11	2	4	3	2
Nov.-fev.					
Média	2,0	2,6	0,7	1,5	3,1
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	10,8	6,6	3,8	4,5	10,8
Anos s/ perdas	15	3	5	3	4

Fonte: Resultados da pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônomo; Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

TABELA 8 - Estimativas das Perdas de Valor da Produção ocasionadas por Deficiências Hídricas, Estado de São Paulo, 1970-2002

(em R\$ milhão de 2004)

Período	1970-2002	Década 1970	Década 1980	Década 1990
Set.-abr.				
Média	333	203	364	428
Máximo	1.236	667	1.236	1.013
Mínimo	0	0	0	105
Out.-abr.				
Média	283	144	290	406
Máximo	1.087	746	936	1.087
Mínimo	0	0	0	90
Ou.-mar.				
Média	179	80	246	215
Máximo	877	413	877	761
Mínimo	0	0	0	6
Out.-fev.				
Média	148	65	212	172
Máximo	832	362	832	721
Mínimo	0	0	0	0
Nov.-mar.				
Média	168	97	195	211
Máximo	709	385	709	501
Mínimo	0	0	0	0
Nov.-fev.				
Média	142	79	174	173
Máximo	544	290	544	538
Mínimo	0	0	0	0

Fonte: Resultados da Pesquisa a partir de dados básicos do Instituto Agrônomo (IAC); Silva (1984); Araújo et al. (2002); Vicente; Martins (2004).

1980, entre R\$174 milhões e R\$364 milhões; e, na década de 1990 (incluindo os anos de 2001 e 2002), entre R\$172 milhões e R\$428 milhões. Embora as médias da década de 1990 sejam superiores às das demais, os maiores valores de perdas estiveram associados, na quase totalidade dos casos, à década de 1980. Note-se também que, na metade dos modelos, a década de 1990 aparece sempre com alguma quebra de safra por deficiência hídrica.

Similarmente, podem ser efetuadas estimativas das perdas de safras devido à ocorrência de geadas fortes ou moderadas, tomando-se como base os coeficientes apresentados na tabela 2, com as mesmas limitações citadas anteriormente. Os cálculos apontam perdas entre R\$341 milhões e R\$901 milhões em cada uma das três ocorrências desse fenômeno entre 1970 e 1980, impactando a safra imediatamente posterior. Nas três vezes consideradas na década de 1980, as perdas ficaram entre R\$537 milhões e R\$1.020 milhões; e, nas duas ocorrências verificadas de 1991 a 2002, entre R\$429

milhões e R\$665 milhões.

4 - CONCLUSÕES

Os níveis de deficiência hídrica a que estiveram submetidas as lavouras do Estado de São Paulo apresentaram tendência de crescimento entre 1962 e 2002.

Deficiências hídricas e geadas apareceram sempre com coeficientes negativos e significativos nos modelos explicativos da produtividade agrícola.

As elasticidades dos índices de produtividade em relação às deficiências hídricas, variaram entre -0,016 e -0,070, nas décadas analisadas.

Esse resultado indica perdas de produtividade entre 3,2% e 14,2%, com os níveis máximos de deficiência hídricas observados em cada década.

Nas simulações das perdas de safras devidas às deficiências hídricas, as médias ficaram

entre 1,9 e 4,5 pontos percentuais do índice de produtividade. As perdas máximas situaram-se entre 9,8 e 14,8 pontos percentuais no índice de produtividade, todos no período de 1991 a 2002.

Em valores de 2004, as perdas de sa-

fras relacionadas às deficiências hídricas ficaram, em média, entre R\$142 milhões e 333 milhões entre 1970 e 2002; no período de 1991 a 2002, as perdas médias mais do que dobraram em relação ao período de 1970 a 1980.

LITERATURA CITADA

ALVES, E. R. A. **A produtividade agrícola**. Brasília: s.c.p., 1979. 34 p.

ARAÚJO, P. F. C. et al. **O crescimento da agricultura paulista e as instituições de ensino, pesquisa e extensão numa perspectiva de longo prazo**. São Paulo: FAPESP, dez. 2002.

DIEWERT, W. E. Exact and superlative index numbers. **Journal of Econometrics**, v. 4, n. 2, p. 115-45, May 1976.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. São Paulo: Hucitec/EDUSP, 1977.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística: teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

MARGARIDO, M.; ANEFALOS, L. C. Testes de raiz unitária e o software SAS. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 46, t. 2, p. 19-45, 1999.

MATOS, O. C. **Econometria básica: teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo, Atlas, 2000.

ORTOLANI, A. A. et al. **Parâmetros climáticos e a cafeicultura**. Rio de Janeiro: IBC, 1970.

SILVA, G. L. S. P. **Produtividade agrícola, pesquisa e extensão rural**. São Paulo: IPE/USP, 1984.

_____; CARMO, H. C. E. Como medir a produtividade agrícola: conceitos, métodos e aplicações no caso de São Paulo. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 33, t. 1/2, p. 139-170, 1986.

_____; CASER, D. V.; VICENTE, J. R. Efeitos das condições do tempo sobre a produtividade agrícola no estado de São Paulo. **Revista de Economia Rural**, v. 23, n. 1, p. 3-19, jan./mar. 1985.

_____; 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 Cargill, 1986.

THEIL, H. **Applied economic forecasting**. Amsterdam: North-Holland, 1966.

VICENTE, J. R. Uma aplicação de métodos multivariados na previsão de rendimento do milho. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 41, t. 1, p. 127-147, 1994.

_____. **Pesquisa, adoção de tecnologia e eficiência na produção agrícola**. São Paulo: APTA, 2002.

_____; MARTINS, R. Produtividade, eficiência econômica e relações de troca da agricultura paulista, 1995-2002. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 66-75, jan. 2004.

_____; CASER, D. V.; SILVA, G. L. S. P. Adversidades climáticas: estimativas das perdas de safras no estado de São Paulo e repostas governamentais. **Agricultura em São Paulo**, v. 35, n. 1, p. 149-171, 1988.

**CONDIÇÕES DO TEMPO E PRODUTIVIDADE TOTAL DE FATORES
NA AGRICULTURA PAULISTA, 1962-2002**

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi o de mensurar os efeitos das condições do tempo sobre a produtividade agrícola no Estado de São Paulo, para o período de 1962 a 2002. Para tanto, a produtividade total de fatores foi relacionada à ocorrência de deficiência hídrica e geada. Os resultados mostraram significativos impactos dessas adversidades climáticas sobre a produtividade. Os níveis de deficiência hídrica apresentaram tendência crescente, e as maiores quedas nos índices de produtividade ocorreram no período de 1991 a 2002. Estimativas efetuadas a partir dos resultados dos modelos indicaram que as perdas de safras atingiram valores consideráveis.

Palavras-chave: produtividade agrícola, quebras de produção, deficiência hídrica, geada.

**WEATHER CONDITIONS AND TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY IN
SAO PAULO STATE AGRICULTURE, BRAZIL, 1962-2002**

ABSTRACT: The objective of this paper was to measure weather condition effects on agricultural productivity in the state of São Paulo, between 1962 and 2002. To that end, total factor productivity was related to the occurrence of both hydric deficiency and frost. The results showed significant impacts of those climatic adversities on productivity levels. The levels of hydric deficiency presented a growing tendency, and the largest falls in the productivity indexes happened in the period of 1991-2002. Estimates based on the results of the models indicated that harvest losses reached considerable values.

Key-words: agricultural productivity, production losses, hydric deficiency, frost, Sao Paulo.

Recebido em 03/04/2006. Liberado para publicação em 25/05/2006.