

Crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado sob déficit hídrico

Camila Aparecida da Silva Martins¹, Edvaldo Fialho dos Reis¹, Marcelo Antonio Tomaz¹, Giovanni de Oliveira Garcia¹

Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor a Universidade Federal do Espírito Santo/UEFES, para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Alto Universitário, s/nº, Guararema, Alegre, ES. E-mail: camila.martins@ufes.br; edreis@ufes.br; marcelo.tomaz@ufes.br; giovanni.garcia@ufes.br

Resumo: O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de diferentes níveis de tensão e déficit hídrico sobre o crescimento e a produção do feijoeiro comum cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa e Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média. Dois experimentos foram instalados em esquema fatorial 2 x 4, sendo a tensão para determinação da capacidade de campo em dois níveis (T1 = 0,010 MPa e T2 = 0,033 MPa) e déficit hídrico (DH) no solo em quatro níveis (0, 20, 40 e 60% da água disponível no solo), em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada solo. A avaliação de crescimento e produção foi realizada na fase fenológica da cultura R9 e os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando significativos os resultados, o teste F ($p \leq 0,05$) foi utilizado para o fator tensão e a análise de regressão para o fator déficit hídrico. As plantas submetidas à capacidade de campo determinada pela tensão de 0,010 MPa apresentam maior turgescência, crescimento e produção em ambos os solos. A produção de grãos sob DH = 60% foi reduzida em média a 39% e 36% em relação às plantas que não receberam DH no Latossolo Vermelho-Amarelo e no Argissolo Vermelho-Amarelo, respectivamente.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, tensão de água, água disponível.

Growth and yield of common bean grown under water deficit

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of tension and water deficit on the growth and yield of common bean cultivated in Oxisol of clayey texture and Ultisol of medium texture. Two experiments were installed in factorial scheme of 2 x 4 with tension for the determination of field capacity on two levels (T1 = 0.010 MPa and T2 = 0.033 MPa) and soil water deficit (WD) on four levels (0; 20; 40 and 60% of the soil available water) in a completely randomized design with three replicates for each soil. Evaluation of growth and yield was held in phenological stage of crop R9 and the data were submitted to an analysis of variance ($p \leq 0.05$). When significant results, the F Test ($p \leq 0.05$) was used for the tension factor and regression analysis for the water deficit factor. The plants submitted to field capacity determined by the tension of 0.010 MPa presented higher swelling, growth and yield in both soils. The grain yield under WD = 60% was reduced on average of 39% and 36% in relation to the plants that didn't receive WD in Oxisol and Ultisol, respectively.

Keywords: *Phaseolous vulgaris*, water tension, available water.

Introdução

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas de grande importância socioeconômica para o Brasil, segundo maior produtor e principal consumidor mundial, com produção de 3,2 milhões de toneladas na safra 2014/2015 e área cultivada na ordem de 3 milhões de hectares (CONAB, 2016).

Os principais Estados produtores de feijão comum são Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Bahia e Goiás, os quais respondem por mais de 71% da produção nacional, com rendimento médio de 1.634 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). Esse baixo rendimento é resultante de diversos fatores, tais como, a não utilização de sementes de boa qualidade (Mondo et al., 2016), cultivo em solos de baixa fertilidade (Oliveira & Tsai, 2001), ocorrência de precipitações irregulares e não utilização de irrigação e manejo inadequado (Rosales et al., 2012).

A disponibilidade de água no solo é um dos principais fatores limitantes para o crescimento e produção do feijoeiro, pois o desenvolvimento da cultura é afetado pela umidade do solo, assim, o déficit ou excesso de água, nas diferentes fases fenológicas da cultura, causa redução na produtividade em diferentes proporções (Miorini et al., 2011).

O efeito do déficit hídrico no desenvolvimento das plantas de feijão caupi já foi objeto de pesquisas realizadas por Mendes et al. (2007) e Nascimento et al. (2004). No entanto, com relação ao efeito de diferentes níveis de déficit hídrico sobre o crescimento e a produção do feijoeiro comum, as pesquisas são incipientes e existe carência de informações, principalmente, para o cultivar Ouro Negro, que se destaca no cultivo de outono-inverno com irrigação suplementar.

Dados da literatura mostram que a tensão matricial de água no solo correspondente à capacidade de campo, dependendo do tipo de solo, varia entre 0,010 e 0,033 MPa (Campelo Junior et al., 2014). Entretanto, não existe um consenso entre os pesquisadores sobre o uso de uma tensão adequada da capacidade de campo para solos tropicais que possa ser utilizada para caracterizar a sua

umidade correspondente por meio de curvas características de retenção de água no solo (Andrade & Stone, 2011).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes níveis de tensão utilizados na determinação da capacidade de campo e do déficit hídrico sobre o crescimento e a produção do feijoeiro comum cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média (PVA).

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre-ES, com coordenadas geográficas 20° 45' 2,3" de latitude Sul e 41° 29' 17,7" de longitude Oeste e altitude de 119 m. O clima predominante na região é do tipo Cwa, conforme classificação de Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23 °C.

Foram instalados dois experimentos, sendo um para cada tipo de solo em estudo, no esquema fatorial 2 x 4, sendo a tensão para determinação da capacidade de campo em dois níveis (T1 = 0,010 MPa e T2 = 0,033 MPa) e déficit hídrico no solo em quatro níveis (DH1 = 0%, DH2 = 20%, DH3 = 40% e DH4 = 60% da água disponível no solo), em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada experimento, totalizando 48 unidades experimentais.

Os experimentos foram instalados em vasos plásticos com capacidade para oito litros. No experimento 1 os vasos foram preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVA) e o experimento 2 foi instalado utilizando-se um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média (PVA).

Foram coletadas amostras superficiais de um LVA e PVA, em áreas cultivadas com sistema agroflorestal (plantio de café conilon entre eucalipto) e pastagem, respectivamente, no município de Alegre-ES. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de dois milímetros para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e realizado sua caracterização física e química (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Atributos físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

| Solo | Granulometria ⁽¹⁾ | | | Ds ⁽²⁾ | Dp ⁽³⁾ | P _T ⁽⁴⁾ |
|------|--------------------------------|-------|--------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | Areia | Silte | Argila | | | |
| | ----- g kg ⁻¹ ----- | | | ----- kg dm ⁻³ | ----- | -- m ³ m ⁻³ -- |
| LVA | 432 | 172 | 396 | 1,22 | 2,21 | 0,448 |
| PVA | 633 | 67 | 298 | 1,26 | 2,40 | 0,475 |

⁽¹⁾Método da Pipeta (Agitação Lenta): Areia ($\varnothing > 0,05$ mm); Silte (\varnothing de 0,05 - 0,002 mm); Argila ($\varnothing < 0,002$ mm); ⁽²⁾Ds = Massa específica do solo: Método da Proveta; ⁽³⁾Dp = densidade de partículas: Método do Balão Volumétrico; e ⁽⁴⁾P_T = Porosidade Total: 1 - (Ds/Dp) (Embrapa, 1997).

Tabela 2. Atributos químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

| Solo | pH | MO | P | K | Ca | Mg | H + Al | SB | CTC | V |
|------|------|-----------------------|------------------------|--|------|------|--------|------|------|-------|
| | | (g kg ⁻¹) | (mg dm ⁻³) | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | (%) |
| LVA | 5,03 | 19,4 | 13,77 | 96,00 | 1,29 | 0,80 | 1,65 | 2,33 | 3,98 | 58,54 |
| PVA | 4,78 | 16,3 | 4,86 | 41,00 | 0,75 | 0,59 | 2,23 | 1,45 | 3,67 | 39,51 |

Extração e determinação: pH em água (1:2,5); MO: dicromato de potássio (1 mol L⁻¹) e titulação pelo sulfato ferroso (0,5 mol L⁻¹); P: Mehlich-1 e colorimetria; K: Mehlich-1 e espectrofotometria de chama; Ca e Mg: KCl (1 mol L⁻¹) e espectrometria de absorção atômica; Al: KCl (1 mol L⁻¹) e titulometria; e H + Al: acetato de cálcio (0,5 mol L⁻¹) (Embrapa, 1997).

Após as análises dos solos, os mesmos foram separados em amostras de sete litros e acondicionadas em sacos plásticos onde foram incubadas por 28 dias com a aplicação de dois e cinco gramas de calcário dolomítico (PRNT = 96%) no LVA e no PVA, respectivamente, com base nas análises químicas (Tabela 2), de acordo com a metodologia proposta por Prezotti et al. (2007). Durante a incubação as amostras de solos foram mantidas a umidade de 60% do volume total de poros (VTP), de acordo com Freire et al. (1980). Foram realizadas pesagens diárias para reposição das perdas de água do solo.

Após o período de incubação, as amostras foram secas a sombra e homogeneizadas em peneira de malha dois milímetros, para realização da adubação de sementeira e condução (cobertura) de acordo com a metodologia proposta por Novais et al. (1991).

Em seguida, as amostras de solos foram colocadas em vasos plásticos e efetuou-se a adubação de sementeira em ambos os experimentos, uma semana antes da sementeira, com a aplicação de quatro gramas de sulfato de amônio (21% de nitrogênio), 13 gramas de superfosfato simples (19% de P₂O₅) e dois gramas de cloreto de potássio (58% de K₂O), em cada vaso.

Posteriormente, realizou-se a sementeira das sementes certificadas de feijão comum, cultivar Ouro Negro, pertencente ao grupo comercial do tipo preto, com hábito de crescimento indeterminado III, porte prostrado, ciclo de 80 - 100 dias, que se sobressai no cultivo irrigado de outono-inverno (Paula Júnior et al., 2007). As sementes certificadas de feijão comum foram obtidas na Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

A sementeira nos vasos foi realizada no dia 28 de junho de 2012, com três sementes por vaso. Aos 10 dias após a sementeira foi realizado um desbaste para permanecer uma planta por vaso. Para garantir o estabelecimento das plantas, os vasos foram irrigados diariamente durante 10 dias. Em seguida, foram aplicados os tratamentos e as plantas cultivadas por um período de 85 dias (08/07/2012 a 30/09/2012), totalizando 95 dias. Aos 30 e 60 dias após a sementeira

efetuou-se uma adubação de cobertura com sulfato de amônio e cloreto de potássio para cada solo.

Inicialmente, realizou-se a padronização da massa de solo, planta e umidade de todos os vasos após a sementeira. Após o período destinado ao estabelecimento das plantas, retirou-se amostra de solo dos vasos para a determinação da umidade pelo método termogravimétrico (Embrapa, 1997), sendo reposta a mesma quantidade de solo do vaso. Posteriormente, procedeu-se a elevação do grau de umidade do solo (U_{GA}) à capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa pelo extrator de Richards, com posterior pesagem dos vasos.

As lâminas de irrigação (LI) foram multiplicadas pela área média do vaso (Ā_v) para serem expressas em volume (mL vaso⁻¹). O estabelecimento e o controle do grau de umidade das parcelas foram realizados diariamente sempre no intervalo das sete às oito horas, pelo monitoramento da massa de cada unidade experimental, incluindo solo, planta e umidade.

Após o estabelecimento da massa de cada unidade experimental e correspondente umidade do solo na capacidade de campo determinada pela T1 (0,010 MPa), foram determinadas as massas dos vasos na capacidade de campo determinada pela T2 (0,033 MPa), e os déficits hídricos de 0, 20, 40 e 60% da água disponível para todos os níveis de tensão utilizados na determinação da capacidade de campo dos solos em estudo. Para obter os teores de umidade de cada unidade experimental realizou-se o monitoramento da umidade do solo e pesagem dos vasos a cada 12 h.

As curvas de retenção de água dos solos, obtidas por secamento, foram determinadas a partir de amostras deformadas previamente peneiradas, conforme preconizado pela Embrapa (1997). Após o período de saturação de 12 h as amostras foram colocadas no extrator de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo não inferior a três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica (U_g), correspondente às tensões de: 0,006; 0,010; 0,033; 0,08; 0,10; 0,30; 0,50; 1,0 e 1,5 MPa, com três repetições.

A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo ($\theta = U_g \cdot D_s$). Os valores médios de umidade volumétrica dos pontos da curva de retenção de cada solo foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980).

Os valores de umidade volumétrica observados na curva de retenção de água de cada solo para a capacidade de campo (C_c) determinada nas tensões de 0,010 MPa (T1) e 0,033 MPa (T2), e para o ponto de murcha permanente (P_m) na tensão de 1,5 MPa foram utilizados para determinar a água disponível, de acordo com a metodologia preconizada por Bernardo et al. (2009). Em seguida, foram definidas as umidades referentes aos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível ($DH = 20, 40$ e 60%), destinadas ao cálculo das lâminas de irrigação para os solos em estudo.

Na ausência de déficit hídrico ($DH = 0\%$), a umidade do solo era mantida próxima à capacidade de campo. Entretanto, as lâminas de irrigação a serem aplicadas manualmente para elevar o grau de umidade do solo (U_a) à capacidade de campo nos déficits de 20, 40 e 60% da AD, foram determinadas pela seguinte expressão: $LI = [(C_c - U_a)/10] \times D_s \times Z$ (Mantovani et al., 2009), em que: LI - lâmina de irrigação, em mm; C_c - umidade na capacidade de campo, % em peso; U_a - umidade atual do solo, % em peso; D_s - densidade do solo, em $g\ cm^{-3}$; e Z - profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, em cm.

As análises de potencial hídrico foliar, crescimento e componentes de produção foram realizadas na fase de maturação da cultura, ou seja, fase fenológica R9, que corresponde a aproximadamente 85 dias após a emergência (DAE). Além do potencial hídrico foliar (ψ_{am}) das plantas, foram avaliados: massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP).

A medição de potencial hídrico foliar (ψ_{am}) foi realizada, antes do nascer do sol, às quatro horas e trinta minutos, utilizando-se uma bomba de pressão segundo Scholander et al. (1965), destinada ao estudo da tensão da seiva no xilema.

Para cada avaliação foram realizadas 24 leituras (três folhas por planta) no mesmo dia para cada experimento, fazendo-se o uso de uma média por tratamento, totalizando-se dois dias para esta avaliação.

Para obter a massa seca total e a massa de grãos por planta, as plantas foram secas em estufa a $70\ ^\circ C$ até atingirem massa constante. A área foliar foram determinados por a partir de um medidor de área foliar (modelo LI-3100, LI-COR). O número de folíolos por planta e o número de vagens por planta foi determinado

por meio de contagem direta.

Os dados foram submetidos aos testes preliminares para verificação da normalidade e homogeneidade de variância dos mesmos, aos testes de Lilliefors e teste de Bartlett, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), utilizando-se o software SAEG versão 9.1 (2007). Quando significativos foi utilizado o teste F ($p \leq 0,05$) para o fator tensão e a análise de regressão para o fator déficit hídrico. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student, ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação.

Resultados e Discussão

Pelas análises de variâncias (Tabela 3), verifica-se que não houve interação entre os níveis de tensão e de déficit hídrico no solo para todas as variáveis avaliadas ($p > 0,05$) na fase fenológica R9 do feijoeiro comum cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média (PVA). Dessa forma, o efeito dos fatores em estudo (tensão e déficit hídrico) sobre as variáveis de crescimento e produção do feijoeiro comum foram avaliados isoladamente.

É possível constatar na Tabela 3 que houve efeito significativo dos níveis de tensão utilizados para definir a umidade do solo na capacidade de campo sobre todas as variáveis de crescimento e produção avaliadas ($p < 0,05$) na fase fenológica R9 do feijoeiro cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo.

Na Tabela 3 observa-se que em relação ao efeito dos níveis de déficit hídrico no solo, também houve resposta significativa para as variáveis avaliadas ($p < 0,05$) na fase fenológica R9 da cultura e solos em estudo. Isto pode ser explicado pelo fato de que a disponibilidade de água no solo afeta significativamente o comportamento fisiológico da cultura por reduzir o potencial hídrico foliar, a condutância estomática, a taxa de assimilação de CO_2 , a transpiração e aumentar a temperatura foliar, o que reduz a taxa de crescimento e consequentemente a produtividade da cultura (Taiz et al., 2016).

Na Tabela 4, observa-se respostas significativas ($p < 0,05$) para o potencial hídrico foliar (ψ_{am}), massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP) analisados, ao nível de 5% de probabilidade, na fase fenológica R9 do feijoeiro comum submetido a diferentes níveis de tensão para determinação da umidade do solo na capacidade de campo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Tabela 3. Análise de variância de potencial hídrico foliar (ψ_{am}), massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP) do feijoeiro comum, na fase fenológica R9¹, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média (PVA).

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | | | |
|-------------------|----|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | ψ_{am} | MST | AF | NFP | NVP | MGP |
| LVA | | | | | | | |
| T ² | 1 | 0,1611* | 2097,8408* | 6219023,1268* | 682,6667* | 360,3750* | 806,4555* |
| DH ³ | 3 | 0,1576* | 1023,2930* | 2733821,2321* | 1110,5556* | 198,2639* | 237,4453* |
| T*DH | 3 | 0,0013 ^{ns} | 0,4497 ^{ns} | 2227,0478 ^{ns} | 6,1111 ^{ns} | 0,3750 ^{ns} | 1,6119 ^{ns} |
| Resíduo | 16 | 0,0018 | 6,4464 | 46151,7381 | 8,4583 | 2,0417 | 4,6228 |
| Média Geral | | 1,07 | 55,91 | 4929,25 | 85,50 | 27,96 | 30,19 |
| CV (%) | | 3,97 | 4,54 | 4,36 | 3,40 | 5,11 | 7,12 |
| PVA | | | | | | | |
| T ² | 1 | 0,1849* | 2215,4895* | 11077209,3750* | 864,0000* | 247,0417* | 937,5000* |
| DH ³ | 3 | 0,1691* | 1005,3448* | 3871083,5972* | 1084,6667* | 207,7083* | 191,4444* |
| T*DH | 3 | 0,0009 ^{ns} | 0,6540 ^{ns} | 1148,1528 ^{ns} | 0,4444 ^{ns} | 0,1528 ^{ns} | 0,2778 ^{ns} |
| Resíduo | 16 | 0,0016 | 6,3877 | 35345,8750 | 9,0000 | 3,0833 | 4,4583 |
| Média Geral | | 1,11 | 54,00 | 4451,13 | 75,17 | 23,79 | 29,00 |
| CV (%) | | 3,60 | 4,68 | 4,22 | 3,99 | 7,38 | 7,28 |

¹R9 – Maturidade fisiológica; ²T – Tensão de água; ³DH – Déficit hídrico. *Significativo a 5%; e ^{ns} não significativo.

Tabela 4. Valores médios obtidos para potencial hídrico foliar (ψ_{am}), massa seca total (MST), área foliar (AF), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP) em função dos níveis de tensão (T1 = 0,010 MPa e T2 = 0,033 MPa), na fase fenológica R9¹ do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

| Níveis de tensão | ψ_{am} (MPa) | MST (g) | AF (cm ²) | NFP | NVP | MGP (g) |
|------------------|-------------------|---------|-----------------------|-----|-----|---------|
| | | | | | | |
| T1 | -0,99a | 65,26a | 5438,29a | 91a | 32a | 36,0a |
| T2 | -1,15b | 46,56b | 4420,20b | 80b | 24b | 24,0b |
| PVA | | | | | | |
| T1 | -1,02a | 63,61a | 5130,45a | 81a | 27a | 35,0 |
| T2 | -1,20b | 44,40b | 3771,63b | 69b | 21b | 23,0 |

¹R9 – Maturidade fisiológica. *Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

Na fase fenológica R9 a tensão de 0,010 MPa (T1) adotada para determinar a Cc proporcionou maior ψ_{am} (16,2%), MST (28,7%), AF (18,7%), NFP (12,1%), NVP (25,0%) e MGP (33,3%) nas plantas cultivadas no LVA (Tabela 4), em relação às plantas submetidas à Cc definida pela tensão de 0,033 MPa (T2), pelo fato da disponibilidade de água no solo na T1 ser superior a T2, o que se deve a origem e quantidade da fração argila

presente no solo em estudo. Nesse sentido, vale ressaltar que, na fase fenológica R9, a planta inicia o processo de senescência, que resulta na paralisação da produção de massa seca e a partir desse momento, prevalece os fenômenos de translocação de fotoassimilados, em substituição ao de crescimento, o que explica a redução do potencial hídrico foliar e consequentemente da taxa de crescimento das plantas (Taiz et al., 2016).

Estes resultados indicam que a produção de biomassa depende de vários fatores, entre os quais está a disponibilidade de água e de nutrientes durante o desenvolvimento da cultura. Isto demonstra a importância da capacidade de retenção de água do solo no manejo da irrigação, pois ao estimar a lâmina de irrigação suplementar para a cultura deve-se considerar a interação entre solo, água, planta e atmosfera.

Relacionando as variáveis de crescimento e produção do feijoeiro comum com os níveis de tensão da água no solo utilizada na determinação da capacidade de campo no LVA, observa-se que os resultados obtidos neste trabalho são contrários aos obtidos por Bilibio et al. (2010), os quais observaram um aumento de crescimento e produção da berinjela ao utilizar a tensão de 0,030 MPa para estimativa da capacidade de campo em solos de textura argilosa. Tais resultados indicam que a tensão de 0,033 MPa não deve ser utilizada como referência na determinação da capacidade de campo em solos tropicais de textura argilosa, pelo fato de não representar a capacidade máxima de retenção de água do solo (Figura 1), haja vista que a retenção de água no solo na T2 está relacionada com a composição granulométrica dos solos.

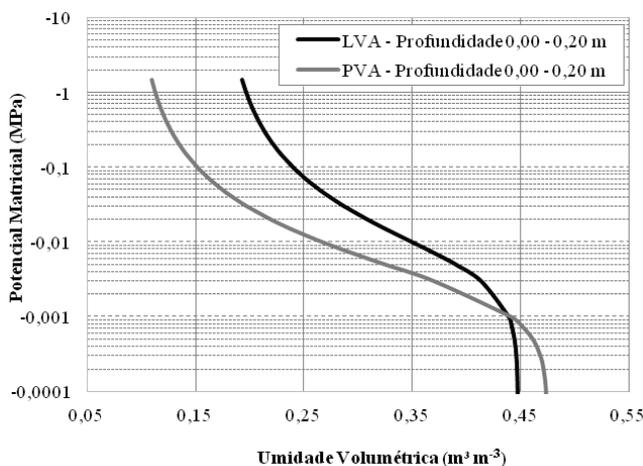


Figura 1. Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) à profundidade de 0,00 - 0,20 m.

Dessa forma, os profissionais das ciências agrárias ao utilizarem o conteúdo de água disponível no solo na elaboração de projetos de irrigação, devem determinar a granulometria e a capacidade de retenção de água dos solos, entre outros atributos físicos, para estimar de forma adequada as lâminas de irrigação suplementar à cultura, visando o uso racional dos recursos hídricos existentes, que se faz necessário para contribuir com a manutenção da produção agrícola do país, uma vez que o cenário hídrico atual restringe o uso da técnica da

irrigação em várias regiões para atender o abastecimento público de água.

Nesse contexto, observou-se que o volume de água aplicado (mL vaso^{-1}) para manter os conteúdos de água no solo em estudo ($\text{DH} = 0, 20, 40$ e 60% da AD no solo), ao longo do ciclo da cultura, variou em média de aproximadamente 110 a 330 mL vaso^{-1} ao considerar a T1 e de 130 a 230 mL vaso^{-1} com a T2 para o LVA. Enquanto, que para o PVA o volume de água aplicado variou da ordem de 210 a 380 mL vaso^{-1} para a T1 e de 150 a 250 mL vaso^{-1} ao considerar a T2 para determinação da Cc.

A lâmina de irrigação aplicada em cada solo para manter os conteúdos de água no solo em estudo variou de um solo para o outro em função dos atributos físicos dos mesmos (textura, densidade do solo, profundidade), do sistema de cultivo (agroflorestal e pastagem) e da tensão adotada na determinação da capacidade de campo para o LVA e o PVA, considerados por vários autores como aptos para o cultivo do feijoeiro comum.

Nesse contexto, verifica-se que para o feijoeiro cultivado no PVA (Tabela 4) a T1 adotada para definir a Cc também proporcionou maior ψ_{am} ($17,6\%$), MST ($30,2\%$), AF ($26,5\%$), NFP ($14,8\%$), NVP ($22,2\%$) e MGP ($34,3\%$), em relação às plantas submetidas à Cc definida pela T2. Estes resultados indicam que o nível de tensão utilizado para determinar a Cc para um determinado solo exerce influência significativa sobre o potencial hídrico foliar do feijoeiro comum e sobre as variáveis de crescimento e produção da cultura, porque o teor de umidade do solo na Cc varia com o nível de tensão adotado em sua determinação, sendo que em maiores potenciais matriciais do solo, ou seja, em menores tensões, há maior disponibilidade de água no solo.

De acordo com Castro et al. (2009), em ambientes com menor disponibilidade de água, ocorre redução no tamanho dos estômatos para que haja menor perda de água da planta para a atmosfera e aumento de sua densidade para contribuir com o equilíbrio das trocas gasosas. Para Mendes et al. (2007), essas alterações podem compensar a redução de área foliar e de potencial hídrico foliar que ocorre em plantas submetidas ao déficit hídrico.

Observa-se que os valores das variáveis de crescimento e de produção obtidos na fase fenológica R9 do feijoeiro cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com o aumento do nível de déficit hídrico no solo (Figuras 2, 3 e 4), porque a disponibilidade de água no solo afeta significativamente o comportamento fisiológico da cultura por reduzir o grau de hidratação das plantas, a condutância estomática e a taxa de assimilação de CO_2 (Taiz et al., 2016).

Resultados semelhantes foram obtidos por Vale et al. (2012).

Verifica-se na fase fenológica R9 que os níveis de déficit hídrico no solo, influenciaram significativamente o crescimento e a produção do feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, cultivado em um LVA (Figuras 2A e 3) e PVA (Figuras 2B e 4). Nesse contexto, as variáveis ψ_{am} (Figura 2A), MST (Figura 3A), AF (Figura 3B) e MGP (Figura 3E) cultivada no LVA, foram reduzidas linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ($p < 0,05$), exceto o NFP (Figura 3C) e o NVP (Figura 3D) que apresentaram comportamento quadrático para os níveis de déficit hídrico no solo em estudo.

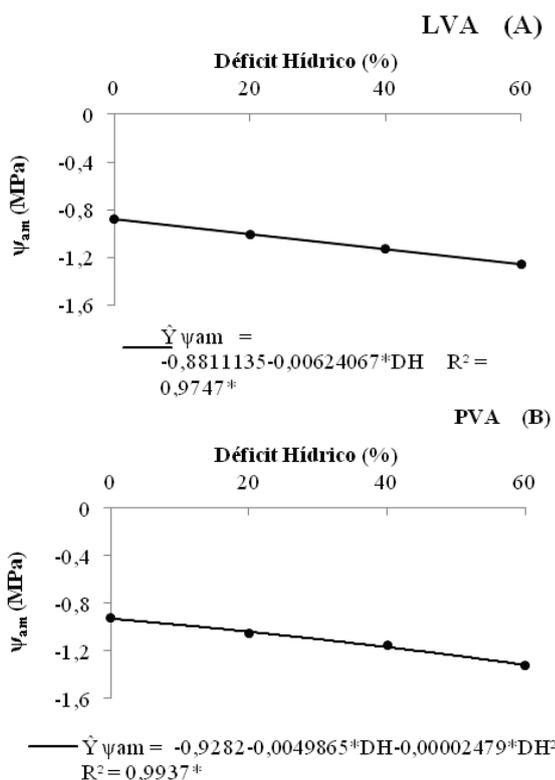


Figura 2. Potencial hídrico foliar (ψ_{am}) na fase fenológica R9 do feijoeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Nos resultados estimados, observa-se que para cada variação unitária crescente do nível de déficit hídrico no solo ocorreu redução de cerca de 14, 28 e 42% para o ψ_{am} das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação às plantas não submetidas ao déficit hídrico (Figura 2A). Nas plantas cultivadas no PVA, verifica-se comportamento quadrático para o ψ_{am} em função dos níveis de déficit hídrico no solo (Figuras 2B). Pelos resultados estimados, observa-se decréscimos da aproximadamente 12, 26 e 42% para o ψ_{am} das plantas submetidas ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no

solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Estes resultados são explicados pelo fato de que o déficit hídrico reduz a multiplicação e a expansão das células, resultando em menor crescimento da parte aérea das plantas, que como mecanismo de defesa ao início da restrição hídrica, reduzem a expansão foliar e a eficiência fotossintética.

Nos resultados estimados para as variáveis de crescimento, observa-se que para cada variação unitária crescente do nível de déficit hídrico no solo ocorreu redução da ordem de 14, 28 e 43% para a MST das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação às plantas não submetidas ao déficit hídrico, ou seja, $DH = 0\%$ (Figura 3A). Isto acontece porque o déficit de água causa redução do potencial hídrico foliar, seguida de redução da condutância estomática e das taxas de trocas gasosas responsáveis pelo acúmulo de fotoassimilados no tecido vegetal (Taiz et al., 2016).

De modo geral, o crescimento das plantas é afetado pela disponibilidade de água no solo, devido à redução da área foliar fotossinteticamente ativa quando estas são expostas ao déficit hídrico (Taiz et al., 2016). Para Silveira & Stone (2006) o nível de água disponível no solo em função dos níveis de tensão em estudo afeta significativamente o crescimento e a produção da cultura por reduzir o potencial hídrico foliar, a expansão foliar, o número de vagens por planta e a massa de vagens e grãos por planta.

Houve decréscimos de aproximadamente 9, 18 e 27% para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico (Figura 3B). O que pode ser justificado pela redução do grau de hidratação das folhas, uma vez que como mecanismo de resistência à seca as plantas fecham os estômatos e reduzem a expansão foliar (Larcher, 2006).

Para o NFP, a redução foi da ordem de 9, 19 e 31% para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA (Figura 3C). Isto se deve ao fato de que o déficit hídrico reduz a multiplicação e divisão celular no interior do tecido vegetal, o que resulta em menor crescimento da parte aérea das plantas, que como mecanismo de defesa ao início da restrição hídrica reduzem a expansão foliar e a eficiência fotossintética (Taiz et al., 2016).

Houve reduções de aproximadamente 8, 21 e 39% para o NVP de feijoeiro comum cultivada no LVA e submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas

não submetidas ao déficit hídrico (Figura 3D). O abortamento de flores e de vagens jovens, além da redução da taxa de fecundação pode ocorrer em função da restrição hídrica durante o desenvolvimento da cultura.

Em relação a variável MGP verifica-se decréscimo da ordem de 13, 26 e 39% para as plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no LVA (Figura 3E). Este decréscimo na produção se deve ao fato de que o déficit

hídrico causa fechamento dos estômatos, aumento da temperatura foliar e alterações na fotossíntese, o que reduz o número e o tamanho de vagens por planta, bem como o número e a massa de grãos por vagem.

Nota-se que as reduções das variáveis de crescimento e dos componentes de produção na fase fenológica R9 foram maiores no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 2, 3 e 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento et al. (2004) ao analisarem o

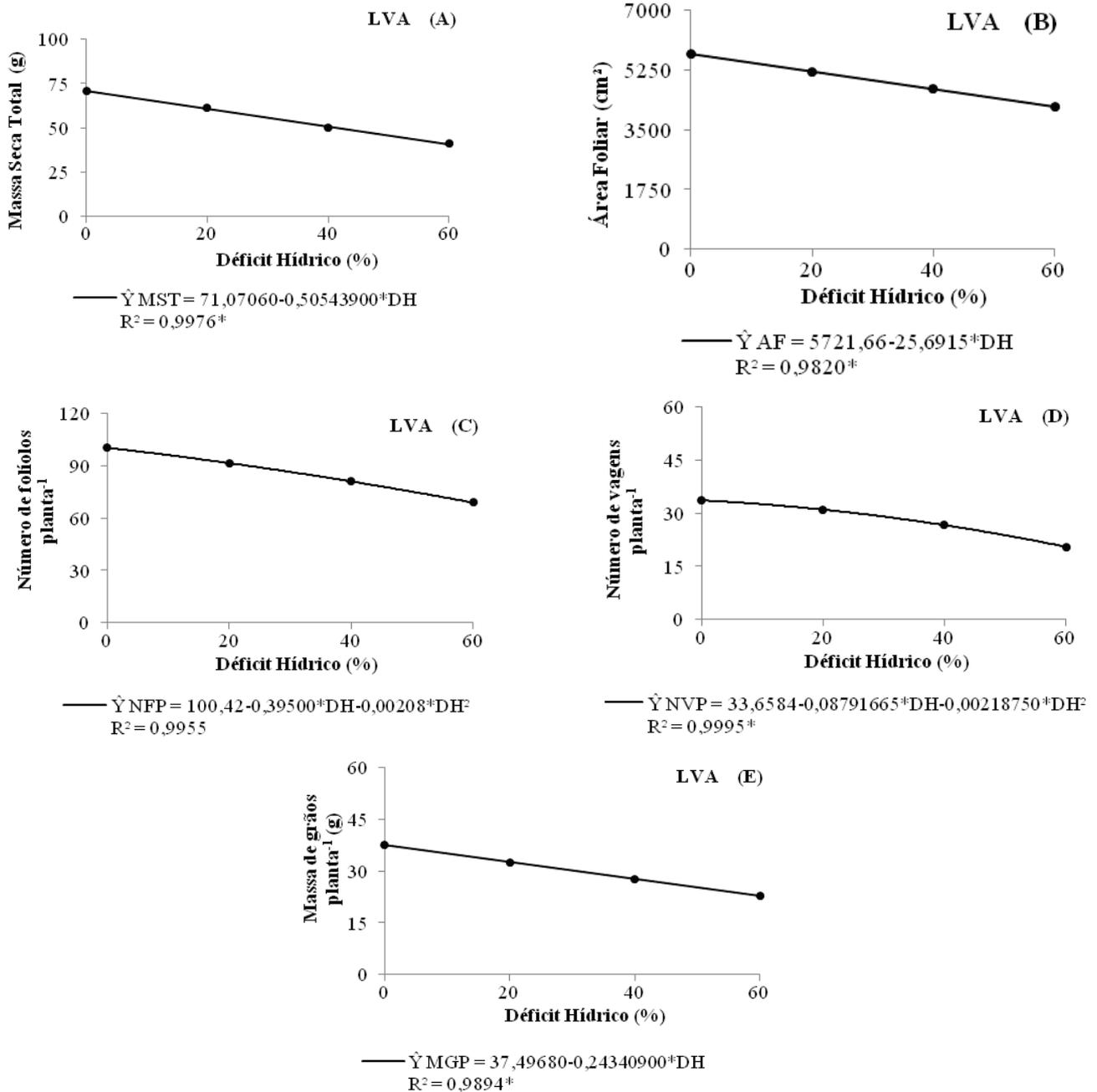


Figura 3. Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C), número de vagens por planta (D) e massa de grãos por planta (E) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

efeito da variação dos níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e a produção de feijão caupi em solo de textura arenosa.

As variáveis ψ_{am} (Figura 2B), MST (Figura 4A), AF (Figura 4B), NFP (Figura 4C) e MGP (Figura 4E) cultivada no PVA, apresentaram comportamento linear em função do nível de déficit hídrico no solo em estudo ($p < 0,05$), exceto o NVP que apresentou comportamento quadrático em função dos níveis de déficit hídrico no solo (Figura 4D).

Para o feijoeiro comum, os níveis de déficit hídrico no solo de 40 e 60% da água disponível, exerceram efeitos negativos sobre o ψ_{am} , que reduzindo o crescimento e a produtividade da cultura. Por sua vez, Mendes et al. (2007), ao avaliarem o potencial hídrico foliar em plantas de feijão-de-corda submetidas ao déficit hídrico nas fases vegetativa e reprodutivas, verificaram reduções significativas no potencial hídrico foliar, na condutância estomática e transpiração foliar, com consequente aumento da temperatura foliar.

As respostas observadas da disponibilidade hídrica sobre o parâmetro fisiológico do feijoeiro comum correspondem aos efeitos frequentemente encontrados na literatura, devido à restrição hídrica verificada pelos valores de potencial hídrico foliar (Pinheiro & Chaves, 2011). Os resultados obtidos demonstram que o efeito da disponibilidade de água do solo sobre o comportamento fisiológico do feijoeiro está diretamente relacionado com a redução do potencial hídrico foliar.

Além disso, nos resultados estimados pelas equações, verifica-se decréscimo da ordem de 15, 29 e 44% para a MST das plantas das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico (Figura 4A). Este resultado pode ser explicado pelo fato de que na fase fenológica R9 a planta inicia o processo de senescência, que resulta na paralisação da produção de massa seca e a partir desse momento, começa a prevalecer os fenômenos de translocação de fotoassimilados, em substituição ao de crescimento (Taiz et al., 2016).

Houve reduções de aproximadamente 12, 23 e 35% para a AF das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Para o NFP, o decréscimo foi da ordem de 11, 23 e 34% para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA (Figura 4B e 4C). Estes resultados se devem ao fato de que a restrição hídrica diminui a multiplicação e a expansão celular, o que causa menor crescimento de

ramos laterais e de folhas nas plantas, que como mecanismo de resistência a seca reduz a expansão foliar e a fotossíntese.

Para a variável NVP nota-se decréscimos da ordem de 14, 29 e 45% para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA. E para o componente MGP observa-se redução da ordem de 12, 24 e 36% para as plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA (Figura 4D e 4E). Tais resultados são explicados pela ocorrência de queda de flores e de vagens jovens, associada com a redução da taxa de fecundação por causa da redução da disponibilidade de água durante o desenvolvimento da cultura.

Nota-se que o nível de déficit hídrico no solo igual a 60% é crítico para o crescimento e a produtividade do feijoeiro cultivado em um LVA (Figuras 2A e 3) e PVA (Figuras 2B e 4). De acordo com Silveira & Stone (2006) a restrição hídrica não afeta apenas o crescimento, mas também a produção das culturas, efeito que se manifesta principalmente no atraso do ciclo da cultura, redução no estande, no número de vagens por planta, na massa das vagens e grãos, influenciando diretamente a produção.

A redução do nível de água disponível no solo influenciou significativamente o crescimento e a produção do feijoeiro comum cultivado em solos de textura argilosa e média. Resultados similares foram obtidos por Nascimento et al. (2004) ao avaliarem o efeito de quatro níveis de água disponível no solo (40; 60; 80 e 100%), sobre o crescimento e a produção de vagens e grãos verdes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar IPA 206, cultivado em vasos com capacidade de 13 kg, em ambiente protegido, com amostras deformadas de solo, classificado como Neossolo Regolítico psamítico típico, de textura franco-arenosa, coletadas na camada de 0-20 cm e irrigadas diariamente por meio do método de pesagem.

O rendimento do feijoeiro é afetado pela condição hídrica do solo, sendo que tanto o déficit quanto o excesso de água no solo, nas diferentes fases fenológicas da cultura, causam redução na produtividade em diferentes proporções. Para vários autores, entre os quais estão Taiz et al. (2016), quando as plantas são submetidas a restrições hídricas reduzem a turgescência e a expansão celular, o que ocasiona redução no alongamento do caule e na expansão foliar. Além disso, o crescimento das plantas é diretamente afetado pela translocação de fotoassimilados para as raízes que em condições de déficit hídrico é limitada.

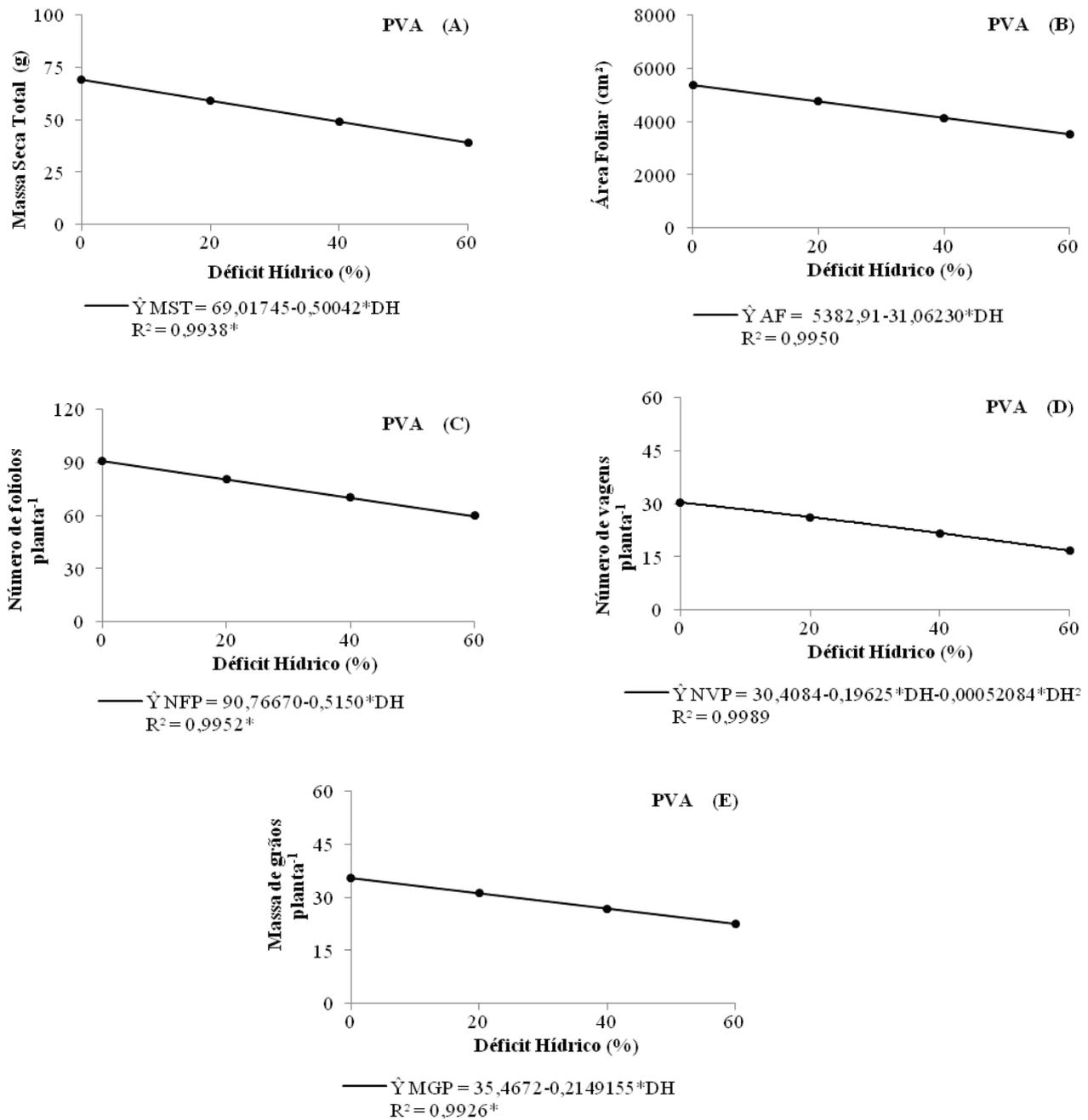


Figura 4. Massa seca total (A), área foliar (B), número de folíolos por planta (C), número de vagens por planta (D) e massa de grãos por planta (E) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase fenológica R9 do feijoeiro, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Tendo em vista que as folhas são os núcleos de produção da fotossíntese e que as outras partes da planta dependem da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão comum, o estresse hídrico nesta cultura, compromete a exportação de fotoassimilados, e dessa forma contribuem para os decréscimos de crescimento e produção das plantas (Taiz et al., 2016). De acordo com Larcher (2006) a ocorrência de déficit hídrico durante o desenvolvimento das plantas causa redução progressiva da turgescência protoplasmática e aumento na concentração de solutos, o que

resulta em um distúrbio na função celular responsável pelo déficit funcional e pela degradação das estruturas protoplasmáticas.

Para o mesmo autor, a redução da superfície de transpiração da planta, para evitar a dessecação, é um dos principais mecanismos de resistência das plantas ao déficit hídrico. Nesse contexto, a redução da área foliar é realizada de forma rápida e reversível, pelo enrolamento e desenrolamento das folhas maduras, devido à perda ou ganho de água. Este fato também foi verificado para o

feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, principalmente, nos níveis de déficit hídrico igual a 40 e 60% da água disponível para cada nível de tensão em estudo.

Os componentes NFP e NVP foram afetados pelos níveis de déficit hídrico no solo para cada nível de tensão em estudo e com mais severidade do que ocorreu aos outros componentes analisados. De acordo com Leite et al. (2000) este comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos de resistência à seca, utilizado pela cultura, no sentido de buscar melhores condições para superar o déficit hídrico, produzindo menor quantidade de folhas e de vagens.

Por sua vez, Nascimento et al. (2004), ao avaliarem o efeito da variação dos níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e a produção de feijão caupi, também observaram que o número de vagens por planta diminuiu com o aumento da restrição hídrica. Para estes autores, a redução deste componente é o principal fator de redução na produção de grãos de feijão caupi.

Conclusões

As plantas submetidas à capacidade de campo determinada pela tensão de 0,010 MPa apresentam maior turgescência, crescimento e produção em ambos os solos estudados.

Os níveis de déficit hídrico a partir de 40% da água disponível no solo são críticos para o feijoeiro comum, cultivado em solos de textura média e argilosa, independente da tensão adotada na determinação da capacidade de campo.

Agradecimentos

A CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

Literatura Citada

- Andrade, R. da. S.; Stone, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 2, p. 111-116, 2011.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009. 625p.
- Bilibio, C.; Carvalho, J. A.; Martins, M.; Rezende, F. C.; Freitas, E. A.; Gomes, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.
- Campelo Junior, J. H.; Azevedo, E. C. de.; Alves, M. de C.; Mello, D. de.; Lobo, F. de A.; Amorim, R. S. S. Estimativa da retenção de água em Latossolos do Cerrado mato-grossense cultivados com algodão, *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 8, n. 3, p. 318-326, 2014.
- Castro, E. M.; Pereira, F. J.; Paiva, R. *Histologia Vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos*. Lavras, MG: UFLA, 2009. 234 p.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, relativas às Safras 1976/77 a 2015/16 de Grãos, 2001 a 2016 de Café, 2005/06 a 2016/17 de C a n a - d e - A ç ú c a r . Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Paguina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em 25 julho 2016.
- Correia, G. G.; Moura, R. F.; Rodrigues, J. J. V.; Barros, M. de F. C.; Correia, K. G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de Tabuleiro Costeiro Paraibanos. *Caatinga*, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2008.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- Freire, J. C.; Ribeiro, M. A. V.; Bahia, V. G.; Lopes, A. S.; Aquino, L. H. de. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.
- Klein, V. A.; Baseggio, M.; Madalosso, T.; Marcolin, C. D. . Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com Psicrômetro. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.
- Larcher, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, SP: Rima, 2006, 550p.
- Leite, M. L.; Rodrigues, J. D.; Virgens Filho, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. *Revista de Agricultura*, v. 75, n. 1, p. 9-20, 2000.
- Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 2009, 355p.
- Mendes, R. M. S.; Távora, F. J. A. F.; Pinho, J. L. N.; Pitombeira, J. B. Relações fonte-dreno em feijão-decorda submetido à deficiência hídrica. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.
- Miorini, T. J. J.; Saad, J. C.; Menegale, M. L. Supressão

- de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Irriga, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011.
- Mondo, V. H. V.; Nascente, A. S.; Cardoso Neto, M. O. Common bean seed vigor affecting crop grain yield. *Journal of Seed Science*, Londrina, v. 38 n., 4, 2016.
- Nascimento, J. T.; Pedrosa, M. B.; Tavares Sobrinho, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção do feijão caupi, vagens e grãos verdes. *Horticultura Brasileira*, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2004.
- Nascimento, S. P. do.; Bastos, E. A.; Araújo, E. C. E.; Freire Filho, F. R.; Silva, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.
- Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Coord.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília, DF: Embrapa-SEA, 1991. p.189-253.
- Oliveira, W. S. de; Tsai, S. M. Bean cultivation in a subsistence farming system in the Northeast of São Paulo State - Brazil. *Scientia Agricola*, v.58, n.2, p.265-269, abr./jun. 2001.
- Paula Júnior, T. J. de. et al. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Paula Júnior, T. J. de.; Venzon, M. (Coords). 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte, MG: EPAMIG, 2007. p. 331-342.
- Pinheiro, C.; Chaves, M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. *Journal of Experimental Botany*, Dublin, IRL, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.
- Prezotti, L. C.; Gomes, J. A.; Dadalto, G. G.; Oliveira, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- Rosales, M. A.; Ocampo, E.; Rodríguez-Valentín, R.; Olvera-Carrillo, Y.; Acosta-Gallegos, J.; Covarrubias, A. A. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant physiology and biochemistry: PPB / Société française de physiologie végétale*, 56, 24-34, 2012.
- Saeg. Sistema para Análises Estatísticas, versão 9.1. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 2007. CD-ROM.
- Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Bradstreet, E. D.; Hemmingsen, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, Washington, USA, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965.
- Silveira, P. M. da.; Stone, L. F. Irrigação. In: Vieira, C.; Paula Júnior, T. J. de.; Borém, A. (Eds). *Feijão*. 2. ed. atual. Viçosa, MG: UFV, 2006, p. 171-211.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2004, 719p.
- Vale, N. M. do.; Barili, L. D.; Rozzeto, D. S.; Stinghin, J. C.; Coimbra, J. L. M.; Guidolin, A. F.; Köop, M. M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. *Biotemas*, v. 25, n. 3, p. 135-144, 2012.
- Van Genuchten, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 1, p. 892-898, 1980.