

# DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO E EFICIÊNCIA DO FEIJOEIRO EM UTILIZAR ÁGUA E RADIAÇÃO SOLAR<sup>1</sup>

HAMILTON JUSTINO VIEIRA<sup>2</sup>, HOMERO BERGAMASCHI<sup>3</sup>, APARECIDO DOS REIS COUTINHO<sup>4</sup>,  
e LUIZ ROBERTO ANGELOCCI<sup>5</sup>

RESUMO - Objetivando estudar a influência da variação da água no solo sobre a eficiência de utilização da água e da radiação solar do feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L., (Variedades Aroana 80 e Aeté 3), instalou-se experimento em condições de campo, em duas épocas de semeadura, e intervalo de quinze dias entre si. Quando a 1ª estava no estágio de formação e desenvolvimento dos legumes e a 2ª no estágio de florescimento, suspendeu-se a irrigação por 17 dias. Paralelamente, conduziu-se tratamento com ampla disponibilidade hídrica no solo. Foram determinados: evapotranspiração, fenologia, índice de área foliar, radiação solar incidente, acúmulo de matéria seca da parte aérea, conteúdo energético da biomassa e eficiência da cultura na utilização da água e da radiação solar para o acúmulo de biomassa e de energia da parte aérea das plantas. A cv. Aeté 3 apresentou maior eficiência de utilização da água e da radiação solar do que a cv. Aroana 80. O tratamento com deficiência hídrica apresentou-se, sempre, menos eficiente que o sem deficiência hídrica. O conteúdo energético dos componentes da biomassa variou no decorrer do ciclo da cultura e em função dos níveis de umidade do solo.

Termos para indexação: deficiência hídrica, evapotranspiração, fotossíntese, calorimetria, conversão energética, *Phaseolus vulgaris*.

## INFLUENCE OF SOIL WATER AVAILABILITY ON THE BEAN PLANT EFFICIENCY IN UTILIZING WATER AND SOLAR RADIATION

ABSTRACT - This study aimed at observing the influence of available variation on the efficiency of two bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties (Aroana 80 and Aeté 3). Two different sowing times (time interval of 15 days) were used. Irrigation was suspended over a 17 days period when plants of the first plots were at pod formation and development stage, and plants of the second plot at bud formation stage. A treatment with high values of available water over the whole growing period, was also included. The two different varieties were observed within the following parameters: water consumption, (water balance, tensiometer method), phenology, leaf area index, incident solar radiation, dry matter and calorimetric contents in aerial biomass and plant efficiency concerning conversion of water and solar radiation into energy and biomass. The cv. Aeté 3 showed higher efficiency in the parameters studied compared to the cv. Aroana 80. Water deficit treatment was less efficient than the treatment without water stress. Energy content of biomass components varied during the culture cycle and related to the soil unit levels.

Index terms: water deficit, evapotranspiration, photosynthesis, energy conversion, calorimetry, *Phaseolus vulgaris*.

## INTRODUÇÃO

Muitos autores têm-se preocupado em pesquisar a eficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) quanto à utilização da água e da radiação solar na produção de matéria seca e no acúmulo de energia. Porém, poucos são os trabalhos que determinam os vários parâmetros envolvidos; normalmente, utilizam dados médios propostos pela pouca bibliografia existente, como é o caso do conteúdo energético da matéria seca da cultura.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 25 de abril de 1990. Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor, defendida na ESALQ/USP, Piracicaba, SP, julho/84.

<sup>2</sup> Eng.-Agr., M.Sc., Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária (EMPASC), Caixa Postal 200, CEP 89460 Canoinhas, SC.

<sup>3</sup> Eng.-Agr., Dr., Prof.-Adjunto da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Porto Alegre, RS, Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Doutorando em Física Aplicada - Instituto de Física da UNICAMP, Caixa Postal 6165, CEP 13100 Campinas, SP.

<sup>5</sup> Eng.-Agr., M.Sc., Prof.-Assistente da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, Bolsista do CNPq.

Os estudos realizados neste campo geralmente procuram o melhor arranjo entre os fatores de produção, para que a cultura alcance maior eficiência e, conseqüentemente, maior economia no consumo de água, maior produção de biomassa e maior relação semente/biomassa. Esses arranjos são grandemente influenciados pelas variedades (Liu et al. 1973, Gardiner et al. 1979, Kueneman et al. 1979, Badilla Ignacio et al. 1981, Diaz & Jesue Kohashi 1982), pelo índice de área foliar (Alvim & Alvim 1969), pelo espaçamento e arquitetura foliar (Enyi 1975, Gardiner et al. 1979, Badilla Ignacio et al. 1981) e pela profundidade das raízes (Sponchiado 1985). A determinação da eficiência de uma cultura é feita em função da biomassa total (gramas de matéria seca), geralmente adotando-se valores médios do conteúdo energético, quer seja de parte da planta, quer da parte aérea ou de toda a planta. No entanto, o conteúdo energético de cada componente é diferente (Cummins & Wuycheck 1971), assim como o é para as espécies e variedades (Nair et al. 1973, Bliss 1962, Long 1934, Golley 1960, Paine 1971). Isto faz com que as eficiências determinadas, tanto no aproveitamento da radiação solar quanto no consumo de água, sejam superestimadas ou subestimadas dependendo da relação entre o peso dos componentes da biomassa e o conteúdo energético de cada um desses componentes ou das fases de desenvolvimento da cultura. Com o objetivo de estudar parte desta variabilidade, realizou-se este trabalho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de campo foi conduzido na área experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, e os trabalhos de laboratório foram desenvolvidos nas dependências do Centro de Estudos de Energia Nuclear da Agricultura CENA/USP, no município de Piracicaba, SP, a uma latitude de 22,7°S, longitude de 47,6°O e a uma altitude de 586 metros.

O clima da região é do tipo fundamental Cwa, pela classificação de Köppen e o solo foi descrito e classificado como terra roxa estruturada.

Foram utilizadas duas cultivares de feijoeiro, sendo ambas de hábito de crescimento indeterminado do tipo II (CIAT s.d.). Estas cultivares, Aroana 80 e Aeté 3 têm, em média, o início de floração aos 35 dias após a emergência, e a duração de seu período de desenvolvimento (emergência-maturação fisiológica), em média, de 95 dias (Instituto Agrônomo de Campinas 1982).

A densidade de sementeira foi de 200.000 plantas por hectare com o espaçamento de 0,1 m entre plantas e 0,5 m entre linhas. Foram utilizadas duas épocas de sementeira: 22.07.83 e 04.08.83. Em cada época de sementeira, foi aplicado um período de deficiência hídrica no solo, provocada pela interrupção da irrigação por um período de dezessete dias a partir do dia 25 de setembro. Neste período, a primeira época encontrava-se no estágio de formação e desenvolvimento de vagens, e a segunda época, no estágio de floração. Paralelamente a este tratamento de deficiência hídrica, conduziu-se um tratamento sem interrupção da irrigação, permanecendo as parcelas com o potencial matricial da água do solo sempre acima de - 0,5 MPa durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Para o cálculo da água utilizou-se o método do balanço hídrico no campo, por meio de tensiômetros (Vieira 1984 e Bergamaschi 1984).

A radiação solar global incidente foi medida por meio de um piranômetro Eppley com dez junções e constante de  $3,5 \times 10^{-6} \text{ m.V.W.m}^{-2}$ , acoplado a sistema registrador.

A observação dos estádios fenológicos foi feita segundo critérios adotados por Fehr & Canivess (1977) para a cultura da soja, adaptada à escala proposta pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (1983) de maneira que as fases caracterizadas foram:

- V<sub>1</sub> - Emergência
- R<sub>5</sub> - Aparecimento das gemas florais
- R<sub>0</sub> - Início da floração
- R<sub>7</sub> - Início da formação de legumes
- R<sub>8</sub> - Início da formação de grãos
- R<sub>9</sub> - Maturação fisiológica

Para a determinação da massa da matéria seca da parte aérea do feijoeiro, fizeram-se amostragens de cinco plantas contidas em 0,5 metros de linha, com três repetições por tratamento. Após a coleta, essas plantas eram lavadas em água corrente, sendo posteriormente separadas da biomassa total em: caule incluindo pecíolos, folíolos e legumes, incluindo os grãos. Posteriormente, sofriam a secagem em estufa de ventilação forçada, a uma temperatura de  $75 \pm$

5°C até atingirem massa constante. O índice de área foliar foi obtido a partir da massa de folhas secas e da área foliar específica de cada tratamento, sendo esta determinada por meio da retirada de discos foliares de área conhecida.

Na determinação do conteúdo de energia dos componentes da parte aérea, foram utilizadas as mesmas amostras da determinação do peso seco. Foram feitas, por meio de um calorímetro, três determinações por data de amostragem (Lieth 1975, Cummins & Wuycheck 1971).

O cálculo da eficiência de utilização da radiação solar foi feita por meio da equação:

$$Ef\% = \frac{TPMS \times C.E. \times 100}{Rd \times 0,45} \quad \text{sendo:}$$

TPMS - Produção de matéria seca no período considerado (g).

C.E. - Conteúdo de energia na matéria seca ( $\text{cal g}^{-1}$ ).

Rd - Radiação solar global incidente no período considerado (cal);  
0,45 fator para transformar a radiação solar global em radiação utilizada em fotossíntese (Alvim & Alvim 1969).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Acúmulo da biomassa

**Cultivar Aroana 80** - A Fig. 1 representa o acúmulo de matéria seca de caules mais pecíolos, folhas, legumes mais grãos, e o somatório destes na primeira época de semeadura. Para os dois tratamentos, o desenvolvimento das plantas foi semelhante; diferiram entre si pelos valores absolutos da massa de matéria seca. Na curva representativa do acúmulo da matéria seca total (parte aérea), nota-se um

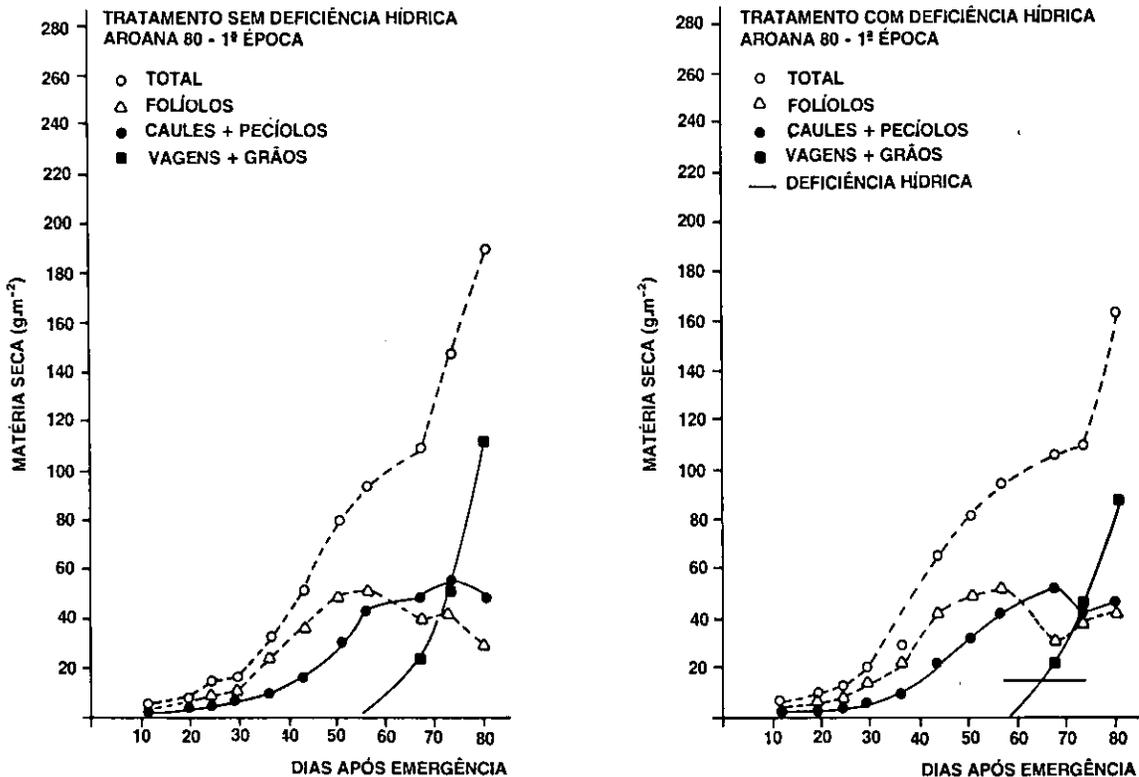


FIG. 1. Massa da matéria seca ( $\text{g.m}^{-2}$ ) da parte aérea e de seus componentes do feijoeiro, cultivar Aroana 80, na primeira época de semeadura (22.07), com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

decréscimo durante a formação de legumes. Este decréscimo foi causado por um decréscimo na massa de caules e pecíolos e de folíolos no mesmo período, sendo que a curva representativa do acúmulo de matéria seca de grãos mais legumes não foi afetada significativamente, obedecendo a um comportamento normal. Este comportamento pode ser explicado, em parte, pelo desenvolvimento de sumidouros ("sink") na planta, representados pelos legumes e grãos que exigem os produtos fotoassimilados das partes fotossinteticamente ativas e dos armazenados nos caules, ramos e folhas mais velhas. Por outro lado, pode ter havido perda das folhas inferiores, já com as reservas esgotadas e sombreadas, sem que estas pudessem ter competido pelos assimilados depositados e produzidos nas fontes ("sources"). Trabalho realizado por Fraser & Bidwell (1974) mostrou que existe grande variação tanto na quantidade como na qualidade de assimilados em função do tipo de fontes e sumidouros, de maneira que a simples formação de uma folha nova afeta de maneira significativa o equilíbrio existente na planta com relação a açúcares, amido, e outros. Ainda com relação a este decréscimo, nota-se que o dos folíolos foi maior em relação ao de caules, ramos e pecíolos, isto porque estes apenas diminuem de peso pelo carreamento dos fotoassimilados armazenados, enquanto o armazenamento neles é diminuído ou até paralisado. No tratamento com déficit hídrico houve maior recuperação após o reinício da irrigação, mostrando que este déficit acentuou a queda de reservas acumuladas ou de folhas, e que as plantas reiniciaram a emissão de novas folhas e a produção de assimilados em maior quantidade. O peso seco dos folíolos apresentou variação em decorrência da deficiência hídrica, mas o peso seco das vagens mais grãos não foi afetada.

A principal diferença entre os dois tratamentos foi com relação aos valores absolutos, tendo o tratamento com irrigação em todo o ciclo acumulado mais matéria seca em todas as partes do que o tratamento com déficit hídrico.

Esta deficiência deu-se principalmente no acúmulo de matéria seca em legumes e grãos,

componente este que estava maior, desenvolvido por ocasião do tratamento em questão.

Na segunda época de semeadura (Fig. 2), o tratamento de déficit hídrico atuou de maneira intensa principalmente na formação e na expansão de novas folhas e no desenvolvimento dos caules, fazendo com que o peso de folhas e caules deste tratamento não atingisse os valores iguais ao do tratamento com irrigação por ocasião do início de formação de legumes e grãos. É possível que isto se deva a que, com o início da irrigação, a reemissão e o desenvolvimento de novas folhas e de ramos, tenham provocado competição por assimilados com legumes e grãos, reduzindo a formação destes elementos e, conseqüentemente, diminuindo o peso total das plantas.

A comparação entre as duas épocas não irrigadas mostra que o déficit hídrico, por atuar em duas etapas diferentes da cultura, causou comportamento distinto. Na primeira época, o déficit hídrico acelerou a senescência das plantas, fato verificado nas curvas representativas do acúmulo de matéria seca de folhas, vagens e grãos, do IAF e da duração do ciclo.

O acúmulo maior de matéria seca na segunda época em relação à primeira, talvez tenha sido em função do aparecimento de um surto de ferrugem na primeira época, já que a quantidade de radiação solar durante todo o ciclo foi semelhante para as duas épocas e que, até o período de máximo desenvolvimento, a incidência de radiação solar foi maior na primeira época, quando se considera o mesmo período do ciclo, ou seja, emergência ao início de floração.

**Cultivar Aeté 3** - A cultivar Aeté 3, de maneira geral, mostrou a mesma resposta ao tratamento de deficiência hídrica em relação à cultivar Aroana 80, diferindo apenas em termos de valores absolutos. Na Fig. 3 nota-se que a diminuição do peso de folíolos, caules e pecíolos ocorre a partir da maior intensidade de formação de legumes e grãos, fato que pode ser explicado pela relação fonte/sumidouro. Quanto ao acúmulo de matéria seca de caules,

nota-se que o tratamento não irrigado tem valores de massa maiores em relação ao sem deficiência hídrica. A explicação pode estar no fato de que o déficit hídrico alterou o desenvolvimento da planta, fazendo com que elas alongassem o caule, emitindo guia longa e mais flores nos nódios adicionais, compensando aquelas não viáveis devido ao efeito do estresse hídrico. Com isto, houve acúmulo maior de matéria seca nos caules, provavelmente exigiu maior quantidade de assimilados produzidos pelas folhas em detrimento da formação de grãos e legumes.

Para a segunda época, Fig. 4, o mesmo comportamento foi notado em ambos os tratamentos de água no solo, embora a cultivar Aetê 3 não tenha sofrido ataque de ferrugem. Este comportamento é coerente visto não te-

rem ocorrido diferenças meteorológicas acentuadas entre uma época e outra. O efeito da deficiência hídrica em dois distintos estádios de desenvolvimento também se fez notar no atraso em atingir o ponto de máximo acúmulo de matéria seca da segunda época, em relação à primeira época, em termos de caules, ramos, pecíolos e folíolos, isto porque, possivelmente, quando da ocorrência da deficiência hídrica, o IAF da primeira época já tinha atingido o seu valor máximo, afetando apenas a formação de caules e ramos, por emissão de novos guias e flores. Na segunda época, o IAF ainda não tinha atingido o seu valor máximo, tendo então a deficiência hídrica, além dos caules, também na formação das folhas, causando um atraso na produção de novas folhas, pois o IAF só atingiu seu valor máximo após o reinício da irrigação.

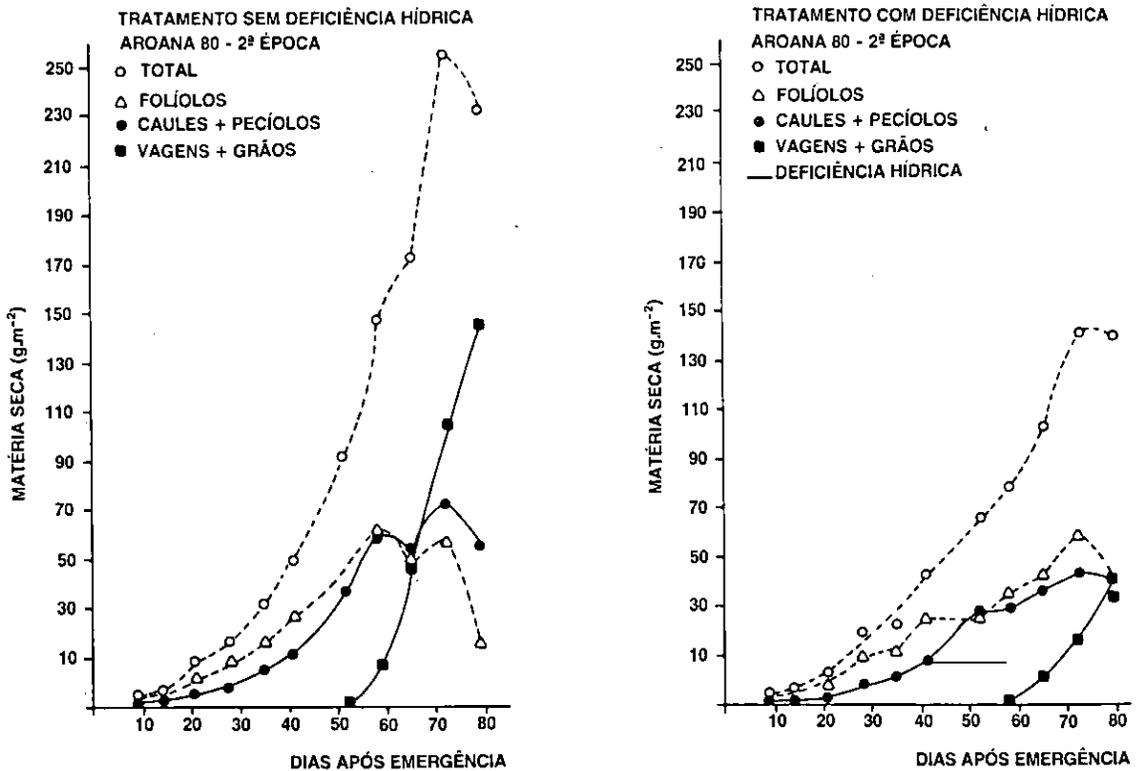


FIG. 2. Massa da matéria seca ( $\text{g.m}^{-2}$ ) da parte aérea e de seus componentes do feijoeiro, cultivar Aroana 80, na segunda época de semeadura (04.08), com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

### Acúmulo de matéria seca Aroana 80 e Aeté 3

O acúmulo de matéria seca de um modo geral obedeceu a mesma seqüência, tendo, no entanto, a cultivar Aeté 3 produzido mais matéria seca de todos os componentes considerados. As diferenças estiveram em função da emissão da guia pela variedade Aeté 3, e a sua constância na duração do ciclo nos tratamentos irrigado e não irrigado. Por sua vez, além de não emitir guia a cultivar Aroana 80 apresentou maior abscisão de folhas inferiores quando submetida ao déficit hídrico. Esta cultivar teve o ciclo reduzido pelo déficit hídrico na primeira época, ocorrendo o contrário na segunda semeadura.

### Conteúdo energético da matéria seca

**Folhosos** - Comparando os valores energéticos das folhas das duas cultivares (Fig. 5) verifica-se que os valores iniciais são semelhantes, em torno de 4.750 cal/g.m.s. Após este período de estabelecimento das plantas, houve um aumento quase contínuo destes valores, até atingir valores máximos de, aproximadamente, 5.250 cal/g.m.s. em torno dos 60 dias após a emergência. Atingidos os valores máximos ocorreu um decréscimo posterior nos valores de conteúdo de energia, salvo para as primeiras épocas de semeadura. Tanto os valores máximos como mínimos foram semelhantes, quando comparados os tratamentos com e sem

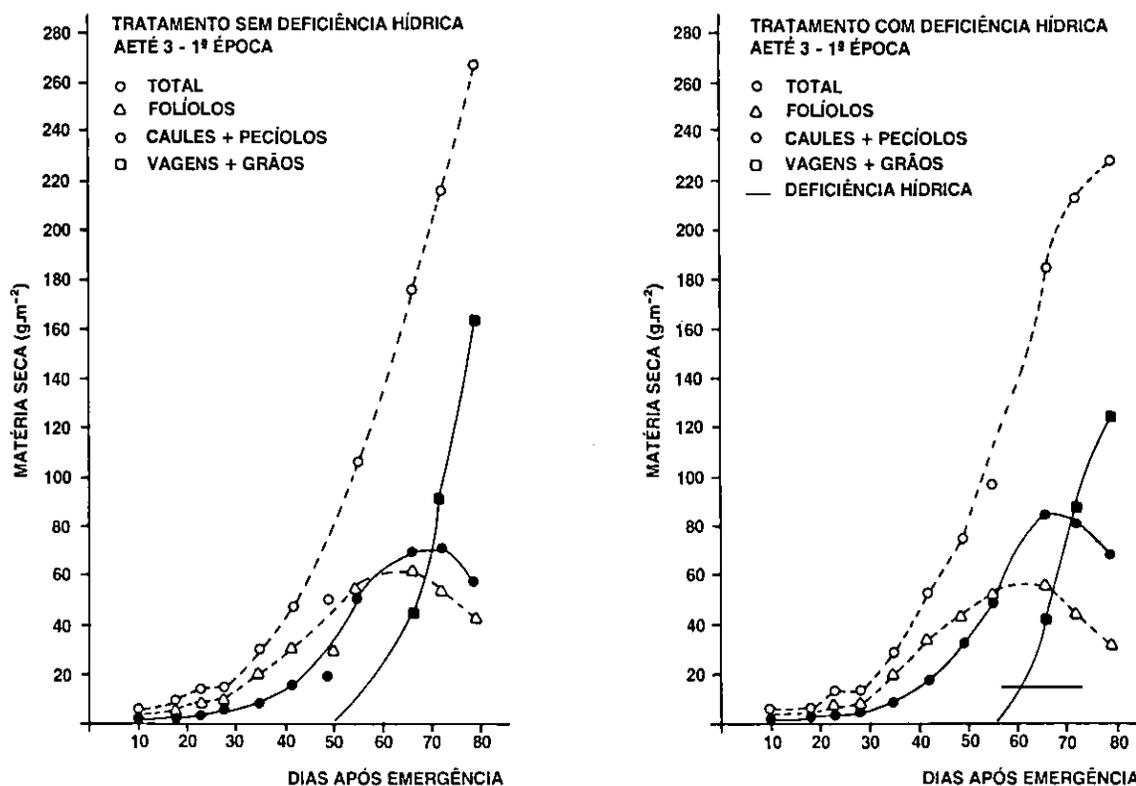


FIG. 3. Massa da matéria seca ( $\text{g.m}^{-2}$ ) da parte aérea e de seus componentes do feijoeiro, cultivar Aeté 3, na primeira época de semeadura (22.07), com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

suspensão da irrigação. Contudo, estes valores máximos ocorreram no período reprodutivo da cultura, o que concorda com os resultados obtidos por Bliss (1962) para diversas espécies utilizadas.

A principal influência do período de deficiência hídrica no conteúdo de energia das folhas foi constatada na taxa de incremento dos seus valores ao longo do ciclo da cultura e não tanto nos extremos atingidos em cada tratamento. Nos tratamentos com suspensão da irrigação na segunda época os valores máximos do conteúdo de energia foram atingidos antes do tratamento sem deficiência hídrica.

A variação do conteúdo energético das folhas, encontrada durante o ciclo de desenvolvimento da cultura para as cultivares e tratamentos de água no solo, pode ser causada por

uma série de fatores. Primeiramente, deve-se considerar que a determinação deste parâmetro foi feita englobando a mistura de todas as folhas do dossel. Sabe-se que a proporção entre folhas jovens em desenvolvimento e as já desenvolvidas é dinâmica, sendo muito maior no início do desenvolvimento das culturas anuais. No início de seu desenvolvimento a folha necessita de fotoassimilados de outras partes da planta (Fraser & Bidwell 1974, Swanson & Hoddinott 1978, Gilford & Evans 1981), seja de outras folhas fotossinteticamente ativas ou de outros órgãos com reservas disponíveis (Swanson & Hoddinott 1978). Este suprimento permite que ela se desenvolva até atingir a auto-suficiência fotossintética, quando então irá produzir fotoassimilados para a sua manutenção, armazenamento e exportação.

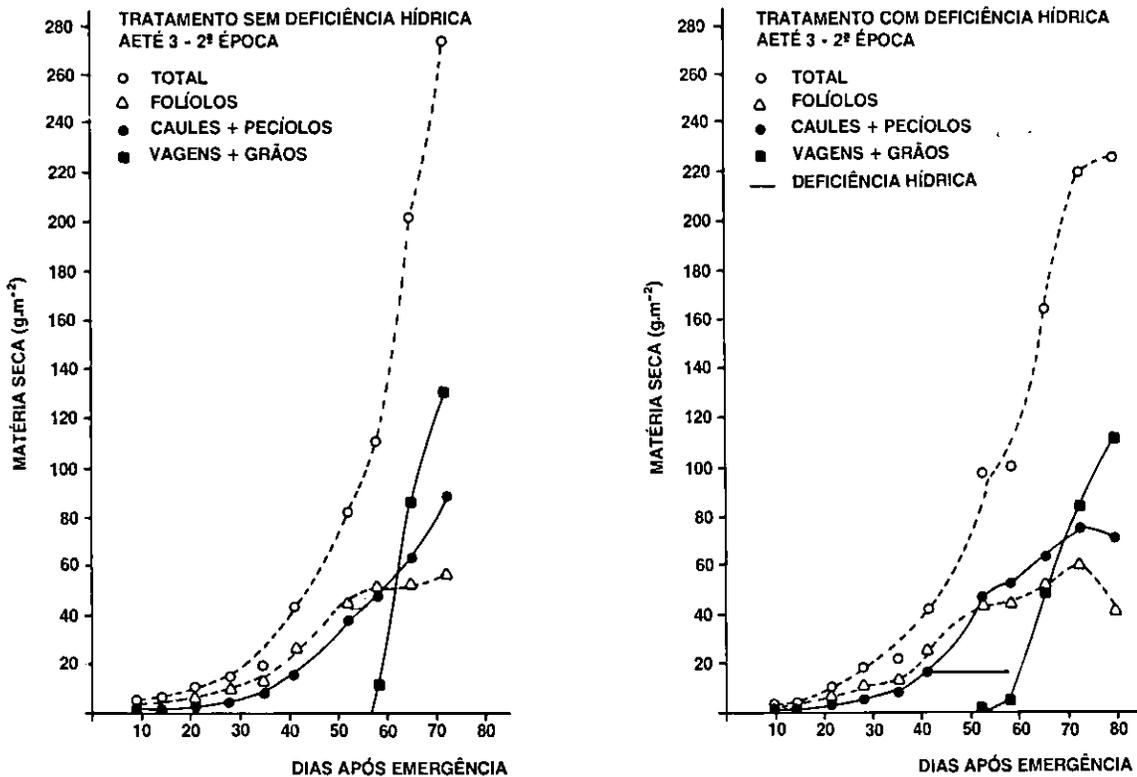


FIG. 4. Massa da matéria seca ( $\text{g.m}^{-2}$ ) da parte aérea e de seus componentes de feijoeiro, cultivar Aeté 3, na segunda época de semeadura (04.08), com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

Até que a planta de feijoeiro atinja seu período reprodutivo, ocorre o desenvolvimento, crescimento e aparecimento de novas folhas. Provavelmente, este fator faz com que as folhas já formadas não armazenem os fotoassi-

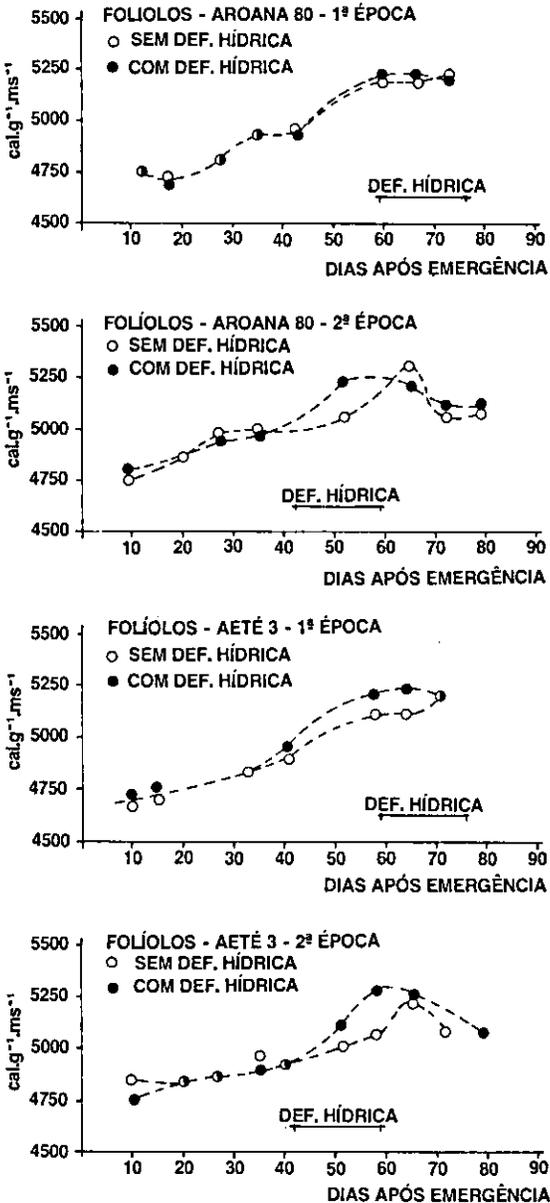


FIG. 5. Conteúdo energético da matéria seca (cal.g<sup>-1</sup>) de folhas de feijoeiro, cultivares Aroana 80 e Aeté 3, em duas épocas de semeadura, com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

milados em quantidade apreciável, tendo, portanto, um valor energético, por grama de matéria seca, baixo. À medida que avança o desenvolvimento da planta, a proporção de folhas já formadas e ativas em relação às jovens torna-se maior (Gardiner et al. 1979), a demanda global de fotoassimilados pelas folhas em formação torna-se menor em relação aos produzidos e o produto restante é armazenado no caule e nas próprias folhas. Com início do período reprodutivo surgem novos sumidouros ("sink"), representados agora pelos órgãos de reprodução (flores, legumes e grãos). As reservas de assimilados nas folhas e caules são carregadas para estas partes (Fraser & Bidwell 1974, Camargo & Castro 1979, Gilfford & Evans 1981), diminuindo o conteúdo energético destas folhas, fato comprovado por Long (1934) para o girassol, e Hunt (1966) para gramíneas forrageiras. Juntamente com este processo pode ocorrer que, tendo a cultura atingido certo índice de área foliar, as folhas localizadas na parte inferior do dossel estejam sendo sombreadas, fazendo com que elas não sejam produtoras de assimilados mas sim consumidoras, pois o produto da fotossíntese é inferior ao produto consumido pelo processo respiratório (Badilla Ignacio et al. 1981, Brandes 1971). A diminuição dos valores de conteúdo energético das folhas continuariam, até ocorrer uma drástica redução no processo fotossintético, quando, então, com os grãos já formados, e devido ao esgotamento das reservas das folhas, os valores energéticos se estabilizariam em valores correspondentes aos da celulose.

Com relação à diferença do conteúdo energético entre os tratamentos de água no solo, pode-se supor que ela não tenha sido causada pela proporção entre as folhas desenvolvidas e em formação como no caso da variação ao longo do ciclo da cultura; isto porque, como se vê na Fig. 6, os valores de IAF da cultivar Aeté 3 não apresentaram grandes diferenças nos valores de conteúdo energético desta cultivar, mas foram, pelo menos semelhantes aos tratamentos da variedade Aroana 80.

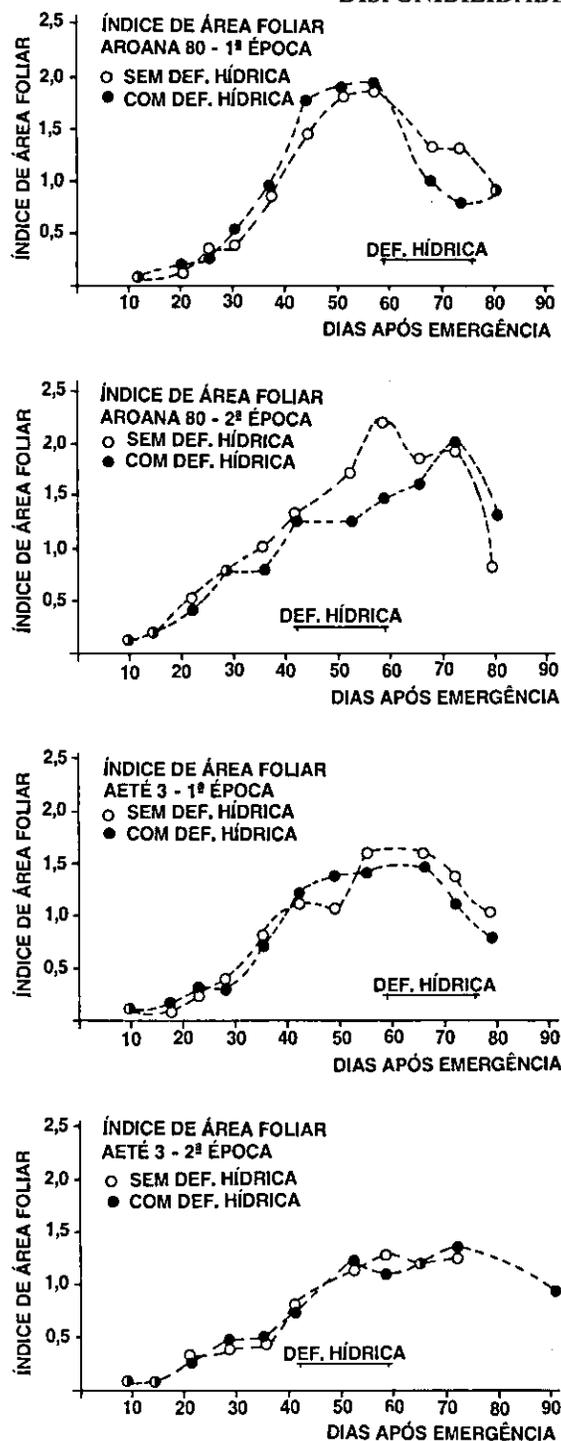


FIG. 6. Índice de área foliar (IAF) do feijoeiro, cultivares Aroana 80 e Aeté 3, em duas épocas de semeadura, com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

Coerentemente à hipótese anterior, observa-se que máximos de IAF da segunda época de semeadura foram atingidos após o período de suspensão da irrigação, independentemente do tratamento de água no solo aplicado, o que mostra que no período em que ocorreram as diferenças de conteúdo energético desta época de semeadura havia uma quantidade apreciável de folhas em formação. Desta maneira, resta a hipótese de que a diferença no conteúdo energético entre o tratamento com e sem deficiência hídrica no período de suspensão da irrigação seja função de maior concentração de produtos assimilados nas folhas do tratamento de deficiência hídrica. Esta concentração mais elevada de produtos fotossintéticos nas folhas tanto pode ter sido causada por acúmulo decorrente do estresse hídrico (Stewart et al. 1965), ou, então, devido a uma diminuição da exportação desses produtos (Gilfford & Evans 1981). Outro fator que pode ter contribuído para o aumento dos valores energéticos seria uma diminuição na concentração, nas próprias folhas, do P e K, que, segundo Kattan & Fleming (1956), pode ocorrer em período de seca.

**Caules e pecíolos** - Os valores iniciais de conteúdo energético dos caules e pecíolos tiveram um decréscimo rápido em todos os tratamentos (Fig. 7). Nenhuma diferença nítida pôde ser observada entre os tratamentos nos valores de energia por grama de matéria seca. Os valores mais altos do conteúdo energético, no início do ciclo, podem resultar de uma exportação de substâncias energéticas para os folíolos, ou seja, a cultura em processo de estabelecimento possuía seus folíolos em formação recebendo nutrientes dos cotilédones, passando estes pelos caules e ramificações (Bidulph & Cory 1964). Como as folhas, também os caules e ramificações neste estágio são verdes e menos sombreados, conseqüentemente fotossintetizantes. Pode-se supor que, a partir do momento em que eles iam sendo sombreados e a exportação inicial de nutrientes pelos cotilédones estava finalizando, os valores energéticos dos caules e ramificações atingiram um valor mínimo. Após este estágio, a

produção de assimilados, já por um número maior de folhas, aumentou consideravelmente e parte destes assimilados (amido, proteínas, sacarose, etc.) puderam ser depositados nos

caules e ramificações, aumentando o seu conteúdo energético.

### Comparação entre folíolos e caules mais pecíolos

A variação do conteúdo energético dos folíolos no decorrer do desenvolvimento do feijoeiro apresentado foi diferente do apresentado pelos caules e ramificações e pecíolos. Os valores do conteúdo energético dos folíolos tiveram sempre um acréscimo desde a determinação inicial até atingirem seus valores máximos, ao passo que, para os caules e ramificações, estes valores tiveram um decréscimo por volta dos 25 dias para, então, iniciar o aumento de seus valores. O conteúdo energético dos folíolos variou em função do tratamento de água no solo, ao passo que os caules e ramificações não apresentaram esta variação. No final do ciclo da cultura os valores do conteúdo energético dos folíolos tiveram um declínio, ao passo que os caules e ramificações apresentaram valores constantes após atingirem seus valores máximos.

Todas estas diferenças levam a supor que os folíolos possuem maior capacidade de armazenamento de substâncias mais energéticas, quando comparados com os caules e ramificações e que a proporção entre o conteúdo das substâncias destinadas aos grãos e o teor de celulose nos folíolos é superior quando comparados aos caules e que estas substâncias são móveis e mais energéticas e que o fluxo delas por meio do caule é mais ou menos constante após determinado estágio da planta, não chegando a afetar significativamente os valores de conteúdo energético dos caules e ramificações no período considerado.

### Legumes e grãos

Houve variação apreciável no conteúdo energético dos legumes mais grãos, tanto entre as datas de determinação para um mesmo tratamento, como entre os tratamentos de água no solo, independentemente da cultivar (Fig. 8). De maneira geral, essas diferenças são seme-

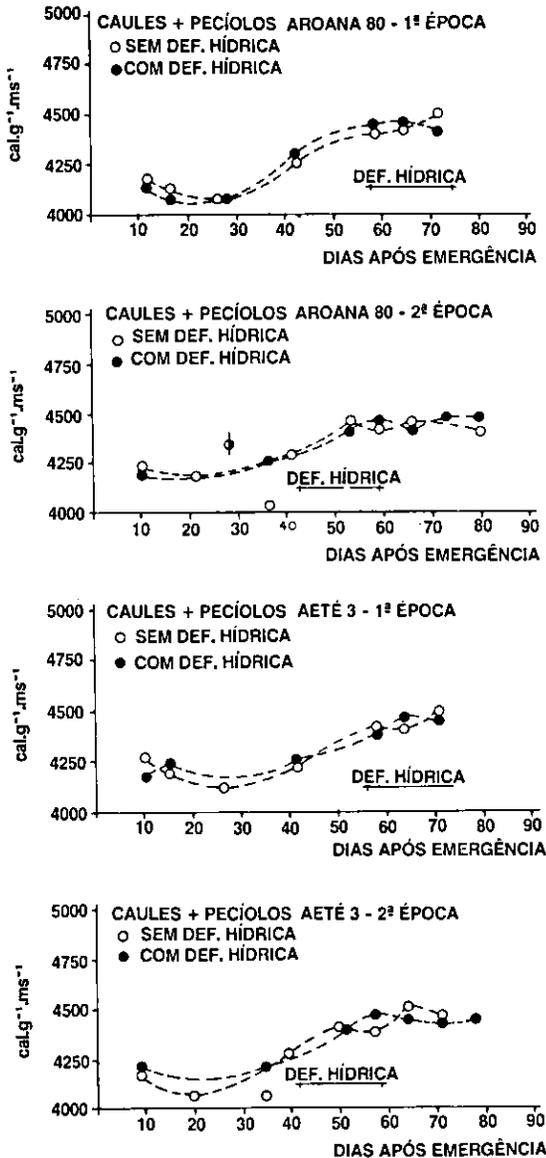


FIG. 7. Conteúdo energético da matéria seca (cal.g<sup>-1</sup>) de caules e ramificações do feijoeiro, cultivares Aroana 80 e Aeté 3, em duas épocas de semeadura, com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

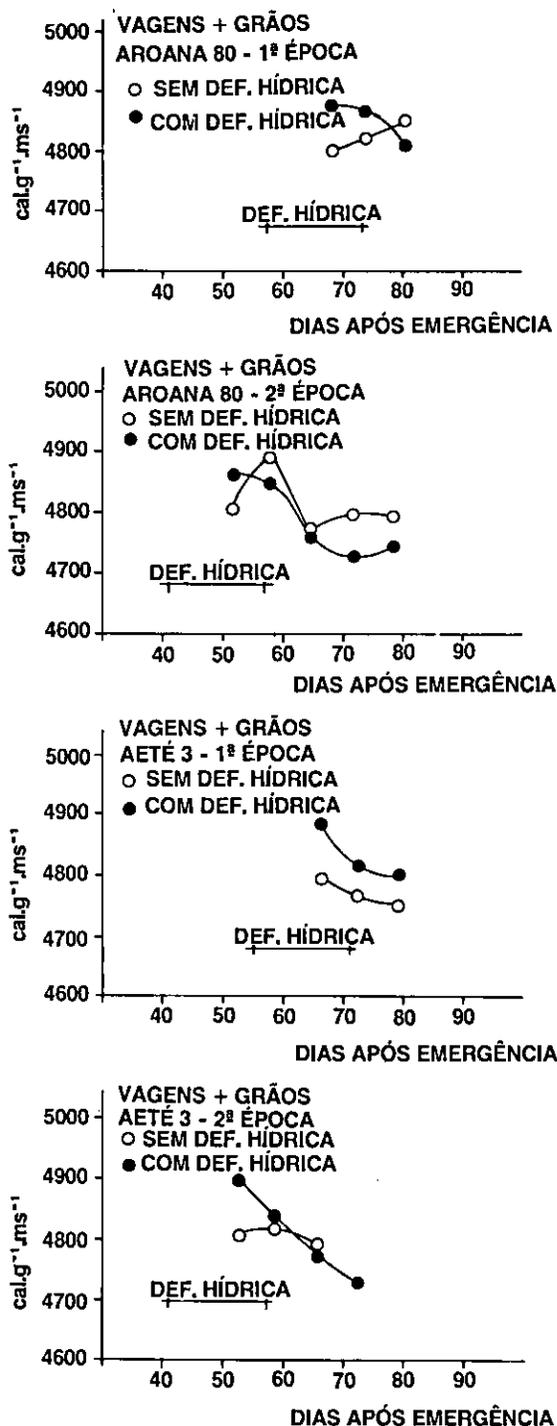


FIG. 8. Conteúdo energético da matéria seca ( $\text{cal.g}^{-1}$ ) de legumes e grãos do feijoeiro, cultivares Aroana 80 e Aeté 3. Piracicaba, 1983.

lhantes às variações apresentadas pelos folíolos, ou seja, o conteúdo energético foi menor nos tratamentos com suspensão da irrigação quando comparado aos tratamentos com deficiência hídrica.

À medida que a cultura foi se aproximando da maturação fisiológica o conteúdo energético dos legumes e grãos foi tendo uma diminuição em seus valores. Como foi referido anteriormente, esta variação pode ser fruto de uma progressão no acúmulo de substâncias não energéticas, modificando a relação material-combustível e não-combustível. Por outro lado, chama a atenção o fato de que os conteúdos finais de legumes mais grãos (em torno de 4,750 a 4,800  $\text{cal/g}$ ) são maiores do que os de somente grãos maduros (em torno de 4,600  $\text{cal/g}$ ). Isto faz supor que, ou os legumes fisiologicamente maduros possuem compostos energéticos, ou o grão em maturação fisiológica possui substâncias ainda não transformadas em reservas e que são mais energéticas antes de sua transformação definitiva.

#### Eficiência de utilização da água e da radiação solar

Na primeira época de semeadura da variedade Aroana 80, o tratamento que não sofreu a suspensão da irrigação apresentou maior acúmulo de matéria seca em relação ao tratamento com suspensão da irrigação (Tabela 1). Este menor acúmulo de matéria seca com deficiência hídrica, em parte, pode ser explicado pela redução da duração deste subperíodo e também pela própria redução da área fotossintetizante (IAF) (Fig. 3). Com relação ao acúmulo de energia da biomassa, também o tratamento com irrigação durante todo o ciclo foi superior. Constata-se que o fator que condicionou esta diferença foi o estresse hídrico, pois no estágio em que o mesmo foi aplicado (início de formação de grãos à maturação fisiológica) a diferença de acúmulo de energia entre os tratamentos foi de 20  $\text{Kcal.m}^{-2}$  em favor do tratamento sem deficiência hídrica.

O comportamento quanto à evapotranspiração foi semelhante ao do acúmulo de matéria

**TABELA 1. Acúmulo de matéria seca, energia e radiação solar, consumo de água e eficiência fotossintética de feijoeiro, cultivar Aroana 80, nas primeiras épocas de semeadura, com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.**

Períodos fenológicos <sup>1</sup>	Matéria seca (g.m <sup>-2</sup> )	Evapotranspiração (mm)	Energia acumulada (K.cal. <sup>-2</sup> )	Radiação solar incidente (cal.cm <sup>-2</sup> .0,45)	Matéria seca/água (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Energia/água (cal.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Eficiência fotossintética (%)
Primeira época (22/07)							
Sem deficiência hídrica							
V1-R7	98	226,1	445	18.158	0,43	1,97	0,25
R7-R8	4	37,9	25	1.452	0,11	0,66	0,17
R8-R9	98	203,2	435	8.959	0,48	2,14	0,48
V1-R9	200	467,2	905	28.569	0,43	1,94	0,38
Com deficiência hídrica							
V1-R7	94	216,9	440	18.158	0,43	2,03	0,24
R7-R8	5	32,3	20	1.452	0,16	0,62	0,14
V1-R8	99	249,3	460	19.610	0,40	1,85	0,23
R8-R9	67	66,3	415	7.781	1,01	6,26	0,53
V1-R9	166	315,5	875	27.391	0,53	2,77	0,32
Segunda época (04/08)							
Sem deficiência hídrica							
V1-R6	85	170,9	375	14.639	0,50	2,19	0,26
R6-R7	63	27,8	105	1.911	2,27	3,78	0,55
R7-R8	27	42,0	280	2.851	0,64	6,67	0,98
R8-R9	60	105,2	365	8.829	0,57	3,47	0,41
V1-R9	235	345,9	1.125	28.230	0,68	3,52	0,40
Com deficiência hídrica							
V1-R6	67	153,2	320	14.639	0,44	2,09	0,22
R6-R7	9	31,0	105	4.659	0,29	3,38	0,23
R7-R8	16	12,1	60	1.302	1,32	4,96	0,46
R8-R9	56	90,6	205	10.310	0,62	2,26	0,20
V1-R9	148	296,9	690	30.910	0,52	2,41	0,22

<sup>1</sup> V1-emergência; R6-início da floração; R7-início formação de legumes; R8-início formação de grãos; R9-maturação fisiológica.

seca e de energia. As reduções com deficiência hídrica podem ser devidas à diminuição da superfície transpirante (menor IAF) e a um aumento da resistência da superfície do solo à evaporação, pelo secamento superficial (Black et al. 1970).

Com relação à eficiência na utilização da água para a produção de matéria seca e o acúmulo de energia da matéria seca por milímetro de água evapotranspirada, a situação se alterou em relação ao efeito dos tratamentos de água no solo. A cultura foi mais eficiente na utilização da água para a produção de matéria seca e de energia quando sofreu a deficiência hídrica. Nos estádios iniciais do desenvolvimento, a cultura com deficiência hídrica apresentou valores de eficiência fotossintética um pouco menores em relação ao

tratamento sem deficiência hídrica, resultado talvez de diferenças experimentais devido a fatores não controlados. Durante o ciclo e durante o período de deficiência hídrica ambos tiveram valores de eficiência fotossintética de 0,32%, apesar do encurtamento do ciclo do feijoeiro no tratamento com irrigação.

Para a segunda época de semeadura do Aroana 80 os valores dos elementos estudados (Tabela 1) mostraram comportamento semelhante ao da primeira época de semeadura, salvo para matéria seca produzida por milímetro de água evapotranspirada e para a eficiência fotossintética, que também diminuíram com deficiência hídrica.

Em termos de energia da matéria seca produzida por milímetro de água evapotranspirada, esta inversão não ocorreu e o tratamento

**TABELA 2. Acúmulo de matéria seca, energia e radiação solar, consumo de água e eficiência fotossintética de feijoeiro, cultivar Aeté 3, nas primeiras épocas de semeadura, com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.**

Períodos fenológicos <sup>1</sup>	Matéria seca (g.m <sup>-2</sup> )	Evapotranspiração (mm)	Energia acumulada (Kcal.m <sup>-2</sup> )	Radiação solar incidente (cal.cm <sup>-2</sup> .0,45)	Matéria seca/água (g.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Energia/água (cal.m <sup>-2</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Eficiência fotossintética (%)
Primeira época (22/07)							
Sem deficiência hídrica							
V1-R7	126	-	580	18.538	-	-	0,31
R7-R8	2	-	55	1.348	-	-	0,41
R8-R9	140	-	635	9.496	-	-	0,67
V1-R9	266	-	1.270	29.382	-	-	0,43
Com deficiência hídrica							
V1-R7	124	224,3	600	18.538	0,55	2,67	0,32
R7-R8	13	28,3	50	1.348	0,46	1,77	0,37
R8-R9	91	54,5	430	9.496	1,67	7,89	0,45
V1-R9	228	307,1	1.080	29.382	0,74	3,52	0,37
Segunda época (04/08)							
Sem deficiência hídrica							
V1-R6	59	-	310	14.639	-	-	0,21
R6-R7	22	-	75	1.911	-	-	0,39
R7-R8	41	-	100	2.851	-	-	0,35
R8-R9	151	-	700	11.509	-	-	0,61
V1-R9	273	-	1.285	30.910	-	-	0,42
Com deficiência hídrica							
V1-R6	67	164,9	320	14.639	0,41	1,94	0,22
R6-R7	35	34,3	190	4.659	1,02	5,54	0,41
R7-R8	27	11,0	130	1.302	2,46	11,82	1,00
R8-R9	89	81,1	415	10.310	1,10	5,12	0,40
V1-R9	224	291,3	1.055	30.910	0,77	3,63	0,34

sem restrição de água foi sempre mais eficiente, apesar de ter evapotranspirado mais água do que o tratamento com restrição hídrica. A eficiência fotossintética para esta época apresentou diferença significativa entre os tratamentos de água no solo. Esta diferença foi causada principalmente pela maior produção de matéria seca e menor acúmulo de energia na matéria seca e a um aumento de ciclo no tratamento com restrição hídrica.

Na Tabela 2 são mostrados os elementos estudados para a variedade Aeté 3. A comparação da eficiência da variedade Aeté 3 no tratamento sem deficiência hídrica é feita apenas com relação ao aproveitamento da energia solar já que o consumo de água não foi estimado. Tanto na primeira como na segunda época a maior eficiência no aproveitamento da energia solar foi do tratamento sem restrição

hídrica. As fases mais eficientes com relação a estes parâmetros foram a de início de florescimento a formação de legumes (primeira época com e sem deficiência hídrica) e para a segunda época a fase formação de grãos-maturação fisiológica (sem deficiência) e início de formação de legumes e formação de grãos. Estas diferenças foram basicamente em função das fases em que ocorreram as deficiências hídricas e também devido a duração de cada uma delas, Vieira (1984), Bergamaschi (1984).

No tratamento com deficiência hídrica as eficiências de acúmulo de matéria seca e calorías por milímetro evapotranspirado foram maiores para a segunda época de semeadura e ocorreram na fase de início de formação de legumes e formação de grãos. Na primeira época isto ocorreu na fase de formação de grãos e

maturação fisiológica. Esta diferença também é função da duração e ocorrência de cada fase no ciclo, bem como é resultado do período de deficiência. Pois estas fases mais eficientes coincidiram com o período de deficiência hídrica do solo.

Quando comparadas as duas épocas de semeadura para a cultivar Aroana 80 nota-se uma superioridade dos valores dos elementos estudados na segunda época e no tratamento irrigado (Tabela 1). No tratamento sem deficiência hídrica nesta época, a cultura produziu mais matéria seca, acumulou mais energia, consumiu mais água, foi mais eficiente na produção de matéria seca e acúmulo de energia por milímetro de água evapotranspirada e também foi mais eficiente na utilização de energia solar. Para os tratamentos com restrição hídrica, a segunda época foi menos produtiva e eficiente. Como já foi referido, isto pode ser devido ao estágio distinto em que foi

aplicada a deficiência hídrica e à duração do ciclo para estes dois tratamentos.

Para a variedade Aeté 3 o comportamento com relação aos parâmetros estudados, apresentados nas Tabelas 3 e 4, foi basicamente semelhante ao da segunda época da variedade Aroana 80, dentro de cada tratamento específico. Em todos os elementos estudados, o tratamento sem restrição hídrica foi sempre mais eficiente em relação ao tratamento com deficiência hídrica.

Quando comparamos as duas variedades dentro de cada tratamento, nota-se que a variedade Aeté 3 foi superior à variedade Aroana 80 em quase a totalidade dos elementos estudados, salvo para os valores de evapotranspiração total do ciclo na segunda época com deficiência hídrica. Outra diferença apresentada entre elas é que na variedade Aeté os valores dos elementos estudados tiveram uma menor variação relativa como resultados dos

**TABELA 3.** Matéria seca da parte aérea ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), evapotranspiração (mm), energia acumulada na matéria seca ( $\text{Kcal}\cdot\text{m}^{-2}$ ), radiação solar incidente ( $\text{Cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot 0,45$ ), matéria seca produzida por unidade de água evapotranspirada ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ ), energia acumulada na matéria seca por unidade de água evapotranspirada, e eficiência fotossintética de feijoeiro, cultivar Aeté 3, na primeira época de semeadura (22.07), com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

Períodos fenológicos <sup>1</sup>	Matéria seca ( $\text{m}^{-2}$ )	Evapotranspiração (mm)	Energia acumulada ( $\text{Kcal}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Radiação solar incidente ( $\text{Cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot 0,45$ )	Matéria seca/água ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Energia/água ( $\text{Cal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ )	Eficiência fotossintética (%)
<b>Sem deficiência hídrica</b>							
V1-R5	52	-	245	14.272	-	-	0,17
R5-R6	34	-	115	1.991	-	-	0,59
V1-R6	86	-	360	16.263	-	-	0,22
R6-R7	38	-	220	2.275	-	-	0,97
V1-R7	126	-	580	18.538	-	-	0,31
R7-R8	2	-	55	1.348	-	-	0,41
V1-R8	144	-	635	19.886	-	-	0,32
R8-R9	140	-	635	9.496	-	-	0,67
V1-R9	266	-	1.270	29.382	-	-	0,43
<b>Com deficiência hídrica</b>							
V1-R5	59	170,6	275	14.272	0,35	1,61	0,19
R5-R6	30	31,0	150	1.991	0,97	4,84	0,75
V1-R6	89	201,6	425	16.263	0,44	2,11	0,26
R6-R7	35	22,7	175	2.275	1,54	7,71	8,77
V1-R7	124	224,3	600	18.538	0,55	2,67	0,32
R7-R8	13	28,3	50	1.348	0,46	1,77	0,37
V1-R8	146	252,6	650	19.886	0,58	2,57	0,33
R8-R9	91	54,5	430	9.496	1,67	7,89	0,45
V1-R9	228	307,1	1.080	29.382	0,74	3,52	0,37

<sup>1</sup> V1-emergência; R5-aparec. das gemas florais; R6-início de floração; R7-início form. legumes; R8-início form. grãos; R9-mat. fisiol.

**TABELA 4.** Matéria seca da parte aérea ( $\text{g.m}^{-2}$ ), evapotranspiração (mm), energia acumulada na matéria seca ( $\text{Kcal.m}^{-2}$ ), radiação solar incidente ( $\text{Cal.cm}^{-2}.0,45$ ), matéria seca produzida por unidade de água evapotranspirada ( $\text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ), energia acumulada na matéria seca por unidade de água evapotranspirada e eficiência fotossintética de feijoeiro, cultivar Aroana 80, na segunda época de semeadura (04.08), com e sem deficiência hídrica. Piracicaba, 1983.

Períodos fenológicos <sup>1</sup>	Matéria seca ( $\text{g.m}^{-2}$ )	Evapotranspiração (mm)	Energia acumulada ( $\text{Kcal.m}^{-2}$ )	Radiação solar incidente ( $\text{Cal.cm}^{-2}.0,45$ )	Matéria seca/água ( $\text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ )	Energia/água ( $\text{Cal.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ )	Eficiência fotossintética (%)
<b>Sem deficiência hídrica</b>							
V1-R5	43	-	220	12.296	-	-	0,18
R5-R6	16	-	90	2.343	-	-	0,38
V1-R6	59	-	310	14.639	-	-	0,21
R6-R7	22	-	75	1.911	-	-	0,39
V1-R7	81	-	385	16.550	-	-	0,23
R7-R8	41	-	100	2.851	-	-	0,35
V1-R8	122	-	585	19.401	-	-	0,30
R8-R9	151	-	700	11.509	-	-	0,61
V1-R9	273	-	1.285	30.910	-	-	0,42
<b>Com deficiência hídrica</b>							
V1-R5	48	14,6	225	12.296	0,33	1,54	0,18
R5-R6	19	18,9	90	2.343	1,01	4,76	0,38
V1-R6	67	164,9	320	14.639	0,41	1,94	0,22
R6-R7	35	34,3	190	4.659	1,02	5,54	0,41
V1-R7	108	199,2	510	19.298	0,54	2,56	0,26
R7-R8	27	11,0	130	1.302	2,46	11,82	1,00
V1-R8	135	210,2	640	20.600	0,64	3,05	0,31
R8-R9	89	81,1	415	10.310	1,10	5,12	0,40
V1-R9	224	291,3	1.055	30.910	0,77	3,63	0,34

<sup>1</sup> V1-emergência; R5-aparec. das gemas florais; R6-início de floração; R7-início form. legumes; R8-início form. grãos; R9-mat. fisiol.

tratamentos aplicados quando comparados com a variedade Aroana 80. Este comportamento foi porque a variedade Aeté 3 teve comportamento diferencial com relação a mecanismos fisiológicos de defesa ao estresse hídrico como é analisado nos comentários de acúmulo de energia da biomassa e de biomassa nos itens subsequentes.

## CONCLUSÕES

1. A variação do acúmulo de matéria seca foi, de maneira geral, semelhante à variação do acúmulo de energia em todos os componentes da biomassa.

2. O conteúdo energético dos componentes da biomassa (folíolos, caules e pecíolos, legumes e grãos) variou durante o ciclo da cultura, atingindo seus valores mais altos nos estádios de máximo desenvolvimento da cultura.

3. Houve diferenças do conteúdo energético entre os componentes da biomassa, tanto com relação aos valores absolutos em cada estádio da cultura, como nas taxas de acréscimo destes valores durante o desenvolvimento da cultura. Os conteúdos energéticos foram maiores nos folíolos quando comparados aos dos caules.

4. O período de deficiência hídrica aumentou de maneira significativa o conteúdo de energia dos folíolos, mas não dos caules.

5. O comportamento das cultivares Aroana 80 e Aeté 3, com relação ao conteúdo energético absoluto da biomassa, foi semelhante, em face dos tratamentos de água no solo e época de semeadura.

6. A cultivar Aeté 3 mostrou uma maior eficiência de utilização e da radiação solar, quando comparada com a Aroana 80.

7. O tratamento sem deficiência hídrica apresentou-se, de um modo geral, sempre mais

eficiente na utilização da água e da radiação solar.

8. O período reprodutivo, de modo geral, foi mais eficiente com relação à utilização da água e da radiação solar, independentemente do tratamento aplicado.

### AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao Dr. Epaminondas S.B. Ferraz, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pelo incentivo e facilidades concedidas aos autores deste trabalho; e à Seção de Leguminosas do IAC, na pessoa do Dr. Orivaldo Brunini, pelo inestimável apoio técnico dispensado durante o trabalho.

### REFERÊNCIAS

- ALVIM, R. & ALVIM, P. de T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em culturas exclusivas e consorciadas. *Turrialba*, 19(3):389-93, 1969.
- BADILLA IGNACIO, S.; HUGO FAIGUENBAUN, M.; FERNANDA ARZE, P.; JULIA CONCHA, V. Análisis del índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN) y duración del área foliar (DAF), en relación a rendimiento en dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Inv. Agrícola*, Chile, 7(1):15-21, 1981.
- BERGAMASCHI, H. **Perda de água e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo e na atmosfera.** Piracicaba, ESALQ/USP, 1984. 204p. Tese Mestrado.
- BIDDULPH, O. & CORY, R. Translocation of C<sup>14</sup> metabolites in the phloem of the bean plant. *Plant Physiol.*, 1964. p.119-29.
- BLACK, T.A.; TANNER, C.B.; GARDNER, W.R. Evapotranspiration from a snap bean crop. *Agron. J.*, 62:66-9, 1970.
- BLISS, L.C. Caloric and lipid content in alpine tundra plants. *Ecology*, 43:753-57, 1962.
- BRANDES, D. **Análise de crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Efeito da densidade e da época de plantio.** Viçosa, UFV, 1971. 109p. Tese Mestrado.
- CAMARGO, E. & CASTRO, P.R. de. **Translocção de solutos orgânicos.** In: FISILOGIA Vegetal I. São Paulo, EPU/USP, 1979. p.211-45.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, Cali, Colombia. **Guia de estudos. Morfologia de la planta del frijol comun (*Phaseolus vulgaris* L.).** Cali, Colombia, 1983. (Serie 04 SB-09.01, 50)
- CUMMINS, K.W. & WUYCHECK, J.C. Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. *Mitt. Inter Not., Verein-Limmol.*, 18:3-158, 1971.
- DÍAZ, M. & JESUE KOHASHI, S. Distribución de materia seca en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de campo. *Turrialba*, 32(1):19-27, 1982.
- ENYI, B.A.C. Effect of plant population on grain yield, production and distribution of dry matter in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ghana J. Sci.*, 15(2):159-69, 1975.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E. **Stages of soybeans development.** Ames, Iowa States University of Science and Technology, 1977. (Special Report, 80)
- FRASER, D.E. & BIDWELL, R.G.S. Photosynthesis and photorespiration during the ontogeny of the bean plant. *Can. J. Bot.*, 52:2561-70, 1974.
- GARDINER, T.R.; VIETOR, D.M.; CRAKER, L.E. Growth habit and row width effects on leaf area development and light interception on field beans. *Can. J. Plant Sci.*, 59:191-99, 1979.
- GILFFORD, R.M. & EVANS, L.T. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 32:485-509, 1981.
- GOLLEY, F.B. Energy dynamics of a food chain of an old-field community. *Ecology Modelling*, 30:187-206, 1960.
- HUNT, L.A. Ash and energy content of material from seven forage grasses. *Crop Sci.*, 6(6):507-9, 1966.

- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS, Campinas, SP. Realizações do IAC, Novas Cultivares. **O Agrônomo**, Campinas, 34:36, 1982.
- KATTAN, A.A. & FLEMING, J.W. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth and composition of snap beans. **Am. Soc. Hort. Sci.**, 1956. p.329-442.
- KUENEMAN, E.A.; WALLACE, D.H.; LUDFORD, P.M. Photosynthetic measurements of field-grown dry beans and their relation to selection for yield. **J. Am. Soc. Hort. Sci.**, 104(4):480-2, 1979.
- LIETH, H. Measurement of caloric values. In: LIETH, H. & WHITTAKER, R. **Primary productivity of the biosphere**. New York, Springer Verlag, 1975. cap. 5.
- LIU, P.; WALLACE, D.H.; OZBUN, J.L. Influence of translocation on photosynthetic efficiency of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiol.**, 52:412-15, 1973.
- LONG, F.L. Application of calorimetric methods to ecological research. **Plant Physiol.**, 9:323-37, 1934.
- NAIR, P.K.R.; SING, H.; MODGAL, C. Harves of solar energy throught intensive multiple cropping. **Indian J. Agric. Sci.**, 43(11):983-8, 1973.
- PAINÉ, R.T. The measurement and application of the calorie to ecological problems. **Ann. Rev. Ecol. Syst.**, 2:145-63, 1971.
- SPONCHIADO, B.N. **Avaliação do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) como um mecanismo de tolerância ao "déficit hídrico"**. Pelotas, UFPEL-FAEM, 1985. 133p. Tese Mestrado.
- STEWART, C.R.; MORRIS, C.J.; THOMPSON, J.F. Changes in aminoacid content of excised leaves during incubation. II. Role of sugar in the accumulation of proline in wilted leaves. **Plant Physiol.**, 41:1585-90, 1965.
- SWANSON, C.A. & HODDINOTT, J. Effect of light and ontogenetic stage on sink strength in bean leaves. **Plant Physiol.**, 62:454-7, 1978.
- VIEIRA, H.J. **Parâmetros hídricos e de crescimento de duas variedades de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1984. 153p. Tese Mestrado.