

**PAULO HENRIQUE COUTINHO**

**HERANÇA E RELAÇÃO DOS CARACTERES FISIOLÓGICOS E DE  
RAÍZES COM A EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM MILHO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C871h  
2011

Coutinho, Paulo Henrique, 1981-  
Herança e relação dos caracteres fisiológicos e de raízes  
com a eficiência no uso da água em milho / Paulo Henrique  
Coutinho. – Viçosa, MG, 2011.  
xi, 43f. : il. ; 29cm.

Orientador: Glauco Vieira Miranda.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 18-22.

1. Milho - Semente - Disponibilidade hídrica. 2. Variação  
(Genética). 3. Água - Uso. 4. Milho - Melhoramento  
genético. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.


CDD 22. ed. 633.15

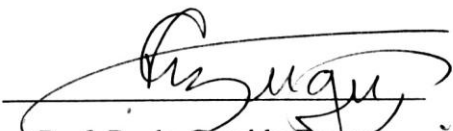
**PAULO HENRIQUE COUTINHO**

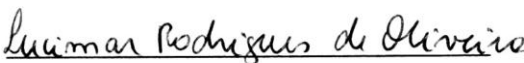
**HERANÇA E RELAÇÃO DOS CARACTERES FISIOLÓGICOS E DE  
RAÍZES COM A EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM MILHO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

**APROVADA:** 28 de abril de 2011.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. João Carlos Cardoso Galvão  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Geraldo Berger  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Dr<sup>a</sup>: Lucimar Rodrigues de Oliveira

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Valterley Soares Rocha

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Glauco Vieira Miranda  
(Orientador)

*Pouco conhecimento faz com que as criaturas se sintam orgulhosas.*

*Muito conhecimento, que se sintam humildes.*

*É assim como as espigas sem grãos erguem  
desdenhosamente a cabeça para o céu,  
enquanto que as cheias abaixam para a terra,  
sua Mãe.*

*Leonardo Da Vinci*

*Aos meus queridos pais, José Hipólito Coutinho e Teresinha de Fátima da Costa Coutinho.*

*Aos meus queridos irmãos Tiago e Luciana Coutinho.*

*À minha querida namorada Leidiane Gonçalves de Souza.*

*A meu querido sobrinho Arthur Coutinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter-me concedido o dom da vida e me dado a minha família e bons amigos que sempre me apoiaram, permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus amados pais José Hipólito Coutinho e Terezinha de Fátima da Costa Coutinho, pelo carinho, pela confiança e pelas orações a mim intencionadas para que eu lograsse êxito em minha caminhada; aos meus queridos irmãos Luciana e Tiago Coutinho, por terem sempre me apoiado e nunca terem deixado eu que desistisse nos momentos mais difíceis.

À Leidiane Gonçalves de Souza, pelo amor, carinho, pela paciência e pelo apoio durante todo esse tempo.

Ao meu primo Giovani da Costa Caetano, pela valiosa e impagável ajuda, nos momentos mais críticos.

Aos Professores Flavio D’Alencar Araujo Couto e Cosme Damião Cruz, por não terem permitido que eu parasse a caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste Curso; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por ter financiado o projeto; e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Glauco Vieira Miranda, pela amizade, orientação, pelos conselhos e, principalmente, pela confiança depositada em mim, o que proporcionou o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos Professores João Carlos Cardoso Galvão e Paulo Geraldo Berger e ao pesquisador Dr. Rogério Faria Vieira, pelos valiosos conselhos e pela amizade.

A Lucimar Rodrigues de Oliveira, pela amizade e pelas importantes orientações.

Aos meus bons amigos Roberto Fritsche Neto (professor da UFV), Júlio Cesar DoVale (doutorando em Fitotecnia) e Paulo César, da Fisiologia Vegetal/UFV, pelas valiosas contribuições.

Ao meu grande amigo Thiago Gledson Rios Terra, doutorando em Fitotecnia, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

Aos meus amigos do Programa Milho Ciro, Marcelo, Luciano, Lucimar, Jardécio, Ítalo, Éder Lanes, Enoc, Felipe, Rafaelzinho, José Roberto de Bem, Luís (plantas daninhas), Luciano e Toninho e ao “Prefeito”, pela amizade, pelo apoio e por todos os momentos compartilhados.

A todos vocês, meu eterno obrigado.

## **BIOGRAFIA**

PAULO HENRIQUE COUTINHO, nascido no dia 16 de maio de 1981, em Viçosa, Minas Gerias, filho de José Hipólito Coutinho e Teresinha de Fátima da Costa Coutinho.

Em janeiro de 2009, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em 2009, iniciou o Programa Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Fitotecnia da UFV, submetendo-se à defesa da Dissertação em abril de 2011.

## SUMÁRIO

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| RESUMO .....                    | VIII |
| ABSTRACT .....                  | X    |
| 1. INTRODUÇÃO .....             | 1    |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....     | 5    |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... | 10   |
| 4. CONCLUSÕES .....             | 17   |
| 5. REFERÊNCIAS .....            | 18   |
| 6. TABELAS .....                | 23   |

## RESUMO

COUTINHO, Paulo Henrique, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2011. **Herança e relação dos caracteres fisiológicos e de raízes com a eficiência no uso da água em milho.** Orientador: Glauco Vieira Miranda. Coorientadores: João Carlos Cardoso Galvão e Paulo Geraldo Berger.

O estresse abiótico provocado pelo déficit hídrico é responsável pela limitação no rendimento agrícola em regiões marginais de clima tropical. Em razão de esse evento se relacionar com outros, como alta temperatura, frio e salinidade, os impactos sobre as culturas tornam ainda mais intensos. A existência de variabilidade na eficiência da utilização da água (EfUA), que é a relação entre o rendimento da cultura e a sua evapotranspiração, permite a seleção de genótipos mais eficientes no uso desse recurso. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar as relações entre caracteres de raízes e fisiológicos e os efeitos gênicos que controlam esses caracteres, em duas condições contrastantes de disponibilidade hídrica em linhagens de milho. Para isso, seis linhagens e suas combinações híbridas foram avaliadas em experimentos em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa, nos anos de 2010 e 2011. As plantas foram analisadas no estágio fenológico de nove folhas completamente expandidas (V9). O plantio foi realizado em vasos de 8 dm<sup>3</sup> de volume preenchidos com substrato constituído de seis partes de solo e uma de areia lavada, em duas condições de disponibilidade hídrica: a 80% da capacidade de campo (CC) e a 60% CC. Empregou-se o delineamento inteiramente ao acaso com duas repetições em fatorial (21 genótipos x 2 níveis de disponibilidade hídrica). Os genótipos apresentaram comportamento contrastante com relação aos caracteres radiculares e fisiológicos e à eficiência no uso da água, nas duas condições de disponibilidade hídrica. Observou-se predominância dos efeitos gênicos não aditivos nos caracteres avaliados, e a seleção para esses caracteres deverá ser praticada com

base no desempenho das combinações híbridas, para possibilitar maiores ganhos em produtividade. Pela análise de trilha, foi possível identificar que o caráter segurança hidráulica, que é a relação entre a área foliar total de cada planta e o diâmetro do caule, pode ser utilizado na seleção indireta de genótipos eficientes no uso de água em condições ideais de disponibilidade hídrica. Neste estudo não foi possível identificar caracteres na seleção indireta para EfUA, em déficit hídrico, comprovando a complexidade desse caráter.

## ABSTRACT

COUTINHO, Paulo Henrique, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2011.  
**Inheritance and relationship between root traits, and physiological efficiency of water use in corn.** Adviser: Glauco Vieira Miranda. Co-Advisers: João Carlos Cardoso Galvão and Paulo Geraldo Berger.

Abiotic stress caused by water deficit accounts for limitations of agriculture yield in marginal tropical weather regions. Because this event is related with others as for example high temperature, col and salinity, the impact on the crops become even greater. The existence of variability of water use efficiency (WUEf), which the relationship between crop yield and its evapotranspiration, allows the selection of more efficient resources in the use of this resource. Thus, the objective of this work was to study the relationship between root and physiologic characters and gene effects controlling those characters, in two contrasting conditions of water availability in corn linages. Therefore, it was evaluated six linages and their hybrid combinations in experiments in greenhouses at Universidade Federal de Viçosa, in 2010 and 2011. The plants were analyzed at the completed expanded 9-leaf phonologic stage (V9). Planting was done in 8- dm<sup>3</sup> pots filled with substrate made up with six parts of soil and one part of washed sand, in two water availability conditions: 80% field capacity (FC) and 60% FC. It was used a complete random design with two replicates in factorial scheme (21 genotypes ×2 water availability levels). Genotypes presented contrasting behavior in relation to root and physiologic traits and to water use efficiency, in the two conditions of water availability. It was observed predominance of non-additive gene effects on the evaluated traits and selection for those traits will be performed based on performance of hybrid combinations, to make grater yield profits. By track analysis, it was identified that hydraulic safety trait, which is the relationship between total leaf area of each plant

and the stem diameter, can be used in the indirect selection of water use efficiency genotypes in ideal conditions of water availability. In this study, it was not identified traits in the indirect selection for WUEf in water deficit, evidencing the complexity of this trait.

## 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global é fato comprovado cientificamente, apesar de suas consequências dividirem opiniões. Nesse sentido, a possibilidade de ocorrência de secas mais duradoras e chuvas mais intensas e menos frequentes causa grande preocupação sobre os impactos na agricultura, pois tal fato está diretamente relacionado com a questão da segurança alimentar.

A limitação hídrica provoca diversas alterações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas nas plantas, como redução no grau de abertura dos estômatos, diminuição na absorção de CO<sub>2</sub>, efeitos negativos sobre a fotossíntese e vigor das plantas, diminuição da fertilidade dos grãos de pólen e, por consequência, sobre a produtividade (BOTA et al., 2004; BERGAMASHI et al., 2006).

No Brasil, o cultivo do milho ocorre sem a utilização de irrigação, e mesmo em anos climaticamente favoráveis são observadas reduções significativas na produção em virtude de períodos de limitação hídrica (veranicos) (EDMEADES et al., 1999). Dessa forma, é necessário que se concentrem pesquisas objetivando a obtenção de genótipos mais eficientes no uso da água (EfUA), para que seja possível obter ganhos na produtividade agrícola de modo sustentável.

A EfUA é definida pela relação entre o rendimento da cultura e a sua evapotranspiração (ANYIA; HERZOG, 2004). A existência de variabilidade genética na EfUA é essencial para o processo de seleção de genótipos tolerantes à condição de baixa disponibilidade de água (GRANT et al., 1989; BOLOÑOS; EDMEADES, 1993ab) e tornou-se um dos principais objetivos dos programas de melhoramento em todo o mundo (CATTIVELI et al., 2008).

A tolerância à baixa disponibilidade de água tem controle multigênico (RODRIGUES et al., 2009) e é expressa em diferentes níveis organizacionais na planta, que incluem desde respostas celulares até modificações morfológicas (PASSIOURA, 1997). Isso faz que a compreensão das respostas das plantas a esse estresse se torne ainda mais complexo, uma vez que as respostas fisiológicas variam

com a severidade e duração do estresse, o estágio fenológico e o genótipo (SHAO et al., 2008).

Alguns mecanismos podem ser utilizados pelas plantas para tolerar o déficit hídrico, como o ajustamento osmótico (BLUM, 2005) e, ou, o aumento na concentração de fitormônios. O primeiro tem a função de manter a turgescência celular, permitindo que a planta mantenha a atividade fotossintética em níveis adequados. No entanto, o aumento na concentração de fitormônios como ABA contribui para diminuir o grau de abertura dos estômatos.

Segundo Price et al. (2002), Nour e Weibal (1978) e Bhan (1974), a arquitetura e o comprimento radicular também são caracteres que contribuem para o aumento na EfUA. Assim, a combinação de mecanismos que restringem a perda de água associada a raízes de maior comprimento pode ser decisiva para elevar a EfUA em condições de baixa disponibilidade de água (PINHEIRO et al., 2005).

Diversos trabalhos relatam a variabilidade genética para o desenvolvimento de raiz em milho e sua associação com a EfUA. Shiralipour e West (1984) e Ramadan et al. (1985), estudando respostas de milho no estágio vegetativo sob condições de limitação hídrica, observaram reduções na massa de matéria seca e na massa de matéria seca de raízes. Entretanto, Hoogenboom et al. (1987) notaram aumentos na massa seca das raízes em condição de estresse, indicando que o aumento na densidade radicular garante maior poder de penetração no perfil do solo, sendo essa uma adaptação morfológica importante para obtenção de água.

Wu e Cosgrove (2000) constataram que aumentos na razão sistema radical/parte aérea em plantas submetidas a condições de limitação hídrica garantem maior exploração do solo e maior EfUA.

Correlações entre caracteres podem ser utilizados em programas de melhoramento para a seleção indireta de características de baixa herdabilidade, como produtividade (CRUZ et al., 2004). Porém, a quantificação e interpretação da magnitude do coeficiente de correlação entre dois caracteres podem levar a equívocos de seleção, pois a alta correlação entre eles pode ser resultante do efeito de um terceiro caráter ou de outro grupo de caracteres (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Nesse sentido, Wright (1921) propôs a análise de trilha, que permite, a partir da padronização de caracteres e equações de regressão, estimar os efeitos diretos e indiretos das características explicativas sobre uma característica principal.

Esse tipo de análise proporciona conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos e justificam a existência de correlações positivas e negativas, de alta e baixa magnitudes, entre os caracteres estudados (SILVA et al., 2005; MIRANDA et al., 2005). Essa técnica vem sendo empregada no melhoramento de diversas espécies e auxiliando no desenvolvimento de métodos adequados de seleção (KUREK et al., 2001).

A metodologia da análise dialélica, entretanto, fornece ao melhorista estimativas dos parâmetros úteis para a seleção de genitores, hibridação e, conseqüentemente, entendimento dos efeitos gênicos envolvidos na herança dos caracteres (CRUZ et al., 2004; MIRANDA et al., 2008). Com essa finalidade, a metodologia de Griffing (1956) é mais utilizada, devido à sua generalidade, uma vez que os genitores podem ser clones, linhas puras, linhas endogâmicas e populações originadas de autofecundação ou de cruzamentos, permitindo obter informações a respeito da capacidade geral e específica de combinação.

A metodologia de Griffing (1956) permite determinar a capacidade específica (CEC) e a capacidade geral de combinação (CGC), sendo esta última utilizada para designar o comportamento médio de um genitor em todos os cruzamentos de que ele participa e que estão associados aos efeitos gênicos aditivos e às ações epistáticas do tipo aditivo x aditivo. Entretanto, a capacidade específica de combinação (CEC) e o desvio do desempenho médio de uma combinação híbrida particular em relação à média dos genitores envolvidos no cruzamento demonstram a importância dos efeitos gênicos não aditivos, resultantes da complementação gênica entre os genitores, possibilitando prever respostas de ganho genético com a exploração da heterose (BASTOS et al., 2003; MIRANDA et al., 2008).

O sucesso no desenvolvimento de linhagens-elite e cultivares de milho depende da seleção e identificação precisa de grupos heteróticos distintos (MELANI; CARENA, 2005).

A heterose é a expressão gênica manifestada quando se realiza o cruzamento entre duas linhagens endogâmicas contrastantes previamente selecionadas. O híbrido resultante desse cruzamento apresentará desempenho superior ao dos genitores, por possuir maior número de alelos favoráveis, garantindo a estes maiores capacidades de adaptação e, ou, competição, por possuírem um sistema radical mais vigoroso, precocidade, sistema metabólico mais eficiente, tolerância à seca, entre outros fatores, quando comparados com as linhagens.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar as relações entre caracteres radiculares, parâmetros fisiológicos e efeitos gênicos que controlam esses caracteres, em condições contrastantes de disponibilidade hídrica em milho para EfUA.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Todos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, localizada no Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Mello, pertencente ao Programa Milho® do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Foi realizado um ensaio preliminar para a determinação dos potenciais que representariam a condição ideal de disponibilidade de água e de estresse. Para isso foram avaliadas três linhagens de milho tropical em cinco disponibilidades hídricas, 80% da capacidade de campo (CC), 70% CC, 60% CC, 50% CC e 40% CC. Após as análises dos dados, elegeram-se 80% CC e 60% CC como os potenciais que representariam as condições ideais de disponibilidade hídrica e de estresse, respectivamente. O potencial de 60% (CC) foi o que causou redução de 50% na massa de matéria seca das plântulas, sendo considerado como ponto de estresse para a cultura do milho.

Com o objetivo de selecionar seis genitores contrastantes quanto à EfUA para condução de um dialelo, foram avaliadas 14 linhagens de milho tropical utilizando o delineamento inteiramente casualizado com duas repetições, em esquema fatorial (linhagens x potenciais hídricos). As plantas foram cultivadas em vasos opacos de 8 dm<sup>3</sup> de volume. O substrato utilizado foi formado pela mistura de solo do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na proporção de seis partes de solo para uma de areia. A adubação utilizada foi de acordo com a recomendada para a cultura do milho para a região. Todas as plantas foram conduzidas na condição ideal de disponibilidade hídrica (80% CC) até o estágio fenológico quatro folhas completamente desenvolvidas (V4). A partir desse estágio, submeteram-se duas das quatro repetições de cada linhagem ao potencial de 60% CC. Assim, duas repetições

foram mantidas na condição de controle e duas em estresse hídrico até o estágio fenológico de nove folhas completamente desenvolvidas (V9).

As plantas foram pesadas diariamente durante esse período, sempre no mesmo horário, 12 h 30 e, conforme a necessidade, adicionava-se água para a manutenção dos potenciais. Transcorrido esse período, mensuraram-se os caracteres massa de matéria seca total (MST), razão entre sistema radicular e parte aérea (SR/PA), área foliar específica (Afle) obtida pela razão entre a área da nona folha e a sua massa de matéria seca e incremento no diâmetro ( $\Delta D$ ) e na altura ( $\Delta H$ ), que é a diferença entre seu diâmetro e a altura antes e depois da imposição do estresse. Como os caracteres  $\Delta D$  e  $\Delta H$  foram obtidos antes e depois da imposição do estresse, esses parâmetros foram considerados os que representaram o comportamento das linhagens quando submetidas à limitação hídrica. Posteriormente, aplicou-se o índice de plasticidade fenotípica proposto por Valladares et al. (2000), em que:

$$IPF = \frac{((\textit{condição ideal de disponibilidade hídrica}) - (\textit{condição de estresse}))}{(\textit{condição ideal de disponibilidade hídrica})}$$

A partir dos resultados das 14 linhagens, foram selecionadas seis que apresentaram comportamentos divergentes, ou seja, as três mais e menos eficientes no uso da água. Com essas seis linhagens foi conduzido um dialelo completo, sem os recíprocos, para a obtenção das combinações híbridas nos meses de novembro a janeiro de 2010.

Com o objetivo de estudar a herança e relação entre os caracteres anteriormente mencionados, foi instalado um terceiro experimento. Utilizaram-se as combinações híbridas obtidas no dialelo e as linhagens genitoras. Os 21 genótipos foram cultivados em vasos opacos de 8 dm<sup>3</sup> de volume, utilizando-se o delineamento inteiramente ao acaso com sete repetições, em esquema fatorial (21 Genótipos x 2 potenciais hídricos).

Todas as repetições foram mantidas no potencial de 80% da CC até o estágio fenológico (V4), em que se fez o corte de três das sete repetições, para o cálculo dos seguintes caracteres: massa de matéria seca total (MST<sub>(v4)</sub>); diâmetro da planta (Dp<sub>(v4)</sub>); altura da planta (Hp<sub>(v4)</sub>); comprimento das raízes axiais (Raxi<sub>(v4)</sub>); e comprimento das raízes laterais (Rlat<sub>(v4)</sub>). As demais repetições foram realizadas na

condição ideal de disponibilidade hídrica (80% CC) e em condição de estresse (60% CC), com duas repetições em cada situação até o estágio fenológico V9.

No estágio fenológico de nove folhas completamente expandidas (V9) mensuraram-se massa de matéria seca total (MST<sub>(v9)</sub>); diâmetro da planta (Dp<sub>(v9)</sub>); altura da planta (Hp<sub>(v9)</sub>); comprimento das raízes axiais (Raxi<sub>(v9)</sub>); e comprimento das raízes laterais (Rlat<sub>(v9)</sub>), nas duas condições de disponibilidade hídrica, 80% CC e 60% CC. Dessa forma foi possível a determinação da taxa de crescimento relativo da massa seca total (T.MST); taxa de crescimento relativo da altura (T.Hp); taxa de crescimento relativo do diâmetro da planta (T.Dp); e taxa de crescimento relativo das raízes laterais e axiais, respectivamente (T.Rlat e T.Raxi).

$$\text{A taxa de crescimento relativo (T) foi estimada por: } T = \frac{((\ln V9) - (\ln V4))}{(\Delta t)} ;$$

em que *ln* é o logaritmo neperiano dos caracteres mensurados nos estádios fenológico de nove e quatro folhas completamente desenvolvidas; *ln V9* = caráter no estágio fenológico V9, em condições-controle (80% CC); e de estresse hídrico (60% CC); *ln V4* = caráter no estágio fenológico V4 (80% CC); e  $\Delta t$  = tempo transcorrido entre as medições.

As raízes foram separadas da parte aérea, lavadas e armazenadas em frascos com álcool 25%. O sistema radical foi avaliado por meio da análise de imagens com o software WinRHIZO Pro 2007a (Régent. Instr. Inc.) acoplado ao scanner EpsonXL 10.000 equipado com luz adicional (TPU). Foi utilizada a definição de 400 dpi, como descrito por Bouma et al. (2000).

O sistema radicular foi classificado em classes de diâmetro, segundo Traschsel et al. (2009), em que raízes com diâmetro igual ou inferior a 0,5 mm foram agrupadas em uma mesma classe e consideradas como raízes laterais, e as raízes que possuíam diâmetro superior a 0,5 mm foram consideradas como raízes axiais.

Os caracteres da parte aérea com área foliar total e área da nona folha foram mensurados por meio do medidor de área foliar, modelo WINDIAS. A área foliar específica (*Afle*) foi determinada pela relação entre a área foliar de nona folha e a sua massa de matéria seca e a razão de área foliar (RAF), pela relação entre área foliar total e massa de matéria seca total.

Após essas análises, o sistema radical, as folhas e o caule tiveram suas massas determinadas, após a secagem em estufa por 72 h, a 65 °C com circulação forçada de ar.

A eficiência no uso da água foi estimada por:

$$EfUA (g.l^{-1}) = \frac{(MST(V9) - MST(V4))}{(Lamina\ d'agua\ Aplicada)}$$

em que MST V9 = massa de matéria seca total no estágio fenológico V9, nas duas condições de disponibilidade hídrica (80% CC e 60% CC); MST V4 = massa de matéria seca total no estágio fenológico V4, somente no potencial de 80% CC; a lâmina d'água consiste no somatório volume de total de água, que foi adicionado diariamente desde o plantio até o corte do experimento e a colheita das plantas.

A transpiração diária foi estimada por:

$$Ed (mol/m^2) = \left( \frac{((PV - EV))}{AF * PM * (t)} \right) * 1000$$

em que Ed é a transpiração diária, ΔPV a diferença do peso dos vasos, Δt o intervalo de tempo entre as pesagens de aproximadamente de 24 h, AF a área foliar total de cada planta, PM o peso molecular da água e EV a quantidade de água perdida por evaporação.

Os dados foram submetidos a análises dialélicas simples e conjuntas das duas disponibilidades hídricas, utilizando-se o método proposto por Griffing (1956), considerando pais e F<sub>1</sub>s.

O modelo considerado para análise individual foi:  $y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$  e o considerado para a análise conjunta,  $y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{jk} + a_k + g_{aik} + g_{ajk} + a_{sijk} + e_{ij}$ , em que  $y_{ij}$  é o valor médio do híbrido  $ij$ ;  $\mu$  a média geral;  $g_i$  e  $g_j$  os efeitos da capacidade geral de combinação dos pais de ordens i e j, respectivamente;  $s_{ij}$  os efeitos da capacidade específica de combinação nos cruzamentos entre os pais de ordem  $i$  e  $j$ ;  $e_{ij}$ , o erro experimental médio;  $a_k$  o efeito do ambiente;  $k$ ;  $g_{aik}$  e  $g_{ajk}$  os efeitos da interação entre a capacidade geral de combinação (CGC) dos pais de ordens i e j, respectivamente, com os ambientes  $k$ ; e  $a_{sijk}$  o efeito da interação entre a capacidade específica de combinação (CEC) entre os pais  $i$  e  $j$  e o ambiente  $k$ .

As correlações fenotípicas ( $r_f$ ) entre os caracteres do sistema radicular e EfUA foram estimadas e testadas a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t. Em seguida, foi realizada a análise de multicolinearidade da matriz de correlação dos caracteres independentes, com base no número de condição (NC), que é a relação entre o maior e o menor autovalor da matriz (MONTGOMERY; PECK, 1981). Posteriormente, foi realizado o desdobramento das correlações fenotípicas por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1921), nos dois níveis de disponibilidade hídrica, em efeitos diretos e indiretos dos caracteres: taxa de crescimento relativo em massa de matéria seca total (T.MST); relação entre sistema radicular e parte aérea (SR/PA); razão foliar total (RAF); área foliar específica (A<sub>fl</sub>e); espaçamento entre nós (EEN); segurança hidráulica (SH); taxa de crescimento relativo de raízes laterais (T. R<sub>lat</sub>); taxa de crescimento relativo de raízes axiais (T.R<sub>axi</sub>); e transpiração (E) (caracteres explicativos) sobre o caráter eficiência no uso da água (EfUA) (caráter dependente), utilizando-se o Programa Genes (CRUZ, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao considerar os resultados das análises de variância individuais, no controle apenas o caráter área foliar específica ( $Afl_e$ ) não apresentou efeito significativo (Tabela 1), o que evidenciou que, nos demais caracteres, massa de matéria seca total (MST), razão entre sistema radicular e parte aérea (SR/PA), incremento no diâmetro ( $\Delta D$ ) e incremento em altura ( $\Delta H$ ), houve respostas diferenciadas no que se refere ao desempenho das linhagens, conforme a significância apresentada. Segundo Goss (1973), a razão SR/PA expressa quanto o desenvolvimento do sistema radical afeta o da parte aérea. Aumentos significativos nesse mesmo caráter foram relatados por Adda et al. (2005) em trigo, Sahnoune et al. (2004) em cevada e Grzesiak et al. (1999) em milho, durante os ciclos de seleção.

Na condição de estresse hídrico, somente a razão entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA) apresentou efeito significativo, o que demonstrou haver comportamento diferenciado entre as linhagens para essa característica (Tabela 1). Segundo Hsiao (1973), o aumento desse caráter na condição de estresse é devido à maior sensibilidade da parte aérea. Em condições de estresse hídrico, as plantas reduzem o tamanho de suas folhas ou, mesmo, aumentam a taxa de abscisão, reduzindo, assim, as perdas de vapor d'água, possibilitando, dessa forma, maior alocação de biomassa para o sistema radicular, o que garante a essas plantas maior exploração do perfil e volume do solo.

Kramer (1974) concluiu que maior profundidade, distribuição e grau de ramificação das raízes são fatores de extrema importância na determinação de genótipos mais eficientes na utilização de água, entre as plantas cultivadas.

A análise de variância conjunta mostrou diferenças significativas entre as linhagens, ambientes e na interação linhagens x ambientes somente quanto aos caracteres SR/PA e  $\Delta H$  (Tabela 2). Isso indica a possibilidade de se praticar a seleção

de linhagens para ambientes contrastantes de disponibilidade de água, para a formação de população e, ou, obtenção de combinações híbridas.

Na condição de estresse hídrico, observou-se que para o caráter  $\Delta H$  houve redução da média em relação à condição do controle (Tabela 3), o que demonstrou que o estresse hídrico diminuiu o acúmulo de biomassa, limitando, desse modo, o desenvolvimento das plantas. Contudo, pôde-se observar que as linhagens 1, 3, 6, 7, 10 e 14 apresentaram médias superiores em estresse hídrico quando comparadas com o controle. Isso demonstra a possibilidade de seleção de linhagens mais eficientes no uso da água, em ambientes com limitação hídrica.

No caráter SR/PA, observou-se seu aumento na condição de estresse hídrico, o que indica maior investimento na formação do sistema radical com raízes mais compridas em estresse, para garantir a maior exploração do solo (Tabela 3). Entretanto, as linhagens 3, 4, 7, 10 e 11 apresentaram maior investimento no controle, evidenciando-se que, quando não existe limitação de recurso hídrico, há formação de estruturas mais vigorosas de sustentação e captação de radiação solar para conversão de  $CO_2$  em compostos de carbono.

Apesar de os caracteres SR/PA e  $\Delta H$  terem apresentado efeitos significativos, neste trabalho somente o caráter  $\Delta H$  foi utilizado para a seleção das linhagens com base no índice de plasticidade fenotípica proposto por Valladares et al. (2000). Vale salientar que para calcular esse índice foram utilizadas mensurações, antes, no estágio fenológico de quatro folhas completamente expandidas (V4), apenas no potencial de 80% CC e, depois, no estágio fenológico de nove folhas completamente expandidas (V9), nas duas condições de disponibilidade hídrica (80% CC e 60% CC), em uma mesma linhagem. Assim, esse caráter demonstrou o real comportamento das linhagens diante da imposição do estresse, haja vista que a aferição do sistema radicular, por ser um método destrutivo, só foi realizada no final do experimento.

Após a obtenção do índice de plasticidade de cada linhagem, tendo como base o caráter  $\Delta H$ , observou-se haver efeito significativo, pelo teste F a 5% de probabilidade, das linhagens, indicando a existência de variabilidade e possibilidade de seleção com base nesse índice de seleção.

Com a utilização desse índice, foi possível a formação de grupos, sendo as linhagens que apresentaram comportamento contrastante para EfUA selecionadas, ou

seja, as linhagens 13, 9 e 12 e 3, 6 e 7, como as mais e menos eficientes, respectivamente (Tabela 4).

Nas análises dialélicas individuais, os caracteres taxa de crescimento relativo de biomassa (T.MST), razão entre sistema radicular e parte aérea (SR/PA), segurança hidráulica (SH), taxa de crescimento relativo de raízes laterais ( $T.R_{lat}$ ) e taxa de crescimento relativo de raízes axiais ( $T.R_{axi}$ ) apresentaram efeitos significativos no comportamento dos genótipos nas duas condições de disponibilidade hídrica (Tabelas 5 e 6). A significância obtida pela análise dos dados indicou a possibilidade de serem obtidos ganhos genéticos em populações melhoradas, por meio de ciclos de seleção em alta e baixa disponibilidades hídricas.

Os caracteres, taxa de crescimento relativo de biomassa (T.MST), espaçamento entre nós (EEN), segurança hidráulica (SH) e transpiração (E) apresentaram suas médias com valores inferiores em estresse hídrico (Tabelas 5, 6 e 7). Esses resultados demonstram que o estresse hídrico interferiu nos processos fisiológicos das plantas, limitando o acúmulo de biomassa e desenvolvimento das plantas (BERGAMASCHI et al., 2007).

Esses resultados estão de acordo com os observados por Pinho (1992), que, trabalhando com cultivares de sorgo e milho em condições de estresse hídrico, encontrou reduções no acúmulo de biomassa. O déficit hídrico limita o acúmulo de biomassa, por reduzir o grau de abertura dos estômatos, que segundo Glenn et al. (2000) é importante mecanismo de defesa contra a dessecação.

Na condição de estresse hídrico, observou-se que os valores das médias dos caracteres que compõem o sistema radicular, a taxa de crescimento relativo das raízes laterais ( $T.R_{lat}$ ), a taxa de crescimento relativo das raízes axiais ( $T.R_{axi}$ ) e a razão entre sistema radicular e parte aérea (SR/PA) (Tabelas 5 e 6) apresentaram médias superiores, demonstrando haver maior investimento na formação de amplo sistema radicular.

Estudos indicam que o maior desenvolvimento radicular garante maior exploração do solo (LUDLOW; SANTAMARIA et al., 1990). Esses autores, trabalhando com a cultura do sorgo em condições de limitação hídrica, observaram que genótipos mais eficientes no uso da água possuem maior comprimento de raiz. Babu et al. (2003), que observaram correlação positiva entre sistemas radiculares mais desenvolvidos e a produção de grãos.

Ao comparar as médias dos caracteres taxa de crescimento relativo de raízes laterais ( $T.R_{lat}$ ) e taxa de crescimento relativo de raízes axiais ( $T.R_{axi}$ ), notou-se que há maior incremento na formação das raízes laterais em detrimento das axiais (Tabela 6). Essas raízes estão envolvidas na exploração em curta distância de água e nutrientes, ao contrário das axiais, que exploram a longa distância (EISSENSTAT, 1992; McCULLY, 1999).

Os coeficientes de variação experimentais (CV%) foram elevados na maioria dos caracteres, mas dentro do esperado para estudos que envolvem estresse abiótico. Resultados semelhantes foram encontrados por Banzinger et al. (1997). Tal comportamento se deve ao fato de a média obtida na condição de estresse ser inferior em relação à condição ideal de disponibilidade hídrica e de o quadrado médio do resíduo ser maior.

Considerando os efeitos gênicos, observou-se que os caracteres T.MST, SR/PA, SH,  $T.R_{lat}$  e  $T.R_{axi}$  demonstraram efeitos significativos tanto para a capacidade geral de combinação (CGC) quanto para a capacidade específica de combinação (CEC), nas duas condições de disponibilidade hídrica.

A exceção ocorreu com os caracteres SR/PA e  $T.R_{axi}$ , que na condição de controle não apresentaram efeitos significativos para CGC e CEC, respectivamente. O caráter  $T.R_{lat}$  também não demonstrou efeito significativo de CEC na condição de estresse hídrico. Todavia, percebeu-se que as magnitudes dos efeitos da CGC foram superiores aos da CEC (Tabelas 5 e 6), em estresse hídrico, com relação aos caracteres T.MST, SH,  $T.R_{lat}$  e  $T.R_{axi}$ , demonstrando a importância do conhecimento *per se* das linhagens.

De acordo com Viana, linhagens com elevada CGC podem ser utilizadas em programas de melhoramento, tendo em vista que, se estas possuem alta concentração de alelos favoráveis, a possibilidade de se obterem híbridos de alto desempenho é maior. Desse modo, as linhagens genitoras 1, 2 e 5 (Tabelas 10 e 11) podem ser consideradas por apresentarem elevada CGC e por terem formado combinações híbridas com as demais linhagens genitoras, com satisfatório desempenho. Essa afirmativa se reitera quando se analisa a razão entre os efeitos gênicos não aditivos e os efeitos aditivos. Nota-se que a heterose se expressou significativamente na condição de estresse hídrico. Assim, seria possível obter híbridos superiores mesmo em condições de limitado recurso hídrico.

Para o caráter SR/PA, observou-se efeito significativo nas duas fontes, CGC e CEC, em estresse hídrico (Tabela 5). Contudo, os efeitos devidos aos desvios de dominância demonstraram maior magnitude, indicando que a seleção também pode ser praticada com base no desempenho das combinações híbridas. Destas, as que se mostraram superiores foram 4x3, 3x5 e 5x6. Entretanto, os genitores 4 e 2 (Tabela 10) tiveram as maiores CGC, indicando que esses podem ser considerados em programas de melhoramento que visam a variedades de polinização aberta. Quanto ao incremento em altura (T.Hp), houve efeito significativo somente na CGC.

O caráter área foliar específica (Afle) apresentou efeito significativo em CGC somente na condição de controle (Tabela 6), sendo as linhagens tidas como superiores para esse caráter as genitoras 2 e 4 (Tabela 11).

Já o caráter transpiração (E) demonstrou efeito significativo tanto para CEC quanto para CGC, na condição de estresse hídrico (Tabela 7), entretanto a magnitude dos efeitos devidos aos desvios de dominância foi maior. Desse modo, para o caráter E deverão ser consideradas as linhagens genitoras 1 e 6, pois foram as que apresentaram as menores taxas de transpiração (Tabela 12).

Deve-se, no entanto, buscar por genótipos que, além de apresentarem baixas taxas de transpiração, devem possuir a capacidade de acumular biomassa de modo satisfatório. Assim, as linhagens genitoras 2 e 5 foram as consideradas superiores, quanto ao caráter transpiração (E) (Tabela 12).

Ao observar os valores da CEC das combinações híbridas (CH), nota-se que a CH 2x3 apresentou maior efeito para acúmulo de biomassa e menor no sentido de diminuir a transpiração (Tabelas 10 e 12), reiterando que essa combinação híbrida deve ser considerada em programas de melhoramento na condição de limitação hídrica.

A razão área foliar total (RAF) apresentou significância somente para a CEC (Tabela 5), na condição de controle. Para esse caráter, a combinação híbrida CH 1x6 foi a que demonstrou maior CEC. Contudo, analisando essa combinação híbrida, notou-se que para o caráter T.MST, na mesma condição, essa combinação apresentou baixa CEC para o incremento de biomassa (Tabela 10).

Esse comportamento é indicativo de que, mesmo em condições em que não há restrição hídrica, há a necessidade de se concentrarem esforços na busca de genótipos que invistam menos na formação de área foliar total, de modo a minimizar as perdas por transpiração excessiva, maximizando a conversão de CO<sub>2</sub> em

compostos de carbono. Desse modo, as combinações CH 4x5, CH 4x6 e CH 5x6, (Tabela 10) foram consideradas as mais adequadas para a maximização do incremento de biomassa e minimização da área foliar total, de modo a aumentar a interceptação da radiação solar e, ao mesmo tempo, evitar perdas excessivas de água, mesmo em condições não limitantes de disponibilidade hídrica. Em estresse não houve efeito significativo em nenhuma das fontes de variação.

Com relação ao caráter espaçamento entre nós, observou-se comportamento contrastante para a capacidade geral e específica de combinação (Tabela 6). No controle houve efeito significativo somente para a CGC. Dessa forma, a seleção poderá ser praticada com base no conhecimento *per se* das linhagens genitoras. A princípio, selecionariam as linhagens genitoras com maior CGC 5 e 1 (Tabela 11), porém, quando se observaram esses mesmos valores para o incremento da biomassa (T.MST), notou-se que o genitor 1 tinha o menor efeito sobre esse caráter; ao contrário da linhagem 5, que apresentou elevado valor para o acúmulo de biomassa, sendo somente esta considerada.

Já na condição de limitação hídrica houve significância para CEC. Dessa forma, a seleção terá que ser feita com base nas combinações híbridas.

O caráter T.Hp apresentou efeito significativo somente para CGC na condição de estresse hídrico. Assim, a seleção terá que ser praticada nas linhagens genitoras de menor CGC, ou seja, no sentido de reduzir a altura das plantas. Com isso, as linhagens 2 e 5 seriam as mais indicadas (Tabela 11), pois, ao mesmo tempo que se tem a redução na altura das plantas, há maior incremento na biomassa total.

Pela análise conjunta, somente os caracteres EEN e SH apresentaram interação com o ambiente (Tabela 8). O caráter EEN teve interação significativa da CEC com o ambiente, indicando que em condições contrastantes de disponibilidade hídrica a seleção terá que ser feita considerando o desempenho das combinações híbridas, pois o referido caracter mostrara comportamentos distintos perante as alterações de disponibilidade hídrica.

Para o caráter SH houve interação com o ambiente nas três fontes de variação, demonstrando que os genótipos responderam, de modo diferenciado, as mudanças nos níveis de disponibilidade hídrica, enquanto para esse caráter a seleção deve ser feita considerando-se tanto o desempenho dos híbridos quanto das linhagens genitoras.

Os caracteres T.MST, T.Dp, T.Hp, RAF, Afl<sub>e</sub>, SH, Ci/Ca e E não apresentaram interação Trat x Amb., CGC x Amb. e CEC x Amb. (Tabelas 9 e 10).

Em estresse hídrico, os caracteres T.MST, T.Hp, SR/PA, SH, T.R<sub>lat</sub> e T.R<sub>axi</sub> tiveram predominância dos efeitos gênicos não aditivos. Assim, as combinações híbridas com desempenho superior foram 2x5, 2x6 e 3x6 (Tabelas 10 e 11). Vale ressaltar que as linhagens genitoras apresentaram boa complementaridade, ocorrendo recuperação da heterose nas combinações híbridas. Desse modo, recomenda-se o cruzamento entre as linhagens genitoras 2x5, para ser o mais promissor na obtenção de híbridos mais eficientes no uso da água.

O conhecimento do grau de associação entre caracteres, por meio do estudo das correlações, permite a identificação daqueles que possam ser utilizados como critérios para a seleção indireta em programas de melhoramento, principalmente quando o caráter de interesse possui baixa herdabilidade ou é de difícil mensuração (CRUZ et al., 2004). Dessa forma, quanto maior for o grau de associação entre esses caracteres, mais efetiva será a seleção indireta, considerando-se esse caráter correlacionado.

Considerando os resultados dos desdobramentos das correlações em efeitos diretos e indiretos, pela análise de trilha identificou-se que os caracteres espaçamento entre nós (EEN (0,27)), taxa de crescimento relativo de biomassa (T.MST (0,26)), segurança hidráulica (SH (0,56)) e razão área foliar (RAF (-0,45)), na condição ideal de disponibilidade hídrica e taxa de crescimento relativo de biomassa (T.MST (-0,22)), área foliar específica (Afl<sub>e</sub> (-0,18)), razão área foliar (RAF (-0,24)) e transpiração (E (-0,36)) em estresse, foram os que apresentaram os maiores efeitos sobre a eficiência no uso da água (EfUA) (Tabela 13). Todavia, à exceção do caráter SH, no controle todos os demais caracteres avaliados demonstraram magnitudes inferiores ao efeito residual, tanto no controle (0,52) quanto no estresse (0,74).

Esses resultados indicam que somente o caráter SH, no controle, pode ser utilizado na seleção indireta para obtenção de linhagens genitoras eficiente no uso da água. Contudo, na condição de estresse hídrico não há possibilidade de realização de seleção indireta para EfUA a partir dos dados avaliados neste estudo, uma vez que os efeitos diretos foram inferiores ao efeito residual.

#### **4. CONCLUSÕES**

Diante dos resultados, pode se concluir que:

1. Há variabilidade genética de EfUA em milho, a qual é herdável.
2. Há predominância dos efeitos gênicos não aditivos sobre os caracteres fisiológicos e radiculares, e os cultivares híbridos são adequados para maiores produtividades em estresse de seca.
3. Em condições de estresse hídrico, não há possibilidade de seleção indireta de caracteres fisiológicos e radiculares para EfUA em milho.
4. Em condições ideais de disponibilidade hídrica, a seleção para EfUA pode ser feita de forma indireta, via segurança hidráulica, que é a relação entre a área foliar total e o diâmetro do caule.

## 5. REFERÊNCIAS

ADDA, A.; SAHNOUNE, M.; KAID-HARCH, M.; MERAH, O. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. **Comptes Rendus Biologies**, v. 328, p. 918-927, 2005.

ANYIA, A. O.; HERZOG, H. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. **Eur. J. Agron.**, v. 20, p. 327-339, 2004.

BABU, R. C.; NGUYEN, B. D.; CHAMARERK, V.; SHANMUGASUNDARAM, P.; CHEZHIAN, P.; JEYAPRAKASH, P.; GANESH, S. K.; PALCHAMY, A.; SADASIVAM, S.; SARKARUNG, S.; WADE, L. J.; NGUYEN, H. T. Genetic analysis of drought resistance in rice by molecular markers: association between secondary traits and field performance. **Crop Science**, v. 43, p. 1457-1469, 2003.

BÄNZIGER, M.; BETRAN, F. J.; LAFFITE, H. R. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. **Crop Science**, v. 37, n. 4, p. 1103-1109, 1997.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D.; BURNQUIST, W. L.; RESSIANI, J. A.; SILVA, F. L. da. Análise dialélica em clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 199-206, 2003.

BERGAMASCHI, H. et al. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 243-249, 2006.

BHAN, S. H.; SINGH, G.; SING, A. Note on Blackman, J. Breeding for improved grain quality and yield today in Better British Wheat London, JLLK. **Agricultural Research Council**, p. 12-30, 1983, 1974.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Aust. J. Agric. Res.**, v. 56, p. 1159-1168, 2005.

BOTA, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? **New Phytologist**, v. 162, p. 671-681, 2004.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass, and radiation utilization. **Field Crops Res.**, v. 31, p. 233-52, 1993a.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. **Field Crops Res.**, v. 31, p. 253-68, 1993b.

BOUMA, T. J. et al. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, n. 218, p. 185-196, 2000.

CATTIVELLI, L. F.; RIZZA, F. W.; BADECK, E.; MAZZUCOTELLI, A. N.; MASTRANGELO, E.; FRANCA, C.; MARÈ, A.; TONDELLI and A. M. STANCA. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Res.**, v. 105, p. 1-14, 2008.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2. Viçosa, MG: Editora UFV, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. Cap. VII, p. 223-375,

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 394 p.

EDMEADES, G. O.; BOLAÑOS, J.; CHAPMAN, S. C.; LAFITTE, H. R.; BÄNZIGER, M. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations:

- I. Gains in biomass, grain yield and harvest index. **Crop Science**, v. 39, p. 1306-1315, 1999.
- EISSENSTAT, D. M. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. **Journal of Plant Nutrition**, p. 15, p. 763-782, 1992.
- GLEEN, D. M.; SCORZA, R.; BASSETT, C. Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach. **Hortscience**, v. 35, n. 7, p. 1241-43, 2000.
- GOSS, J. A. **Physiology of plants and their cells**. New York: Pergamon, 1973. 457 p.
- GRANT, R. F.; JACKSON, B. S.; KINIRY, J. R.; ARKIN, G. F. Water deficit timing effects on yield components in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 61-65, 1989.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, p. 463-493, 1956.
- GRZESIAK, S.; HURA, T.; GRZESIAK, M. T.; PIENSKOWSKI, S. The impact of limited soil moisture and waterlogging stress conditions on morphophysiological and anatomical roots traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids of different drought tolerance. **Acta Physiology Plant**, v. 21, p. 305-315, 1999.
- HSAIO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 519-70, 1973.
- HOOGCNBOOM, G.; HUCK, M. G.; M.PETERSON, C. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, v. 79, p. 607-614, 1987.
- KRAMER, P. J. Fifty years of progress in water relations research. **Plant Physiology**, v. 54, p. 463-471, 1974.
- LUDLOW, M. M.; SANTAMARIA, J. M.; FUKAI, S. Contribution of osmotic adjustment to grain-yield in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. 2. Water-stress after anthesis. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 41, p. 67-78, 1990.
- MCCULLY, M. E. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 695-718, 1999.

- MELANI, M. D.; CARENA, M. J. Alternative maize heterotic patterns for the northern Corn Belt. **Crop Sci.**, v. 45, p. 2186-2194, 2005.
- MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; VAZ DE MELO, A.; SANTOS, I. C. Genetic variability and heterotic groups of Brazilian popcorn populations. **Euphytica**, v. 162, n. 3, p. 431-440, 2008.
- MIRANDA, G. V. et al. Selection of discrepant maize genotypes for nitrogen use efficiency by a chlorophyll meter. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 451-459, 2005.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 504 p.
- NOUR, M. A.; WEIBAL, D. E. **Evaluation of root characteristics in grain sorghum**. [S.l. : s.n.], 1978.
- PASSIOURA, J. B. Drought and drought tolerance. In: BELHASSEN, E. (Ed.). **Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p. 1-5.
- PINHEIRO, H. A.; DaMATTa, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with root depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**. 2005. (no prelo).
- PINHO, J. L. N. de. **Étude comparé des mecanismes physiologiques de la résistsnce à La sécheresse de cultivares de mil (*Pennisetum americanum* L.) et de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] sensibles ou resistant**. 1992. 158 f. Tese (Doutorado) – Université Paris, Paris VII, 1992.
- PRICE, A. H.; STEELE, K. A.; MOORE, B. J.; JONES, R. G. W. Upland rice grown in soil-filled chambers and exposed to contrasting water-deficit regimes II. Mapping quantitative trait loci for root morphology and distribution. **Field Crops Res.**, v. 76, p. 25-43, 2002.
- RAMADAN, H. A.; AL-NIEMI, S. N.; HAMDAN, T. T. Water stress, soil type and phosphorus effects on corn and soybean, 1. Effect; on growth. **Iraqi J. Agri. Sci.**, "Sanco" 3 ", p. 1237-1144, 1985.

- RODRIGUES, F. A.; LAIA, M. L.; ZINGARETTI, S. M. Analysis of gene expression profiles under water stress in tolerant and sensitive sugarcane plants. **Plant Science**, v. 176, p. 286-302, 2009.
- SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.
- SHIRALIPOUR, A.; WEST, S. H. Inhibition of specific protein synthesis in maize seedlings during water stress. **Proc. Soil and Crop Sci. Soc.**, Florida, v. 43, p. 102-106, 1984.
- SAHNOUNE, M.; ADDA, A.; SOUALEM, S.; KAID-HARCH, M.; MERAH, O. Early water deficit effect on seminal root barley. **Comptes Rendus. Biologies**, v. 327, p. 389-398, 2004.
- SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F.; NEDEL, J. L.; CRUZ, P. J.; SILVA, J. A. G.; CAETANO, V. R.; HARTWIG, I.; SOUSA, C. S. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. **Bragantia**, v. 64, p. 191-196, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 719p.
- TRACHSEL, S. et al. Mapping of QTLs for lateral and axile root growth of tropical maize. **Theoretical and Applied Genetics**, n. 119, p. 1413-1424, 2009.
- VALLADARES, F.; WRIGHT, S. J.; LASSO, E.; KITAJIMA, K.; PEARCY, R. W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a panamanian rainforest, Ecological Society of America, **Ecology**, n. 81, v. 7, p. 1925-1936, 2000.
- VIANA, J. M. S. Heterosis and combining ability analyses from the partial diallel. **Bragantia**, v. 66, p. 641-647, 2007.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, n. 3, p. 557-585, 1921.
- WU, Y.; COSGROVE, D. J. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 1543-1553, 2000.

## **6. TABELAS**

Tabela 1 - Resumo das análises de variância individuais dos caracteres massa de matéria seca total (MST), razão superfície radicular / parte aérea (SR/PA), incremento em diâmetro ( $\Delta D$ ), incremento em altura ( $\Delta H$ ) e área foliar específica (Afle) de 14 linhagens endogâmicas de milho tropical sob duas condições de disponibilidade hídrica, 80% da capacidade de campo (CC), condição de controle (SE) e 60% CC, condição de estresse (CE), Viçosa-MG

| FV        | GL | MST                 |                      | SR/PA              |                    | $\Delta D$         |                     | $\Delta H$          |                     | Afle               |                    |
|-----------|----|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|           |    | Estresse            | Controle             | Estresse           | Controle           | Estresse           | Controle            | Estresse            | Controle            | Estresse           | Controle           |
|           |    | 60%CC               | 80%CC                | 60%CC              | 80%CC              | 60%CC              | 80%CC               | 60%CC               | 80%CC               | 60%CC              | 80%CC              |
| Linhagens | 13 | 48,78 <sup>ns</sup> | 143,54 <sup>**</sup> | 0,002 <sup>*</sup> | 0,001 <sup>*</sup> | 5,59 <sup>ns</sup> | 21,53 <sup>**</sup> | 0,007 <sup>ns</sup> | 0,032 <sup>**</sup> | 0,08 <sup>ns</sup> | 1,24 <sup>ns</sup> |
| Resíduo   | 28 | 26,92               | 18,97                | 0,001              | 0,001              | 5,89               | 6,88                | 0,003               | 0,004               | 0,11               | 0,99               |
| Média     |    | 18,39               | 17,78                | 0,13               | 0,12               | 14,26              | 13,31               | 1,42                | 1,46                | 1,24               | 1,51               |
| CV(%)     |    | 28,21               | 24,50                | 24,33              | 26,35              | 17,02              | 19,71               | 3,86                | 4,33                | 26,75              | 65,89              |

<sup>ns,\* c \*\*</sup> não significativo e significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 2 - Resumo das análises das variâncias conjuntas dos caracteres massa de matéria seca total (MST), razão superfície radicular / parte aérea (SR/PA), incremento em diâmetro ( $\Delta D$ ), incremento em altura ( $\Delta H$ ) e área foliar específica (Afle) de 14 linhagens endogâmicas de milho tropical sob duas condições de disponibilidade hídrica (ambientes), 80% da capacidade de campo (CC), condição de controle (SE) e 60% CC, condição de estresse (CE), Viçosa-MG

| FV        | GL | MST                 | SR/PA   | $\Delta D$          | $\Delta H$ | Afle               |
|-----------|----|---------------------|---------|---------------------|------------|--------------------|
| Linhagens | 13 | 153,62**            | 0,002*  | 19,66**             | 0,03**     | 0,75 <sup>ns</sup> |
| Ambientes | 1  | 15,23 <sup>ns</sup> | 0,004*  | 22,71 <sup>ns</sup> | 0,03**     | 1,66 <sup>ns</sup> |
| L x A     | 13 | 37,20 <sup>ns</sup> | 0,002** | 6,21 <sup>ns</sup>  | 0,01**     | 0,59 <sup>ns</sup> |
| Resíduo   | 56 | 22,95               | 0,001   | 6,39                | 0,004      | 0,56               |
| Média     |    | 18,09               | 0,12    | 13,78               | 1,44       | 1,38               |
| CV(%)     |    | 26,5                | 26,4    | 18,3                | 4,4        | 54,2               |

<sup>ns,\* e \*\*</sup> não significativo e significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 3 - Teste de médias dos caracteres razão entre o sistema radicular / parte aérea (SR/PA) e variação em altura ( $\Delta H$ ) de 14 linhagens endogâmicas de milho tropical sob duas condições de disponibilidade hídrica, 80% da capacidade de campo (CC), condição de controle e 60% (CC), condição de estresse, Viçosa-MG

| Linhagem | SR/PA    |          | $\Delta H$ |          |
|----------|----------|----------|------------|----------|
|          | Controle | Estresse | Controle   | Estresse |
|          | 80% CC   | 60% CC   | 80% CC     | 60% CC   |
| 1        | 0,11abcd | 0,20a    | 1,40ed     | 1,43abc  |
| 2        | 0,12abcd | 0,15ab   | 1,36def    | 1,37c    |
| 3        | 0,15a    | 0,13bc   | 1,38def    | 1,43abc  |
| 4        | 0,13ac   | 0,08c    | 1,47bcd    | 1,41abc  |
| 5        | 0,10bcd  | 0,14bc   | 1,58a      | 1,51a    |
| 6        | 0,08d    | 0,11bc   | 1,44ed     | 1,50a    |
| 7        | 0,11abcd | 0,10bc   | 1,29f      | 1,38bc   |
| 8        | 0,10abcd | 0,13bc   | 1,60a      | 1,42abc  |
| 9        | 0,11abcd | 0,13bc   | 1,58ab     | 1,49ab   |
| 10       | 0,15a    | 0,11bc   | 1,44ed     | 1,45abc  |
| 11       | 0,14a    | 0,13bc   | 1,59a      | 1,45abc  |
| 12       | 0,12abcd | 0,16ab   | 1,46cd     | 1,40abc  |
| 13       | 0,09cd   | 0,14bc   | 1,56abd    | 1,37c    |
| 14       | 0,11abcd | 0,12bc   | 1,33ef     | 1,36c    |

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, na coluna.

Tabela 4 - Teste de médias do índice de plasticidade do caráter incremento em altura ( $\Delta H$ ) de 14 linhagens endogâmicas de milho tropical, Viçosa-MG

| Linhagem | Média $i\Delta H$ | Grupo |
|----------|-------------------|-------|
| 13       | 0,6               | a     |
| 9        | 0,59              | ab    |
| 12       | 0,57              | ab    |
| 8        | 0,56              | abc   |
| 5        | 0,55              | abcd  |
| 10       | 0,54              | abcde |
| 4        | 0,54              | abcde |
| 11       | 0,53              | abcde |
| 1        | 0,53              | abcde |
| 14       | 0,51              | abcde |
| 2        | 0,49              | bcde  |
| 3        | 0,46              | cde   |
| 6        | 0,45              | ed    |
| 7        | 0,44              | e     |

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 5 - Resumo das análises individuais dos caracteres taxa de crescimento relativo da biomassa total (T. MST), taxa de crescimento relativo do diâmetro (T. Dp), taxa de crescimento relativo em altura (T. Hp), razão entre sistema radicular/parte aérea (SR/PA) e razão área foliar total (RAF) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

|                                     |    | T. MST    |           | T. Dp                |                        | T. Hp                |                       | SR/PA                |            | RAF.                 |                       |
|-------------------------------------|----|-----------|-----------|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------|----------------------|-----------------------|
|                                     |    | Controle  | Estresse  | Controle             | Estresse               | Controle             | Estresse              | Controle             | Estresse   | Controle             | Estresse              |
| FV                                  | GL | 80% CC    | 60% CC    | 80% CC               | 60% CC                 | 80% CC               | 60% CC                | 80% CC               | 60% CC     | 80% CC               | 60% CC                |
| TRAT                                | 20 | 0,0249**  | 0,00215** | 0,0052 <sup>ns</sup> | 0,00007 <sup>ns</sup>  | 0,0002 <sup>ns</sup> | 0,00013*              | 0,00077*             | 0,00085**  | 0,0000 <sup>ns</sup> | -0,0000 <sup>ns</sup> |
| CEC                                 | 5  | 0,00152*  | 0,00035** | 0,0002 <sup>ns</sup> | 0,000085 <sup>ns</sup> | 0,0002 <sup>ns</sup> | 0,00012 <sup>ns</sup> | 0,00145**            | 0,00176**  | 0,00002*             | 0,0000 <sup>ns</sup>  |
| CGC                                 | 15 | 0,00281** | 0,00275** | 0,0006 <sup>ns</sup> | 0,000067 <sup>ns</sup> | 0,0002 <sup>ns</sup> | 0,00013*              | 0,0005 <sup>ns</sup> | 0,000547** | 0,0000 <sup>ns</sup> | -0,0000 <sup>ns</sup> |
| RESÍDUO                             | 21 | 0,001     | 0,000     | 0,000                | 0,000                  | 0,000                | 0,000                 | 0,000                | 0,000      | 0,000                | 0,000                 |
| MÉDIA                               |    | 0,120     | 0,115     | 0,083                | 0,076                  | 0,038                | 0,037                 | 0,062                | 0,080      | 0,011                | 0,012                 |
| CV                                  |    | 19,675    | 6,064     | 25,654               | 15,236                 | 32,790               | 19,916                | 30,420               | 16,970     | 22,077               | 39,878                |
| (Φ) <sub>A</sub>                    |    | 0,001     | 0,000     | 0,000                | 0,000                  | 0,000                | 0,000                 | 0,000                | 0,000      | 0,000                | 0,000                 |
| (Φ) <sub>D</sub>                    |    | 0,001     | 0,001     | 0,000                | 0,000                  | 0,000                | 0,000                 | 0,000                | 0,000      | 0,000                | 0,000                 |
| (Φ) <sub>D</sub> / (Φ) <sub>A</sub> |    | 1,878     | 75,111    | -6,071               | 11,333                 | 6,000                | 9,750                 | 1,353                | 1,857      | 0,000                | 0,000                 |

Significativo a 1% (\*\*) e 5% de probabilidade (\*) e não significativo a 5% de probabilidade (ns), pelo teste F.

Tabela 6 - Resumo das análises individuais dos caracteres área foliar específica (Afle), espaçamentos entre nós (EEN), segurança hidráulica (SH), taxa de crescimento relativo das raízes laterais (T. Rlat) e taxa de crescimento relativo das raízes axiais (T. Raxi) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

|                                     | FV | Afle     |                       | EEN                 |                     | SH       |          | T. R <sub>LAT</sub> |                     | T.R <sub>AXI</sub>    |           |
|-------------------------------------|----|----------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------|----------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------|
|                                     |    | GL       | Controle              | Estresse            | Controle            | Estresse | Controle | Estresse            | Controle            | Estresse              | Controle  |
|                                     |    | 80% CC   | 60% CC                | 80% CC              | 60% CC              | 80% CC   | 60% CC   | 80% CC              | 60% CC              | 80% CC                | 60% CC    |
| TRAT                                | 20 | 0,0001** | 0,00003 <sup>ns</sup> | 25,242**            | 5,094 <sup>ns</sup> | 0,473*   | 0,197**  | 0,00129**           | 0,0009**            | 0,00087*              | 0,00075** |
| CEC                                 | 5  | 0,0001*  | 0,00006 <sup>ns</sup> | 5,148 <sup>ns</sup> | 10,845*             | 0,511*   | 0,108*   | 0,00129**           | 0,001 <sup>ns</sup> | 0,00084 <sup>ns</sup> | 0,0006*   |
| CGC                                 | 15 | 0,0001*  | 0,00002 <sup>ns</sup> | 31,939**            | 3,177 <sup>ns</sup> | 0,459*   | 0,226**  | 0,00129**           | 0,00091**           | 0,000881*             | 0,00079** |
| RESÍDUO                             | 21 | 0,000    | 0,000                 | 9,339               | 3,948               | 0,177    | 0,036    | 0,007               | 0,000               | 0,000                 | 0,000     |
| MÉDIA                               |    | 0,019    | 0,020                 | 11,917              | 10,368              | 1,604    | 1,517    | 0,077               | 0,081               | 0,074                 | 0,079     |
| CV                                  |    | 20,384   | 37,732                | 25,645              | 19,164              | 26,239   | 12,577   | 108,349             | 20,987              | 25,370                | 18,083    |
| (Φ) <sub>A</sub>                    |    | 0,000    | 0,000                 | -0,262              | 0,431               | 0,021    | 0,005    | 0,001               | 0,000               | 0,000                 | 0,000     |
| (Φ) <sub>D</sub>                    |    | 0,000    | 0,000                 | 11,300              | -0,386              | 0,141    | 0,095    | 0,001               | 0,000               | 0,000                 | 0,000     |
| (Φ) <sub>D</sub> / (Φ) <sub>A</sub> |    | 11,000   | 0,000                 | -43,137             | -0,895              | 6,773    | 21,199   | 1,304               | 11,962              | 8,613                 | 11,800    |

Significativo a 1% (\*\*) e 5% de probabilidade (\*) e não significativo a 5% de probabilidade (ns), pelo teste F.

Tabela 7 - Resumo das Análises individuais dos caracteres taxa fotossintética (P), condutância estomática (gs), relação entre concentração de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar (Ci) e concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (Ca), (Ci/Ca), transpiração (E) e eficiência no uso da água (EfUA) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

|                                     |    | P                    |                      | gs                  |                     | Ci/Ca                |                      | E                     |                       | EfUA                |                     |
|-------------------------------------|----|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|                                     |    | Controle             | Estresse             | Controle            | Estresse            | Controle             | Estresse             | Controle              | Estresse              | Controle            | Estresse            |
| FV                                  | GL | 80% CC               | 60% CC               | 80% CC              | 60% CC              | 80% CC               | 60% CC               | 80% CC                | 60% CC                | 80% CC              | 60% CC              |
| TRAT                                | 20 | 78,848 <sup>ns</sup> | 68,767 <sup>ns</sup> | 0,273 <sup>ns</sup> | 0,013 <sup>ns</sup> | 0,039 <sup>ns</sup>  | 0,030 <sup>ns</sup>  | 460,79 <sup>ns</sup>  | 117,668 <sup>**</sup> | 3,845 <sup>ns</sup> | 4,497 <sup>ns</sup> |
| CEC                                 | 5  | 50,429 <sup>ns</sup> | 23,540 <sup>ns</sup> | 0,115 <sup>ns</sup> | 0,006 <sup>ns</sup> | 0,0073 <sup>ns</sup> | 0,0200 <sup>ns</sup> | 344,816 <sup>ns</sup> | 133,387 <sup>**</sup> | 1,494 <sup>ns</sup> | 3,083 <sup>ns</sup> |
| CGC                                 | 15 | 88,321 <sup>ns</sup> | 83,842 <sup>ns</sup> | 0,325 <sup>ns</sup> | 0,015 <sup>ns</sup> | 0,049 <sup>ns</sup>  | 0,326 <sup>ns</sup>  | 499,450 <sup>ns</sup> | 112,429 <sup>**</sup> | 4,629 <sup>ns</sup> | 4,968 <sup>ns</sup> |
| RESIDUO                             | 21 | 71,853               | 118,069              | 0,020               | 0,016               | 0,025                | 0,019                | 329,467               | 5,852                 | 3,249               | 3,535               |
| MÉDIA                               |    | 30,488               | 25,370               | 0,310               | 0,186               | 0,391                | 0,242                | 58,990                | 40,959                | 6,558               | 10,165              |
| CV                                  |    | 27,803               | 42,831               | 45,455              | 68,226              | 40,587               | 56,600               | 30,770                | 5,906                 | 27,485              | 18,498              |
| (Φ) <sub>A</sub>                    |    | -1,339               | -5,908               | -0,001              | -0,001              | -0,001               | 0,000                | 0,959                 | 7,971                 | -0,110              | -0,028              |
| (Φ) <sub>B</sub>                    |    | 8,234                | -17,113              | 0,006               | 0,000               | 0,012                | 0,007                | 84,992                | 53,288                | 0,690               | 0,716               |
| (Φ) <sub>B</sub> / (Φ) <sub>A</sub> |    | -6,149               | 2,897                | -12,311             | 0,798               | -10,716              | 83,735               | 88,600                | 6,685                 | -6,287              | -25,351             |

Significativo a 1% (\*\*) e 5% de probabilidade (\*) e não significativo a 5% de probabilidade (ns), pelo teste F.

Tabela 8 - Resumo das análises conjuntas dos caracteres, taxa de crescimento relativo da biomassa total (T. MST), taxa de crescimento relativo do diâmetro (T. Dp), taxa de crescimento relativo da HP (T. Hp), razão entre sistema radical parte aérea (SR/PA), razão área foliar total (RAF), área foliar específica (Afle), espaçamento entre nós (EEN) e segurança hidráulica (SH) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

| FV       | GL | T. MST                | T. Dp                 | T. Hp                 | SR/PA                | RAF                     | Afle                   | EEN                  | SH                  |
|----------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| TRAT     | 20 | 0,0044**              | 0,0004 <sup>ns</sup>  | 0,0002 <sup>ns</sup>  | 0,0015**             | 0,00001 <sup>ns</sup>   | 0,00004 <sup>ns</sup>  | 20,123 <sup>ns</sup> | 0,427 <sup>ns</sup> |
| C.G.C    | 5  | 0,0016*               | 0,00022 <sup>ns</sup> | 0,00022 <sup>ns</sup> | 0,0031**             | 0,00001 <sup>ns</sup>   | 0,00003 <sup>ns</sup>  | 13,624*              | 0,299 <sup>ns</sup> |
| C.E.C    | 15 | 0,0053**              | 0,0004 <sup>ns</sup>  | 0,00019 <sup>ns</sup> | 0,0009**             | 0,00001 <sup>ns</sup>   | 0,00005 <sup>ns</sup>  | 22,289 <sup>ns</sup> | 0,469 <sup>ns</sup> |
| AMB (A). | 1  | 0,00048               | 0,000867              | 0,0000                | 0,0064               | 0,00001                 | 0,000019               | 50,375               | 0,161               |
| TRAT X A | 20 | 0,0003 <sup>ns</sup>  | 0,00024 <sup>ns</sup> | 0,00013 <sup>ns</sup> | 0,0002 <sup>ns</sup> | -0,00002 <sup>ns</sup>  | 0,00005 <sup>ns</sup>  | 10,212 <sup>ns</sup> | 0,242**             |
| CGC X A  | 5  | 0,00025 <sup>ns</sup> | 0,0001 <sup>ns</sup>  | 0,0001 <sup>ns</sup>  | 0,0001 <sup>ns</sup> | 0,00003 <sup>ns</sup>   | 0,000081 <sup>ns</sup> | 2,369 <sup>ns</sup>  | 0,319**             |
| CEC x A  | 15 | 0,00025 <sup>ns</sup> | 0,0003 <sup>ns</sup>  | 0,00014 <sup>ns</sup> | 0,0002 <sup>ns</sup> | -0,000033 <sup>ns</sup> | 0,00004 <sup>ns</sup>  | 12,826*              | 0,216**             |
| Resíduo  | 42 | 0,0003                | 0,00029               | 0,0001                | 0,0003               | 0,000014                | 0,000036               | 6,644                | 0,102               |

Significativo a 1% (\*\*) e 5% de probabilidade (\*) e não significativo a 5% de probabilidade (ns), pela Anova.

Tabela 9 - Resumo das análises conjuntas dos caracteres, taxa de crescimento relativo das raízes laterais (T. R<sub>lat</sub>), taxa de crescimento das raízes axiais (T. R<sub>axi</sub>), taxa fotossintética (P), condutância estomática (Cond. Est.), relação (concentração de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar (Ci) e concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (Ca)) (Ci/Ca), transpiração (E) e eficiência no uso da água (EfUA) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

| FV       | GL | T. R <sub>lat</sub>   | T. R <sub>axi</sub>   | P                    | gs                   | Ci/Ca               | E                    | EfUA               |
|----------|----|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| TRAT     | 20 | 0,0018**              | 0,0014**              | 100,24 *             | 0,029*               | 0,045 <sup>ns</sup> | 387,66 <sup>ns</sup> | 6,28**             |
| C.G.C    | 5  | 0,0017*               | 0,00118 <sup>ns</sup> | 44,73 <sup>ns</sup>  | 0,008 <sup>ns</sup>  | 0,011 <sup>ns</sup> | 378,23 <sup>ns</sup> | 3,54 <sup>ns</sup> |
| C.E.C    | 15 | 0,002**               | 0,0015**              | 118,75 <sup>ns</sup> | 0,035*               | 0,057 <sup>ns</sup> | 390,80 <sup>ns</sup> | 7,20*              |
| AMB (A). | 1  | 0,000396              | 0,000539              | 550,175              | 0,3228               | 0,4688              | 6827,709             | 273,1              |
| TRAT x A | 20 | 0,0003 <sup>ns</sup>  | 0,00018 <sup>ns</sup> | 47,38 <sup>ns</sup>  | 0,012 <sup>ns</sup>  | 0,023 <sup>ns</sup> | 190,80 <sup>ns</sup> | 2,06 <sup>ns</sup> |
| CGC X A  | 5  | 0,0003 <sup>ns</sup>  | 0,0003 <sup>ns</sup>  | 29,24 <sup>ns</sup>  | 0,0098 <sup>ns</sup> | 0,017 <sup>ns</sup> | 99,97 <sup>ns</sup>  | 1,04 <sup>ns</sup> |
| CEC x A  | 15 | 0,00031 <sup>ns</sup> | 0,0002 <sup>ns</sup>  | 53,42 <sup>ns</sup>  | 0,012 <sup>ns</sup>  | 0,025 <sup>ns</sup> | 221,08 <sup>ns</sup> | 2,40 <sup>ns</sup> |
| Resíduo  | 42 | 0,0003                | 0,0003                | 94,9610              | 0,0179               | 0,0220              | 167,6590             | 3,3920             |

Significativo a 1% (\*\*) e 5% de probabilidade (\*) e não significativo a 5% de probabilidade (ns), pela Anova.

Tabela 10 - Capacidade específica e geral de combinação dos caracteres taxa de crescimento relativo da biomassa total (T. MST), taxa de crescimento relativo do diâmetro (T. Dp), taxa de crescimento relativo em altura (T. Hp), relação entre sistema radical parte aérea (SR/PA) e razão área foliar total (RAF) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

| Genótipo    | T. MST   |          | T. Dp    |          | T. Hp    |          | SR/PA    |          | RAF      |          |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|             | Controle | Estresse | Controle | Estresse | Controle | Estresse | Controle | Estresse | Controle | Estresse |
|             | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      |
| <b>H 12</b> | 0,011    | 0        | 0,007    | 0        | -0,004   | -0,004   | 0,008    | -0,006   | 0        | -0,001   |
| <b>H 13</b> | -0,005   | 0,014    | -0,019   | -0,002   | 0,013    | 0,008    | -0,009   | -0,01    | 0,001    | 0        |
| <b>H 14</b> | -0,035   | 0,001    | -0,033   | -0,008   | -0,016   | 0,001    | -0,024   | 0,005    | -0,005   | -0,002   |
| <b>H 15</b> | 0,011    | 0,002    | 0,008    | -0,003   | 0,004    | 0,001    | 0,015    | 0,027    | -0,001   | 0        |
| <b>H 16</b> | 0,008    | 0,007    | 0,011    | 0,009    | 0,005    | 0,005    | -0,01    | -0,024   | 0,003    | 0,001    |
| <b>H 23</b> | -0,004   | -0,017   | 0,006    | 0,007    | -0,001   | 0,005    | -0,019   | -0,007   | -0,001   | 0,001    |
| <b>H 24</b> | -0,005   | -0,015   | -0,005   | 0,001    | -0,003   | 0,002    | 0,026    | 0,005    | 0,002    | 0,002    |
| <b>H 25</b> | 0,005    | 0,027    | -0,01    | 0,003    | 0,004    | -0,001   | -0,007   | 0        | 0,001    | 0,001    |
| <b>H 26</b> | 0,007    | -0,004   | 0,012    | 0,012    | 0,003    | -0,01    | 0,014    | 0,017    | 0,001    | 0        |
| <b>H 34</b> | -0,013   | -0,014   | 0,005    | -0,003   | 0,004    | -0,006   | -0,008   | 0,001    | 0,001    | -0,001   |
| <b>H 35</b> | -0,01    | -0,01    | -0,008   | -0,006   | -0,005   | 0        | -0,016   | -0,025   | -0,005   | -0,001   |
| <b>H 36</b> | 0,022    | 0,024    | -0,008   | 0,001    | 0,004    | 0,009    | -0,003   | 0        | 0,001    | 0,002    |
| <b>H 45</b> | 0,001    | -0,002   | 0,018    | 0,004    | -0,012   | -0,012   | 0,006    | 0,002    | 0,002    | -0,001   |
| <b>H 46</b> | 0,026    | 0,011    | 0,003    | -0,005   | 0,001    | -0,007   | 0,011    | 0,011    | -0,004   | -0,002   |
| <b>H 56</b> | -0,02    | -0,009   | 0,008    | 0,001    | 0,005    | 0,004    | 0,009    | 0,003    | 0,002    | -0,002   |

Continua...

Tabela 10 - Cont.

| Genitor    | T. MST   |          | T. DP    |          | T. HP    |          | SR/PA    |          | RAF      |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|            | Controle | Estresse | Controle | Estresse | Controle | Estresse | Controle | Estresse | Controle | Estresse |
|            | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      | 80%      | 60%      |
| <b>P 1</b> | -0,015   | -0,007   | 0        | 0,002    | 0        | 0,003    | -0,008   | -0,005   | -0,002   | 0,001    |
| <b>P 2</b> | 0,01     | 0,006    | 0,003    | 0        | 0,002    | -0,001   | 0,008    | 0,007    | 0,001    | 0        |
| <b>P 3</b> | -0,002   | 0        | 0,001    | -0,001   | -0,005   | -0,002   | -0,006   | -0,006   | -0,001   | -0,001   |
| <b>P 4</b> | -0,005   | -0,001   | 0,004    | 0,003    | 0,005    | 0        | 0,015    | 0,018    | 0,001    | -0,001   |
| <b>P 5</b> | 0,011    | 0,005    | -0,001   | -0,003   | -0,002   | -0,003   | -0,007   | -0,006   | 0,001    | 0        |
| <b>P 6</b> | 0,001    | -0,002   | -0,007   | -0,001   | 0,001    | 0,004    | -0,002   | -0,009   | 0        | 0,002    |

Tabela 11 - Capacidade específica e geral de combinação dos caracteres área foliar específica (Afle), espaçamento entre nós (EEN), segurança hidráulica (SH), taxa de crescimento relativo de raízes laterais (T. R<sub>lat</sub>) e taxa de crescimento relativo das raízes axiais (T. R<sub>axi</sub>) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

| Genótipo | Afle            |                 | EEN             |                 | SH              |                 | T. R <sub>Lat</sub> |                 | T. R <sub>Axi</sub> |                 |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|          | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80%     | Estresse<br>60% | Controle<br>80%     | Estresse<br>60% |
| H 12     | 0,002           | 0               | 1,875           | 1,207           | 0,166           | 0,109           | -0,027              | -0,023          | -0,025              | -0,022          |
| H 13     | -0,001          | -0,001          | -5,75           | -0,724          | -0,771          | -0,418          | 0,003               | 0,021           | 0,006               | 0,019           |
| H 14     | -0,009          | -0,004          | -4,844          | -0,687          | -0,633          | -0,158          | -0,004              | 0,019           | -0,011              | 0,004           |
| H 15     | -0,001          | 0               | 1,281           | -2,118          | 0,003           | 0,04            | 0,036               | 0,01            | 0,025               | 0,015           |
| H 16     | 0,006           | 0,004           | 2,063           | 1,688           | 0,149           | -0,099          | 0,01                | 0,009           | 0,012               | 0,012           |
| H 23     | 0               | 0,003           | 4,437           | 1,151           | 0,167           | 0,011           | 0,01                | -0,017          | -0,004              | -0,024          |
| H 24     | 0,004           | 0,004           | -0,531          | 0,507           | 0,295           | 0,15            | 0,021               | 0,007           | 0,021               | 0,004           |
| H 25     | 0               | 0,002           | -3,375          | -0,474          | -0,284          | 0,111           | 0,003               | 0,01            | 0,009               | 0,026           |
| H 26     | 0,002           | 0,001           | 3,312           | 1,707           | 0,35            | 0,276           | 0,015               | 0,005           | 0,009               | 0,007           |
| H 34     | 0,001           | -0,002          | 0,719           | -0,618          | 0,442           | 0,048           | -0,031              | -0,011          | -0,022              | -0,005          |
| H 35     | -0,008          | -0,002          | -3,625          | -1,099          | -0,487          | -0,013          | -0,021              | -0,01           | -0,019              | -0,019          |
| H 36     | 0,001           | 0,003           | -2,875          | -0,224          | -0,311          | -0,181          | 0,019               | 0,022           | 0,022               | 0,014           |
| H 45     | 0,002           | -0,002          | 1,219           | 1,682           | 0,703           | 0,237           | -0,017              | -0,004          | 0,004               | 0               |
| H 46     | -0,007          | -0,004          | -0,75           | -0,462          | -0,405          | 0,116           | -0,043              | -0,043          | -0,038              | -0,042          |
| H 56     | 0,003           | -0,003          | 2,656           | 0,932           | -0,187          | -0,387          | 0,007               | -0,019          | 0                   | -0,004          |

Continua...

Tabela 11 - Cont.

| <b>Genitor</b> | <b>Afle</b>     |                 | <b>EEN</b>      |                 | <b>SH</b>       |                 | <b>T. R<sub>Lat</sub></b> |                 | <b>T. R<sub>Axi</sub></b> |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
|                | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80%           | Estresse<br>60% | Controle<br>80%           | Estresse<br>60% |
| <b>P 1</b>     | -0,002          | 0,002           | 0,542           | 1,372           | -0,223          | 0,116           | 0,007                     | 0,009           | 0,007                     | 0,01            |
| <b>P 2</b>     | 0,002           | 0               | -0,083          | 0,303           | 0,189           | 0,008           | 0,009                     | 0,003           | 0,01                      | 0,003           |
| <b>P 3</b>     | -0,002          | -0,001          | -0,365          | -0,303          | 0,112           | 0,065           | -0,008                    | -0,01           | -0,006                    | -0,008          |
| <b>P 4</b>     | 0,002           | -0,002          | -0,021          | -0,322          | -0,03           | -0,109          | -0,013                    | -0,002          | -0,009                    | 0               |
| <b>P 5</b>     | 0               | -0,001          | 0,729           | 0,053           | 0,149           | -0,014          | 0,005                     | 0,004           | 0,001                     | -0,001          |
| <b>P 6</b>     | 0               | 0,003           | -0,802          | -1,103          | -0,197          | -0,065          | 0                         | -0,004          | -0,002                    | -0,004          |

Tabela 12 - Capacidade específica e geral de combinação dos caracteres taxa fotossintética (P), condutância estomática (gs), relação (concentração de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar (Ci) e concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (Ca)) (Ci/Ca), transpiração (E) e eficiência no uso da água (EfUA) de seis linhagens genitoras de milho tropical e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

| Genótipo    | P               |                 | gs              |                 | Ci/Ca           |                 | E               |                 | EfUA            |                 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% |
| <b>H 12</b> | 5,767           | -0,079          | 0,13            | -0,032          | 0,149           | -0,078          | 9,776           | -0,828          | 0,508           | -0,519          |
| <b>H 13</b> | 0,999           | 8,784           | 0,088           | 0,175           | 0,105           | 0,273           | 7,35            | 9,539           | -2,134          | -1,93           |
| <b>H 14</b> | -12,936         | -1,668          | -0,151          | -0,024          | -0,177          | -0,015          | -20,64          | 3,324           | -1,868          | 0,942           |
| <b>H 15</b> | 2,797           | -6,944          | 0,008           | -0,11           | 0,024           | -0,14           | 6,05            | -4,296          | 0,301           | 0,291           |
| <b>H 16</b> | 4,678           | 8,639           | 0,116           | 0,146           | 0,144           | 0,204           | -2,451          | 1,151           | -0,5            | 0,017           |
| <b>H 23</b> | 0,26            | -4,009          | 0,028           | -0,084          | 0,074           | -0,125          | -6,374          | -1,41           | 0,992           | -0,464          |
| <b>H 24</b> | 4,657           | -2,448          | 0,073           | -0,06           | 0,071           | -0,105          | -4,962          | 0,128           | -0,39           | -0,569          |
| <b>H 25</b> | -6,396          | 4,481           | -0,125          | 0,047           | -0,151          | 0,115           | 1,393           | -1,132          | -1,214          | 0,724           |
| <b>H 26</b> | 0,533           | -7,818          | -0,06           | -0,051          | -0,05           | -0,039          | 3,104           | -4,7            | 0,599           | -0,13           |
| <b>H 34</b> | 1,464           | -0,683          | -0,067          | -0,052          | -0,082          | -0,118          | -6,834          | 2,591           | 0,631           | -0,092          |
| <b>H 35</b> | 2,927           | -3,503          | 0,016           | -0,01           | -0,019          | -0,029          | 19,323          | -1,726          | 0,658           | 0,414           |
| <b>H 36</b> | 0,499           | 5,763           | 0,135           | 0,098           | 0,18            | 0,125           | -5,844          | 3,733           | -1,115          | -2,12           |
| <b>H 45</b> | -1,205          | 1,745           | -0,119          | -0,032          | -0,16           | -0,098          | -12,075         | -0,758          | 0,269           | 0,703           |
| <b>H 46</b> | -5,339          | -5,536          | -0,094          | -0,046          | -0,123          | -0,03           | 31,288          | -4,049          | 2,325           | -0,606          |
| <b>H 56</b> | 3,695           | 8,759           | 0,065           | 0,011           | 0,087           | 0,041           | 8,171           | 8,153           | -1,855          | 0,197           |

Continua...

Tabela 12 - Cont.

| <b>Genitor</b> | <b>P</b>        |                 | <b>gs</b>       |                 | <b>Ci/Ca</b>    |                 | <b>E</b>        |                 | <b>EfUA</b>     |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% | Controle<br>80% | Estresse<br>60% |
| <b>P 1</b>     | -2,411          | -1,056          | -0,004          | -0,037          | 0,012           | -0,07           | -7,196          | -5,145          | 0,02            | 0,741           |
| <b>P 2</b>     | 0,74            | -0,318          | 0,004           | 0,011           | 0,009           | 0,011           | -2,953          | 1,494           | 0,331           | 0,069           |
| <b>P 3</b>     | -1,541          | -0,813          | -0,045          | 0,008           | -0,039          | 0,013           | -0,831          | -0,279          | 0,297           | 0,124           |
| <b>P 4</b>     | 2,112           | 0,141           | 0               | 0,004           | -0,007          | 0,002           | 3,245           | 3,438           | -0,393          | -0,44           |
| <b>P 5</b>     | 1,54            | -0,274          | 0,038           | -0,006          | 0,022           | 0,012           | 2,122           | 0,939           | 0,075           | -0,049          |
| <b>P 6</b>     | -0,439          | 2,32            | 0,007           | 0,02            | 0,002           | 0,031           | 5,614           | -0,448          | -0,329          | -0,445          |

Tabela 13 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos que envolvem o caráter principal dependente eficiência de uso da água (EfUA) e os caracteres independentes explicativos taxa de crescimento relativo da MST (T MST.), taxa de crescimento relativo da altura (T. HP.), relação do sistema radical/ parte aérea (SR/PA), razão área foliar (RAF), área foliar específica (Afle), espaçamento entre nós (EEN), segurança hidráulica (SH), taxa de crescimento relativo das raízes laterais e axiais (T R<sub>lat</sub>) e (T R<sub>axi</sub>), respectivamente, e transpiração (E) de seis linhagens genitoras e suas combinações híbridas avaliadas sob duas condições de disponibilidade hídrica, Viçosa-MG

| Caráter | Efeitos de Associação           | Estimativas |          | Caráter | Efeitos de Associação           | Estimativas |          |
|---------|---------------------------------|-------------|----------|---------|---------------------------------|-------------|----------|
|         |                                 | Controle    | Estresse |         |                                 | Controle    | Estresse |
| T. MST  | Direto sobre EfUA               | 0,26        | -0,22    | Afle    | Direto sobre EfUA               | -0,16       | -0,18    |
|         | Indireto via T. HP.             | 0,03        | 0,01     |         | Indireto via T MST.             | 0,15        | 0,1      |
|         | Indireto via SR/PA              | 0,01        | -0,01    |         | Indireto via T. HP.             | 0,05        | -0,04    |
|         | Indireto via RAF                | -0,23       | 0,09     |         | Indireto via SR/PA              | 0,02        | 0,01     |
|         | Indireto via Afle               | -0,09       | 0,08     |         | Indireto via RAF                | -0,41       | -0,24    |
|         | Indireto via EEN                | 0,11        | -0,01    |         | Indireto via EEN                | 0,14        | 0        |
|         | Indireto via SH                 | 0,23        | -0,05    |         | Indireto via SH                 | 0,34        | 0,06     |
|         | Indireto via T R <sub>lat</sub> | -0,09       | -0,01    |         | Indireto via T R <sub>lat</sub> | -0,07       | 0,01     |
|         | Indireto via T R <sub>axi</sub> | -0,08       | 0,04     |         | Indireto via T R <sub>axi</sub> | -0,07       | -0,02    |
|         | Indireto via E                  | 0,06        | -0,22    |         | Indireto via E                  | 0,02        | -0,18    |
| Total   | 0,28                            | -0,38       | Total    | -0,04   | -0,18                           |             |          |

Continua...

Tabela 13 - Cont.

| Caráter | Efeitos de Associação           | Estimativas |          | Caráter | Efeitos de Associação           | Estimativas |          |
|---------|---------------------------------|-------------|----------|---------|---------------------------------|-------------|----------|
|         |                                 | Controle    | Estresse |         |                                 | Controle    | Estresse |
| T. Hp   | Direto sobre EfUA               | 0,09        | -0,07    | EEN     | Direto sobre EfUA               | 0,27        | 0,06     |
|         | Indireto via T MST.             | 0,08        | 0,04     |         | Indireto via T MST.             | 0,11        | 0,03     |
|         | Indireto via SR/PA              | 0,02        | 0,02     |         | Indireto via T. HP              | 0,02        | 0,01     |
|         | Indireto via RAF                | -0,29       | -0,13    |         | Indireto via SR/PA              | 0,02        | 0,01     |
|         | Indireto via Afle               | -0,08       | -0,1     |         | Indireto via RAF                | -0,19       | 0,02     |
|         | Indireto via EEN                | 0,05        | -0,01    |         | Indireto via Afle               | -0,08       | 0        |
|         | Indireto via SH                 | 0,05        | -0,02    |         | Indireto via SH                 | 0,39        | 0,03     |
|         | Indireto via T <sub>Rlat</sub>  | -0,03       | 0        |         | Indireto via T <sub>Rlat</sub>  | -0,04       | 0        |
|         | Indireto via T <sub>Raxi.</sub> | -0,03       | -0,01    |         | Indireto via T <sub>Raxi.</sub> | -0,04       | 0        |
|         | Indireto via E                  | 0,05        | 0,01     |         | Indireto via E                  | 0,03        | 0,09     |
| Total   | -0,06                           | -0,3        | Total    | 0,55    | 0,26                            |             |          |

Continua...

Tabela 13 - Cont.

| Caráter | Efeitos de Associação            | Estimativas |          | Caráter | Efeitos de Associação            | Estimativas |          |
|---------|----------------------------------|-------------|----------|---------|----------------------------------|-------------|----------|
|         |                                  | Controle    | Estresse |         |                                  | Controle    | Estresse |
| SR/PA   | Direto sobre EfUA                | 0,04        | -0,08    | SH      | Direto sobre EfUA                | 0,56        | -0,11    |
|         | Indireto via T MST.              | 0,09        | -0,02    |         | Indireto via T MST.              | 0,11        | 0,1      |
|         | Indireto via T. HP.              | 0,04        | 0,02     |         | Indireto via T. HP               | 0,01        | 0,01     |
|         | Indireto via RAF                 | -0,26       | 0,03     |         | Indireto via SR/PA               | 0,02        | 0        |
|         | Indireto via Afle                | -0,09       | 0,03     |         | Indireto via RAF                 | -0,24       | -0,12    |
|         | Indireto via EEN                 | 0,11        | -0,01    |         | Indireto via Afle                | -0,09       | -0,1     |
|         | Indireto via SH                  | 0,24        | 0        |         | Indireto via EEN                 | 0,19        | -0,02    |
|         | Indireto via T <sub>Rlat</sub>   | -0,04       | 0        |         | Indireto via T <sub>Rlat</sub>   | -0,03       | 0,01     |
|         | Indireto via T <sub>Raxi</sub> . | -0,05       | 0,02     |         | Indireto via T <sub>Raxi</sub> . | -0,04       | -0,02    |
|         | Indireto via E                   | 0,31        | -0,06    |         | Indireto via E                   | 0           | 0,29     |
| Total   | 0,13                             | -0,1        | Total    | 0,61    | -0,35                            |             |          |

Continua...

Tabela 13 - Cont.

| Caráter | Efeitos de Associação          | Estimativas |          | Caráter | Efeitos de Associação          | Estimativas |          |
|---------|--------------------------------|-------------|----------|---------|--------------------------------|-------------|----------|
|         |                                | Controle    | Estresse |         |                                | Controle    | Estresse |
| RAF     | Direto sobre EfUA              | -0,45       | -0,24    | T. Rlat | Direto sobre EfUA              | -0,15       | -0,02    |
|         | Indireto via T MST.            | 0,13        | 0,08     |         | Indireto via T MST.            | 0,16        | -0,15    |
|         | Indireto via T. HP.            | 0,06        | -0,04    |         | Indireto via T. HP.            | 0,02        | 0,01     |
|         | Indireto via SR/PA             | 0,02        | 0,01     |         | Indireto via SR/PA             | 0,01        | -0,02    |
|         | Indireto via Afle              | -0,14       | -0,18    |         | Indireto via RAF               | -0,18       | 0,08     |
|         | Indireto via EEN               | 0,11        | -0,01    |         | Indireto via Afle              | -0,08       | 0,07     |
|         | Indireto via SH                | 0,3         | 0,06     |         | Indireto via EEN               | 0,07        | 0        |
|         | Indireto via T <sub>Rlat</sub> | -0,06       | 0,01     |         | Indireto via SH                | 0,11        | -0,06    |
|         | Indireto via T <sub>Raxi</sub> | -0,06       | -0,02    |         | Indireto via T <sub>Raxi</sub> | -0,12       | 0,04     |
|         | Indireto via E                 | 0,03        | 0,15     |         | Indireto via E                 | 0,01        | -0,02    |
| Total   | -0,18                          | -0,27       | Total    | -0,18   | -0,24                          |             |          |

Continua...

Tabela 13 - Cont.

| Caráter             | Efeitos de Associação           | Estimativas |          | Caráter | Efeitos de Associação           | Estimativas |          |
|---------------------|---------------------------------|-------------|----------|---------|---------------------------------|-------------|----------|
|                     |                                 | Controle    | Estresse |         |                                 | Controle    | Estresse |
| T. R <sub>axi</sub> | Direto sobre EfUA               | -0,13       | 0,05     | E       | Direto sobre EfUA               | 0,11        | -0,36    |
|                     | Indireto via T MST.             | 0,17        | -0,16    |         | Indireto via TMST.              | 0,15        | -0,14    |
|                     | Indireto via T. HP              | 0,02        | 0,01     |         | Indireto via T. HP              | 0,05        | 0        |
|                     | Indireto via SR/PA              | 0,01        | -0,03    |         | Indireto via SR/PA              | 0,01        | -0,01    |
|                     | Indireto via RAF                | -0,22       | 0,08     |         | Indireto via RAF                | -0,11       | 0,1      |
|                     | Indireto via Afle               | -0,09       | 0,07     |         | Indireto via Afle               | -0,03       | 0,09     |
|                     | Indireto via EEN                | 0,07        | 0        |         | Indireto via EEN                | 0,08        | -0,01    |
|                     | Indireto via SH                 | 0,16        | -0,04    |         | Indireto via SH                 | 0,02        | -0,09    |
|                     | Indireto via T <sub>RLat.</sub> | -0,14       | -0,02    |         | Indireto via T <sub>Rlat</sub>  | -0,02       | -0,01    |
|                     | Indireto via E                  | 0,01        | -0,18    |         | Indireto via T <sub>Raxi.</sub> | -0,01       | 0,03     |
| Total               | -0,16                           | -0,21       | Total    | 0,27    | -0,53                           |             |          |
|                     | Coeficiente de determinação     | 0,73        | 0,45     |         |                                 |             |          |
|                     | Efeito da variável residual     | 0,52        | 0,74     |         |                                 |             |          |
|                     | Valor K                         | 0,23        | 0,39     |         |                                 |             |          |