

EFEITO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO AR NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO¹

FLÁVIO BUSSMEYER ARRUDA², ANTONIO TUBELIS³ e FERNANDO JOSÉ LINO DO NASCIMENTO⁴

RESUMO - Estudou-se o efeito da temperatura média diária do ar sobre a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). A produtividade final mostrou-se correlacionada linearmente com a temperatura média diária do ar, em diferentes períodos do ciclo da cultura. Obteve-se uma equação geral do tipo: $Y = m(T - 21,7) + 1.213$ onde Y = produtividade (kg/ha); T = temperatura média diária do ar (°C) em dado período do ciclo da cultura; m = coeficiente característico do período. Os melhores períodos para a previsão da produtividade final situaram-se entre o 10º e o 40º dia do ciclo da cultura. As taxas médias diárias de acréscimo da produtividade do feijoeiro, por 1°C de aumento da temperatura média diária, variaram ao longo do ciclo da cultura, ocorrendo os maiores valores no período de 30 a 40 dias. O limiar térmico da produtividade foi de 20°C de temperatura média diária do ar, para os primeiros 50 dias do ciclo, e de 19°C, para o ciclo todo.

Termos para indexação: feijoeiro, temperatura, produtividade.

EFFECT OF DAILY MEAN AIR TEMPERATURE ON YIELD OF BEANS

ABSTRACT - This work deals with the study of daily mean air temperature effect on yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). The yield was linearly correlated to daily mean air temperature for different periods in the crop cycle. The general correlation equation found was: $Y = m(T - 21.7) + 1.213$, where: Y = yield of grain (kg/ha), T = daily mean air temperature (°C) for a given period of a crop cycle, m = characteristic coefficient for the period. The best periods for yield forecasting were located between the 10th and the 40th day of the crop cycle. The daily mean rates of bean yield increase per 1°C elevation in daily mean air temperature, varied through the crop cycle, the higher values occurring in a 30-40 days period. The thermal threshold of yield has been 20°C daily mean air temperature for the first 50 days of cycle and 19°C for the whole cycle.

Index terms: beans, temperature, yield.

INTRODUÇÃO

O feijão é um produto agrícola de elevada importância sócio-econômica no Brasil, sendo uma das bases da alimentação nacional. Apesar disso, tem recebido pouca atenção dos pesquisadores do país.

Uma revisão bibliográfica sobre a ecofisiologia do feijoeiro, isto é, das reações das plantas aos fatores ecológicos, foi feita por Franco et al. (1972). Citam que seriam de grande interesse estudos visando isolar os efeitos de fatores, como temperatura e umidade do ar, que atuam durante o ciclo da cultura.

Algumas observações do efeito da temperatura do solo sobre o feijoeiro foram realizadas por Miyasaka et al. (1966). Mostraram grande efeito negativo da variação diária da temperatura do solo sobre o desenvolvimento vegetativo do feijoeiro. A incorporação de massa vegetal ao solo desempenhou papel moderador sobre a sua variação térmica, propiciando efeito positivo no crescimento e na produção do feijoeiro.

Martin & Leonard (1949) adotam que o intervalo de temperaturas do ar, médias mensais, ótimo para a cultura está entre 18 e 34°C. Os valores superiores ao intervalo prejudicam a frutificação e os inferiores retardam o desenvolvimento das plantas. A temperatura média ideal para todo o ciclo vegetativo seria 21°C.

Vieira (1967) aceita o intervalo de 18°C a 30°C, como favorável à cultura, e a temperatura abaixo desse intervalo, como prejudicial ao crescimento da planta.

Borwell & Jones (1941) aceitam o intervalo térmico de 18,3°C a 26,7°C, como favorável à cultura.

¹ Aceito para publicação em 5 de maio de 1980. Trabalho desenvolvido durante a vigência de Bolsa de Iniciação Científica concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico ao primeiro autor.

² Eng.º Agr.º, Instituto Agronômico de Campinas (IAC) - Caixa Postal 28, CEP 13.100 - Campinas, SP.

³ Eng.º Agr.º, Ph.D., Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho (UNESP) - Caixa Postal 102, CEP 18.610 - Botucatu, SP.

⁴ Eng.º Agr.º, Ph.D., UNESP - Botucatu, SP.

Miyasaka (1964) indica 21°C, como a temperatura ótima, e as temperaturas superiores a 30°C, como prejudiciais para algumas variedades.

O estudo da limitação térmica tem sido feito para o florescimento e frutificação, pelo efeito de altas temperaturas, em virtude de ocasionarem:

- a. Agravamento da queda prematura das flores (Vieira 1967 e El Nadi 1969);
- b. Prejuízo no "pegamento" das flores (Franco et al. 1972);
- c. Redução do número de flores (Vieira 1967);
- d. Queda de vagens (Vieira 1967).

Macke & Singh (1969) indicam que, quando as temperaturas máximas diárias ultrapassam 32°C durante a floração, ocorre prejuízo no "pegamento" das flores. O "pegamento" a 38°C foi apenas de 65% do ocorrido a 32°C.

Brandes et al. (1973) verificaram que a eficiência fotossintética do feijoeiro passa por valores máximos em torno dos 30 dias após a emergência, coincidindo com o início da floração.

Estudou-se, no presente trabalho, a correlação entre a temperatura do ar, média diária para diversos períodos do ciclo vegetativo, e a produtividade final do feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados de produtividade

Os dados de produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) foram obtidos por Vieira & Almeida (1965) em experimento de espaçamento de semeadura, conduzido nos campos experimentais da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG (20°45'S; 42°51'W. Grw.; 651 m), em solo plano ou levemente inclinado, argiloso e de fertilidade variável. Utilizaram-se os dados para o espaçamento de 50 cm x 20 cm, com duas sementes por cova. As sementes eram de feijão preto, miúdo, "Rico 23", de crescimento indeterminado e porte ereto.

Os dados fenológicos e de produtividade estão reunidos na Tabela 1.

TABELA 1. Produtividade e datas de plantio, germinação e colheita dos ensaios com feijoeiro.

| Ensaio | Produtividade (kg/ha) | Plantio | Germinação | Colheita |
|-----------------|-----------------------|---------|------------|----------|
| Seca 1961 | 255 | 14.3 | 20.3 | 26.6 |
| Águas 1961/1962 | 1.751 | 21.11 | 27.11 | 20.2 |
| Seca 1962 | 310 | 16.3 | 23.3 | 5.7 |
| Águas 1962/1963 | 1.134 | 16.10 | 27.10 | 11.1 |

Dados meteorológicos

Os dados de temperatura do ar foram obtidos no Posto Meteorológico de Viçosa, instalado no Campus da Universidade Federal. As temperaturas médias diárias foram consideradas como as médias entre as temperaturas extremas diárias.

A Tabela 2 apresenta o resumo do regime térmico médio durante os ensaios.

Processamento dos dados

O período de desenvolvimento da cultura teve os seus dias numerados em seqüência, considerando-se como primeiro o dia do plantio.

Foram considerados, ao longo do ciclo da cultura, 36 períodos para a contabilização dos parâmetros meteorológicos. Os períodos possuíam durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 ou 80 dias. Cada um desses períodos está representado neste trabalho por dois números entre parênteses: o primeiro indica o início do período, e o segundo, o seu término, contados a partir da data de plantio.

A temperatura do ar, média diária para cada um dos períodos, foi correlacionada linearmente com a produtividade final do feijoeiro. As equações de regressão foram calculadas pelo método dos quadrados mínimos, sempre para quatro pares de valores produtividade-temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições térmicas dos ensaios

Conforme mostra a Tabela 2, as temperaturas

TABELA 2. Temperaturas médias do ar, durante os ensaios com feijoeiro.

| Ensaio | Temperatura do ar (°C) | | |
|-----------------|------------------------|--------------|--------------|
| | Média | Máxima média | Mínima média |
| Seca 1961 | 20,0 | 29,8 | 5,4 |
| Águas 1961/1962 | 23,0 | 31,8 | 13,8 |
| Seca 1962 | 19,0 | 31,4 | 3,6 |
| Águas 1962/1963 | 21,3 | 33,8 | 10,0 |

médias diárias dos ensaios estiveram entre os valores de 19 e 23°C, englobando o valor de 21°C, aceito como a temperatura ótima para o desenvolvimento do feijoeiro (Borwell & Jones 1941, Martin & Leonard 1949, Miyasaka 1964 e Vieira 1967).

As temperaturas máximas médias dos ensaios variaram de 29,8 a 33,8°C, valores que se aproximam de 34°C, considerado como a temperatura máxima diária para o início dos danos à floração e à frutificação.

As temperaturas mínimas médias dos ensaios variaram de 3,6 a 13,8°C.

Coefficientes de correlação linear entre a produtividade e a temperatura média do ar

Os períodos, em que os coeficientes de correlação linear entre a produtividade final do feijoeiro e a temperatura média diária do ar foram significantes, são mostrados na Tabela 3.

Esses resultados mostram que houve correlação linear entre a produtividade final do feijoeiro e a temperatura média diária do ar, tanto para períodos curtos: (30-40), (10-40), (60-70) dias, etc., como para períodos longos: (0-80), (10-70), (10-80) dias. A ocorrência dessas correlações mostra que é possível prever-se a produção da cultura em função do regime térmico, considerando o ciclo todo ou parte dele.

Os coeficientes de correlação de cada dois períodos, defasados de dez dias, foram comparados entre si para se estimar o efeito da temperatura média do ar, naqueles dez dias de defasamento, sobre o coeficiente de correlação. A inclusão dos períodos de 0 a 10 e de 70 a 80 dias não afetou a correlação entre a produtividade do feijoeiro e a tempe-

ratura média. O fato deve ser consequência de que no período de 0 a 10 dias o desenvolvimento da plântula foi influenciado pela temperatura do solo e não do ar, pois este período incluiu a germinação das sementes. No período de 70 a 80 dias, a temperatura do ar teve pouca influência, pois, nessa época, a produção já estava definida.

Os períodos, em que a temperatura média do ar causou aumento no coeficiente de correlação, foram os de 10 a 20, de 30 a 40 e de 60 a 70 dias. O período de 10 a 20 dias correspondeu à primeira fase de enfolhamento. O período de 30 a 40 dias correspondeu ao período de diferenciação floral, e o de 60 a 70 dias, ao período de frutificação.

Os períodos, em que a temperatura média do ar causou diminuição no coeficiente de correlação, foram os de 20 a 30, de 40 a 50, e de 50 a 60 dias. O primeiro período correspondeu à segunda fase do enfolhamento, e os dois outros, ao período de floração. A diminuição do coeficiente de correlação provavelmente foi causada pela diminuição da importância da temperatura média do ar sobre a produtividade, em relação a outros parâmetros meteorológicos.

Equações lineares de regressão entre a produtividade e a temperatura média do ar

As equações lineares de regressão entre a produtividade final do feijoeiro e a temperatura média do ar, nos períodos em que o coeficiente de correlação foi significativo, pelo menos a 5% de probabilidade, estão contidas na Tabela 4.

Qualquer das equações da Tabela 4 pode ser utilizada na estimativa da produtividade da cultura. As duas primeiras permitem estabelecer a previsão da produtividade, decorridos apenas 40 dias após o plantio, ou seja, 50% do tempo do ciclo da cultura.

As equações também permitem estabelecer a melhor época para o cultivo do feijoeiro do ponto de vista térmico, bem como, permitem isolar o efeito da temperatura média diária do ar nas produtividades obtidas sob diferentes regimes térmicos.

Verificou-se que os valores do coeficiente linear (b) e do coeficiente angular (m) das equações de regressão da Tabela 4 estavam correlacionados li-

TABELA 3. Períodos em que os coeficientes de correlação linear "r", entre a produtividade final do feijoeiro e a temperatura média diária do ar, foram significantes.

| Nível de significância de "r" | Períodos significantes (dias) | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---------|---------|
| 1% | (30-40) | (10-40) | (60-80) |
| 2% | (10-50) | (10-80) | (0-80) |
| 5% | (10-70) | (60-70) | (30-50) |

nearmente. A equação de regressão encontrada foi:

$$b = -21,7 m + 1.213,$$

com um coeficiente de correlação $r = -1,00$, significativo ao nível de 0,1%. Em decorrência, as equações da Tabela 4 poderiam ser representadas por uma equação do tipo:

$$Y = m (T - 21,7) + 1.213$$

na qual, os valores de m são os específicos para cada período, contidos na Tabela 4.

A equação acima mostra que se a temperatura média diária no período fosse 21,7°C, a produtividade seria 1.213 kg/ha. Acima ou abaixo de 21,7°C, a produtividade aumentaria ou diminuiria, respectivamente, em uma taxa definida pelo coeficiente angular m do período.

Taxas de variação da produtividade por efeito da temperatura do ar

As taxas médias diárias de acréscimo da produtividade, por 1°C de aumento na temperatura média diária dos períodos, foram calculadas a partir dos coeficientes angulares das equações de regressão da Tabela 4. Estes valores estão contidos na Tabela 5, em ordem decrescente.

A Tabela 5 mostra que o maior acréscimo médio diário ocorreu no período de 30 a 40 dias, que correspondeu à diferenciação floral. Isto revela que este foi o período no qual a variação de temperatura média diária do ar influenciou com maior intensidade na produtividade. O período é o mesmo em que ocorrem os maiores valores de eficiência fotossintética (Brandes et al. 1973).

Acréscimos de segunda ordem ocorreram nas fases de crescimento e diferenciação floral (10-40

dias), na diferenciação floral e no início da floração (30-50 dias) e frutificação (60-70 dias).

De uma maneira geral, os acréscimos passam a ser menores à medida que os períodos aumentam ou se afastam do período de 30 a 40 dias.

Limiar térmico da produtividade

O limiar térmico da produtividade é a menor temperatura média diária do período que condicionaria uma produtividade nula. Os seus valores, indicados na Tabela 6, foram determinados a partir das equações de regressão da Tabela 4, fazendo-se a produtividade igual a zero.

Verifica-se que o limiar térmico da produtividade decresceu com a idade da planta. Na fase vegetativa e na primeira etapa do florescimento, compreendidas no período de 10 a 50 dias, o limiar

TABELA 5. Taxas médias diárias de acréscimo de produtividade do feijoeiro, por 1°C de aumento na temperatura média diária, nos períodos do ciclo da cultura, em que o coeficiente de correlação foi significativo.

| Períodos (dias) | Acrescimos de produtividade (kg/ha . dia . °C) |
|-----------------|--|
| (30-40) | 43,60 |
| (30-50) | 24,84 |
| (60-70) | 24,00 |
| (10-40) | 22,20 |
| (10-50) | 15,72 |
| (60-80) | 10,97 |
| (10-70) | 6,76 |
| (0-80) | 5,11 |
| (10-80) | 4,86 |

TABELA 4. Equações lineares de regressão entre a produtividade final do feijoeiro Y (kg/ha) e a temperatura média diária do ar T (°C), nos períodos do ciclo da cultura, em que o coeficiente de correlação foi significativo.

| Períodos (dias) | $Y = m (T) + b$ | r | Significância de r (%) |
|-----------------|--------------------------|------|--------------------------|
| (30 a 40) | $Y = 436,0 (T) - 8.327$ | 0,99 | 2 |
| (10 a 40) | $Y = 661,1 (T) - 13.186$ | 0,99 | 2 |
| (60 a 80) | $Y = 219,5 (T) - 3.413$ | 0,98 | 2 |
| (10 a 50) | $Y = 629,0 (T) - 12.409$ | 0,97 | 5 |
| (10 a 80) | $Y = 340,5 (T) - 6.178$ | 0,96 | 5 |
| (0 a 80) | $Y = 409,1 (T) - 7.657$ | 0,96 | 5 |
| (10 a 70) | $Y = 405,8 (T) - 7.629$ | 0,96 | 5 |
| (60 a 70) | $Y = 240,0 (T) - 4.141$ | 0,95 | 5 |
| (30 a 50) | $Y = 496,9 (T) - 9.522$ | 0,95 | 5 |

TABELA 6. Limiar térmico de produtividade para os períodos do ciclo da cultura, em que o coeficiente de correlação foi significante.

| Períodos (dias) | Limiar térmico de produtividade (°C) |
|-----------------|--------------------------------------|
| (10-40) | 20,0 |
| (10-50) | 19,7 |
| (30-50) | 19,2 |
| (30-40) | 19,1 |
| (10-70) | 18,8 |
| (0-80) | 18,7 |
| (10-80) | 18,1 |
| (60-70) | 17,2 |
| (60-80) | 15,6 |

térmico oscilou pouco e entre os limites de 19,1 e 20°C. Pode-se, pois, admitir que nesse período o limiar térmico da produtividade é de 20°C. Em vista disso, a cultura não deve ser plantada enquanto a temperatura média diária do ar for inferior a esse valor.

No período após a floração, o limiar térmico variou de 15,6 a 17,2°C, o que permite adotar o valor de 17°C para o período.

De uma maneira geral, o limiar térmico da produtividade foi relativamente constante e elevado até o 50º dia do ciclo da cultura, a partir de quando apresentou um rápido decréscimo. O limiar térmico, médio de todo o ciclo da cultura, variou de 18,1 a 18,8°C, o que condiciona a adoção do valor de 19°C para o parâmetro. Este valor é próximo e superior ao de 18°C, aceito como a menor temperatura média do ciclo da cultura necessária ao seu desenvolvimento normal (Borwell & Jones 1941, Martin & Leonard 1949 e Vieira 1967).

Em vista do que foi exposto, a cultura apresenta, como limiar térmico da produtividade, 20°C de temperatura média diária para os primeiros 50 dias do ciclo, e 19°C, para o ciclo todo.

CONCLUSÕES

1. A produtividade final do feijoeiro mostrou-se correlacionada com a temperatura média diária,

em diferentes períodos do ciclo da cultura.

2. Os melhores períodos para a previsão da produtividade final, através de equações lineares de regressão, situaram-se do décimo ao 40º dia do ciclo da cultura.

3. As taxas médias diárias de acréscimo de produtividade do feijoeiro, por 1°C de aumento da temperatura média diária, variaram ao longo do ciclo da cultura, ocorrendo os maiores valores no período de 30 a 40 dias.

4. O limiar térmico da produtividade foi aquele verificado quando a temperatura média era de 20°C, para os primeiros 50 dias do ciclo, e de 19°C, para o ciclo todo.

REFERÊNCIAS

- BORWELL, V.R. & JONES, H.A. Climate and vegetable crop. In: ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Climate and man; yearbook of agriculture. Washington, 1941. p. 373-99.
- 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 luz e eficiência de conversão de energia solar. *Experientiae*, 15(1): 23-30, 1973.
- EL NADI, A.H. Water relations of beans. I. Effects of water stress on growth and flowering. *Expl. Agric.*, 5(3):195-207, 1969.
- FRANCO, C.M.; MIYASAKA, S. & INFORZATO, R. Alguns aspectos da fisiologia ecológica do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Campinas, 1972. *Anais...* p. 109-18
- MACKE, H.J. & SINGH, J.N. Effects of high temperature on yield and carbohydrate composition of bush snap beans. *Sci. Jour. Amer. Soc. Hort.*, 94(1):60-2, 1969.
- MARTIN, J.H. & LEONARD, W.H. Principles of crop production. New York, McMillan Co., 1949. 1176 p.
- MIYASAKA, S. Clima e solos para o feijoeiro. Campinas, Instituto Agrônômico, 1964. 46 p. Mimeografado.
- _____; CAMARGO, A.P.; INFORZATO, R. & IGUE, T. Efeitos da incorporação ao solo, de diferentes espécies e formas de aplicação de matéria orgânica não decomposta, imediatamente antes do plantio do feijão. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVACIÓN DEL SUELO, 1., São Paulo. 1966. *Anais...* p. 49-58.
- VIEIRA, C. O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento. Viçosa, UFV, 1967. 220 p.
- _____; & ALMEIDA, L.A. Experimento de espaçamento de semeadura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ceres*, 12(70):219-28, 1965.