

PAÚL LAMA ISMINIO

**POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR, TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO
EM GENÓTIPOS DE *Theobroma cacao* L. SUBMETIDOS À DEFICIÊNCIA
HÍDRICA E ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

L213p
2016
Lama Isminio, Paúl, 1982-
Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e crescimento em
genótipos de *Theobroma cacao* L. submetidos à deficiência
hídrica e adubação potássica / Paúl Lama Isminio. – Viçosa,
MG, 2016.
ix, 76f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Cacau. 2. *Theobroma cacao*. 3. Plantas e solo. 4. Solos -
Adubação. 5. Fertilizantes potássicos. 6. Troca gasosa em
plantas. 7. Análise foliar. 8. Estresse hídrico. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 633.74


PAÚL LAMA ISMINIO

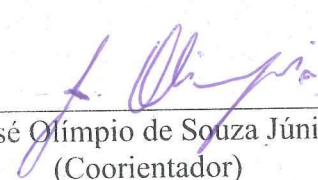
**POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR, TROCAS GASOSAS E CRESCIMENTO EM
GENÓTIPOS DE *Theobroma cacao* L. SUBMETIDOS À DEFICIÊNCIA
HÍDRICA E ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

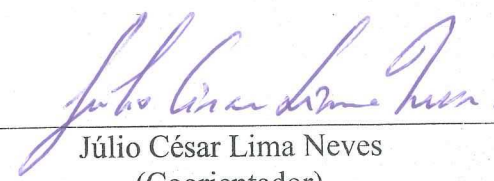
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

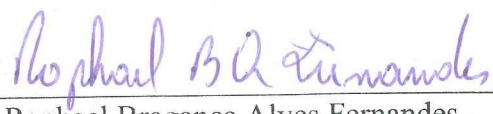
APROVADA: 29 de abril de 2016.


Raúl René Melendez Valle


Wagner Luiz Araújo


José Olímpio de Souza Júnior
(Coorientador)


Júlio César Lima Neves
(Coorientador)


Raphael Bragança Alves Fernandes
(Orientador)

A minha mãe, Silvia, ao meu pai, Demetrio;
Aos meus irmãos Perley, Percy e Angelo;
Aos meus sobrinhos Paulo, Adriano, Fausto e Diego

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Estudante-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento com a bolsa de estudo outorgada durante todo o período de doutorado.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade e capacitação profissional.

Ao Projeto Casadinho/Procad entre os Programas de Pós-graduação em Produção Vegetal da UESC e de Solos e Nutrição de Plantas da UFV pelo financiamento do experimento.

A Biofábrica de Cacau, pela doação das mudas utilizadas neste experimento.

Ao professor Raphael Bragança Alves Fernandes, pela confiança, oportunidade e orientação durante toda a execução do trabalho

Aos professores José Olímpio de Souza Júnior e Júlio César Lima Neves, pela coorientação e auxílio imprescindível durante a execução do trabalho.

Aos professores Raúl René Valle, Wagner Luiz Araújo e Herminia Emilia P. Martinez pelas sugestões no momento da qualificação e da defesa da tese.

A Loane Vaz Fernandes, pela colaboração, paciência e ensino da utilização do equipamento necessário para a elaboração do experimento.

Aos amigos Hugo Willian, Manuel Ix-Balam, Tatiana Condezo pelo apoio durante a condução do experimento na casa de vegetação.

Aos funcionários do Almoxarifado Júlio e Geovani pela ajuda desinteressada e apoio constante.

Aos colegas do grupo “Peladas Extranjeros Viçosa” que, cada sexta feira, desde março do 2013 participamos de forma constante na pratica do futebol permitindo-nos compartilhar momentos gratos e inesquecíveis.

A Eliana Alviárez Gutierrez “La patrona”, pelo carinho, a grande ajuda, apoio constante e motivação para a culminação do experimento do objetivo alcançado.

Aos amigos de Viçosa e do DPS, pela amizade construída ao longo destes seis anos da minha estadia neste “Meu Brasil Brasileiro”.

A todos que não foram aqui mencionados, mas que contribuíram direta ou indiretamente na finalização deste trabalho permitindo-me alcançar meus objetivos.

BIOGRAFIA

PAÚL LAMA ISMINIO, filho de Demetrio Lama Dominguez e Silvia Isminio Mori, natural de Tingo María – Peru, nasceu no dia 22 de janeiro de 1982.

Iniciei o curso de Agronomia em abril do 2000 na Universidad Nacional Agraria de la Selva o qual finalizei em dezembro do 2004 e recebi o título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2007.

Em novembro do 2006 comecei a trabalhar como coordenador de assistência técnica na empresa Machu Picchu trading S.A.C. nas zonas produtoras de cacau nos Estados de Huánuco e San Martín, concluindo o vínculo empregatício em abril do 2009.

Em setembro do 2007 iniciei um diplomado em Cultivos Industriales Tropicales: Café, Cacao y Palma Aceitera na Universidad Nacional Agraria de la Selva, concluindo em fevereiro do 2008.

Em março do 2010 iniciei o mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, concluindo em fevereiro de 2012. Já em março do 2012 comecei o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo a defesa da tese em abril de 2016.

ÍNDICE

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
Introdução Geral	1
Referências bibliográficas	4
Capítulo I: Resposta morfofisiológicas de genótipos de Theobroma cacao L. à deficiência hídrica.....	8
Resumo	8
Introdução.....	9
Condução do experimento	10
Discussão	22
Conclusões.....	27
Referências Bibliográficas.....	28
Capítulo II: Estresse hídrico em genótipos de Theobroma cacao L. em resposta à adubação potássica	32
Resumo	32
Introdução.....	33
Material e métodos	34
Discussão	55
Conclusões.....	61
Referências bibliográficas	61
Conclusão geral	67
ANEXOS DO CAPÍTULO II.....	68

RESUMO

LAMA ISMINIO, Paúl, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2016. **Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e crescimento em genótipos de Theobroma cacao L. submetidos à deficiência hídrica e adubação potássica.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Julio César Lima Neves e José Olímpio de Souza Júnior.

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie tropical amplamente cultivada no mundo, em especial para a elaboração do chocolate. Nos últimos anos períodos prolongados de estiagem vêm acontecendo frequentemente nos países produtores gerando grande prejuízo aos cacauicultores. No Brasil, recentemente períodos de seca tem gerado redução considerável na produção. Isto ocorre devido à grande sensibilidade que o cacauzeiro apresenta à deficiência hídrica, prejudicando processos fisiológicos e morfológicos da planta, sobretudo em condições de estresse hídrico severo. Assim, a avaliação de genótipos que melhor tolerem a falta de água é de grande importância para futuros programas de melhoramento, além de ser relevante em um momento em que a cacauicultura brasileira vêm se expandindo para regiões não tradicionais como o semiárido brasileiro. Nesse contexto, a adubação potássica, que tem mostrado respostas positivas em diversas culturas quando submetidas à limitação hídrica, apresenta potencial de tornar-se importante para o cacauzeiro. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações morfofisiológicas e a tolerância em resposta ao estresse hídrico em quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) e sua resposta à adubação potássica. Dois experimentos foram montados em casa de vegetação. No primeiro, os genótipos foram submetidos a duas condições hídricas, sem déficit hídrico (SDH) e com déficit hídrico (DH) durante 12 dias, após um período de aclimação. Durante esse período de DH avaliou-se o potencial hídrico foliar (Ψ_w), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO_2 (A), transpiração (E), altura (H) e diâmetro do caule (DC), massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca raiz (MSC), área foliar total (AF), teor e conteúdo de nutrientes. Os valores de Ψ_w registrados aos 12 dias após a suspensão da irrigação foram de -1,45; -2,09; -2,30 e -1,86 MPa nos genótipos CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16, respectivamente, reduzindo significativamente a AF, biomassa total, conteúdo de N e Mg nas folhas dos genótipos

CCN-51 e PH-16. As reduções da gs e E para todos os genótipos, foram a partir de -0,5 MPa enquanto que A iniciou seu decréscimo em valores de Ψ_w próximos a -1,0 MPa. Os genótipos CCN-51 e PH-16 apresentam mecanismos que lhes permitem manter valores altos de Ψ_w durante mais dias em relação aos genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, isto em detrimento de reduções da sua biomassa e AF. Nestes últimos genótipos, o estresse hídrico não prejudicou a parte aérea, mesmo em valores de Ψ_w inferiores a -2,0 MPa. No segundo experimento todos os genótipos foram adubados com doses crescentes de potássio (0; 60; 120 e 180 mg/dm³) e submetidas a dois ciclos de deficiência até que os valores de Ψ_w ficassem próximo de -1,5 MPa. Avaliações de trocas gasosas, H e DC foram realizados no primeiro ciclo de estresse hídrico. No segundo ciclo, além das trocas gasosas, H e DC, foram realizadas as avaliações de MSF, MSC, MSR, AF, teor e conteúdo de nutrientes. Durante o primeiro ciclo de DH, valores de Ψ_w próximos a -1,5 MPa foram alcançados aos 10 dias após a suspensão da irrigação, enquanto que no segundo ciclo, estes valores foram alcançados aos oito dias. De forma geral, a adubação potássica não teve efeito positivo sob as trocas gasosas mesmo em condições de adequada umidade no solo em ambos ciclos de DH. Ao final de cada ciclo de estresse os maiores valores de trocas gasosas sempre foram encontrados quando houve omissão de K, o que acarretou a uma menor área foliar das plantas, influenciando numa menor perda de água pela transpiração e, mantendo valores elevados de Ψ_w . Melhores respostas do K foram registradas na matéria seca até doses de 120 mg/dm³, para todos os genótipos avaliados, no entanto no genótipo PH-16 as variáveis de matéria seca do caule e raiz não foram influenciadas pela adubação potássica e, no genótipo CEPEC-2002 só a matéria seca do caule não registrou incremento significativo. Enquanto ao conteúdo de nutrientes, a adubação potássica gerou incremento dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em todos os genótipos avaliados. De maneira geral os resultados mostram que a adubação potássica não tem efeito sobre os parâmetros fisiológicos e que estes foram influenciados pela redução do Ψ_w . Ao contrário, os parâmetros de crescimento foram as que mais influência tiveram pela adubação potássica.

ABSTRACT

LAMA ISMINIO, Paúl, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2016. **Leaf water potential, gas exchange and growth of *Theobroma cacao* L. genotypes submitted to water stress and potassium fertilization.** Adviser: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisers: Julio César Lima Neves and José Olímpio de Souza Júnior.

The cacao tree (*Theobroma cacao* L.) is a tropical species worldwide cultivated especially for chocolate preparation. In recent years, prolonged periods of drought have often happened in producing countries generating great loss to cacao farmers. In Brazil, recent droughts events had caused considerable reduction in production due to great cacao sensitivity to water deficit, damaging plant physiological processes and growth, especially in severe water stress conditions. Thus, the evaluation of crop genotypes with more tolerance to the lack of water plays a important role for future breeding programs as well as is relevant nowadays, when the Brazilian cacao cultivation are expanding to non-traditional areas such as semiarid regions. In this context, potassium fertilizes have shown positive responses in different cultures when submitted to water limitations, and this can present great potential for cacao trees. This study aimed to evaluate the morphological and physiological changes and tolerance in response to water stress in four cacao genotypes (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) and its response to potassium fertilization. Two experiments were performed in a greenhouse. At first, the genotypes were submitted to soil moisture: without water deficit (SDH) and water deficit (DH) for 12 days. During the DH period was evaluated: the leaf water potential (Ψ_w), stomatal conductance (gs), Net CO₂ assimilation (A), transpiration rate (E), height (H) and stem diameter (DC), leaves dry mass (MSF), stem dry mass (MSC), root dry mass (MSC), total leaf area (AF), level and nutrients content. Values of Ψ_w registered 12 days after the suspension of irrigation were -1.45; -2.09; -2.30 and -1.86 MPa in the CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002, and HP-16 genotypes respectively. There values reducing the AF, total biomass, N and Mg content in leaves of CCN-51 and PH-16 genotypes. Reductions in gs and E for all genotypes were verified since -0.5 MPa while decreasing of A began in Ψ_w values close to -1,0 MPa. Apparently CCN-51 and PH-16 genotypes have mechanisms to maintain high Ψ_w values for longer days compared to PS-13:19 and CEPEC-2002 genotypes although at the expense reductions of their biomass and AF. In

genotypes PS-13.19 and CEPEC-2002, water stress did not affect aerial parts, even in Ψ_w values lower than -2,0 MPa. In the second experiment, all genotypes were fertilized with increasing doses of K (0, 60, 120 and 180 mg/dm³) and subjected to two water stress cycles. Gas exchange variables, H and DC were performed at the first water stress cycle. In the second cycle, in addition were also performed MSF MSC, MSR, AF, level and nutrients content assessments. During the first DH cycle, Ψ_w values close to -1,5 MPa were achieved 10 days after irrigation suspension, while in the second cycle these values were achieved in eight days. In general, potassium fertilization did not affect gas exchange variables even in adequate soil moisture conditions in both DH cycles. At the end of each water stress cycle major gas exchange variables values were always verified when K was omitted, which produce smaller plant leaf area and a reduced water loss by transpiration, maintaining high Ψ_w values. Best K answers were recorded in dry matter up to doses of 120 mg/dm³, for all genotypes, however the PH-16 genotype variables stem and root dry matter were not influenced by potassium fertilization, and the CEPEC-2002 genotype only the stem dry matter did not register significant increase. Regarding to nutrients content, the potassium fertilization increased a macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) accumulation in all genotypes. In general, the results show that the potassium fertilizer has no effect on physiological parameters and were influenced by Ψ_w reduction. In contrast, growth parameters were the most influence by potassium fertilization.

Introdução Geral

Theobroma cacao L. é a espécie economicamente mais importante do género *Theobroma* (Solorzano et al., 2012), sendo amplamente explorada no mundo, nas regiões úmidas tropicais da África, América Central e do Sul e Ásia. Essa amplitude territorial e de disponibilidade de genótipos foi conseguida a partir de processos de domesticação e de adaptação às condições climáticas particulares (Jaimez et al., 2008), permitindo ao cacaeiro tolerar variações e flutuações microclimáticas (Almeida & Valle, 2007). Atualmente, a espécie é hoje cultivada em regiões onde as temperaturas médias mínima e máxima diárias ideais para o seu desenvolvimento variam de 20 e 30°C, respectivamente (Harun & Hardwick, 1987), entre as latitudes 18° N e 20° S (Alvim, 1988). Uma das principais exigências da cultura são precipitações pluviométricas anuais superiores a 1200 mm e bem distribuídas ao longo do ano.

A produção mundial de amêndoas de cacau registrada na safra 2012/2013 foi de 3,9 milhões de toneladas (ICCO, 2014), com os três maiores produtores sendo a Costa do Marfim (1.448.992 t), Gana (835.466 t) e Indonésia (777,500 t). O Brasil é o sexto maior produtor mundial, com 256.186 t por ano (FAOSTAT, 2016). A principal destinação da produção de sementes é a elaboração de chocolate em pó, enquanto uma pequena parte formada pela manteiga de cacau é destinada para a indústria farmacêutica e cosmética (Carr & Lockwood, 2014).

No Brasil, o cultivo do cacaeiro iniciou-se no Estado do Pará no século XVII, chegando na região Sul da Bahia, em Ilhéus, no século XVIII (Gonçalves et al., 2009). A partir da década de 1930, o crescimento econômico e a consolidação da cacauicultura, em especial pela intervenção do Estado na viabilização de financiamentos para a produção (Chiapetti, 2014) favoreceram a expansão da atividade. Com a criação, em 1957, da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira-CEPLAC, mudanças e inovações tecnológicas, bem como o desenvolvimento de infraestrutura de suporte, tiveram bastante êxito, resultando na década de 1970 em um aumento em 310 % na produção nacional. Aplicação de novas tecnologias proporcionaram ganhos na produtividade média nacional, que passou de 220 a 740 kg/ha, levando a cacauicultura brasileira a ser considerada como a mais tecnificada do mundo (Almeida et al., 2013). Tudo isto permitiu ao Brasil alcançar o posto de segundo maior exportador mundial de cacau, coincidindo com um período em

que os preços da tonelada do produto no mercado internacional chegaram a US\$ 3.622 (CEPLAC, 2009).

Na década de 1980, com modificações na política monetária mundial, com a redução de créditos, e com o aparecimento da vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) em 1989, a cacauicultura brasileira entrou em um período de crise, com auge na década de 1990 refletindo na diminuição da produção nacional (Chiapetti, 2014). O cenário foi ainda agravado com o baixo preço do cacau no mercado internacional (US\$ 1193/t em 1990/91), seguindo-se uma década em que os produtores vivenciaram período de grande incerteza pela falta de capital, desvalorização dos imóveis rurais, nível de desemprego excessivo e avanço da doença vassoura de bruxa (CEPLAC, 2009).

Atualmente, além da Bahia, a cultura do cacau encontra-se distribuída também pelos estados do Espírito Santo, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia (Okabe et al., 2004), com produtividades variando desde 600 até 1.200 kg/ha dependendo da tecnologia adotada, em especial quanto à fertilização química (Almeida et al., 2013). Especificamente para a região de Bahia são reportados produtividade de 105 kg/ha, em cultivos semi-extratvistas, a 1.350 kg/ha, em área tradicional clonal tecnificada (Leite et al., 2012). Entretanto, a produtividade média nacional atinge apenas 380 kg/ha/ano (IBGE, 2016), sendo o estado da Bahia responsável por 85 % das áreas cultivadas com cacau.

Mesmo que a cacauicultura brasileira esteja basicamente inserida majoritariamente em regiões onde as precipitações pluviiais superam os 1200 mm anuais, períodos definidos de chuvas e secas são frequentes, com impactos no crescimento, floração e frutificação das plantas (Alvim, 1965). Mais recentemente períodos de estiagens prolongados por mais de quatro meses vêm afetando a cultura no Sul da Bahia, onde foram reportadas reduções de, aproximadamente, 30% da produção, na safra 2015/2016, com previsão para a safra 2016/2017 de comprometimento de até 40% da produção (Portugal, 2016). Tal fato decorre da grande sensibilidade do cacauero à deficiência hídrica no solo, que é considerada um sério problema, inclusive mais sério do que pragas e doenças (Alvim, 1965) já que, praticamente, todos os processos fisiológicos do cacauero são afetados pela falta de água no solo (Amorim & Valle, 1992).

Vários trabalhos de pesquisa com genótipos de cacau em diferentes condições de umidade no solo têm sido realizados objetivando avaliar alterações fisiológicas (Gama-Rodriguez et al.1995; Deng et al., 1990b; Joly & Hahn, 1989; Razi et al., 1992), moleculares e bioquímicas (Santos et al., 2014) que melhor permitam entender os mecanismos de tolerância dos diversos materiais genéticos em condições de déficit hídrico.

Relações das variáveis associadas às trocas gasosas com o potencial hídrico foliar (Ψ_w) do cacauzeiro também tem sido avaliadas, uma vez que este é diretamente influenciado pelo estado de umidade do solo (Cruz et al., 2007). O valor do Ψ_w tende a ser reduzido em decorrência da duração e intensidade do déficit hídrico, permitindo determinar se a planta apresenta um estresse moderado ou severo (Deng et al., 1990a). A intensidade desse estresse varia de acordo com o estado fenológico e o material genético (Shao et al., 2008; Santos et al., 2014; Araque et al., 2012), e pode, portanto, também indicar genótipos mais sensíveis ou tolerantes ao déficit hídrico. A relação do Ψ_w com as trocas gasosas torna-se interessante por permitir indicar a que valores de Ψ_w os estômatos tendem a fechar para evitar perda de água pela transpiração. Também por indicar os valores de Ψ_w associados com a redução drástica da taxa de assimilação de CO_2 , que afeta em grande proporção a produção de biomassa. Tais informações são importantes no cultivo de cacauzeiro sob irrigação para recomendações e tomada de decisão para o adequado momento ou início da irrigação de acordo ao genótipo utilizado.

Aspecto importante e pouco estudado para a cultura do cacauzeiro refere-se à avaliação da função de nutrientes sobre os mecanismos fisiológicos relacionados com a tolerância à seca. Neste sentido, a adição de adubos potássicos tem sido muito estudada em eucalipto (*Eucalyptus* spp.), com indicações de que a melhor nutrição com K favorece a tolerância ao estresse hídrico, por possibilitar o uso mais eficiente da umidade do solo (Muianga, 2013), por meio do controle da abertura e fechamento dos estômatos (Ernanni et al., 2007). Neste contexto, o K tornar-se-ia ainda de maior importância em períodos de déficit hídrico, podendo auxiliar na mitigação dos efeitos negativos de períodos prolongados de estiagem.

Diante do exposto, o estudo de relações hídricas em genótipos de cacauzeiro, em especial os de maior importância econômica em função de suas maiores produtividades e

tolerância a doenças, tornam-se bastante interessantes. Sob esse mesmo ponto de vista, a avaliação do potencial da adubação potássica em favorecer a tolerância ao estresse hídrico também se reveste de particular relevância. Tudo isto encontra ressonância na constatação de repetidos períodos secos nas regiões tradicionalmente produtoras de cacau, e também dado o interesse pela expansão da cacauicultura para áreas não tradicionais, em especial para regiões de menor precipitação. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta de diferentes genótipos de cacaueteiro, na fase de mudas, ao déficit hídrico no solo e o potencial da adubação potássica em maximizar a eficiência do uso da água, com vistas à seleção de genótipos melhor adaptados às situações de déficit hídrico.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, A. A. F. & VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19:425–448, 2007.

ALVIM, P. T. As necessidades de água do cacaueteiro. *Cacau Atualidades*, 2:29–38, 1965.

ALVIM, P. T. Relações entre fatores climáticos e produção do cacaueteiro. 10th International Cocoa Research Conference. *Anais...Santo Domingo, Dominican Republic*. 1987: Cocoa Producers' Alliance, 1988

AMORIM, S. M. C. & VALLE, R. R. Efeito da temperatura radicular na resistência ao movimento de água no cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.). *Acta Botanica Brasilica*, 6:55–64, 1992.

ARAQUE, O.; JIMEZ, R. E.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R.; ESPINOZA, W. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Experimental Agriculture*, 48:513–522, 2012.

CARR, M. K. V. & LOCKWOOD, G. The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 50:1–23, 2014.

CHIAPETTI, J. A crise da atividade cacaueteira no contexto do reordenamento da economia mundial. *Agrotrópica*, 26:157–166, 2014.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA-CEPLAC. Programa de recuperação da lavoura cacaueteira - 3a e 4a etapas. A crise da lavoura cacaueteira, condicionantes, ação governamental, análises e recomendação. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/sites/default/files/not_notatecnica20042009.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

CRUZ, M. C. M.; ROCHA, R. H. C.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C. Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré-florescimento dos citros. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:1291–1296, 2007.

DENG, X.; JOLY, R.; HAHN, D. The influence of plant water deficit on distribution of ¹⁴C-labelled assimilates in cacao seedlings. *Annals of botany*, 66:211–217, 1990a.

DENG, X.; JOLY, R. J.; HAHN, D. T. Effects of plant water deficit on the daily carbon balance of leaves of cacao seedlings. *77:407–412*, 1989.

DENG, X.; JOLY, R. J.; HAHN, D. T. The influence of plant water deficit on photosynthesis and translocation of ¹⁴C-labelled assimilates in cacao seedlings. *Annals of botany*, 78:623–627, 1990b.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do Solo*. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., 2007. p. 551–594.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; VALLE, R. R.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento, trocas gasosas e relações hídricas de plântulas de cacau em função de diferentes fontes de potássio. *R. bras. Ci. Solo*, 19:387–393, 1995.

GONÇALVES, M. F.; CARNEIRO, W. M. A.; SENA, J. V. C. O mercado brasileiro de cacau: mudanças no perfil do comércio internacional nos últimos vinte anos. In: *Anais do IV encontro da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural – regional Nordeste*. Campina Grande-PB: SOBER/NE. Anais...2009

HARUN, R. M. R.; HARDWICK, K. The effect of different temperatures and water vapour pressure deficits on photosynthesis and transpiration of cocoa leaves. 10th International Cocoa Research Conference, 1987

IBGE. Estatística da produção agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION - ICCO. Annual Report 2012/2013. Disponível em: <http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/1-annual-report.html>. Acesso em: 24 fev. 2016.

JAIMEZ, R. E.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52:253–258, 2008.

LEITE, J. B. V.; FONSECA, E. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; NASCIMENTO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo de cacau no semiárido do Brasil. *Agrotrópica*, 24:85–90, 2012.

LIMA, A. A.; XAVIER, I. P.; ALMEIDA, C. M. V. C.; MATOS, P. G. G. Produtividade do cacau em sistemas agroflorestais no município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brasil. *Agrotrópica*, 25:11–16, 2013.

MUIANGA, M. R. D. Relação entre crescimento e respostas ecofisiológicas em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos à diferentes doses de adubação potássica. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2013. 69f. (Dissertação de Mestrado).

OKABE, E. T.; ALMEIDA, C. M. V. C.; ALMEIDA, L. C.; DIAS, L. A. S. Desempenho de clones de cacau em Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brasil. *Biosci.*, 20:133–143, 2004.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA. Producción/cultivos. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

PORTUGAL, E. Estiagem reduz em até 40% produção de cacau no sul da Bahia. Disponível em: <<http://www.diariobahia.com.br/diario-de-noticias/9825-estiagem-reduz-em-ate-40-producao-de-cacau-no-sul-da-bahia.html>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

RAZI, M. I.; HALIM, A. H.; KAMARIAH, D.; NOH, M. J. Growth , Plant Water

Relation and Photosynthesis Rate of Young *Theobroma cacao* as Influenced by Water Stress. *Pertanika*, 15:93–97, 1992.

SANTOS, I. C.; ALMEIDA, A.-A. F.; ANHERT, D.; CONCEIÇÃO, A. S.; PIROVANI, C. P.; PIRES, J. L.; VALLE, R. R.; BALIGAR, V. C. Molecular, physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to soil water deficit. *PloS ONE*, 9:0–31, 2014.

SHAO, H-B.; CHU, L-Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C.-X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C.R. Biologies*, 331:215–225, 2008.

SOLORZANO, R. G. L.; FOUET, O.; LEMAINQUE, A.; PAVEK, S.; BOCCARA, M.; ARGOUT, X.; AMORES, F.; COURTOIS, B.; RISTERUCCI, A. M.; LANAUD, C. Insight into the Wild Origin, Migration and Domestication History of the Fine Flavour Nacional *Theobroma cacao* L. Variety from Ecuador. *PLoS ONE*, 7:0–11, 2012.

Capítulo I

Resposta morfofisiológicas de genótipos de *Theobroma cacao* L. à deficiência hídrica

Resumo

Períodos de secas são comumente reportados em regiões produtoras de cacau prejudicando o desenvolvimento das plantas, sobretudo nos primeiros anos do cultivo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as alterações morfofisiológicas e a tolerância em resposta ao estresse hídrico de quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16). O experimento foi realizado em casa-de-vegetação onde, após um período de aclimação, os genótipos foram submetidos a duas condições hídricas: sem (SDH) e com (DH) déficit hídrico durante 12 dias. Durante o período de estresse avaliou-se o potencial hídrico foliar (Ψ_w), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO_2 (A) transpiração (E), altura e diâmetro do caule, produção de massa seca de folhas, caule e raiz, área foliar total e teor de nutrientes. Os valores de Ψ_w registrados aos 12 dias após a suspensão da irrigação foram de -1,45; -2,09; -2,30 e -1,86 MPa nos genótipos CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16, respectivamente, o que proporcionou a redução a área foliar total e massa seca total nos genótipos CCN-51 e PH-16. Reduções das variáveis gs e E em todos os genótipos foram verificadas a partir de -0,5 MPa, enquanto que A iniciou seu decréscimo em valores de Ψ_w próximos a -1,0 MPa. Os dados obtidos indicaram que os genótipos CCN-51 e PH-16 apresentam mecanismos que permitem manter altos valores de Ψ_w durante mais dias de estresse hídrico em relação aos genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, isto em detrimento de reduções de sua biomassa e área foliar total. Nestes últimos genótipos, o estresse hídrico não prejudicou a produção da parte aérea, mesmo em valores de Ψ_w inferiores a -2,0 MPa

Palavras chaves: estresse hídrico, tolerância, condutância estomática, potencial hídrico foliar, trocas gasosas.

Introdução

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma importante espécie perene com ampla diversidade genética, adaptada a condições climáticas variáveis (Jaimez et al., 2008), sendo cultivada nas regiões tropicais do mundo para a produção, principalmente, do chocolate.

Problemas como a falta de chuva e períodos prolongados de estiagem nos países produtores como Costa do Marfim e Nigéria, têm afetado a produção da cacauicultura. Mesmo no Brasil, onde o cultivo predomina em uma região tipicamente chuvosa, situações de deficiência hídrica são verificadas, em função de precipitações irregulares, ausência de chuvas por mais de três meses e ocorrência de extensas áreas de solos rasos (Almeida et al., 2002).

A redução da disponibilidade de água no solo afeta as plantas, constituindo importante fator limitante, sobretudo nos primeiros anos de estabelecimento em campo, com taxas de mortalidade que podem alcançar de 14 a 27 % (Araque et al., 2012). Como forma de enfrentar o déficit hídrico, as plantas apresentam respostas fisiológicas para minimizar as perdas de água, tais como o fechamento estomático, que promove a redução da transpiração (E), mas também a taxa de assimilação de CO₂ (A).

Na avaliação da tolerância ou sensibilidade de espécies e/ou genótipos em resposta ao déficit hídrico (DH) destacam-se estudos das variações fisiológicas em relação ao potencial hídrico foliar (Ψ_w), uma vez que a função dos estômatos na regulação da perda de água tem estreita relação com decréscimos do Ψ_w . Nesse sentido, a manutenção de valores elevados de Ψ_w em plantas sob déficit hídrico pode ser considerada como um importante mecanismo de tolerância à seca (Djekoun & Planchon, 1991). A condutância estomática (gs) também pode ser reduzida mesmo em altos valores de Ψ_w , como defesa ao estresse hídrico, podendo ser decorrente de um eficiente mecanismo de transferência de informação desde a raiz até as folhas (Bates & Hall, 1981), assim como em resposta a elevados níveis de radiação, temperatura e mudanças no déficit de pressão de vapor (Razi et al., 1992)

Assim como em outras culturas, no cacaueteiro torna-se relevante a avaliação de parâmetros fisiológicos em condições de estresse hídrico para se verificar o

comportamento e os mecanismos de tolerância de genótipos em períodos de déficit hídrico. Esta avaliação permite mensurar as variações de parâmetros fisiológicos associados às trocas gasosas em função do Ψ_w , possibilitando a indicação de faixas críticas desta variável nas reduções de g_s , E e A (Deng et al., 1990a; Deng et al., 1990b).

A redução dos valores de Ψ_w e das variáveis associadas às trocas gasosas causa influência direta na inibição do crescimento e desenvolvimento das plantas (Ginestar & Castel, 1998), mudanças na relação parte aérea/raiz (Fernandes, 2012), redução na produção de biomassa (Costa, 2010) e redução da área foliar (Taiz & Zeiger, 2004), sobretudo em genótipos sensíveis. Alguns genótipos considerados tolerantes são menos afetados e, no caso do cacau, existem materiais genéticos que podem suportar sem prejuízos significativos ao crescimento e produção em valores de Ψ_w entre -2,0 a -2,5 MPa (Santos et al., 2014).

Neste contexto, a avaliação da dinâmica das variáveis associadas às trocas gasosas em resposta à redução do Ψ_w decorrente da aplicação de estresse hídrico em diversos genótipos de cacau é interessante no cenário brasileiro por dois motivos principais. Em primeiro lugar, pela ocorrência cada vez mais frequente de estiagens prolongadas nas zonas tradicionalmente produtoras, face às mudanças climáticas globais e, em segundo lugar, pelo interesse na expansão da cacauicultura para áreas não tradicionais como é o caso da região do semiárido brasileiro. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar as alterações morfofisiológicas associadas às trocas gasosas, o crescimento, o teor de nutrientes em quatro genótipos de cacau em resposta ao déficit hídrico. Material e métodos

Condução do experimento

Quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) foram selecionados para cultivo em vasos em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. As mudas enraizadas de ramos plagiotrópicos foram obtidas junto ao Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), de Ilhéus (BA), todas com aproximadamente mesma altura e 10 meses de idade. Os critérios de

seleção dos genótipos foram a sua disponibilidade, a tolerância à doença vassoura de bruxa provocada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* e o alto potencial produtivo.

O solo utilizado no experimento foi proveniente de um horizonte B de um Latossolo Vermelho Amarelo de textura muito argilosa, com as seguinte caracterização físico-química: matéria orgânica: 0,38 dag/kg; pH (em água): 5,03; P disponível: 1,3 mg/dm³; K disponível: 0 mg/dm³; H+Al: 1,8 cmol_c/dm³; Ca²⁺: 0,69 cmol_c/dm³; Mg²⁺: 0,17 cmol_c/dm³; S: 14,8 mg/dm³; CTC efetiva (t): 0,86 cmol_c/dm³; CTC total (T): 2,66 cmol_c/dm³; V: 32,3 %; areia: 0,319 kg/kg; silte: 0,049 kg/kg e argila: 0,632 kg/kg.

Antes da instalação do experimento, foi promovida a calagem do substrato, com a aplicação de CaCO₃ e MgCO₃, visando elevar os teores de Ca²⁺ para 2,25 cmol_c/dm³ e de Mg²⁺ para 0,75 cmol_c/dm³ (Chepote et al., 2005). O solo foi então mantido incubado por duas semanas, período em que recebeu irrigação, com água deionizada. Ao final da incubação e antes do transplante de mudas, o solo recebeu adubação com fosfato monoamônico, na dose de 250 mg/dm³ de P, a qual foi misturada em todo o volume do solo com a ajuda de uma betoneira.

As mudas foram transplantadas juntamente com o substrato enraizado (aproximadamente 1 dm³) em abril do 2014, para vasos de 20 dm³ contendo 19 dm³ de solo, num sistema fechado. Posteriormente foi realizada a fertilização com N e K nas doses de 250 e 120 mg/dm³, respectivamente, parceladas em três vezes; sendo que a primeira e segunda aplicação foram realizada aos 30 e 60 dias após a instalação do experimento com 100 e 40 mg/dm³ de N e K respectivamente. A terceira aplicação foi realizada aos 90 dias com 50 e 40 mg/dm³ de N e K, respectivamente. A aplicação de micronutrientes, nas seguintes doses (mg/dm³): Mo = 0,3; Mn = 1,0; B = 1,0; Zn = 5,0 e Cu = 5,0, foram realizadas numa única aplicação aos 30 dias após a instalação do experimento.

Uma tela de 50 % de sombreamento foi utilizada para a melhor adaptação das mudas na casa de vegetação e a irrigação foi conduzida considerando a manutenção da umidade em 80% da capacidade de campo, utilizando-se sempre água deionizada.

Após um período de aclimação de oito meses, 32 vasos em que as plantas se apresentavam mais homogêneas foram divididos em dois grupos que receberam os tratamentos referentes aos dois regimes hídricos. Um grupo teve a umidade mantida como

controle (SDH), enquanto o outro foi submetido ao déficit hídrico (DH) por um período de tempo suficiente para que os valores de Ψ_w alcançassem e/ou fossem inferiores a -1,5 MPa, que representa um valor de “estresse hídrico severo” para o cacauzeiro (Deng et al., 1990a).

Durante todo o período de aplicação do déficit hídrico registraram-se as temperaturas médias máxima de 41,4°C e mínima de 20,7°C. no interior da casa-de-vegetação.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 4x2, correspondendo aos quatro genótipos e aos dois regimes hídricos.

Avaliação do crescimento

O diâmetro do caule (DC), efetuada com o auxílio de um paquímetro digital, foi obtido a cinco centímetros do solo, enquanto que a altura da planta (H), medida com régua, foi calculada desde a superfície do solo até o ápice do par de folhas mais jovem. Ambas as variáveis foram medidas antes e após da restrição hídrica, ou seja, um e 12 dias após a suspensão da irrigação. Ao final do experimento, foi promovida a colheita das folhas, caule e raízes. Determinou-se a área foliar total (AF) utilizando um medidor Li-3100 (Li-Cor, Nebraska, USA). Após a colheita, todos os componentes vegetais foram secos em estufa até peso constante, para a determinação da matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC) e raízes (MSR). Ainda foram calculadas a área foliar específica (AFE), usando-se a relação AF/MSF; a matéria seca da parte aérea (MSPA), pela soma de MSF+MSC e a relação parte aérea/raiz (PA/R).

Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

O Ψ_w foi monitorado, entre 4:00 e 5:00 h, aos 1, 5, 8, 10 e 12 dias após a suspensão da irrigação, com o uso de uma bomba de pressão (bomba de Scholander). Para isto, uma folha totalmente expandida e em bom estado fitossanitário foi destacada do terço superior de cada planta.

Trocas gasosas

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas aos 10 e 12 dias após a suspensão da irrigação, sempre pela manhã, entre 8:00 e 10:00 h. Uma folha totalmente sadia e

expandida foi selecionada por planta, e nela foram avaliadas a taxa de assimilação fotossintética (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E). Para estas medições foi utilizado um analisador de gás por infravermelho (IRGA, modelo portátil LI-6400xt, LICOR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) utilizada foi constante e de $1.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Zanetti, 2013) e a concentra\u00e7\u00e3o atmosf\u00e9rica de CO_2 (C_a) foi de, aproximadamente, $395 \mu\text{mol mol}^{-1}$.

Teor de nutriente nas folhas

Amostras do segundo e terceiro pares de folhas no ter\u00e7o m\u00e9dio das copas (tr\u00eas folhas diagn\u00f3stico) foram coletadas para an\u00e1lise foliar, no final do ciclo de estresse, ap\u00f3s 12 dias de suspens\u00e3o da irriga\u00e7\u00e3o. Na biomassa seca dessas folhas foram analisados os teores de macronutrientes. Ap\u00f3s digest\u00e3o nitropercl\u00f3rica, a determina\u00e7\u00e3o dos teores de Ca e Mg foi efetuado por espectrofotometria de absor\u00e7\u00e3o at\u00f4mica; P por colorimetria e K por fotometria de emiss\u00e3o de chama. Nitrog\u00eanio foi determinado pelo m\u00e9todo de Kjeldahl.

An\u00e1lises estat\u00edsticas

Os dados obtidos foram submetidos \u00e0 an\u00e1lise de vari\u00e2ncia considerando o fatorial adotado, sendo promovido o desdobramento dos graus de liberdade da intera\u00e7\u00e3o gen\u00f3tipo vs regime h\u00eddrico, objetivando avaliar diferen\u00e7as das vari\u00e1veis entre regimes h\u00eddricos dentro de cada gen\u00f3tipo. Para a compara\u00e7\u00e3o entre m\u00e9dias foi utilizado o teste F ($p < 0,05$). Equa\u00e7\u00f5es de regress\u00e3o foram obtidas considerando a din\u00e2mica das vari\u00e1veis associadas \u00e0s trocas gasosas em fun\u00e7\u00e3o do potencial h\u00eddrico foliar.

Resultados

Potencial h\u00eddrico foliar (Ψ_w)

Em todos os gen\u00f3tipos avaliados, o Ψ_w foi de aproximadamente $-0,1 \text{ MPa}$, no dia um, ap\u00f3s a suspens\u00e3o da irriga\u00e7\u00e3o nas duas condi\u00e7\u00f5es de regime h\u00eddrico (Figura 1). Indica\u00e7\u00e3o visual de estresse h\u00eddrico na parte a\u00e9rea de plantas (murchamento das folhas) foram observadas a partir do oitavo dia nos gen\u00f3tipos PS-13.19 e CEPEC-2002. Nessas medi\u00e7\u00f5es esses gen\u00f3tipos apresentaram valores de Ψ_w menores do que os dos respectivos controles, alcan\u00e7ando $-0,58$ e $-0,70 \text{ MPa}$, respectivamente. Isto \u00e9, uma redu\u00e7\u00e3o aproximada de 70 a 80%. Nesse mesmo per\u00edodo, os valores de Ψ_w nos gen\u00f3tipos PH-16

e CCN-51 não diferiram estatisticamente do verificado nos controles correspondentes, alcançando valores de -0,24 e -0,29 MPa, respectivamente.

Aos 10 dias após o estabelecimento do déficit hídrico, todos os genótipos apresentaram reduções significativas do Ψ_w em comparação à condição sem restrição hídrica. A redução foi, em média, de 79,4% para todos os genótipos, destacando-se o genótipo CCN-51, que apresentou o maior valor de Ψ_w (-0,81 MPa) (73,9% inferior ao seu controle), e o CEPEC-2002, o de menor valor de Ψ_w (-1,38 MPa) (85,5% inferior ao controle). Neste 10º dia do estresse, nenhum dos genótipos havia atingido valores de Ψ_w inferior a -1,5 MPa, considerado valor crítico para o início do estresse hídrico severo (Deng et al., 1990a). O valor crítico somente foi alcançado e/ou superado no 12º dia após o início do déficit hídrico, quando reduções médias ($p < 0,01$) de Ψ_w de 92% foram alcançadas em todos os genótipos, que exibiram Ψ_w de -1,45; -2,09; -2,3 e -1,86 MPa para CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16, respectivamente. Nos controles mantidos em condições de umidade do solo adequadas (tratamento SDH), o Ψ_w oscilou entre -0,1 e -0,2 MPa.

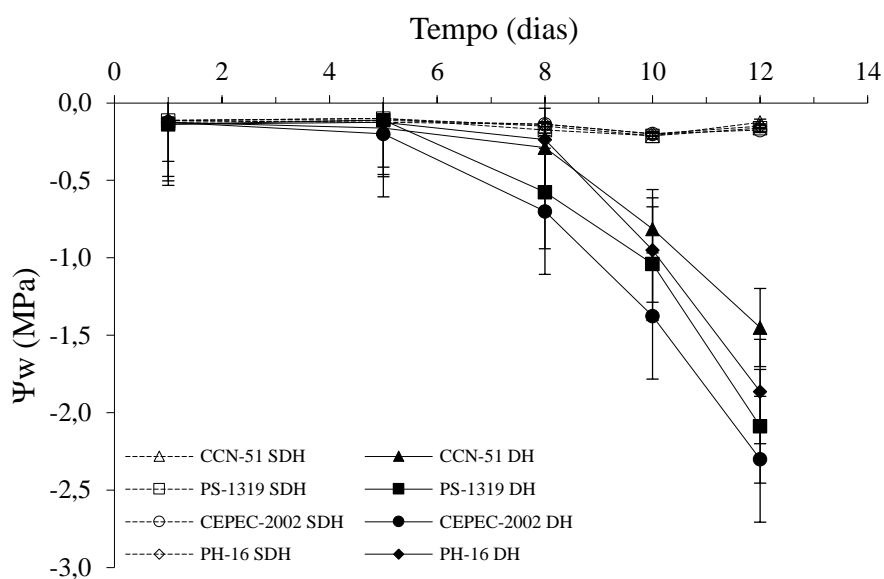


Figura 1 - Potencial hídrico foliar (Ψ_w) na antemanhã, nos quatro genótipos de cacau avaliados (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) à ausência (- -) e presença (—) de déficit hídrico aplicado no dia zero. Valores apresentados correspondem à média (n=4) \pm erro padrão.

Trocas gasosas

Com a identificação de diferenças significativas nos valores de Ψ_w entre tratamentos aos 10 dias da implantação do déficit hídrico, iniciaram-se as avaliações das trocas gasosas (Tabela 1). Nessa avaliação, no genótipo CEPEC-2002 verificaram-se reduções de 80% nos valores de g_s , o que acarretou redução de E (88%) e de A (42%). Reduções de g_s nos genótipos PS-13.19 (60%) e PH-16 (67%) acarretaram reduções semelhantes de E (67% e 69%, respectivamente), embora não tenham afetado os valores de A. As variáveis g_s , E, e A do genótipo CCN-51 não foram afetadas nesses 10 dias de imposição da restrição hídrica.

Aos 12 dias da aplicação do estresse hídrico, todos os genótipos apresentaram reduções nos valores de g_s (média de 80%) que, por sua vez, acarretaram queda nos de E (85%) e de A (40%), respectivamente.

Tabela 1 - Valores de taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) nos quatro genótipos de cacauete submetidos a diferentes regimes hídricos (RH): Controle (SDH) e com déficit hídrico (DH) ao final do experimento.

Genótipos	RH	A	gs	E
		$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
10 dias após a suspensão da irrigação				
CCN-51	SDH	10,7 ± 1,4	40,0 ± 0,0	1,3 ± 0,4
	DH	9,6 ± 9,6 ^{ns}	30,0 ± 0,0 ^{ns}	1,0 ± 0,5 ^{ns}
PS-13.19	SDH	11,1 ± 1,8	50,0 ± 0,0	1,7 ± 0,2
	DH	8,4 ± 0,8 ^{ns}	20,0 ± 0,0*	0,6 ± 0,3*
CEPEC-2002	SDH	11,1 ± 1,3	50,0 ± 0,0	1,8 ± 0,3
	DH	6,5 ± 1,1**	10,0 ± 0,0**	0,2 ± 0,1**
PH-16	SDH	11,3 ± 0,8	60,0 ± 0,0	1,9 ± 0,3
	DH	8,1 ± 2,3 ^{ns}	20,0 ± 0,0**	0,6 ± 0,4**
12 dias após a suspensão da irrigação				
CCN-51	SDH	12,5 ± 0,5	60,0 ± 0,0	2,3 ± 0,2
	DH	6,5 ± 0,6**	10,0 ± 0,0**	0,4 ± 0,1**
PS-13.19	SDH	11,4 ± 0,7	40,0 ± 0,0	1,7 ± 0,2
	DH	7,6 ± 0,7**	10,0 ± 0,0**	0,4 ± 0,1**
CEPEC-2002	SDH	11,9 ± 0,1	50,0 ± 0,0	1,9 ± 0,2
	DH	7,1 ± 0,6**	10,0 ± 0,0**	0,1 ± 0,0**
PH-16	SDH	13,0 ± 0,2	60,0 ± 0,0	2,6 ± 0,3
	DH	7,9 ± 0,1**	10,0 ± 0,0**	0,4 ± 0,1**

ns, *, **: não significativo, significativo a 5 % e significativo a 1 % pelo teste F, respectivamente, em relação ao tratamento controle. Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão.

As variáveis associadas às trocas gasosas foram afetadas pelo potencial hídrico foliar, sendo verificada marcante redução de g_s e E a partir de $\Psi_w = -0,5$ MP, (Figura 2). Para explicar esta relação, equações com elevados coeficiente de determinação ($R^2 > 0,71$) foram obtidas para todos os parâmetros fisiológicos e genótipos avaliados (Tabela 2), à exceção da g_s no CCN-51 ($R^2 = 0,48$). Em todos os genótipos, os valores de A foram majoritariamente reduzidos a partir de Ψ_w próximos a $-1,0$ MPa e, quando se atingiu cerca de $-1,5$ MPa, os valores de E e g_s ficaram próximos a zero, enquanto os de A se mantiveram constante (Figura 2).

Crescimento e produção de biomassa

Com a imposição do déficit hídrico, as variáveis biométricas associadas ao crescimento das mudas de cacaueteiro não foram alteradas em nenhum dos quatro genótipos avaliados, em comparação com o tratamento controle (Figura 3). Altura e diâmetro do caule não se mostraram, portanto, sensíveis para discriminar genótipos quanto à tolerância ao estresse hídrico severo, isto devido principalmente ao curto período de deficiência hídrica (12 dias) as que foram submetidas as plantas para alcançar o valor crítico de Ψ_w ($-1,5$ MPa).

Por outro lado, o estresse hídrico reduziu a produção de biomassa de alguns dos genótipos (Tabela 3). Quanto aos resultados, os quatro genótipos avaliados podem ser divididos em três grupos. O primeiro, formado por CCN-51 e PH-16, que tiveram redução de biomassa de folhas, de caules, de raízes, de parte aérea e total. O segundo grupo formado pelo genótipo CEPEC-2002, somente afetado pelo déficit hídrico quanto à biomassa de raízes que, por conseguinte, afetou a produção de biomassa total. E, por último, o grupo formado pelo genótipo PS-13.19, que se mostrou mais tolerante à imposição do estresse hídrico, não apresentando redução de produção de biomassa, mesmo tendo atingido valores de Ψ_w inferiores a $-2,0$ MPa (Figura 1).

A área foliar total foi reduzida apenas nos genótipos do primeiro grupo acima (CCN-51 e PH-16) com o estresse hídrico, não sofrendo variação nos demais genótipos. Por sua vez, a área foliar específica e a relação PA/R foram variáveis que não se alteraram com a imposição do déficit hídrico nos quatro genótipos avaliados (Tabela 3), devido principalmente ao curto período de deficiência hídrica.

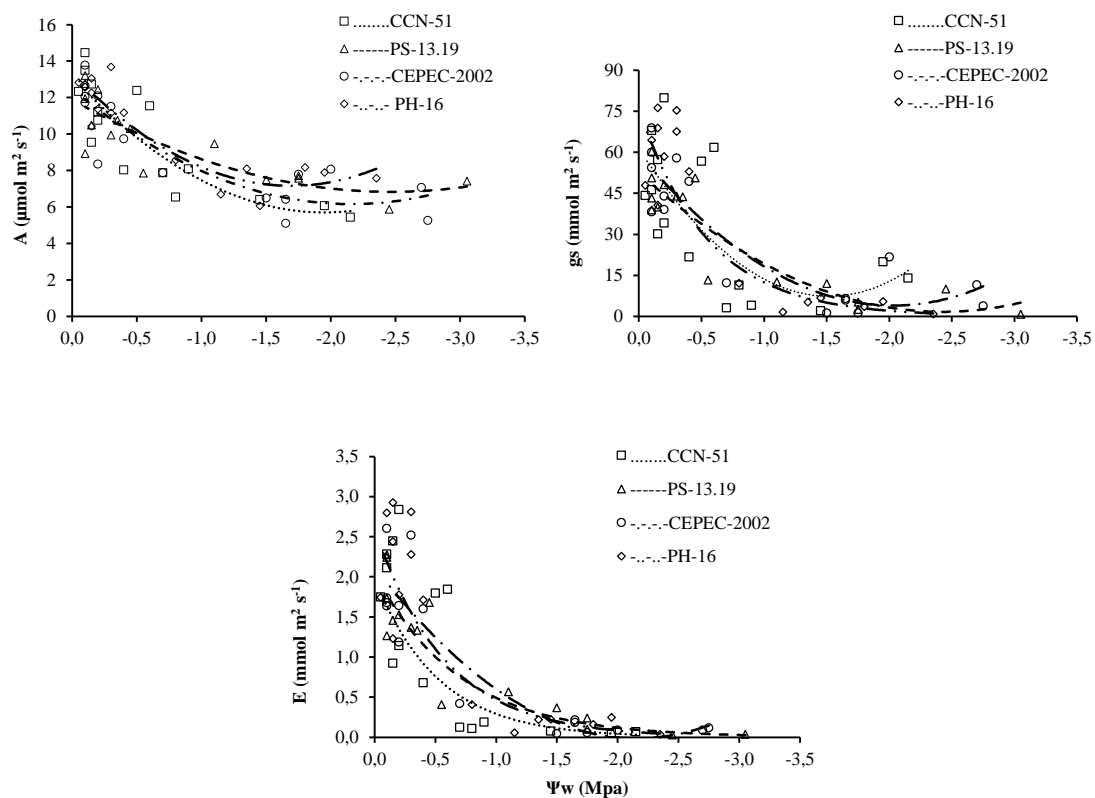


Figura 2 - Relações entre taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) em função do potencial hídrico foliar (Ψ_w) em quatro genótipos de cacauero. Cada ponto indica uma observação.

Tabela 2 – Estimativas da taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs), e transpiração (E), em função dos valores de potencial hídrico foliar (Ψ_w) em diferentes genótipos de cacauero.

Variável	Genótipos	Equações	R ²
A	CCN-51	$y = 13,134 + 7,6232x + 1,95x^2$	0,73
	PS-13.19	$y = 11,903 + 4,1155x + 0,8349x^2$	0,71
	CEPEC-2002	$y = 12,47 + 5,8513x + 1,3559x^2$	0,79
	PH-16	$y = 13,321 + 7,2851x + 2,1533x^2$	0,84
gs	CCN-51	$y = 61,363 + 71,163x + 23,441x^2$	0,48
	PS-13.19	$y = 52,658 + 42,033x + 8,6618x^2$	0,83
	CEPEC-2002	$y = 59,586 + 54,817x + 13,499x^2$	0,82
	PH-16	$y = 73,533 + 75,337x + 19,323x^2$	0,83
E	CCN-51	$y = 1,9803e^{1,9161x}$	0,75
	PS-13.19	$y = 2,0482e^{1,248x}$	0,92
	CEPEC-2002	$y = 1,8555e^{1,3684x}$	0,80
	PH-16	$y = 2,5997e^{1,7194x}$	0,82

Equações geradas a partir de pontos independentes das duas últimas validações das trocas gasosas, considerando os tratamentos com déficit hídrico (DH) e seus controles (SDH). Os modelos foram selecionados pelo maior R².

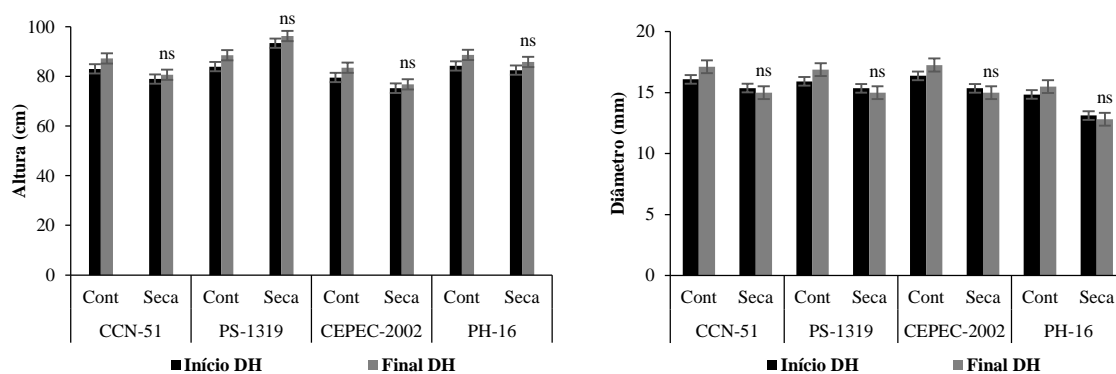


Figura 3 - Altura e diâmetro do caule de quatro genótipos de cacaueteiro submetidos (Seca) ou não (Cont) a déficit hídrico. Medidas efetuadas no início (dia 1) e ao final (dia 12) do período de imposição do estresse hídrico. Avaliações segundo o Teste F a 5 % de probabilidade. Valores apresentados correspondem à média (n=4) \pm erro padrão

Teor de macronutrientes nas folhas

Os teores de macronutrientes, independentemente da condição hídrica avaliada, mostraram-se em níveis elevados (em excesso) para N, Ca e Mg, e baixos (deficientes) para P e K (Sodré et al., 2014), nos quatro genótipos avaliados (Tabela 4). Por sua vez, a imposição do estresse hídrico aumentou os teores foliares de N no genótipo PH-16 e de K no genótipo CCN-51, reduzindo, por outro lado, os teores de K no genótipo PH-16. Os teores foliares dos macronutrientes P, Ca e Mg não foram influenciados pela restrição hídrica.

Tabela 3 - Valores de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC), parte aérea (MSPA), matéria seca total (MST), área foliar total (AF), área foliar específica (AFE) e relação matéria seca parte aérea/ matéria seca raiz (PA/R) dos quatro genótipos de cacaueteiro (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) submetidos a diferentes regimes hídricos (RH): Controle (SDH), com déficit hídrico (DH) ao final do experimento

Genótipo	RH	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	AF x10 ³	AFE	PA/R
		----- g/planta -----					cm ²	cm ² /g	g/g
CCN-51	SDH	69 ± 2,5	33 ± 1,9	29 ± 1,1	102 ± 1,9	130 ± 2,7	10,1 ± 1,0	145 ± 10,0	3,55 ± 0,0
	DH	49 ± 4,8**	25 ± 2,8*	21 ± 1,6**	74 ± 6,9**	95 ± 8,5**	7,37 ± 0,7*	150 ± 3,9	3,55 ± 0,0
PS-13.19	SDH	66 ± 6,4	36 ± 3,5	20 ± 0,8	101 ± 7,9	122 ± 7,3	9,63 ± 1,2	145 ± 5,8	5,12 ± 0,1
	DH	55 ± 3,6	30 ± 4,9	17 ± 1,3	85 ± 8,4	103 ± 9,2	8,10 ± 0,4	148 ± 4,8	4,87 ± 0,0
CEPEC-2002	SDH	68 ± 7,0	34 ± 2,8	22 ± 3,2	102 ± 9,7	124 ± 10,3	8,90 ± 1,1	130 ± 3,9	4,53 ± 0,1
	DH	54 ± 4,1	30 ± 1,2	17 ± 2,2*	84 ± 4,5	101 ± 4,9*	7,79 ± 0,9	142 ± 7,7	5,03 ± 0,0
PH-16	SDH	70 ± 6,8	30 ± 1,9	23 ± 1,2	100 ± 7,5	123 ± 7,8	9,82 ± 1,2	140 ± 3,5	4,36 ± 0,0
	DH	50 ± 4,8**	22 ± 1,3*	15 ± 1,9**	72 ± 5,9**	87 ± 7,6**	7,07 ± 0,5*	144 ± 11,7	4,78 ± 0,0

^{ns}, *, **: não significativo a 5%, significativo a 5% e significativo a 1% pelo teste F, respectivamente, em relação ao tratamento controle. Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão.

Tabela 4 - Teor de macronutrientes em folhas diagnóstico de quatro genótipos de cacauero submetidos a regimes hídricos (RH) sem (SDH) e com (DH) déficit hídrico.

Genótipo	RH	N	P	K	Ca	Mg
----- g/kg -----						
CCN-51	SDH	30,4 ± 0,3	1,3 ± 0,0	7,3 ± 0,4	23,2 ± 1,4	6,9 ± 0,2
	DH	29,1 ± 0,8 ^{ns}	1,4 ± 0,0 ^{ns}	9,4 ± 1,1 [*]	21,4 ± 2,0 ^{ns}	6,6 ± 0,2 ^{ns}
PS-13.19	SDH	28,9 ± 0,6	1,3 ± 0,1	9,5 ± 0,4	19,8 ± 1,5	5,9 ± 0,3
	DH	29,1 ± 0,5 ^{ns}	1,5 ± 0,1 ^{ns}	10,2 ± 1,3 ^{ns}	18,0 ± 1,5 ^{ns}	6,4 ± 0,4 ^{ns}
CEPEC-2002	SDH	29,0 ± 1,1	1,3 ± 0,1	11,9 ± 0,7	21,5 ± 0,8	6,3 ± 0,1
	DH	29,1 ± 0,6 ^{ns}	1,4 ± 0,0 ^{ns}	11,3 ± 0,8 ^{ns}	20,1 ± 0,9 ^{ns}	6,0 ± 0,2 ^{ns}
PH-16	SDH	26,3 ± 0,7	1,4 ± 0,1	11,9 ± 1,1	18,4 ± 2,1	5,9 ± 0,3
	DH	28,6 ± 0,6 [*]	1,5 ± 0,0 ^{ns}	10,2 ± 0,4 [*]	19,2 ± 1,6 ^{ns}	5,8 ± 0,3 ^{ns}

^{ns}, ^{*}, ^{**}: não significativo a 5 %, significativo a 5 % e significativo a 1 % pelo teste F, respectivamente, em relação ao tratamento controle. Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão.

Discussão

Especificamente para o cacauero, considera-se que a planta não sofre estresse hídrico em Ψ_w maiores que -0,5 MPa, e que estresse hídrico moderado é verificado entre -0,6 e -1,4 MPa, e valores de Ψ_w menores que -1,5 MPa implicam em estresse hídrico severo (Deng et al., 1990a). Por sua vez, decréscimo significativo do Ψ_w foram registrados ao quinto dia de restrição hídrica no genótipo CEPEC-2002 (Figura 1) quando este apresentava Ψ_w de -0,2 Mpa. Estes valores diminuíram expressivamente a partir do oitavo dia conjuntamente nos genótipos CEPEC-2002 e PS-13.19, quando registraram Ψ_w de -0,7 e -0,58 MPa, respectivamente. O decréscimo nos valores de Ψ_w esteve associado com visualização de murchamento das folhas, indicando requerimento de água pelas plantas, mesmo em um estresse hídrico considerado moderado. No entanto, os genótipos CCN-51 e PH-16 mantiveram seus valores de Ψ_w superiores a -0,3 MPa, sem estresse hídrico (Deng et al., 1990a), logrando manter adequada turgescência celular. Isto

pode estar associado ao acúmulo de solutos na célula ou a uma rápida resposta da transferência de informação da raiz até as folhas (Bates & Hall, 1981), o que promove a redução dos valores de g_s , permitindo a manutenção de valores elevados do Ψ_w nestes genótipos.

A medida que decresce o Ψ_w , os estômatos, que são sensíveis ao status de hídrico da planta, tendem a se fechar, estratégia que depende do genótipo e/ou espécie vegetal. Em genótipos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) anão, a redução da g_s foi verificada quando os valores de Ψ_w foram próximos de -1,0 MPa (Passos et al., 1999). Em mudas de cacaueteiro, a mesma situação foi identificada em valores próximos de -1,5 MPa (Hutcheon, 1976); embora existam registros de redução de g_s em cacaueteiros iniciando em Ψ_w próximo de -1,8 MPa (Razi et al., 1992).

No presente trabalho, as reduções de g_s foram registradas a partir de valores próximos de -0,5 MPa para todos os genótipos, o que gerou também, reduções em E, sendo menos afetada a variável A. Tal situação foi observada já aos 10 dias após a suspensão da irrigação nos genótipos PS-13.19 e PH-16 (Tabela 1). Nestes genótipos, mesmo sendo determinadas reduções nos valores de g_s e E, essas não foram suficientes para acarretar redução de A, em valores de Ψ_w de -1,04 e -0,95 MPa, respectivamente. Por outro lado, e no mesmo período, redução dos valores de A foram verificados no genótipo CEPEC-2002, que já exibia Ψ_w de -1,38 MPa, valor próximo ao estresse hídrico considerado severo. Esta última observação é coerente com resultados reportados por Deng et al., (1989), que encontraram reduções de A em valores de Ψ_w entre -1,0 e -1,5 MPa em mudas de cacaueteiro e, ao mesmo tempo, discrepantes com o registro de Razi et al., (1992), que verificaram redução de A quando o Ψ_w alcançou valores próximos de -2,0 MPa.

Os resultados obtidos sugerem que os valores de g_s e E são rapidamente reduzidos com a imposição do déficit hídrico e pequenos decréscimos do Ψ_w , enquanto que, a variável de A só apresentou reduções significativas quando o Ψ_w ficou inferior de -1,0 MPa, a qual pode estar relacionada a mudanças do volume celular e a limitações da difusão do CO_2 e não a limitações bioquímicas do aparato fotossintético (DaMatta & Ramalho, 2006)

Com o avançar do estresse hídrico, aos 12 dias de suspensão da irrigação, o genótipo CCN-51 foi o que conseguiu manter maior valor de Ψ_w (-1,45 MPa), seguido pelo PH-16 (-1,86 MPa) e PS-13.19 (-2,09 MPa), enquanto que o CEPEC-2002 foi o de maior redução do Ψ_w (-2,3 MPa). A priori, esses dados sugerem que o genótipo CCN-51 apresenta mecanismos mais eficientes de tolerância do estresse hídrico. Já os genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002 não apresentam os mecanismos adequados para manter Ψ_w elevados nesta condição de estresse.

Em qualquer fase de vida de uma planta, o déficit hídrico causa prejuízos ao seu desenvolvimento, sendo diversas as consequências em função da espécie e da severidade do estresse (Farooq et al., 2012). Este tipo de restrição causa distúrbios na partição de fotoassimilados e, conseqüentemente, na distribuição de biomassa seca (Santos et al., 2014). Entretanto, ao finalizar o período de estresse do presente estudo, tanto a altura como o diâmetro do caule não apresentaram alterações nos quatro genótipos avaliados (Figura 3). O diâmetro do caule é considerado indicador de tolerância ao déficit hídrico, tendo relação direta com o Ψ_w na antemanhã (Ginestar & Castel, 1998). Isto devido a que a redução do diâmetro, durante o dia e sobre estresse hídrico, tende-se a recuperar durante a noite, já que a turgescência do córtex segue o mesmo padrão da curva do Ψ_w (Machado et al., 1979). Redução de turgescência do córtex do caule não foi considerada severa em nenhum dos quatro genótipos avaliados neste estudo, tendo havido tempo suficiente para a recuperação pelo movimento da água no floema, mesmo em valores de Ψ_w entre -1,5 e -2,3 MPa. A ausência de efeito do estresse hídrico nos valores de altura e diâmetro do caule deste estudo pode ser associada ao curto período de avaliação considerado (12 dias) e à idade das mudas, já que sendo mais maduras sofreram menos com relação à essas variáveis biométricas.

No cacauero, reduções de área foliar são consideradas como uma das primeiras respostas da planta ao estresse hídrico. O déficit hídrico tem um efeito depressivo sobre o processo de alongamento celular e de senescência de folhas (Joly & Hahn, 1989). Estes dois processos buscam reduzir a perda de água pela evapotranspiração, motivo pelo qual, são considerados como a primeira linha de defesa das plantas (Taiz & Zeiger, 2013). Ao avaliar 36 genótipos de cacauero submetidos a estresse hídrico severo (entre -2,0 e -2,5

MPa), Santos et al. (2014) verificaram maior perda de área foliar (entre 34,8 e 43,6%) em genótipos mais sensíveis, enquanto que, nos genótipos mais tolerantes ao estresse, as reduções variaram entre 16,7 e 26,3%. Em princípio, esses resultados poderiam sugerir o uso da área foliar como critério de separação de genótipos tolerantes e sensíveis quanto à restrição hídrica. Entretanto, deve ser considerado que a área foliar ao final de um evento de estresse hídrico é resultado da redução individual das folhas, mas também da senescência e abscisão destas como mecanismo de defesa, algo que é mais variável entre genótipos. Alguns materiais genéticos lançam mão da perda de folhas para buscar sua melhor manutenção em condições de estresse hídrico, com resiliência rápida em resposta à uma maior disponibilidade de água no solo em momentos posteriores.

Neste estudo verificou-se redução de 27-28 % da área foliar apenas nos genótipos CCN-51 e PH-16 (Tabela 3), não sendo possível verificar se tal redução foi devida à queda de folhas durante o período de estresse, uma vez que o cacaueteiro durante o período de aclimação apresentou constantemente senescência foliar, mesmo sob condições adequadas de umidade do solo.

É sabido que a redução da área foliar promove a redução da área fotossinteticamente ativa, causando o decréscimo da produção de fotoassimilados, o que afeta diretamente a produção da biomassa. Com a aplicação do estresse hídrico, os genótipos CCN-51 e PH-16 apresentaram reduções de 28,6% na biomassa de folhas, caule e raiz (Tabela 3), indicando sua maior sensibilidade. Razi et al. (1991) verificaram perdas de 21% nas massas obtidas desses mesmos compartimentos vegetais em mudas de cacau de cinco meses de idade cultivadas em vasos após quatro dias de restrição hídrica, valores que alcançaram 50% de perda após 12 dias de estresse. Redução na produção de biomassa de folhas, raízes e caules de 31,0; 31,4 e 17,7%, respectivamente, foram registrados em mudas de três genótipos de cacau da Colômbia, cultivados em casa de vegetação e submetidos à restrição hídrica de 50% em relação à condição ideal de umidade (García, 2014).

A relação entre teores foliares e tolerância à restrição hídrica é associada à relatos como os que descrevem que a manutenção de maior concentração de N na forma de nitrato no vacúolo contribui para a manutenção da turgescência celular, conferindo maior

tolerância em condições de estresse hídrico (Maathius, 2009); que maior acúmulo de P e K contribuem para um melhor ajuste osmótico (Almeida et al., 2002); já que mudanças na concentração de P podem incrementar a eficiência do uso da água e a condutância estomática (Santos et al., 2014). Especificamente com relação ao P, este último relato não pôde ser corroborado no presente estudo, uma vez que os teores de P não foram afetados pelo estresse hídrico nos quatro genótipos avaliados.

O K é um nutriente de reconhecida importância para o estado energético das plantas, na translocação e armazenamento de assimilados e na manutenção de água nos tecidos vegetais (Meurer, 2006). A sua absorção pela planta torna-se limitada conforme o conteúdo de água no solo diminui. Entretanto, com a imposição da restrição hídrica, o teor foliar deste elemento foi reduzido apenas no genótipo PH-16. Santos et al., (2014) verificaram maior decréscimo nos conteúdos foliares de K em genótipos de cacau considerados sensíveis, os quais também apresentaram maior redução de biomassa total. O acúmulo de K nos tecidos guarda estreita correlação com a redução do Ψ_w (Marschner, 1995), podendo ser em cacauzeiros considerado um importante mecanismo de resposta ao estresse hídrico da cultura via ajuste osmótico (Almeida et al., 2002).

Considerando os resultados obtidos e trabalhos similares acerca da tolerância de cacauzeiros ao déficit hídrico podem ser consideradas dois diferentes cenários relacionadas aos genótipos avaliados. No primeiro caso, se considera que muitos mecanismos de tolerância permitem a manutenção de valores altos de Ψ_w em situações de estresse hídrico de forma a garantir a adequada continuidade dos processos produtivos da planta (Argyrokastritis et al., 2015; Djekoun & Planchon, 1991). Nesta situação, poder-se-ia classificar o genótipo CCN-51 como o mais tolerante ao déficit hídrico, mesmo havendo perdas de produção de biomassa. Na sequência apareceria o genótipo PH-16, que seria considerado como moderadamente tolerante e, finalmente, os genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, a serem classificados como sensíveis (Figura 1). Um segundo cenário pode ser considerado, assumindo por sua vez, a importância da manutenção da área foliar e da produção de biomassa de folhas em situações de restrição hídrica (Santos et al., 2014); Farhad et al., 2011). Neste caso, os genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002 seriam classificados como tolerantes, enquanto CCN-51 e PH-16 seriam considerados sensíveis

(Tabela 3). Os dois cenários acima descritos denotam divergências para se alcançar consenso sobre quais variáveis melhor podem determinar a tolerância ou sensibilidade de genótipos de cacaueteiro ao estresse hídrico.

A determinação da tolerância ao estresse hídrico não é uma característica de simples identificação e, normalmente, não se relaciona com apenas uma característica isolada. Existem diversos mecanismos que podem estar envolvidos na tolerância a períodos de deficiência hídrica, muitos inclusive associados à mudanças fisiológicas, morfológicas, todas relacionados a aspectos moleculares e/ou genéticos (Nepomuneco et al., 2008).

Nesse contexto, a expressão de mecanismos que permitam manter o adequado status hídrico no cacaueteiro é mais relevante em estresse hídrico moderado, uma vez que em estresse hídrico severo ($<-1,5$ MPa), as variáveis fisiológicas sofreram redução semelhante em todos os genótipos avaliados. Desta forma, na situação severa, seriam as características morfológicas as mais importantes.

Idealmente uma planta tolerante seria aquela que, sob estresse hídrico moderado a severo, apresentasse mecanismos eficientes para manter seu metabolismo e que, mesmo apresentando pequena redução de biomassa, apresente, quando reidratada, boa capacidade de resiliência. Entretanto, tal situação ideal não pode ser verificada nos genótipos avaliados.

Conclusões

- A redução da área foliar apresenta-se como mecanismo importante para se manter valores elevados de potencial hídrico foliar nos genótipos CCN-51 e PH-16.
- A produção de biomassa e a área foliar não são reduzidas com a imposição da restrição hídrica nos genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, ainda que tais genótipos não apresentem mecanismos eficientes para a manutenção de elevados valores de potencial hídrico foliar.

- Efeitos fisiológico nos genótipos de cacauero são mais evidentes a partir de potencial hídrico foliar inferiores a $-1,0$ MPa

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A-A. F.; BRITO, R. C. T.; AGUILAR, M. A. G.; VALLE, R. R. Water relations aspects of *Theobroma cacao* L. clones. *Agrotópica*, 14:35–44, 2002.

ARAQUE, O.; JIMEZ, R. E.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R.; ESPINOZA, W. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Experimental Agriculture*, 48:513–522, 2012.

ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf Water Potential and Crop Water Stress Index Variation for Full and Deficit Irrigated Cotton in Mediterranean Conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4:463–470, 2015.

BATES, M. L. & HALL, E. A. Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk water status. *Oecologia*, 50:62–65, 1981.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, G. R.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no sul da Bahia: 2ª aproximação. Ilhéus - Bahia: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira/Centro de Pesquisa Cacau, 2013.

COSTA, V. P. Influência do déficit hídrico no crescimento, acúmulo de carboidratos de reserva e na anatomia e ultra-estrutura do rizoma de *Costus arabicus* L. (Costaceae, Monocotiledoneae). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010. 91f. (Tese de Mestrado).

DAMATTA, F. M. & RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*,

18:55–81, 2006.

DENG, X.; JOLY, R.; HAHN, D. The influence of plant water deficit on distribution of ¹⁴C-labelled assimilates in cacao seedlings. *Annals of botany*, 66:211–217, 1990a.

DENG, X.; JOLY, R. J.; HAHN, D. T. Effects of plant water deficit on the daily carbon balance of leaves of cacao seedlings. *77:407–412*, 1989.

DENG, X.; JOLY, R. J.; HAHN, D. T. The influence of plant water deficit on photosynthesis and translocation of ¹⁴C-labelled assimilates in cacao seedlings. *Annals of botany*, 78:623–627, 1990b.

DJEKOUN, A. & PLANCHON, C. Tolerance to low leaf water potential in soybean genotypes. *Euphytica*, 55:247–253, 1991.

FARHAD, W.; CHEEMA, M. A.; SALEEM, M. F.; SAQIB, M. Evaluation of drought tolerance in maize hybrids. *Int. J Agric. Biol*, 13:523–528, 2011.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Drought stress in plants: An Overview. In: AROCA, R. (Ed.). *Plant Responses to Drought Stress from morphological to molecular features*. London: Springer, 2012. p. 1–33.

FERNANDES, E. T. Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2012. 92f. (Tese de Mestrado).

GARCÍA, L. J. Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico. Universidad Nacional de Colombia, 2014. 141f. (Tese de Mestrado).

GINESTAR J, C. R. Use of stem dendrometers as indicators of water stress in drip-irrigated citrus trees. *Acta horticulturae*, 421:209–216, 1998.

HUTCHEON, W. V. Photosynthesis of cacao. In: *Annual Report, Cocoa Res. Inst. Tafo*. Ghana: 1976

JAIMEZ, R. E.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. *Sugerencias para su*

- mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52:253–258, 2008.
- JOLY, R. J. & HAHN, D. Net CO₂ assimilation of cacao seedling during periods of plant water deficit. *Photosynthesis Research*, 21:151–159, 1989.
- MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. *Plant Biology*, 12:250–258, 2009.
- MACHADO, R. C. R.; ALVIM, P. T.; MILDE, L. C. E. Reações fisiológicas do cacauzeiro a deficiência de água no solo. In: Proc. 7th Int. Cocoa Res. Conf. Anais...Douala, Cameroun: 1979
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 1 ed ed. London: Academic Press, 1995.
- MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). . Nutrição mineral. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 281–298.
- NEPOMUNECO A L, N. N.; FARIAS, B. J. R.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas. Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos/1635/tolerancia-a-seca-em-plantas#>>. Acesso em: 21 abr. 2016.
- PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A.; LEAL, M. L. S. DA. Condutância estomática, potencial hídrico foliare emissão de folhas e inflorescências em três genótipos de coqueiro anão. *Agrotropica*, 11:147–152, 1999.
- RAZI, M. I.; HALIM, A. H.; KAMARIAH, D.; NOHD, M. J. Growth, plant water relation and photosynthesis rate of young *Theobroma cacao* as influenced by water stress. *Pertanika*, 15:93–98, 1992.
- SANTOS, I. C.; ALMEIDA, A.-A. F.; ANHERT, D.; CONCEIÇÃO, A. S.; PIROVANI, C. P.; PIRES, J. L.; VALLE, R. R.; BALIGAR, V. C. Molecular, physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to soil water deficit. *PloS one*, 9:0–31, 2014.
- SODRÉ, G. A.; MARROCOS, P. C. L.; CHEPOTE, R. E.; PACHECO, R. G. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho da amostra de plantas de cacau (*Theobroma*

cacao L.) em estudos de nutrição. *Agrotrópica*, 13:145–150, 2014.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

ZANETTI, L. V. Efeitos da pulverização foliar com solício na tolerância de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) ao déficit hídrico. Universidade Federal do Espírito Santo, 2013. 60f. (Tese de Mestrado).

Capítulo II

Estresse hídrico em genótipos de *Theobroma cacao* L. em resposta à adubação potássica

Resumo

A adubação potássica tem mostrado eficiência no controle estomático para manter adequado o status hídrico em planta submetidas a condições de estresse hídrico, de forma a permitir tolerar períodos de seca. O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a tolerância ao déficit hídrico de quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) em resposta à doses crescentes de K (0; 60; 120 e 180 mg/dm³). O experimento foi realizado em casa de vegetação, onde os genótipos foram submetidos a deficiência hídrica até a redução do potencial hídrico foliar a valor próximo de -1,5 MPa, em dois ciclos de deficiência hídrica. Durante esses dois períodos avaliaram-se o potencial hídrico foliar (Ψ_w), condutância estomática (g_s), taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração (E), altura (H) e diâmetro do caule (DC). Ao finalizar o segundo ciclo foram determinadas a produção de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC), raiz (MSC), além de área foliar total (AF), e teor e conteúdo de nutrientes. No primeiro ciclo de deficiência hídrica, valores de Ψ_w próximos a -1,5 MPa foram alcançados aos 10 dias após a suspensão da irrigação, enquanto que, no segundo ciclo, tal situação foi alcançada já aos oito dias. Em condições de adequada umidade no solo, nos dois ciclos de déficit hídrico, as doses de K não proporcionaram diferenças nas variáveis relacionadas às trocas gasosas dentro de cada genótipo, situação semelhante ao verificado quando foi efetuada a imposição da deficiência hídrica no primeiro ciclo. No entanto, no segundo ciclo de estresse, diferenças nas trocas gasosas foram registradas para todos os genótipos quando o K foi omitido. Neste caso, a ausência do nutriente proporcionou maiores valores de Ψ_w ao final do estresse, devido à menor área foliar das mudas de cacau. Respostas positivas da adubação potássica foram registradas para a produção de matéria seca até a dose de 120 mg/dm³, com destaque para o genótipo PS-13.19, que apresentou melhor resposta de todas as variáveis morfológicas. Por outro lado, todas as variáveis avaliadas para o CEPEC-2002 não foram afetadas pela adubação potássica. Os resultados sugerem

que a adubação potássica não apresenta efeito sobre os parâmetros fisiológicos de cacauzeiros em situação de estresse hídrico. Variações nesses parâmetros são verificados quando associados à redução do Ψ_w proporcionada pela restrição hídrica.

Palavras chaves: estresse hídrico, tolerância, trocas gasosas, potencial hídrico foliar.

Introdução

Estudos acerca das relações hídricas envolvendo o cacauzeiro têm se tornado relevantes, uma vez que mesmo sendo cultivado predominantemente em regiões tipicamente chuvosas, a cultura tem enfrentado períodos frequentes de precipitação irregular por mais de três meses, como no caso da região Sul da Bahia (Almeida et al., 2002), ou ainda pela recente tendência de expansão da cacauicultura para áreas não tradicionais, como é a região semiárida do Brasil (Leite et al., 2012).

Mecanismos de tolerância e de seleção de genótipos de cacauzeiro têm sido objeto de pesquisas, tanto em condições de campo como em casa de vegetação. Estas pesquisas têm abordando diferentes aspectos envolvidos no crescimento e no desenvolvimento da planta, sejam eles fisiológicos (Razi et al., 1992; Araque et al., 2012; Rada et al., 2005), ou morfológicos, bioquímicos e moleculares (Santos et al., 2014). Por outro lado, especificamente para o cacauzeiro, poucos são os trabalhos que buscam avaliar o efeito nutricional, sobretudo do K, sobre os mecanismos envolvidos que podem permitir à cultura melhor tolerar períodos de deficiência hídrica.

Na cultura do eucalipto (*Eucalyptus* spp), em especial nas condições de cerrado, a adubação potássica tem proporcionado respostas apreciáveis de crescimento vegetal sob condições de déficit hídrico (Barros et al., 1981; Teixeira et al., 2015). Este comportamento é atribuído ao importante papel deste nutriente no aumento da manutenção da água na planta, por meio de sua ação no controle da abertura e fechamento dos estômatos (Ernani et al., 2007).

Mesmo que não faça parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica das plantas, o K^+ apresenta importantes funções, atuando na absorção de água, regulando a

translocação dos nutrientes na planta, favorecendo o transporte e armazenamento de carboidratos, incrementando a absorção do N e a síntese de proteínas, bem como participando da síntese de amido nas folhas (Taiz & Zeiger, 2013). Desta forma, desempenha função relevante na regulação osmótica, prevenindo a perda de água (Andersen et al., 1992). Isto tudo pode gerar maior resistência ao estresse hídrico, garantindo maior produção de biomassa e rendimento, o que é baseado na maior concentração de K no estroma e, conseqüentemente em maiores taxas de assimilação de CO₂ (Marschner, 2012). Diante do exposto, o K pode desempenhar importante papel para plantas em períodos de déficit hídrico, favorecendo o uso mais eficiente da água e, desta forma, contribuindo para mitigar problemas associados à redução prolongada da umidade do solo durante o cultivo. Partindo desta hipótese, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desenvolvimento e a tolerância ao déficit hídrico de quatro genótipos de cacaueteiro em resposta à adubação potássica.

Material e métodos

Condução do experimento

Quatro genótipos de cacaueteiro (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) foram selecionados para cultivo em vasos em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. As mudas enraizadas de ramos plagiotrópicos foram obtidas junto ao Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), de Ilhéus (BA), todas com aproximadamente mesma altura e 10 meses de idade. Os critérios de seleção dos genótipos foram a sua disponibilidade, a tolerância à doença vassoura de bruxa provocada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* e o alto potencial produtivo.

O solo utilizado no experimento foi proveniente de um horizonte B de um Latossolo Vermelho Amarelo de textura muito argilosa, com as seguinte caracterização físico-química: matéria orgânica: 0,38 dag/kg; pH (em água): 5,03; P disponível: 1,3 mg/dm³; K disponível: 0 mg/dm³; H+Al: 1,8 cmol_c/dm³; Ca²⁺: 0,69 cmol_c/dm³; Mg²⁺: 0,17 cmol_c/dm³; S: 14,8 mg/dm³; CTC efetiva (t): 0,86 cmol_c/dm³; CTC total (T): 2,66 cmol_c/dm³; V: 32,3 %; areia: 0,319 kg/kg; silte: 0,049 kg/kg e argila: 0,632 kg/kg.

Antes da instalação do experimento, foi promovida a calagem do substrato, com a aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 , visando elevar os teores de Ca^{2+} para $2,25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e de Mg^{2+} para $0,75 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (Chepote et al., 2005). O solo foi então mantido incubado por duas semanas, período em que recebeu irrigação, com água deionizada. Ao final da incubação e antes do transplante de mudas, o solo recebeu adubação com fosfato monoamônico, na dose de $250 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de P, a qual foi misturada em todo o volume do solo.

As mudas foram transplantadas juntamente com o substrato enraizado (aproximadamente 1 dm^3) em abril do 2014, para vasos de 20 dm^3 contendo 19 dm^3 de solo, num sistema fechado. Posteriormente foi realizada a fertilização com N e K nas doses de 250 e $120 \text{ mg}/\text{dm}^3$, respectivamente, parceladas em três vezes; sendo que a primeira e segunda aplicação foram realizadas aos 30 e 60 dias após a instalação do experimento com 100 e $40 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de N e K respectivamente. A terceira aplicação foi realizada aos 90 dias com 50 e $40 \text{ mg}/\text{dm}^3$ de N e K, respectivamente. A aplicação de micronutrientes, nas seguintes doses (mg/dm^3): Mo = 0,3; Mn = 1,0; B = 1,0; Zn = 5,0 e Cu = 5,0, foram realizadas numa única aplicação aos 30 dias após a instalação do experimento.

Uma tela de 50 % de sombreamento foi utilizada para a melhor adaptação das mudas na casa de vegetação e a irrigação foi conduzida considerando a manutenção da umidade em 80% da capacidade de campo.

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial de 4×4 , correspondendo aos quatro genótipos e quatro doses de K, com quatro repetições.

Após o período de aclimação de um ano, iniciou-se o primeiro ciclo de déficit hídrico, que consistiu da suspensão da irrigação em todos os vasos até se alcançar valores de potencial hídrico foliar próximos de $-1,5 \pm 0,2 \text{ MPa}$, que é considerado como “estresse hídrico severo” para o cacaueteiro (Deng et al., 1990a). Isto aconteceu com aproximadamente 10 dias e, neste momento, os vasos foram irrigados para a reidratação das plantas. Depois de quatro meses de finalizado o primeiro ciclo, um segundo ciclo de déficit hídrico foi promovido, já com o objetivo de se promover as avaliações previstas.

Neste ciclo o potencial hídrico foliar de $-1,5 \pm 0,2$ MPa foi alcançado com oito dias após a suspensão da irrigação.

Durante o primeiro ciclo de imposição do déficit hídrico registraram-se, na casa de vegetação, média das temperaturas máximas de $27,2^{\circ}\text{C}$, e das mínimas de $14,9^{\circ}\text{C}$. No segundo ciclo, esses mesmos valores foram de $32,6^{\circ}\text{C}$ e $15,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Avaliação do crescimento

O diâmetro do caule (DC), efetuada com o auxílio de um paquímetro digital, foi obtido a cinco centímetros do solo, enquanto que a altura da planta (H), medida com régua, foi calculada desde a superfície do solo até o ápice do par de folhas mais jovem. Ambas as variáveis foram medidas antes e após da restrição hídrica, ou seja, um e 12 dias após a suspensão da irrigação, em ambos os ciclos de deficiência hídrica. Ao final do experimento, finalizando o segundo ciclo de déficit hídrico, foi promovida a colheita das folhas, caule e raízes. Determinou-se a área foliar total (AF) utilizando um medidor Li-3100 (Li-Cor, Nebraska, USA). Após a colheita, todos os componentes vegetais foram secos em estufa até peso constante, para a determinação da matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC) e raízes (MSR). Ainda foram calculadas a área foliar específica (AFE), usando-se a relação AF/MSF; a matéria seca da parte aérea (MSPA), pela soma de MSF+MSC e a relação parte aérea/raiz (PA/R).

Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

O Ψ_w foi monitorado no 1^o, 5^o e 10^o dias após a suspensão da irrigação no primeiro ciclo e no 1^o, 5^o e 8^o dias após a mesma suspensão no segundo ciclo. As duas primeiras leituras foram pré-definidas em função de outro experimento, e a terceira indicada pelo estado visual de murchamento das plantas. As leituras de Ψ_w foram efetuadas com uma bomba de Scholander, entre 4:00 e 5:00 h, utilizando uma folha totalmente expandida e em bom estado fitossanitário destacada do terço superior de cada planta.

Trocas gasosas

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas nos mesmos dias das avaliações do potencial hídrico foliar, durante os dois ciclos de déficit hídrico impostos, sempre pela manhã e entre 8:00 e 12:00 h. Uma folha totalmente sadia e expandida por planta foi

selecionada para análise, e nela foram avaliadas a taxa de assimilação de CO₂ (A), a condutância estomática (gs) e transpiração (E). Para estas medições foi utilizado um analisador de gás por infravermelho (IRGA, modelo portátil LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) utilizada foi constante e de 1.000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Zanetti, 2013) e a concentração atmosf\u00e9rica de CO₂ (C_a) foi de aproximadamente 395 $\mu\text{mol mol}^{-1}$.

Teor e conte\u00fado de nutriente nas folhas

No final do segundo ciclo de estresse, ap\u00f3s oito dias da suspens\u00e3o da irriga\u00e7\u00e3o, quatro folhas do segundo e terceiro pares no ter\u00e7o m\u00e9dio das copas (folhas diagn\u00f3stico) e todas folhas velhas, foram coletadas por separado para an\u00e1lises foliar. Na massa seca dessas folhas ap\u00f3s secagem em estufa foram analisados os teores e conte\u00fados de macronutrientes ap\u00f3s digest\u00e3o nitropercl\u00f3rica. Nos extratos obtidos, a determina\u00e7\u00e3o dos teores de Ca e Mg foi efetuada por espectrofotometria de absor\u00e7\u00e3o at\u00f4mica; de P por colorimetria e K por fotometria de emiss\u00e3o em chama. Os teores de N foram determinados pelo m\u00e9todo de Kjeldahl.

An\u00e1lises estat\u00edsticas

Os dados obtidos foram submetidos \u00e0 an\u00e1lise de vari\u00e2ncia, sendo promovido o desdobramento dos graus de liberdade da intera\u00e7\u00e3o doses vs clones, objetivando avaliar diferen\u00e7as entre doses dentro de cada gen\u00f3tipo estudada. Regress\u00f5es foram utilizadas para avaliar a din\u00e2mica do Ψ_w em fun\u00e7\u00e3o do tempo; das trocas gasosas e efici\u00eancia do uso da \u00e1gua em fun\u00e7\u00e3o do Ψ_w ; e dos par\u00e2metros de crescimento (produ\u00e7\u00e3o de biomassa, altura e di\u00e2metro) e teores e conte\u00fados em fun\u00e7\u00e3o de doses de K aplicadas. Eventualmente compara\u00e7\u00e3o entre m\u00e9dias pelo teste Tukey ($p < 0,10$) foi utilizada para verificar diferen\u00e7as entre doses de K.

Resultados

Potencial hídrico foliar em função do tempo

Durante o primeiro ciclo de déficit hídrico, no primeiro dia de avaliação que coincide com condições adequadas de umidade no solo, o potencial hídrico foliar (Ψ_w) de todos os genótipos manteve-se entre -0,13 a -0,26 MPa, independentemente das doses de K (Figura 1). Somente no genótipo CCN-51 notou-se diferença de Ψ_w entre doses, embora de pouco significado prático (Tabela 1). Com cinco dias após a suspensão da irrigação, as reduções de Ψ_w alcançaram valores entre -0,65 e -1,03 MPa, o que pode ser considerado um estresse hídrico moderado. Neste dia de avaliação diferenças não foram notadas entre doses de K para cada um dos genótipos estudados. Aos 10 dias de interrupção da irrigação, os valores de Ψ_w foram entre -1,05 e -1,40 MPa, faixa entre estresse hídrico moderado e próximo a severo. Neste último dia de avaliação do primeiro ciclo de estresse hídrico, os valores de Ψ_w dos genótipos CCN-51 e PH-16 não foram influenciados pelas doses de K. Por sua vez, no genótipo CEPEC-2002, o aumento da adubação potássica acarretou redução do Ψ_w , enquanto no PS-13.19, tal redução somente foi verificada na dose de 60 mg/dm³.

Após o período de reidratação e, depois de passado um dia de estabelecido o segundo ciclo de déficit hídrico, os valores de Ψ_w variaram entre -0,09 e -0,18 MPa para todos os genótipos. Influência das doses de K sobre os valores de Ψ_w dentro de um mesmo genótipo somente foi novamente registrada para CCN-51. Neste genótipo o incremento da adubação potássica acarretou a redução do Ψ_w . Aos cinco dias da suspensão da irrigação, quando os valores de Ψ_w variaram entre -0,53 e -0,93 MPa, não se verificou efeitos da adubação com doses crescentes de K sobre os valores de Ψ_w . No oitavo dia da suspensão da irrigação, os valores de Ψ_w variaram de -0,85 a 1,71 MPa, sendo diagnosticado efeito da adubação potássica sobre os valores de Ψ_w atingidos pelas plantas. A tendência geral foi de valores mais negativos de Ψ_w associados ao aumento das doses de K aplicadas. Desta forma, a ausência de aplicação de K permitiu a manutenção de valores elevados de Ψ_w e próximos de -1,00 MPa, enquanto que nas doses de 60, 120 e 180 mg/dm³, tais valores variaram entre -1,20 e -1,74 MPa (Tabela 1).

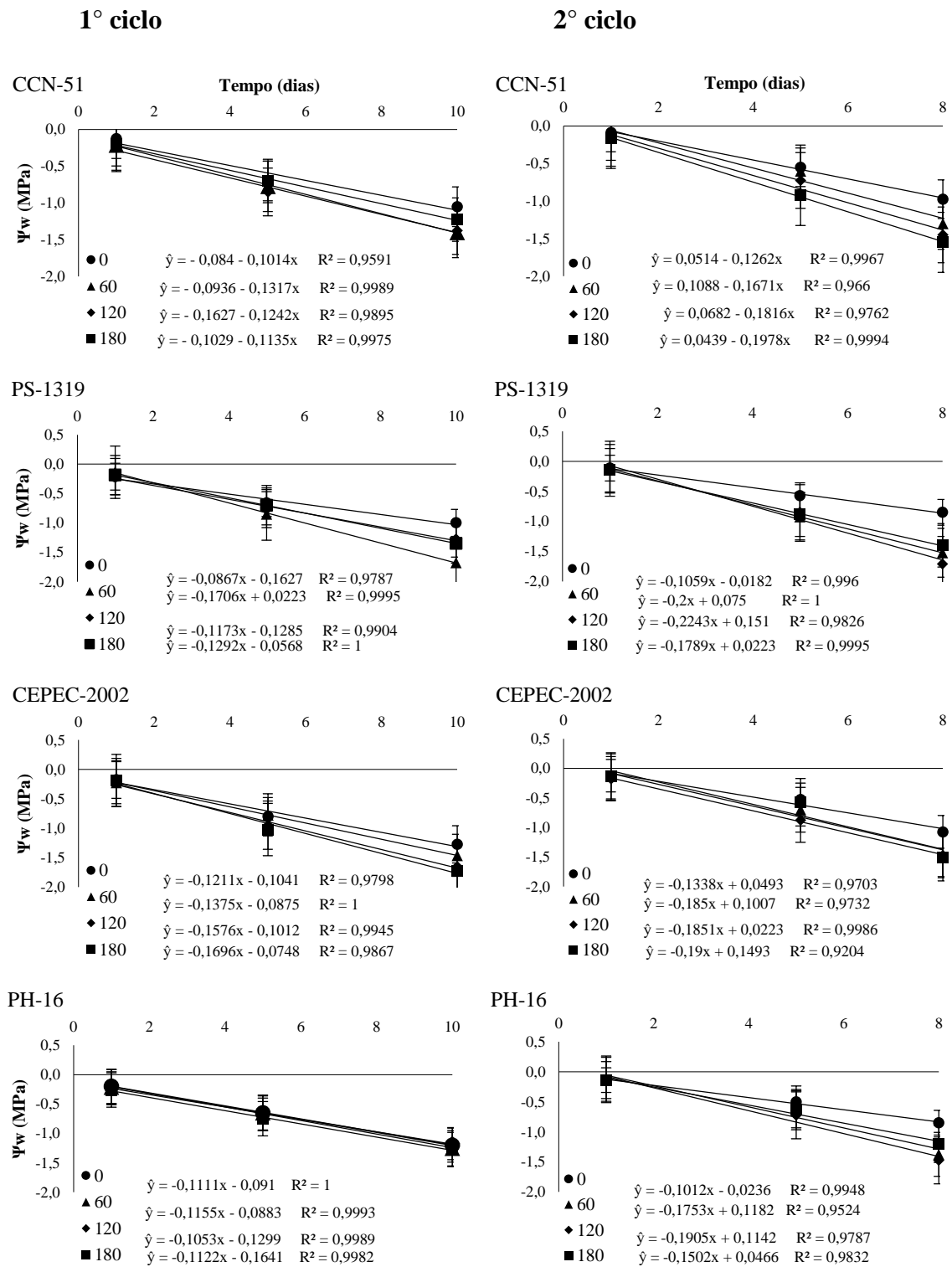


Figura 1 - Potencial hídrico foliar (Ψ_w) durante o 1º e 2º ciclo de déficit hídrico nos genótipos avaliados (CCN-51; PS-13.19; CEPEC-2002 e PH-16) com as quatro doses de potássio (0; 60; 120 e 180 mg/dm³) em função do tempo. Valores apresentados correspondem à média (n=4) \pm erro padrão.

Tabela 1 – Resposta temporal do potencial hídrico foliar avaliado em dois ciclos de estresse hídrico (seca) para quatro genótipos de cacau cultivados com quatro doses de adubação potássica

Genótipos	Doses K (mg/dm ³)	Primeiro ciclo de seca			Segundo ciclo de seca		
		1	5	10	1	5	8
----- MPa -----							
CCN-51	0	-0,13±0,01 ^a	-0,70±0,08 ^a	-1,05±0,10 ^a	-0,09±0,01 ^a	-0,55±0,08 ^a	-0,98±0,11 ^a
	60	-0,21±0,03 ^{ab}	-0,78±0,10 ^a	-1,40±0,08 ^a	0,11±0,01 ^{ab}	-0,60±0,07 ^a	-1,30±0,04 ^{ab}
	120	-0,25±0,02 ^b	-0,85±0,09 ^a	-1,38±0,11 ^a	-0,16±0,02 ^b	-0,73±0,09 ^a	-1,45±0,07 ^b
	180	-0,20±0,04 ^{ab}	-0,70±0,04 ^a	-1,23±0,04 ^a	-0,1±0,02 ^b	-0,93±0,13 ^a	-1,55±0,09 ^b
PS-13.19	0	-0,21±0,03 ^a	-0,66±0,03 ^a	-1,00±0,04 ^a	-0,11±0,01 ^a	-0,58±0,06 ^a	-0,85±0,08 ^a
	60	-0,14±0,02 ^a	-0,85±0,02 ^a	-1,68±0,09 ^b	-0,13±0,02 ^a	-0,93±0,13 ^a	-1,53±0,09 ^b
	120	-0,21±0,02 ^a	-0,78±0,02 ^a	-1,28±0,10 ^a	-0,13±0,01 ^a	-0,85±0,19 ^a	-1,71±0,15 ^b
	180	-0,19±0,04 ^a	-0,70±0,04 ^a	1,35±0,13 ^{ab}	-0,15±0,03 ^a	-0,89±0,16 ^a	-1,40±0,17 ^b
CEPEC-2002	0	-0,16±0,02 ^a	-0,80±0,02 ^a	-1,28±0,12 ^a	-0,13±0,03 ^a	-0,53±0,07 ^a	-1,08±0,04 ^a
	60	-0,23±0,03 ^a	-0,78±0,03 ^a	1,46±0,09 ^{ab}	-0,14±0,02 ^a	-0,70±0,12 ^a	-1,45±0,08 ^b
	120	-0,23±0,03 ^a	-0,95±0,03 ^a	-1,65±0,06 ^b	-0,18±0,01 ^a	-0,88±0,10 ^a	-1,48±0,04 ^b
	180	-0,19±0,03 ^a	-1,03±0,03 ^a	-1,73±0,07 ^b	-0,14±0,02 ^a	-0,58±0,06 ^a	-1,50±0,07 ^b
PH-16	0	-0,20±0,03 ^a	-0,65±0,03 ^a	-1,20±0,16 ^a	-0,14±0,02 ^a	-0,50±0,04 ^a	-0,85±0,11 ^a
	60	-0,21±0,03 ^a	-0,65±0,03 ^a	-1,25±0,07 ^a	-0,13±0,01 ^a	-0,60±0,09 ^a	-1,38±0,16 ^{ab}
	120	-0,23±0,03 ^a	-0,68±0,03 ^a	-1,18±0,19 ^a	-0,13±0,02 ^a	-0,73±0,09 ^a	-1,48±0,11 ^b
	180	-0,26±0,01 ^a	-0,75±0,01 ^a	-1,28±0,17 ^a	-0,14±0,02 ^a	0,63±0,13 ^a	-1,20±0,15 ^{ab}

Valores médios (n=4) seguidos de erro-padrão. Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo genótipo e na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,10).

Buscando avaliar o efeito das doses de K na redução do Ψ_w , promoveu-se ainda a estimativa do tempo necessário para se atingir o Ψ_w considerado crítico (-1,5MPa) para o cacau em cada um dos genótipos e doses de adubação potássica (Tabela 2). O aumento das doses de K reduziu o tempo necessário para se alcançar o Ψ_w crítico, à exceção do primeiro ciclo de estresse hídrico nos genótipos CCN-15 e PH-16.

Tabela 2 – Resposta do potencial hídrico foliar de quatro genótipos de cacauero cultivados em quatro doses de adubação potássica em função do tempo (d), e estimativa do número de dias para se alcançar o valor crítico de -1,5 MPa (Dias para -1,5 MPa)

Genótipos	Doses K (mg/dm ³)	Equação 1º ciclo	Dias para -1,5 MPa	Equação 2º ciclo	Dias para -1,5 MPa
CCN-51	0	$\Psi_w = -0,084 - 0,1410x$	10	$\Psi_w=0,0514-0,1262x$	12
	60	$\Psi_w = -0,0936 - 0,1317x$	11	$\Psi_w=0,1088-0,1671x$	10
	120	$\Psi_w = -0,1627-0,1242x$	11	$\Psi_w=0,0682-0,1816x$	9
	180	$\Psi_w = -0,1029 - 0,1135x$	12	$\Psi_w=0,0439-0,1978x$	8
PS-13.19	0	$\Psi_w=-0,1627-0,0867x$	15	$\Psi_w=-0,0182-0,1059x$	14
	60	$\Psi_w=0,0223-0,1706x$	9	$\Psi_w=0,075-0,2x$	8
	120	$\Psi_w=-0,1285-0,1173x$	12	$\Psi_w=0,151-0,2243x$	7
	180	$\Psi_w=-0,0568-0,1292x$	11	$\Psi_w=0,0223-0,1789x$	9
CEPEC- 2002	0	$\Psi_w=-0,1041-0,1211x$	12	$\Psi_w=0,0493-0,1338x$	12
	60	$\Psi_w=-0,0875-0,1375x$	10	$\Psi_w=0,1007-0,185x$	9
	120	$\Psi_w=-0,1012-0,1576x$	9	$\Psi_w=0,0223-0,1851x$	8
	180	$\Psi_w=-0,1012-0,1696x$	8	$\Psi_w=0,1493-0,19x$	9
PH-16	0	$\Psi_w=-0,091-0,1111x$	13	$\Psi_w=-0,0236-0,1012x$	15
	60	$\Psi_w=-0,0883-0,1155x$	12	$\Psi_w=0,1182-0,1753x$	9
	120	$\Psi_w=-0,1299-0,1053x$	13	$\Psi_w=0,1142-0,1905x$	8
	180	$\Psi_w=-0,1641-0,1122x$	12	$\Psi_w=0,0466-0,1502x$	10

Trocas gasosas

De maneira geral, todas as variáveis associadas com as trocas gasosas (condutância estomática, transpiração e fotossíntese) foram reduzidas com o avançar do déficit hídrico nos dois ciclos de restrição hídrica aplicados, em resposta à redução do Ψ_w (Figuras 2, 3 e 4).

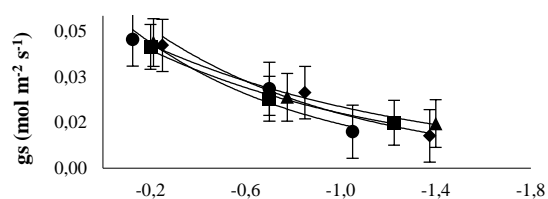
Em todos os genótipos avaliados no primeiro ciclo de déficit hídrico não se verificou efeito das doses de K sobre a condutância estomática (gs), nas avaliações efetuadas aos 1, 5 e 10 dias (Tabela 3), mesmo quando cacauzeiros atingiram valores de Ψ_w próximos a -1,5 MPa. No segundo ciclo de déficit hídrico, diferenças de condutância estomática foram verificadas entre doses de K principalmente aos cinco e oito dias de avaliação. A tendência geral foi de redução de gs com o aumento da adubação potássica, entretanto, principalmente associado ao maior valor verificado para a dose zero de K, já que nas demais doses não foram diagnosticadas diferenças entre eles.

A dinâmica dos valores de transpiração (E) também não foi afetada pela adubação potássica no primeiro ciclo de déficit hídrico, à exceção do genótipo CEPEC-2002 aos 10 dias de avaliação (Tabela 4). No segundo ciclo de déficit hídrico, predominaram efeitos das doses de K sobre a redução dos valores de E aos cinco e oito dias da imposição da restrição de água.

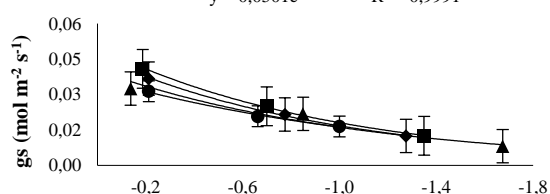
Em relação à taxa de assimilação de CO_2 (A) no primeiro ciclo de déficit hídrico também não se verificaram diferenças em resposta à adubação potássica (Tabela 5). No segundo ciclo, enquanto no genótipo CEPEC-2002 não se verificou diferenças entre doses para um mesmo dia de avaliação, nos genótipos CCN-51 e PH-16 os valores de A foram reduzidos com o aumento da adubação. No genótipo PS-13.19, por sua vez, a redução de A com as doses somente foi verificada aos oito dias de imposição da restrição de água.

1º ciclo

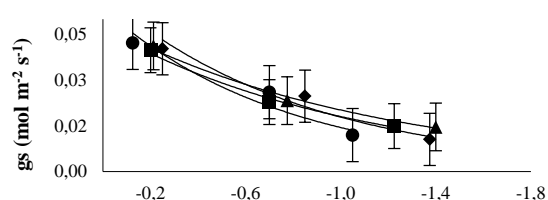
CCN-51 ● 0 $\hat{y} = 0,0535e^{1,3116x}$ $R^2 = 0,9276$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0482e^{0,8715x}$ $R^2 = 0,9919$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0581e^{1,1814x}$ $R^2 = 0,9626$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,0469e^{0,9571x}$ $R^2 = 0,991$



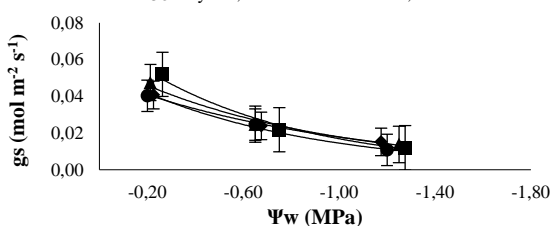
PS-13.19 ● 0 $\hat{y} = 0,0369e^{0,8255x}$ $R^2 = 0,9939$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0402e^{0,916x}$ $R^2 = 0,9612$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,046e^{1,0143x}$ $R^2 = 0,9984$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,0501e^{1,0211x}$ $R^2 = 0,9991$



CEPEC-2002 ● 0 $\hat{y} = 0,0535e^{1,3116x}$ $R^2 = 0,9276$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0482e^{0,8715x}$ $R^2 = 0,9919$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0581e^{1,1814x}$ $R^2 = 0,9626$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,0469e^{0,9571x}$ $R^2 = 0,991$

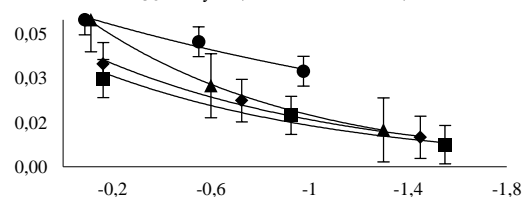


PH-16 ● 0 $\hat{y} = 0,0545e^{1,3305x}$ $R^2 = 0,9928$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,058e^{1,1812x}$ $R^2 = 0,9859$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0502e^{1,0419x}$ $R^2 = 0,9939$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,072e^{1,4544x}$ $R^2 = 0,9847$

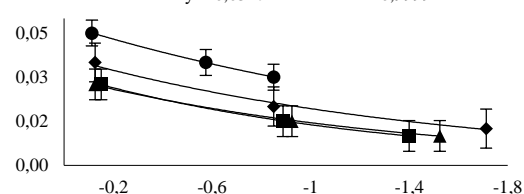


2º ciclo

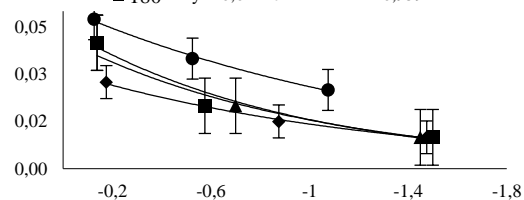
CCN-51 ● 0 $\hat{y} = 0,0532e^{0,4834x}$ $R^2 = 0,973$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0564e^{1,1646x}$ $R^2 = 0,9994$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0427e^{0,9799x}$ $R^2 = 0,9909$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,0377e^{0,9886x}$ $R^2 = 0,9662$



PS-13.19 ● 0 $\hat{y} = 0,0479e^{0,5491x}$ $R^2 = 0,9999$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0299e^{0,7245x}$ $R^2 = 0,999$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0367e^{0,6453x}$ $R^2 = 0,99$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,031e^{0,8102x}$ $R^2 = 0,9999$



CEPEC-2002 ● 0 $\hat{y} = 0,051e^{0,6718x}$ $R^2 = 0,996$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0445e^{1,0491x}$ $R^2 = 0,9932$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0309e^{0,7806x}$ $R^2 = 0,9952$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,0411e^{0,9758x}$ $R^2 = 0,9591$



PH-16 ● 0 $\hat{y} = 0,068e^{0,6579x}$ $R^2 = 0,9366$
 ▲ 60 $\hat{y} = 0,0509e^{1,2677x}$ $R^2 = 0,8991$
 ◆ 120 $\hat{y} = 0,0397e^{0,9695x}$ $R^2 = 0,977$
 ■ 180 $\hat{y} = 0,0359e^{1,0391x}$ $R^2 = 0,9895$

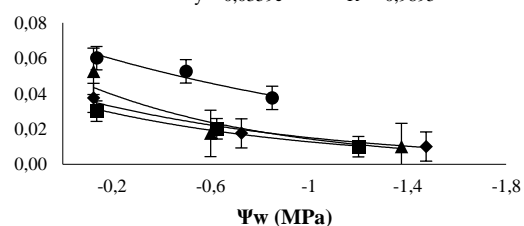


Figura 2 - Condutância estomática (gs) verificada em dois ciclos de estresse hídrico em genótipos de cacauieiro (CCN-51; PS-13.19; CEPEC-2002 e PH-16) cultivados em quatro doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³) em função do potencial hídrico foliar. Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão.

Tabela 3 - Condutância estomática (gs) verificada em dois ciclos de estresse hídrico (seca) em genótipos de cacaueteiro cultivados em quatro doses de K

Genótipos	Doses K (mg/dm ³)	Primeiro ciclo de seca			Segundo ciclo de seca		
		1	5	10	1	5	8
.....mol m ⁻² s ⁻¹							
CCN-51	0	0,04±0,01 ^a	0,03±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,05±0,01 ^a	0,04±0,01 ^a	0,03±0,00 ^a
	60	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,05±0,01 ^a	0,03±0,01 ^{ab}	0,01±0,00 ^b
	120	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
	180	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
PS-13.19	0	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,05±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a	0,03±0,00 ^a
	60	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
	120	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,04±0,01 ^a	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
	180	0,04±0,01 ^a	0,03±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
CEPEC-2002	0	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,05±0,01 ^a	0,04±0,01 ^a	0,03±0,00 ^a
	60	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,04±0,01 ^a	0,02±0,00 ^{ab}	0,01±0,00 ^b
	120	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,03±0,00 ^a	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
	180	0,05±0,00 ^a	0,03±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,04±0,01 ^a	0,02±0,01 ^{ab}	0,01±0,00 ^b
PH-16	0	0,04±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,06±0,01 ^a	0,05±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a
	60	0,05±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,05±0,01 ^{ab}	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
	120	0,04±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,02±0,00 ^a	0,04±0,01 ^{ab}	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
	180	0,05±0,01 ^a	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a	0,03±0,00 ^b	0,02±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b

Valores médios (n=4) seguidos de erro-padrão. Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo genótipo e na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,10).

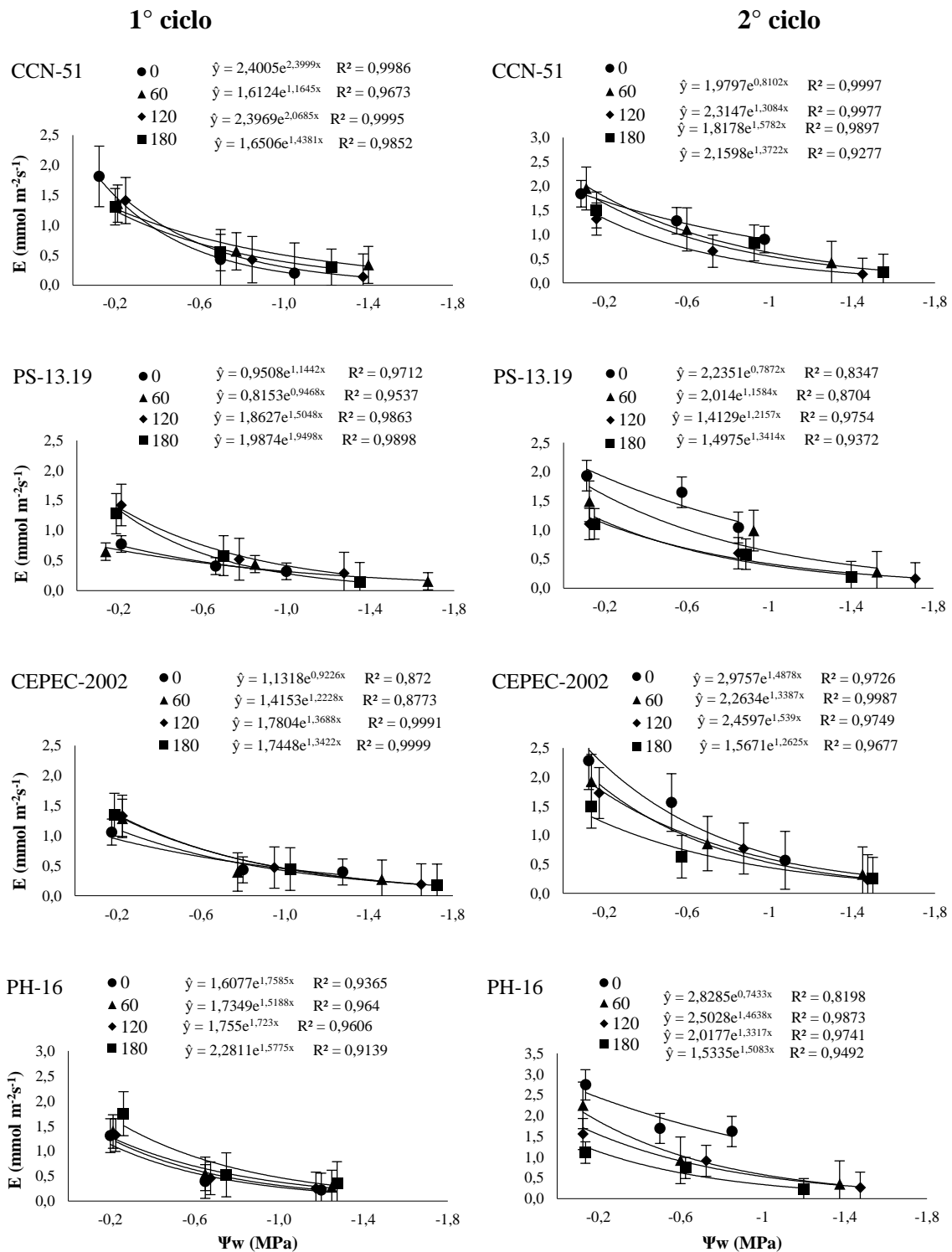


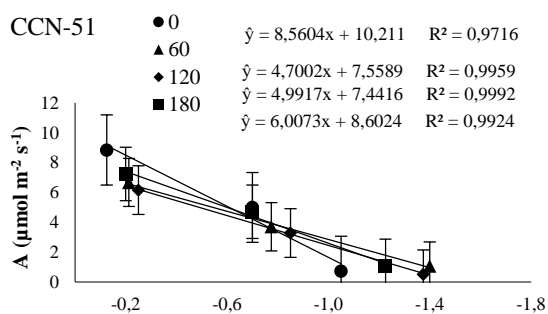
Figura 3 - Transpiração (E) verificada em dois ciclos de estresse hídrico em genótipos de cacauero (CCN-51; PS-13.19; CEPEC-2002 e PH-16) cultivados em quatro doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³) em função do potencial hídrico foliar. Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão.

Tabela 4 - Transpiração (E) verificada em dois ciclos de estresse hídrico (seca) em genótipos de cacaueteiro cultivados em quatro doses de K

Genótipos	Doses K (mg/dm ³)	Primeiro ciclo de seca			Segundo ciclo de seca		
		1	5	10	1	5	8
.....mmol m ⁻² s ⁻¹							
CCN-51	0	1,81±0,59 ^a	0,43±0,01 ^a	0,20±0,08 ^a	1,84±0,29 ^a	1,28±0,13 ^a	0,90±0,32 ^a
	60	1,36±0,06 ^a	0,56±0,07 ^a	0,34±0,01 ^a	1,95±0,43 ^a	1,10±0,29 ^a	0,42±0,06 ^{ab}
	120	1,41±0,39 ^a	0,43±0,01 ^a	0,14±0,05 ^a	1,32±0,16 ^a	0,65±0,07 ^a	0,18±0,02 ^b
	180	1,31±0,11 ^a	0,54±0,07 ^a	0,30±0,08 ^a	1,51±0,15 ^a	0,83±0,08 ^a	0,22±0,03 ^{ab}
PS-13.19	0	0,77±0,16 ^a	0,41±0,07 ^a	0,32±0,01 ^a	1,94±0,20 ^a	1,65±0,25 ^a	1,04±0,08 ^a
	60	0,65±0,02 ^a	0,44±0,01 ^a	0,15±0,05 ^a	1,49±0,30 ^a	0,99±0,23 ^{ab}	0,28±0,04 ^b
	120	1,42±0,10 ^a	0,52±0,07 ^a	0,29±0,08 ^a	1,10±0,13 ^a	0,60±0,08 ^b	0,16±0,03 ^b
	180	1,28±0,25 ^a	0,58±0,08 ^a	0,13±0,07 ^a	1,11±0,06 ^a	0,59±0,08 ^b	0,20±0,04 ^b
CEPEC- 2002	0	1,06±0,05 ^a	0,43±0,03 ^a	0,40±0,06 ^a	2,28±0,53 ^a	1,56±0,44 ^a	0,57±0,11 ^a
	60	1,29±0,23 ^a	0,40±0,04 ^a	0,27±0,05 ^{ab}	1,92±0,30 ^a	0,86±0,13 ^b	0,33±0,08 ^a
	120	1,33±0,10 ^a	0,47±0,06 ^a	0,19±0,08 ^{ab}	1,73±0,21 ^a	0,77±0,14 ^b	0,23±0,04 ^a
	180	1,35±0,10 ^a	0,45±0,02 ^a	0,17±0,06 ^b	1,49±0,22 ^a	0,63±0,11 ^b	0,25±0,03 ^a
PH-16	0	1,31±0,28 ^a	0,39±0,02 ^a	0,22±0,05 ^a	2,74±0,36 ^a	1,69±0,34 ^a	1,62±0,39 ^a
	60	1,39±0,13 ^a	0,54±0,07 ^a	0,28±0,07 ^a	2,25±0,20 ^{ab}	0,92±0,13 ^{ab}	0,35±0,10 ^b
	120	1,32±0,07 ^a	0,45±0,03 ^a	0,25±0,05 ^a	1,56±0,37 ^b	0,91±0,19 ^{ab}	0,26±0,06 ^b
	180	1,75±0,30 ^a	0,53±0,08 ^a	0,35±0,03 ^a	1,11±0,07 ^b	0,74±0,04 ^b	0,23±0,03 ^b

Valores médios (n=4) seguidos de erro-padrão. Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo genótipo e na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,10).

1º ciclo



2º ciclo

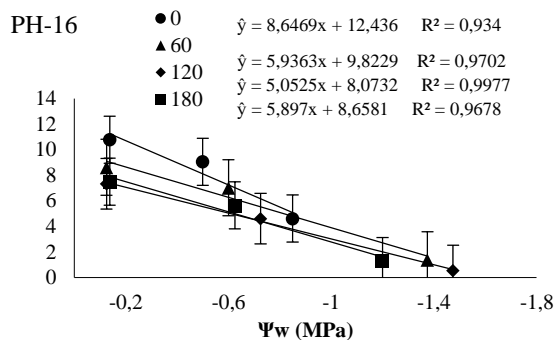
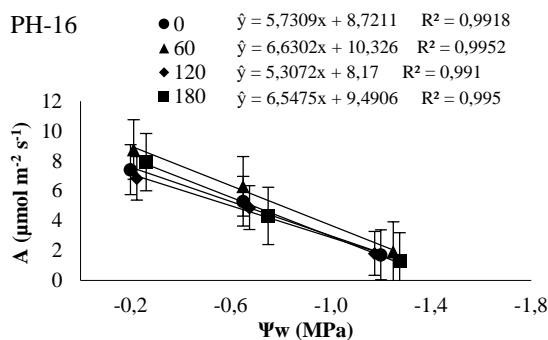
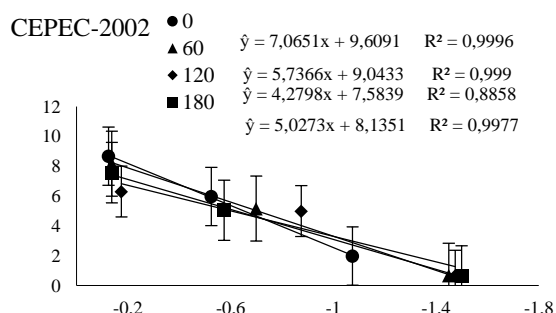
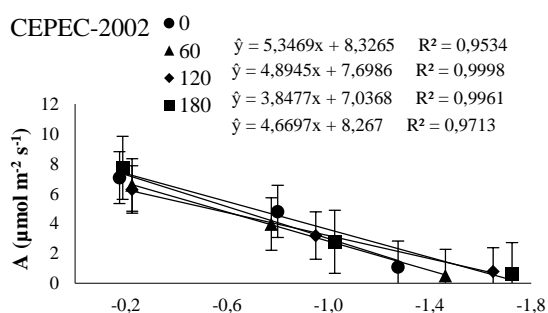
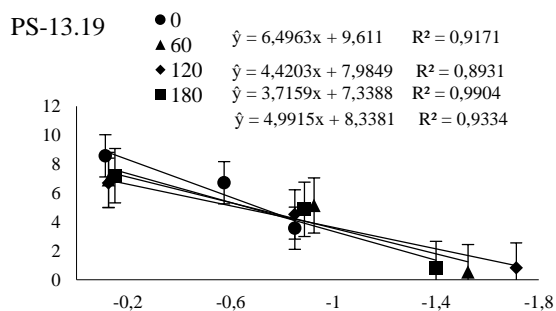
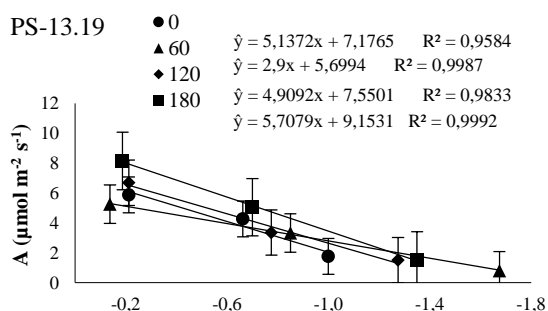
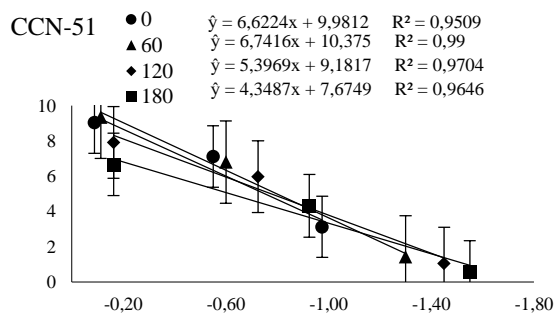


Figura 4 - Taxa de assimilação de CO₂ (A) verificada em dois ciclos de estresse hídrico em genótipos de cacauero (CCN-51; PS-13.19; CEPEC-2002 e PH-16) cultivados em quatro doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³) em função do potencial hídrico foliar. Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão.

Tabela 5 - Taxa de assimilação de CO₂ (A) verificada em dois ciclos de estresse hídrico (seca) em genótipos de cacauero cultivados em quatro doses de K

Genótipos	Doses K (mg/dm ³)	Primeiro ciclo de seca			Segundo ciclo de seca		
		1	5	10	1	5	8
.....μmol m ⁻² s ⁻¹							
CCN-51	0	8,85±1,29 ^a	5,00±0,71 ^a	0,74±0,25 ^a	9,03±1,00 ^{ab}	7,11±0,50 ^a	3,12±0,70 ^a
	60	6,67±0,20 ^a	3,71±0,37 ^a	1,08±0,17 ^a	9,34±0,84 ^a	6,80±1,13 ^{ab}	1,42±0,36 ^{ab}
	120	6,15±0,79 ^a	3,29±0,36 ^a	0,53±0,21 ^a	7,91±0,83 ^{ab}	5,97±0,39 ^{ab}	1,05±0,23 ^b
	180	7,24±0,68 ^a	4,71±0,81 ^a	1,09±0,36 ^a	6,67±0,51 ^b	4,32±0,62 ^b	0,57±0,21 ^b
PS-13.19	0	5,88±0,81 ^a	4,26±0,49 ^a	1,76±0,28 ^a	8,57±0,84 ^a	6,71±0,63 ^a	3,57±0,72 ^a
	60	5,25±0,32 ^a	3,33±0,36 ^a	0,80±0,32 ^a	6,90±0,26 ^a	5,13±0,53 ^a	0,54±0,18 ^b
	120	6,69±0,64 ^a	3,35±0,41 ^a	1,50±0,15 ^a	6,69±0,48 ^a	4,52±0,75 ^a	0,82±0,20 ^b
	180	8,14±1,27 ^a	5,05±1,05 ^a	1,50±0,60 ^a	7,20±0,45 ^a	4,87±0,50 ^a	0,78±0,14 ^b
CEPEC-2002	0	7,07±0,46 ^a	4,80±0,63 ^a	1,08±0,41 ^a	8,68±0,43 ^a	5,98±0,28 ^a	1,98±0,59 ^a
	60	6,57±0,56 ^a	3,96±0,32 ^a	0,52±0,20 ^a	8,18±0,57 ^a	5,16±1,09 ^a	0,67±0,25 ^a
	120	6,27±1,09 ^a	3,18±0,53 ^a	0,79±0,45 ^a	6,30±0,36 ^a	4,99±0,61 ^a	0,65±0,07 ^a
	180	7,72±0,63 ^a	2,77±0,21 ^a	0,60±0,19 ^a	7,57±0,85 ^a	5,06±0,25 ^a	0,66±0,22 ^a
PH-16	0	7,41±1,51 ^a	5,30±0,70 ^a	1,71±0,56 ^a	10,78±0,56 ^a	9,06±0,59 ^a	4,61±1,02 ^a
	60	8,76±0,90 ^a	6,29±0,67 ^a	1,92±0,22 ^a	8,62±1,06 ^{ab}	7,01±1,01 ^{ab}	1,38±0,35 ^b
	120	6,83±0,78 ^a	4,86±0,53 ^a	1,80±0,54 ^a	7,34±0,47 ^b	4,60±0,51 ^b	0,54±0,24 ^b
	180	7,91±0,73 ^a	4,31±0,46 ^a	1,27±0,45 ^a	7,49±0,74 ^b	5,63±0,77 ^b	1,28±0,50 ^b

Valores médios (n=4) seguidos de erro-padrão. Médias seguidas de mesma letra, dentro do mesmo genótipo e na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,10).

Crescimento

Em cada um dos ciclos de déficit hídrico imposto às plantas de cacaueteiro não se verificou, para todos os genótipos avaliados, resposta em termos de altura da planta à aplicação de doses de K.

A maior parte dos genótipos estudados não apresentou variação de diâmetro do caule (DC) em resposta às doses de K aplicadas nas avaliações efetuadas no início e fim de cada ciclo de déficit hídrico (Figura 6). Apenas o genótipo PH-16 teve incremento dos valores de DC com o aumento da adubação potássica nos dois momentos de avaliação e para os dois ciclos considerados. Neste genótipo, no primeiro ciclo o máximo de DC foi alcançado na dose de 180 mg/dm³, enquanto que, no segundo ciclo o máximo de DC foi até a doses de 120 mg/dm³. De todos os modos, para este genótipo nota-se efeito de doses aplicadas até a segunda restrição hídrica imposta.

Produção de matéria seca

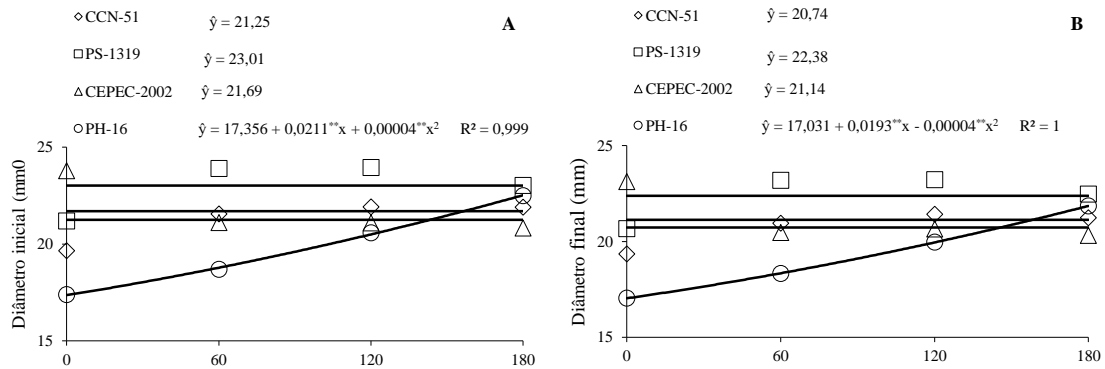
Finalizado o segundo ciclo de déficit hídrico, os genótipos CCN-51 e PS-13.19 apresentaram incremento da produção de matéria seca total, matéria seca da parte aérea, matéria seca das folhas, caule, raiz e relação parte aérea/raiz em função das doses de K aplicadas (Figura 6). No entanto, no genótipo CEPEC-2002 a única variável que não foi alterada pela adubação potássica foi a matéria seca do caule e no genótipo PH-16, além da matéria seca do caule, não se registrou incremento da matéria seca da raiz.

No geral, as respostas ao incremento da adubação potássica, quando presentes, foram diagnosticadas até a dose de 120 mg/dm³, sendo percebida ligeira queda dos valores das variáveis consideradas na maior dose de K (180 mg/dm³).

Área foliar

A área foliar dos quatro genótipos foram influenciadas pelas doses crescentes de K (Figura 6). A resposta seguiu a tendência verificada na produção de matéria seca, ou seja, crescimento da variável até a dose de 120 mg/dm³, com posterior ligeira queda dos valores de área foliar.

1º ciclo



2º ciclo

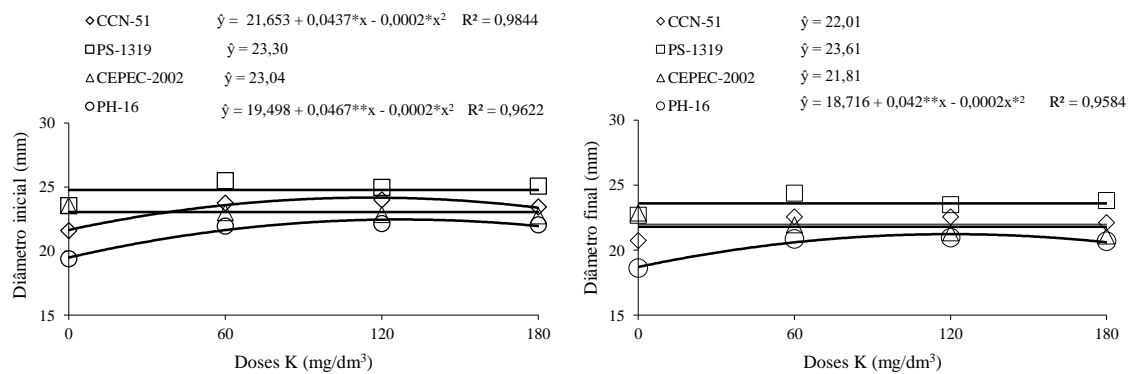


Figura 5 – Diâmetro do caule no início (A) e final (B) de dois ciclos de déficit hídrico em quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) em função de doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³); Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão. ns, #, *, **: não significativo, significativo a 10 %, significativo a 5 % e significativo a 1 % pelo teste F.

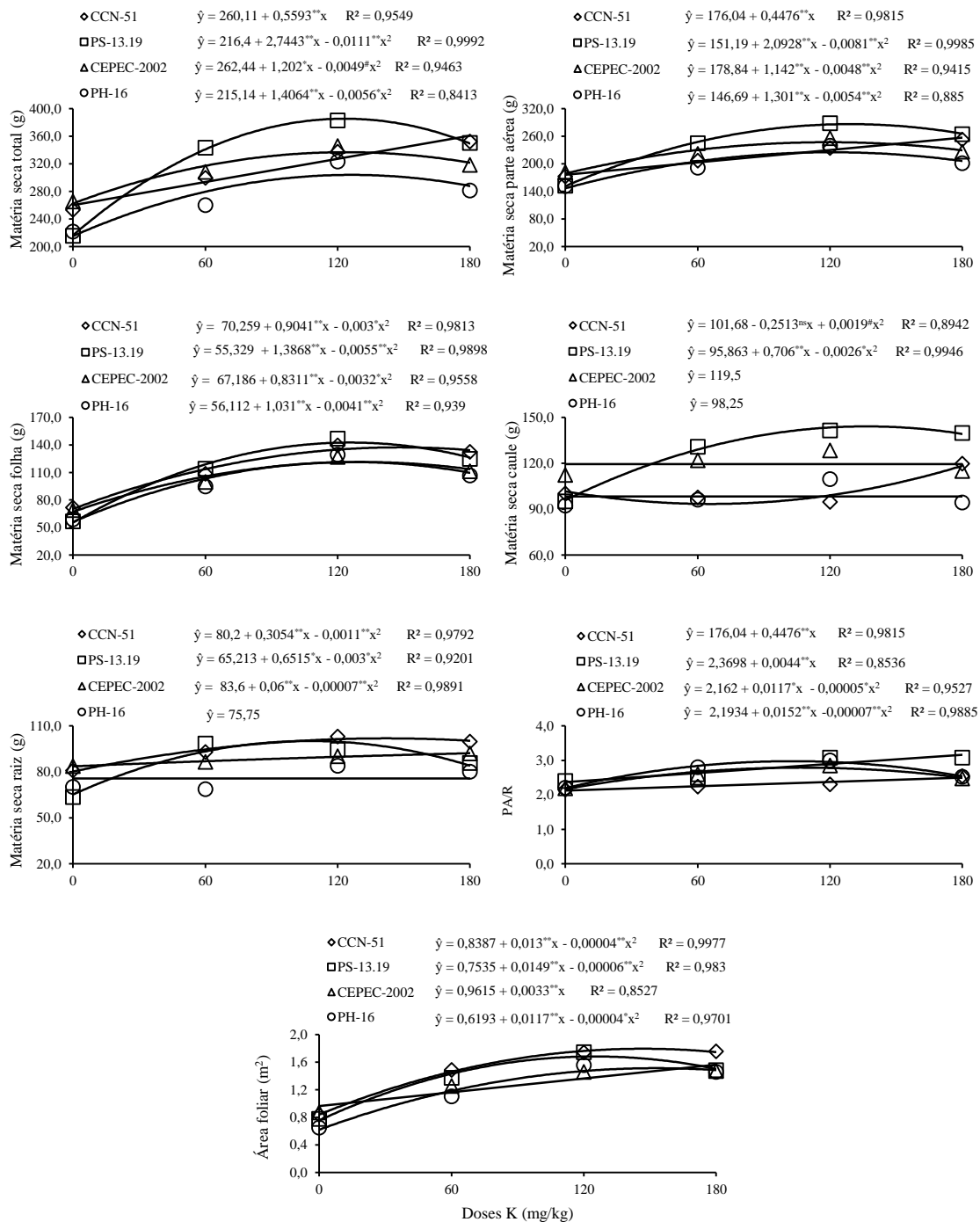


Figura 6 – Produção de matéria seca total, de parte aérea, folhas, caule, raízes, relação parte aérea/raízes (PA/R) e área foliar ao final do segundo ciclo de déficit hídrico para quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) em função de doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³). Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão. ns, #, *, **: não significativo, significativo a 10 %, significativo a 5 % e significativo a 1 % pelo teste F

Teor e conteúdo de nutriente em folhas

Na avaliação dos teores de macronutrientes nos tecidos de folhas diagnóstico dos cacauzeiros avaliados, efeito das doses de K somente foram identificados para N, K, Ca e Mg (Figura 7). Após o segundo ciclo de déficit hídrico, o aumento da adubação potássica promoveu decréscimo dos teores de N nos quatro genótipos estudados, assim como de Mg e Ca em PH-16. Por outro lado, as mesmas doses acarretaram incrementos dos teores de K nos genótipos CCN-51 e PH-16. Tanto a redução quanto o incremento dos teores supramencionados foram percebidos até a dose de 120 mg/dm³. Interessante destacar a falta de resposta nos teores de K nos tecidos vegetais com o aumento da adubação potássica nos genótipos CEPEC-2002 e PS-13.19. No entanto, os genótipos CCN-51 e PH-16 tiveram resposta dos teores de K até a dose de 180 mg/dm³.

A adubação com doses crescentes de K afetou os conteúdos acumulados dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas, em todos os genótipos (Figura 8), repetindo a tendência de incrementos desses valores até a dose de 120 mg/dm³.

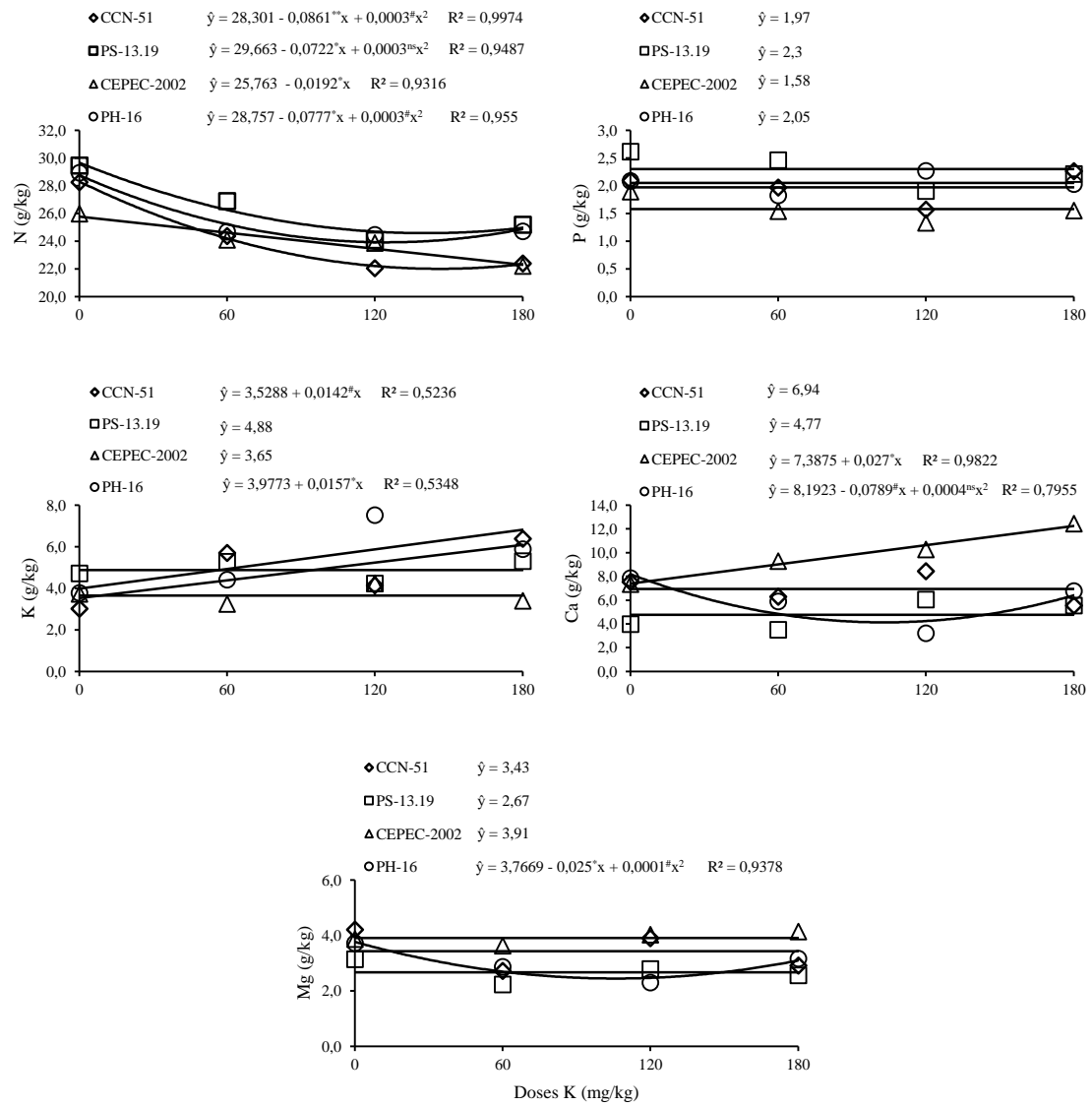


Figura 7 – Teores de macronutrientes ao final do segundo ciclo de déficit hídrico para quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) em função de doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³). Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão. ns, #, *, **: não significativo, significativo a 10 %, significativo a 5 % e significativo a 1 % pelo teste F.

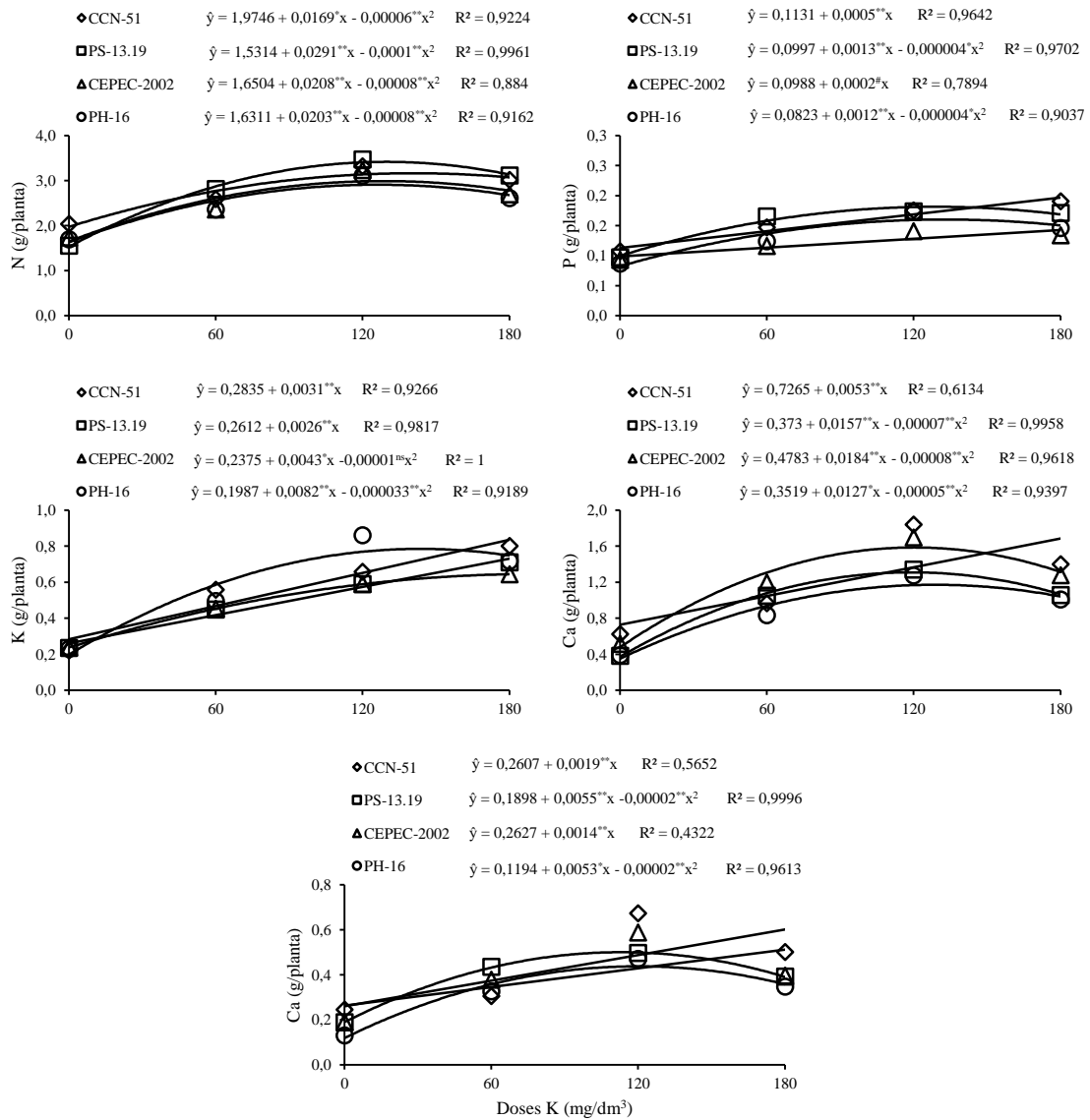


Figura 8 – Conteúdo de macronutrientes ao final do segundo ciclo de déficit hídrico para quatro genótipos de cacau (CCN-51, PS-13.19, CEPEC-2002 e PH-16) em função de doses de K (0, 60, 120 e 180 mg/dm³). Valores apresentados correspondem à média (n=4) ± erro padrão. ns, #, *, **: não significativo, significativo a 10 %, significativo a 5 % e significativo a 1 % pelo teste F.

Discussão

A umidade do solo interfere no potencial hídrico foliar (Ψ_w), proporcionando o aumento ou a redução da produtividade das plantas (Gomes et al., 2014). Maiores valores de Ψ_w são registrados antes do nascer do sol, sendo reduzidos ao longo do dia, mesmo quando o solo apresenta umidade adequada (Araque et al., 2012; Dias et al., 2007). Antes do início da manhã, os tecidos apresentam máxima hidratação, não tendo seus valores de Ψ_w tão afetados pelas variações de radiação, temperatura e déficit de pressão de vapor que se verificam com o transcorrer do dia (Silva, 2005). Por isto a recomendação da avaliação do Ψ_w nas primeiras horas do dia.

No presente estudo, os valores de Ψ_w verificados ao amanhecer do primeiro dia após a suspensão da irrigação, portanto, ainda em condições de não restrição hídrica, foram similares aos registados para cafeeiro (DaMatta et al., 2002), eucalipto (Chaves et al., 2004) e mesmo cacaueteiro (Santos et al., 2014). Após cinco dias de estresse no primeiro ciclo de déficit hídrico, nota-se queda expressiva dos valores de Ψ_w , muito embora sem diagnóstico visual de murchamento. Os valores alcançados de Ψ_w foram próximos aos reportados por Araque et al. (2012) para cacaueteiros avaliados durante período chuvoso em condição de campo. Os autores também não verificaram murchamento das mudas de cacaueteiro, sugerindo que tais valores não representam danos para as plantas, tanto nas condições de campo como em casa de vegetação.

Valores de Ψ_w próximo ao crítico de -1,5 MPa somente foram verificados aos 10 dias da implantação do estresse hídrico. Esses cinco dias de intervalo podem ser considerados pouco tempo se comparados com avaliações feitas a campo. Espera-se rápido decréscimo de Ψ_w em casa de vegetação (Rodrigues et al., 2010; DaMatta et al., 2002), enquanto que no campo, maior tempo é requerido para tal redução de Ψ_w , tendo em vista o maior volume de solo explorado pelas raízes, muito embora o fator idade da planta, que em campo costuma ser maior, não possa ser desconsiderado.

Os valores de Ψ_w verificados no segundo ciclo de déficit hídrico foram semelhantes ao do primeiro, mas com a diferença de que os valores próximos ao crítico (-1,5 MPa) foram atingidos dois dias antes, ou seja, com oito dias de restrição. Como o segundo ciclo começou quatro meses após a conclusão do primeiro, este resultado pode

ser associado ao maior tamanho das mudas, à maior área foliar, a maior relação volume de raízes: volume de solo, bem como às maiores temperaturas máximas (média de 32,6°C) registradas em relação ao primeiro ciclo (média de 27,2°C), que levaram ao maior consumo e perda de água pela transpiração (E).

De modo geral, a adubação potássica mostrou-se pouco efetiva na manutenção de valores elevados do Ψ_w ou, pelo menos, proporcionar maior tempo para que os genótipos alcançassem valores próximos ao crítico de -1,5 MPa. O maior valor de Ψ_w verificado para o genótipo CCN-51 na ausência de K com relação à presença do nutriente em diferentes doses, no primeiro dia de avaliação em ambos os ciclos de estresse, não apresenta relevância, uma vez que não se constatou sintomas visíveis de murchamento, mesmo porque o solo ainda apresentava condições adequadas de umidade.

Ao final de cada um dos ciclos de déficit hídrico, os maiores valores de Ψ_w registrados foram associados à ausência de aplicação de K, o que pode ser atribuído, principalmente, à menor área foliar dos genótipos, variável que foi incrementada com a adubação potássica. A adição de K favorece a produção de biomassa vegetal, sendo registradas redução de área foliar com a deficiência deste nutriente (Catuchi et al., 2012; Baque et al., 2006). Isso é facilmente verificado ao final do segundo ciclo de estresse, após oito dias de restrição hídrica, quando os genótipos que foram cultivados sem a adição de K ainda apresentavam valores de Ψ_w maiores que -1,08 MPa, enquanto que as plantas nos tratamentos com adubação potássica apresentaram Ψ_w já próximos de -1,5 MPa.

As equações geradas para se estimar o tempo necessário para se alcançar valores de Ψ_w de -1,5 MPa a partir da imposição do estresse hídrico nas diferentes doses de K apresentaram diferenças nos dois ciclos avaliados. Contudo, em ambos os casos não se verificou concordância com a hipótese de aumento deste tempo com o incremento da adubação potássica. No primeiro ciclo de estresse, enquanto nos genótipos CCN-51 e PH-16 praticamente os dias não foram afetados com o incremento das doses de K, nos genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, foi verificada redução do prazo para que o Ψ_w crítico fosse atingido. No segundo ciclo verificou-se redução do tempo para se alcançar o Ψ_w de -1,5 MPa com o aumento da adubação potássica.

Em condições de adequada umidade do solo é comum encontrar valores divergentes das variáveis associadas às trocas gasosas de cacaueteiro (Almeida et al., 2014; Gama-Rodrigues et al., 1995; Joly & Hahn, 1989). Estas variações são associadas, principalmente, às condições experimentais, equipamentos utilizados, idade das mudas, condições ambientais, genótipos, entre outras.

No presente estudo, os valores de condutância estomática (gs) obtidos em umidade do solo considerada adequada foram menores do que o verificado para cacaueteiros por Gama-Rodrigues et al. (1995), Joly et al. (1989) e Araque et al. (2012). Somente à temperatura do ar não pode ser atribuída tal discrepância, uma vez que as temperaturas máximas médias verificadas no presente estudo no primeiro ciclo de estresse (27,2°C) não se diferiram muito das observadas por aqueles autores, respectivamente, de 28-29°C, 23-27°C e 27-28°C. No segundo ciclo, a média máxima alcançou 32,6°C, o que pode ter afetado os valores de gs. Por outro lado, os valores de gs observados neste estudo foram similares aos mensurados por Almeida et al. (2014) que trabalharam com temperatura máxima média de 26°C.

Além do aumento da temperatura do ar, também a luminosidade e o déficit de pressão de vapor afetam os valores de gs (Rodrigues et al., 2010; Tatagiba et al., 2008). Inclusive pode haver fechamento estomático mesmo em valores de Ψ_w elevados (sem estresse hídrico), em resposta à pequenas mudanças no status hídrico do solo. Pequenas mudanças do status hídrico do solo desencadeiam variações no status hídrico nas raízes que, por conseguinte, alcançam a parte aérea, que pode responder com a redução da condutância estomática (Bates & Hall, 1981).

Uma das primeiras respostas das plantas em condições de estresse hídrico é a redução dos valores de gs, objetivando reduzir perdas de água pela transpiração. A redução da condutância estomática a valores próximos a zero ocorreu com o estresse hídrico a partir de Ψ_w próximo a -0,5 MPa, acarretando também redução da transpiração (E), situação esta também registrada na literatura para diversas espécies de plantas (Silva et al., 2010; Calbo et al., 1997; Tatagiba et al., 2008; Carr & Lockwood, 2014).

Contrariamente à hipótese previamente estabelecida, a adubação potássica não afetou as variáveis associadas às trocas gasosas das mudas de cacaueteiros, quando

submetidas a déficit hídrico. Este comportamento também foi verificado para soja (Catuchi et al., 2012) e eucalipto (Silva, 2003). Alterações nas trocas gasosas de mudas de cacaueteiro foram verificadas em resposta à aplicação de doses de K somente na ausência de estresse hídrico, em valores de Ψ_w entre -0,01 a -0,51 MPa (Neves, 2014).

Em ambos os ciclos avaliados, a taxa de assimilação de CO_2 (A) decresceu linearmente com o aumento do estresse hídrico, sendo os valores obtidos para esta variável similares aos registrados por Neves (2014) e Deng et al. (1990b) e superiores aos verificados por Almeida et al. (2014) e Joly & Hahn (1989), todos esses autores tendo trabalhado com plantas de cacaueteiro. Os valores obtidos de A podem ser considerados elevados nas condições mais úmidas de solo, o que pode ser relacionado aos teores foliares de N verificados ao final do experimento. Maiores doses de N são associadas à maiores concentrações do nutriente nas folhas, acarretando incrementos dos valores de A, sem contudo afetar valores de g_s , o que pode ainda proporcionar incremento da eficiência de uso da água (DaMatta et al., 2002).

Nos dois ciclos avaliados, a imposição do estresse hídrico, de forma geral, acarretou redução de mais de 80 % nos valores de A, quando os Ψ_w alcançaram entre -0,85 e -1,73 MPa. Situação semelhante foi observada por Deng et al. (1990b), que registraram quedas acentuadas de A em valores de Ψ_w entre -1,0 e -1,5 MPa, com redução próximo a zero da referida variável em $\Psi_w < -1,5$ MPa.

A ausência de resposta da adubação potássica nas variáveis associadas à trocas gasosas podem ser relacionadas ao prolongado período de aclimação a que foram submetidas as mudas. Durante este tempo, elas passaram por períodos de altas e baixas temperaturas durante as estações de verão e inverno; sofreram senescência foliar, geraram novos brotos, aconteceu floração e até a formação de frutos. Todas essas situações experimentadas pelas plantas acarretam maior consumo de nutrientes, incluindo o K, o que pode ter prejudicado seu efeito. Isto fica evidente ao se notar a deficiência deste nutriente como sugerido pela sua concentração foliar ao final do experimento, para todos os genótipos estudados.

A disponibilidade de água no solo afeta as variáveis relacionadas ao crescimento vegetal, como altura (H) e diâmetro do caule (DC). Esta constatação é frequente em

estudos que avaliam diferentes teores de água no solo, partindo-se do princípio que umidades distantes da capacidade de campo limitam o adequado crescimento e desenvolvimento de plantas, como reportado para mudas de eucalipto (Lopes et al., 2007) e maçã (Sun et al., 2013). Prolongados períodos de restrição hídrica também são relacionados à redução do desenvolvimento vegetal, como verificado em cafeeiro por Araújo et al. (2013).

Os resultados do presente estudo não corroboraram o efeito esperado da restrição hídrica sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas, o que pode ser atribuído ao curto período de estresse hídrico imposto aos genótipos de cacau nos dois ciclos avaliados e à idade das mudas.

O incremento da adubação potássica não proporcionou alterações nos valores de altura dos genótipos avaliados, de forma semelhante ao verificado em mudas de eucalipto (Silva, 2003) e mogno-africano (Perez, 2014). Nesses estudos, as espécies foram submetidas à doses crescentes de K, que tiveram dose máxima aplicada de 300 e 200 mg/dm³, respectivamente (Silva, 2003; Perez, 2014).

Incrementos no diâmetro do caule (DC) em resposta à adubação potássica somente foram verificados no genótipo PH-16, que aparentemente é mais responsivo ao K em condições de restrição hídrica. Após a imposição do primeiro ciclo de deficiência hídrica, verifica-se para o genótipo CCN-51, incrementos de DC com o aumento da adubação potássica com a recomposição da umidade do solo às condições ideais. Entretanto, ao final do segundo estresse hídrico, este efeito não mais é verificado, o que pode ser relacionado à maior redução de DC nas maiores doses de K.

A comparação antes e após cada um dos ciclos de restrição hídrica revela pouca influência do estresse imposto no primeiro ciclo, mas ligeira redução dos valores de DC no segundo ciclo adotado. Isto sugere que efeitos mais pronunciados sobre variáveis relacionadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas podem ser ampliados com o acúmulo de eventos de estresse hídrico.

A falta de um tratamento controle sem restrição hídrica prejudica, em parte, uma melhor análise da produção de biomassa das mudas de cacau. Ainda assim, verifica-se para a maior parte dos genótipos avaliados, alterações na produção de matéria seca de

diferentes compartimentos vegetais em resposta à adubação potássica ao final do segundo ciclo de déficit hídrico. A resposta dos genótipos ao estresse hídrico e à adubação potássica em termos de produção de biomassa foi verificado em todos os genótipos. As respostas verificadas ao incremento das doses de K foram lineares e quadráticas com máximos próximos à dose de 120 mg/dm³, o que pode sugerir eficiência de utilização do nutriente até determinado teor no solo que, quando atingido não mais proporciona ganhos de acúmulo de matéria seca. Situações semelhantes foram observadas com mudas de eucalipto, em que aumento da biomassa foliar foi verificada até a dose de 50 mg/kg (Silva et al., 2002) e em mudas de café, quando não se observou ganhos de altura e massa seca além da dose de 4 g/planta (Werncke et al., 2012).

Mesmo que não houve efeito das doses de K para incrementar a concentração de P na folha nos genótipos avaliados, este nutriente manteve-se na faixa de adequado (Sodré et al., 2014). A absorção destes nutrientes pelas raízes é fortemente limitada sob baixa disponibilidade hídrica no solo.

Os teores em excesso de N (Sodré et al., 2014) registrado ao finalizar o segundo ciclo de estresse hídrico, em todos os genótipos, é provavelmente devido a que este nutriente teve uma rápida translocação interna, das folhas velhas para folhar novas (Rouphael et al., 2012). Sob condições de estresse, as folhas novas constitui-se como a parte mais importante para manter o metabolismo da planta em atividade. Similar situação foi registrada em eucalipto por Gonçalves & Passos, (2014). No entanto, o contrário também pode acontecer como reportado por Araque et al. (2012) que, trabalhando com cacauero nas condições de campo, registraram maiores concentrações de N na época chuvosa ao se comparar com o período de estiagem.

Claramente pode-se observar também que os teores de N diminuíram em função do incremento das doses de K. Similar comportamento do teor de N em função das doses de K foi registrado em mudas de mogno-africano (Perez, 2014). Perez (2014) registrou que quando as maiores doses de K resultaram em maior produção e as maiores concentrações de N foram encontradas nas plantas que receberam menores doses de K.

As baixas concentrações de K (Sodré et al., 2014), registradas em todos os genótipos, confirmariam os sintomas visuais da deficiência de K que apresentaram as

plantas nesse período e que, com o estresse hídrico, estas possivelmente foram mais afetadas. Mesmo assim, sob estresse hídrico, as doses crescentes de K geraram incremento da concentração deste nutriente nas plantas, sendo os genótipos CCN-51 e PH-16 os que melhor responderam a adubação potássica. Isto possivelmente devido a que sob condições de estresse hídrico, o K é principalmente requerido para um melhor ajuste osmótico celular (Araque et al., 2012).

O conteúdo do nutriente na planta é relacionado com o teor e a matéria seca, sendo que, fatores que reduzem os teores e, ou a matéria seca, levam a redução do conteúdo dos nutrientes (Rocha, 2013). No presente estudo, de maneira geral, os maiores conteúdos dos nutrientes foram verificados até a doses de 120 mg/dm³, relacionando-se aos maiores valores de matéria seca registradas até essa mesma dose e que, acima de ela praticamente foi mantida e/ou com tendência a diminuir.

Conclusões

- A adubação potássica não influencia as trocas gasosas e nem a tolerância ao estresse hídrico de mudas de cacau. As reduções das variáveis associadas às trocas gasosas são mais influenciadas pela redução do potencial hídrico foliar do que pela adubação potássica.
- Reduções da condutância estomática e transpiração de mudas de cacau são mais pronunciadas a valores de potencial hídrico foliar inferiores -0,5 MPa. No entanto o mesmo efeito sobre a taxa de assimilação de CO₂ é mais evidente a valores próximos a -1,0 MPa.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, A.-A. F.; GOMES, F. P.; ARAUJO, R. C.; SANTOS, R. C.; VALLE, R. R. Leaf gas exchange in species of the Theobroma genus. *Photosynthetica*, 52:16–21, 2014.
- ALMEIDA, A.-A. F.; BRITO, R. C. T.; AGUILAR, M. A. G.; VALLE, R. R. Water relations aspects of Theobroma cacao L. clones. *Agrotópica*, 14:35–44, 2002.

ANDERSEN, M. N.; JENSEN, C. R.; LÖSCH, R. The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. I. yield, water-use efficiency and growth. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 42:34–44, 1992.

ARAQUE, O.; JIMEZ, R. E.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R.; ESPINOZA, W. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. *Experimental Agriculture*, 48:513–522, 2012.

ARAUJO, G. L.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; GARCIA, G. O.; NAZÁRIO, A. A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 16:115–124, 2013.

BAQUE, M. A.; KARIM, M. A.; HAMID, A.; TESTSUSHI, H. Effects of fertilizer potassium on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*) under water stress conditions. *South Pacific Studies*, 27:25–35, 2006.

BARROS, N. F.; BRAGA, J. M.; BRNDI, R. M.; DEFELIPO, B. V. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. *Rev. Árvore*, 5:90–103, 1981.

BATES, M. L. & HALL, E. A. Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk water status. *Oecologia*, 50:62–65, 1981.

CALBO, R. & MORAES, J. A. P. V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9:117–123, 1997.

CARR, M. K. V. & LOCKWOOD, G. The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 50:1–23, 2014.

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47:519–527, 2012.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de Eucalipto para ambientes com disponibilidade

diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. R. *Árvore*, 28:333–341, 2004.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, G. R.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacau no sul da Bahia: 2ª aproximação. Ilhéus - Bahia: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira/Centro de Pesquisa Cacau, 2013.

DAMATTA, F. M.; LOOS, R. A.; SILVA, E. A.; LOUREIRO, M. E. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a result of nitrogen and water availability. *Journal of plant physiology*, 981:975–981, 2002.

DENG, X.; JOLY, R.; HAHN, D. The influence of plant water deficit on distribution of ¹⁴C-labelled assimilates in cacao seedlings. *Annals of botany*, 66:211–217, 1990a.

DENG, X.; JOLY, R. J.; HAHN, D. T. The influence of plant water deficit on photosynthesis and translocation of ¹⁴C-labelled assimilates in cacao seedlings. *Annals of botany*, 78:623–627, 1990b.

DIAS, P. C.; ARAUJO, W. L.; MORAES, G. B. K.; BARROS, R. S.; DAMATTA, M. F. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. *Journal of plant physiology*, 164:1639–1647, 2007.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do Solo*. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., 2007. p. 551–594.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; VALLE, R. R.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento, trocas gasosas e relações hídricas de plântulas de cacau em função de diferentes fontes de potássio. *R. bras. Ci. Solo*, 19:387–393, 1995.

GOMES, E. R.; SILVA, L. R. A.; JÚNIOR, A. S. A.; SOUSA, V. F.; MOUSINHO, F. E. P. Potencial hídrico foliar da melancia em resposta a variação no conteúdo de água no solo. *Irriga, Botocatu*, 1:29–39, 2014.

- GONÇALVES, M. R. & PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. *Ciência Florestal*, 9:145–161, 2014.
- JOLY, R. J. & HAHN, D. T. Net CO₂ assimilation of cacao seedlings during periods of plant water deficit. *Photosynthesis Research*, 21:151–159, 1989.
- LEITE, J. B. V.; FONSECA, E. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; NASCIMENTO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo de cacau no semiárido do Brasil. *Agrotropica*, 24:85–90, 2012.
- LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. *R. Árvore*, 31:835–843, 2007.
- MARSCHNER, P. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 1. ed. School of Agriculture, Food and Wine. The University of Adelaide, 2012.
- NEVES, F. L. Efeitos da adubação potássica nas respostas fotossintéticas e nutricionais de genótipos de cacau à deficiência hídrica no solo. Universidade Estadual De Santa Cruz, 2014. 80f. (Tese de Mestrado).
- PEREZ, B. A. P. Doses de potássio e umidades de solo para o crescimento de plantas de mogno-africano. Universidade Estadual Paulista, 2014. 33f. (Tese de Mestrado).
- RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; RAMÍREZ, A.; AZÓCAR, M. E. Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var . Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Rev. Fac. Agron*, 22:112–120, 2005.
- RAZI, M. I.; HALIM, A. H.; KAMARIAH, D.; NOH, M. J. Growth , Plant Water Relation and Photosynthesis Rate of Young *Theobroma cacao* as Influenced by Water Stress. *Pertanika*, 15:93–97, 1992.
- ROCHA, J. B. O. DE. Resiliência de clones de eucalipto ao déficit hídrico e nutricional. Universidade Federal de Viçosa, 2013. 71f. (Tese de Doutorado).
- RODRIGUES, B. M.; SOUZA, B. D.; NOGUEIRA, R. M.; SANTOS, M. G. Tolerance

to water deficit in young trees of jackfruit and sugar apple. *Revista Ciência Agronômica*, 41:245–252, 2010.

ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; SCHWARZ, D.; FRANKEN, P.; COLLA, G. Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. In: AROCA, R. (Ed.). *Plant Responses to Drought Stress from morphological to molecular features*. Granada: Springer, 2012. p. 171–195.

SANTOS, I. C.; ALMEIDA, A.-A. F.; ANHERT, D.; CONCEIÇÃO, A. S.; PIROVANI, C. P.; PIRES, J. L.; VALLE, R. R.; BALIGAR, V. C. Molecular, physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to soil water deficit. *PloS ONE*, 9:0–31, 2014.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. *R. bras. Ci. Solo*, 26:1001–1010, 2002.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 45:457–464, 2010.

SILVA, C. R. Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida Tahiti na ausência e presença de estresse hídrico. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2005. 85f. (Teses de Doutorado).

SILVA, M. R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2003. 100f. (Tese de Doutorado).

SODRÉ, G. A.; MARROCOS, P. C. L.; CHEPOTE, R. E.; PACHECO, R. G. Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho da amostra de plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. *Agrotrópica*, 13:145–150, 2014.

SUN, X. P.; YAN, H. L.; KANG, X. Y.; MA, F. W. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one

rootstock grafting system. *Photosynthetica*, 51:404–410, 2013.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. DOS. Relações Hídricas E Trocas Gasosas Na Seleção Precoce De Clones De Eucalipto Para Ambientes Com Diferenciada Disponibilidade De Água No Solo. *Floresta*, 38:387–400, 2008.

TEIXEIRA, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; JÚNIOR, J. C. A. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de Eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. *Ceres*, 53:310, 2015.

WERNCKE, I.; SANTOS, R. F.; SOUZA, S. N. M.; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; ZORTEA, J. C. J. P. Influência do cloreto de potássio no café *Coffea arábica*. *Acta Iguazu*, 1:8–14, 2012.

ZANETTI, L. V. Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) ao déficit hídrico, 2013. Universidade Federal de Espírito Santo. 60f. (Tese de Mestrado).

Conclusão geral

Os genótipos de cacaueteiro avaliados apresentam diferentes mecanismos para manter valores elevados de potencial hídrico foliar em condições de estresse hídrico. Dois grupos podem ser identificados quanto à tolerância às situações de déficit hídrico, um deles formado pelos genótipos CCN-51 e PH-16, que apresentam como principal mecanismo de tolerância a redução da área foliar, o que lhes permite manter elevados valores de potencial hídrico foliar. O segundo grupo é formado pelos genótipos PS-13.19 e CEPEC-2002, os quais mesmo com a redução dos valores de potencial hídrico foliar, não apresentam redução da produção de biomassa e área foliar.

A adubação potássica não apresenta influência sobre as variáveis fisiológicas dos genótipos de cacaueteiro tanto em condições de adequada umidade no solo, bem como quando a restrição hídrica é imposta. No entanto, as variáveis morfológicas são positivamente afetadas até 120 mg/dm³ de K.

Todos os genótipos avaliados apresentam quedas expressivas da condutância estomática e transpiração quando o potencial hídrico foliar alcança valores próximos de -0,5 MPa, enquanto que a taxa de assimilação de CO₂ é afetada a valores próximos de -1,0 MPa.

ANEXOS DO CAPÍTULO II

Tabela 1- Dados da matéria seca dos quatro genótipos com as quatro doses de K

Tratamentos			Variáveis							
clone	doses	bloco	AF (m ²)	MSF	MSC	MSR	MST	MSPA	PA/R	AFE
CCN-51	0	1	0,60	51,63	90	89	230,63	141,63	1,59	116,89
CCN-51	60	1	0,96	81,45	85	87	253,45	166,45	1,91	117,44
CCN-51	120	1	1,32	116,76	93	83	292,76	209,76	2,53	113,44
CCN-51	180	1	1,55	126,85	105	92	323,85	231,85	2,52	122,56
PS-13.19	0	1	0,64	54,53	97	65	216,53	151,53	2,33	118,06
PS-13.19	60	1	1,04	94,84	132	107	333,84	226,84	2,12	110,11
PS-13.19	120	1	1,56	136,18	120	84	340,18	256,18	3,05	114,83
PS-13.19	180	1	1,32	115,85	120	78	313,85	235,85	3,02	113,75
CEPEC-2002	0	1	0,76	62,50	107	78	247,50	169,50	2,17	121,58
CEPEC-2002	60	1	0,93	76,56	155	81	312,56	231,56	2,86	121,69
CEPEC-2002	120	1	0,92	84,15	119	74	277,15	203,15	2,75	109,30
CEPEC-2002	180	1	1,27	114,76	118	88	320,76	232,76	2,65	110,44
PH-16	0	1	0,47	66,99	93	90	249,99	159,99	1,78	70,29
PH-16	60	1	1,29	114,93	101	76	291,93	215,93	2,84	111,83
PH-16	120	1	1,27	94,79	105	87	286,79	199,79	2,30	133,93
PH-16	180	1	1,32	115,09	93	74	282,09	208,09	2,81	114,36
CCN-51	0	2	0,89	91,62	108	82	281,62	199,62	2,43	97,15
CCN-51	60	2	1,36	106,66	116	102	324,66	222,66	2,18	127,84
CCN-51	120	2	1,97	154,75	110	99	363,75	264,75	2,67	127,55
CCN-51	180	2	1,84	145,49	123	112	380,49	268,49	2,40	126,38
PS-13.19	0	2	1,01	70,31	86	70	226,31	156,31	2,23	143,75
PS-13.19	60	2	1,22	111,90	132	97	340,90	243,90	2,51	109,01
PS-13.19	120	2	1,78	157,91	131	87	375,91	288,91	3,32	112,98
PS-13.19	180	2	1,51	123,61	146	89	358,61	269,61	3,03	122,05
CEPEC-2002	0	2	0,74	58,13	125	89	272,13	183,13	2,06	126,47
CEPEC-2002	60	2	1,60	131,95	126	111	368,95	257,95	2,32	121,08
CEPEC-2002	120	2	1,71	156,53	111	105	372,53	267,53	2,55	109,13
CEPEC-2002	180	2	1,49	131,84	116	111	358,84	247,84	2,23	112,88
PH-16	0	2	0,51	41,65	88	63	192,65	129,65	2,06	122,45
PH-16	60	2	1,04	91,49	81	61	233,49	172,49	2,83	113,25
PH-16	120	2	2,03	183,72	113	98	394,72	296,72	3,03	110,40
PH-16	180	2	1,36	113,61	94	90	297,61	207,61	2,31	119,62
CCN-51	0	3	0,90	74,55	120	77	271,55	194,55	2,53	120,38
CCN-51	60	3	2,07	131,14	95	106	332,14	226,14	2,13	157,69
CCN-51	120	3	2,12	155,85	55	112	322,85	210,85	1,88	136,07
CCN-51	180	3	1,69	125,74	110	102	337,74	235,74	2,31	134,70

PS-13.19	0	3	1,03	66,41	100	64	230,41	166,41	2,60	154,49
PS-13.19	60	3	1,42	113,15	117	90	320,15	230,15	2,56	125,27
PS-13.19	120	3	1,79	146,49	176	118	440,49	322,49	2,73	122,21
PS-13.19	180	3	1,73	143,24	160	96	399,24	303,24	3,16	120,78
CEPEC-2002	0	3	1,14	89,97	111	97	297,97	200,97	2,07	127,25
CEPEC-2002	60	3	1,32	95,68	107	86	288,68	202,68	2,36	138,45
CEPEC-2002	120	3	1,54	132,58	121	96	349,58	253,58	2,64	115,80
CEPEC-2002	180	3	1,44	70,09	111	79	260,09	181,09	2,29	206,12
PH-16	0	3	0,81	64,87	89	70	223,87	153,87	2,20	125,62
PH-16	60	3	1,11	88,79	94	76	258,79	182,79	2,41	124,49
PH-16	120	3	1,29	115,06	105	52	272,06	220,06	4,23	112,33
PH-16	180	3	1,73	123,61	96	83	302,61	219,61	2,65	140,04
CCN-51	0	4	0,93	69,71	83	75	227,71	152,71	2,04	133,70
CCN-51	60	4	1,55	115,44	95	77	287,44	210,44	2,73	133,93
CCN-51	120	4	1,53	131,40	121	118	370,40	252,40	2,14	116,66
CCN-51	180	4	1,92	132,19	141	93	366,19	273,19	2,94	145,57
PS-13.19	0	4	0,42	36,06	98	55	189,06	134,06	2,44	115,43
PS-13.19	60	4	1,79	136,83	142	100	378,83	278,83	2,79	131,11
PS-13.19	120	4	1,83	146,64	139	89	374,64	285,64	3,21	124,78
PS-13.19	180	4	1,36	116,19	133	80	329,19	249,19	3,11	117,37
CEPEC-2002	0	4	0,84	66,12	107	71	244,12	173,12	2,44	127,04
CEPEC-2002	60	4	1,15	94,19	100	68	262,19	194,19	2,86	121,73
CEPEC-2002	120	4	1,67	134,71	163	86	383,71	297,71	3,46	123,84
CEPEC-2002	180	4	1,67	129,29	115	90	334,29	244,29	2,71	128,93
PH-16	0	4	0,79	62,22	100	58	220,22	162,22	2,80	127,22
PH-16	60	4	0,97	84,12	109	62	255,12	193,12	3,11	115,64
PH-16	120	4	1,62	124,74	116	99	339,74	240,74	2,43	129,99
PH-16	180	4	1,42	74,74	95	73	242,74	169,74	2,33	189,81

Tabela 2- Dados de teor e conteúdo foliar de macronutrientes nos quatro genótipos com as quatro doses de K

Tratamentos			Variáveis									
Genótipo	Doses	Bloco	Teor g/kg					Conteúdo (g/planta)				
			N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
CCN-51	0	1	27,22	1,59	1,61	10,21	5,26	1,61	0,07	0,14	0,46	0,22
CCN-51	60	1	24,91	2,08	9,42	5,95	2,43	1,97	0,08	0,60	0,71	0,14
CCN-51	120	1	26,47	2,21	8,35	5,83	3,38	2,97	0,15	0,62	1,39	0,53
CCN-51	180	1	22,55	2,32	7,39	4,85	2,94	2,92	0,20	1,01	1,27	0,51
PS-13.19	0	1	34,86	2,05	4,46	5,43	3,54	1,57	0,06	0,12	0,55	0,23
PS-13.19	60	1	28,54	2,17	4,26	4,75	1,94	2,42	0,15	0,33	0,73	0,26
PS-13.19	120	1	22,70	1,43	3,77	7,81	3,48	3,74	0,15	0,70	1,12	0,44
PS-13.19	180	1	27,92	2,91	7,93	4,07	2,32	2,85	0,17	0,81	0,90	0,38
CEPEC-2002	0	1	29,08	1,52	2,73	9,49	4,75	1,55	0,08	0,23	0,41	0,16
CEPEC-2002	60	1	24,54	1,34	2,77	11,56	4,40	1,75	0,08	0,29	0,79	0,26
CEPEC-2002	120	1	24,65	1,58	6,11	9,25	3,74	2,15	0,10	0,53	1,05	0,42
CEPEC-2002	180	1	24,28	1,37	3,15	16,93	5,04	2,85	0,12	0,66	1,47	0,48
PH-16	0	1	29,68	2,07	3,88	9,08	2,53	1,87	0,09	0,23	0,39	0,09
PH-16	60	1	26,28	2,19	4,96	4,36	3,26	2,86	0,15	0,53	1,00	0,46
PH-16	120	1	27,45	2,05	8,50	3,34	2,53	2,45	0,13	0,73	0,64	0,25
PH-16	180	1	25,60	1,84	5,30	3,89	2,34	2,78	0,13	0,52	0,81	0,33
CCN-51	0	2	25,87	2,78	5,39	4,96	2,29	2,12	0,13	0,23	0,82	0,24
CCN-51	60	2	23,03	1,36	1,27	11,01	3,17	2,55	0,15	0,43	0,82	0,21
CCN-51	120	2	26,57	2,64	7,16	2,80	1,86	3,87	0,21	0,82	1,82	0,73
CCN-51	180	2	20,53	1,09	3,13	7,71	2,71	3,34	0,17	0,55	1,61	0,49
PS-13.19	0	2	27,16	3,18	4,51	2,56	2,30	1,81	0,14	0,29	0,36	0,16
PS-13.19	60	2	25,61	2,46	4,61	4,21	2,69	2,80	0,15	0,47	1,21	0,47
PS-13.19	120	2	27,30	2,65	6,47	2,32	1,51	3,40	0,21	0,77	1,24	0,42
PS-13.19	180	2	22,63	1,15	2,71	6,90	2,49	3,01	0,13	0,58	1,15	0,38
CEPEC-2002	0	2	24,71	1,87	3,88	5,46	2,85	1,49	0,08	0,22	0,39	0,14
CEPEC-2002	60	2	20,61	1,47	2,40	11,89	4,11	3,01	0,13	0,45	1,72	0,38
CEPEC-2002	120	2	22,52	1,29	2,78	14,30	5,12	3,93	0,18	0,80	2,15	0,71
CEPEC-2002	180	2	23,60	2,12	3,83	4,56	2,21	3,04	0,19	0,73	1,09	0,30
PH-16	0	2	30,92	2,73	4,92	6,38	3,90	1,24	0,07	0,16	0,26	0,09
PH-16	60	2	23,06	1,45	3,51	9,03	3,26	2,39	0,09	0,38	0,79	0,25
PH-16	120	2	23,56	2,57	7,60	3,93	2,69	4,58	0,22	0,84	2,18	0,72
PH-16	180	2	27,53	2,19	6,50	5,15	2,47	2,77	0,15	0,67	1,24	0,38
CCN-51	0	3	28,30	2,28	3,42	5,33	3,92	2,30	0,11	0,26	0,57	0,27
CCN-51	60	3	25,70	2,45	6,12	2,95	2,90	3,08	0,19	0,60	1,24	0,54
CCN-51	120	3	19,40	1,48	2,02	10,15	4,52	3,42	0,20	0,74	1,67	0,62

CCN-51	180	3	23,68	2,96	7,52	4,81	2,63	2,98	0,20	0,75	1,31	0,51
PS-13.19	0	3	29,48	3,48	7,12	2,16	3,31	1,76	0,14	0,42	0,46	0,28
PS-13.19	60	3	27,31	2,45	5,71	3,11	2,11	2,74	0,16	0,51	1,13	0,48
PS-13.19	120	3	22,73	1,14	1,29	9,68	3,59	3,33	0,15	0,38	1,59	0,58
PS-13.19	180	3	23,10	1,93	4,57	7,24	3,30	3,55	0,20	0,73	1,44	0,61
CEPEC-2002	0	3	27,05	2,69	5,59	4,16	3,03	2,12	0,12	0,26	0,59	0,19
CEPEC-2002	60	3	26,38	2,15	4,65	4,47	2,50	2,32	0,15	0,51	1,15	0,47
CEPEC-2002	120	3	25,76	1,38	4,58	7,65	3,72	3,34	0,15	0,60	1,75	0,60
CEPEC-2002	180	3	19,63	1,40	2,38	16,96	4,70	1,58	0,08	0,37	1,06	0,31
PH-16	0	3	29,67	1,71	2,40	9,49	4,79	1,93	0,09	0,26	0,52	0,19
PH-16	60	3	23,10	2,12	4,55	4,00	2,24	2,04	0,13	0,46	0,83	0,31
PH-16	120	3	23,72	2,23	6,86	3,14	2,02	2,51	0,17	0,91	1,10	0,43
PH-16	180	3	20,16	1,73	3,85	12,37	4,23	2,99	0,18	0,95	1,57	0,53
CCN-51	0	4	31,59	1,72	1,64	9,56	5,33	2,10	0,12	0,26	0,63	0,25
CCN-51	60	4	23,82	1,98	5,99	5,25	2,36	2,76	0,16	0,61	1,09	0,33
CCN-51	120	4	20,25	1,02	2,03	9,33	3,78	3,01	0,13	0,44	2,48	0,81
CCN-51	180	4	22,82	2,68	7,46	4,74	3,34	2,80	0,20	0,90	1,40	0,49
PS-13.19	0	4	26,33	1,75	2,72	5,70	3,37	1,07	0,06	0,11	0,16	0,09
PS-13.19	60	4	26,03	2,76	6,49	1,96	2,15	3,27	0,21	0,48	1,12	0,53
PS-13.19	120	4	23,56	2,40	5,38	4,38	2,54	3,39	0,18	0,51	1,41	0,54
PS-13.19	180	4	27,04	2,84	6,00	3,99	2,12	3,05	0,18	0,72	0,73	0,21
CEPEC-2002	0	4	23,05	1,49	2,71	10,24	4,81	1,78	0,09	0,24	0,67	0,27
CEPEC-2002	60	4	24,83	1,19	3,12	9,17	3,50	2,36	0,11	0,57	1,13	0,40
CEPEC-2002	120	4	22,52	1,06	3,51	9,83	3,48	3,50	0,14	0,42	1,83	0,63
CEPEC-2002	180	4	21,29	1,31	4,19	11,22	4,60	3,30	0,14	0,82	1,49	0,49
PH-16	0	4	25,47	1,82	3,87	6,43	3,62	1,74	0,09	0,26	0,38	0,15
PH-16	60	4	26,30	1,54	4,63	6,13	2,69	2,15	0,12	0,61	0,71	0,28
PH-16	120	4	23,10	2,22	7,08	2,39	1,95	2,87	0,18	0,96	1,18	0,47
PH-16	180	4	25,49	2,35	7,87	5,59	3,57	1,91	0,13	0,74	0,41	0,14

Tabela 3 – Dados do potencial hídrico foliar nos dois ciclos de déficit hídrico nos quatro genótipos com as quatro doses de K

Tratamentos			1er ciclo			2do ciclo		
			Potencial hídrico foliar					
			Tempo (dias) após suspensão da irrigação					
Genótipo	Doses	Bloco	1	5	10	1	5	8
CCN-51	0	1	-0,1	-0,9	-1,2	-0,1	-0,4	-0,7
CCN-51	60	1	-0,15	-1,3	-1,6	-0,1	-0,6	-1,3
CCN-51	120	1	-0,4	-0,8	-1,3	-0,2	-0,6	-1,2
CCN-51	180	1	-0,35	-0,7	-1,3	-0,2	-0,9	-1,6
PS-13.19	0	1	-0,4	-0,6	-1	-0,1	-0,7	-1
PS-13.19	60	1	-0,15	-0,8	-1,9	-0,1	-1,2	-1,8
PS-13.19	120	1	-0,25	-0,8	-1,2	-0,15	-0,7	-1,55
PS-13.19	180	1	-0,35	-0,6	-1,1	-0,1	-1,3	-1,6
CEPEC-2002	0	1	-0,5	-1	-1,5	-0,15	-0,7	-1
CEPEC-2002	60	1	-0,2	-0,4	-1,45	-0,2	-0,7	-1,6
CEPEC-2002	120	1	-0,25	-0,8	-1,7	-0,2	-0,7	-1,4
CEPEC-2002	180	1	-0,25	-0,7	-1,8	-0,1	-0,3	-1,5
PH-16	0	1	-0,25	-0,6	-1	-0,15	-0,6	-0,7
PH-16	60	1	-0,25	-0,7	-1,1	-0,15	-0,9	-1,7
PH-16	120	1	-0,25	-0,6	-1	-0,1	-0,7	-1,6
PH-16	180	1	-0,25	-0,6	-1,1	-0,15	-1	-1,5
CCN-51	0	2	-0,5	-0,6	-0,9	-0,1	-0,8	-1,3
CCN-51	60	2	-0,3	-0,6	-1,2	-0,1	-0,8	-1,3
CCN-51	120	2	-0,3	-1,2	-1,7	-0,1	-0,9	-1,5
CCN-51	180	2	-0,2	-0,6	-1,2	-0,15	-0,5	-1,3
PS-13.19	0	2	-0,3	-0,8	-1	-0,1	-0,7	-0,8
PS-13.19	60	2	-0,1	-0,8	-1,7	-0,2	-1,1	-1,5
PS-13.19	120	2	-0,5	-0,9	-1,5	-0,1	-1,3	-2
PS-13.19	180	2	-0,4	-0,4	-1,1	-0,1	-0,3	-1,3
CEPEC-2002	0	2	-0,2	-0,4	-0,9	-0,05	-0,6	-1
CEPEC-2002	60	2	-0,35	-0,5	-1,2	-0,15	-1,1	-1,6
CEPEC-2002	120	2	-0,2	-0,4	-1,6	-0,15	-0,7	-1,4
CEPEC-2002	180	2	-0,45	-0,9	-1,7	-0,2	-0,5	-1,3
PH-16	0	2	-0,25	-0,8	-1,6	-0,1	-0,3	-0,9
PH-16	60	2	-0,3	-0,5	-1,1	-0,15	-0,5	-1,1
PH-16	120	2	-0,4	-0,9	-1,8	-0,1	-1,2	-1,1
PH-16	180	2	-0,25	-0,4	-0,8	-0,1	-0,5	-0,8
CCN-51	0	3	-0,15	-0,8	-1,3	-0,1	-0,5	-1,3
CCN-51	60	3	-0,2	-0,7	-0,1	-0,15	-0,6	-1,4
CCN-51	120	3	-0,25	-0,5	-1,1	-0,2	-0,5	-1,5
CCN-51	180	3	-0,1	-0,6	-1,1	-0,1	-1,1	-1,8

PS-13.19	0	3	-0,15	-0,4	-0,9	-0,1	-0,4	-0,6
PS-13.19	60	3	-0,1	-0,8	-1,7	-0,1	-0,9	-1,3
PS-13.19	120	3	-0,15	-0,5	-1,4	-0,1	-1,1	-2
PS-13.19	180	3	-0,2	-0,8	-1,6	-0,2	-1,2	-1,8
CEPEC-2002	0	3	-0,1	-0,5	-1,2	-0,1	-0,5	-1,2
CEPEC-2002	60	3	-0,25	-1	-1,7	-0,1	-0,5	-1,4
CEPEC-2002	120	3	-0,45	-1,4	-1,8	-0,2	-0,9	-1,5
CEPEC-2002	180	3	-0,2	-1,5	-1,9	-0,1	-0,8	-1,7
PH-16	0	3	-0,2	-0,8	-1,4	-0,1	-0,4	-0,6
PH-16	60	3	-0,15	-0,6	-1,4	-0,1	-0,4	-1,7
PH-16	120	3	-0,3	-0,5	-1,1	-0,2	-0,5	-1,5
PH-16	180	3	-0,3	-1,1	-1,5	-0,1	-0,3	-1
CCN-51	0	4	-0,1	-0,5	-0,8	-0,05	-0,9	-0,5
CCN-51	60	4	-0,5	-1,5	-2	-0,1	-0,4	-1,2
CCN-51	120	4	-0,35	-1,1	-1,4	-0,15	-0,9	-1,6
CCN-51	180	4	-0,5	-0,5	-1,3	-0,2	-1,2	-1,5
PS-13.19	0	4	-0,2	-0,8	-1,1	-0,15	-0,5	-1
PS-13.19	60	4	-0,2	-1	-1,4	-0,1	-0,5	-1,5
PS-13.19	120	4	-0,25	-0,4	-1	-0,15	-0,3	-1,3
PS-13.19	180	4	-0,1	-0,8	-1,6	-0,2	-0,55	-0,9
CEPEC-2002	0	4	-0,2	-1	-1,5	-0,2	-0,3	-1,1
CEPEC-2002	60	4	-0,15	-1,2	-1,5	-0,1	-0,5	-1,2
CEPEC-2002	120	4	-0,3	-0,9	-1,5	-0,15	-1,2	-1,6
CEPEC-2002	180	4	-0,1	-1	-1,5	-0,15	-0,5	-1,5
PH-16	0	4	-0,1	-0,4	-0,8	-0,5	-0,5	-1,2
PH-16	60	4	-0,35	-0,4	-0,7	-0,1	-0,6	-1
PH-16	120	4	-0,2	-0,2	-0,8	-0,1	-1	-1,7
PH-16	180	4	-0,35	-1,1	-1,7	-0,2	-0,7	-1,5

Tabela 4- Dados de trocas gasosas nos dois ciclos de déficit hídrico nos quatro genótipos com as quatro doses de K

Tratamentos			Variáveis de trocas gasosas																	
			1er ciclo									2do ciclo								
			1			5			10			1			5			8		
clone	doses	bloco	A	gs	E	A	gs	E	A	gs	E	A	Gs	E	A	Gs	E	A	Gs	E
CCN-51	0	1	8,36	0,03	1,09	5,56	0,02	0,35	1,19	0,01	0,39	6,01	0,03	0,85	7,57	0,03	1,72	0,83	0,03	0,72
CCN-51	60	1	6,82	0,04	1,28	3,47	0,02	0,41	0,00	0,00	0,00	6,52	0,03	1,44	8,78	0,02	1,10	2,76	0,02	0,60
CCN-51	120	1	6,54	0,02	0,68	3,47	0,02	0,41	0,03	0,00	0,00	9,30	0,04	1,59	6,46	0,01	0,65	0,46	0,01	0,19
CCN-51	180	1	6,71	0,03	0,95	3,47	0,02	0,41	0,52	0,00	0,01	5,20	0,01	0,98	4,62	0,00	0,00	0,60	0,00	0,13
PS-13.19	0	1	3,44	0,01	0,32	2,77	0,02	0,32	1,05	0,01	0,30	5,85	0,04	2,24	6,89	0,01	0,00	1,48	0,01	0,36
PS-13.19	60	1	4,60	0,01	0,44	3,47	0,02	0,41	0,00	0,00	0,00	7,35	0,03	2,51	6,80	0,00	0,00	0,41	0,00	0,16
PS-13.19	120	1	6,92	0,05	1,55	1,98	0,02	0,31	2,24	0,01	0,30	4,96	0,01	1,06	7,43	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09
PS-13.19	180	1	11,45	0,06	2,07	3,72	0,03	0,44	1,98	0,00	0,08	8,42	0,04	1,29	3,81	0,01	0,00	0,38	0,00	0,12
CEPEC-2002	0	1	7,06	0,03	1,19	3,47	0,02	0,41	0,00	0,00	0,00	9,89	0,06	3,88	3,89	0,01	0,60	4,02	0,03	0,83
CEPEC-2002	60	1	6,23	0,02	0,70	4,37	0,02	0,31	0,00	0,01	0,24	6,80	0,04	2,68	8,04	0,01	0,00	0,11	0,01	0,21
CEPEC-2002	120	1	2,97	0,01	0,50	1,55	0,02	0,32	0,00	0,01	0,18	6,88	0,04	2,28	5,24	0,00	0,24	0,49	0,01	0,23
CEPEC-2002	180	1	6,42	0,04	1,17	2,49	0,03	0,45	1,14	0,00	0,02	6,03	0,02	0,71	6,15	0,00	0,13	0,28	0,01	0,19
PH-16	0	1	4,52	0,02	0,72	3,47	0,02	0,41	2,92	0,01	0,19	9,33	0,07	3,94	7,56	0,05	2,27	6,36	0,06	1,75
PH-16	60	1	10,97	0,06	1,81	4,38	0,02	0,30	0,93	0,01	0,35	5,36	0,02	1,75	7,01	0,00	0,17	0,00	0,00	0,09
PH-16	120	1	9,13	0,04	1,22	6,44	0,02	0,29	1,42	0,02	0,44	8,03	0,06	2,85	5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
PH-16	180	1	9,52	0,10	2,65	3,89	0,02	0,30	1,31	0,01	0,34	3,87	0,02	1,03	6,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15
CCN-51	0	2	7,49	0,03	1,09	3,56	0,02	0,39	1,26	0,00	0,05	7,33	0,04	1,34	5,91	0,01	0,00	0,03	0,00	0,15
CCN-51	60	2	6,51	0,04	1,27	0,85	0,02	0,32	0,00	0,01	0,32	7,39	0,03	1,22	3,81	0,01	0,35	1,06	0,01	0,29
CCN-51	120	2	8,41	0,11	2,71	3,14	0,03	0,46	0,00	0,00	0,00	5,26	0,02	0,83	4,72	0,00	0,00	0,53	0,00	0,13

CCN-51	180	2	7,71	0,05	1,33	1,53	0,02	0,33	0,00	0,01	0,33	6,35	0,02	1,01	5,86	0,01	0,59	1,25	0,01	0,29
PS-13.19	0	2	4,15	0,02	0,69	4,16	0,02	0,32	0,00	0,01	0,33	8,25	0,05	1,65	4,37	0,03	1,52	3,50	0,03	1,00
PS-13.19	60	2	3,55	0,02	0,72	1,47	0,03	0,48	0,00	0,01	0,27	7,36	0,03	1,26	4,98	0,00	0,05	0,00	0,01	0,27
PS-13.19	120	2	8,35	0,03	1,23	3,47	0,02	0,41	1,25	0,00	0,02	6,01	0,03	0,95	3,61	0,00	0,00	0,23	0,00	0,16
PS-13.19	180	2	9,77	0,04	1,36	0,21	0,03	0,49	2,36	0,00	0,07	6,82	0,03	1,06	2,75	0,01	0,45	0,69	0,01	0,20
CEPEC-2002	0	2	8,56	0,03	1,13	1,01	0,02	0,34	2,38	0,02	0,57	8,03	0,05	2,09	5,09	0,00	0,00	1,04	0,01	0,41
CEPEC-2002	60	2	5,97	0,01	0,50	2,07	0,02	0,32	0,00	0,02	0,40	8,47	0,04	1,72	1,79	0,00	0,14	0,69	0,00	0,15
CEPEC-2002	120	2	6,74	0,06	1,56	3,47	0,02	0,41	0,26	0,00	0,02	5,63	0,02	0,78	5,72	0,00	0,17	0,81	0,01	0,31
CEPEC-2002	180	2	9,79	0,04	1,44	3,47	0,02	0,41	0,71	0,00	0,00	10,47	0,07	2,11	5,25	0,01	0,36	0,52	0,01	0,24
PH-16	0	2	12,50	0,07	2,20	7,38	0,02	0,33	0,00	0,01	0,31	12,02	0,07	2,58	12,85	0,06	2,38	5,40	0,07	2,42
PH-16	60	2	6,04	0,04	1,14	3,47	0,02	0,41	4,69	0,01	0,30	6,03	0,03	0,96	4,68	0,01	0,51	0,26	0,02	0,53
PH-16	120	2	5,65	0,04	1,27	3,48	0,02	0,38	0,37	0,00	0,00	6,07	0,03	1,05	3,79	0,00	0,00	0,09	0,00	0,13
PH-16	180	2	8,65	0,05	1,61	0,88	0,02	0,33	2,55	0,02	0,45	7,97	0,04	1,35	8,10	0,01	0,69	1,97	0,01	0,29
CCN-51	0	3	6,40	0,04	1,19	3,82	0,03	0,46	0,00	0,01	0,32	12,34	0,08	2,79	4,13	0,03	1,20	0,77	0,01	0,38
CCN-51	60	3	2,14	0,01	0,39	3,61	0,03	0,43	1,42	0,02	0,53	9,17	0,05	1,74	3,97	0,00	0,00	0,47	0,01	0,32
CCN-51	120	3	5,58	0,04	1,15	4,39	0,02	0,40	0,16	0,00	0,01	7,77	0,03	1,25	3,93	0,00	0,10	0,73	0,00	0,15
CCN-51	180	3	9,12	0,05	1,43	1,82	0,02	0,44	0,00	0,02	0,42	7,92	0,04	1,56	4,40	0,00	0,00	0,27	0,01	0,25
PS-13.19	0	3	3,90	0,01	0,31	4,92	0,03	0,45	2,45	0,03	0,66	7,80	0,04	1,44	5,95	0,02	0,90	3,51	0,02	1,03
PS-13.19	60	3	4,79	0,02	0,60	2,30	0,02	0,44	0,61	0,00	0,03	6,11	0,02	1,08	4,89	0,01	0,42	1,10	0,01	0,35
PS-13.19	120	3	6,76	0,04	1,22	1,66	0,02	0,44	0,00	0,02	0,42	5,50	0,02	0,87	2,77	0,00	0,00	0,85	0,00	0,16
PS-13.19	180	3	5,36	0,03	0,87	1,72	0,03	0,53	0,31	0,00	0,02	5,98	0,02	0,97	3,25	0,01	0,53	0,96	0,00	0,14
CEPEC-2002	0	3	6,43	0,03	0,92	3,66	0,03	0,49	0,38	0,02	0,53	5,74	0,02	0,88	6,54	0,01	0,48	1,33	0,01	0,30
CEPEC-2002	60	3	8,47	0,06	1,46	1,65	0,03	0,50	0,00	0,00	0,00	9,68	0,06	2,24	7,32	0,02	0,80	1,44	0,01	0,48
CEPEC-2002	120	3	6,32	0,03	1,07	3,22	0,03	0,49	0,00	0,00	0,00	6,62	0,03	1,11	6,08	0,01	0,42	0,77	0,01	0,29
CEPEC-2002	180	3	7,40	0,06	1,64	2,72	0,03	0,49	0,00	0,00	0,00	6,81	0,03	1,13	4,21	0,00	0,06	1,39	0,01	0,35

PH-16	0	3	6,18	0,03	0,96	4,91	0,03	0,39	1,48	0,00	0,06	10,05	0,05	2,07	7,00	0,04	1,43	3,56	0,05	1,97
PH-16	60	3	9,58	0,04	1,26	6,41	0,03	0,51	1,69	0,00	0,05	10,87	0,07	2,61	2,58	0,02	0,66	1,37	0,01	0,55
PH-16	120	3	5,50	0,02	0,55	5,00	0,03	0,45	0,00	0,02	0,37	6,81	0,03	1,16	5,40	0,01	0,55	1,26	0,01	0,33
PH-16	180	3	5,57	0,03	0,98	3,15	0,03	0,46	0,00	0,01	0,28	6,99	0,03	1,07	5,06	0,02	0,71	1,06	0,00	0,21
CCN-51	0	4	13,13	0,14	3,87	6,07	0,02	0,41	0,15	0,00	0,04	7,89	0,03	1,37	8,06	0,03	1,07	4,70	0,04	1,62
CCN-51	60	4	2,91	0,02	0,55	5,21	0,02	0,43	0,00	0,01	0,36	12,03	0,07	3,39	7,76	0,04	1,04	0,81	0,01	0,45
CCN-51	120	4	3,08	0,03	0,90	2,16	0,03	0,43	0,00	0,01	0,30	9,31	0,03	1,59	6,77	0,03	0,77	1,71	0,01	0,65
CCN-51	180	4	2,32	0,02	0,62	2,52	0,03	0,44	0,00	0,02	0,43	7,20	0,02	0,77	2,40	0,01	0,23	0,15	0,00	0,20
PS-13.19	0	4	5,47	0,02	0,57	8,00	0,02	0,33	0,00	0,01	0,30	11,34	0,05	2,41	8,65	0,04	1,20	3,78	0,03	1,28
PS-13.19	60	4	4,27	0,02	0,64	4,31	0,03	0,43	1,91	0,00	0,00	6,79	0,03	1,12	3,86	0,01	0,45	0,10	0,01	0,34
PS-13.19	120	4	3,74	0,03	0,69	2,04	0,03	0,47	0,00	0,02	0,42	7,83	0,04	1,53	4,72	0,02	0,64	0,00	0,01	0,24
PS-13.19	180	4	5,99	0,02	0,82	3,93	0,02	0,46	0,00	0,02	0,37	7,56	0,02	1,10	3,68	0,02	0,50	0,11	0,01	0,33
CEPEC-2002	0	4	6,22	0,03	1,01	5,73	0,02	0,38	0,00	0,02	0,37	9,07	0,06	2,28	6,38	0,03	1,03	1,54	0,02	0,73
CEPEC-2002	60	4	5,61	0,01	0,52	4,74	0,03	0,45	0,00	0,01	0,33	6,52	0,02	1,05	4,74	0,02	0,52	0,00	0,01	0,48
CEPEC-2002	120	4	9,05	0,04	1,19	1,50	0,03	0,42	0,00	0,02	0,43	5,06	0,02	0,73	2,93	0,00	0,08	0,00	0,00	0,09
CEPEC-2002	180	4	7,25	0,04	1,16	2,40	0,03	0,43	0,00	0,01	0,32	6,86	0,02	1,01	4,23	0,01	0,42	0,00	0,00	0,22
PH-16	0	4	1,93	0,01	0,35	2,29	0,02	0,44	0,00	0,01	0,32	11,73	0,05	2,37	5,87	0,02	0,68	0,33	0,01	0,33
PH-16	60	4	8,43	0,05	1,35	4,73	0,03	0,49	0,00	0,02	0,42	13,55	0,07	2,66	4,92	0,02	0,50	0,00	0,00	0,23
PH-16	120	4	5,15	0,02	0,59	3,05	0,03	0,43	0,00	0,02	0,42	8,44	0,03	1,16	3,40	0,02	0,41	0,15	0,01	0,43
PH-16	180	4	7,91	0,06	1,75	5,65	0,02	0,40	0,00	0,01	0,33	6,91	0,02	0,99	5,50	0,02	0,53	0,00	0,01	0,26