EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO EM DOIS CULTIVARES DE FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)

PHEBUS ALTAMIRANDO PINHEIRO ARARIPE

Orientador: Prof. Dr. RUBENS SCARDUA

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Setembro, 1984

A meus pais

OFEREÇO.

*Aos exemplos de honestidade,
força de vontade e dedicação
dos meus pais,*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me transmite fé e força de vontade em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Rubens Scardua pela orientação, amizade e apoio recebidos no decorrer do curso e na realização deste trabalho.

Ao Departamento de Química da ESALQ na pessoa do Prof. Dr. Eurípedes Malavolta pela concessão da casa de vegetação.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA - nas pessoas do Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi e do Dr. Takashi Muraoka, pelo apoio e orientação.

Aos colegas Gilenio Borges Fernandes e José Carlos Barbosa pelas orientações e sugestões para as análises estatísticas.

À Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMBRATER, pela concessão dos recursos necessários à minha participação no curso de Pós-Graduação.

À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Bahia - EMATER-BA, pela minha liberação para participação no curso de Pós-Graduação.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" por intermédio do Departamento de Engenharia Rural, pelo apoio e acolhida.

Aos demais Professores, colegas de curso e funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelas sugestões e amizade.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para o êxito deste trabalho.

Í N D I C E

Página

RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Material	10
3.1.1. Casa de vegetação.....	10
3.1.2. Cultivares	12
3.1.3. Vasos	12
3.1.4. Solo	12
3.1.5. Balança	13
3.1.6. Tensiômetros	14
3.1.7. Fertilizantes e corretivos.....	14
3.1.8. Termômetros	14
3.2. Métodos	14
3.2.1. Preparo, adubação e correção do solo.....	14
3.2.2. Plantio e desbaste	15
3.2.3. Delineamento experimental	15
3.2.4. Registro e controle da temperatura e umi- dade relativa do ar	17
3.2.5. Controle fitossanitário	17
3.2.6. Irrigação	17
3.2.6.1. Métodos de irrigação	17

3.2.6.2. Variação da tensão da água no solo	21
3.2.7. Observações fenológicas	22
3.2.8. Biometria	22
3.2.9. Dotação hídrica	24
3.2.10. Análise estatística	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Número de vagens normais	26
4.2. Número de grãos	32
4.3. Número de grãos por vagem.....	36
4.4. Matéria seca total	41
4.5. Peso do grão	47
4.6. Rendimento de grãos por vaso	53
4.7. Índice de colheita	61
4.8. Consumo de água pela cultura	65
4.9. Eficiência de uso da água	74
5. CONCLUSÕES	77
6. LITERATURA CITADA	79

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Umidade do solo em % de peso seco em função do potencial da água no solo (MPa).....	13
Tabela 2 - Valores referentes ao número médio de vagens normais por níveis de disponibilidade de água	26
Tabela 3 - Análise de variância do número de vagens normais por vaso	28
Tabela 4 - Comparação das médias do número de vagens normais entre os níveis de disponibilidade de água no solo.....	28
Tabela 5 - Análise de regressão polinomial para número de vagens normais	30
Tabela 6 - Valores referentes ao número médio de grãos por níveis de disponibilidade de água no solo	32
Tabela 7 - Análise de variância do número de grãos por vaso	33
Tabela 8 - Comparação das médias do número de grãos entre os níveis de água para os dois cultivares	35

	Página
Tabela 9 - Análise de regressão polinomial para número de grãos	37
Tabela 10- Valores referentes ao número de grãos por vagem por níveis de disponibilidade de água no solo.....	39
Tabela 11- Análise de variância do número de grãos por vagem	39
Tabela 12- Comparação das médias do número de grãos por vagem entre os níveis de água	40
Tabela 13- Análise de regressão polinomial para número de grãos por vagem	42
Tabela 14- Valores referentes ao peso médio da matéria seca total em gramas por vaso e por nível de disponibilidade de água no solo.....	44
Tabela 15- Análise de variância da matéria seca total	44
Tabela 16- Comparação dos valores médios da matéria seca total entre os níveis de água	46
Tabela 17- Análise de regressão polinomial para matéria seca total	48
Tabela 18- Valores referentes ao peso médio do grão em gramas por níveis de disponibilidade de água no solo	50

Tabela 19- Análise de variância do peso do grão.....	51
Tabela 20- Comparação das médias referentes ao peso do grão entre os níveis de água para os dois cultivares	52
Tabela 21- Análise de regressão polinomial para peso do grão	54
Tabela 22- Valores médios referentes ao rendimento de grãos em gramas por nível de disponibilidade de água no solo	56
Tabela 23- Análise de variância do rendimento de grãos	57
Tabela 24- Comparação entre médias do rendimento de grãos entre os níveis de água	58
Tabela 25- Análise de regressão polinomial para rendimento de grãos	59
Tabela 26- Valores médios referentes ao índice de colheita por níveis de disponibilidade de água no solo	61
Tabela 27- Análise da variância do índice de colheita	62
Tabela 28- Comparação das médias do índice de colheita entre os níveis de água no solo	63

Tabela 29- Análise de regressão polinomial para índice de colheita	64
Tabela 30- Consumo médio total de água em litros para os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo	65
Tabela 31- Valores médios de eficiência de uso da água em gramas, por litro, por nível de disponibilidade de água no solo	74
Tabela 32- Análise da variância da eficiência de uso da água	75

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Arranjo de equipamentos na casa-de-vegetação	11
Figura 2 - Detalhe do umedecimento do piso da casa-de-vegetação	18
Figura 3 - Arranjo do piezômetro e do tensiômetro no vaso	20
Figura 4 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para número de vagens por nível de disponibilidade de água no solo	31
Figura 5 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para número de grãos por nível de disponibilidade de água no solo	38
Figura 6 - Representação gráfica da equação linear e valores médios observados para número de grãos por vagem por nível de disponibilidade de água no solo	43
Figura 7 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para matéria seca total por nível de disponibilidade de água no solo	49

Figura 8 - Representação gráfica da equação linear e valores médios observados para peso médio do grão por nível de disponibilidade de água no solo	55
Figura 9 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para rendimento de grãos por nível de disponibilidade de água no solo	60
Figura 10- Representação gráfica da equação linear e valores médios observados para índice de colheita por nível de disponibilidade de água no solo	66
Figura 11- Representação gráfica do consumo relativo de água por nível de disponibilidade de água no solo	69
Figura 12- Representação gráfica das variações do consumo de água para os níveis T_1 e T_2 da cultivar IPA 7419, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico	70
Figura 13- Representação gráfica das variações do consumo médio de água para os níveis T_3 e T_4 da cultivar IPA 7419, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico.....	71

- Figura 14 - Representação gráfica das variações do consumo médio de água para os níveis T_1 e T_2 da cultivar Mulatinho Vagem Roxa, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico 72
- Figura 15 - Representação gráfica das variações do consumo médio de água para os níveis T_3 e T_4 da cultivar Mulatinho Vagem Roxa, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico 73
- Figura 16 - Representação gráfica dos valores médios observados para eficiência de uso da água por nível de disponibilidade de água no solo..... 76

EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO EM DOIS CULTIVARES DE FEIJOEIRO

(Phaseolus vulgaris, L.)

Phebus Altamirando Pinheiro Araripe

Orientador: Prof. Dr. Rubens Scardua

RESUMO

Estudou-se em condições de casa de vegetação a tolerância à seca de dois cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris, L.*) identificados como IPA 7419 e Mulatinho Vagem Roxa combinados com 4 níveis de irrigação, resultando em 8 tratamentos distribuídos em blocos ao acaso com 4 repetições. Em todos os níveis o potencial da água no solo atingia o valor de 0,007 MPa após as irrigações de reposição, até antes do florescimento. A partir do início do florescimento estabeleceram-se 4 diferentes níveis de tensão da água atingidos pelo solo após cada irrigação de reposição cujos valores foram 0,007; 0,035; 0,061 e 0,101 MPa, níveis estes, caracterizados no presente trabalho como T_1 , T_2 , T_3 e T_4 , respectivamente. Estes valores foram mantidos até o fim do ciclo.

Quando da colheita comparou-se o número de vagens, número de grãos por vagem, número de grãos, rendimento de grãos, peso do grão, peso da matéria seca total, índice de

colheita e eficiência do uso da água.

Observaram-se diferenças significativas, entre os níveis de disponibilidade de água no solo, ao nível de 1% de probabilidade, para número de vagens, número de grãos, peso da matéria seca total, peso do grão, rendimento de grãos e índice de colheita. Ocorreram reduções em termos de rendimento de grãos da ordem de 42,8% para o cultivar IPA 7419 e da ordem de 51,1% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa, entre os níveis T_1 e T_4 .

A partir de regressões lineares entre os parâmetros observados e os valores de potencial da água no solo após cada irrigação, observou-se que o cultivar IPA 7419 apresentou maior estabilidade com relação aos efeitos do estresse de água.

EFFECT OF WATER STRESS ON TWO CULTIVARS OF BEAN

(Phaseolus vulgaris, L.)

Phebus Altamirando Pinheiro Araripe

Adviser: Dr. Rubens Scardua

SUMMARY

This work was conducted under greenhouse conditions to study the drought tolerance of bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivars IPA 7419 and Mulatinho Vagem Roxa combined with 4 levels of soil water, resulting in 8 treatments distributed in randomized blocks with 4 replicates. In all levels the soil water potential reached the value of 0,007 MPa each time they were rewatered, until the beginning of flowering. After the beginning of flowering, 4 different levels of water potential reached by the soil were established after irrigations, which were 0,007; 0,035; 0,061 and 0,101 MPa, characterized as T_1 , T_2 , T_3 and T_4 , respectively. These values were maintained until the end of the cycle.

At harvest, number of pods, number of grains per pod, number of grains, grain yield, grain weight, total dry matter, harvest index and water efficiency use were obtained.

Number of pods, number of grains, total dry matter, grain weight and harvest index, showed significant difference ($\alpha = 0,01$) among soil water levels. Grain yield reductions of 42,8% for cultivar IPA 7419 and of 51,1% for cultivar Mulatinho Vagem Roxa, were observed between levels T_1 and T_4 .

According to results showed by linear regressions among the parameters observed and values of soil water potential after irrigations, it was observed that cultivar IPA 7419 was more steady than cultivar Mulatinho Vagem Roxa to the effects of water stress.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que afetam o rendimento das culturas na região semi-árida, a deficiência hídrica pode ser considerada de fundamental importância. Nessa região onde se encontra o "polígono das secas", a precipitação pluviométrica tem sua ocorrência concentrada apenas em um período ao ano e com distribuição bastante irregular. Esses fatores adversos interferem de maneira expressiva na produção do feijão cultivado no Nordeste.

Sabe-se que o nível de água na planta é um parâmetro essencialmente dinâmico e geralmente influenciado pelas condições do solo, da atmosfera e pelo seu estágio de desenvolvimento. Assim, é imperativo o conhecimento da resposta das plantas ao déficit hídrico com relação ao período fenológico de maior demanda de água pela cultura, visando a obtenção da máxima eficiência na utilização da água no processo produtivo e o uso de cultivares que apresentam uma melhor adaptabili-

dade aos períodos de deficiência de água.

Nesse sentido, propõe-se no presente trabalho a investigação do nível de tolerância à seca, a partir da comparação de parâmetros produtivos e de crescimento de dois cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), identificados como IPA 7419 e Mulatinho Vagem Roxa, através da dotação de diferentes níveis de água no solo, quando do início do florescimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

HENCKEL (1964) define plantas resistentes à seca como aquelas em que no processo da ontogênese são capazes de se adaptarem aos efeitos da seca e as quais podem ter condições normais de crescimento, desenvolvimento e reprodução sob situações de déficit de água, em consequência de propriedades adquiridas no processo de evolução sob a influência das condições ambientais e seleção natural.

O fechamento dos estômatos em resposta ao déficit hídrico, é um poderoso mecanismo regulador da perda de água pela planta, reduzindo o desenvolvimento do estresse. Contudo TURNER (1975), refere-se que esse processo não evita completamente o incremento de estresse à planta (BEGG e TURNER, 1976).

A água é usada de forma mais eficiente pela cultura quando ocorre a abertura dos estômatos pela manhã,

que é quando são baixos os valores de temperatura do ar e déficit de pressão de vapor, bem como, o fechamento dos estômatos ao meio dia e princípio da tarde quando são altos os valores dos parâmetros referidos. A capacidade do mecanismo de resposta do estômato com relação à umidade ou ao potencial de água na folha pode proporcionar esse comportamento. Nem todas as espécies respondem diretamente à umidade, mas todas respondem ao potencial da água na folha e o nível de resposta varia com as espécies. Além disso o valor do potencial no qual começa a ocorrer o fechamento dos estômatos depende da idade, condições de crescimento e nível de estresse (TURNER e BEGG, 1981).

Uma vez que é alcançado o nível crítico de potencial da água na folha, o fechamento do estômato proporciona a redução do nível de perda de água pela cultura, bem como, do decréscimo desse potencial o que parcialmente implica na proteção da planta com relação aos efeitos adversos do declínio do potencial da água. Porém, esse decréscimo na condutância estomatal ocasiona outras consequências para a cultura, cujas citações do autor dizem respeito ao nível de transpiração, mudanças no balanço de energia da cultura e a redução do nível de assimilação de carbono (BIDINGER, 1978).

Na mais simples expressão, a produção de matéria seca pelas culturas, depende da energia solar que a planta intercepta e utiliza para converter dióxido de carbono e água em matéria seca no processo da fotossíntese (TURNER e BEGG, 1981).

BERNARDO *et alii* (1970) verificaram que existe efeito do nível de água no solo sobre a produção do feijoeiro, pois a produção diminuiu quando a tensão máxima de água permitida no solo variou no sentido decrescente.

MILLAR e GARDNER (1972) concluíram que quando o potencial de água no solo decresceu de -0,28 bar para -0,40 bar a produção de matéria seca foi reduzida em cerca de 47%.

LIMA (1978) estudando tolerância à seca em feijão encontrou que de modo geral quando a tensão de água no solo aumenta, as respostas ao crescimento vegetativo decrescem.

SILVEIRA *et alii* (1981) avaliando cultivares de feijão para a resistência à seca, observaram que a produção de grãos diminuiu à medida que o número de dias de estresse de água no solo aumentou.

SAWAZAKI *et alii* (1981) encontraram diferenças significativas entre valores de produção em cultivares de feijão submetidas a estresse hídrico.

De acordo com KRAMER (1963) se o crescimento da planta é controlado pelo déficit interno de água e turgor celular, o crescimento e a produção estão sempre correlacionados com a umidade do solo. Durante períodos de alta temperatura e baixa umidade, mesmo aquelas plantas que estão vivendo em solo com umidade próxima à capacidade de campo podem estar sujeitas a um estresse severo de água. Por outro lado, durante o

tempo frio e úmido quando a temperatura é baixa, o crescimento das plantas em solos com baixo teor de água pode não estar sujeito a estresse severo de água.

SLATYER (1967) diz que o turgor celular tem efeito direto sobre o fechamento estomatal e o alongamento celular.

RAWITZ (1969) trabalhando com feijão concluiu que o índice de crescimento foi afetado pelo decréscimo do potencial de água no solo e que o índice de crescimento decresceu mais rapidamente do que o índice de transpiração.

HSIAO (1973) diz que está muito claro no momento que em muitas espécies a expansão celular é um dos processos da planta mais sensível ao estresse hídrico, se não, o mais sensível de todos.

GUNTON e EVENSON (1980) trabalhando com estresse hídrico em feijão, encontraram que a produção foi reduzida em até 40% quando o déficit ocorreu durante o florescimento.

KATTAN e FLEMING (1956) trabalhando com níveis de água na cultura do feijão, concluíram que para a obtenção de uma produção ótima em termos de quantidade e em termos de qualidade é essencial a manutenção de uma umidade disponível no solo durante o período de florescimento e desenvolvimento das vagens.

DUBETZ e MAHALE (1969) encontraram que subme

tendo plantas de feijão a uma tensão de umidade do solo de 8 atm. durante os estádios que correspondem a antes, durante e depois do florescimento, se apresentavam reduções na produção da ordem de 53,71 e 35%, respectivamente. As plantas tratadas antes e durante o florescimento permaneceram pequenas quando comparadas com outros tratamentos.

EL NADI (1970) encontrou resultados que demonstraram claramente uma particular sensibilidade das plantas de feijão com relação à seca em uma fase que abrange desde a emergência até a formação das vagens mais baixas (40 dias), durante a qual é produzida uma considerável quantidade de flores. Citando ainda EL NADI (1969a) comenta que embora um estresse de água de suficiente magnitude e duração seja tido como danoso para o crescimento e produção, há ainda alguns estágios de crescimento que são mais sensíveis ao estresse de água que outros.

RAGGI *et alii* (1972) verificaram que existe efeito do teor de umidade sobre a produção do feijoeiro. Concluíram ainda que existem fases mais críticas no que diz respeito à deficiência de água para a produção do feijoeiro, sendo as fases de floração e a de frutificação mais críticas que a de crescimento.

MAGALHÃES e MILLAR (1978) trabalhando com déficit de água no período reprodutivo em cultura de feijão, verificaram um decréscimo de 20% nos rendimentos quando a cultura esteve 14 dias sem irrigação durante a floração. Depois de 17 e 20 dias sem irrigação, as reduções no rendimento foram de

30% e 52%, respectivamente, permanecendo quase constante até o final de 29 dias de déficit. Verificaram ainda que é possível usar o período de maior resposta ao déficit de água para gerar a relação entre rendimento relativo e potencial matricial do solo, a qual é de importância para a definição do nível operacional de manejo de irrigação.

MUIRHEAD e WHITE (1979) sustentam em seu trabalho com feijão, que o estresse de água antecedente ao florescimento pode retardar a formação e a retenção da vagem, mas não tem influência na produção final. Irrigações quinzenais durante a fase de enchimento das vagens, reduziram a produção em 56% na primeira estação de cultivo e 41% na segunda estação de cultivo quando comparadas com a produção obtida pela irrigação por gotejamento. Um valor de potencial de água no solo menor de que -50 kpa a 30 cm de profundidade, reduziu a produção de vagens em 0,5 t por hectare por dia.

MAGALHÃES *et alii* (1979) estudando o efeito do déficit fenológico em feijão, constataram que o período mais crítico de déficit de água foi do início da floração à plena floração onde os níveis de potencial matricial do solo da ordem de - 5 bares causaram uma redução nos rendimentos da ordem de 36,85%.

Segundo MILLAR (1974) uma das informações que tem aplicabilidade imediata nos programas de pesquisa para áreas de sequeiro, diz respeito à resposta fenológica, em ter-

mos de produtividade com relação aos períodos de seca. Se a planta apresenta períodos críticos à falta de água, eles podem ser utilizados como índices de resistência à seca e produtividade. O mesmo autor cita que alguns pesquisadores definem resistência à seca como a relação do rendimento sob condições limitadas de água e o rendimento sob condições ótimas de irrigação. Assim, propõe o autor uma metodologia que consistiria em submeter variedades disponíveis, a déficit de água somente no período mais crítico, obtendo-se parâmetros de produtividade no final do ciclo. Aquelas variedades que são capazes de suportar e dar uma maior produtividade, estão mais adaptadas e, portanto, são mais tolerantes à seca. Isto é extremamente importante quando se conhece o regime hidrológico de uma região, podendo-se assim combinar os fatores de resistência à seca de um cultivar com os possíveis períodos de déficit de água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Casa de vegetação

A casa de vegetação utilizada para a condução deste trabalho está localizada no Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Dispõe de 7 ventiladores para resfriamento, aberturas laterais, suprimento de água sob pressão, sistema de drenagem e escoamento de águas, destilador e sistemas de tubos de polietileno para irrigação do piso de cimento. Na Figura 1 são mostrados detalhes da localização dos equipamentos.

Figura 1 - Arranjo de equipamentos na casa-de-vegetação.

3.1.2. Cultivares

A cultura usada foi o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivares IPA 7419 e Mulatinho Vagem Roxa normalmente utilizados na região Nordeste, principalmente em Irecê, tradicional zona produtora de feijão no Estado da Bahia.

As sementes foram fornecidas pelo Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido/EMBRAPA em Petrolina-Pe.

O teste de germinação dessas sementes foi realizado no Laboratório de Análise de Semente da ESALQ, e os resultados mostraram uma porcentagem de germinação para plantas normais de 99% para o cultivar IPA 7419 e de 97% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

3.1.3. Vasos

Os vasos usados eram de plástico preto resistente, pintados de branco exteriormente para diminuir a absorção de calor. Sua dimensão era de 25 centímetros de altura por 25 centímetros de diâmetro, tendo sido colocados sobre uma armação de ferro, a fim de que suas bases ficassem a uma altura de 30 centímetros do piso.

3.1.4. Solos

A amostra de solo utilizada foi de um Latossolo Vermelho Amarelo, fase arenosa, série Sertãozinho, extraí-

da da camada de 20 cm de profundidade, totalizando 14 quilos de terra fina seca ao ar por vaso, cujas características físico-químicas são as seguintes: Carbono: 0,44%; pH em água (1:2,5): 5,1; P: 4ppm; K: 87 ppm; 0,27; 0,72 e 0,32 meg/100 g de solo de Al; Ca e Mg, respectivamente. Pela análise granulométrica do solo foi obtida a seguinte composição: 22% de argila, 21% de areia grossa, 50% de areia fina e 7% de silte. Os resultados referentes à força de retenção da água no solo foram obtidos na câmara de pressão de RICHARDS para os pontos que compreendem o intervalo de 0,01 a 1,5 MPa e no funil da placa porosa de BUCHNER para os pontos que compreendem o intervalo de 0,001 a 0,006 MPa os quais podem ser vistos na tabela a seguir:

Tabela 1 - Umidade do solo em % de peso seco em função do potencial da água no solo (MPa)

Potencial da água no solo (MPa)	0,001	0,003	0,006	0,01	0,03	0,1	0,3	0,6	1,5
Umidade do solo em % de peso seco	35,98	27,93	20,93	14,5	11,5	8,9	7,5	6,5	6,3

3.1.5. Balança

Utilizou-se uma balança mecânica de prato e contrapeso, com precisão de 1 grama e montada sobre um carro de madeira que era deslocado longitudinalmente ao lado dos vasos.

3.1.6. Tensiômetros

Foram utilizados 9 tensiômetros com manômetro de mercúrio para controle e verificação da tensão da água no solo.

3.1.7. Fertilizantes e corretivos

Usou-se como fonte de NPK, o Sulfato de Amônio, o Superfosfato Simples e o Cloreto de Potássio. Calcário foi usado como corretivo da acidez do solo e como fonte de cálcio.

3.1.8. Termômetros

Foram utilizados termômetros de bulbo seco e bulbo úmido para observação da umidade relativa, bem como termômetros de álcool e mercúrio para observação da temperatura máxima e mínima. Esses termômetros foram colocados dentro de um abrigo de madeira pintada de branco, disposto a uma altura de 1 metro do solo.

3.2. Métodos

3.2.1. Preparo, adubação e correção do solo

O solo foi destorroado e passado em peneira de malha com orifícios de 2 mm de diâmetro sendo homogeneizado e separado em unidades de 14 kg de solo seco. Procedeu-se então a adubação básica de 100 kg de N/ha na forma de sulfato de

amônio, 200 kg de P_2O_5 /ha na forma de Superfosfato Simples, 100 kg de K_2O /ha na forma de Cloreto de Potássio e ainda 3.000 kg/ha de Calcário, sendo as quantidades calculadas com base em peso de solo por hectare, admitindo-se uma profundidade efetiva de 0,15 m. Resultou então uma dosagem por vaso de 3,5 g de Sulfato de Amônio, 8 g de Superfosfato Simples, 1,07g de Cloreto de Potássio e 20 g de Calcário.

3.2.2. Plantio e desbaste

Após 35 dias da aplicação de Calcário, foram semeadas em cada vaso, 8 sementes de feijão, tratadas com fungicida à base de TMTD, deixando-se três plantas quando da realização do desbaste.

3.2.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental constou de um esquema fatorial ($2 \times 4 = 8$) resultante da combinação de dois cultivares de feijão, cada um submetido a quatro níveis de irrigação, resultando, portanto, 8 tratamentos distribuídos em blocos ao acaso com quatro repetições caracterizados a seguir. Cada parcela era constituída de um vaso com três plantas e o referido esquema é mostrado no croquis a seguir:

Cultivar	Nível
	nº do vaso
01MT ₄	18MT ₁
46IT ₁	30IT ₂
44MT ₃	08MT ₃
14MT ₁	27MT ₂
24IT ₄	32MT ₄
12IT ₂	15IT ₄
21MT ₂	40IT ₁
31IT ₃	19IT ₃

43IT ₂	33MT ₄
45MT ₁	37IT ₄
25IT ₃	26IT ₂
05MT ₂	35IT ₁
11IT ₄	16MT ₂
48MT ₃	09MT ₁
17MT ₄	20MT ₃
34IT ₁	28IT ₃

Cultivares:

M = Mulatinho Vagem Roxa

I = IPA 7419

Níveis:

T₁ = a tensão da água no solo atingia 0,007 MPa após a irrigação de reposição, durante todo o ciclo vegetativo.

T₂-T₃-T₄ = a tensão da água no solo atingia 0,035; 0,061; e 0,101 MPa, após a irrigação de reposição, a partir do início do florescimento, para os níveis T₂, T₃ e T₄, respectivamente.

3.2.4. Registro e controle da temperatura e umidade relativa do ar

Foram efetuadas observações e registro dos valores de temperatura máxima e mínima e da umidade relativa do ar.

Um sistema de tubos de polietileno foi montado no piso da casa de vegetação. Ao longo desses tubos foram colocados bicos regadores, protegidos com uma luva para quebrar o jato de água. Esse sistema mantinha o piso permanentemente coberto com uma lâmina de água com a finalidade de diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar, mantendo condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Macke e Singh (1969), citados por ARRUDA *et alii* (1980) referem-se ao prejuízo no "pegamento" de flores quando as temperaturas máximas diárias ultrapassam 32°C durante a floração. A Figura 2 mostra detalhes do umedecimento do piso da casa de vegetação.

3.2.5. Controle fitossanitário

Para a manutenção de um bom nível de sanidade da cultura foram requeridas pulverizações periódicas com para_{thion} metílico, efetuadas sempre no começo da noite.

3.2.6. Irrigação

3.2.6.1. Métodos de irrigação

Devido à utilização de vasos com fundo fechado,

Figura 2 - Detalhe do umedecimento do piso da casa-de-vegetação.

sem drenagem, determinou-se a quantidade necessária de água para que não houvesse formação de lençol após cada irrigação. Isso foi conseguido com a observação dos valores de umidade ao longo do perfil do solo no vaso, após a drenagem por seis dias. Além disso, observou-se com auxílio de um piezômetro que a dotação de água definida para o presente trabalho não ocasionou excesso de água no fundo do vaso. A Figura 3 mostra o vaso com piezômetro.

Um tensiômetro com manômetro de mercúrio foi montado no sistema para verificação dos valores de tensão da água em função do teor de água, obtido por pesagem. Esse referido arranjo pode ser visualizado na Figura 3.

Para a irrigação, usou-se água destilada, a qual foi colocada sobre a superfície do solo, por meio de uma proveta graduada e de modo a não erodir sua camada superior. A quantidade de água para irrigação foi calculada com base em pesagens diárias dos vasos, procedendo-se à reposição da água consumida e de acordo com os níveis de tensão da água no solo pré-estabelecidos em função dos níveis.

Durante o período da semeadura até o início da floração, manteve-se o teor de água em todos os níveis a um valor próximo à capacidade de campo. A partir do início da floração, estabeleceram-se quatro níveis diferentes de tensão de água no solo, os quais foram mantidos até

Figura 3 - Arranjo do piezômetro e do tensiômetro no vaso.

o fim do ciclo vegetativo, com vista a proporcionar condições diferentes de déficit hídrico nas fases fenológicas de maior sensibilidade do feijoeiro ao déficit de água segundo KATTAN e FLEMING (1956), DUBETZ e MAHALE (1969), EL NADI (1970), RAGGI *et alli* (1972), MAGALHÃES e MILLAR (1978) e MUIRHEAD e WHITE (1979), dentre outros.

Esse procedimento foi usado para avaliar o desempenho dos cultivares trabalhados, com relação à tolerância à seca, segundo metodologia sugerida por MILLAR (1974).

3.2.6.2. Variação da tensão da água no solo

Para o estudo dos valores de potencial matricial da água do solo, referentes aos níveis de déficit de água, utilizou-se de um tensiômetro cuja cápsula porosa estava a 15 cm de profundidade, e as tensões determinadas eram relacionadas com a umidade do solo obtida através das pesagens dos vasos. Assim, a cada pesagem dos vasos definia-se a irrigação de reposição, cujos índices de tensão da água no solo eram de 0,007; 0,035; 0,061; e 0,101 MPa, caracterizados pelos níveis T_1 , T_2 , T_3 e T_4 , respectivamente. A variação dessas tensões após cada irrigação, apresentaria, entretanto, relações diretas com o consumo de água expresso em transpiração pela planta e em termos de evaporação em função das demandas diárias pela atmosfera.

3.2.7. Observações fenológicas

O acompanhamento dos estádios fenológicos definidos para o presente trabalho foi efetuado de acordo com critérios citados por PORTES (1981):

- a) Emergência: Data na qual emergiu 90% das plântulas e seus cotilédones encontravam-se acima da superfície do solo.
- b) Floração: Data na qual 50% das plantas da população apresentaram, pelo menos, uma flor aberta por planta; as outras 50% não apresentavam flores.
- c) Maturação fisiológica: Data na qual 90% das vagens, na população, sofreram mudanças de cor.
- d) Maturação de colheita: Data na qual a umidade dos grãos foi suficientemente baixa para a sua colheita (15-18%).

3.2.8. Biometria

Procedeu-se à mensuração das seguintes variáveis:

- a) Número de vagens por vaso.
- b) Número de grãos por vaso.
- c) Número de grãos por vagem.

As variáveis que compreendem os itens a, b e c foram obtidas a partir do somatório dos valores mensurados nas três plantas em cada vaso.

d) Peso da matéria seca total por vaso (g):

As plantas foram cortadas no ponto de intersecção do caule com o sistema radicular e secas em estufa com ventilação forçada e com temperatura regulada para 75°C, durante um período de 24 horas, de acordo com PORTES (1981).

e) Peso médio do grão por vaso (g):

Refere-se ao peso médio dos grãos obtidos por vaso.

f) Rendimento de grãos por vaso (g):

Determinou-se inicialmente a umidade dos grãos, sendo o seu peso corrigido em função de uma umidade padrão da ordem de 14%, com o uso da seguinte equação citada por TAVARES (1972):

$$P = \frac{P_c (1 - U)}{(1 - U_p)}$$

onde:

P = peso corrigido

P_c = peso observado

U = umidade observada

U_p = umidade padrão; a que se quer corrigir.

g) Índice de colheita

Esse dado foi expresso como sendo a relação entre a produção de grãos obtida por vaso e a matéria seca total, representada pelo peso seco dos grãos mais o peso seco

da palha, de acordo com LAWN (1982).

3.2.9. Dotação hídrica

a) Consumo de água pela cultura (ℓ):

Procedeu-se à contabilização do consumo diário por vaso, estabelecendo-se assim valores de uso da água para todo o ciclo vegetativo e referente a cada nível.

b) Eficiência de uso da água (g/ℓ):

Definiu-se essa variável como sendo a relação entre a quantidade de grãos produzidos por vaso em função da unidade consumida de água no processo, como se segue:

$$\text{Eficiência de uso da água} = \frac{\text{gramas de grãos por vaso}}{\text{litros de água aplicados}}$$

3.2.10. Análise estatística

Foram efetuadas análises de variância dos dados observados, procedendo-se ainda análises de regressões linear, quadrática e cúbica, utilizando-se como critério para o estabelecimento das equações de regressão, o mais alto grau significativo, de acordo com PIMENTEL GOMES (1976).

Em alguns casos para facilitar a explicação dos resultados, foi admitida a regressão linear desde que apresentasse um coeficiente de determinação em torno de 90%.

Para comparação das médias dos níveis de água, utilizou-se o teste de Tukey.

O esquema de análise de variância foi o seguinte:

Causa da variação	G.L.
Cultivares	1
Níveis de água	3
Int. Cult. x N. de água	3
Blocos	3
Resíduo	21
Total	31

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Número de vagens normais

Na Tabela 2, são mostrados os valores referentes ao número médio de vagens normais por vaso para os dois cultivares e os quatro níveis de água. Observa-se que em consequência da redução dos níveis de disponibilidade de água no solo, houve uma redução na produção desse componente da ordem de 40,2% entre os níveis T_1 e T_4 no cultivar IPA 7419 e de 45,5% entre os mesmos níveis para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

Tabela 2 - Valores referentes ao número médio de vagens normais em função dos níveis de disponibilidade de água

	Níveis			
	T_1	T_2	T_3	T_4
IPA 7419	46	36	36,5	27,5
Mulatinho	53,25	42,75	39,0	29,0
Vagem Roxa				

Pela análise de variância apresentada na Tabela 3, pode-se ver que o efeito dos níveis de disponibilidade de água foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, não sendo porém, significativa a interação cultivar x nível de água.

De acordo com STOKER (1974), em seu trabalho com feijão, o principal efeito do estresse de água foi a redução do número de vagens por planta.

Diversos pesquisadores observaram esse efeito, principalmente se o déficit de água ocorre durante a fase de florescimento onde a exigência de água pela planta é maior. Assim, uma redução no balanço interno de água na planta no período reprodutivo tem influência direta na redução de vagens normais por planta o que também foi observado por ROBINS e DOMINGO (1956), BERNARDO (1970), EL NADI (1970), MAGALHÃES (1978), BURMAN (1961), RESENDE (1979) e MIRANDA *et alii* (1977).

De acordo com DUBETZ e MAHALE (1969) os efeitos diretos do estresse hídrico e estágio de crescimento interagem para influenciar a quantidade de pegamento das flores e o desenvolvimento das vagens.

Fazendo-se a comparação das médias pelo teste de Tukey, apresentado na Tabela 4, observa-se que a maior produção de vagens ocorreu no nível T_1 e que a menor, ocorreu no nível T_4 , sendo que as médias referentes aos níveis T_2 e T_3 não diferiram estatisticamente.

Tabela 3 - Análise de variância do número de vagens normais por vaso

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivares	1	162	162	10,73**
Níveis de água	3	1.839,25	613,08	40,60**
Inter. Cult. x N. Água	3	51,25	17,08	1,13ns
Blocos	3	38,50	12,83	
Resíduo	21	317	15,10	
Total	31			

ns = não significativo.

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 4 - Comparação das médias do número de vagens normais entre os níveis de disponibilidade de água no solo

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IAP 7419	46	36	36,5	27,5
Mulatinho	53,35	42,75	39,0	29,0
Vagem Roxa				
Médias	49,63a	39,38b	37,75b	28,25c

d.m.s. (Tukey 5%) = 9,23.

Obs.: números seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

A análise de regressão polinomial apresentada na Tabela 5, mostra que existe uma dependência significativa ao nível de 1% de probabilidade entre a produção de vagens nos dois cultivares com relação aos níveis sendo a maior parte do fenômeno explicado por uma equação linear para cada cultivar como se segue:

Cultivar IPA 7419 : $Y = 15,80712 - 14,217025X$

Cultivar Mulatinho

Vagem Roxa: $Y = 13,043354 - 19,207589X$

onde,

Y é referente ao número de vagens e

X é referente ao potencial de água no

solo após a reposição de água no solo.

Estas equações estão representadas graficamente na Figura 4. Nota-se que apesar da interação cultivar x nível de água não ter sido significativa estatisticamente, há uma tendência do cultivar IPA 7419 apresentar um menor índice de decréscimo desse componente de rendimento o que pode sugerir uma maior estabilidade deste cultivar com relação a períodos de estresse hídrico.

Tabela 5 - Análise de regressão polinomial para número de vagens normais

Causas da variação	G.L.	Q.M. (1)	Q.M. (2)	F (1)	F (2)
Regressão linear	1	613,066	1.119,015	139,69**	43,60**
Regressão quadrática	1	16,023	66,146	3,65ns	2,58ns
Regressão cúbica	1	56,910	19,339	12,97**	0,75
Tratamentos	3	228,667	401,5	52,10	15,64
Blocos	3	12,167	16,167	2,77	0,63
Resíduo	9	4,389	25,667		
Total	15				

C.V.: (1) = 5,74% (2) = 12,36%.

(1) = Cultivar IPA 7419.

(2) = Cultivar Mulatinho Vagem Roxa

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns = Não significativo.

Figura 4 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para número de vagens por nível de disponibilidade de água no solo.

4.2. Número de grãos

As médias referentes ao número de grãos por vaso para os diferentes níveis estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores referentes ao número médio de grãos por níveis de disponibilidade de água no solo

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	229,75	172,75	166,25	123,25
Mulatinho	290,75	209,75	182,25	137,50
Vagem Roxa				

Neste caso, as reduções foram da ordem de 46,4% no cultivar IPA 7419 entre níveis T₁ e T₄ e de 52,7% entre esses níveis para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

Pela análise de variância apresentada na Tabela 7, pode-se observar que o efeito do nível de disponibilidade de água no solo com relação ao número de grãos, foi significativo ao nível de 1% de probabilidade e que a interação cultivar x nível de água foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Observa-se ainda pelo desdobramento dessa interação, que o efeito do cultivar foi significativo nos níveis T₁ e T₂.

A redução do número de grãos em plantas de feijão submetidas a diferentes teores de água disponível no solo, também foi observada por BERNARDO (1970).

Procedendo-se à comparação das médias pelo teste de Tukey, apresentada na Tabela 8, pode-se ver que nos dois cultivares o maior valor desse componente, ocorreu no nível T_1 , e o menor, no nível T_4 . Observa-se, ainda, que as médias referentes aos níveis T_2 e T_3 não diferiram estatisticamente, tendo sido esse comportamento semelhante nos dois cultivares.

Tabela 7 - Análise de variância do número de grãos por vaso

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivares	1	8.224,03	8.224,03	26,5**
Níveis de água	3	69.888,6	23.296,2	75,08**
Inter.Cult.xN.Água	3	2.874,09	958,03	3,09*
Blocos	3	919,85	306,62	
Resíduo	21	6.516,4	310,3	
Total	31			

Desdobramento

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Água em IPA 7419	3	22.965,00	7.655,0	24,67**
Água em Mulatinho Vagem Roxa	3	49.797,69	16.599,23	53,49**
Cultivar d. T ₁	1	7.422	7.422	23,98**
Cultivar d. T ₂	1	2.738	2.738	8,82**
Cultivar d. T ₃	1	512	512	1,65ns
Cultivar d. T ₄	1	406,13	406,13	1,31ns

ns = não significativo.

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Esses resultados concordam com BURMAN (1961), que trabalhando com feijão em casa de vegetação usando 4 níveis de água, observou que nos tratamentos mais úmidos foram produzidos maior número de grãos por vaso.

Tabela 8 - Comparação das médias do número de grãos entre os níveis de água para os dois cultivares

Cultivares	Níveis	Nº de grãos
IPA 7419	T ₁	229,75a
	T ₂	172,75b
	T ₃	166,25b
	T ₄	123,25c
Mulatinho Vagem Roxa	T ₁	290,75a
	T ₂	209,75b
	T ₃	182,25b
	T ₄	137,50c
d.m.s. (Tukey 5%)		34,7

Obs.: Números seguidos da mesma letra não diferem entre si estatisticamente.

Na análise de regressão polinomial, mostrada na Tabela 9, observa-se que a dependência entre o número de grãos e os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, é significativa ao nível de 1% de probabilidade, podendo-se usar as seguintes equações lineares para explicar a maior parte do fenômeno ocorrido:

$$\text{Cultivar IPA 7419 : } Y = 49,808214 - 84,638809X$$

Cultivar Mulatinho

$$\text{Vagem Roxa: } Y = 19,886848 - 127,22477X$$

onde,

y = refere-se ao número de grãos e

X = refere-se ao potencial da água no solo após a reposição da água de irrigação. Estas equações estão representadas graficamente na Figura 5. Nota-se também nesse caso, que embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre cultivares nos níveis T_3 e T_4 , o cultivar IPA 7419 exibe uma tendência a um menor decréscimo no número de grãos.

4.3. Número de grãos por vagem

Na Tabela 10, são mostrados os valores médios referentes ao número de grãos por vagem, por nível.

Pode-se observar a partir desses dados uma redução entre os níveis T_1 e T_4 da ordem de 10% para o cultivar IPA 7419 e de 14,5% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

Pela análise de variância apresentada na Tabela 11, observa-se que o efeito dos níveis de disponibilidade de água no solo com relação ao número de grãos por vagem foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, não sendo significativa, a interação nível de água x cultivar.

Esses resultados estão em concordância com outros pesquisadores como STOKER (1974) que observou que o

Tabela 9 - Análise de regressão polinomial para número de grãos

Causas da variação	G.L.	Q.M. (1)	Q.M. (2)	F (1)	F (2)
Regressão linear	1	21.728,475	49.094,576	167,36**	91,43**
Regressão quadrática	1	401,392	522,858	3,09ns	0,97
Regressão cúbica	1	835,137	180,257	6,43*	0,33
Tratamentos	3	7.655	16.599,229	58,96	30,91
Blocos	3	213,5	264,896	1,64	0,49
Resíduo	9	129,833	536,951		
Total	15				

C.V.: (1) = 6,59% (2) = 11,3%.

(1) = Cultivar IPA 7419.

(2) = Cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 5 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para número de grãos por nível de disponibilidade de água no solo.

Tabela 10 - Valores referentes ao número de grãos por vagem por níveis de disponibilidade de água no solo

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	5	4,8	4,6	4,5
Mulatinho	5,5	4,9	4,7	4,7
Vagem Roxa				

Tabela 11 - Análise de variância do número de grãos por vagem

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivar	1	0,49	0,49	3,27ns
Níveis de água	3	1,49	0,66	4,42*
Inter. Cult. x N.Água	3	0,14	0,05	0,31
Blocos	3	0,09	0,03	
Resíduo	21	3,09	0,15	
Total	31			

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns = não significativo.

número de grãos por vagem foi reduzido em função da pouca disponibilidade de água no solo, o que também foi visto por MAGALHÃES (1978) que encontrou diferença significativa nesta redução em função dos tratamentos de seca. Isto pode ser atribuído ao fato do estresse de água ter ocorrido na fase de enchimento de grãos provocando conseqüentemente o aparecimento de sementes não desenvolvidas.

Fazendo-se a comparação das médias pelo teste de Tukey, observa-se que as médias do número de grãos por vagem não diferiram estatisticamente entre si, o que pode ser visualizado na Tabela 12.

Tabela 12 - Comparação das médias do número de grãos por vagem entre os níveis de água

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	5	4,8	4,6	4,5
Mulatinho	5,5	4,9	4,7	4,7
Vagem Roxa				
Médias	5,25a	4,85a	4,65a	4,6a

d.m.s. (Tukey 5%) = 0,92.

Obs.: Números seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Pela análise de regressão polinomial mostrada na Tabela 13, vê-se que a dependência entre os níveis de estresse hídrico e o número de grãos por vagem, foi significa-

tiva ao nível de 5% de probabilidade apenas para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa, denotando uma maior estabilidade por parte o cultivar IPA 7419 em função dos níveis de seca, para esse componente de rendimento. A maior parte do fenômeno ocorrido com o cultivar Mulatinho Vagem Roxa pode ser explicado por uma equação linear como se segue:

Cultivar Mulatinho

$$\text{Vagem Roxa: } Y = 3,9732576 - 0,67922875X$$

onde,

Y refere-se ao número de sementes por vagem e

X refere-se ao potencial da água no solo após

a reposição da água de irrigação. Essa equação está representada graficamente na Figura 6.

4.4. Matéria seca total

Na Tabela 14, são mostradas as médias referentes aos valores do peso da matéria seca total por vaso para os dois cultivares e diferentes níveis.

Pode-se ver que o efeito da redução da disponibilidade de água no solo expresso em função dos níveis T_1 e T_4 , reduziu a matéria seca total em 35% para o cultivar IPA 7419 e em 30,3% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

Com o auxílio da análise de variância da matéria seca total mostrada na Tabela 15, observa-se que o efeito

Tabela 13 - Análise de regressão polinomial para número de grãos por vagem

Causas da variação	G.L.	Q.M.(1)	Q.M.(2)	F(1)	F(2)
Regressão linear	1	-	1,399	-	9,02*
Regressão quadrática	1	-	0,047	-	0,30
Regressão cúbica	1	-	0,027	-	0,17
Tratamentos	3	-	0,491	-	3,17
Blocos	3	-	0,060	-	0,39
Resíduo	9	-	0,155	-	-
Total	15				

C.V.: (2) = 7,93%.

(1) = Cultivar IPA 7419.

(2) = Cultivar Mulatinho Vagem Roxa

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 6 - Representação gráfica da equação linear e valores médios observados para número de grãos por vagem por nível de disponibilidade de água no solo.

Tabela 14 - Valores referentes ao peso médio da matéria seca total em gramas por vaso e por nível de disponibilidade de água no solo

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	45,51	37,81	36,59	29,68
Mulatinho	48	38,78	35,35	33,44
Vagem Roxa				

Tabela 15 - Análise de variância da matéria seca total

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivar	1	18,41	18,41	2,07 ns
Níveis de água	3	982,43	327,48	22,70**
Int. Cult. x N.água	3	28,71	9,57	1,48 ns
Blocos	3	16,47	5,49	-
Resíduo	21	136,10	6,48	
Total	31			

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns = não significativo.

dos níveis de disponibilidade de água no solo com relação a esse componente, foi altamente significativo ao nível de 1% de probabilidade, não sendo porém significativa a interação cultivar x nível de água.

O efeito do estresse hídrico na redução da matéria seca total, traduzida por um decréscimo sensível do índice de crescimento encontrado no presente trabalho, está em concordância com diversos autores como KRAMER (1959; 1963), SLATYER (1969), MILLAR (1972), HSIAO (1974) e BEGG e TURNER (1976; 1981).

À medida que decresce o teor de água no solo há uma redução do potencial da água no solo induzindo assim a uma redução no potencial da água na folha. De acordo com MILLAR (1972) isso resulta em um decréscimo da abertura estomatal e uma eventual redução no índice de transpiração, sendo que esse efeito do fechamento dos estômatos resulta em uma maior redução do índice de crescimento que na transpiração.

O alongamento celular é um dos processos que contribui basicamente para o crescimento e desenvolvimento da planta e sua susceptibilidade ao déficit de água tem sido claramente demonstrada por pesquisadores como Boyer (1970), Hsiao *et alii* (1970) e Acevedo *et alii* (1971), citados por BEGG e TURNER (1976), que comentando ainda o decréscimo desse alongamento em função do estresse de água, refere-se à paralização desse processo mesmo com valores ainda positivos de pressão de turgor celular.

Comparando as médias pelo teste de Tukey entre os níveis de água no solo, observa-se que a maior produção de matéria seca total, ocorreu no nível T_1 e que a menor produção, ocorreu no nível T_4 não havendo diferença significativa entre T_2 e T_3 e entre T_3 e T_4 , o que pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 - Comparação dos valores médios da matéria seca total entre os níveis de água

Cultivares	Níveis			
	T_1	T_2	T_3	T_4
IPA 7419	45,51	37,81	36,59	29,58
Mulatinho	48,00	38,78	35,35	33,44
Vagem Roxa				
Médias	46,76a	38,30b	35,97bc	31,51c

d.m.s. (Tukey 5%) = 6,05%.

Obs.: números seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Na análise de regressão polinomial mostrada na Tabela 17, observa-se a existência de uma relação de depen

dência altamente significativa ao nível de 1% de probabilidade entre a produção de matéria seca e os níveis de disponibilidade de água no solo, podendo a maior parte da ocorrência desse fenômeno nos dois cultivares ser representado por uma equação linear como se segue:

$$\text{Cultivar IPA 7419: } Y = 19,219858 - 12,472616X$$

Cultivar Mulatinho

$$\text{Vagem Roxa: } Y = 20,226846 - 12,822933X$$

• onde,

Y = é a produção de matéria seca e

X = é o valor de potencial de água no solo após a reposição da água de irrigação.

A representação gráfica dessas equações é mostrada na Figura 7. Vê-se pois, que nesse caso o comportamento na redução da matéria seca nas duas cultivares foi semelhante.

4.5. Peso do grão

Os dados referentes ao peso médio do grão para os dois cultivares com relação aos diversos níveis de seca são apresentados na Tabela 18.

Como pode ser visto pelo uso dos dados apresentados a seguir, entre os níveis T_1 e T_4 , houve um aumento no peso do grão da ordem de 9,4% para o cultivar IPA 7419.

Tabela 17 - Análise de regressão polinomial para matéria seca total

Causas da variação	G.L.	Q.M.(1)	Q.M.(2)	F(1)	F(2)
Regressão linear	1	471,851	498,73	149,14**	55,05**
Regressão quadrática	1	19,443	0,973	6,15*	0,11
Regressão cúbica	1	19,363	0,782	6,12*	0,08
Tratamentos	3	170,219	166,828	53,8	18,42
Blocos	3	11,654	2,535	3,68	0,28
Resíduo	9	3,164	9,059		
Total	15				

C.V. (1) = 4,76% (2) = 7,74%.

(1) = Cultivar IPA 7419

(2) = Cultivar Mulatinho Vagem Roxa

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 7 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para matéria seca total por nível de disponibilidade de água no solo.

Tabela 18 - Valores referentes ao peso médio do grão em gramas por níveis de disponibilidade de água no solo

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	0,213	0,228	0,228	0,233
Mulatinho	0,180	0,178	0,195	0,185
Vagem Roxa				

Pela análise de variância apresentada na Tabela 19, pode-se observar que o efeito do cultivar sobre o peso do grão foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, bem como, foi significativo ao nível de 5% de probabilidade o efeito dos níveis de água no solo sobre o peso do grão. A interação cultivar x nível de água também foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. No desdobramento da análise de variância, vê-se que o efeito do nível de água no solo não foi significativo para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa, ao passo que para o cultivar IPA 7419 esse efeito revelou-se significativo ao nível de 5% de probabilidade. O efeito do cultivar foi significativo ao nível de 1% de probabilidade com relação a todos os níveis de seca.

Os resultados encontrados são discordantes com os encontrados por BURMAN (1961) e MIRANDA (1977) que observaram redução nesse componente com relação ao estresse hídrico. Entretanto, há uma concordância com o resultado relata

do por STOKER (1974) o qual comenta que o peso de 100 sementes foi pouco afetado. Isso aconteceu com o cultivar Mulati - nho Vagem Roxa como foi referido acima.

Tabela 19 - Análise da variância do peso do grão.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivar	1	0,013	0,013	130,0 ^{**}
Nível de Água	3	0,001	0,0003	3,3 [*]
Inter.Cult.x N.água	3	0,001	0,0003	3,3 [*]
Blocos	3	0,001	0,0003	3,3 [*]
Resíduo	21	0,003	0,0001	
Total	31			

Desdobramento

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Água em IPA 7419	3	0,0009	0,0003	3,3 [*]
Água em Mulatino Vagem Roxa	3	0,0007	0,00024	2,4 ns
Cultivar d. T ₁	1	0,0021	0,0021	21,1 ^{**}
Cultivar d. T ₂	1	0,0050	0,0050	50,0 ^{**}
Cultivar d. T ₃	1	0,0021	0,0021	21,1 ^{**}
Cultivar d. T ₄	1	0,0045	0,0045	45,1 ^{**}

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns = não significativo.

Procedendo-se à comparação entre as médias pelo teste de Tukey com relação aos níveis de água apresentada na Tabela 20, observa-se que o maior peso de grão ocorreu no nível T_4 para o cultivar IPA 7419, decrescendo no nível T_1 e diferindo estatisticamente, inclusive. Para o mesmo cultivar o peso do grão não diferiu estatisticamente para os níveis T_2 e T_3 . Para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa os valores referentes ao peso do grão para os níveis de T_1 a T_4 não diferiram estatisticamente.

Tabela 20 - Comparação das médias referentes ao peso do grão entre os níveis de água para os dois cultivares

Cultivares	Níveis	Dados Observados
		Peso do grão
IPA 7419	T_1	0,213a
	T_2	0,228ab
	T_3	0,228ab
	T_4	0,233b
Mulatinho Vagem Roxa	T_1	0,180a
	T_2	0,178a
	T_3	0,195a
	T_4	0,185a
d.m.s. (Tukey 5%)		0,02

Obs.: Números seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Na análise de regressão polinomial apresentada na Tabela 21, pode-se ver que existe uma dependência significativa entre os níveis de disponibilidade de água no solo com relação ao peso do grão, para o cultivar IPA 7419, ao nível de 5% de probabilidade. A maior parte da ocorrência do fenômeno pode ser explicado por uma equação linear como se segue:

$$\text{Cultivar IPA 7419: } Y = 0,24955006 + 0,016867098X$$

onde,

Y é o peso do grão em gramas e

X é o valor do potencial da água no solo após a reposição da água de irrigação. A representação dessa equação é mostrada na Figura 8.

4.6. Rendimento de grãos por vaso

Na Tabela 22, são mostrados os valores médios referentes ao rendimento de grãos por vaso para os dois cultivares em função dos diferentes níveis de seca. Observa-se que o efeito dos diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, provocou a redução no rendimento de grãos entre os níveis T_1 e T_4 , na ordem de 42,8% para o cultivar IPA 7419 e de 51,1% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

Pela análise de variância do rendimento de grãos apresentada na Tabela 23, pode-se ver que o efeito dos níveis de água no solo sobre esse rendimento, foi altamente significativo ao nível de 1% de probabilidade. O efeito da interação cultivar x nível de água não foi significativo.

Tabela 21 - Análise de regressão polinomial para peso do grão

Causas da variação	G.L.	Q.M.(1)	Q.M.(2)	F(1)	F(2)
Regressão linear	1	0,000863	-	8,17*	-
Regressão quadrática	1	0,000013	-	0,12	-
Regressão cúbica	1	0,000024	-	0,23	-
Tratamentos	3	0,0003	-	2,84	-
Blocos	3	0,000183	-	1,74	-
Resíduo	9	0,000105	-	-	-
Total	15				

C.V.: (1) = 4,57%.

(1) = Cultivar IPA 7419.

(2) = Cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 8 - Representação gráfica da equação linear e valores médios observados para peso médio do grão por nível de disponibilidade de água no solo.

Tabela 22 - Valores médios referentes ao rendimento de grãos em gramas por nível de disponibilidade de água no solo

Cultivares	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	49,70	39,40	37,36	28,45
Mulatinho	51,65	37,85	35,52	25,26
Vagem Roxa				

Os resultados encontrados estão em concordância com as observações de vários pesquisadores como DUBETZ e MAHALE (1969), LIMA (1978), MUIRHEAD e WHITE (1979), MAGALHÃES *et alii* (1979), GUNTON e EVENSON (1980) e SILVEIRA *et alii* (1981), dentre outros.

A redução verificada nesse componente de produção está relacionada com déficit hídrico ocorrido na planta a partir do início da floração, continuando durante a fase de enchimento dos grãos e prolongando-se até a maturação fisiológica.

De acordo com TURNER e BEGG (1981) o efeito do déficit de água provoca uma redução na razão de fotossíntese que por sua vez provoca uma redução na translocação de metabólitos, o que tem influência considerável nos processos produtivos, refletindo-se sobremaneira no rendimento de grãos.

A verificação desse componente de produção deve se revestir de importância ímpar quando da comparação entre comportamentos de cultivares de feijoeiro, uma vez que a parte da planta que é comercializada, são os grãos cujo valor econômico se traduz em termos de peso.

Tabela 23 - Análise de variância do rendimento de grãos

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivares	1	10,70	10,70	
Níveis de água	3	2.301,55	768,18	55,51**
Int. Cult. x N. Água	3	28,74	9,58	
Blocos	3	53,94	17,98	1,30 ns
Resíduo	21	290,14	13,82	
Total	31			

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns = não significativo.

Fazendo-se a comparação entre as médias dos valores do rendimento com relação aos níveis de água no solo, que pode ser vista na Tabela 24, observa-se que o maior rendimento de grãos ocorreu no nível T_1 e o menor no nível T_4 . As médias referentes aos níveis T_2 e T_3 diferiram estatisticamente dos níveis T_1 e T_4 , mas por sua vez não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Tabela 24 - Comparação entre médias do rendimento de grãos entre os níveis de água

Cultivar	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	49,70	39,40	37,36	28,45
Mulatinho	51,65	37,65	37,85	25,26
Vagem Roxa				
Médias	50,68a	38,53b	37,61b	26,86c
d.m.s. (Tukey 5%) = 8,83		-27	25	41

Obs.: Números seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Na análise de regressão polinomial apresentada na Tabela 25, vê-se que existe relação de dependência significativa ao nível de 1% de probabilidade entre o rendimento de grãos e os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo podendo a maior parte do fenômeno ocorrido para os dois cultivares, ser explicado por uma equação linear como se segue:

$$\text{Cultivar IPA 7419: } y = 14,289255 - 16,789416X$$

$$\text{Cultivar Mulatinho}$$

$$\text{Vagem Roxa: } Y = 6,8612707 - 21,098406X$$

onde,

Y é o rendimento de grãos em gramas e

X é o valor do potencial da água no solo

quando da reposição da água de irrigação. A representação dessas equações lineares é mostrada na Figura 9.

Tabela 25 - Análise de regressão polinomial para rendimento de grãos

Causas da variação	G.L.	Q.M. (1)	Q.M. (2)	F (1)	F (2)
Regressão linear	1	854,991	1.350,173	203,18**	50,19*
Regressão quadrática	1	31,883	27,718	7,58*	1,03ns
Regressão cúbica	1	26,987	38,544	6,41*	1,43ns
Tratamentos	3	304,62	472,145	72,39	17,55
Blocos	3	4,153	51,64	0,99	0,64
Resíduo	9	4,208	26,9		
Total	15				

C.V.: (1) = 5,29% (2) = 13,8%

(1): Cultivar IPA 7419.

(2): Cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

* : Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 9 - Representação gráfica das equações lineares e valores médios observados para rendimento de grãos por nível de disponibilidade de água no solo.

Apesar da interação cultivar x nível de água no solo não ter sido significativa, pode-se ver com o uso das equações lineares que existe uma tendência do cultivar Mulatinho Vagem Roxa apresentar melhor rendimento de grãos numa situação de maior disponibilidade de água no solo. À medida que essa disponibilidade decresce há uma tendência de haver uma inversão dos valores de rendimento para os dois cultivares, tendendo o cultivar IPA 7419 a apresentar um maior índice no rendimento referido.

De acordo com SILVEIRA *et alii* (1981), isso pode sugerir uma maior estabilidade por parte do cultivar IPA 7419 ao estresse hídrico, quando se compara o coeficiente angular das duas equações.

4.7. Índice de colheita

Na Tabela 26 são apresentadas as médias referentes aos valores de índice de colheita para os dois cultivares e diferentes níveis de déficit de água.

Tabela 26 - Valores médios referentes ao índice de colheita por níveis de disponibilidade de água no solo

Cultivar	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	0,53	0,50	0,49	0,48
Mulatinho Vagem Roxa	0,51	0,49	0,50	0,43

Observa-se que houve uma redução nesse índice entre os níveis T_1 e T_4 , da ordem de 9,3% para o cultivar IPA 7419 e de 15,7% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa.

Pela análise de variância do índice de colheita apresentada na Tabela 27, pode-se ver que o efeito da disponibilidade de água no solo sobre o referido índice foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, não sendo significativa porém, a interação cultivar x nível de água no solo.

Tabela 27 - Análise da variância do índice de colheita

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivar	1	0,003	0,003	3,0 ns
Níveis de água	3	0,0179	0,006	6,0 **
Int. Cult. x N.Água	3	0,0031	0,001	1,0 ns
Blocos	3	0,001	0,0003	-
Resíduo	21	0,022	0,001	-

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns = não significativo.

O resultado encontrado neste trabalho com relação a este índice está em concordância com os observados por LAWN (1982).

Pode-se ver que enquanto o comportamento da redução da matéria seca total tenha sido semelhante, houve diferenças entre os dois cultivares no tocante ao rendimento de grãos induzindo a uma tendência a valores diferentes no índice

ce de colheita principalmente com relação ao nível T_4 ainda que não tenha sido mostrado na análise de variância. Além disso, observou-se um maior vigor vegetativo no cultivar Mulatinho Vagem Roxa ocasionando maior quantidade de matéria seca ainda que não mostrado estatisticamente.

Procedendo-se à comparação entre essas médias pelo teste de Tukey, com relação aos níveis de água no solo, como pode ser visto na Tabela 28, observa-se que as médias referentes aos níveis de seca não diferem estatisticamente entre si. Apesar disso, há uma tendência de decréscimo entre os valores do índice de colheita com relação ao decréscimo do teor de água no solo em disponibilidade para as plantas.

Tabela 28 - Comparação das médias do índice de colheita entre os níveis de água no solo

Cultivar	Níveis			
	T_1	T_2	T_3	T_4
IPA 7419	0,53	0,50	0,49	0,48
Mulatinho	0,51	0,49	0,50	0,43
Vagem Roxa				
Médias	0,52a	0,50a	0,50a	0,46a
d.m.s. (Tukey 5%) = 0,08				

Na análise de regressão polinomial que pode ser vista na Tabela 29, observa-se que existe relação de dependência ao nível de 1% de probabilidade entre o índice de colheita e os níveis de disponibilidade de água no solo para

Tabela 29 - Análise de regressão polinomial para índice de colheita

Causas da variação	G.L.	Q.M. (1)	Q.M. (2)	F (1)	F (2)
Regressão linear	1	0,0058	-	23,68**	-
Regressão quadrática	1	0,00002	-	0,08	-
Regressão cúbica	1	0,00004	-	0,17	-
Tratamentos	3	0,0019	-	7,98	-
Blocos	3	0,0008	-	3,20	-
Resíduo	9	0,00024	-	-	-
Total	15				

C.V. (1) = 3,13%.

(1) = Cultivar IPA 7419.

(2) = Cultivar Mulatinho Vagem Roxa

** = Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

o cultivar IPA 7419, podendo a maior parte do fenômeno ser explicado por uma equação linear mostrada a seguir:

$$\text{Cultivar IPA 7419: } Y = 0,43641265 - 0,043687632X$$

onde,

Y = refere-se ao índice de colheita e

X = refere-se ao valor do potencial matricial do solo após a reposição da água de irrigação. Essa equação está representada graficamente na Figura 10. Essa relação não se mostrou significativa estatisticamente para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa, possivelmente devido à diferença entre os valores ser pequena. Entretanto, nota-se pela Figura 10, que há uma tendência de queda desse índice no nível T₄ para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa, enquanto que os valores referentes aos outros níveis apresentam certo paralelismo ao eixo da abscissa.

4.8. Consumo de água pela cultura

A mensuração do consumo de água diário por vaso possibilitou a obtenção dos dados apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Consumo médio total de água em litros para os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo

Cultivar	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	40,34	31,08	27,26	22,38
Mulatinho Vagem Roxa	42,80	30,90	27,01	21,49

Figura 10 - Representação gráfica da equação linear e valores médios observados para índice de colheita por nível de disponibilidade de água no solo.

Esses valores referem-se ao consumo total de água pela cultura ao longo do seu ciclo vegetativo. Observa-se uma redução de consumo entre os níveis T_1 e T_4 da ordem de 44,5% para o cultivar IPA 7419 e de 49,8% para o cultivar Mulatinho Vagem Roxa. Essas porcentagens na redução do consumo podem ser melhor visualizadas na Figura 11, onde mostra-se a representação gráfica do consumo relativo de água em função dos níveis. Pode-se ver ainda, que o índice de decréscimo do consumo aumentou à medida que decresceram os valores de potencial de água no solo no momento da reposição da água de irrigação.

A variação desse consumo ao longo do ciclo vegetativo pode ser vista nas Figuras 12, 13, 14 e 15. Observa-se que o requerimento de água pela cultura tem uma tendência semelhante às oscilações de temperatura em razão do sistema água-solo-planta-atmosfera ser extremamente dinâmico de acordo com REICHARDT (1978) e KLAR (1984), dentre outros.

Não foi possível estimar com relativa segurança os valores do potencial da água no solo a 15 cm de profundidade, antes da reposição da irrigação. Entretanto, prevê-se que esta variação do estado de energia da água no solo para os níveis tenha sido de maior monta naqueles de menor teor de água disponível para as plantas, em função da textura do solo e da alta demanda atmosférica nos dias mais quentes, verificada dentro da casa de vegetação, fazendo com que a irrigação tivesse que ser diária, principalmente no período

de maior exigência de água pela cultura que é o da floração.

De acordo com FORSYTHE (1978) a produção máxima obtida com feijão ocorreu quando manteve o potencial matricial constante e ao nível de 0,8 bar a 5 cm de profundidade ou 0,6 bar a 15 cm de profundidade. A manutenção de um potencial cada vez maior decrescia a produção com maior velocidade que a manutenção de potenciais cada vez menores, concluindo assim que esse fenômeno na cultura do feijoeiro pode ser explicado por uma equação do segundo grau. Vê-se, pois, claramente que no presente trabalho ocorreu uma variação natural do potencial da água no solo, cujo valor médio, referente ao tratamento de maior teor de água, não representa a obtenção do valor mais alto da produção potencial da cultura, sendo pois o fenômeno nesse caso representado na sua maior parte por uma equação linear. A obtenção desse maior valor se faria possível se potenciais maiores fossem mantidos constantes o que se consegue apenas a partir de sistemas de irrigação por gotejamento de acordo com MILLAR (1976) ou através do uso de cápsulas porosas de acordo com MONTANHEIRO (1980).

Figura 11 - Representação gráfica do consumo relativo de água por nível de disponibilidade de água no solo.

Figura 12 - Representação gráfica das variações do consumo de água para os níveis T_1 e T_2 da cultivar IPA 7419, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico.

Figura 13 - Representação gráfica das variações do consumo médio de água para os níveis T_3 e T_4 da cultivar IPA 7419, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico.

Figura 14 - Representação gráfica das variações do consumo médio de água para os níveis T_1 e T_2 da cultivar M.V. ROXA, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico.

Figura 15 - Representação gráfica das variações do consumo médio de água para os níveis T_3 e T_4 da cultivar M.V. ROXA, temperatura máxima e mínima e caracterização do ciclo fenológico.

4.9. Eficiência de uso da água

A eficiência de uso da água no presente trabalho é conceituada como o parâmetro de produção por unidade de água usada de acordo com BEGG e TURNER (1976).

Na Tabela 31 são mostradas as médias referentes aos valores de eficiência de uso da água para os diferentes níveis de seca.

Tabela 31 - Valores médios de eficiência de uso da água em gramas, por litro, por nível de disponibilidade de água no solo

Cultivar	Níveis			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
IPA 7419	1,23	1,27	1,37	1,27
Mulatinho	1,21	1,23	1,31	1,18
Vagem Roxa				

Pela análise de variância, mostrada na Tabela 32, vê-se que o efeito da redução da disponibilidade de água com relação à essa eficiência não foi significativo, como também não o foi a interação cultivar x nível de água no solo.

Na Figura 16 mostra-se a disposição gráfica dos valores observados, podendo-se ver que embora não tenha sido mostrado efeito significativo da redução do teor de água no solo sobre essa relação, houve uma tendência da água ter sido usada mais eficientemente pelo cultivar IPA 7419 em todos os níveis.

Tabela 32 - Análise da variância da eficiência de uso da água

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Cultivar	1	0,02	0,02	1,0ns
Níveis de água	3	0,07	0,02	1,0ns
Int. Cult.x N.água	3	0,02	0,01	0,5ns
Blocos	3	0,05	0,02	1,0ns
Resíduo	21	0,37	0,02	-
Total	31			

ns = não significativo.

De acordo com VAADIA (1961), algumas plantas parecem capazes de utilizar mais eficientemente a água do que outras. Um fator que contribui para isso, pode advir da habilidade da planta em controlar seu balanço interno de água.

Figura 16 - Representação gráfica dos valores médios observados para eficiência de uso da água por nível de disponibilidade de água no solo.

5. CONCLUSÕES

Após a apresentação e discussão dos dados observados, evidenciam-se as conclusões a seguir.

À medida que houve um decréscimo na disponibilidade de água para as plantas ocorreu uma redução nos valores dos componentes de rendimento como número de vagens, número de grãos, número de grãos por vagem e rendimento de grãos, para os dois cultivares, ao passo, que houve um aumento no peso do grão para o cultivar IPA 7419. O componente de crescimento, como matéria seca total, também apresentou reduções nos dois cultivares.

Apesar da análise estatística não ter revelado diferenças significativas entre os dois cultivares nos componentes de rendimento e de crescimento, há uma tendência do cultivar IPA 7419 apresentar menores reduções desses valores à medida que decresce o potencial da água no solo.

Existe uma tendência do cultivar IPA 7419 apresentar maior eficiência do uso da água em todos os níveis ainda que isso não tenha sido mostrado estatisticamente.

A partir da comparação dos valores do coeficiente angular das equações lineares apresentadas, conclui-se que o cultivar IPA 7419 apresenta maior estabilidade com relação aos efeitos do estresse hídrico.

6. LITERATURA CITADA

- ARRUDA, F.B.; A. TUBELIS e T.J.L. NASCIMENTO, 1980. Efeito da temperatura média diária do ar na produtividade do feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 15 (4):413-417.
- BEGG, J.E. e N.C. TURNER, 1976. Crop water deficits. Advances in Agronomy, New York, 28:161-217.
- BERNARDO, S.; J.D. GALVÃO; H. GUERINI e J.B. CARVALHO, 1970. Efeito dos níveis de água do solo sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). Seiva, Viçosa, 30:7-13.
- BIDINGER, F.R., 1978. Water-stress effects on crop-environment interactions. In: Proceedings of the International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics, Hyderabad, 22-24/nov/1978. p.147-153.

- BURMAN, R.D. e D.W. BOHMONT, 1961. Evaluating the growth rate of great northern beans as influenced by soil moisture level under greenhouse conditions. Agronomy Journal, Madison, 53: 354-355.
- DUBETZ, S. e P.S. MAHALLE, 1969. Effect of soil water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris*, L.) at three stages of growth. Journal of American Society for Horticulture Science, Geneva, 94(5):479-481.
- EL NADI, A.H., 1970. Water relations of beans II. Effects of differential irrigation on yield and seed size of broad beans. Experimental Agriculture, London, 6:107-111.
- FORSYTHE, W.M. e L.B. LEGARDA, 1978. Soil water and aeration and red bean production I. Turrialba, Turrialba, 28(1):81-86.
- GUNTON, J.L. e J.P. EVENSON, 1980. Moisture stress in navy beans. Effect of withholding irrigation at different phenological stages on growth and yield. Irrigation Science, 2(1):49-58. Apud: Soils and Fertilizers, 45(3): 293, 1982.
- HSIAO, T.C. e E. ACEVEDO, 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency and drought resistance. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 14:59-84.

- RAWITZ, E., 1969. The dependence of growth rate and transpiration rate on plant and soil physical parameters under controlled conditions. Soil Science, New Jersey, 110(3):172-182.
- HSIAO, T.C., 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 24:519-570.
- HENCKEL, P.A. 1964. Physiology of plants under drought. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 15:363-366.
- KATTAN, A.A. e J.W. FLEMING, 1956. Effect of irrigation at specific stage of development on yield, quality, growth and composition of snap beans. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Geneva, 68:329-342.
- KRAMER, P.J., 1959. The role of water in the physiology of plants. Advances in Agronomy, New York, 11:51-70.
- KRAMER, P.J., 1963. Water stress and plant growth. Agronomy Journal, Madison, 55(1):31-35.
- KLAR, A.E., 1984. Água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo. Nobel. 408p.
- LAWN, R.J., 1982. Response of four grain legumes to water stress in South-Eastern Queensland. III. Dry matter production, yield and water use efficiency. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 33:497-509.

LIMA, M.G., 1978. Estudo da resistência à seca em cultivares de feijão. Piracicaba, ESALQ/USP. 58p. (Dissertação de Mestrado).

MAGALHÃES, A.A.; A.A. MILLAR e E.N. CHOUDHURY, 1979. Efeito do deficit fenológico de água sobre a produção de feijão. Turrialba, Turrialba, 29(4):269-273.

MAGALHÃES, A.A. e A.A. MILLAR, 1978. Efeito do deficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 13(2):55-60.

MILLAR, A.A., 1974. Uso de alguns métodos e resultados de pesquisa para as áreas de sequeiro. Projeto BRA/74/008. Petrolina, FAO/PNDU. 23p.

MILLAR, A.A. 1984. Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas. Série Publicações miscelaneas (461) IICA, Brasília, 57p.

MILLAR, A.A. e W.R. GARDNER, 1972. Effect of the soil water potentials on the dry matter production of snap beans. Agronomy Journal, Madison, 64(5):559-562, Set.-Out.

MUIRHEAD, N.A. e R.J.G. WHITE, 1981. The influence of soil water potential on the flowering pattern, pod set and yield of snap beans. (*Phaseolus vulgaris*, L.). Irrigation Science, New York, 3:45-56.

- MIRANDA, N.O. e N.C. BELMAR, 1977. Deficit hídrico e frecuencia de riego en frejol. Agricultura Técnica. Santiago, 1977, 37(3):111-117. Apud. Abstracts on Tropical Agriculture, Amsterdam, 4(7):104, 1978.
- PIMENTEL GOMES, F., 1978. Curso de estatística experimental. Piracicaba, ESALQ/USP. 430p.
- PORTES, T.A., 1981. Parâmetros fisiológicos e agrônômicos comumente empregados na pesquisa com feijão. Suplemento I. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP. 22p.
- REICHARDT, K.A. 1978. A água na produção agrícola. São Paulo, McGraw-Hill. 115p.
- RAGGI, L.A.; S. BERNARDO e J.D. GALVÃO, 1972: Efeito do turno de rega em três fases do ciclo do feijoeiro. Seiva, Viçosa, 32(76):35-42.
- ROBINS, J.S. e C.E. DOMINGO, 1956. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. Agronomy Journal. Madison, 48:67-70.
- RESENDE, M., 1979. Effects of high and normal frequency deficit irrigation on crop development and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L.). Davis, University of California. Dissertation Abstracts International. Ann Arbor, 40(10):4.595B, 1980.

- MONTANHEIRO, M.A.S., 1980. Controle da água do solo em vasos em experimentos sobre utilização de nutrientes pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 56p. (Dissertação de Doutorado).
- SILVEIRA, P.M.; C.M. GUIMARÃES; L.F. STONE e J. KLUTHCOUSKI, 1981. Avaliação de cultivares de feijão para resistência à seca baseada em dias de estresse de água no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 16(5):693-699. Set./Out.
- STOKER, R. 1974. Effect on dwarf beans of water stress at different phases of growth. New Zealand Journal of Experimental Agriculture. Wellington, 2(1):13-15. Apud: Field Crops Abstracts, 1974, Aberystwyth, 27(10):526.
- SAWAZAKI, H.E. e J.P.F. TEIXEIRA, 1981. Estrésse de água no crescimento, produtividade e acúmulo de prolina em feijão. Bragantia, Campinas, 40:157-166.
- SLATYER, R.O. 1969. Physiological significance of internal water relations to crop yields. In: EASTIN, J.D. ed. et alii. Physiological Aspects of crop yield. Madison, American Society of Agronomy; Crop Science Society of America. 396p.
- TURNER, N.C. e J.E. BEGG, 1981. Plant-water relations and adaptation to stress. Plant and Soil, Armindale, 56: 97-131.

TAVARES, F.C.A., 1972. Componentes da produção relacionados à heterose em híbridos intervarietais de milho (Zea mays, L.). Piracicaba, ESALQ/USP, 106p. (Dissertação de Mestrado).

VAADIA, V.; C.R. FRANKLIN e R.M. HAGAN, 1961. Plant water deficits and physiological process. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 12:265-292.