

EFEITO DA DIFERENÇA ENTRE A PRECIPITAÇÃO E A EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO*

Effect of the Difference Between Precipitation and Potencial Evapotranspiration on Yield of Beans

Flávio Bussemeyer Arruda**, Antonio Tubelis*** e Fernando J. Lino do Nascimento***

RESUMO

Analisa-se o efeito da diferença entre a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração potencial (P - EP) sobre a produtividade final do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade "Rico 23".

A produtividade final mostrou-se correlacionada linearmente com os totais de (P - EP) acumulados em vários períodos do ciclo da cultura e no ciclo todo. O melhor período para a previsão da produtividade foi (50-60) dias após o plantio, cuja equação é:

$$y = 17,8 (P-EP)_{50-60} + 551 \quad \pm 39 \text{ kg/ha}$$

onde y é a produtividade final em kg/ha e (P-EP) é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no período (50-60) dias, em mm. A equação para o ciclo total da cultura, (0-80) dias, é:

$$y = 4,9 (P-EP)_{0-80} + 801 \quad \pm 96 \text{ kg/ha}$$

onde (P-EP)₀₋₈₀ é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no período (0-80) dias.

O acréscimo de produtividade, para cada aumento de (P-EP) de 1 mm para cada 10 dias de duração do período, variou no decorrer do ciclo da cultura, sendo máximo e igual a 51,5 kg/ha no período (20-70) dias após o plantio.

O limiar da produtividade em termos de (P-EP) foi um valor negativo e decrescente com o aumento na duração dos períodos, sendo -165 mm para o ciclo todo da cultura.

SUMMARY

This work analyzes the effect of the difference between precipitation and potential evapotranspiration (P - EP) on final yield of beans (*Phaseolus vulgaris* -

* Trabalho desenvolvido durante a vigência de Bolsa de Iniciação Científica, concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico ao primeiro autor.

** Engenheiro Agrônomo, Seção de Irrigação e Drenagem, Instituto Agronômico, 13.100 - Campinas, SP.

*** Respectivamente Professor Titular e Professor Assistente Doutor do Departamento de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", 18.600-Botucatu, SP.

ris L.), variety "Rico 23".

Final yield was linearly correlated with totals of (P - EP), accumulated in several periods of the crop development cycle or in the whole cycle. The best period for yield estimate was (50-60) days after sowing, its equation being:

$$y = 17.8 (P-EP)_{50-60} + 551 \quad \pm 39 \text{ kg/ha}$$

where y is the final yield in kg/ha and (P-EP)₅₀₋₆₀ is the difference between precipitation and potential evapotranspiration in the period (50-60) days, in mm. The equation for the whole cycle, (0-80) days, is:

$$y = 4.9 (P-EP)_{0-80} + 801 \quad \pm 96 \text{ kg/ha}$$

where (P-EP)₀₋₈₀ is the difference between precipitation and potential evapotranspiration in the period (0-80) days.

The yield increase per an increase in (P-EP) of 1 mm in each 10 days of period duration varied through the crop cycle, the highest values being equal to 51.5 kg/ha in the (20-70) days period.

The yield threshold, in terms of (P-EP), was a negative value, which decreased with the increase in the period duration, being -165 mm for the whole crop cycle.

INTRODUÇÃO

As condições ambientais tem efeito pronunciado no sucesso da produção do feijoeiro, principalmente em decorrência do ciclo curto da cultura. Dentre as condições ambientais, os parâmetros meteorológicos apresentam efeito dominante.

Em vista disso, relações quantitativas entre a produtividade final do feijoeiro e os parâmetros meteorológicos mais influentes são de extrema valia no planejamento e na condução da cultura.

Existe um consenso geral de que a cultura do feijoeiro sô é produtiva quando hã disponibilidade de água no solo no período que se inicia imediatamente antes da floração e termina quando do estado leitoso dos grãos (12).

O feijoeiro tem um sistema radicular essencialmente superficial, com a quase totalidade das raízes nos primeiros vinte centímetros de solo (8). Em função disso, uma boa produtividade sô pode ser obtida com uma distribuição regular de chuvas ou com irrigações frequentes (7, 11). Mais precisamente, o fator limitante para a produção é o equilíbrio entre a chuva e a evapotranspiração na região das raízes (9).

Ocorrência de restrição de água no solo até 8 bar afeta mais a produtividade quando ocorre o período de floração do que nos períodos de pré-floração ou de frutificação (7). A produtividade final do feijoeiro diminui à medida que a tensão de água no solo cresce de 0,50 a 0,75 atm (3).

Com a finalidade de atenuar os efeitos de uma possível distribuição irregular de chuvas, MIYASAKA et alii (10) recomendam a incorporação ao solo de matéria orgânica semi-decomposta.

O consumo de água é pequeno no início da cultura do feijoeiro, cerca de 1 mm por dia, aumentando até 4 mm por dia na fase que vai do florescimento ao estado leitoso das vagens (12). O valor médio de consumo de água, a partir do 100 dia após a germinação, é de 2,9 mm por dia (6). A produção é beneficiada com a diminuição das precipitações após a maturação e na colheita (10).

Em termos quantitativos, a produtividade final do feijoeiro mostra-se correlacionada com o total de precipitação pluviométrica acumulada em diferentes períodos do ciclo de desenvolvimento da cultura ou no ciclo todo (2).

Este trabalho faz parte de uma série que estuda o efeito dos parâmetros meteorológicos, reinantes durante o ciclo da cultura, sobre a produtividade final do feijoeiro (1, 2). Neste é estudado o efeito combinado dos regimes térmico e a evapotranspiração potencial calculada em períodos do ciclo vegetativo.

MATERIAL E MÉTODO

Dados de Produtividade:

Os dados de produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) são os obtidos por VIEIRA & ALMEIDA (13), em Viçosa-MG, referentes ao espaçamento de 50 x 20 cm, com duas sementes por cova. As sementes eram de feijão preto, miúdo, "Rico 23", de crescimento indeterminado e porte ereto.

As datas de plantio, germinação e colheita, os dados de produtividade e os dados fenológicos médios encontram-se em outros trabalhos deste série (1, 2).

Dados Meteorológicos:

Os dados de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica foram obtidos no Posto Meteorológico de Viçosa-MG, instalado no Campus da Universidade Federal. A temperatura média diária foi considerada como a média entre as temperaturas extremas diárias.

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de THORNTHWAITE, adaptado por CAMARGO (5). Neste cálculo, substituiu-se a temperatura média mensal pela temperatura média de cada um dos períodos em que foi dividido o ciclo da cultura. Os valores obtidos de evapotranspiração potencial foram transformados em valores médios diários.

Processamento de dados:

Os 80 dias do período médio de desenvolvimento da cultura foram numerados em sequência, considerando-se como 01 o dia em que se fez o plantio. O período total foi dividido em períodos unitários de 10 dias: (00-10), (10-20), (20-30)... (70-80) dias. Esses períodos unitários foram combinados sequencialmente, de forma a se obter um total de 36 períodos, cujas durações eram de 10, 20, ..., 80 dias.

Para cada um desses períodos foram totalizados os valores diários da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (P-EP). Estes valores foram correlacionados linearmente com a produtividade final do feijoeiro. As

equações de regressão foram calculadas pelo método dos quadrados mínimos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições meteorológicas dos ensaios

Os ensaios de campo desenvolveram-se dentro dos limites térmicos considerados favoráveis à cultura (1), e o regime de precipitações não envolveu condições extremas (2). A Tabela 1 apresenta os parâmetros meteorológicos que reinaram durante os ensaios.

A Figura 1 mostra a seqüência dos totais descendiais de (P-EP) ao longo do ciclo da cultura. Nos ensaios "de seca", os valores de (P-EP) permaneceram negativos na quase totalidade do ciclo, resultando em menores produções. A produção do ensaio "da seca" de 1962 foi superior ao de 1961 pelo fato de em duas décadas os valores de (P-EP) tornarem-se positivos. Nos ensaios "das águas", os valores de (P-EP) foram quase sempre positivos, propiciando maiores produtividades que os ensaios "de seca". No ensaio de 1961/62 os valores positivos concentraram-se na segunda metade do ciclo, resultando na maior produção.

TABELA 1. Produtividade e parâmetros meteorológicos reinantes durante os ensaios com feijoeiro.

Ensaio	Produtividade (kg/ha)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração Potencial (mm)	Precipitação menos Evapotranspiração Potencial (mm)
Safra 1961	255	20,0	73	204	- 131
Águas 1961/62	1.751	23,0	491	306	+ 185
Seca 1962	310	19,0	104	186	- 82
Águas 1962/63	1.134	21,3	337	265	+ 72

Equações de regressão entre a Produtividade e a Diferença Acumulada entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial

As equações lineares de regressão entre a produtividade final do feijoeiro e a diferença acumulada (P-EP), cujos coeficientes de correlação foram significantes pelo menos 5% de probabilidade, estão indicadas na Tabela 2.

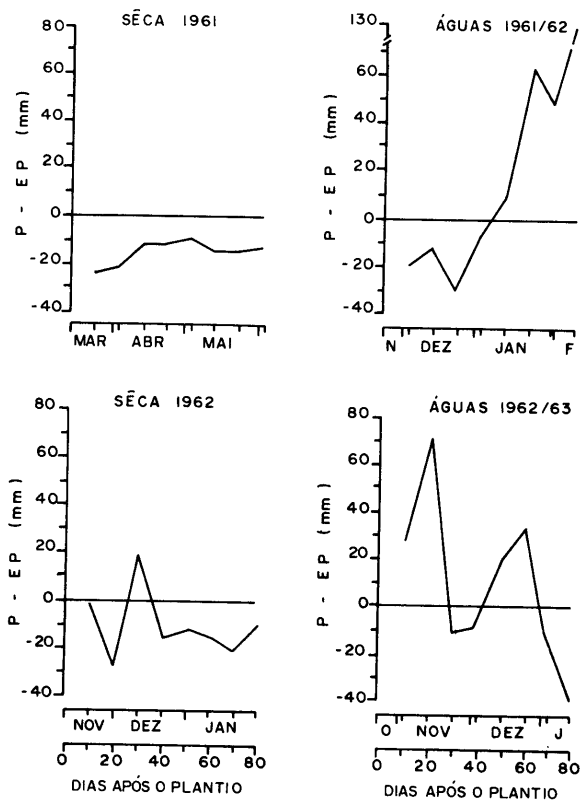


FIGURA 1. Sequência dos totais descendiais de (P-EP) ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro.

TABELA 2. Equações lineares de regressão entre a produtividade final do feijoeiro y (kg/ha) e a diferença acumulada entre a precipitação e a evapotranspiração potencial $P-EP$, desvios-padrão da regressão $s_{y.x}$ (kg/ha), coeficiente de correlação r e sua significância.

Períodos (dias)	$y = m(P-EP) + b$	$s_{y.x}$	r	Significância de r (%)
(50-60)	$y = 17,8(P-EP) + 551$	39	1,00	0,1
(40-70)	$y = 8,8(P-EP) + 701$	94	0,99	1
(0-80)	$y = 4,9(P-EP) + 801$	96	0,99	1
(30-70)	$y = 8,5(P-EP) + 799$	96	0,99	1
(10-80)	$y = 5,0(P-EP) + 779$	105	0,99	1
(20-70)	$y = 10,3(P-EP) + 878$	133	0,99	2
(30-60)	$y = 12,4(P-EP) + 754$	168	0,98	2
(40-60)	$y = 13,2(P-EP) + 605$	168	0,98	2
(50-70)	$y = 10,0(P-EP) + 697$	206	0,97	5

A produtividade final do feijoeiro mostrou-se correlacionada com o valor $(P-EP)$ acumulado em nove períodos do ciclo de desenvolvimento da cultura, com durações que vão de 10 dias, até 80 dias, englobando neste último caso todo o ciclo da cultura. Este resultado está de acordo com as conclusões de MENEZES & PINTO (9).

Cotando-se em um gráfico cartesiano os valores dos coeficientes de correlação linear, para os períodos de 10 e 20 dias de duração, em função da data média do período, obtém-se a Figura 2. A curva ajustada aos pontos indica a variação do coeficiente de correlação linear com o desenvolvimento da cultura. O coeficiente de correlação foi máximo do 40º ao 60º dias do ciclo, correspondendo às fases de floração e início de frutificação. Após o 60º dia, a sua taxa de decréscimo foi menor que a sua taxa de acréscimo no período anterior ao 40º dia. O comportamento do coeficiente de correlação linear entre produtividade e $(P-EP)$ é semelhante ao comportamento daquele coeficiente entre produtividade e precipitação.

As equações da Tabela 2 permitem fazer a estimativa da produtividade final da cultura a partir da contabilização de $(P-EP)$. A melhor equação é a do período (50-60) dias, com o desvio-padrão da regressão 39 kg/ha, que abrange o fim da floração e o início da frutificação. Aparecem em segundo lugar as equações para os períodos (40-70), (0-80) e (30-70) dias, cujos desvios-padrão variaram de 94 a 96 kg/ha. Todas as equações abrangeram o período (50-60) dias, e os períodos que fornecem as estimativas mais precoces são aqueles que terminam no 60º dia. A medida que se antecipa o início do período de contabilização de $(P-EP)$, ocorre um retardamento no final do mesmo. Entretanto a contabilização não pode ser iniciada após o 50º dia.

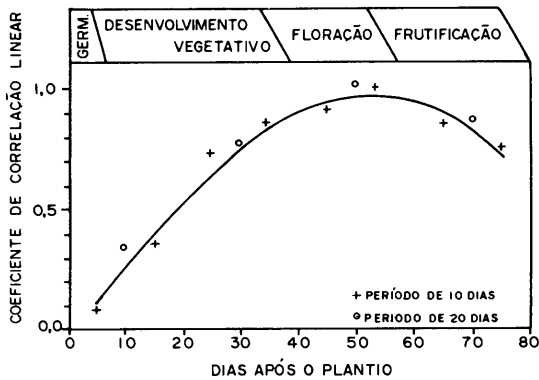


FIGURA 2. Sequência dos coeficientes de correlação linear entre a produtividade do feijoeiro e (P-EP), ao longo do ciclo da cultura.

Com aquelas equações pode-se, em função da idade da planta e da evapotranspiração potencial, calcular a quantidade de água que deverá suplementar a precipitação pluviométrica para se obter desejado valor de produção. O confronto do custo da irrigação suplementar com o valor do aumento de produção é que vai determinar se haverá interesse econômico em suplementar a precipitação pluvial.

Pela equação de regressão do período (0-80) dias, pode-se avaliar o potencial de produtividade de uma região em função da diferença média entre a precipitação e a evapotranspiração potencial nos 80 dias do ciclo da cultura, como mostra a Tabela 3. Quando (P-EP) é positiva, a produtividade será superior a 800 kg/ha, alcançando 1780 kg/ha quando a precipitação exceder a evapotranspiração potencial em 200 mm. A necessidade da precipitação suplantar a evapotranspiração potencial, para que se obtenha produções altas, decorre do feijoeiro apresentar sistema radicular bastante superficial (8). As elevadas necessidades do feijoeiro em precipitação foram constatados pelos autores em trabalho anterior (2).

Produtividade na condição de igualdade entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial

Os coeficientes lineares das equações de regressão da Tabela 2 representam a produtividade do feijoeiro na condição de igualdade entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no período considerado. Seus valores variaram de 878 kg/ha no período (20-70) dias a 551 kg/ha no período (50-60) dias. De uma maneira geral, a produtividade diminui a medida que diminui a duração do período em que ocorre equilíbrio entre P e EP. Este fato está de acordo com a assertiva de que a cultura beneficia-se com a uniformidade da distribuição das precipitações e com a duração do período em que essa condição ocorre (6, 10, 12).

TABELA 3. Produtividade final do feijoeiro em função da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no ciclo da cultura, obtida pela equação $y = 4,9(P-EP) + 801$ para o período (0-80) dias.

(P - EP) (mm)	Produtividade (kg/ha)
-150	66
-100	311
- 50	556
0	801
50	1046
100	1291
150	1536
200	1781

Variação da Produtividade em função da diferença entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial

Os coeficientes angulares das equações de regressão linear da Tabela 2 representam a taxa de variação da produtividade, para cada milímetro de variação na diferença (P-EP) no período considerado.

Os coeficientes angulares foram transformados na taxa de variação da produtividade para cada aumento de (P-EP) de 1 mm para cada 10 dias de duração do período (2), cujos valores estão apresentados na Tabela 4.

A taxa de variação da produtividade oscilou entre 51,5 e 17,8 kg/ha, indicando que a eficiência de utilização do superavit da precipitação em relação à evapotranspiração potencial, no melhor período, é de 289% do que no período menos eficiente. A maior taxa ocorreu no período (20-70) dias e a menor (50-60) dias.

De uma maneira geral, a taxa de variação da produtividade decresceu com a diminuição do período em que se computou o valor (P-EP). Isto é, as taxas de acréscimo da produtividade cresceram com o aumento da duração dos períodos, mostrando que a cultura se beneficiou com o aumento dos períodos em que a precipitação suplantou a evapotranspiração potencial. Nessa situação, o potencial de água no solo deve permanecer baixo, condição na qual são obtidas boas produtividades com a cultura (3, 7, 9).

Limiar de Produtividade em termos da diferença entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial

O limiar de produtividade representa o valor de (P-EP) que condiciona produção nula. Os valores encontrados estão na Tabela 5, e variaram de -31 a -165 mm.

TABELA 4. Variação da produtividade do feijoeiro para uma variação na diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial de 1 mm para cada 10 dias de duração do período.

Períodos (dias)	Variação da produtividade (kg/ha)
(20-70)	51,5
(0-80)	39,2
(30-60)	37,2
(10-80)	35,0
(30-70)	34,0
(40-60)	26,4
(40-70)	26,4
(50-70)	20,0
(50-60)	17,8

TABELA 5. Limiar de produtividade em termos da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial para os períodos em que o coeficiente de correlação foi significativo.

Períodos (dias)	Limiar (P-EP) de Produtividade (mm)
(50-60)	- 31
(40-60)	- 46
(30-60)	- 61
(50-70)	- 70
(40-70)	- 80
(20-70)	- 85
(30-70)	- 94
(10-80)	- 156
(0-80)	- 165

De uma maneira geral, o valor absoluto do limiar cresceu com o aumento do período considerado.

O fato do limiar ser negativo em todos os períodos significantes revela que a nulidade da produção ocorre sob condição de deficiência da precipitação em relação à evapotranspiração potencial. Só ocorrerá produção na cultura quando o valor de (P-EP) for maior que o valor limiar, que para o ciclo total da cultura é -165 mm.

CONCLUSÕES

A confecção do presente trabalho, que analisa ensaios com feijoeiros, cultivados nas condições meteorológicas reinantes em Viçosa-MG, no período de 1961 a 1963, permitiu chegar-se às seguintes conclusões:

1. A produtividade final do feijoeiro mostrou-se correlacionada com o total da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, acumulada em diferentes períodos do ciclo de desenvolvimento da cultura ou no ciclo todo.
2. O coeficiente de correlação linear entre a produtividade final do feijoeiro e a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial aumentou do plantio até o 40º dia de desenvolvimento da cultura, foi aproximadamente constante até o 60º dia, decrescendo posteriormente até o final do ciclo.
3. O período, cuja diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial propiciou a melhor estimativa da produtividade, foi o de 50º ao 60º dia após o plantio.
4. Nenhum período de contabilização de (P-EP) foi significativa na estimativa da produtividade começando após o 50º dia ou terminando antes do 60º dia.
5. A eficiência de utilização do superavit da precipitação em relação a evapotranspiração potencial foi máxima no período (20-70) dias, com o valor de 51,5 kg/ha por mm/10 dias, decrescendo com a diminuição na duração dos períodos.
6. O limiar de produtividade em termos de (P-EP) mostrou-se ser um valor negativo e decrescente com o aumento na duração dos períodos, sendo -165 mm para o período (0-80) dias.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ARRUDA, F. B.; TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. Efeito da temperatura média diária do ar na produtividade do feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 15(4):413-417, 1980.
2. ARRUDA, F. B.; TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. Efeito da precipitação pluviométrica na produtividade do feijoeiro. *Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria, 10(1):49-60, 1980.
3. BERNARDO, S.; GALVÃO, J. O.; GUERRINI, H. & CARVALHO, J. B. Efeito dos níveis de água no solo sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seiva*, 30:7-13, 1970.
4. BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C. & GOMES, F. R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). III. Intercepção de energia solar. *Experimentiae*, 15:23-30, 1973.
5. CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Bol. Inst. Agron. Campinas*, (116):1-60, 1966.
6. DEMATTE, J. B. I.; DEMATTE, J. D. I.; MIYASAKA, S.; ALMEIDA, L. D. A.; BULISANI, E. A.; IGUE, T. & ALVES, S. Irrigação x adubação mineral x matéria orgânica em cultura de feijão. *Bol. Tecn. Inst. Agron. Campinas*, (15):1-27, 1974.

7. DUBETZ, S. & MAHALLE, P. S. Effect of soil water stress on bush beans *Phaseolus vulgaris* L. at three stages of growth. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 94:479-481, 1969.
8. INFORZATO, R. & MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 22:477-481, 1963.
9. MENEZES, D. M. & PINTO, M. M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Baixada Fluminense. *Pesq. Agropec. Bras.*, Série Agron., 2:383-389, 1967.
10. MIYASAKA, S.; ALMEIDA, L. D'A. & BULISANI, E. A. *Cultura do feijão*. São Paulo, Sindicato Nacional da Indústria de Tratores, Caminhões, Automóveis e Veículos Similares, s.d., 48 p.
11. SMITTLE, D. A. Response of snap bean to irrigation, nitrogen fertilization, and plant population. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 101:37-40, 1976.
12. TOSELLO, R. N. Irrigação de feijão. *Agrônômico*, 15:4-5, 1963.
13. VIEIRA, C. & ALMEIDA, L. A. Experimento de espaçamento de semeadura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ceres*, 12:219-228, 1965.