



**DALYSE TOLEDO CASTANHEIRA**

**TÉCNICAS AGRONÔMICAS PARA MITIGAÇÃO DOS  
EFEITOS DA RESTRIÇÃO HÍDRICA NO CAFEIEIRO**

**LAVRAS - MG**

**2018**

**DALYSE TOLEDO CASTANHEIRA**

**TÉCNICAS AGRONÔMICAS PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO  
HÍDRICA NO CAFEIEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS - MG**  
**2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Castanheira, Dalys Toledo.

Técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da restrição hídrica no cafeeiro / Dalys Toledo Castanheira. - 2018.

125 p. : il.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L.. 2. Déficit hídrico. 3. Manejo. 4. Fertilizantes. 5. Condicionadores de solo. I. Guimarães, Rubens José. II. Título.

**DALYSE TOLEDO CASTANHEIRA**

**TÉCNICAS AGRONÔMICAS PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA RESTRIÇÃO  
HÍDRICA NO CAFEIEIRO**

**AGRONOMIC TECHNIQUES FOR MITIGATION OF THE WATER  
RESTRICTION EFFECTS IN COFFEE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2018.

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	EMBRAPA
Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva	UFLA
Dr. Rodrigo Luz da Cunha	EPAMIG
Prof. Dr. Alex Mendonça de Carvalho	UNESP

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS - MG**  
**2018**

*A Deus, autor da minha vida.*

***DEDICO.***

## AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, que sempre me fortalece, aumenta minha fé, abre meus caminhos e livra-me do mal.

À Nossa Senhora Aparecida, minha intercessora, pela proteção e bênçãos.

Aos meus pais e ao meu irmão, meus esteios, pelo amor incondicional. Sempre presentes nos erros e acertos, junto a vocês aprendo os princípios da vida.

Ao Rapha pelo amor, paciência, companheirismo e incentivo. De forma especial, neste trabalho, por toda sua ajuda na condução do projeto.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de adquirir e ampliar meus conhecimentos.

Ao Professor Rubens José Guimarães, meu segundo pai, pela orientação, carinho, presteza e confiança durante toda minha trajetória acadêmica.

Ao Professor Tiago Teruel e à Pesquisadora Milene Alves de Figueiredo Carvalho, pelo carinho, apoio e valiosas contribuições.

A todos do Setor de Cafeicultura, NECAF, GHPD e Laboratório de Anatomia do Café pela amizade e solidariedade. Em especial, à Carol, pela total dedicação.

Às minhas amigas e amigos por serem anjos em minha vida, por terem tornado meus dias mais iluminados.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG pela concessão da bolsa de doutorado, ao CNPq, ao INCT-CAFÉ e ao Consórcio Pesquisa Café pelo apoio ao projeto.

Às empresas Produquímica, Hydroplan, Electroplastic, Terra de Cultivo e 3rlab pela parceria na realização do experimento.

A todos que contribuíram para a construção deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o potencial de diferentes técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da menor disponibilidade hídrica no cafeeiro. O experimento foi conduzido em campo, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, em Lavras - MG, no período de janeiro de 2016 a outubro de 2017. Os fatores em estudo foram dispostos em esquema fatorial 3x2x5, perfazendo um total de 30 tratamentos alocados na área experimental em parcelas subdivididas. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com três repetições. Foram estudados três manejos do solo (*mulching*, braquiária e solo exposto), dois tipos de fertilizantes (convencional e fertilizante de liberação controlada) e cinco condicionadores de solo (casca de café, gesso agrícola, polímero hidrorretentor, composto orgânico e testemunha). Foram avaliados o crescimento das plantas, umidade do solo, resistência do solo à penetração, características fisiológicas, anatomia foliar e os atributos químicos do solo. Para análise dos dados, realizou-se a seleção de variáveis mais importantes, que foram utilizadas para apresentação e discussão dos resultados. Foi realizada a análise de variância e estudo das médias e, posteriormente, empregada a análise multivariada dos dados. O *mulching* e o manejo com braquiária são técnicas agronômicas que podem ser combinadas com a adição de casca de café, a fim de possibilitar melhor aproveitamento da água no cafeeiro e favorecer o condicionamento do solo. Os fertilizantes de liberação controlada e o gesso agrícola, mesmo sem proporcionar ganhos significativos no crescimento das plantas, possibilitaram melhorias nos aspectos anatômicos e fisiológicos. O uso de composto orgânico favoreceu a maior disponibilidade hídrica, porém causou prejuízos no crescimento e nos aspectos fisiológicos do cafeeiro por desequilíbrio nutricional.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L.. Déficit hídrico. Manejo. Fertilizantes. Condicionadores de solo.

## ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the potential of different innovative and traditional agronomic techniques to mitigate the damage caused to coffee trees due to climate change. The experiment was conducted in the field, at the Universidade Federal de Lavras - UFLA, in Lavras, MG, from January 2016 to October 2017. The factors under study were arranged in a factorial scheme 3x2x5, totaling 30 treatments, which were allocated in sub-subdivided plots in the experimental area. The experimental design was a randomized complete block design with three replicates. Three soil managements (mulch, brachiaria and exposed soil), two types of fertilizers (conventional and controlled release fertilizer) and five soil conditioners (coffee husk, agricultural gypsum, hydro-retentor polymer, organic compound and control) were used in the study. Plant growth, soil moisture, soil resistance to penetration, physiological, anatomical characteristics and soil chemical attributes were evaluated. The most important variables were selected and used to present and discuss the results. We performed the analysis of variance and the study of the means, and later, the multivariate analysis of the data was used. *Mulching* and brachiaria are efficient agronomic techniques to optimize coffee cultivation under conditions of reduced water availability. Furthermore, coffee bark allowed better water use in the coffee plant and favored the conditioning of the soil. Controlled - release fertilizers and agricultural gypsum, even without significant growth gains in plants, caused improvements regarding anatomical and physiological aspects. The use of organic compost favored greater water availability, but due to its chemical composition, it caused losses in coffee.

**Keywords:** *Coffea arabica* L.. Water deficit. Management. Fertilizers. Soil conditioners.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas mensalmente no ano 2016 (A) e 2017 (B)..... 37
- Figura 2 - Representação gráfica da altura de plantas (AP - cm) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12) e época 18 (E18).....44
- Figura 3 - Representação gráfica do diâmetro de caule (DC - mm) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 12 (E12) e época 15 (E15). ....45
- Figura 4 - Representação gráfica do número de ramos plagiotrópicos (RP) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).....46
- Figura 5 - Representação gráfica do comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP - cm) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), durante a época 18 (E18) e 21 (E21). ....48
- Figura 6 - Representação gráfica do número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (NNP) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 15 (E15). ....49

- Figura 7 - Representação gráfica da umidade do solo (US - %) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15) e época 18 (E18). .....50
- Figura 8 - Representação gráfica da resistência do solo à penetração (RS - kgf/cm<sup>2</sup>) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) associado à cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9. ....52
- Figura 9 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)) em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento e umidade do solo durante a época três (E3), seis (E6), nove (E9), doze (E12), quinze (E15), dezoito (E18) e vinte um (E21). .....54
- Figura 10 - Representação gráfica do índice de clorofila a (CIA) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21). ..... 56
- Figura 11 - Representação gráfica do índice de clorofila b (CIB) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) associado a cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G),

	polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 15 (E15) e época 18 (E18).....	58
Figura 12 -	Representação gráfica do índice de clorofila total (CIT) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), <i>mulching</i> (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9 (E9) e época 12 (E12).....	59
Figura 13 -	Representação gráfica do potencial hídrico foliar (PH - MPa) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), <i>mulching</i> (M) e solo exposto (S)), durante a época 6. ....	60
Figura 14 -	Representação gráfica da taxa fotossintética ( $A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), <i>mulching</i> (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 12 (E12), época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21). ....	61
Figura 15 -	Representação gráfica da condutância estomática ( $g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), <i>mulching</i> (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 6 (E6), época 12 (E12) e época 15 (E15). ....	63
Figura 16 -	Representação gráfica da taxa transpiratória ( $E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), <i>mulching</i> (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 12 (E12). ....	64

- Figura 17 - Representação gráfica da eficiência do uso da água (EUA) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15) e época 21 (E21). .....65
- Figura 18 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2) com base nas características fisiológicas durante a época três (E3), seis (E6), nove (E9), doze (E12), quinze (E15), dezoito (E18) e vinte um (E21). ....68
- Figura 19 - Representação gráfica da espessura do parênquima paliçádico (PAL -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6. ....70
- Figura 20 - Representação gráfica da espessura do parênquima esponjoso (PES -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 12 (E12). .....71
- Figura 21 - Representação gráfica da espessura do mesofilo (MES -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 12. ....72

- Figura 22 - Representação gráfica do número de vasos do xilema (NVX) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 12 (E12) e época 18 (E18). .....73
- Figura 23 - Representação gráfica do diâmetro dos vasos do xilema (DVX -  $\mu\text{m}$ ) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (a) (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (b) (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 18 (E18). .....74
- Figura 24 - Representação gráfica da espessura do floema (FLO -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 12 (E12). .....75
- Figura 25 - Representação gráfica da densidade estomática (DEN) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6. ....76
- Figura 26 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2)

	com base nas características anatômicas durante a época seis (E6), doze (E12) e dezoito (E18).....	77
Figura 27 -	Representação gráfica do potássio disponível no solo ( $K - mg\ dm^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).	78
Figura 28 -	Representação gráfica do cálcio trocável no solo ( $Ca - mg\ dm^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).	79
Figura 29 -	Representação gráfica do magnésio trocável no solo ( $Mg - mg\ dm^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).	80
Figura 30 -	Representação gráfica da acidez potencial do solo ( $H + Al - cmol_c\ dm^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados com dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) em três manejos da cobertura do solo (a) (braquiária (B), <i>mulching</i> (M) e solo exposto (S)) e com cinco condicionadores de solo (b) (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).	81
Figura 31 -	Representação gráfica da capacidade de troca de cátions à pH 7 ( $CTC - cmol_c\ dm^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).	81
Figura 32 -	Representação gráfica da saturação por alumínio ( $m - \%$ ) em cafeeiros cultivados sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).	82

Figura 33 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2) com base nos atributos químicos do solo na época 21. ....83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química (profundidades de 0-20 e 20-40 cm) e a granulometria do solo* da área experimental, antes da instalação do experimento. Lavras - MG, 2015.....	32
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos. Lavras - MG, 2016. ....	34
Tabela 3 - Análise de correlação canônica para as quatro funções canônicas entres os grupos de caracteres de crescimento/umidade e fisiológicos de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.....	84
Tabela 4 - Análise de correlação canônica para as quatro funções canônicas entres os grupos de caracteres de crescimento/umidade e anatômicos de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.....	85
Tabela 5 - Análise de correlação canônica para as cinco funções canônicas entres os grupos de caracteres fisiológicos e do grupo de caracteres anatômicos de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.....	86
Tabela 6 - Análise de correlação canônica para as quatro funções canônicas entres os grupos de caracteres de crescimento/umidade e atributos químicos do solo de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.....	86
Tabela 7 - Análise de correlação canônica para as cinco funções canônicas entres os grupos de caracteres fisiológicos e atributos químicos do solo de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.....	87
Tabela 8 - Análise de correlação canônica para as cinco funções canônicas entres os grupos de caracteres anatômicos e atributos químicos do solo de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.....	87
Tabela 9 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas (L <sup>2</sup> ), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas (CL <sup>2</sup> ) referentes às variáveis canônicas de crescimento/umidade e fisiológicas da primeira função canônica. ....	88



Tabela 10 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas ( $L^2$ ), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas ( $CL^2$ ) referentes às variáveis canônicas de crescimento e anatômicas da primeira função canônica. ....	89
Tabela 11 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas ( $L^2$ ), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas ( $CL^2$ ) referentes às variáveis canônicas fisiológicas e anatômicas da primeira função canônica. ....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS

A	Taxa fotossintética líquida
Al	Teor de alumínio
AP	Altura de plantas
B	Manejo com braquiária
C	Fertilizante convencional
Ca	Teor de cálcio
CC	Casca de café
CIA	Índice clorofila A
CIB	Índice clorofila B
CIT	Índice clorofila Total
CO	Composto orgânico
CP	Comprimento do primeiro ramo plagiotrópico
CTC pH 07	Capacidade de troca de cátions efetiva do solo
DC	Diâmetro de caule
DEN	Densidade estomática
DPDE	Relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos
DVX	Diâmetro dos vasos do xilema
E	Taxa transpiratória
E3	Três meses - Abril de 2016
E6	Seis meses - Julho de 2016
E9	Nove meses - Outubro de 2016
E12	Doze meses - Janeiro de 2017
E15	Quinze meses - Abril de 2017
E18	Dezoito meses - Julho de 2017
E21	Vinte e um meses - Outubro de 2017
EAB	Espessura da epiderme da face abaxial
EAD	Espessura da epiderme da face adaxial
EUA	Eficiência do uso da água
FLO	Espessura da região do floema
G	Gesso agrícola
gs	Condutância estomática

H	Polímero hidrorretentor
H+Al	Acidez potencial
K	Teor de potássio
LC	Fertilizante liberação controlada
m	Saturação por Alumínio
M	Manejo com <i>mulching</i>
MES	Espessura do mesofilo
Mg	Teor de magnésio
NNP	Número de nós no primeiro ramo plagiotrópico
NVX	Número de vasos do xilema
P	Teor de fósforo
PAL	Espessura do parênquima paliçádico
PES	Espessura do parênquima esponjoso
PH	Potencial hídrico foliar
pH	pH em água
RP	Número de ramos plagiotrópicos
RS	Resistência do solo à penetração
S	Manejo com solo exposto
T	Testemunha
US	Umidade do solo
V	Saturação por bases

## **LISTA DE SIGLAS**

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DAG	Departamento de Agricultura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
OIC	International Coffee Organization
UFLA	Universidade Federal de Lavras

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	21
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	23
<b>2.1</b>	<b>Mudanças climáticas e a cultura do cafeeiro</b> .....	23
<b>2.2</b>	<b>Técnicas agronômicas inovadoras e tradicionais</b> .....	24
<b>2.2.1</b>	<b>Manejo da cobertura do solo</b> .....	25
<b>2.2.2</b>	<b>Fertilizantes de liberação controlada</b> .....	26
<b>2.2.3</b>	<b>Condicionadores de solo</b> .....	27
<b>2.2.3.1</b>	<b>Resíduos orgânicos: casca de café e composto orgânico</b> .....	28
<b>2.2.3.2</b>	<b>Gesso agrícola</b> .....	29
<b>2.2.3.3</b>	<b>Polímero hidrorretentor</b> .....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área experimental</b> .....	32
<b>3.2</b>	<b>Instalação e condução do experimento</b> .....	33
<b>3.3</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	33
<b>3.4</b>	<b>Características avaliadas</b> .....	37
<b>3.4.1</b>	<b>Crescimento de plantas, umidade e resistência do solo</b> .....	38
<b>3.4.2</b>	<b>Características fisiológicas</b> .....	39
<b>3.4.3</b>	<b>Características anatômicas</b> .....	39
<b>3.4.4</b>	<b>Atributos químicos do solo</b> .....	40
<b>3.5</b>	<b>Análise estatística</b> .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	43
<b>4.1</b>	<b>Crescimento de plantas, umidade e resistência do solo</b> .....	43
<b>4.2</b>	<b>Características fisiológicas</b> .....	55
<b>4.3</b>	<b>Características anatômicas</b> .....	69
<b>4.4</b>	<b>Atributos químicos do solo</b> .....	78
<b>4.5</b>	<b>Correlação canônica entre as características</b> .....	83
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	91
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	102
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	103
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	104
	<b>APÊNDICE A - TABELAS</b> .....	116
	<b>APÊNDICE B - LAUDO DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO</b> .....	125

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com as projeções de alterações climáticas, que envolvem um cenário de elevação de temperatura e redução na disponibilidade hídrica (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2014), a configuração da produção agrícola pode mudar significativamente nos próximos anos. No cafeeiro, o déficit hídrico já proporciona perdas significativas na produtividade e na qualidade do café produzido em Minas Gerais (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014).

Ressalta-se a grande importância do café no mundo, destacando-se como um dos produtos primários comercializados de maior valor (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2017a). Cultivado, principalmente, no Brasil, maior país produtor e exportador de café, gera progresso para a economia e sociedade (ICO, 2017a). Temperatura elevada e déficit hídrico são as principais limitações climáticas à produção do cafeeiro nas diversas regiões de cultivo (MATTA; RAMALHO, 2006).

Aspectos relacionados à planta e ao solo podem ser explorados para otimizar a produção do cafeeiro em condições adversas (ASSAD; PINTO, 2008). Diante de trabalhos realizados com outras espécies vegetais, verifica-se o manejo da cobertura do solo como importante ferramenta para maior eficiência no uso da água (BIZARI et al., 2009; SOUZA et al., 2011; TÉOFILO et al., 2012; TIECHER, 2016). Resultados promissores têm sido observados com a consorciação café e braquiária, que contribui para o maior armazenamento de água no solo, visto que a presença dos resíduos vegetais, cobrindo o solo, possibilita temperaturas mais amenas e, conseqüentemente, menor evaporação da água (RAGASSI; PEDROSA; FAVARIN, 2013). Uma outra alternativa para a cobertura do solo é a utilização do filme plástico (*mulching*), técnica já difundida no cultivo de hortaliças (BRANCO et al., 2010).

Concomitantemente, a fertilidade do solo é, sem dúvida, fator essencial para o desenvolvimento e produção do cafeeiro. Tecnologias que possibilitam a otimização do uso dos nutrientes e o menor impacto ambiental são cada vez mais necessárias (GUELFY, 2017). Dessa forma, evidenciam-se os fertilizantes de eficiência aumentada, liberação lenta ou controlada, que potencializam o fornecimento de nutrientes às plantas pela disponibilização de forma gradual e pela redução da perda por lixiviação e volatilização (TIMILSENA et al., 2014).

Além disso, condicionadores de solo podem conferir benefícios ao cultivo do cafeeiro. O gesso agrícola e os resíduos orgânicos melhoram as propriedades do solo e favorecem o

sistema radicular, propiciando maior acesso das plantas à água disponível (NOGUEIRA et al., 2016; SANTOS et al., 2014). Também o polímero hidrorretentor, em condição de veranico e/ou distribuição irregular de chuvas, é capaz de aumentar a retenção de água no solo e disponibilizá-la às plantas de forma mais satisfatória (MARQUES; CRIPA; MARTINEZ, 2013; SOUZA et al., 2016).

Todavia, poucos são os estudos que mostram a integração de tecnologias inovadoras e práticas de manejo tradicionais para a obtenção de uma cafeicultura mais produtiva e sustentável quanto aos impactos das mudanças climáticas em função do déficit hídrico. Portanto objetivou-se, neste trabalho, avaliar o potencial de diferentes técnicas agronômicas para mitigação dos efeitos da menor disponibilidade hídrica no cafeeiro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Mudanças climáticas e a cultura do cafeeiro

O clima é fator determinante para o sucesso de todas atividades agrícolas (SÁ JUNIOR et al., 2012). Chuva, temperatura do ar e radiação solar são elementos que mais afetam o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (HOOGENBOOM, 2000).

As condições climáticas, sobretudo, são parâmetros fundamentais para a distribuição geográfica da produtividade agrícola, visto que a variabilidade entre regiões e entre culturas é determinada, principalmente, pela heterogeneidade dos fatores de produção, incluindo as condições edafoclimáticas (FREITAS, 2014). Segundo Sá Junior (2012), o potencial produtivo de diferentes regiões está correlacionado diretamente com distribuição média de precipitação do local.

Todavia pesquisas apontam que, em longo prazo, os efeitos do aquecimento global serão impactantes sobre os recursos hídricos e sobre a produção agrícola (ARAÚJO et al., 2014). Com a elevação da temperatura e flutuações das precipitações, a disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, a produtividade das culturas tendem a diminuir (KANG; KHAN; MA, 2009).

De acordo com as projeções elaboradas pelo Intergovernmental Panel on Climate Changes - IPCC, são previstas grandes modificações no zoneamento agroclimático (aspecto indicador da aptidão climática das regiões de cultivo). De forma que, no Brasil, há uma tendência no aumento das áreas com alto risco climático para diferentes culturas (ARAÚJO et al., 2014; ASSAD; PINTO, 2008).

O cafeeiro, principalmente o arábica, é muito sensível às condições adversas, com implicação direta na produtividade (CARVALHO et al., 2011; DAVIS et al., 2012; MARTINS et al., 2015). A espécie *Coffea arabica* L. se adapta melhor em ambientes com umidade e temperaturas amenas. Condições de cultivo consideradas ideais são definidas por uma faixa ótima de temperatura média entre 18 e 22 °C e por precipitações anuais acima de 1200 mm (MATIELLO et al., 2010).

Nesse sentido, chuva e temperatura do ar são os fatores que mais afetam o cafeeiro (CARVALHO et al., 2011; MATTA; RAMALHO, 2006; MARTINS et al., 2015). Aparecido, Rolim e Souza (2015) afirmaram que a deficiência hídrica é a variável mais limitante para



obtenção de altas produtividades. Em plantas mais jovens, os prejuízos são ainda maiores (ASSAD et al., 2004; MARTINS et al., 2015).

Atualmente, verificam-se grandes oscilações das variáveis meteorológicas nas principais regiões de cultivo do cafeeiro (CARVALHO et al., 2011; MEIRELLES et al., 2009). Temperatura do ar elevada associada à menor disponibilidade hídrica pode comprometer o metabolismo celular e reduzir o crescimento do cafeeiro (PIZETTA et al., 2016), mesmo que não haja sintomas visíveis (MATTA; RENA, 2002), pois, para impedir a perda de água, os estômatos se fecham e, em consequência, a fixação de CO<sub>2</sub> diminui, além de causar o abortamento de flores (SEDIYAMA et al., 2001) e a má formação dos frutos do cafeeiro (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Tendo em vista as alterações climáticas e, em contrapartida, as respostas do cafeeiro perante essas circunstâncias, perdas significativas de áreas globais consideradas aptas ao cultivo de *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre são esperadas (BUNN et al., 2015; DAVIS et al., 2012; MATTA; RAMALHO, 2006).

Pesquisas baseadas em modelos matemáticos identificaram elevada vulnerabilidade agrícola e socioeconômica nas áreas cafeeiras do México, Guatemala, El Salvador e Nicarágua (BACA et al., 2014). No Brasil, principal produtor e exportado de café (ICO, 2017b), pesquisadores indicam reduções drásticas das áreas propícias ao cultivo do cafeeiro arábica nos estados de Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Goiás, considerando um cenário de aumento da temperatura média anual do ar de 1 °C, 3 °C e 5,8 °C (ASSAD et al., 2004). Conforme esses mesmos autores, nos próximos 100 anos, 95% das áreas de Minas Gerais, São Paulo e Goiás poderão ser consideradas inaptas à cultura do café. Também, para o estado do Espírito Santo, o aumento da temperatura em 5 °C acarretaria em extinção de, praticamente, todas as áreas com condições de aptidão à cultura (BRAGANÇA et al., 2016).

Nessa ótica, novos esforços são exigidos da comunidade científica para gerar estratégias de mitigação e adaptação do cafeeiro (BRAGANÇA et al., 2016; KIMEMIA, 2010). Caso contrário, as consequências das alterações climáticas poderão afetar de forma expressiva os aspectos produtivos e socioeconômicos das regiões cafeeiras (ASSAD; PINTO, 2008).

## **2.2 Técnicas agronômicas inovadoras e tradicionais**

Propriedades do solo, umidade atmosférica e práticas de cultivo interferem diretamente no balanço hídrico climatológico na cultura do cafeeiro (MATTA et al., 2007).

De acordo com a variação no volume e na distribuição das chuvas, nas principais regiões cafeeiras, aumenta-se a demanda por tecnologias e sistemas de manejo que possibilitam a maior sustentabilidade na produção agrícola.

Para o cafeeiro, destacam-se como tecnologias inovadoras o *mulching* plástico, os fertilizantes de liberação controlada e a utilização do polímero hidrorretentor.

### 2.2.1 Manejo da cobertura do solo

O sucesso e a estabilidade dos agroecossistemas dependem, principalmente, da adoção de práticas culturais que favoreçam a cobertura do solo (TIECHER, 2016). Inúmeros benefícios têm sido observados com o uso de plantas de cobertura (PEDROSA et al., 2014).

Diversas espécies podem ser destinadas à cobertura do solo, entretanto pesquisas destacam a utilização de leguminosas e/ou gramíneas, com propósito fundamental de possibilitar maior proteção da superfície do solo, acréscimo de carbono (C) e nitrogênio (N), ciclagem de nutrientes e preservação da estrutura (ROCHA et al., 2014) e dos atributos biológicos do solo (SILVA et al., 2007). Ademais, a cobertura do solo favorece o manejo de plantas espontâneas, funcionando como um controle físico e cultural (PARTELLI et al., 2010).

As poáceas do gênero *Urochloa* são as mais empregadas, apresentando adaptação às mais variadas condições de solo e clima (TELES et al., 2011). Especificamente, a *Urochloa decumbes* (capim-braquiária) diferencia-se de outras espécies do gênero *Urochloa* por ter arquitetura reduzida (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014) e cobertura do solo densa (IKEDA et al., 2013), além de possibilitar excepcional produtividade de matéria seca (BONFIM et al., 2003).

Nessa perspectiva, a condução do cafeeiro associado à braquiária tem se tornado uma das técnicas promissoras para contornar as adversidades atuais (SERAFIM et al., 2011). Essa associação se estabelece por meio de consórcio, em que a braquiária é cultivada nas entrelinhas do cafeeiro enquanto as linhas de plantio são cobertas pelos resíduos vegetais provenientes da ceifa da própria braquiária. Sistemas de manejo como esse contribuem para otimização do uso da água (RAGASSI; PEDROSA; FAVARIN, 2013), além de melhorar a nutrição da lavoura (PEDROSA et al., 2014).

Com o propósito de potencializar o uso da água, também, na cafeicultura irrigada, o sistema de manejo das entrelinhas do cafeeiro com a braquiária favorece os atributos físico-

hídricos do solo, resultando no aumento do volume da água prontamente disponível (ROCHA et al., 2016).

No entanto, ressalta-se a importância de um manejo adequado da braquiária, para evitar a competição com a cultura, já que pode competir com o cafeeiro, principalmente, em condições de seca (ROCHA et al., 2016). Para manter o cafeeiro livre de interferências, indica-se uma faixa de 100 cm de cada lado da linha de plantio sem a ocorrência da braquiária (SOUZA et al., 2006).

Não obstante, uma outra prática para a cobertura do solo é o uso de filme plástico, ou *mulching*, que tem sido utilizado como uma alternativa para a economia de água na agricultura, principalmente, em regiões semiáridas (SANTOS et al., 2008a).

Tecnologia já empregada no cultivo do morango (YURI et al., 2012) e em diversas hortaliças, como melão (DANTAS; MEDEIROS; FREIRE, 2011; MONTEIRO et al., 2007), melancia (LAMBERT et al., 2017), abobrinha (ARAÚJO; BOTREL, 2010), tomate (LOPES; NEGREIROS; DOMBROSKI, 2011), alface (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005) e cenoura (RESENDE et al., 2005) tem sido explorada, por esses mesmos autores, a fim de reduzir a evapotranspiração, evitar oscilações de temperatura do solo, melhorar a qualidade dos frutos, favorecer o manejo de plantas espontâneas e, conseqüentemente, aumentar a produtividade dos cultivos.

No cafeeiro, Barbosa (2015) destacou a importância do uso da cobertura plástica para o maior crescimento das plantas, afirmando ser potencial alternativa para o cultivo em regiões com déficit hídrico.

Assim, tendo em vista os resultados favoráveis, destaca-se a possibilidade da utilização do *mulching* para o café e para outras espécies, como, por exemplo, já em estudo, na cultura do coqueiro (*Cocos nucifera*) (SANTOS et al., 2008a).

### **2.2.2 Fertilizantes de liberação controlada**

Além do suprimento adequado de água, a cultura do cafeeiro é fortemente afetada pelo fornecimento de nutrientes (COELHO et al., 2009; FERNANDES et al., 2013).

O nitrogênio é o principal nutriente requerido pelas culturas (MALAVOLTA, 1980), o qual é disponibilizado para plantas por meio da mineralização da matéria orgânica do solo e por fertilizantes nitrogenados (MALAVOLTA, 1986).

No entanto, em grande parte dos cultivos, verifica-se baixa eficiência das adubações, dado que o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas depende diretamente das condições

edafoclimáticas da área e das práticas de manejo da cultura. Ao mesmo tempo, a fonte do nutriente também interfere expressivamente, sendo a ureia o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura e que apresenta elevadas perdas por volatilização quando aplicada na superfície do solo (LOPES; BASTOS, 2007).

Destacam-se os fertilizantes de eficiência aumentada que são considerados como tecnologia inovadora para reduzir as perdas de nutrientes, amenizar os impactos ambientais e potencializar a adubação das lavouras (CANTARELLA et al., 2008; TRENKEL, 2010).

Dentre os tipos de fertilizantes considerados como de eficiência aumentada, encontra-se o de liberação controlada que é fabricado a partir de compostos capazes de controlar fisicamente as taxas de liberação dos nutrientes (SHAVIV; RABANS; ZAIDEL, 2003). A maior eficiência desses fertilizantes ocorre, por meio da redução das perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação (TIMILSENA et al., 2014), além de proporcionarem maior sincronia entre a liberação dos nutrientes e a demanda da planta.

Ressalta-se que os fertilizantes denominados como de liberação controlada são produtos que possuem, de forma pré-estabelecida, o controle do padrão e da velocidade de liberação dos nutrientes (SHAVIV, 2005), os quais são caracterizados, basicamente, por grânulos de ureia revestidos por polímeros e/ou enxofre elementar, cuja espessura de revestimento controla a liberação do nutriente (TRENKEL, 2010). Todavia variações na temperatura e umidade do solo também interferem na disponibilização do nitrogênio (CANCELLIER, 2013). Nesse tipo de tecnologia, os grânulos revestidos podem incluir outros nutrientes na sua estrutura, como o potássio e o fósforo (GUELFY, 2017).

No cafeeiro, o uso de fertilizantes com eficiência aumentada foi capaz de reduzir mais de 90% das perdas de amônia por volatilização, quando comparado à ureia comum (DOMINGHETTI et al., 2016). Igualmente comparado à ureia convencional, o fertilizante de liberação controlada (ureia revestida por enxofre e polímeros), na cultura do milho, possibilitou redução de 37% na volatilização da amônia (CANCELLIER et al., 2016). No entanto os preços desses fertilizantes ainda são consideravelmente superiores aos convencionais (GUELFY, 2017).

### **2.2.3 Condicionadores de solo**

O uso de condicionadores, produtos capazes de melhorar as propriedades físico-químicas do solo e, conseqüentemente, favorecer o sistema radicular das plantas, tem contribuído efetivamente para o cultivo do cafeeiro quanto às condições ambientais adversas.

### 2.2.3.1 Resíduos orgânicos: casca de café e composto orgânico

Técnicas agronômicas que viabilizam o incremento de matéria orgânica no solo estão sendo priorizadas para aumentar o armazenamento da água (ROCHA et al., 2014). Dentre as possibilidades, a aplicação de resíduos orgânicos, na superfície do solo, possibilita redução das perdas de umidade e impede a compactação (MOURA et al., 2009).

Compostos oriundos de resíduos descartados por indústrias e por atividades agrícolas proporcionam uma perspectiva de sustentabilidade na agricultura, principalmente, em função dos seus baixos custos e da maior conservação do solo (CAMERON; DI; MCLAREN, 1997). Nesse contexto, destaca-se a casca de café (pericarpo dos frutos do cafeeiro) como um importante resíduo orgânico proveniente do processo de beneficiamento do café (MURTHY; NAIDU, 2010), gerado em grande volume nas próprias fazendas cafeeiras.

A utilização de resíduos orgânicos, como a casca de café, tem funcionado como técnica para o condicionamento do solo, visto que há uma melhoria das características físico-químicas e biológicas do solo, bem como, por fração orgânica, uma disponibilização gradual dos nutrientes para as plantas (FERNANDES et al., 2013).

Carvalho et al. (2012) apontam que a casca de café é uma importante fonte de nutrientes, contendo, aproximadamente, 15g de nitrogênio, 0,1g de fósforo e 25g de potássio por quilo desse subproduto. Esses autores observaram o aumento do teor de N, nas folhas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), quando aplicada casca de café em conjunto com esterco de aves na proporção de 3:1, assim como Costa, Leônidas e Santos (2001) encontraram maiores teores foliares de N, P, K e Mg com a utilização da casca de café em lavouras de *Coffea canephora* Pierre. Ainda, segundo Zoca et al. (2014), a casca de café pode substituir fertilizantes potássicos minerais na adubação do cafeeiro.

Entretanto deve-se atentar para o equilíbrio nutricional das plantas quando adotado o uso de resíduos orgânicos. Santos et al. (2008b) observaram interferência da aplicação de resíduos orgânicos na incidência de doenças no cafeeiro; a casca de café aumentou os teores foliares de potássio e reduziu os teores de cálcio e magnésio sucedendo, assim, em maior progresso da cercosporiose e da ferrugem.

Resultados notáveis são observados com a aplicação combinada de resíduos orgânicos e fertilizantes minerais (VANLAUWE; WENDT; DIELS, 2001), visto que a disponibilização dos nutrientes de fontes orgânicas está diretamente relacionada ao processo de decomposição e é influenciada pela quantidade de carbono e nitrogênio do resíduo (relação C:N) que pode acarretar na imobilização dos nutrientes (RICCI et al., 2005).

Além disso, a casca de café aplicada em superfície proporciona a cobertura do solo que pode, ainda, facilitar o manejo de plantas espontâneas, seja pela capacidade alelopática ou por barreira física (SANTOS et al., 2001).

Todavia a literatura, ainda, é escassa nos estudos referentes à utilização da casca de café, na própria cultura do cafeeiro, para nutrição das plantas e efeitos alelopáticos nas plantas espontâneas e no cafeeiro.

### **2.2.3.2 Gesso agrícola**

Assim como a cobertura do solo, a aplicação do gesso agrícola, como condicionador de subsuperfície, tem se destacado como prática relevante na mitigação do déficit hídrico (SERAFIM et al., 2011). Interações entre sistemas de manejo, solo e planta, assim como as condições ambientais, interferem diretamente no desenvolvimento radicular (CARDUCCI et al., 2014). Nesse sentido, técnicas agronômicas que favoreçam o crescimento das raízes podem proporcionar à cultura maior tolerância às adversidades climáticas (CARDUCCI et al., 2015; RAIJ, 2008).

Segundo Serafim et al. (2013), quando não há água prontamente disponível nas camadas superficiais, durante a seca, o maior volume de solo explorado pelas raízes contribui para diminuir o déficit hídrico. Esses autores apontam a existência de raízes no cafeeiro que retiram água do solo a 1,6 m de profundidade.

Entretanto baixos teores de cálcio e toxidez por alumínio são obstáculos para o crescimento radicular em camadas mais profundas do solo. A aplicação do gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) pode contornar esse problema, pois viabiliza o fornecimento de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e enxofre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nas camadas subsuperficiais, além de promover a redução da toxidez por alumínio, principalmente, por meio da formação de sulfato de alumínio ( $\text{AlSO}_4^+$ ) que é menos tóxico para as plantas (GUARÇONI, 2013).

Alguns estudos demonstram a eficiência do uso do gesso agrícola em diversas culturas. Na soja, o gesso na dose de  $2,1 \text{ ton ha}^{-1}$  propiciou melhoria da fertilidade do solo em subsuperfície o que, possivelmente, permitiu melhor desenvolvimento das raízes e maior tolerância ao déficit hídrico (ZANDONA et al., 2015). Conforme esses mesmos autores, a aplicação do gesso ( $2,0 \text{ ton ha}^{-1}$ ), na cultura do milho, proporcionou incremento na produtividade, mesmo na ausência de deficiência hídrica.

Em culturas perenes como o cafeeiro, o uso do gesso agrícola tem sido empregado com principal objetivo de melhorar as condições químicas do solo em subsuperfície e permitir

que o sistema radicular alcance maiores profundidades, de forma a potencializar a absorção de água e garantir a maior longevidade e produtividade das lavouras (RAMOS et al., 2013; SERAFIM et al., 2011).

### **2.2.3.3 Polímero hidrorretentor**

Os polímeros retentores de água à base de poliacrilamida, também conhecidos por hidrorretentor, hidro gel, polímero superabsorvente ou simplesmente gel, são apontados como produtos capazes de reter a água no solo e de, posteriormente, disponibilizá-la para as plantas por períodos mais longos (MARQUES; CRIPA; MARTINEZ, 2013; SOUZA et al., 2016). De acordo com Castro et al. (2014), esses polímeros são uma alternativa para diminuir o estresse hídrico no cafeeiro, funcionando como condicionador de solo.

Um trabalho realizado por Azevedo, Bertonha e Gonçalves (2002) reuniu diversas informações de estudos realizados com o uso dos polímeros hidrorretentores na agricultura. De acordo com os autores, esses polímeros apresentam propriedades de condicionamento do solo por favorecer o aumento da retenção de água, reduzir a lixiviação de nutrientes e melhorar a capacidade de troca de cátions (CTC).

Os polímeros hidrorretentores têm a capacidade de absorver centenas de vezes a sua própria massa em água (BALENA, 1998), permanecendo ativos no solo por um período de até cinco anos (AZEVEDO et al., 2002). Caracterizam-se por não serem degradados biologicamente, sendo deteriorados de forma gradativa por meio das práticas de manejo do solo e dos raios ultravioletas (AZZAM, 1983). Ressalta-se que as soluções com sais de Ca, Mg e Fe e a concentração de fertilizantes no solo podem potencializar a deterioração dos polímeros (JAMES; RICHARD, 1986; JOHNSON, 1984).

Castro et al. (2014) observaram influência positiva do uso do polímero, no diâmetro de caule e na densidade radicular do cafeeiro, com a dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> do produto aplicado em pó. Azevedo et al. (2002), também, evidenciaram resultados favoráveis com o polímero hidratado em mudas de café, aumentando altura e peso seco das plantas, além de possibilitar o aumento no intervalo entre irrigações.

No entanto as formas de aplicação, as características do solo e a disponibilidade hídrica interferem expressivamente na eficiência dos polímeros (BALENA, 1998; SOUZA et al., 2016). Portanto verifica-se a importância de estudá-los, em diferentes culturas e condições edafoclimáticas, para obter informações sobre a forma de utilização mais adequada em cada sistema de cultivo (BERNARDI; TAVARES; SCHMITZ, 2005).

Na cultura do cafeeiro, resultados satisfatórios são encontrados com a utilização do polímero hidrorretentor, conforme proposto por Pieve et al. (2013), que recomendam o preparo da solução na razão de 1,5 kg de polímero em 400 litros de água e posterior aplicação de 1,5 litros dessa solução em cada cova de plantio.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo, em área experimental do Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura - DAG, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, em Lavras - MG, no período de janeiro de 2016 a outubro de 2017. As coordenadas geográficas da área são latitude 21°13'36.47" Sul e longitude 44°57'40.35 Oeste, com altitude média de 975 metros. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é classificado como Cwa, mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagens de inverno (SÁ JÚNIOR et al., 2012).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013) de textura argilosa. As características químicas (camada do solo 0 a 20 e 20 a 40 cm) e a granulometria do solo, antes da instalação do experimento, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química (profundidades de 0-20 e 20-40 cm) e a granulometria do solo\* da área experimental, antes da instalação do experimento. Lavras - MG, 2015.

Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	(H+Al) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SB	(t)	(T)
0-20	5.0	4.5	104	1.5	0.5	0.2	3.5	2.3	2.5	5.7
20-40	4.6	1.4	48	0.5	0.2	0.5	4.4	0.8	1.3	5.1
	V (%)	m	M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	P-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	Zn	Fe	Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	Cu	B	S
0-20	39.6	8.1	2.1	27.1	2.9	102.7	22.9	4.1	0.3	35.9
20-40	15.9	37.8	1.3	16.5	0.7	93.5	10.6	3.2	0.5	60.7
Classificação do solo	Argila			Silte (dag kg <sup>-1</sup> )			Areia			
Textura Argilosa	44			9			47			

Fonte: Da autora (2018).

\*Laudo emitido pelo Laboratório de Análise Química e Física de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

Nota: SB = soma de bases trocáveis; (t) = capacidade de troca catiônica efetiva; (T) = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação por alumínio.

### 3.2 Instalação e condução do experimento

O plantio do café foi realizado em 21 de janeiro de 2016, com mudas de café da cultivar “Mundo Novo 379-19”, com espaçamento de 3,6 metros nas entrelinhas de plantio e 0,75 metros entre as plantas.

Para a correção do solo, a dose de calcário utilizada, em área total, para elevar a saturação por bases para 70%, correspondeu a 1,9 ton ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se um calcário dolomítico calcinado com 35% de CaO e 14% de MgO, com PRNT de 90%. De forma complementar, aplicaram-se 150g m<sup>-1</sup> de calcário no sulco de plantio. Posteriormente, realizou-se a aplicação de 350 g de superfosfato simples por metro linear. A correção do solo e a adubação fosfatada foram realizadas, de acordo com os resultados da análise de solo (TABELA 1), seguindo as recomendações estabelecidas na 5<sup>a</sup> Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999).

O monitoramento de pragas e doenças foi feito regularmente, conforme o calendário agrícola da cultura. O manejo fitossanitário foi realizado, conforme a necessidade, seguindo as recomendações de Matiello et al. (2010). A aplicação foliar de micronutrientes seguiu as especificações de Guimarães et al. (1999).

O controle da vegetação espontânea, nas entrelinhas do cafeeiro, foi feito com utilização de roçadora mecânica em todas as parcelas experimentais. No entanto, na linha de plantio, o controle foi realizado, de acordo com o tipo manejo específico de cada tratamento da parcela, que será detalhado posteriormente.

### 3.3 Delineamento experimental e tratamentos

Os fatores em estudo foram dispostos em esquema fatorial 3x2x5, perfazendo um total de 30 tratamentos alocados na área experimental em parcelas subdivididas. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com três repetições. Nas parcelas, foram casualizados três manejos do solo (*mulching*, braquiária e solo exposto). Nas subparcelas, foram alocados os dois tipos de fertilizantes (convencional e fertilizante de liberação controlada). Nas subparcelas, foram distribuídos os cinco condicionadores de solo (casca de café, gesso agrícola, polímero hidrorretentor, composto orgânico e testemunha) (TABELA 2).

Cada unidade experimental foi composta por seis plantas, sendo consideradas com plantas úteis as quatro centrais. Entre as linhas de tratamento, utilizou-se uma linha de bordadura, de forma a evitar interferência.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos. Lavras - MG, 2016.

Tratamento	Manejo	Fertilizante	Condicionador de solo
T1	<i>Mulching</i>	Convencional	Casca de café
T2			Gesso agrícola
T3			Polímero hidrorrentor
T4			Composto orgânico
T5			Testemunha
T6		Liberação controlada	Casca de café
T7			Gesso agrícola
T8			Polímero hidrorrentor
T9			Composto orgânico
T10			Testemunha
T11	Braquiária	Convencional	Casca de café
T12			Gesso agrícola
T13			Polímero hidrorrentor
T14			Composto orgânico
T15			Testemunha
T16		Liberação controlada	Casca de café
T17			Gesso agrícola
T18			Polímero hidrorrentor
T19			Composto orgânico
T20			Testemunha
T21	Solo exposto	Convencional	Casca de café
T22			Gesso agrícola
T23			Polímero hidrorrentor
T24			Composto orgânico
T25			Testemunha
T26		Liberação controlada	Casca de café
T27			Gesso agrícola
T28			Polímero hidrorrentor
T29			Composto orgânico
T30			Testemunha

Fonte: Da autora (2018).

Para o manejo do solo com uso do *mulching*, utilizou-se um filme plástico dupla face preto e branco, à base de polietileno, com 1,60 m de largura. O filme plástico foi instalado na

linha de plantio, logo após o plantio do café, sendo a parte superior branca e a inferior preta. Segundo recomendações do fabricante, a face preta tem a função de não permitir a passagem de luz e, conseqüentemente, impedir a emergência de plantas espontâneas, já a face branca reflete os raios solares, dispersando o calor excessivo do solo. Após a aplicação do *mulching*, fixaram-se as laterais do filme com a amontoa de terra. Para a aplicação de fertilizantes e condicionadores de solo sob o filme plástico, as laterais do *mulching* foram levantadas e, posteriormente, fixadas novamente.

O manejo com braquiária foi estabelecido por meio do consórcio café e braquiária. A braquiária (*Urochloa decumbens*) foi cultivada, na entrelinha do cafeeiro, enquanto a linha de plantio foi mantida sempre coberta pelos resíduos vegetais provenientes da sua ceifa. Logo após a demarcação dos sulcos de plantio (dezembro de 2015), realizou-se a semeadura da braquiária, a lanço, em uma faixa de 1,60 m na entrelinha do cafeeiro, de modo a manter uma distância de 1,00 m da linha de plantio. Utilizou-se a quantidade de 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de *Urochloa decumbens*. A ceifa da braquiária foi realizada sempre antes do seu florescimento, com roçadora mecânica, a fim de evitar a competição com o cafeeiro. Posteriormente, a biomassa da braquiária foi colocada sob a copa do cafeeiro, com o auxílio de um rastelo, ocupando 1,00 m de distância de cada lado da linha de plantio.

Para quantificar a biomassa da braquiária colocada sobre o solo na linha de plantio, foram coletadas amostras em cada unidade experimental. Logo após, determinou-se o peso fresco e estimou-se que, em média, foi depositado 1,8 kg.m<sup>-2</sup> de material vegetal da poácea após cada ceifa.

O manejo com solo exposto foi realizado, mantendo uma faixa de 1,00 m de cada lado da linha de plantio sempre limpa, por meio de capinas e aplicações de herbicidas pós e pré-emergentes. O manejo da vegetação espontânea, na entrelinha, foi realizado por meio da utilização de roçadora mecânica.

O fator de estudo fertilizantes foi constituído por duas diferentes tecnologias para o fornecimento de nitrogênio (N) e potássio (K) às plantas. O fertilizante convencional foi composto pelo formulado 20-00-20 com complemento, quando necessário, de ureia convencional (45% N). O fertilizante de liberação controlada foi composto por um produto comercial (37% N), com ureia revestida por partículas de enxofre elementar mais uma camada de polímeros orgânicos e outro produto comercial (52 % K<sub>2</sub>O) com cloreto de potássio, também revestido com partículas de enxofre elementar mais uma camada de polímeros orgânicos.

As adubações foram realizadas, em função dos resultados da análise de solo (TABELA 1) e das necessidades nutricionais do cafeeiro, descritas por Guimarães et al. (1999). Na adubação de pós-plantio, aplicaram-se 10 g de N e 10 g de K<sub>2</sub>O por planta. Na adubação de 1º ano pós-plantio, aplicaram-se 30 g de N e 10 g K<sub>2</sub>O por planta. Ressalta-se que as doses aplicadas de cada tipo de fertilizante utilizado foram determinadas, de modo que a quantidade de nutrientes fornecida às plantas fosse a mesma, diferenciando apenas na forma de aplicação.

A aplicação do fertilizante convencional foi de forma parcelada, em cobertura, aos 30 (fevereiro de 2016) e 60 dias (março de 2016) após o plantio. Na adubação de 1º ano pós-plantio, parcelou-se a dose recomendada em três vezes, a intervalos de 45 dias, com a primeira aplicação realizada em novembro de 2016. O fertilizante de liberação controlada foi aplicado de forma única, em covetas laterais com 5 cm de profundidade, quatro dias após o plantio e, na adubação de 1º ano pós plantio, em novembro de 2016.

Casca de café, gesso agrícola, polímero hidrorretentor e composto orgânico foram as técnicas agrônômicas utilizadas no experimento como condicionadores de solo.

A aplicação da casca de café, do gesso agrícola e do composto orgânico foi realizada em cobertura, na projeção da copa do cafeeiro, logo após o plantio (GUIMARÃES et al., 1999). A casca de café e o composto orgânico foram aplicados na dose de 10 L por planta, distribuídos uniformemente nas respectivas subparcelas. A casca de café aplicada foi proveniente do processo de beneficiamento do café em coco. O composto orgânico utilizado foi um produto comercial contendo resíduos de fazendas e de indústrias alimentícias (APÊNDICE B).

Nos tratamentos com gesso agrícola, aplicaram-se 300 g.m<sup>-2</sup>, com recomendação realizada, em função dos resultados da análise de solo de 20 a 40 cm (TABELA 1), sendo a dose calculada com base na textura do solo. O produto utilizado apresentava 18% de cálcio e 15% de enxofre.

O polímero hidrorretentor foi aplicado na ocasião do plantio. Preparou-se a solução do polímero, na proporção de 1,5 kg do produto em 400 litros de água, permanecendo em repouso por 30 minutos para a completa hidratação. Posteriormente, aplicaram-se 1,5 litros da solução em cada cova de plantio, incorporando o polímero ao solo (PIEVE et al., 2013).

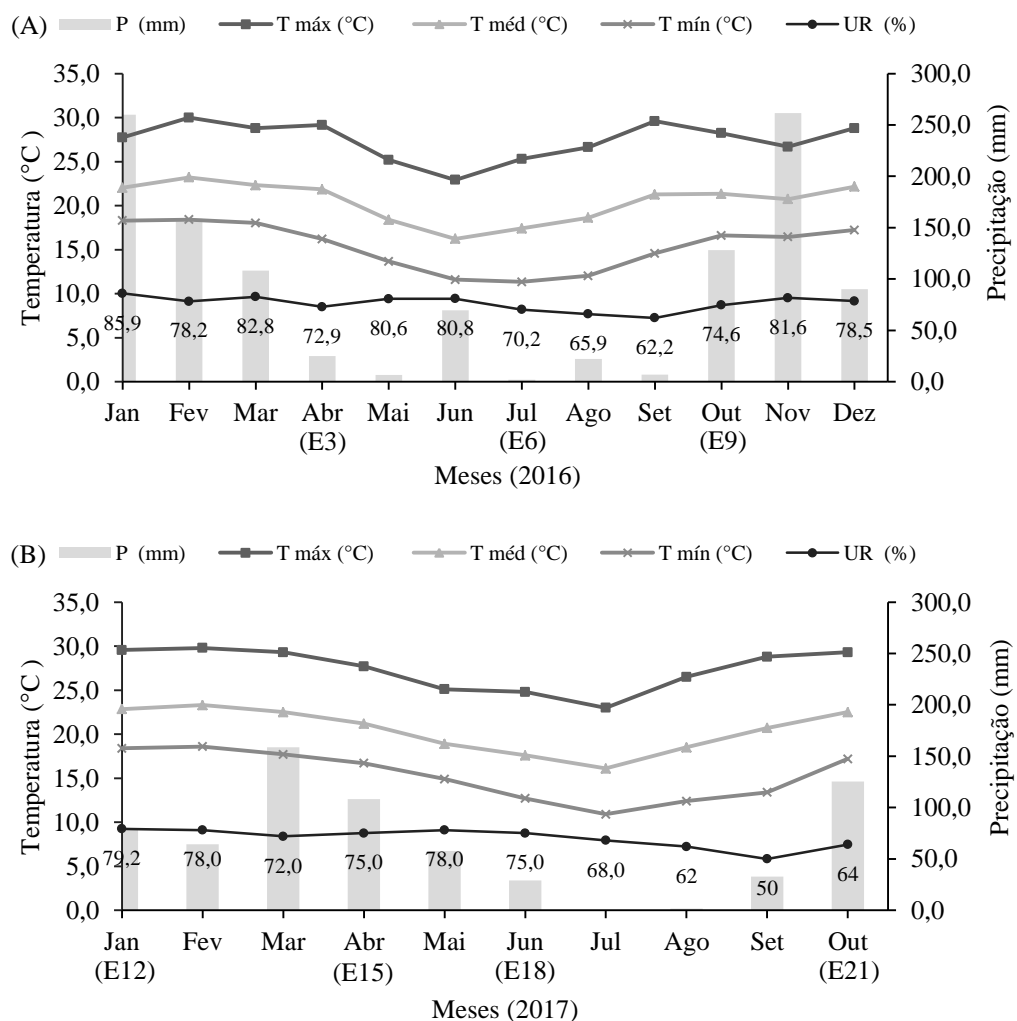
A subparcela denominada testemunha não recebeu condicionador de solo, sendo influenciada apenas pelos fatores manejo e fertilizante.

### 3.4 Características avaliadas

As mensurações das características avaliadas foram realizadas, em sete épocas distintas, para se acompanhar as características do cafeeiro quanto às diferentes condições climáticas na área experimental: E3 (abril de 2016), E6 (julho de 2016), E9 (outubro de 2016), E12 (janeiro de 2017), E15 (abril de 2017), E18 (julho de 2017) e E21 (outubro de 2017). As épocas de avaliação representaram o período de 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 meses após a instalação do experimento, respectivamente.

Os dados climáticos foram monitorados, por meio de uma estação meteorológica automática, instalada próxima à área experimental, obtendo dados como volume das chuvas (precipitação), temperaturas máxima, média e mínima e umidade relativa do ar (FIGURA 1).

Figura 1 - Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas mensalmente no ano 2016 (A) e 2017 (B).



Fonte: Da autora (2018)

Verifica-se, nas épocas de avaliação E3, E6 e E18 (abril/2016, julho/2016 e julho/2017), os menores volumes de precipitação: 24,8 mm, 1,8 mm e 0,0 mm, respectivamente. Já nas épocas E9, E15 e E21 (outubro/2016, abril/2017 e outubro/2017), observa-se maior pluviosidade: 128,2 mm, 108,3 mm e 125,3 mm, respectivamente. Na época E12 (janeiro/2017), houve um volume médio de precipitação de 79,6 mm, porém observam-se maiores temperaturas e umidade relativa do ar (FIGURA 1).

### **3.4.1 Crescimento de plantas, umidade e resistência do solo**

As avaliações do crescimento vegetativo das plantas, da umidade do solo e da resistência do solo à penetração (penetrômetro hidromecânico) foram realizadas nas sete épocas estudadas.

Foram analisadas as características de crescimento:

- a) altura de plantas (AP): em cm, medida do colo da planta até a gema apical do ramo ortotrópico, por meio de régua graduada;
- b) diâmetro de caule (DC): em mm, medida na região do colo da planta, por meio de um paquímetro eletrônico;
- c) número de ramos plagiotrópicos (RP): contagem dos ramos plagiotrópicos que apresentavam mais de um par de folhas;
- d) comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP): em cm, medida no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta, por meio de régua graduada;
- e) número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (NNP): contagem dos nós no primeiro ramo plagiotrópico acima do colo da planta.

A umidade do solo (US) foi determinada pelo método padrão, por meio da coleta de uma amostra deformada na camada de 0 a 20 cm, em cada unidade experimental, com auxílio de um trado de rosca. Mensurou-se a massa úmida, em balança de precisão e mantiveram-se as amostras em estufa a 105 °C por 24 horas, para determinar a massa seca. Posteriormente, calculou-se a umidade gravimétrica do solo, em porcentagem, pela razão da diferença da massa úmida e seca pela massa seca (EMBRAPA, 1997).

A resistência do solo à penetração (RS), em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ , foi determinada utilizando um penetrômetro hidromecânico (modelo MPC - Medidor de Camada Compactada), conforme recomendações do fabricante. O equipamento foi introduzido no solo, pressionado de forma

constante na posição vertical, até a profundidade de 20 cm. Posteriormente, a pressão exercida pelo solo, na ponteira do equipamento, transmitida ao manômetro, foi anotada. A operação foi realizada, em quatro pontos de cada unidade experimental, para obter uma média representativa.

### 3.4.2 Características fisiológicas

Nas sete épocas de avaliação, também, foram determinadas as características fisiológicas das plantas.

Para a avaliação de trocas gasosas, utilizou-se medidor portátil de análise de gás na região do infravermelho (IRGA LICOR - 6400XT). Avaliou-se a taxa fotossintética líquida ( $A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a taxa transpiratória ( $E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Para calcular a eficiência do uso da água (EUA -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ), fez-se a razão entre a taxa fotossintética e a taxa transpiratória (SILVA et al., 2010). As avaliações foram realizadas entre as 8 h e 10 horas da manhã, sob luz artificial ( $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), utilizando folhas completamente expandidas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo plagiotrópico.

Determinaram-se os índices de clorofila a (CIA), b (CIB) e total (CIT), obtidos por meio do aparelho digital ClorofiLOG (modelo CFL 1030). O aparelho fornece os índices proporcionais à absorvância das clorofilas. As leituras foram realizadas nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações de trocas gasosas.

O potencial hídrico foliar (PH - MPa) foi determinado, no período “antemanhã”, utilizando câmara de pressão (modelo 1000, PMS Instrument Company). As folhas coletadas, completamente expandidas e isentas de pragas e doenças, foram avaliadas na câmara, aplicando-se pressão até que ocorresse a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha.

### 3.4.3 Características anatômicas

As avaliações anatômicas foram realizadas em três épocas: E6 (julho/2016), E12 (janeiro/2017) e E18 (julho de 2017). Em cada época coletaram-se folhas completamente expandidas, localizadas no segundo ou terceiro nó do ramo plagiotrópico, no terço médio das plantas. As folhas, assim que coletadas, foram transportadas para o laboratório em papéis “germitest” identificados e umedecidos com água deionizada.



Para a caracterização estomática, retirou-se impressão da epiderme, na face abaxial da folha, por meio método de impressão com adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) sobre lâmina de vidro (SCHMIDT et al., 2017).

Para o estudo dos tecidos foliares e dos feixes vasculares, realizou-se o processo de desidratação em série etílica. O material vegetal foi incluído em metacrilato (metodologia conforme o fabricante) e seccionado com 0.8  $\mu\text{m}$  de espessura, com o auxílio de um micrótomo rotativo. As seções obtidas foram coradas com azul de toluidina (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY, 1964) e as lâminas foram montadas utilizando Entelan como meio de montagem.

As lâminas obtidas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico modelo Kasvi RED 200, acoplado à câmera digital Motic Moticom 5,0MP. Posteriormente, para a obtenção dos dados, as imagens foram analisadas com o software UTHSCSA-Imagetool.

Foram avaliadas as características: densidade estomática (DEN) - número de estômatos por  $\text{mm}^2$ , relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos (DPDE) - razão entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), espessura da epiderme da face adaxial (EAD) em  $\mu\text{m}$ , espessura da epiderme da face abaxial (EAB) em  $\mu\text{m}$ , espessura do parênquima paliçádico (PAL) em  $\mu\text{m}$ , espessura do parênquima esponjoso (PES) em  $\mu\text{m}$ , espessura do mesofilo (MES) em  $\mu\text{m}$ , espessura da região do floema (FLO) em  $\mu\text{m}$ , diâmetro dos vasos do xilema (DVX) em  $\mu\text{m}$  e número de vasos do xilema (NVX).

#### **3.4.4 Atributos químicos do solo**

Na última época de avaliação (E21 - outubro de 2017), realizou-se amostragem de fertilidade do solo (camada 0 a 20 cm), com trado de rosca, na projeção da copa do cafeeiro. Para cada unidade experimental, retirou-se uma amostra composta de, aproximadamente, 300 g, obtida a partir de duas amostras simples. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para análise no Laboratório de Análises Agropecuárias - 3rlab em Lavras - MG, que utiliza a metodologia do Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo - PROFERT/MG (PROFERT, 2005). Foram determinados os atributos químicos do solo: pH em água (pH), teor de fósforo (P -  $\text{mg dm}^{-3}$  - extrator Mehlich-1), teor de potássio (K -  $\text{mg dm}^{-3}$  - extrator Mehlich-1), teor de cálcio (Ca -  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  - extrator KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ), teor de magnésio (Mg -  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  - extrator KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ), teor de alumínio (Al -  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  - extrator KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ), acidez potencial (H+Al -  $\text{cmol}_c$

$\text{dm}^{-3}$  - extrator acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0), capacidade de troca de cátions efetiva do solo (CTC pH 7 -  $\text{cmolc dm}^{-3}$ ), saturação por bases (V - %) e saturação por alumínio (m - %).

### 3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, verificando a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk.

Foi realizada a seleção de variáveis pelo método de “Análise de Procrustes”, baseado no algoritmo de eliminação *backward*, proposto por Krzanowski (1987), que estabelece como critério de descarte a estatística  $M^2$ , possibilitando determinar um subconjunto de variáveis que representa a estrutura do conjunto de variáveis originais (PONTES, 2016) (TABELA 1, APÊNDICE A). Nesse sentido, a apresentação e discussão dos resultados foram feitas com base nas variáveis selecionadas após o descarte. A análise foi realizada utilizando o aplicativo computacional “Programa GENES” (CRUZ, 2006).

Posteriormente, realizou-se a análise de variância com a significância das fontes de variação verificada pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade. Para o estudo das médias, quando verificada significância, realizou-se a comparação, por meio da sobreposição do erro padrão da média, para estudar os efeitos das interações e dos efeitos dos fatores principais. Esses procedimentos estatísticos foram realizados por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

Também por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016), foi empregada a análise multivariada dos dados. Realizou-se a análise de variáveis canônicas para avaliar a similaridade dos tratamentos, por intermédio de dispersão gráfica em cada período estudado, foi realizada a análise de variância multivariada (MANOVA), em seguida, utilizou-se a função `candiscList ()` da biblioteca `candisc` (FRIENDLY; FOX, 2017).

Além disso, foi feita a correlação canônica entre os grupos de variáveis de crescimento/umidade do solo, fisiológicas, anatômicas e dos atributos químicos do solo. Nessa análise, utilizaram-se os dados médios dos tratamentos do período de 18 meses (características de crescimento, umidade do solo, fisiológicas e anatômicas) e 21 meses (atributos químicos do solo), após a padronização dos dados, os quais foram submetidos à análise de correlação canônica por meio da função `cca ()` da biblioteca `yacca` (BUTTS, 2012). Ressalta-se que a escolha do período de 18 meses, para a análise de correlação canônica, foi baseada nos resultados obtidos por Castanheira et al. (2016) que demonstraram maior

variabilidade e importância das características anatômicas e fisiológicas das plantas, em períodos de seca, que, neste trabalho, foi observado de forma mais pronunciada na E18 (FIGURA 1).

## 4 RESULTADOS

Os resultados apresentados referem-se às variáveis selecionadas (TABELA 1, APÊNDICE A) e às que apresentaram diferença significativa em cada época de avaliação ( $p < 0,05$ ) (TABELAS 2 - 8, APÊNDICE A).

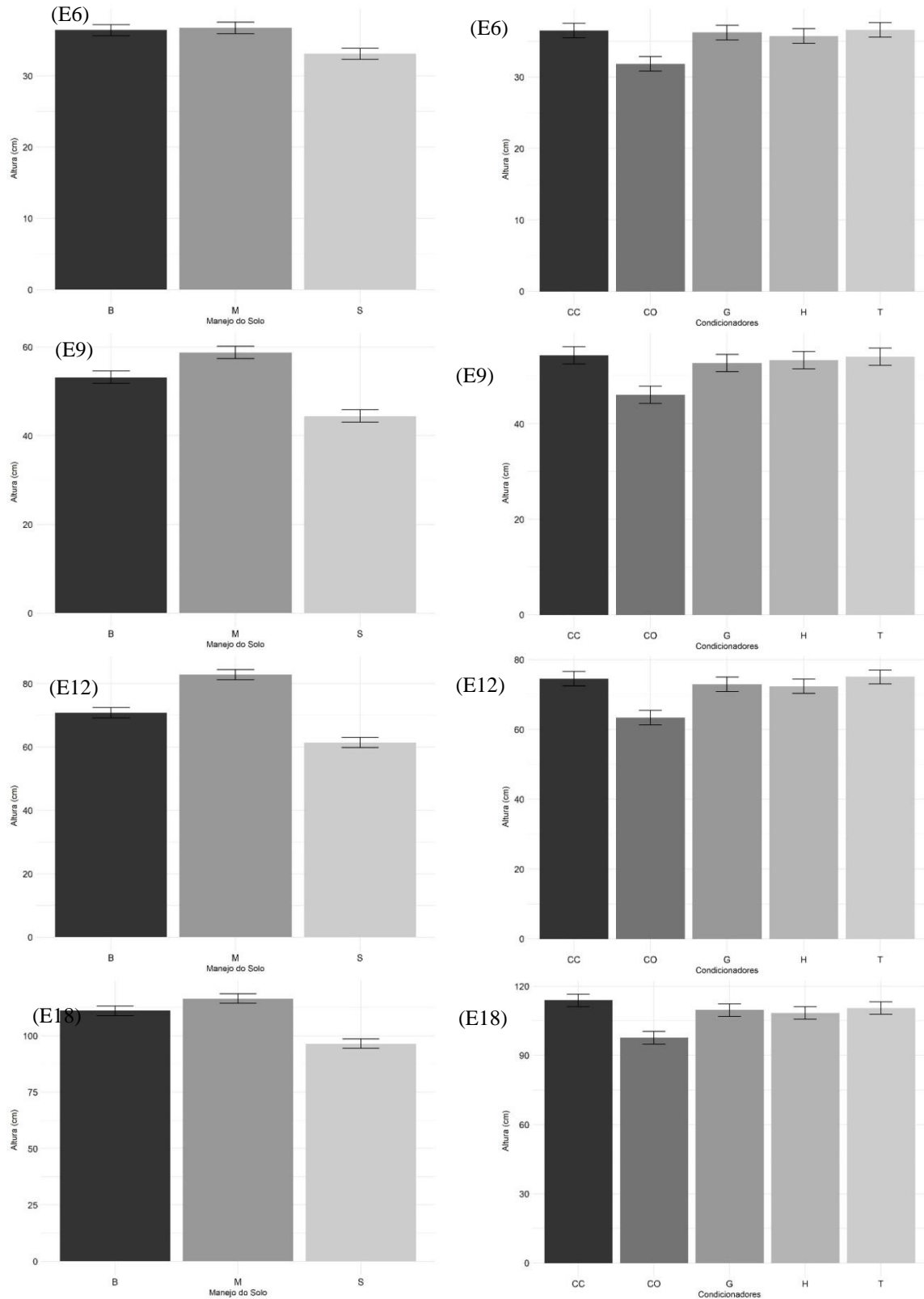
### 4.1 Crescimento de plantas, umidade e resistência do solo

Para as características de crescimento de plantas e umidade do solo, não foram constatadas interações significativas, os fatores manejo da cobertura do solo e condicionador foram significativos ( $p < 0,05$ ) e estudados de forma isolada. Já para a resistência do solo à penetração, houve significância para a interação entre manejo e condicionador. O fator fertilizante não apresentou efeito significativo em nenhuma dessas características estudadas (TABELAS 2-8, APÊNDICE A).

A altura de plantas apresentou o mesmo comportamento, nas épocas 6, 9, 12 e 18, em que o manejo da cobertura do solo com *mulching* e braquiária aumentou a altura do cafeeiro. Evidencia-se o *mulching* que, nas épocas 9, 12 e 18, foi superior à braquiária (FIGURA 2).

Em relação aos condicionadores de solo, a aplicação do composto orgânico prejudicou o cafeeiro, ocasionando menor altura das plantas. Na época 18, a casca de café proporcionou maior altura em relação ao polímero hidrorretentor e ao composto orgânico (FIGURA 2).

Figura 2 - Representação gráfica da altura de plantas (AP - cm) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12) e época 18 (E18).

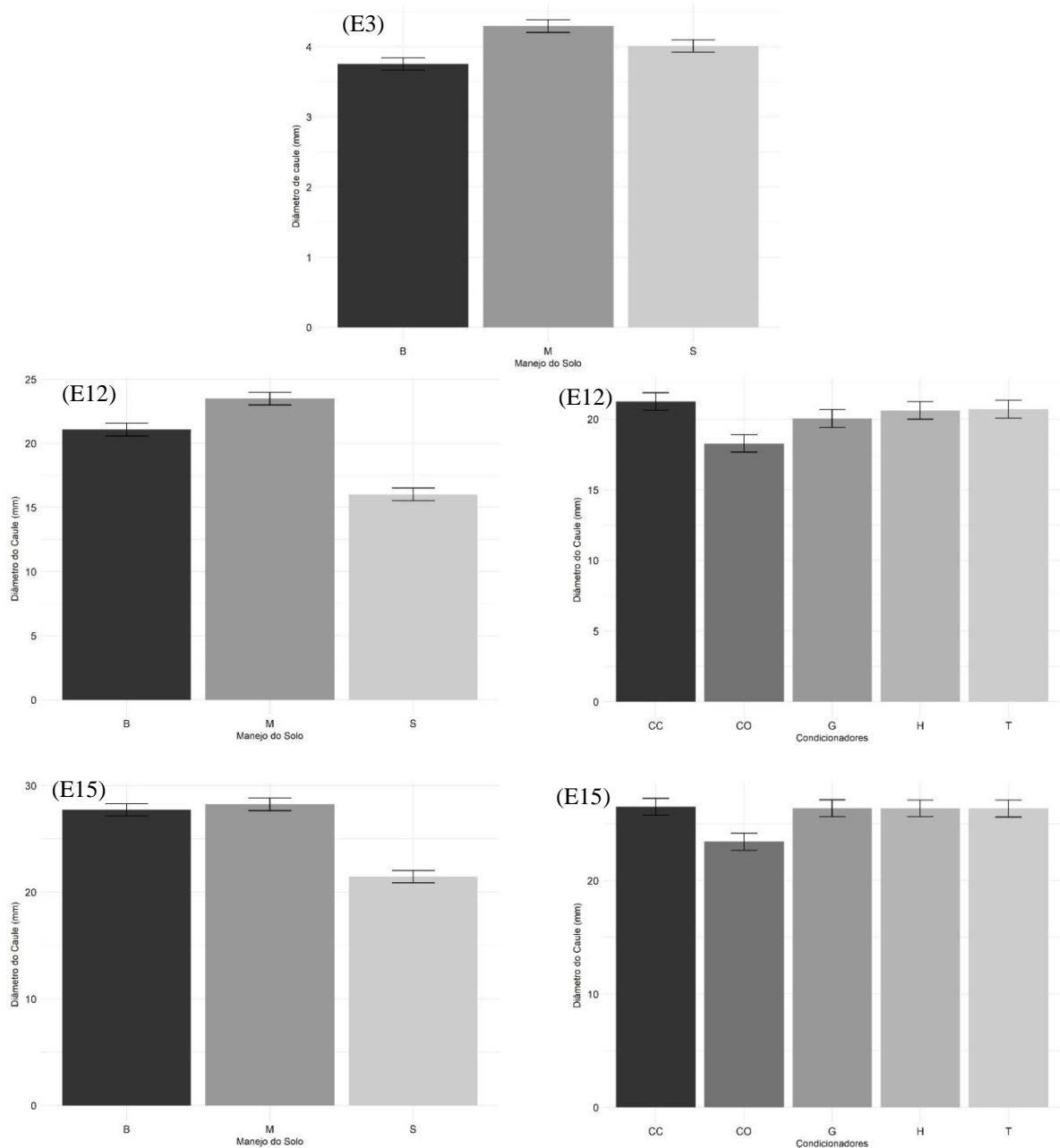


Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

O diâmetro de caule foi maior nas plantas sob o manejo da cobertura do solo com o *mulching* (FIGURA 3 - E3; E12). Menores valores foram observados no manejo com solo exposto nas épocas 12 e 15. Assim como para altura, o composto orgânico foi desfavorável para o diâmetro de caule do cafeeiro (FIGURA 3 - E12; E15).

Figura 3 - Representação gráfica do diâmetro de caule (DC - mm) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 12 (E12) e época 15 (E15).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.  
Fonte: Da autora (2018).

O número de ramos plagiotrópicos (RP) destaca-se como uma variável importante, em todas as épocas estudadas, exceto na época 3 que, em razão de as plantas ainda serem muito jovens, não se determinou essa característica (APÊNCIDE A).

Analisando o manejo da cobertura do solo, verifica-se maior número de ramos plagiotrópicos no cafeeiro sob o manejo com *mulching* e com braquiária (FIGURA 4). Ressalta-se que, nas primeiras épocas de avaliação (E9 e E12), o *mulching* foi superior à braquiária, porém, posteriormente (E15, E18 e E21), não houve mais diferenças entre os manejos, sendo as médias observadas iguais entre si e sempre superiores às verificadas no manejo com solo exposto (FIGURA 4).

Em relação aos condicionadores de solo, o composto orgânico, mais uma vez, foi desfavorável às plantas. No período de 21 meses após o plantio (E21), o valor médio do número de ramos plagiotrópicos foi maior nas plantas que receberam casca de café (FIGURA 4).

Figura 4 - Representação gráfica do número de ramos plagiotrópicos (RP) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).

(continua)

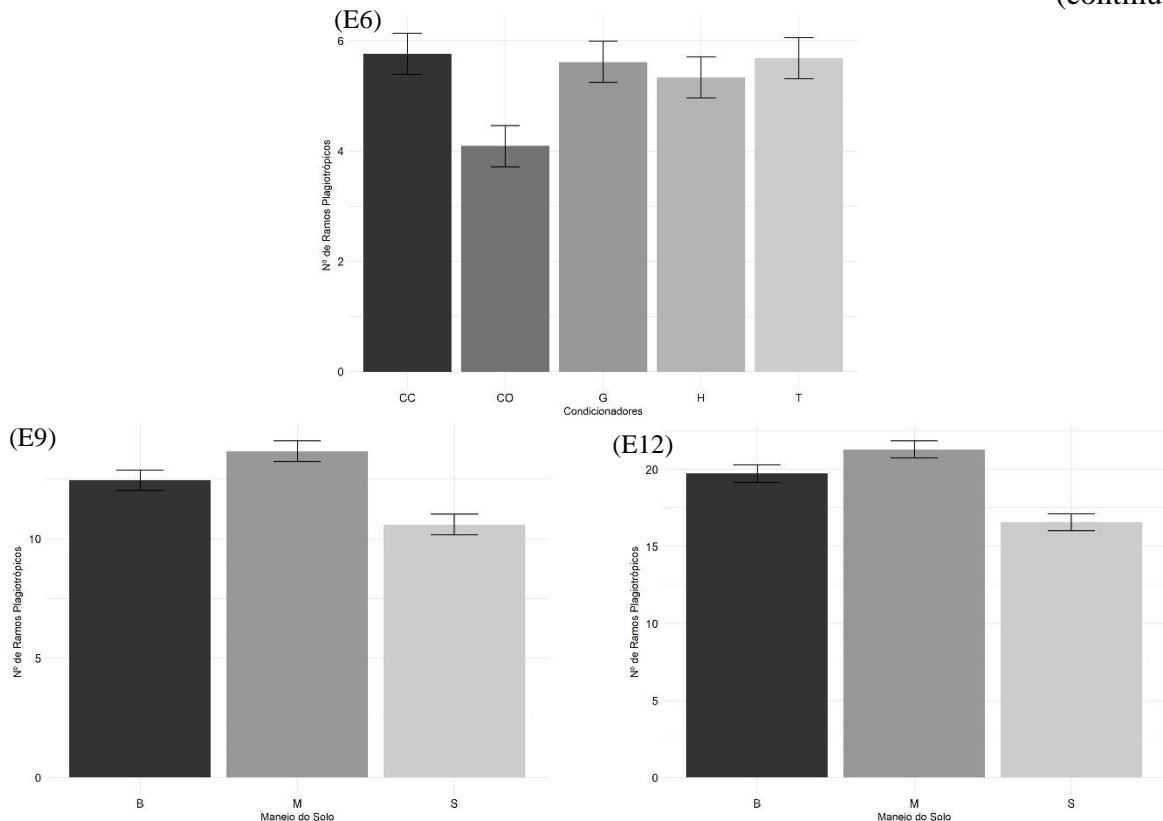
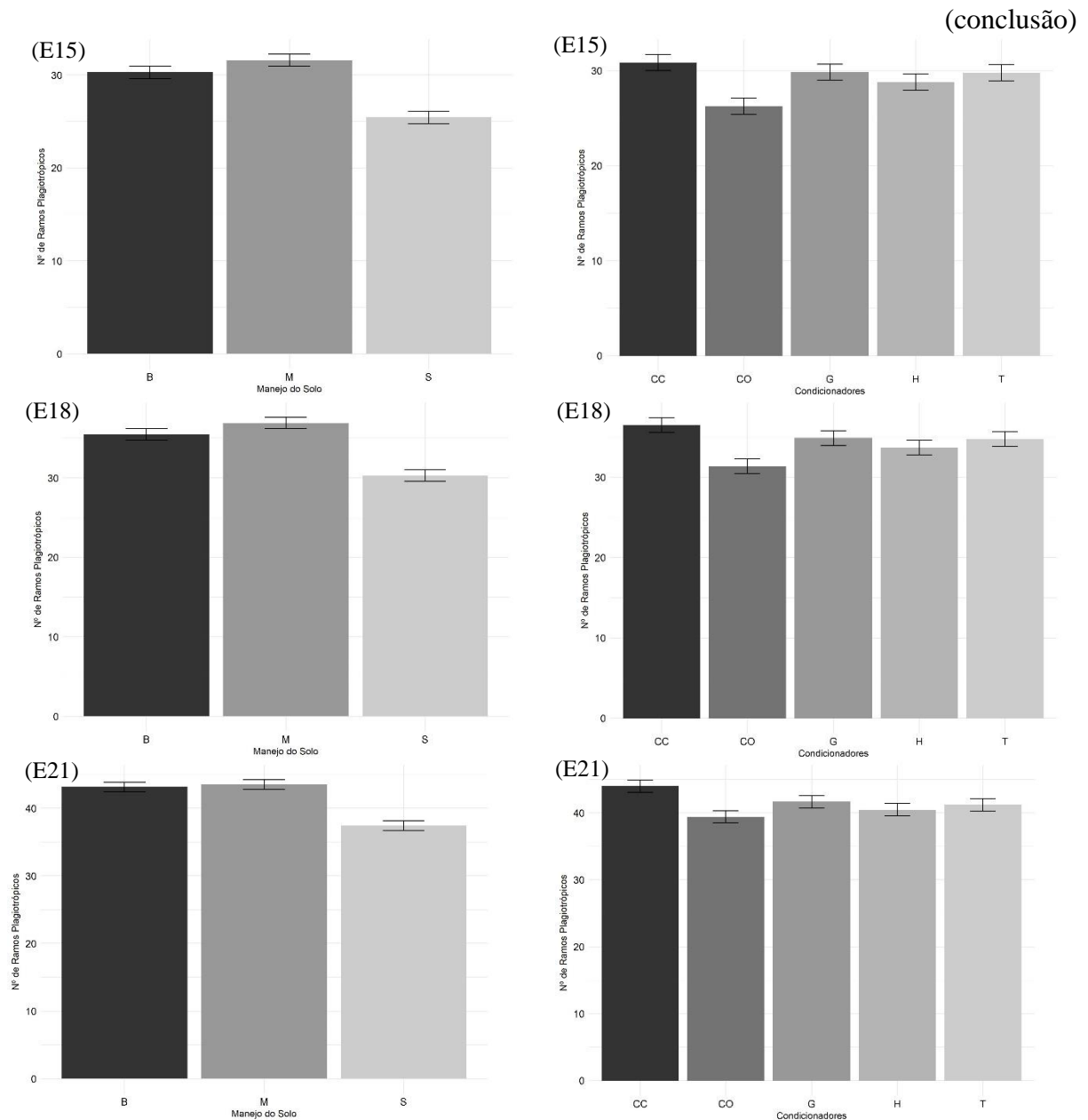


Figura 4 - Representação gráfica do número de ramos plagiotrópicos (RP) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

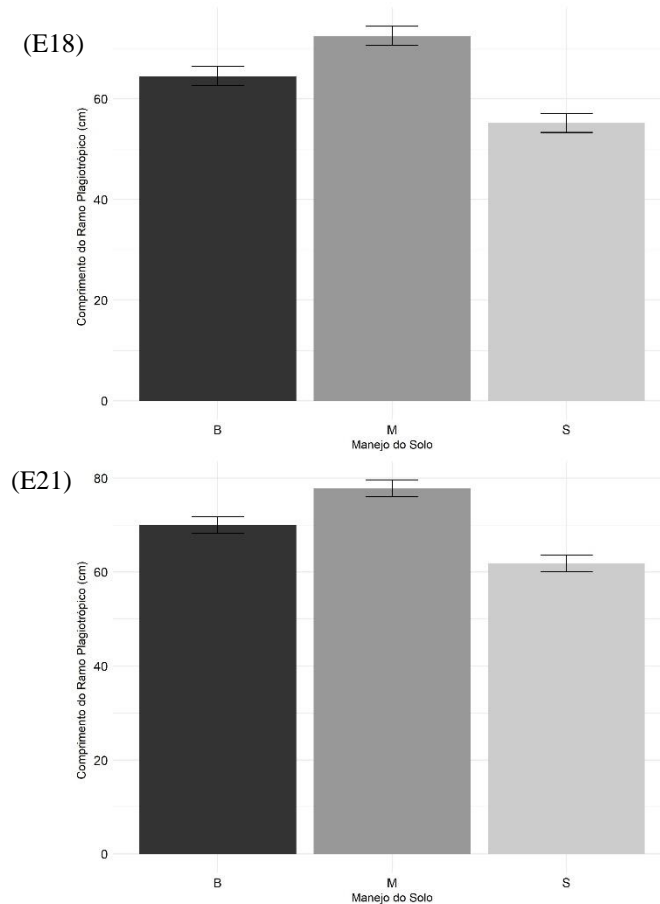
Fonte: Da autora (2018).

Nas épocas 18 e 21, a presença da cobertura do solo, seja por meio do manejo com a braquiária ou com o *mulching*, aumentou o comprimento do primeiro ramo plagiotrópico,



quando comparado ao solo exposto. Evidencia-se que o *mulching* foi o manejo que mais favoreceu essa característica (FIGURA 5 - E18; E21).

Figura 5 - Representação gráfica do comprimento do primeiro ramo plagiotrópico (CP - cm) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), durante a época 18 (E18) e 21 (E21).



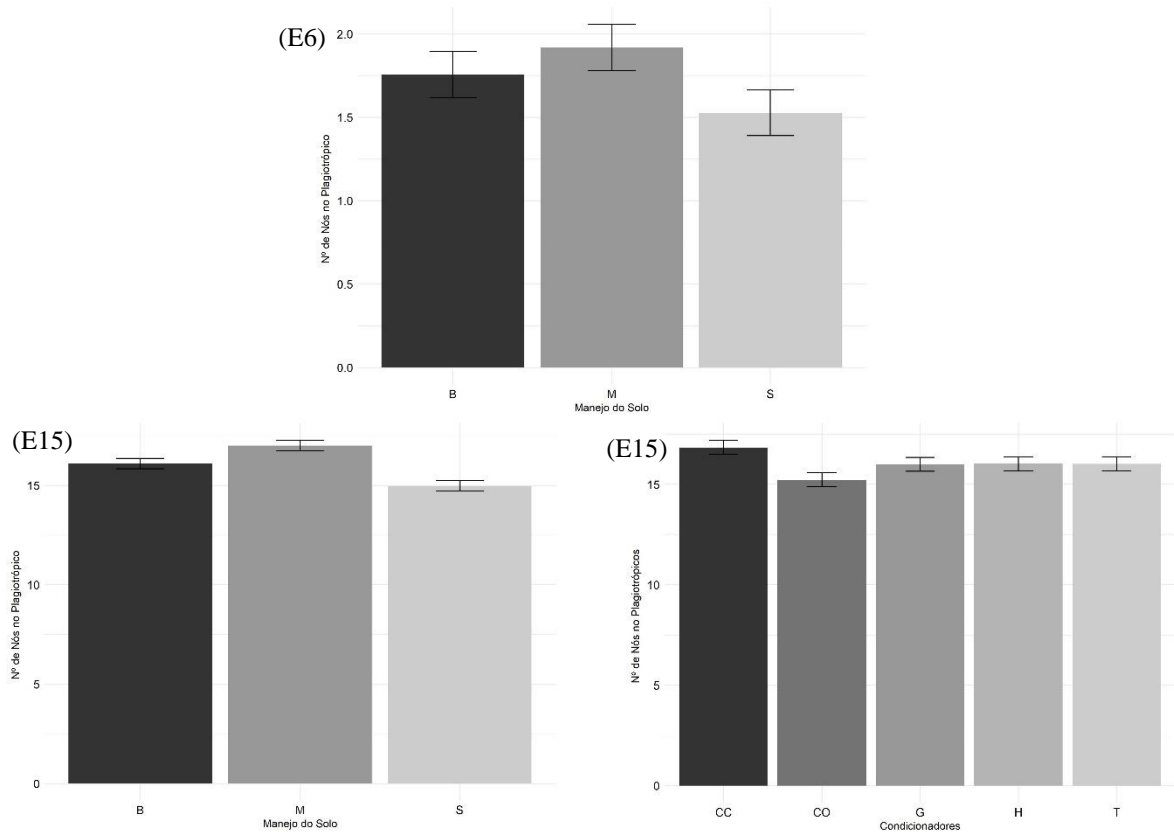
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

O número de nós no primeiro ramo plagiotrópico foi menor no cafeeiro com solo exposto (FIGURA 6 - E6; E15). Na época 6, valores semelhantes foram observados nas plantas cultivadas com *mulching* e braquiária, entretanto, na época 15, o *mulching* foi superior à braquiária (FIGURA 6).

Além disso, maiores valores médios foram verificados no cafeeiro com casca de café (FIGURA 6 - E15). O gesso agrícola, polímero hidrorretentor e testemunha promoveram médias semelhantes, porém inferiores às verificadas nas plantas com casca de café. De forma similar às outras características de crescimento, o composto orgânico apresentou efeito negativo para o número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (FIGURA 6 - E15).

Figura 6 - Representação gráfica do número de nós no primeiro ramo plagiotrópico (NNP) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 15 (E15).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Assim como a característica número de ramos plagiotrópicos (RP), a umidade do solo (US) também se destacou quanto à sua importância, sendo selecionada na maioria das épocas estudadas (APÊNCIDE A).

Independente das condições climáticas de cada época, a umidade média do solo, no manejo com solo exposto, foi sempre inferior às observadas nos manejos que promoveram a cobertura do solo, braquiária e *mulching* (FIGURA 7). Nas épocas 3, 9 e 18, os valores médios de umidade do solo no manejo com braquiária e com *mulching* foram semelhantes (FIGURA 7 - E3; E9; E18). Já nas épocas 12 e 15 as maiores médias foram no manejo com braquiária (FIGURA 7- E12; E15).

Em relação aos condicionadores, a casca de café possibilitou maior umidade do solo na época 6 (FIGURA 7 - E6). Nas demais épocas, gesso agrícola, polímero hidrorretentor e testemunha ocasionaram menores valores médios (FIGURA 7).

Figura 7 - Representação gráfica da umidade do solo (US - %) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15) e época 18 (E18).

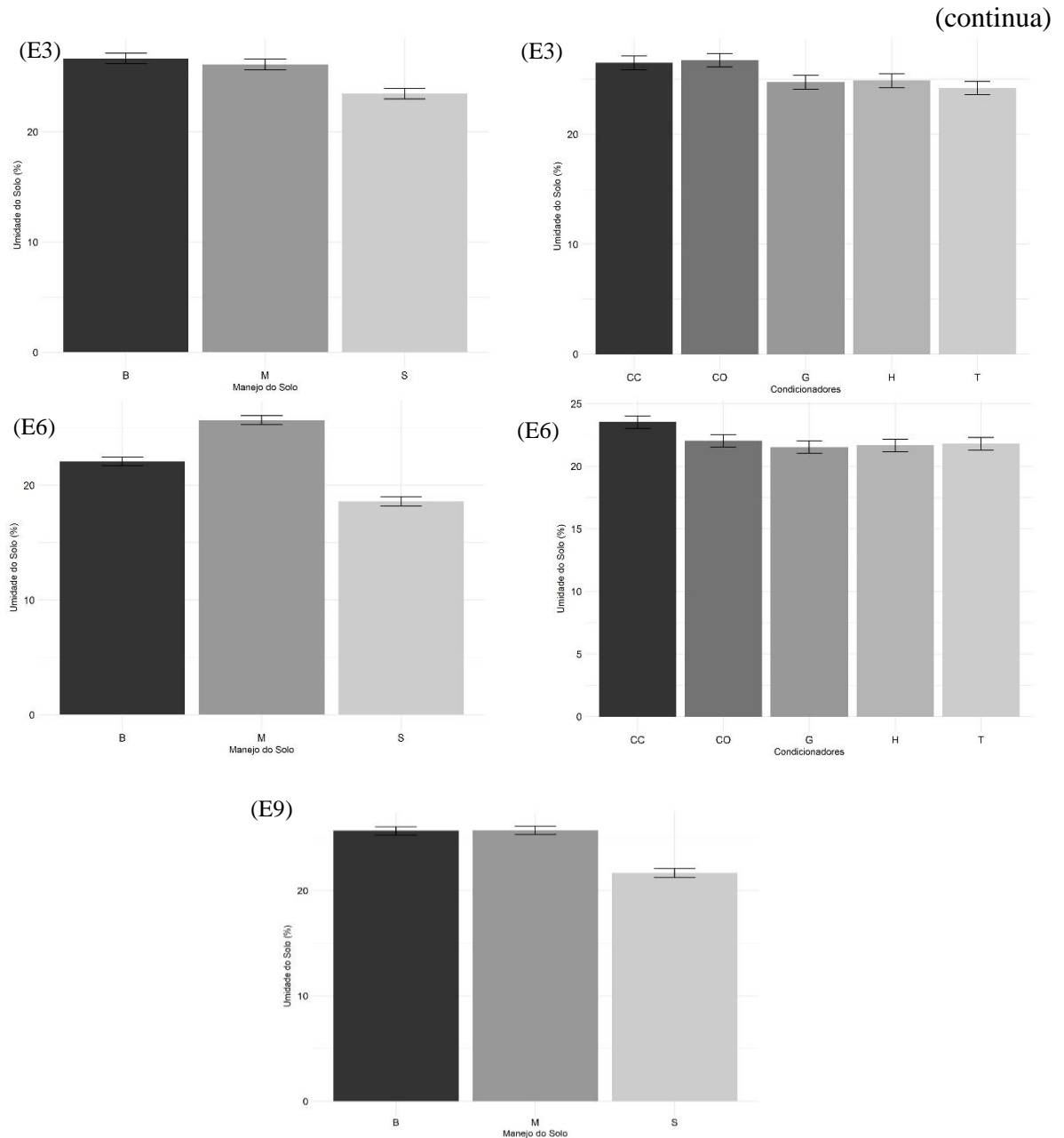
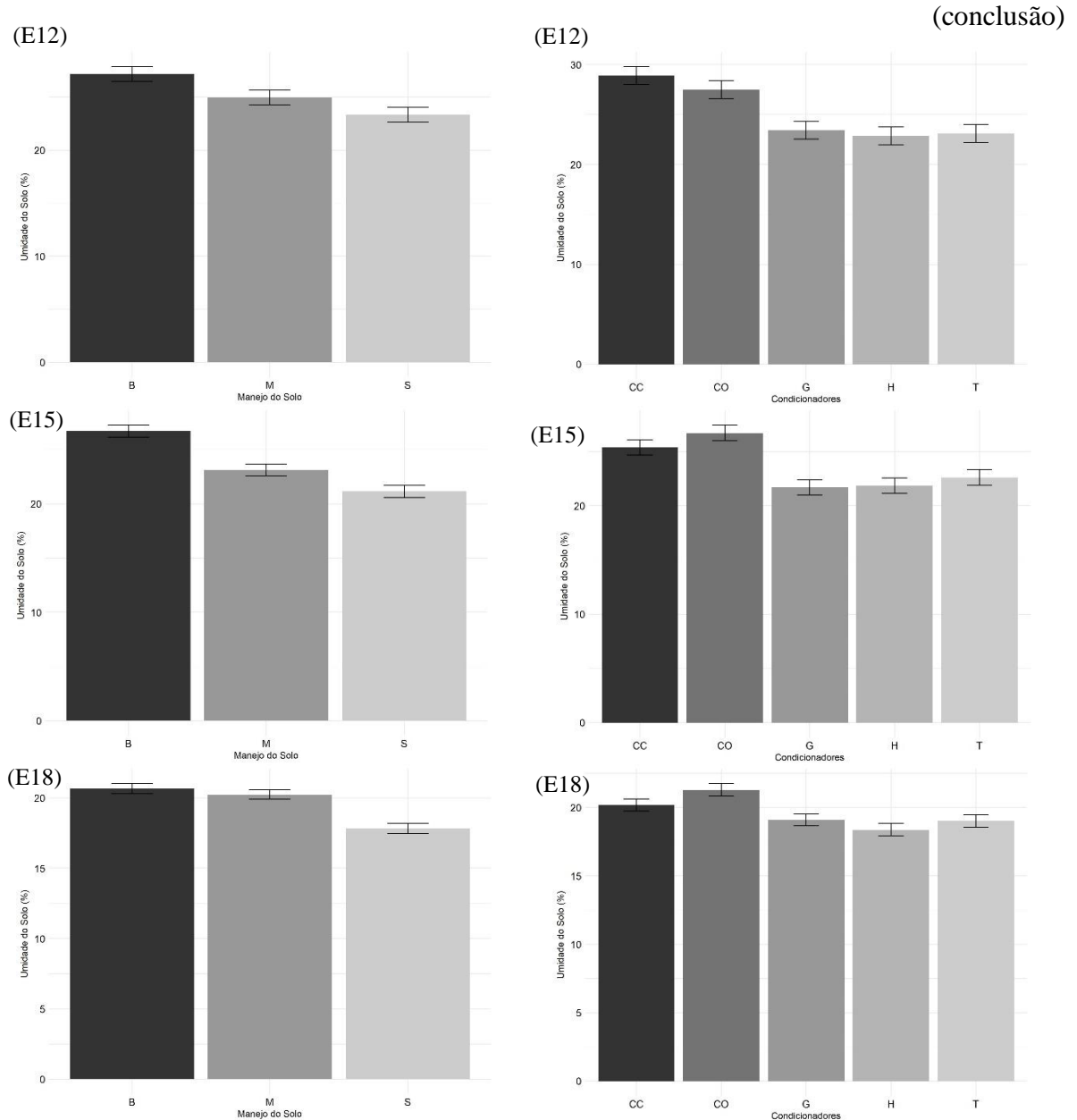


Figura 7 - Representação gráfica da umidade do solo (US - %) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 6 (E6), época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15) e época 18 (E18).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

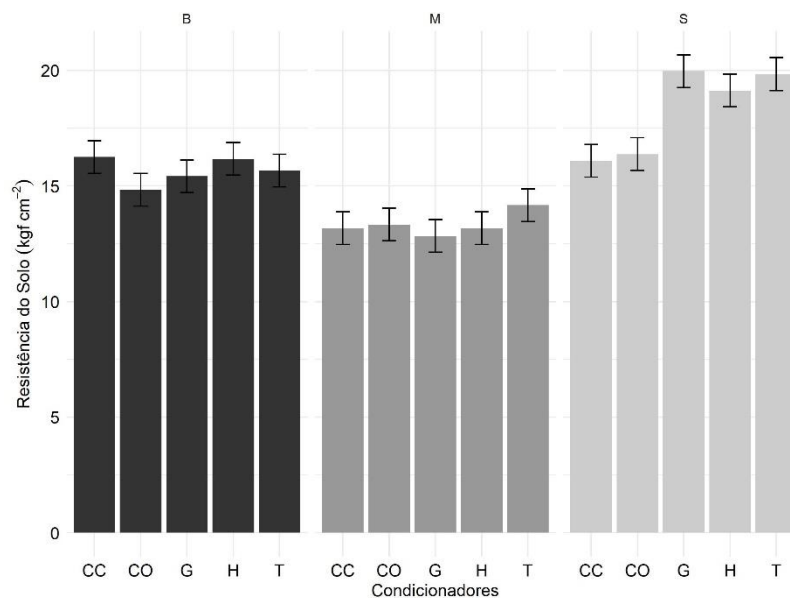
Fonte: Da autora (2018).

As maiores médias de resistência do solo à penetração (compactação) foram observadas no manejo do cafeeiro com o solo exposto associado ao gesso agrícola, ao polímero hidrorretentor e na ausência de condicionadores (testemunha), ou seja, nos tratamentos que não possibilitaram a cobertura do solo (FIGURA 8).

A casca de café e o composto orgânico, no manejo do cafeeiro com solo exposto, reduziram os valores de compactação do solo. Valores esses semelhantes aos observados no manejo do solo com braquiária, com a presença ou ausência de condicionadores (FIGURA 8).

O uso do *mulching*, em conjunto com qualquer condicionador (casca de café, composto orgânico, gesso agrícola e polímero hidrorretentor), proporcionou menores médias de compactação do solo (FIGURA 8).

Figura 8 - Representação gráfica da resistência do solo à penetração (RS - kgf/cm<sup>2</sup>) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) associado à cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9.



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Observa-se, no gráfico de dispersão (FIGURA 9), o agrupamento dos trinta tratamentos (oriundos da combinação dos três tipos de manejo da cobertura do solo, dos dois tipos de fertilizantes e dos cinco condicionadores) resultante da análise canônica nos diferentes períodos de avaliação.

Em todas as épocas, foi possível discriminar os grupos de tratamentos relacionados ao manejo da cobertura, com destaque para os tratamentos com solo exposto. Na época 3 (E3), observa-se que o diâmetro de caule (DC) e o número de folhas (NF) proporcionaram o agrupamento dos tratamentos com o *mulching*, principalmente, quando associados ao fertilizante de liberação controlada e aos condicionadores composto orgânico ou gesso. Por outro lado, os tratamentos com braquiária foram discriminados, de acordo com a variável

altura (AP), sobretudo, quando utilizado fertilizante de liberação controlada com polímero hidrorretentor ou casca de café. A umidade do solo (US) e número de folhas (NF) foram as variáveis que mais contribuíram para o agrupamento dos tratamentos com o solo exposto, principalmente, quando associado ao fertilizante convencional e polímero hidrorretentor (FIGURA 9 - E3).

Na época seis (E6), observa-se que os tratamentos foram discriminados em três grupos; os referentes ao solo exposto foram os que apresentaram maior distância das variáveis analisadas, junto a um único tratamento referente ao manejo com braquiária B:C:CO. Em relação à umidade do solo (US), os tratamentos com braquiária apresentaram-se mais distantes se comparados aos com *mulching*, com exceção do tratamento B:C:CC, o qual ficou discriminado junto com a maioria dos tratamentos com *mulching* (FIGURA 9 - E6).

De modo geral, na época nove (E9), os tratamentos com solo exposto foram agrupados com maior aproximação da variável resistência do solo à penetração (RS) e, de forma oposta, com maior distância da umidade do solo (US). Os tratamentos com braquiária e *mulching* apresentaram maior distância da resistência do solo à penetração (RS) e maior aproximação da umidade (US). Além disso, observa-se que os tratamentos com braquiária e composto orgânico foram agrupados de forma mais distante das variáveis altura (AP) e número de ramos plagiotrópicos (NR), quando comparados aos demais sob esse mesmo manejo (FIGURA 9 - E9).

Na época doze (E12), verifica-se que os tratamentos com solo exposto foram discriminados, conforme a maior distância observada em relação às variáveis umidade do solo (US), diâmetro do caule (DC), altura (AP) e número de ramos plagiotrópicos (NR). Ressalta-se que os tratamentos referentes à associação solo exposto e composto orgânico, independentemente do tipo de fertilizantes, foram os que apresentaram maior distância das variáveis diâmetro de caule (DC), número de ramos plagiotrópicos (NR) e altura de planta (AP), em relação aos demais tratamentos sob esse mesmo manejo. Nessa época, os tratamentos com braquiária apresentaram-se de forma mais próxima da variável umidade do solo (US) em relação aos com *mulching*. No entanto os tratamentos com *mulching* proporcionam maior aproximação das variáveis de crescimento (FIGURA 9 - E12).

Nas épocas quinze e dezoito (E15, E18), os tratamentos com solo exposto, novamente, apresentaram maior distância das características de crescimento, enquanto os com braquiária e *mulching* promoveram maior aproximação dessas características. Salienta-se que entre todos os tratamentos referentes ao manejo com solo exposto, os com casca de café foram agrupados

mais próximos às características de crescimento das plantas e umidade do solo (US) (FIGURA 9 - E15).

Além disso, na época dezoito (E18), a maioria dos tratamentos com braquiária e *mulching* apresentaram resultados semelhantes e opostos à maioria dos tratamentos com solo exposto. Ressalta-se, ainda, que os tratamentos referentes aos manejos *mulching* e braquiária associados ao composto orgânico ou casca de café se apresentaram de forma mais discriminada, sendo diferentes da maioria dos demais (FIGURA 9 - E18).

Na última época, observa-se que os tratamentos com solo exposto associado ao composto orgânico ou polímero hidrorretentor, independentemente do tipo de fertilizante, foram dispostos de forma mais distante das variáveis número de nós (NNP) e número de ramos plagiotrópicos (RP). Já os tratamentos nesse mesmo manejo, porém, com casca de café, tiveram melhores resultados, sendo próximos aos observados no cafeeiro com *mulching* e braquiária (FIGURA 9 - E21).

Figura 9 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)) em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento e umidade do solo durante a época três (E3), seis (E6), nove (E9), doze (E12), quinze (E15), dezoito (E18) e vinte um (E21).

(continua)

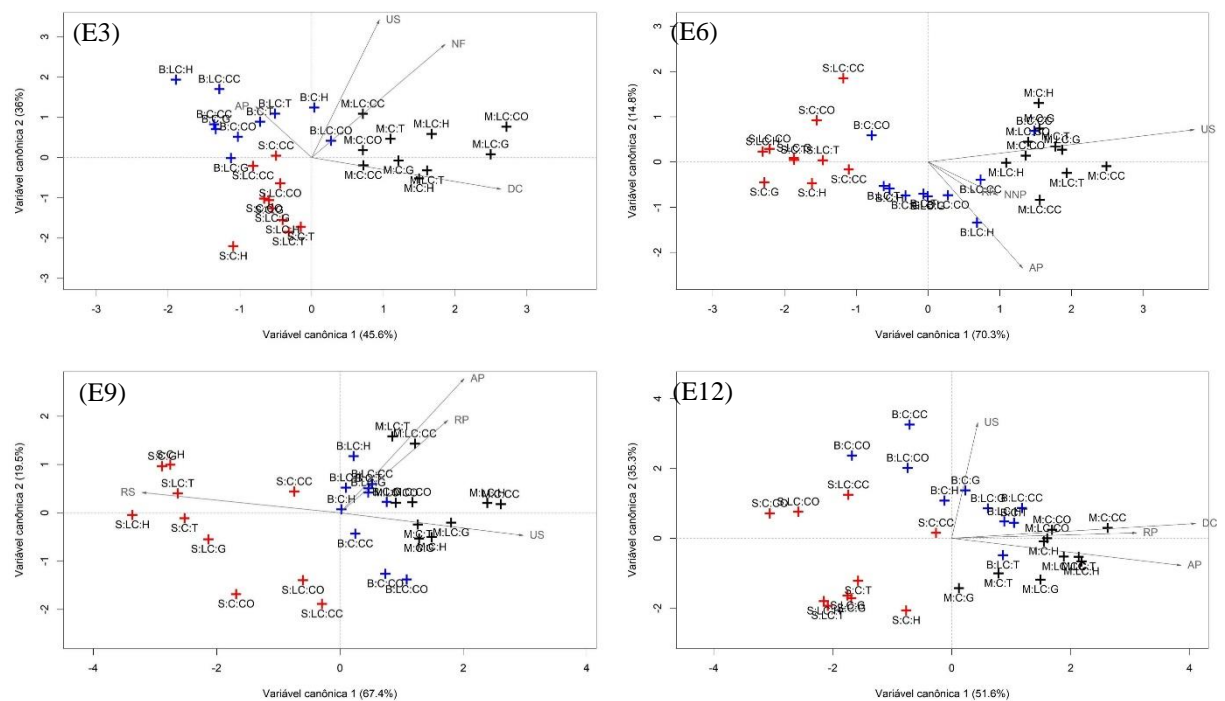
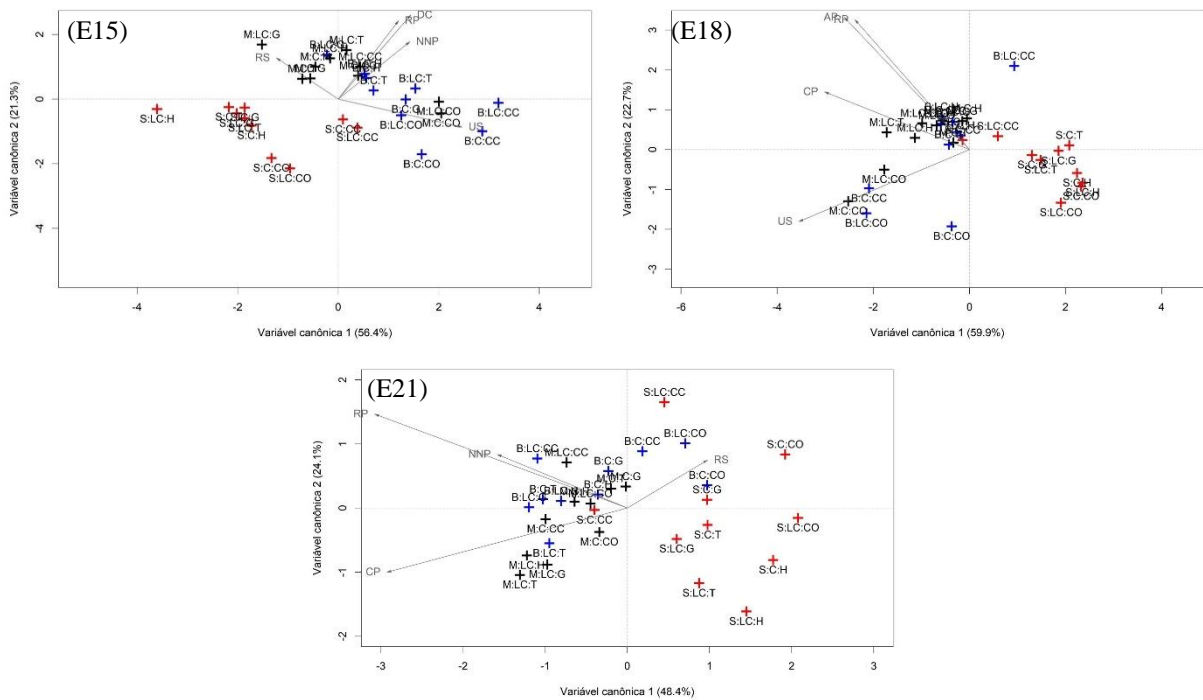


Figura 9 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)) em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2), com base nas características de crescimento e umidade do solo durante a época três (E3), seis (E6), nove (E9), doze (E12), quinze (E15), dezoito (E18) e vinte um (E21).

(conclusão)



Fonte: Da autora (2018).

## 4.2 Características fisiológicas

Analisando os índices de clorofila a e b, verifica-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os fatores manejo e condicionador de solo nas épocas 15 e 18 (TABELA 6 e 7, APÊNDICE A). Para “clorofila a”, também houve significância da interação manejo e fertilizante na época 21 (TABELA 8, APÊNDICE A).

Não houve interação significativa, para o índice de clorofila total, sendo verificando significância ( $p < 0,05$ ) para os fatores principais manejo e condicionador de solo na época 9 e apenas para manejo na época 12 (TABELA 4 e 5, APÊNDICE A).

Analisando a “clorofila a” na época 15, a casca de café e o gesso proporcionaram maiores índices dessa clorofila nas plantas sob manejo com solo exposto (FIGURA 10 - E15).



Já na época 18, no manejo com solo exposto, além da casca de café e do gesso agrícola, o polímero hidrorretentor também possibilitou maiores índices de clorofila a em relação ao composto orgânico e testemunha. Nos tratamentos com *mulching*, as menores médias observadas foram com a aplicação do polímero hidrorretentor (FIGURA 10 - E18).

Verificou-se, na época 21, maior índice de “clorofila a” no cafeeiro sob o manejo com *mulching* quando se utilizou fertilizante convencional (FIGURA 10 - E21).

Figura 10 - Representação gráfica do índice de clorofila a (CIA) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).

(continua)

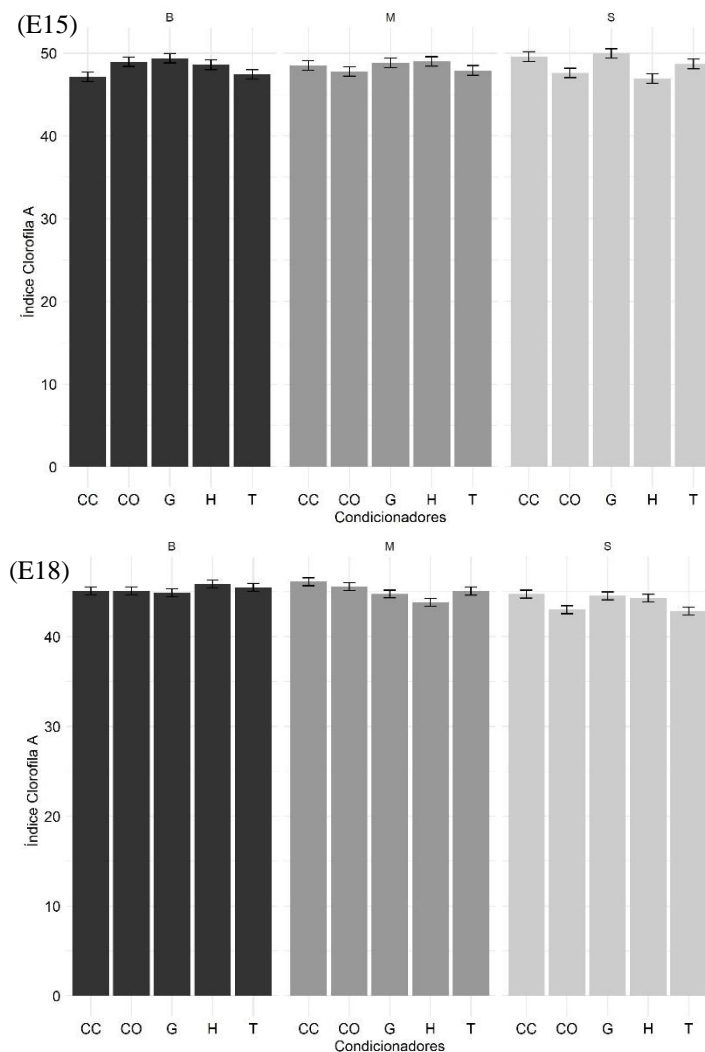
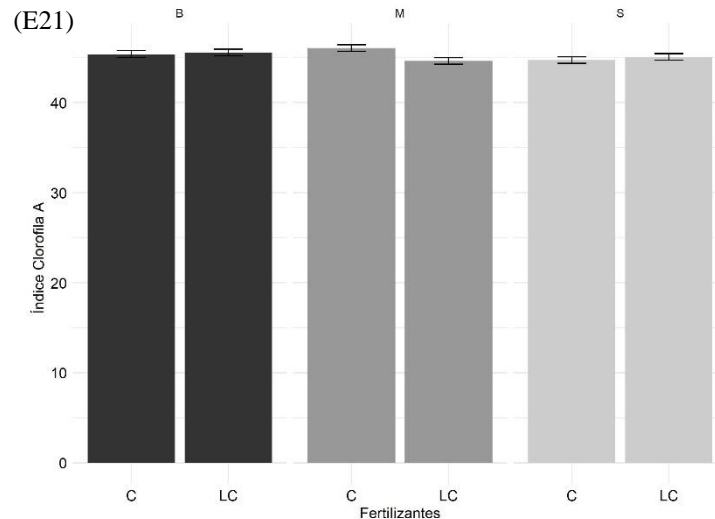


Figura 10 - Representação gráfica do índice de clorofila a (ClA) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).

(conclusão)



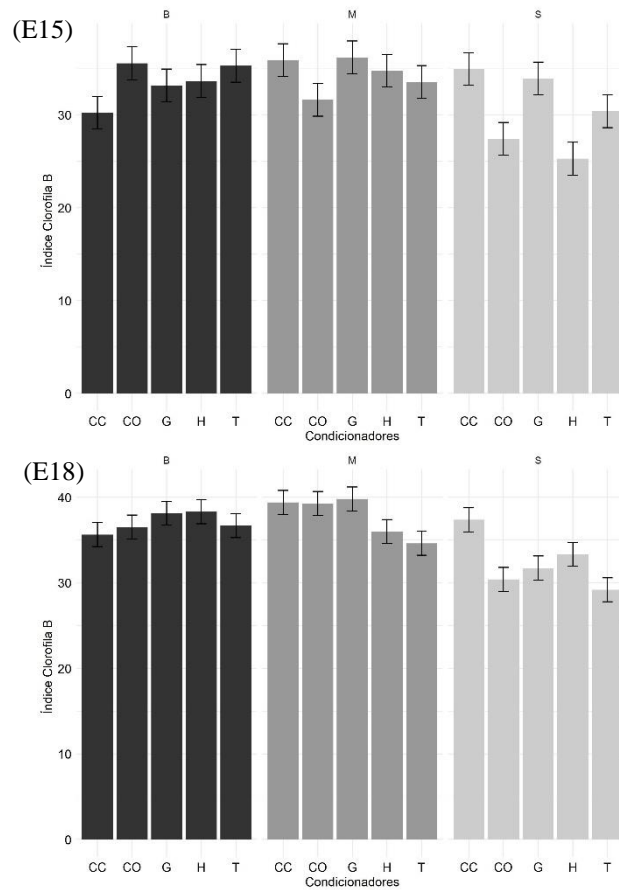
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Na época 15, as plantas cultivadas com solo exposto que receberam composto orgânico e polímero hidrorretentor apresentaram menores índices de clorofila b, quando comparados às com casca de café e gesso agrícola (FIGURA11 - E15). No manejo com o *mulching*, o composto orgânico também apresentou as menores médias observadas. Já no manejo com a braquiária, verifica-se menor índice de clorofila b nas plantas com casca de café do que com composto orgânico (FIGURA 11 - E15).

Já na época 18, os menores índices de clorofila b foram nas plantas cultivadas sob solo exposto com composto orgânico e sem a presença de condicionadores (testemunha) (FIGURA 11 - E18). A casca de café no manejo com solo exposto possibilitou maior índice de clorofila b, que foi semelhante às médias observadas no manejo com *mulching* associado ao uso de condicionadores. Especificamente, nos tratamentos com *mulching*, a casca de café, o composto orgânico e o gesso promoveram maiores médias que o polímero hidrorretentor e testemunha (FIGURA 11 - E18).

Figura 11 - Representação gráfica do índice de clorofila b (CIB) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) associado a cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 15 (E15) e época 18 (E18).

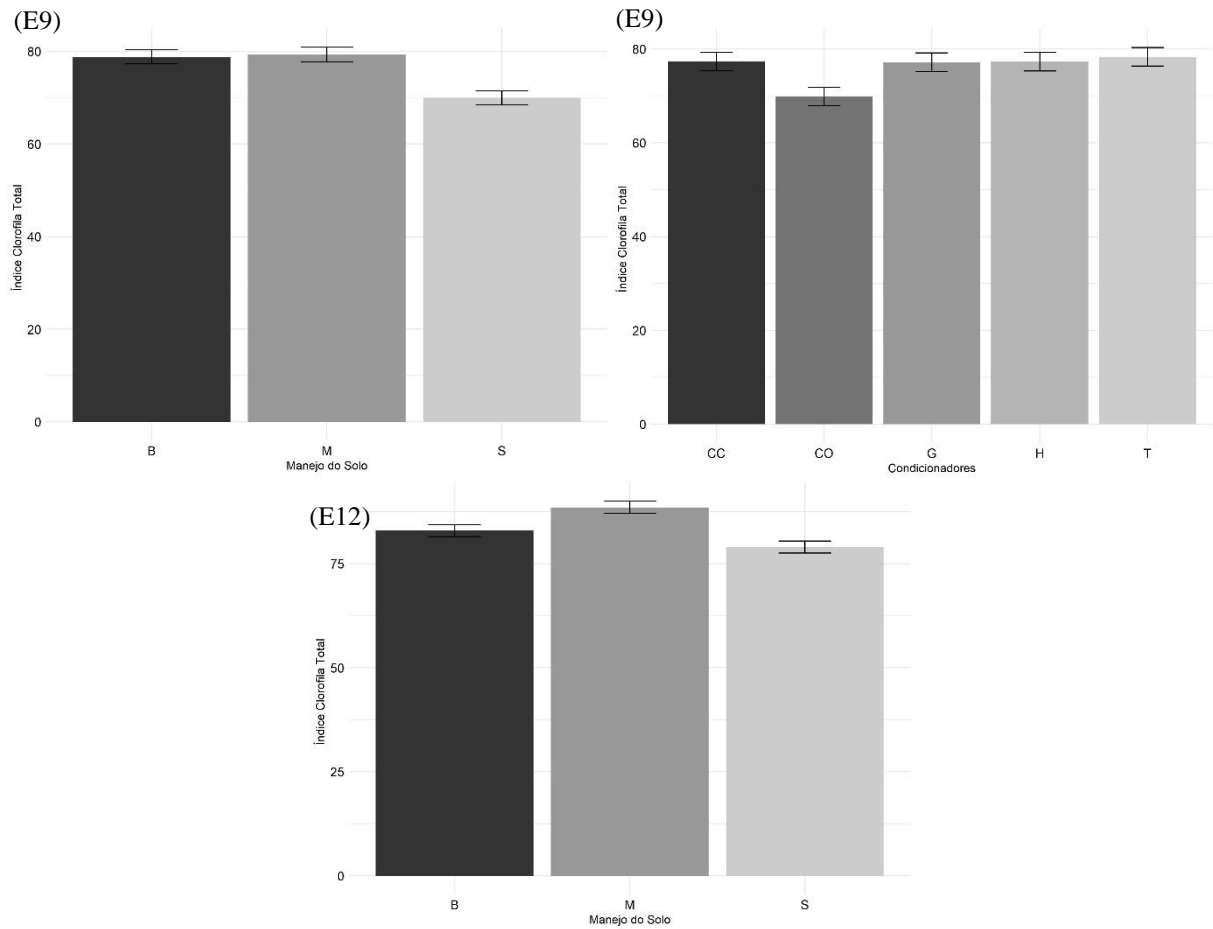


Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.  
Fonte: Da autora (2018).

Em relação ao índice de clorofila total, nas épocas 9 e 12, menores médias foram verificadas no cafeeiro sob manejo com o solo exposto. Os valores observados nas plantas com *mulching* e braquiária foram semelhantes, na época 9, porém, na época 12, o *mulching* proporcionou maior índice (FIGURA 12).

Assim como para o crescimento, o composto orgânico foi desfavorável às plantas para essa característica, pois reduziu o índice de clorofila total na época 9 (FIGURA 12 - E9).

Figura 12 - Representação gráfica do índice de clorofila total (CIT) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9 (E9) e época 12 (E12).



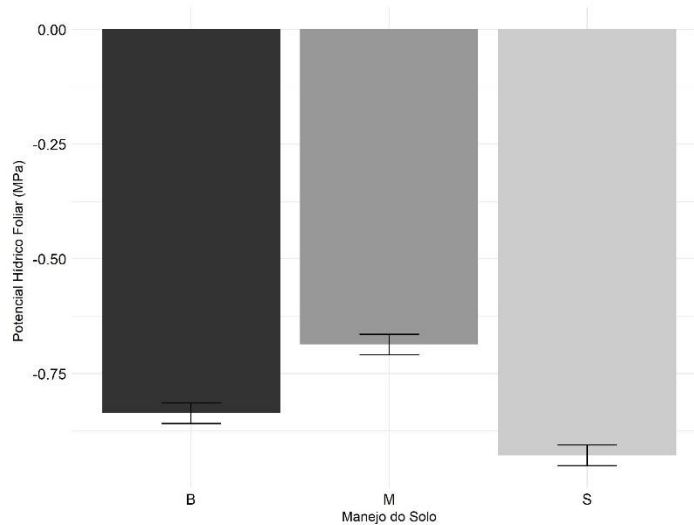
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

O potencial hídrico foliar foi selecionado apenas na época 6 (TABELA 1, APÊNDICE A), período em que as plantas estavam mais jovens e com ocorrência de baixo índice de pluviosidade (FIGURA 1). Para essa característica, verificou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para o fator manejo da cobertura do solo (TABELA 3, APÊNDICE A).

Menor potencial hídrico foliar foi observado no cafeeiro cultivado com solo exposto (FIGURA 13). Já o manejo com *mulching* promoveu valores médios menos negativos. A braquiária possibilitou valor de potencial hídrico maior que o manejo com solo exposto, porém inferior ao *mulching* (FIGURA 13).

Figura 13 - Representação gráfica do potencial hídrico foliar (PH - MPa) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), durante a época 6.



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Para taxa fotossintética, verifica-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) das interações entre manejo e condicionador, nas épocas 3 e 15 (TABELA 2 e 6, APÊNDICE A) e entre manejo e fertilizante na época 18 (TABELA 7, APÊNDICE A). Na época 12, houve significância da interação tripla (TABELA 5, APÊNDICE A). Já na época 21, apenas o fator condicionador foi significativo (TABELA 8, APÊNDICE A).

Analisando a época 3, observa-se que o manejo com solo exposto ocasionou menores valores de taxa fotossintética, independentemente dos condicionadores de solo. O manejo com braquiária associado à casca de café proporcionou a maior taxa fotossintética (FIGURA 14 - E3).

Na época 12, verificam-se maiores taxas fotossintéticas, nas plantas com gesso agrícola ou sem o uso condicionador (testemunha), quando utilizado fertilizante de liberação controlada, sob manejo com solo exposto (FIGURA 14 - E12). Efeito semelhante do fertilizante de liberação controlada foi observado no cafeeiro sem condicionador de solo (testemunha) sob manejo com o *mulching*. No entanto maiores valores médios foram observados nas plantas com polímero hidrorretentor, quando se utilizou o fertilizante convencional, tanto no manejo com braquiária quanto com *mulching* (FIGURA 14 - E12).

No cafeeiro sem o uso de condicionador de solo (testemunha), verifica-se menor taxa fotossintética nas plantas cultivadas sob manejo com solo exposto, em comparação às cultivadas sem condicionador no *mulching* e braquiária (FIGURA 14 - E3; E15).

O fertilizante de liberação controlada, na época 18, proporcionou maior taxa fotossintética do cafeeiro sob manejo com solo exposto (FIGURA 14 - E18) e o mesmo efeito foi observado na época 12 (E12) nos tratamentos gesso e testemunha.

Na época 21, verifica-se maior taxa fotossintética nas plantas que receberam casca de café, o menor valor refere-se ao cafeeiro com composto orgânico e, nos demais condicionadores de solo, ocorreram médias semelhantes (FIGURA 14 - E21).

Figura 14 - Representação gráfica da taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 12 (E12), época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).

(continua)

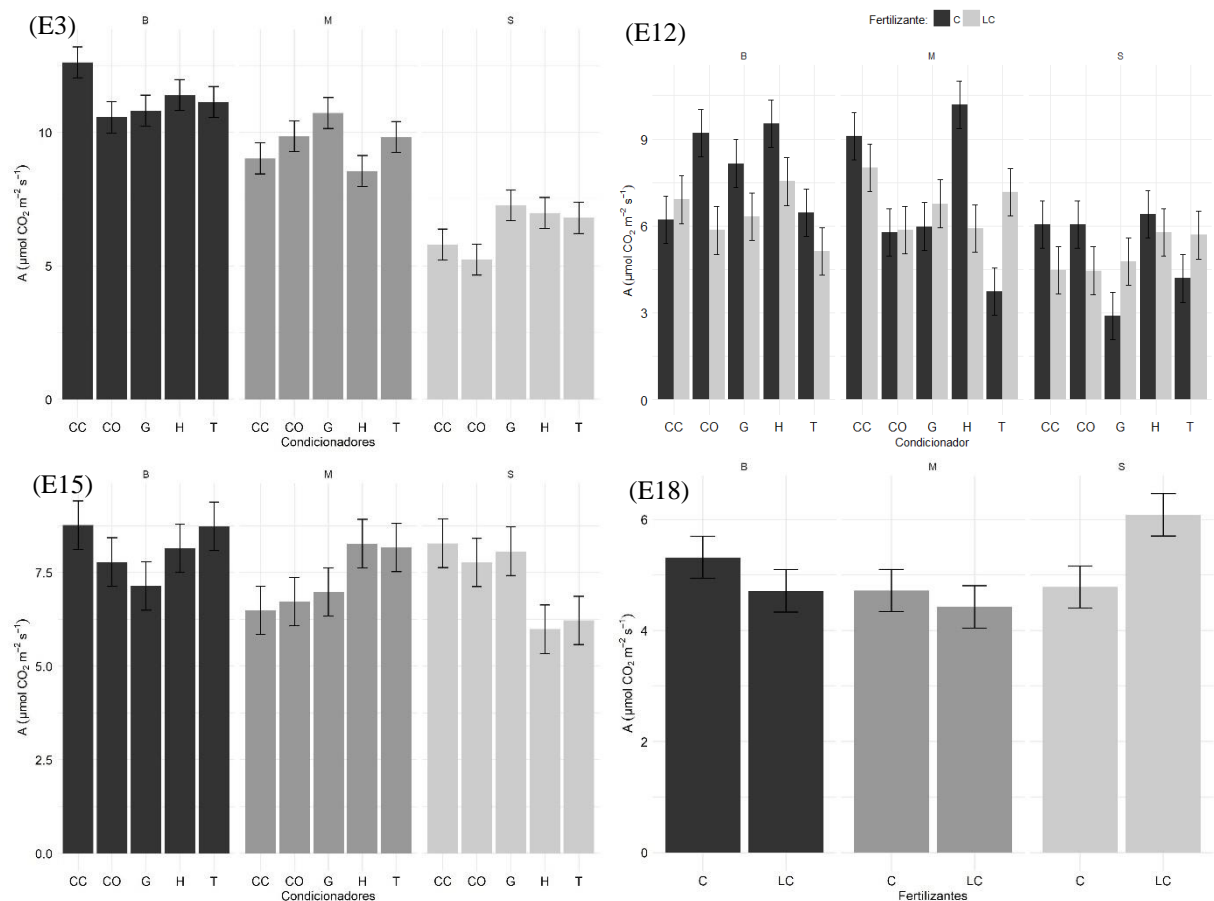
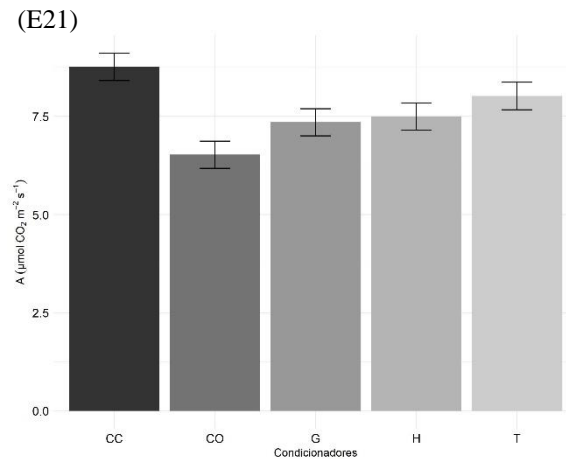


Figura 14 - Representação gráfica da taxa fotossintética ( $A$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 12 (E12), época 15 (E15), época 18 (E18) e época 21 (E21).

(conclusão)



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Para condutância estomática, a interação tripla foi significativa ( $p < 0,05$ ) nas épocas 6 e 12 (TABELA 3 e 5, APÊNDICE A). Houve significância da interação manejo e condicionador na época 15 (TABELA 6, APÊNDICE A). Na época 3, o fator manejo foi significativo (TABELA 2, APÊNDICE A).

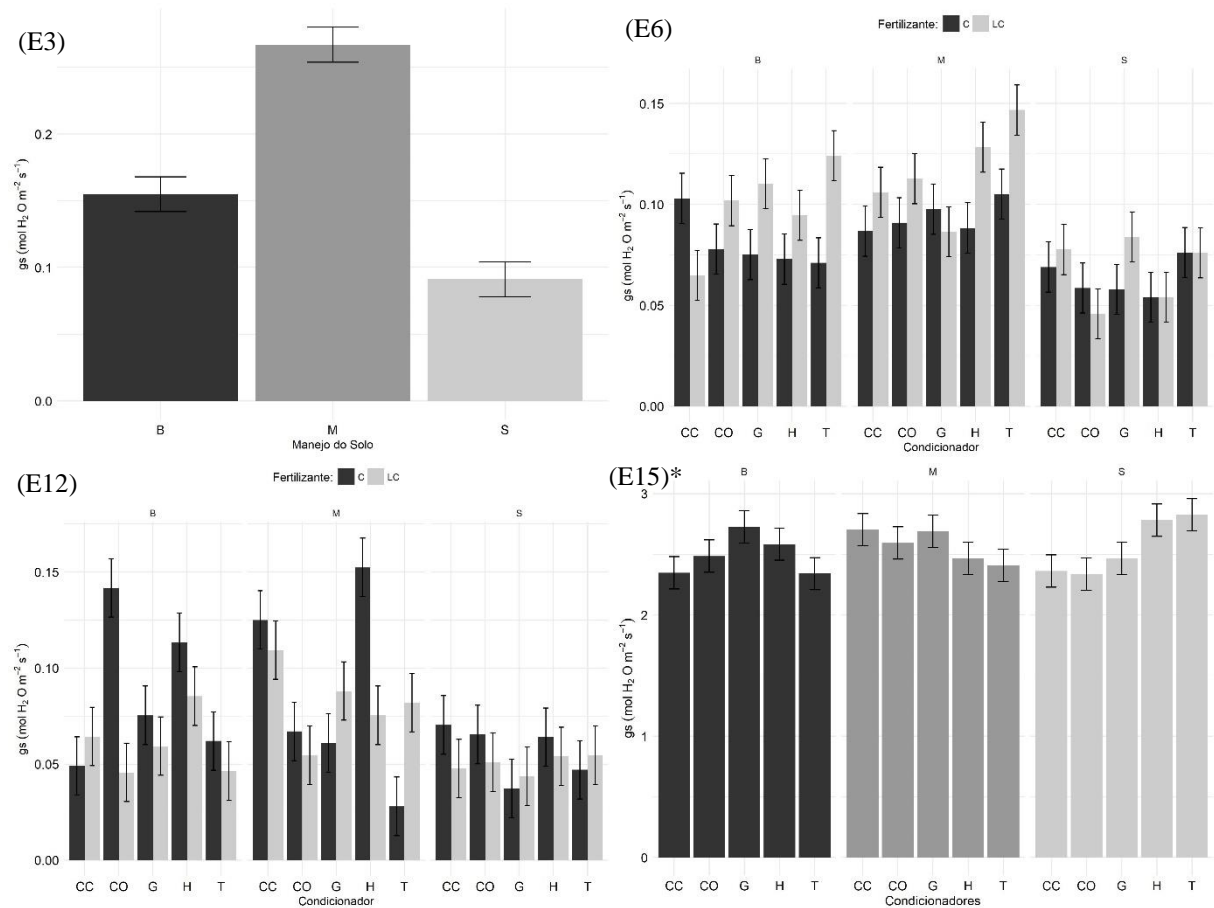
A maior condutância estomática, na época 3, ocorreu no cafeeiro conduzido com *mulching* e, em sequência, com braquiária, sendo a menor média observada no manejo com solo exposto (FIGURA 15 - E3).

De modo geral, na época 6, os fertilizantes de liberação controlada possibilitaram maior condutância estomática em relação ao convencional, principalmente, nas plantas cultivadas sem condicionador (testemunha) no manejo com *mulching* e braquiária (FIGURA 15 - E6).

De forma similar às épocas 3 e 6, na época 12, o manejo com solo exposto proporcionou médias inferiores às observadas no manejo com *mulching* e braquiária. No cafeeiro com *mulching*, conduzido sem condicionador de solo e com fertilizante convencional, ocorreu menor condutância, semelhante ao observado no manejo com solo exposto (FIGURA 15 - E12).

Já na época 15, o manejo com solo exposto associado ao uso do polímero hidrorretentor e na ausência de condicionador (testemunha) possibilitou maior condutância estomática. No manejo com *mulching*, as médias verificadas com a utilização da casca e do gesso foram superiores à testemunha (FIGURA 15 - E15).

Figura 15 - Representação gráfica da condutância estomática ( $\text{gs} - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 3 (E3), época 6 (E6), época 12 (E12) e época 15 (E15).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Nota: \*Os dados apresentados no gráfico E15 passaram pela transformação raiz quadrada.

Fonte: Da autora (2018).

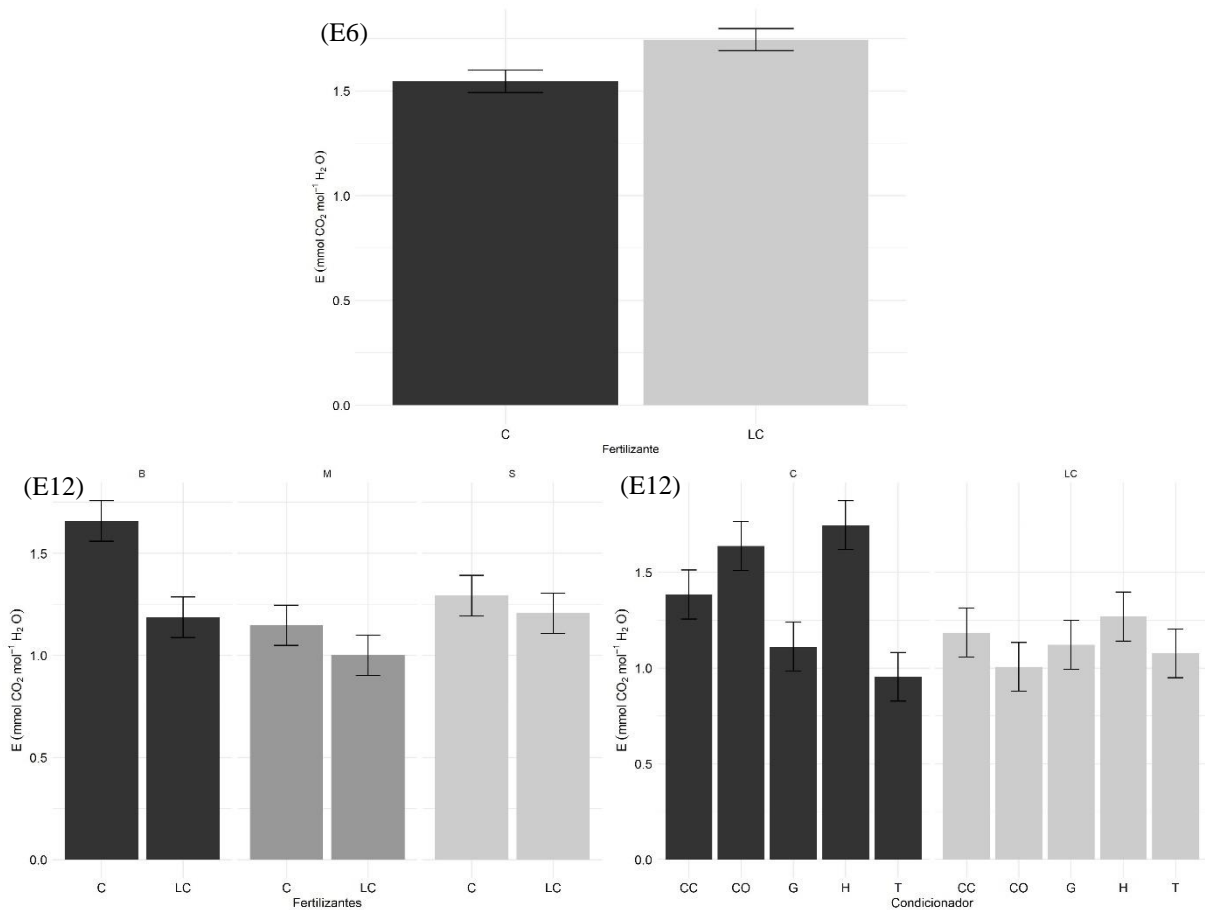
Analisando a taxa transpiratória, observa-se significância ( $p < 0,05$ ) para o efeito de fertilizantes na época 6 (TABELA 2, APÊNDICE A). Na época 12, foi significativa a interação entre os fatores manejo e fertilizante e entre fertilizante e condicionador (TABELA 5, APÊNDICE A).



O fertilizante convencional, na época 6, promoveu menor taxa transpiratória nas plantas (FIGURA 16 - E6). Entretanto, na época 12, menores valores foram observados no cafeeiro que recebeu fertilizante de liberação controlada sob manejo com braquiária, em comparação ao convencional (FIGURA 16 - E12).

Verifica-se que não houve diferença entre as médias observadas nos condicionadores de solo quando se utilizou fertilizante de liberação controlada. Já no cafeeiro com fertilizante convencional, os condicionadores casca de café, composto orgânico e polímero hidrorretentor proporcionaram maiores taxas transpiratórias (FIGURA 16 - E12).

Figura 16 - Representação gráfica da taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 12 (E12).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Em relação a eficiência do uso da água, verifica-se que essa característica foi importante nas épocas 9, 12, 15 e 21 (TABELA 1, APÊNDICE A). Houve significância ( $p < 0,05$ ), para os fatores manejo (E9, E12 e E15), fertilizante (E21) e condicionador de solo (E9). Não se verificaram interações significativas (TABELA 4 - 8, APÊNDICE A).

De modo geral, o *mulching* aumentou a eficiência do uso da água no cafeeiro, assim como a braquiária, que foi inferior ao *mulching*, porém superior ao manejo com solo exposto (FIGURA 17 - E9; E12; E15).

Na época 9, casca de café e gesso agrícola proporcionaram maior eficiência do uso da água (FIGURA 17 - E9). O fertilizante de liberação controlada aumentou a eficiência do uso da água na época 21 (FIGURA 17 - E21).

Figura 17 - Representação gráfica da eficiência do uso da água (EUA) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15) e época 21 (E21).

(continua)

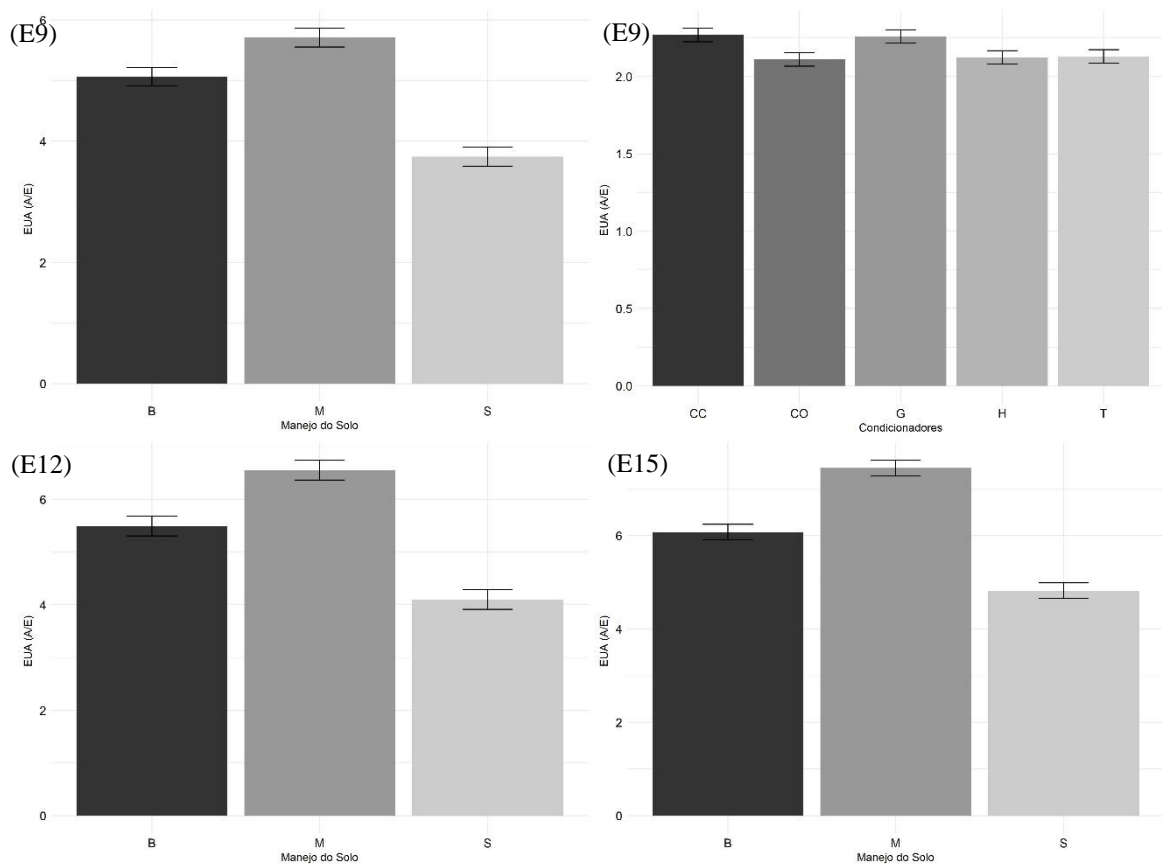
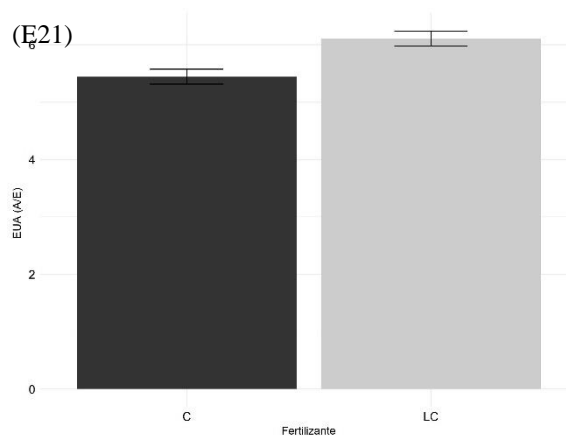


Figura 17 - Representação gráfica da eficiência do uso da água (EUA) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 9 (E9), época 12 (E12), época 15 (E15) e época 21 (E21).

(conclusão)



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.  
Fonte: Da autora (2018).

A dispersão dos 30 tratamentos, em função da análise canônica para as variáveis fisiológicas, encontra-se na Figura 18. Na época três (E3), observa-se a discriminação entre os três grupos de manejo da cobertura do solo (braquiária, *mulching* e solo exposto), e os tratamentos com solo exposto foram os que apresentaram maior distância da variável taxa fotossintética (A) e maior aproximação do índice de clorofila b (CIB). Os tratamentos com braquiária foram agrupados de forma a apresentar maior contribuição dessas características (FIGURA 18 - E3). Observou-se que os tratamentos com *mulching* proporcionaram maior aproximação das variáveis índice de clorofila a (CIA) e condutância estomática (gs). Entre os tratamentos sob manejo com solo exposto, o que apresentou maior distância da variável condutância estomática (gs) foi o referente à associação fertilizante de liberação controlada e polímero hidrorretentor. No manejo com *mulching*, os tratamentos com fertilizante convencional e com polímero hidrorretentor ou composto orgânico foram os que apresentaram maior aproximação das características índice de clorofila a (CIA) e condutância estomática (gs). No manejo com braquiária, os tratamentos com casca de café apresentaram maior aproximação da variável taxa fotossintética (A) (FIGURA 18 - E3).

Na época 6 (E6), observou-se que alguns tratamentos com braquiária foram dispostos próximos ao grupo do manejo com solo exposto: B:C:CO; B:C:H e B:C:T. Esses tratamentos juntamente com a maioria dos referentes ao manejo com solo exposto apresentaram maior

distância das variáveis condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E) e potencial hídrico foliar (PH). Já os tratamentos com *mulching* foram discriminados com maior aproximação das variáveis índice de clorofila a (CIA), índice de clorofila b (CIB), potencial hídrico foliar (PH) e condutância estomática (gs), com exceção dos tratamentos M:C:T, M:C:G e M:C:H, os quais apresentaram-se próximos aos com braquiária (FIGURA 18 - E6).

Na época 9 (E9), observou-se que os tratamentos com braquiária e *mulching* apresentaram resultados semelhantes, exceto os tratamentos B:C:CO e B:LC:CO. De modo geral, esses tratamentos com braquiária e *mulching* foram discriminados com maior aproximação das variáveis analisadas, exceto para taxa transpiratória (E), a qual contribuiu para a discriminação nos tratamentos com solo exposto. Ressalta-se que os tratamentos com composto orgânico, sob manejo com braquiária e solo exposto, foram os que apresentaram maior distância das variáveis índice de “clorofila a” (CIA) e total (CIT), taxa fotossintética (A) e eficiência do uso da água (EUA) (FIGURA 18 - E9).

De forma similar, na época 12 (E12), os tratamentos com solo exposto, em sua maioria, foram agrupados com maior distância das variáveis para taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs) e eficiência do uso da água (EUA). Já os tratamentos com braquiária, juntamente com alguns tratamentos com solo exposto (S:C:CC, S:C:CO, S:LC:T, S:LC:H e S:C:H), apresentaram-se mais próximos à variável taxa transpiratória (E). Entre os tratamentos com *mulching*, observou-se a formação de dois subgrupos, sendo um disposto com maior aproximação das variáveis índice de clorofila total (CIT), eficiência do uso da água (EUA), condutância (gs) e taxa fotossintética (A) (M:LC:T, M:C:CC, M:C:H e M:LC:CC) e o outro discriminado com maior contribuição da variável taxa transpiratória (E) (FIGURA 18 - E12).

Na época quinze (E15), os tratamentos com *mulching* foram os que ficaram mais próximos entre si, enquanto os com braquiária e solo exposto ficaram mais dispersos em função das variáveis canônicas. Observou-se, de um modo geral, que os tratamentos com *mulching* foram discriminados pelas variáveis eficiência do uso da água (EUA), condutância (gs), taxa fotossintética (A) e índice de clorofila b (CIB). Os tratamentos com solo exposto S:C:T, S:C:CO, S:LC:T, S:LC:H e S:C:H apresentaram-se mais distantes das variáveis índice de “clorofila b” (CIB), taxa fotossintética (A), condutância (gs) e eficiência do uso da água (EUA), com destaque para S:LC:H (FIGURA 18 - E15).

Na época dezoito (E18), não houve uma discriminação clara entre os tratamentos, apenas foi possível observar a discriminação de alguns tratamentos com solo exposto (S:C:T, S:C:CO, S:LC:CO), os quais ficaram dispostos com maior distância das variáveis índice de

“clorofila b” (CIB) e para eficiência do uso da água (EUA), os demais ficaram mais próximos da variável índice de “clorofila a” (CIA) e mais afastados da condutância estomática (gs). Alguns tratamentos com *mulching* foram discriminados em relação aos demais, os tratamentos M:LC:CO, M:LC:CC e M:C:G foram dispostos com maior contribuição das variáveis índice de “clorofila b” (CIB) e eficiência do uso da água (EUA), enquanto M:LC:T e M:LC:H apresentaram-se mais distantes da variável índice de “clorofila a” (CIA) (FIGURA 18 - E18).

De modo geral, analisando a época 21, não se verifica discriminação eficiente entre os tratamentos (FIGURA 18 - E21).

Figura 18 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2) com base nas características fisiológicas durante a época três (E3), seis (E6), nove (E9), doze (E12), quinze (E15), dezoito (E18) e vinte um (E21).

(continua)

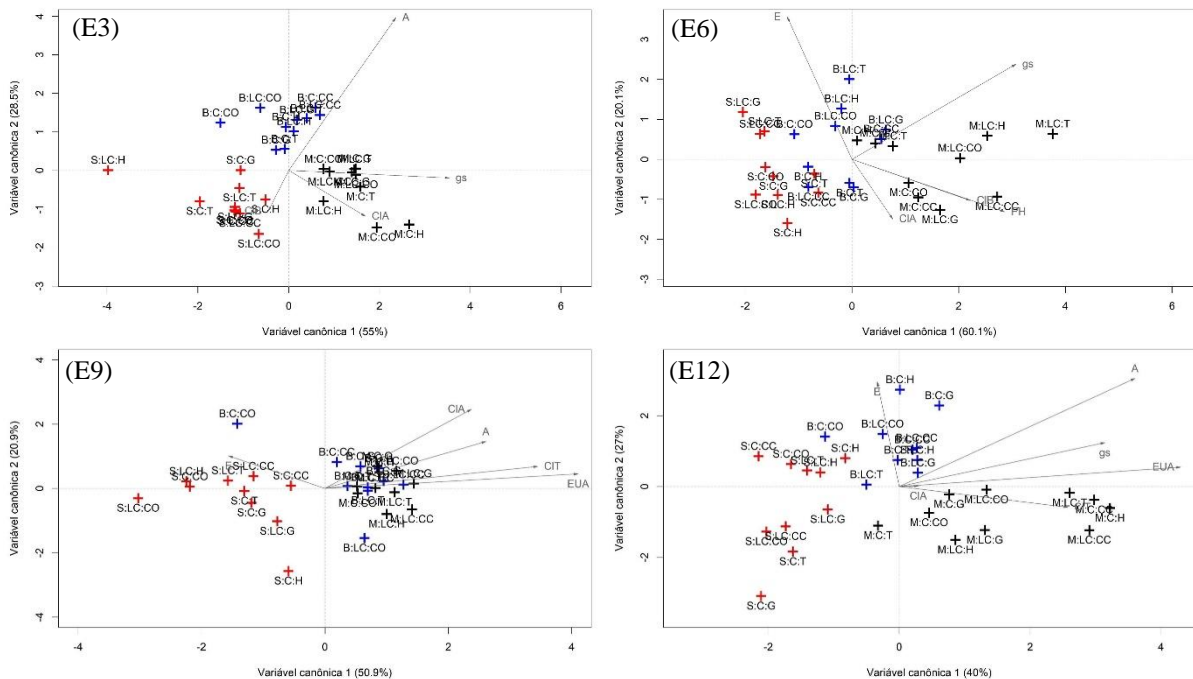
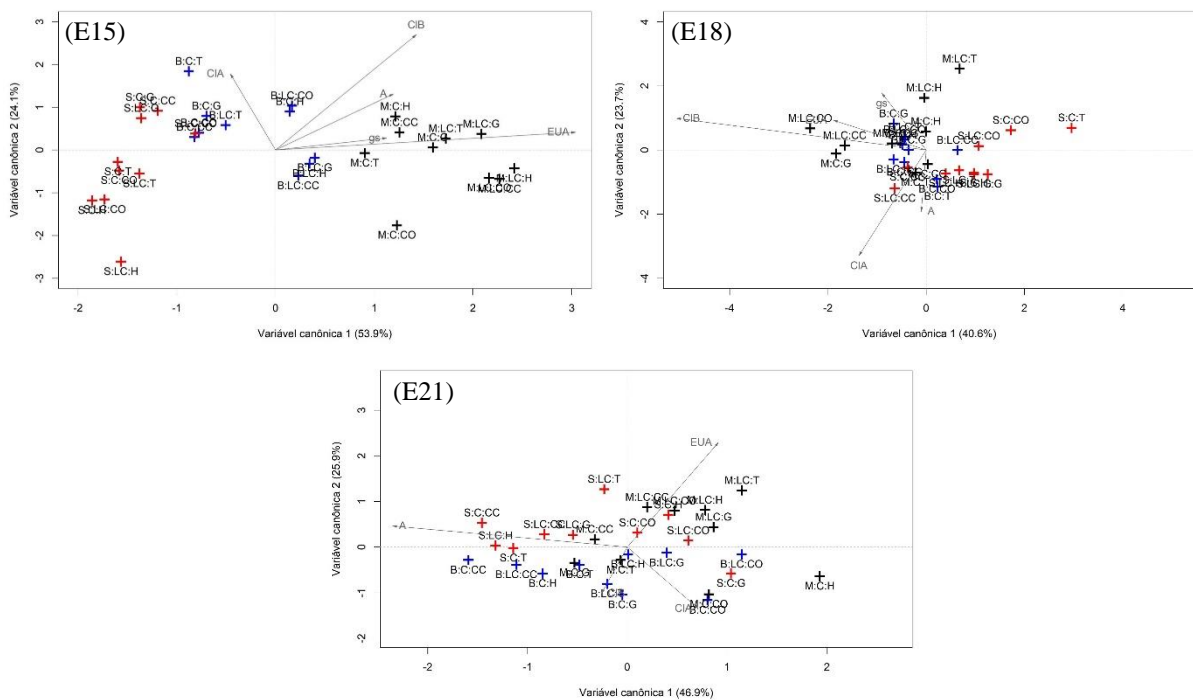


Figura 18 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2) com base nas características fisiológicas durante a época três (E3), seis (E6), nove (E9), doze (E12), quinze (E15), dezoito (E18) e vinte um (E21).

(conclusão)



Fonte: Da autora (2018).

### 4.3 Características anatômicas

Observa-se significância ( $p < 0,05$ ) da interação entre os três fatores estudados para espessura do parênquima paliçádico e espessura do parênquima esponjoso na época 6 (TABELA 3, APÊNDICE A). Na época 12, os fatores manejo e condicionador foram significativos para espessura do parênquima esponjoso (TABELA 5, APÊNDICE A).

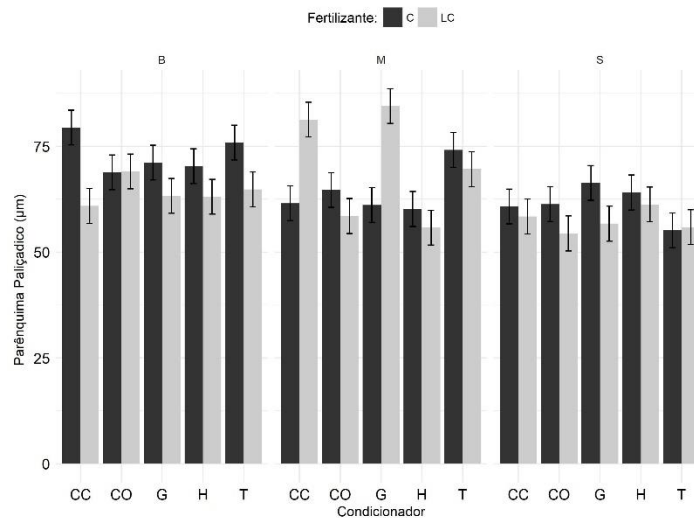
Analisando o cafeeiro sob manejo com *mulching*, verifica-se maior valor de espessura do parênquima paliçádico com gesso agrícola associado ao fertilizante de liberação controlada, sendo igual ao valor observado com a utilização de casca de café associada a esse mesmo fertilizante (FIGURA 19). Porém, no manejo com braquiária, a associação da casca de

café com o fertilizante convencional possibilitou maior espessura, quando comparada à associação desse condicionador com o fertilizante de liberação controlada (FIGURA 19).

As médias observadas no manejo com solo exposto foram inferiores às verificadas nos tratamentos citados acima, independentemente do tipo de fertilizante e condicionador de solo (FIGURA 19).

Na ausência de condicionadores (testemunha), verifica-se que, independentemente do tipo de fertilizante, os manejos *mulching* e braquiária promoveram maior espessura do parênquima paliçádico (FIGURA 19).

Figura 19 - Representação gráfica da espessura do parênquima paliçádico (PAL -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6.



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

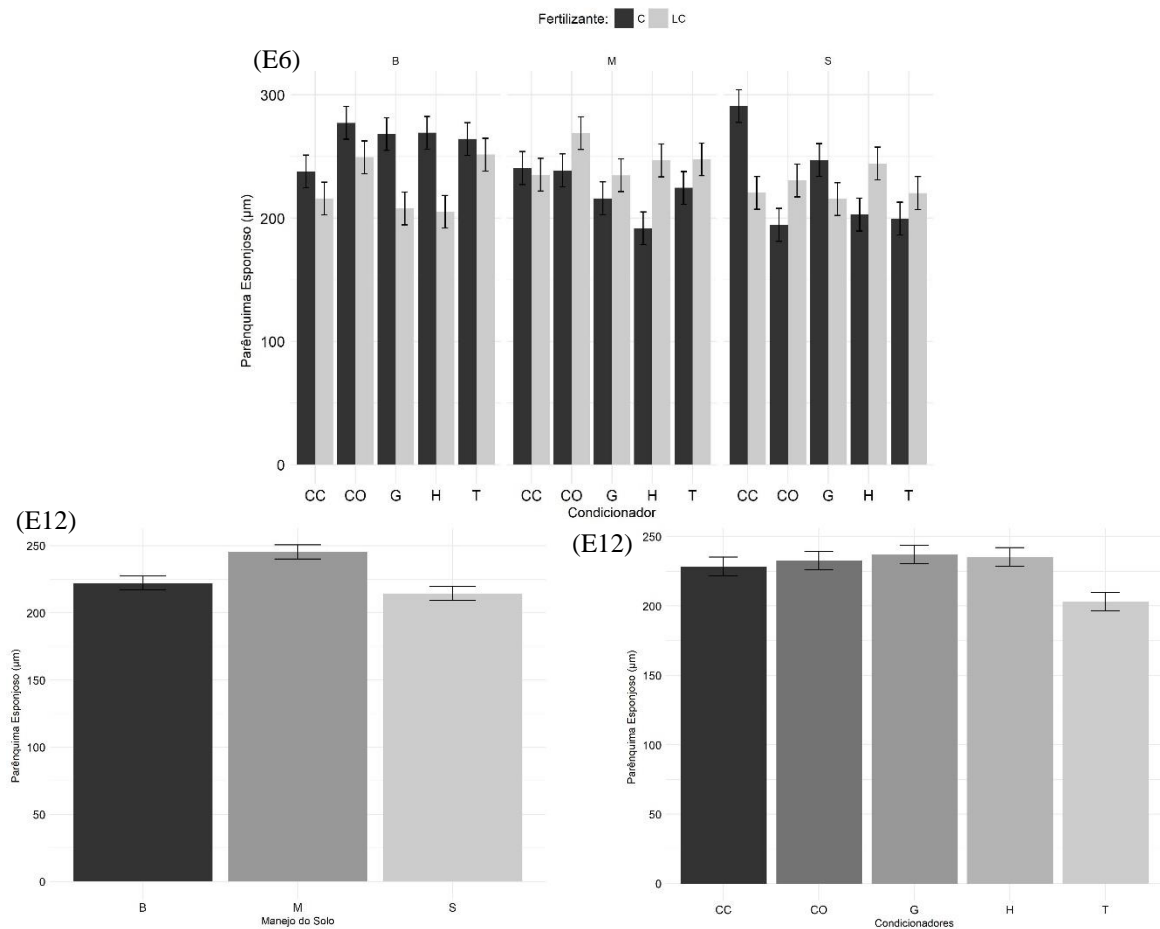
Fonte: Da autora (2018).

Na época 6, de forma similar ao parênquima paliçádico, ao comparar a espessura do parênquima esponjoso, no cafeeiro sem o uso de condicionador de solo (testemunha) sob manejo com braquiária e sob o manejo com solo exposto, independentemente do tipo de fertilizante, verifica-se maior espessura quando se utilizou braquiária (FIGURA 20 - E6).

Houve destaque da casca de café, quando associada ao fertilizante convencional no manejo com solo exposto, que foi superior às médias observadas no *mulching*, exceto quando utilizado composto orgânico associado ao fertilizante de liberação controlada, pois se verifica valor semelhante (FIGURA 20 - E6).

De forma geral, na época 12, o manejo com *mulching* e o uso de condicionadores de solo promoveram maior espessura do parênquima esponjoso no cafeeiro (FIGURA 20 - E12).

Figura 20 - Representação gráfica da espessura do parênquima esponjoso (PES -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 12 (E12).



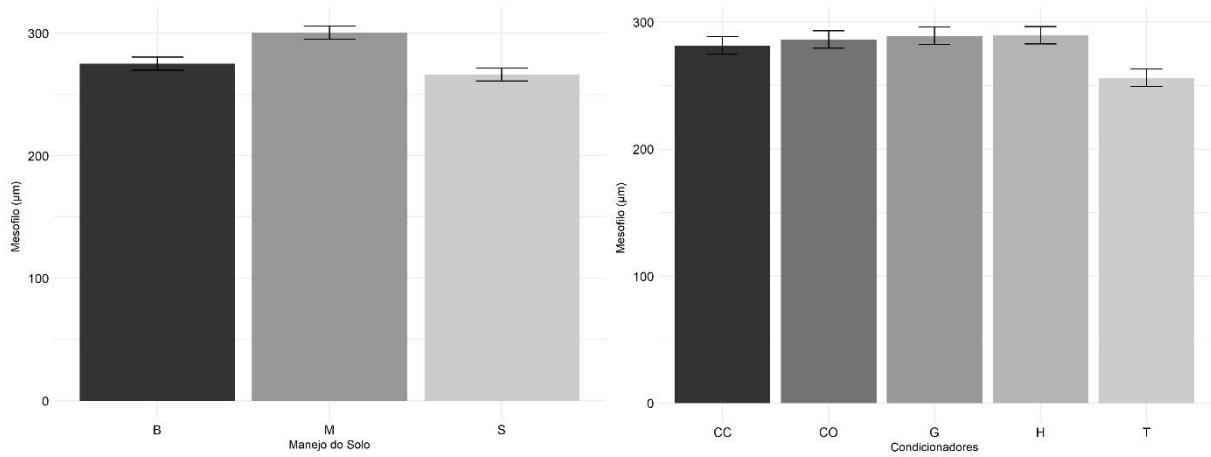
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Assim como observado na característica espessura do parênquima esponjoso, na época 12, o *mulching* e os condicionadores de solo proporcionaram maior espessura do mesofilo (FIGURA 21).



Figura 21 - Representação gráfica da espessura do mesofilo (MES -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 12.



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

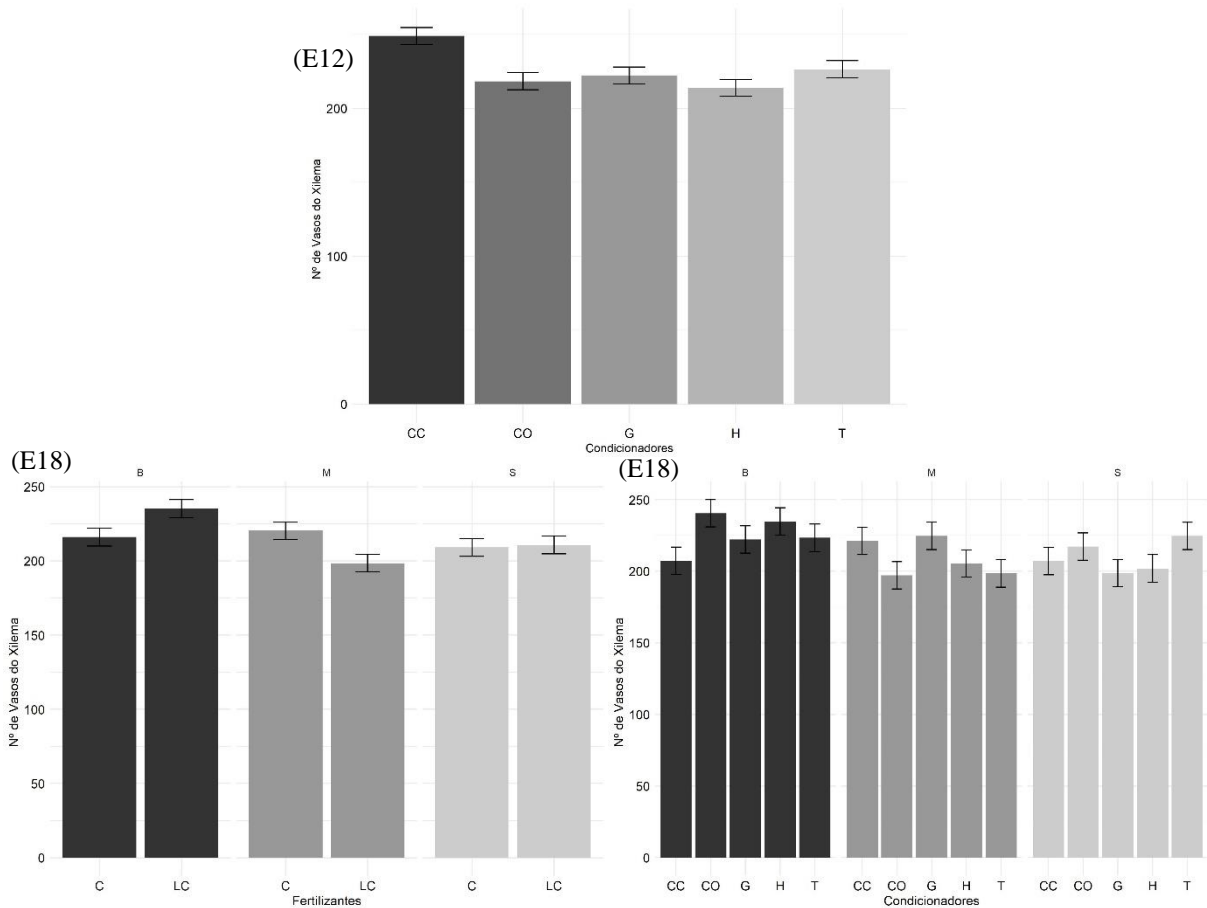
Para a variável número de vasos do xilema, observa-se significância ( $p < 0,05$ ) para o efeito de condicionadores de solo na época 12 (TABELA 5, APÊNDICE A). Na época 18, houve interação significativa entre os fatores fertilizante e manejo e entre os fatores manejo e condicionador (TABELA 7, APÊNDICE A).

Analisando a época 12, a casca de café destacou-se entre os condicionadores de solo, pois promoveu maior número de vasos do xilema (FIGURA 22 - E12).

Na época 18, o maior número de vasos do xilema foi observado no cafeeiro cultivado com fertilizante de liberação controlada e manejo com braquiária. No manejo com *mulching*, o fertilizante convencional possibilitou maior média (FIGURA 22 - E18).

Comparando as médias observadas no cafeeiro sem o uso de condicionadores (testemunha), na época 18, observou-se menor número de vasos do xilema das plantas sob manejo com *mulching*, quando comparadas às com solo exposto e braquiária. Quando utilizada casca de café, as médias foram iguais nos manejos estudados (FIGURA 22 - E18).

Figura 22 - Representação gráfica do número de vasos do xilema (NVX) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 12 (E12) e época 18 (E18).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

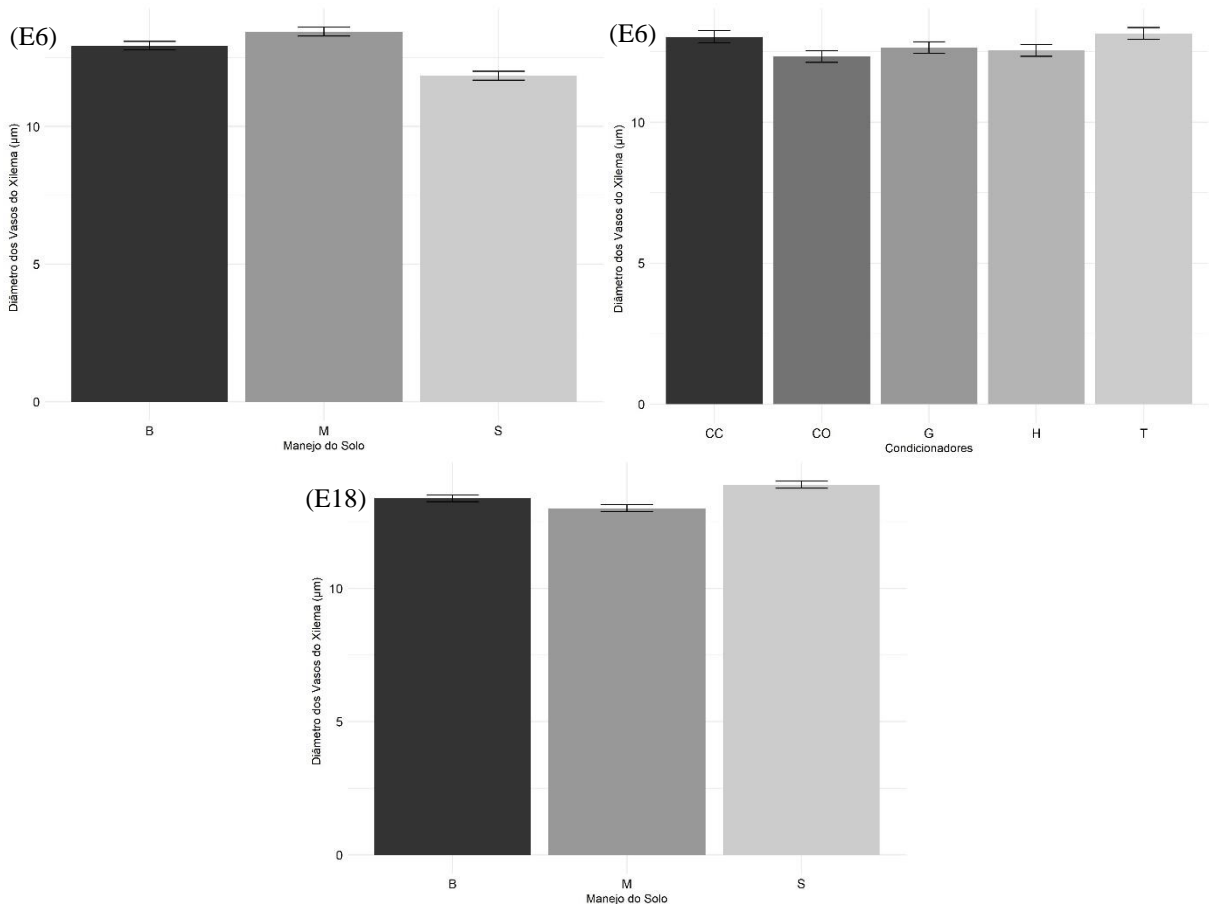
Fonte: Da autora (2018).

Para o diâmetro dos vasos do xilema, não houve interação significativa. Foi observada significância ( $p < 0,05$ ) para efeito de manejo nas épocas 6 e 18 (TABELA 3 e 7, APÊNDICE A) e para efeito de condicionador na época 6 (TABELA 3, APÊNDICE A).

O efeito dos manejos, para o diâmetro dos vasos do xilema, variou entre as épocas estudadas. Na época 6, as maiores médias foram observadas no cafeeiro com *mulching* e braquiária, o manejo com o solo exposto apresentou menor valor (FIGURA 23 - E6). Já na época 18, o maior diâmetro foi observado no cafeeiro cultivado com solo exposto (FIGURA 23 - E18).

Em relação aos condicionadores de solo, o composto orgânico ocasionou menor diâmetro de vasos do xilema quando comparado à casca de café e testemunha (FIGURA 23 - E18).

Figura 23 - Representação gráfica do diâmetro dos vasos do xilema (DVX -  $\mu\text{m}$ ) de cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (a) (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e sob cinco condicionadores de solo (b) (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 18 (E18).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

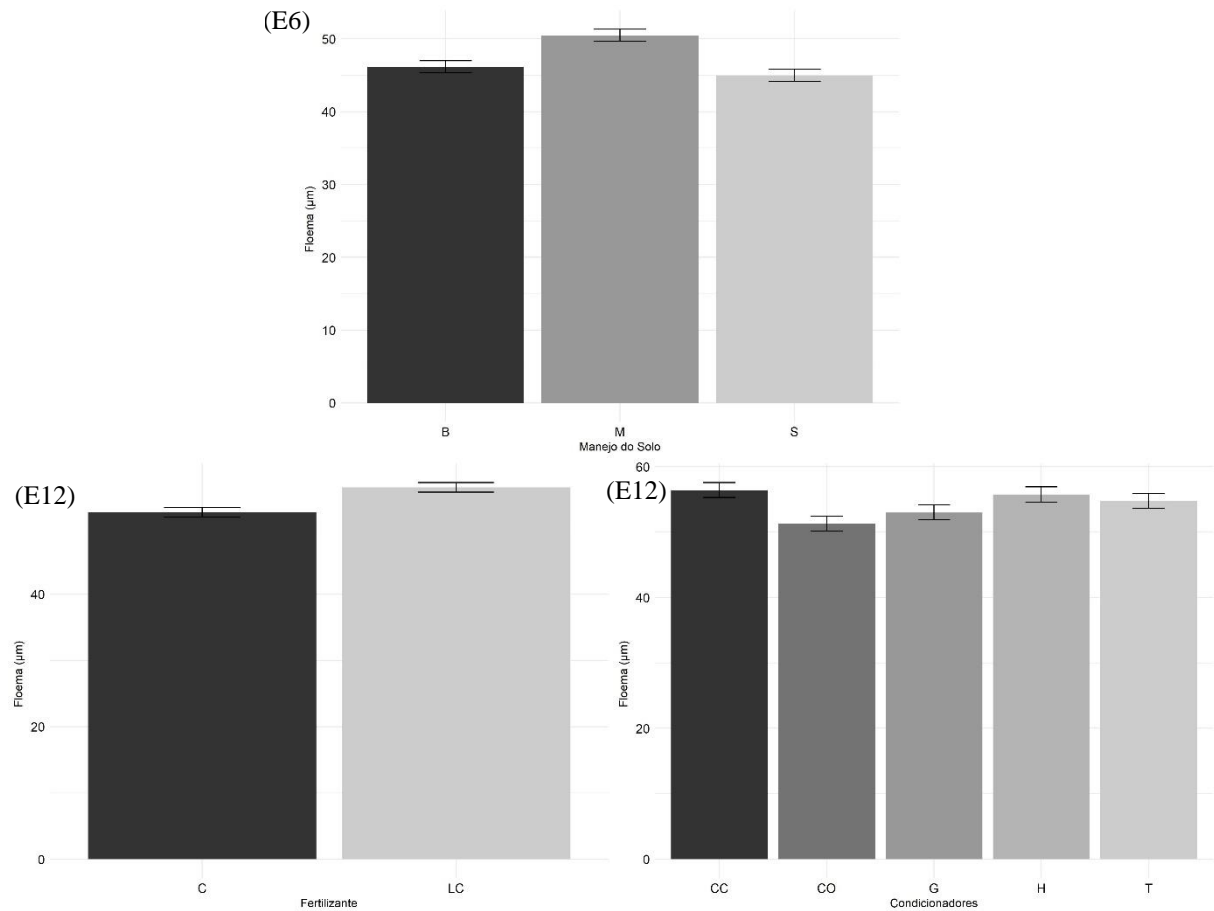
Fonte: Da autora (2018).

Analisando a característica espessura do floema, verifica-se significância ( $p < 0,05$ ) para o fator manejo, na época 6 e para fertilizante e condicionador de solo, na época 12 (TABELA 3 e 5, APÊNDICE A).

A maior espessura do floema foi observada no cafeeiro com *mulching* (FIGURA 24 - E6). Na época 12, o cafeeiro cultivado com fertilizante de liberação controlada apresentou maior valor em comparação ao com fertilizante convencional. As plantas com casca de café e polímero hidrorretentor apresentaram médias semelhantes à observada na testemunha, porém

superiores aos valores verificados com o uso do composto orgânico e gesso agrícola (FIGURA 24 - E12).

Figura 24 - Representação gráfica da espessura do floema (FLO -  $\mu\text{m}$ ) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6 (E6) e época 12 (E12).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

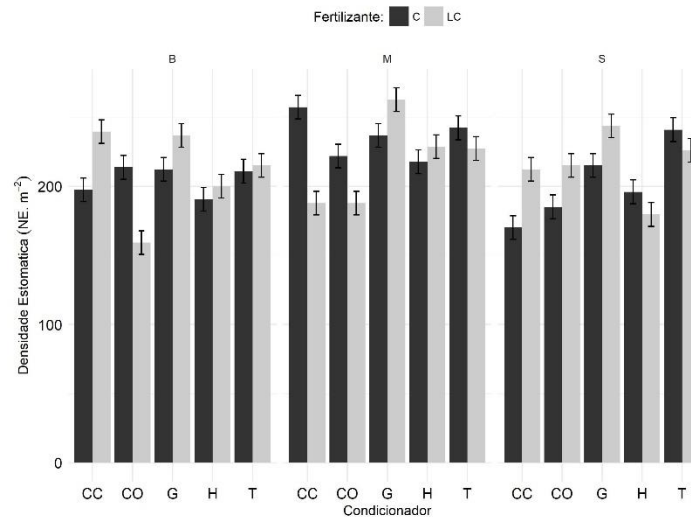
Para densidade estomática, houve significância para a interação entre os fatores manejo, fertilizante e condicionador na época 6 (TABELA 3, APÊNDICE A).

De forma geral, verifica-se maior média no cafeeiro sob manejo com *mulching*, quando utilizado gesso agrícola associado ao fertilizante de liberação controlada e quando utilizada casca de café associada ao fertilizante convencional (FIGURA 25).

No manejo com solo exposto, o fertilizante de liberação controlada promoveu maior densidade estomática nas plantas que receberam casca de café, composto orgânico e gesso, em relação ao fertilizante convencional. Ressalta-se que o gesso agrícola, nos três manejos

estudados, proporcionou maiores médias quando foi utilizado fertilizante de liberação controlada (FIGURA 25). A casca de café, tanto no manejo com solo exposto quanto no manejo com braquiária, promoveu maiores médias, quando associada ao fertilizante de liberação controlada, porém, no manejo com *mulching*, a associação casca e fertilizante convencional foi superior (FIGURA 25).

Figura 25 - Representação gráfica da densidade estomática (DEN) em cafeeiros cultivados sob três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), durante a época 6.



Legenda: As barras representam média ± o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

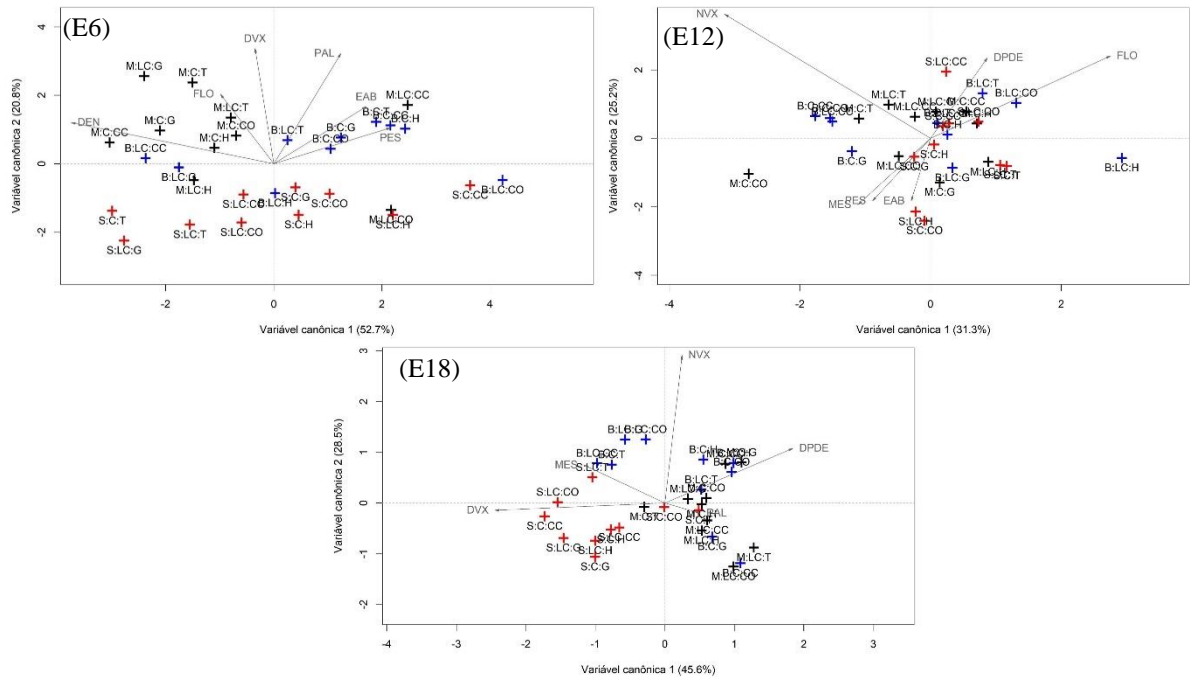
Quanto à discriminação dos tratamentos, em virtude das variáveis anatômicas (FIGURA 26), observou-se que, na época (E6), os tratamentos com solo exposto foram dispostos de forma mais distante das características analisadas, juntamente com alguns tratamentos com braquiária e *mulching* (B:LC:CO, M:LC:CO e B:LC:H). A maioria dos tratamentos com *mulching* apresentaram-se mais próximos das variáveis espessura do floema (FLO) e densidade estomática (DEN), enquanto a maioria dos tratamentos com braquiária ficaram mais próximos da espessura da epiderme abaxial (EAB) e do parênquima esponjoso (PES) (FIGURA 26 - E6).

Na época doze (E12), a discriminação dos tratamentos não ficou clara, entretanto houve alguns tratamentos que se destacaram em relação aos demais. O B:LC:H foi disposto mais distante da variável número de vasos do xilema (NVX), já o tratamento M:C:CO

apresentou maior distância das variáveis espessura do floema (FLO) e relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) (FIGURA 26 - E12).

Analisando a época dezoito (E18), observou-se que os tratamentos com solo exposto foram agrupados com maior contribuição da variável diâmetro dos vasos do xilema (DVX). Os tratamentos com *mulching* e a maioria dos tratamentos com braquiária foram discriminados pelas variáveis relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) e espessura do parênquima paliçádico (PAL). Em relação ao manejo com braquiária, grande parte dos tratamentos foram dispostos próximos à variável número de vasos do xilema (NVX) e, além disso, os tratamentos B:LC:G, B:LC:CO, B:LC:CC e B:C:T também apresentaram-se próximos à espessura do mesofilo (MES) (FIGURA 26 - E18).

Figura 26 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2) com base nas características anatômicas durante a época seis (E6), doze (E12) e dezoito (E18).



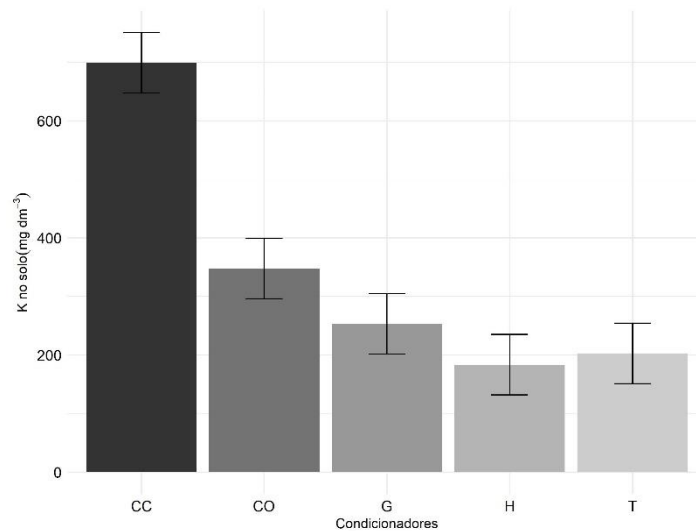
Fonte: Da autora (2018).

#### 4.4 Atributos químicos do solo

Analisando os atributos químicos do solo, verifica-se grande efeito dos fatores fertilizante e condicionador (TABELA 8, APÊNDICE A). Houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre esses fatores para cálcio e magnésio trocável, acidez potencial e capacidade de troca de cátions a pH 7. Para a variável acidez potencial, também, foi encontrada interação entre manejo e fertilizante. Em relação ao potássio disponível e a saturação por bases, houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) do fator condicionador de solo (TABELA 8, APÊNDICE A).

A casca de café aplicada no cafeeiro promoveu aumento no potássio do solo em relação aos demais condicionadores. O composto orgânico proporcionou maior média, quando comparado ao polímero hidrorretentor e à testemunha, porém foi semelhante ao gesso (FIGURA 27).

Figura 27 - Representação gráfica do potássio disponível no solo ( $K - mg\ dm^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

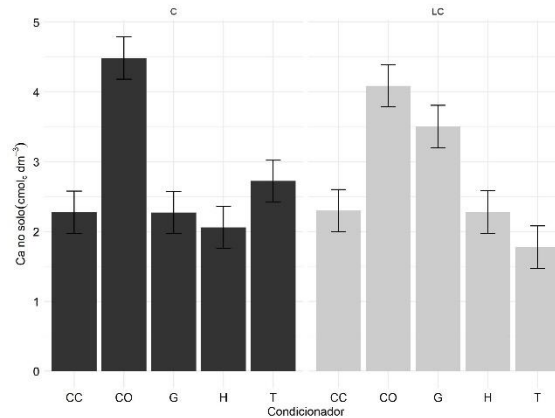
Fonte: Da autora (2018).

O cálcio trocável foi maior com a aplicação do composto orgânico ( $4,3\ cmol_c\ dm^{-3}$ ), porém o gesso agrícola proporcionou teor significativamente semelhante quando utilizado fertilizante de liberação controlada ( $3,5\ cmol_c\ dm^{-3}$ ) (FIGURA 28).

Ao comparar as médias observadas no gesso agrícola, verifica-se aumento do cálcio trocável, quando utilizado fertilizante de liberação controlada; quando usado fertilizante convencional, o teor observado foi igual ao do tratamento testemunha. Já comparando os

tratamentos sem condicionadores (testemunha), observa-se maior média quando utilizado fertilizante convencional (FIGURA 28).

Figura 28 - Representação gráfica do cálcio trocável no solo (Ca -  $\text{mg dm}^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).



Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

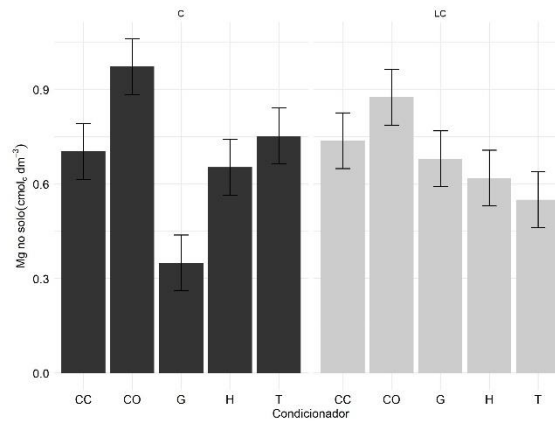
Fonte: Da autora (2018).

Da mesma forma que o cálcio, o maior magnésio trocável ocorreu com a aplicação do composto orgânico, entretanto, quando utilizado fertilizante de liberação controlada, a casca de café proporcionou teor semelhante ao composto orgânico. O valor médio observado no tratamento testemunha foi maior, quando empregado o fertilizante convencional, em comparação ao de liberação controlada (FIGURA 29).

Verifica-se redução do magnésio trocável no solo quando utilizado gesso agrícola junto ao fertilizante convencional (FIGURA 29).



Figura 29 - Representação gráfica do magnésio trocável no solo ( $\text{Mg} - \text{mg dm}^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).



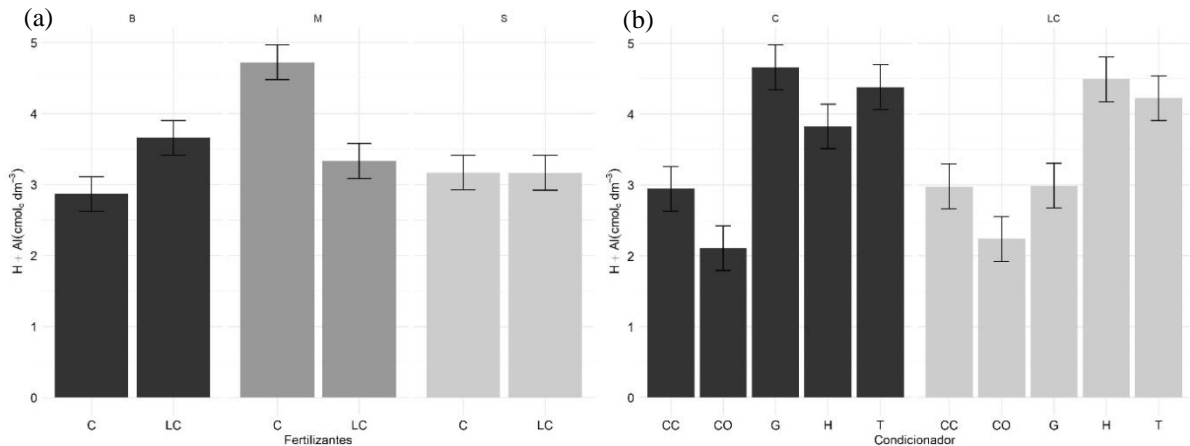
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Em relação à acidez potencial, no manejo com solo exposto, não houve diferença entre os valores médios observados nos fertilizantes (FIGURA 30a). A maior média ocorreu com o uso do *mulching* associado ao fertilizante convencional. Já no manejo com a braquiária, o fertilizante de liberação controlada promoveu maior valor, que foi semelhante ao observado com esse fertilizante no manejo com *mulching* (FIGURA 30a).

Menores valores referentes à acidez potencial do solo foram observados com o uso do composto orgânico, independentemente do fertilizante (FIGURA 30b). O solo sem condicionador (testemunha) apresentou maiores médias, sendo semelhantes às verificadas com o polímero, com o gesso agrícola e com composto orgânico quando utilizado fertilizante convencional (FIGURA 30b).

Figura 30 - Representação gráfica da acidez potencial do solo ( $H + Al - \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados com dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) em três manejos da cobertura do solo (a) (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)) e com cinco condicionadores de solo (b) (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).

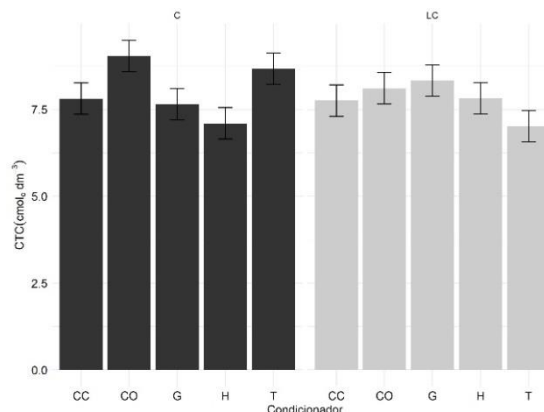


Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

A aplicação do composto orgânico e a ausência de condicionadores de solo, no cafeeiro cultivado com fertilizante convencional, promoveram maiores médias da CTC pH 7 (Figura 31). No cafeeiro com fertilizante de liberação controlada, o gesso agrícola proporcionou maior média em relação à testemunha. O valor médio verificado na testemunha com fertilizante convencional foi superior ao observado no mesmo tratamento com fertilizante de liberação controlada (FIGURA 31).

Figura 31 - Representação gráfica da capacidade de troca de cátions à pH 7 (CTC -  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) em cafeeiros cultivados sob dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).



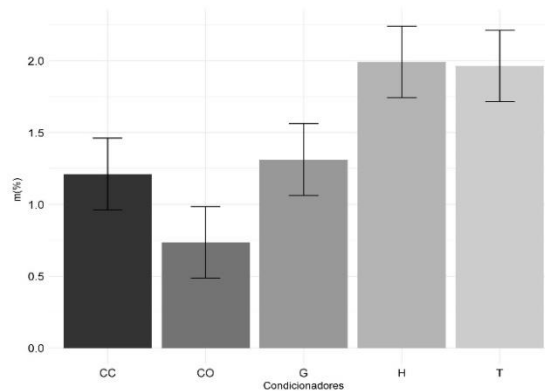
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

Maiores médias referentes à saturação por alumínio foram verificados quando utilizado polímero hidrorretentor e ausência de condicionadores (testemunha) (FIGURA 32).

Casca de café, composto orgânico e gesso agrícola reduziram a saturação por alumínio no cafeeiro (FIGURA 32).

Figura 32 - Representação gráfica da saturação por alumínio (m - %) em cafeeiros cultivados sob cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)).



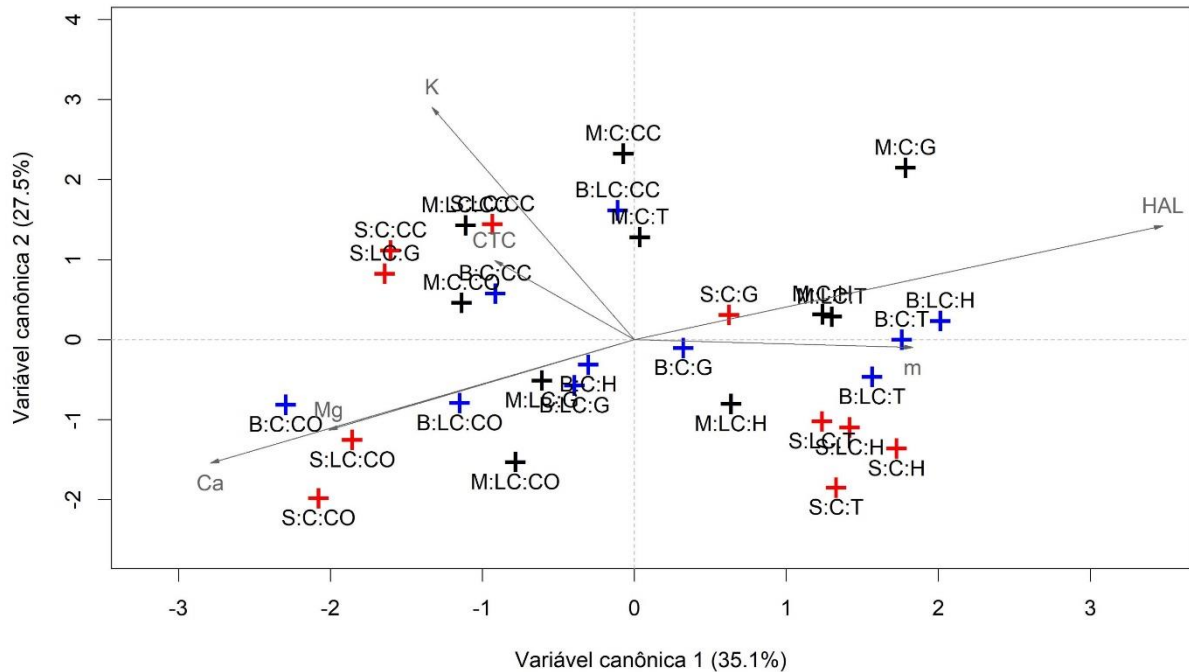
Legenda: As barras representam média  $\pm$  o erro padrão da média.

Fonte: Da autora (2018).

No gráfico da dispersão dos tratamentos, em função dos atributos químicos do solo (FIGURA 33), os tratamentos associados com casca de café foram discriminados, de acordo com as variáveis teor de potássio (K) e capacidade de troca de cátions (CTC). Já os associados com o composto orgânico foram discriminados com maior contribuição das variáveis teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), independentemente do manejo da cobertura do solo (FIGURA 33).

Os tratamentos referentes à associação gesso e fertilizante convencional foram dispostos com maior aproximação da variável acidez potencial (HAL) e maior distância das variáveis teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), entretanto, quando associado com fertilizante de liberação controlada, o comportamento foi inverso. Os tratamentos com polímero hidrorretentor em manejo com solo exposto foram discriminados com maior contribuição da variável saturação por alumínio (m), sendo dispostos com grande distância das variáveis teor de potássio no solo (K) e capacidade de troca de cátions (CTC), independentemente do tipo de fertilizante utilizado (FIGURA 33).

Figura 33 - Dispersão gráfica dos cafeeiros cultivados com diferentes tratamentos obtidos da combinação de três tipos de manejo da cobertura do solo (braquiária (B), *mulching* (M) e solo exposto (S)), dois tipos de fertilizantes (convencional (C) e de liberação controlada (LC)) e cinco condicionadores de solo (casca de café (CC), composto orgânico (CO), gesso agrícola (G), polímero hidrorretentor (H) e testemunha (T)), em relação à primeira (Variável canônica 1) e à segunda (Variável canônica 2) com base nos atributos químicos do solo na época 21.



Fonte: Da autora (2018).

#### 4.5 Correlação canônica entre as características

Nas Tabelas 3 a 8, são apresentadas as correlações canônicas ( $R$ ), variâncias compartilhadas ( $R^2$ ), índices de redundância (RI) e o teste de quiquadrado de Bartlett para as funções canônicas.

Ao estudar as relações entre os caracteres de crescimento e os fisiológicos, foi constatada uma relação de dependência entre o grupo de caracteres de crescimento/umidade com o grupo de caracteres fisiológicos, visto que a função canônica 1 (ou par canônico 1) foi significativa ( $p < 0,05$ ) (TABELA 3). Observou-se uma correlação canônica ( $R$ ) de 0,9021 e uma variância compartilhada ( $R^2$ ) entre a variável canônica do grupo de crescimento/umidade e a variável canônica da do grupo fisiológico, de 81% ( $R^2 = 0,8137$ ), indicando alta relação entre esses dois grupos de caracteres. As demais funções canônicas não foram significativas (TABELA 3).

O grupo dos caracteres de crescimento/umidade do solo compartilhou, aproximadamente, 55% da variância com o grupo dos caracteres fisiológicos (TABELA 3). Esse valor refere-se ao índice de redundância ( $RI_{(1|2)}$ ), para o grupo de caracteres de crescimento e umidade do solo, o qual corresponde à proporção da variância observada nesse grupo que foi explicada pelos caracteres fisiológicos. Esse índice é equivalente ao se considerar o quadrado de múltiplos coeficientes de correlação entre os caracteres fisiológicos e cada caractere de crescimento/ umidade (MINGOTI, 2005). Ou seja, tem-se uma boa relação entre as características fisiológicas, crescimento e umidade do solo. Em suma, o cafeeiro que apresentou altos valores para os caracteres fisiológicos, apresentou, em grande média, altos valores para crescimento/umidade. Entretanto o contrário não foi observado, os cafeeiros que apresentaram alto crescimento/umidade do solo nem sempre apresentaram altos valores para os caracteres fisiológicos, visto que o índice de redundância para os caracteres fisiológicos foi de 22% ( $RI_{(2|1)}$ ) (TABELA 3).

Tabela 3 - Análise de correlação canônica para as quatro funções canônicas entres os grupos de caracteres de crescimento/umidade e fisiológicos de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.

Função Canônica	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>(1)</sub>	R <sup>2</sup> <sub>(2)</sub>	RI <sub>(1 2)</sub>	RI <sub>(2 1)</sub>	Teste $\chi^2$ de Bartlett		
							GL	$\chi^2$	p-valor
1	0,9021	0,8137	0,6737	0,2663	0,5482	0,2167	20	48,93	0,0003
2	0,5096	0,2597	0,1146	0,3744	0,0297	0,0972	12	8,59	0,7370
3	0,2076	0,0431	0,0286	0,1304	0,0012	0,0056	6	1,37	0,9672
4	0,1153	0,0133	0,1831	0,0963	0,0024	0,0013	2	0,32	0,8517

Fonte: Da autora (2018)

Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R<sup>2</sup>), variância explicada no grupo de caracteres de crescimento (R<sup>2</sup><sub>(1)</sub>), variância explicada no grupo de caracteres fisiológicos (R<sup>2</sup><sub>(2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres de crescimento (RI<sub>(1|2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres fisiológicos (RI<sub>(2|1)</sub>).  $\chi^2$ : quiquadrado.

Observou-se a relação de dependência entre o grupo de caracteres de crescimento com o grupo de caracteres anatômicos, já que a função canônica 1 foi significativa ( $p < 0,05$ ) (TABELA 4). Verifica-se correlação canônica de 0,8419 e variância compartilhada (R<sup>2</sup>) entre a variável canônica do grupo de crescimento/umidade e a variável canônica do grupo fisiológico de 71% (R<sup>2</sup> = 0,7088), o que indica alta relação entre esses dois grupos de caracteres. As demais funções canônicas não foram significativas (TABELA 4).

Observou-se o mesmo comportamento na correlação canônica entre o grupo de caracteres de crescimento/umidade e os fisiológicos (TABELA 3), na correlação canônica

entre os caracteres de crescimento/umidade e os anatômicos (TABELA 4). O grupo dos caracteres de crescimento/umidade compartilhou, aproximadamente, 46% da variância com o grupo dos caracteres anatômicos (TABELA 4). Entretanto a relação entre os caracteres anatômicos com os de crescimento/umidade não foi alta, ou seja, os cafeeiros que apresentaram altos valores para crescimento nem sempre apresentaram altos valores para os caracteres anatômicos (TABELA 4).

Tabela 4 - Análise de correlação canônica para as quatro funções canônicas entres os grupos de caracteres de crescimento/umidade e anatômicos de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.

Função Canônica	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>(1)</sub>	R <sup>2</sup> <sub>(2)</sub>	RI <sub>(1 2)</sub>	RI <sub>(2 1)</sub>	Teste $\chi^2$ de Bartlett		
							GL	$\chi^2$	p-valor
1	0,8419	0,7088	0,6463	0,2999	0,4581	0,2126	20	38,72	0,0072
2	0,4748	0,2254	0,1336	0,2315	0,0301	0,0522	12	9,12	0,6929
3	0,3203	0,1026	0,1498	0,2165	0,0154	0,0222	6	2,98	0,8107
4	0,1264	0,01598	0,0704	0,1389	0,0011	0,0022	2	0,39	0,8242

Fonte: Da autora (2018)

Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R<sup>2</sup>), variância explicada no grupo de caracteres de crescimento (R<sup>2</sup><sub>(1)</sub>), variância explicada no grupo de caracteres anatômicos (R<sup>2</sup><sub>(2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres de crescimento (RI<sub>(1|2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres anatômicos (RI<sub>(2|1)</sub>).  $\chi^2$ : quiquadrado.

Em relação aos caracteres fisiológicos e anatômicos, observou-se uma relação de dependência entre ambos, tendo uma correlação canônica de 0,8234 (TABELA 5). Entretanto a variância compartilhada (R<sup>2</sup>) entre a variável canônica dos caracteres fisiológicos e a variável canônica dos anatômicos foi menor (0,6780) do que as obtidas entre as correlações que envolveram os grupos de caracteres de crescimento.

Além disso, o índice de redundância (RI<sub>(1|2)</sub>), para o grupo de caracteres fisiológicos, foi baixo (0,1595), enquanto o índice de redundância, para o grupo anatômico, foi maior (0,2017), ou seja, os cafeeiros que apresentaram altos valores para os caracteres anatômicos, apresentaram, de certa forma, valores maiores para os caracteres fisiológicos. Porém nem sempre os cafeeiros que apresentaram valores maiores para os caracteres fisiológicos apresentaram para os anatômicos, pois a variância no grupo fisiológico explicada pelo grupo anatômico foi de 15% e a variância no grupo anatômico explicada pelo grupo fisiológico foi de 20% (TABELA 5).

Tabela 5 - Análise de correlação canônica para as cinco funções canônicas entres os grupos de caracteres fisiológicos e do grupo de caracteres anatômicos de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.

Função Canônica	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>(1)</sub>	R <sup>2</sup> <sub>(2)</sub>	RI <sub>(1 2)</sub>	RI <sub>(2 1)</sub>	Teste $\chi^2$ de Bartlett		
							GL	$\chi^2$	p-valor
1	0,8234	0,6780	0,2353	0,2975	0,1595	0,2017	25	41,72	0,0193
2	0,5837	0,3407	0,2177	0,2768	0,0742	0,0943	16	15,09	0,5183
3	0,4269	0,1822	0,2620	0,1944	0,0477	0,0354	9	5,29	0,8078
4	0,1518	0,0230	0,2089	0,1293	0,0048	0,0029	4	0,57	0,9665
5	0,0294	0,0009	0,0760	0,1019	0,0001	0,0001	1	0,02	0,8864

Fonte: Da autora (2018).

Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R<sup>2</sup>), variância explicada no grupo de caracteres fisiológicos (R<sup>2</sup><sub>(1)</sub>), variância explicada no grupo de caracteres anatômicos (R<sup>2</sup><sub>(2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres fisiológicos (RI<sub>(1|2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres anatômicos (RI<sub>(2|1)</sub>).  $\chi^2$ : quiquadrado.

Não foi observada relação de dependência entre o grupo de atributos químicos do solo com nenhum outro grupo de caracteres, dado que nenhuma função canônica foi significativa (TABELAS 6, 7 e 8).

Tabela 6 - Análise de correlação canônica para as quatro funções canônicas entres os grupos de caracteres de crescimento/umidade e atributos químicos do solo de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.

Função Canônica	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>(1)</sub>	R <sup>2</sup> <sub>(2)</sub>	RI <sub>(1 2)</sub>	RI <sub>(2 1)</sub>	Teste $\chi^2$ de Bartlett		
							GL	$\chi^2$	p-valor
1	0,7491	0,5611	0,3712	0,2234	0,4581	0,1253	20	30,88	0,1571
2	0,5461	0,2982	0,1509	0,4094	0,0301	0,1221	12	11,53	0,7139
3	0,3537	0,1251	0,0306	0,0475	0,0154	0,0059	6	3,21	0,9203
4	0,0552	0,0031	0,4472	0,0797	0,0011	0,0002	2	0,07	0,9950

Fonte: Da autora (2018)

Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R<sup>2</sup>), variância explicada no grupo de caracteres de crescimento (R<sup>2</sup><sub>(1)</sub>), variância explicada no grupo de atributos químicos do solo (R<sup>2</sup><sub>(2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres de crescimento (RI<sub>(1|2)</sub>), índice de redundância para o grupo de atributos químicos do solo (RI<sub>(2|1)</sub>).  $\chi^2$ : quiquadrado.

Tabela 7 - Análise de correlação canônica para as cinco funções canônicas entres os grupos de caracteres fisiológicos e atributos químicos do solo de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.

Função Canônica	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>(1)</sub>	R <sup>2</sup> <sub>(2)</sub>	RI <sub>(1 2)</sub>	RI <sub>(2 1)</sub>	Teste $\chi^2$ de Bartlett		
							GL	$\chi^2$	p-valor
1	0,7366	0,5426	0,2206	0,1191	0,1197	0,0646	30	23,33	0,8012
2	0,3506	0,1229	0,1183	0,1672	0,0145	0,0205	20	5,34	0,9995
3	0,2775	0,0769	0,3179	0,3275	0,0245	0,0252	12	2,32	0,9987
4	0,1197	0,0143	0,2166	0,2285	0,0031	0,0032	6	0,48	0,9980
5	0,0809	0,0066	0,1266	0,0858	0,0008	0,0006	2	0,15	0,9272

Fonte: Da autora (2018).

Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R<sup>2</sup>), variância explicada no grupo de caracteres fisiológicos (R<sup>2</sup><sub>(1)</sub>), variância explicada no grupo de atributos químicos do solo (R<sup>2</sup><sub>(2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres fisiológicos (RI<sub>(1|2)</sub>), índice de redundância para o grupo de atributos químicos do solo (RI<sub>(2|1)</sub>).  $\chi^2$ : quiquadrado.

Tabela 8 - Análise de correlação canônica para as cinco funções canônicas entres os grupos de caracteres anatômicos e atributos químicos do solo de cafeeiros conduzidos em diferentes manejos de cobertura de solo, tipo de fertilizante e condicionadores de solo.

Função Canônica	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>(1)</sub>	R <sup>2</sup> <sub>(2)</sub>	RI <sub>(1 2)</sub>	RI <sub>(2 1)</sub>	Teste $\chi^2$ de Bartlett		
							GL	$\chi^2$	p-valor
1	0,6327	0,4003	0,1747	0,1186	0,0699	0,0475	30	17,28	0,9690
2	0,3317	0,1100	0,2550	0,1042	0,0281	0,0115	20	5,52	0,9994
3	0,2443	0,0597	0,3239	0,4812	0,0193	0,0287	12	2,84	0,9966
4	0,2308	0,0533	0,1476	0,0590	0,0079	0,0031	6	1,43	0,9643
5	0,0851	0,0072	0,0988	0,1423	0,0007	0,0010	2	0,17	0,9199

Fonte: Da autora (2018).

Correlações canônicas (R), variância compartilhada (R<sup>2</sup>), variância explicada no grupo de caracteres anatômicos (R<sup>2</sup><sub>(1)</sub>), variância explicada no grupo de atributos químicos do solo (R<sup>2</sup><sub>(2)</sub>), índice de redundância para o grupo de caracteres anatômicos (RI<sub>(1|2)</sub>), índice de redundância para o grupo de atributos químicos do solo (RI<sub>(2|1)</sub>).  $\chi^2$ : quiquadrado.

Nas Tabelas 9, 10 e 11, são apresentadas as cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas (L<sup>2</sup>), cargas canônicas cruzadas (CL) e variâncias compartilhadas das cargas canônicas cruzadas (CL<sup>2</sup>) das análises de correlação canônicas entre os grupos crescimento/umidade e fisiológico, crescimento/umidade e anatômico e entre fisiológico e anatômico, respectivamente.

Observa-se que, no grupo dos caracteres crescimento/umidade, todos apresentaram elevadas cargas canônicas (TABELA 9), com exceção da umidade do solo (US). O comprimento do ramo plagiotrópico (CP) apresentou a maior correlação com a variável canônica do grupo de crescimento (0,9397). As variáveis comprimento do ramo plagiotrópico (CP) e altura de planta (AP) apresentaram variância compartilhada de alta magnitude,



destacando-se a variância compartilhada do comprimento do ramo plagiotrópico (CP) (0,8830) que foi a característica mais bem explicada pela variável canônica do grupo crescimento, visto que, aproximadamente, 88% da variância foram compartilhados pela variável canônica com este caractere (TABELA 9).

Em relação aos caracteres fisiológicos, o índice de clorofila b (CIB) e o índice de clorofila a (CIA) apresentaram as maiores correlações com a variável canônica do grupo fisiológico, apresentando cargas canônicas de 0,7889 e 0,5844, respectivamente, porém apenas o índice de clorofila b (CIB) teve variância compartilhada representativa pela variável canônica do grupo fisiológico (0,6224) (TABELA 9).

Ao analisar as cargas canônicas cruzadas (CL), observa-se que, no grupo dos caracteres de crescimento, o comprimento do ramo plagiotrópico (CP) e a altura de planta (AP) apresentam as maiores correlações com a variável canônica do grupo fisiológico (0,8477 e 0,7898, respectivamente) (TABELA 9). Com esse resultado, pode-se inferir que há uma relação forte entre os caracteres fisiológicos com o comprimento do ramo plagiotrópico (CP) e altura de plantas (AP). Para as cargas canônicas cruzadas estabelecidas, para os caracteres fisiológicos, observa-se que o índice de clorofila b (CIB) apresentou uma correlação considerável com a variável canônica do grupo crescimento (0,7120) (TABELA 9).

Tabela 9 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas ( $L^2$ ), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas ( $CL^2$ ) referentes às variáveis canônicas de crescimento/umidade e fisiológicas da primeira função canônica.

<b>Caracteres</b>	<b>L</b>	<b><math>L^2</math></b>	<b>CL</b>	<b><math>CL^2</math></b>
<b>Crescimento/Umidade</b>				
AP	-0,8755	0,7665	-0,7898	0,6238
RP	-0,8207	0,6735	-0,7403	0,5481
CP	-0,9397	0,8830	-0,8477	0,7185
US	-0,6097	0,3718	-0,5500	0,3025
<b>Fisiológicos</b>				
CIA	-0,5844	0,3416	-0,5272	0,2779
CIB	-0,7889	0,6224	-0,7120	0,5065
A	0,4590	0,2106	0,4140	0,1714
gs	0,1146	0,0131	0,1034	0,0107
EUA	-0,3793	0,1439	-0,3422	0,1171

Fonte: Da autora (2018).

Ao analisar as cargas canônicas (L) dos grupos de caracteres crescimento/umidade e anatômicos (TABELA 10), observa-se que, no grupo crescimento/umidade, todos os caracteres apresentaram elevadas cargas canônicas, havendo destaque para o comprimento do

ramo plagiotrópico (CP) (0,8927). Essa característica apresentou variância compartilhada de alta magnitude (0,7968) sendo este, portanto o caractere que foi mais bem explicado pela variável canônica do grupo crescimento (TABELA 10).

Quanto aos caracteres anatômicos, a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) e o diâmetro de vasos do xilema (DVX) apresentaram as maiores correlações com a variável canônica do grupo anatômico, apresentando cargas canônicas de 0,9451 e 0,6908, respectivamente. Porém apenas a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) apresentou maior variância compartilhada pela variável canônica do grupo anatômico (0,8931) (TABELA 10).

Ao analisar as cargas canônicas cruzadas (CL), observa-se que, no grupo dos caracteres de crescimento, o comprimento do ramo plagiotrópico (CP) apresentou a maior correlação com a variável canônica do grupo anatômico (0,7516), ou seja, há uma relação forte entre os caracteres anatômicos e o comprimento do ramo plagiotrópico (CP) (TABELA 10). Para as cargas canônicas cruzadas estabelecidas para os caracteres anatômicos, observa-se que a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) apresentou uma correlação considerável com a variável canônica do grupo crescimento (0,7957) (TABELA 10).

Tabela 10 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas ( $L^2$ ), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas ( $CL^2$ ) referentes às variáveis canônicas de crescimento e anatômicas da primeira função canônica.

Caracteres	L	$L^2$	CL	$CL^2$
Crescimento/Umidade				
AP	0,7858	0,6175	0,6616	0,4377
RP	0,7923	0,6278	0,6671	0,4450
CP	0,8927	0,7968	0,7516	0,5648
US	0,7369	0,5431	0,6204	0,3850
Anatômicos				
PAL	0,3514	0,1235	0,2958	0,0875
MES	0,0423	0,0018	0,0356	0,0013
NVX	-0,0625	0,0039	-0,0526	0,0028
DVX	-0,6908	0,4771	-0,5816	0,3382
DPDE	0,9451	0,8931	0,7957	0,6331

Fonte: Da autora (2018).

Analisando as cargas canônicas (L) dos grupos de caracteres fisiológicos e anatômicos (TABELA 11), foi possível identificar que o índice de “clorofila b” (CIB) foi o que apresentou maior carga canônica (0,7334), seguido por índice de “clorofila a” (CIA), taxa

fotossintética (A), eficiência do uso da água (EUA) e condutância estomática (gs). Salienta-se, ainda, que variável índice de “clorofila b” (CIB) apresentou a maior variância compartilhada (0,5378) sendo esta, portanto a característica que foi mais bem explicada pela variável canônica do grupo fisiológico (TABELA 11).

As características relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) e diâmetro dos vasos do xilema (DVX) apresentaram as maiores correlações com a variável canônica do grupo anatômico, verificando cargas canônicas de 0,9895 e 0,6176, respectivamente. Entretanto apenas a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) teve maior variância compartilhada pela variável canônica do grupo anatômico (0,9791) (TABELA 11).

Ao analisar as cargas canônicas cruzadas (CL), observa-se que, no grupo dos caracteres fisiológicos, o índice de “clorofila b” (CIB) apresentou a maior correlação com a variável canônica do grupo anatômico (0,6039), ou seja, há uma relação entre os caracteres anatômicos com a essa característica fisiológica (TABELA 11). Para as cargas canônicas cruzadas estabelecidas para os caracteres anatômicos, observa-se que a relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPDE) apresentou uma correlação considerável com a variável canônica do grupo fisiológico (0,8148), verificando uma relação forte entre os caracteres de fisiológicos com essa característica anatômica (TABELA 11).

Tabela 11 - Cargas canônicas (L), variância compartilhada das cargas canônicas ( $L^2$ ), cargas canônicas cruzadas (CL) e variância compartilhada das cargas canônicas cruzadas ( $CL^2$ ) referentes às variáveis canônicas fisiológicas e anatômicas da primeira função canônica.

<b>Caracteres</b>	<b>L</b>	<b><math>L^2</math></b>	<b>CL</b>	<b><math>CL^2</math></b>
<b>Fisiológicos</b>				
CIA	-0,5527	0,3054	-0,4551	0,2071
CIB	-0,7334	0,5378	-0,6039	0,3647
A	0,4772	0,2277	0,3929	0,1544
gs	0,0745	0,0056	0,0614	0,0038
EUA	-0,3162	0,1000	-0,2604	0,06781
<b>Anatômicos</b>				
PAL	-0,3484	0,1214	-0,2869	0,0823
MES	0,0591	0,0035	0,0487	0,0024
NVX	-0,0436	0,0019	-0,0359	0,0013
DVX	0,6176	0,3815	0,5086	0,2587
DPDE	-0,9895	0,9791	-0,8148	0,6638

Fonte: Da autora (2018).

## 5 DISCUSSÃO

As características morfofisiológicas das plantas podem oferecer respostas às principais limitações enfrentadas pelo cafeeiro, principalmente, as relacionadas com as condições ambientais de cultivo, como disponibilidade hídrica, temperatura e níveis de radiação (BALIZA et al., 2012; CASTANHEIRA et al., 2016; GRISI et al., 2008), além de possibilitarem diretrizes para a escolha de práticas agrícolas que otimizem a produção do café (MATTA et al., 2007).

O sistema de manejo atua de forma expressiva nas interações solo-planta-atmosfera (MARTORANO et al., 2009). Neste trabalho, é possível inferir que, principalmente, pela menor porcentagem de água no solo e pelo menor potencial hídrico foliar, o manejo do cafeeiro com o solo exposto ocasionou condição de menor disponibilidade hídrica, em comparação ao *mulching* e braquiária. Esse fato pode ser justificado pela ausência da cobertura do solo, pois diminui a infiltração da água, favorece o escoamento superficial e eleva a temperatura, podendo aumentar a evapotranspiração e, em consequência, reduzir o armazenamento de água no solo (MARTORANO et al., 2009; TIECHER, 2016). Segundo Dechen et al. (2015), a cobertura do solo pode amenizar as perdas de água em até 51,97%.

De modo geral, o cafeeiro cultivado com solo exposto apresentou menor crescimento, umidade do solo, potencial hídrico foliar, índice de clorofila total, condutância estomática e eficiência do uso da água quando comparado ao com *mulching* e braquiária, além de modificações nos tecidos foliares.

Sem dúvida, a disponibilidade hídrica afeta, significativamente, o crescimento das plantas, sendo a água fator principal nas reações metabólicas e nos processos de transporte, translocação de fotoassimilados, turgescência celular e abertura e fechamento dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2013). No presente estudo, o *mulching* e a braquiária foram eficientes na manutenção da umidade do solo, mesmo em períodos com baixo volume de precipitação (E6; E18) e com temperaturas mais elevadas (E12), o que proporcionou maior crescimento às plantas, otimizando o uso da água no cafeeiro quanto às condições climáticas.

Corroborando com este trabalho, Barbosa (2015), também, observou maior crescimento da parte aérea do cafeeiro com a utilização do *mulching*, atribuindo a esse resultado ao melhor aproveitamento da água pelas plantas. Esse autor ressaltou a eficiência do *mulching* como condicionador hídrico do solo por limitar as perdas de água para a atmosfera e proporcionar maior umidade. Zhu et al. (2015) verificaram menor evaporação de água do solo

com o uso do *mulching* na cultura do milho, o qual contribuiu para obtenção de maiores produtividades.

De forma similar aos resultados verificados com o uso da braquiária, Rocha et al. (2014) apontam um aumento médio de 18% na água prontamente disponível do solo, em função do cultivo do cafeeiro com braquiária, afirmando que esse manejo proporcionou a adição de 40 m<sup>3</sup> de água por hectare na camada de 0-20 do solo. Segundo os autores, o sistema radicular da braquiária favorece a estruturação do solo que, por meio de incrementos significativos na microporosidade, aumenta consideravelmente o armazenamento de água.

Ademais, ao contrário do *mulching* plástico, a cobertura do solo com resíduos de braquiária pode favorecer o crescimento do cafeeiro pelo fornecimento de nutrientes, sobretudo, do nitrogênio (PEDROSA et al., 2014). Maiores médias de número de folhas, massa seca das plantas e diâmetro do caule foram verificados no cafeeiro com resíduo de braquiária, quando comparado ao sem resíduo (PEDROSA et al., 2014).

Entre os condicionadores de solo estudados, a casca de café e composto orgânico proporcionaram maior teor de umidade, porém apenas a casca de café promoveu incrementos no crescimento das plantas. Além disso, verifica-se maior teor de potássio no solo, quando utilizada a casca de café, o que pode ter contribuído para os ganhos nos aspectos morfofisiológicos observados no cafeeiro que recebeu esse condicionador, mesmo que não tenha sido observada correlação entre essas características.

Resultados positivos, ainda, foram apontados por Barros et al. (2001), ao observarem aumento na produção do cafeeiro com a utilização da casca de café aplicada em cobertura (4,0 kg por planta).

Já o composto orgânico, mesmo aumentando a umidade do solo, foi prejudicial ao crescimento do cafeeiro. Esse fato pode ser justificado pela natureza química do composto que, em virtude de sua origem, apresentou elevados índices de cobre, ferro, manganês e zinco (APÊNDICE B), o que pode ter sido tóxico às plantas e causado desbalanços nutricionais, induzindo a deficiência de outros nutrientes essenciais (ALEXANDRE et al., 2012; PAVAN; BINGHAM, 1981).

De forma similar, Araújo et al. (2008) verificaram efeito negativo da utilização de doses altas de um composto orgânico à base de esterco de galinha, casca de café e palha de feijão (6,4 a 7,4 kg por planta), em mudas de cafeeiro sob condições de casa de vegetação. Esses mesmos autores, também, estudaram a aplicação foliar do composto denominado “supermagro” (mistura de adubos minerais com esterco, soro de leite, melão de cana, sangue

bovino e farinha de osso) e observaram diminuição do crescimento das plantas pelo excesso dos micronutrientes Cu, B, Fe, Mn e Zn, quando utilizadas maiores concentrações do produto.

Quanto à resistência do solo à penetração (compactação), o aumento dos valores médios, observado no manejo com solo exposto associado ao gesso, polímero hidrorretentor ou com a própria ausência de condicionadores (testemunha), parece estar relacionado à menor umidade verificada nesses tratamentos.

Silveira et al. (2010) observaram uma elevada correlação negativa entre a resistência à penetração do solo e a umidade. Segundo os autores, sistemas de manejo que promovam a manutenção da umidade do solo são de grande importância, para o controle da resistência do solo à penetração, oferecendo condições satisfatórias para o crescimento das plantas, sobretudo, do sistema radicular.

De acordo com Barbosa (2015), a cobertura plástica do solo, *mulching*, proporcionou maior volume e melhor distribuição do sistema radicular no cafeeiro, o que justificou os resultados satisfatórios observados no crescimento da parte aérea das plantas.

Diante do exposto, de modo geral, todas as técnicas agrônômicas estudadas, que apresentavam a particularidade de cobertura do solo, culminaram em maior umidade e menor compactação. Entretanto nem todas favoreceram o crescimento, uma vez que o composto orgânico foi prejudicial ao cafeeiro.

Silveira et al. (2016), estudando a deficiência hídrica em cafeeiros submetidos a diferentes tipos de consórcio com madeiras, evidenciaram mudanças ecofisiológicas nas plantas em consequência das variações ambientais. Corroborando com essas observações sobre a plasticidade do cafeeiro, nota-se, neste trabalho, grande variação das respostas fisiológicas das plantas, conforme as técnicas de cultivo empregadas e as condições climáticas de cada época de avaliação. Respostas essas que estão altamente correlacionadas com características de crescimento e umidade do solo.

As clorofilas estão diretamente relacionadas com a eficiência fotossintética, refletindo no crescimento e adaptação das plantas em diferentes ambientes de cultivo. Os maiores índices de “clorofila a”, observados no cafeeiro com a utilização do gesso e do polímero hidrorretentor, em comparação ao composto e testemunha, indicam uma possível eficiência desses condicionadores de solo em condições de cultivo com menor umidade no solo (manejo com solo exposto) e com baixo volume de precipitação.

Entretanto verifica-se o maior destaque da casca de café que possibilitou maior índice de “clorofilas a e b”, nessas mesmas condições, possivelmente, por maior crescimento das plantas, observado quando utilizado esse condicionador. A “clorofila b” é considerada como

um pigmento acessório que auxilia na absorção de luz e na transferência de energia (STREIT et al., 2005), portanto maior índice dessa clorofila pode possibilitar maior adaptabilidade das plantas a diferentes condições ambientais. Salienta-se que, neste trabalho, o índice de “clorofila b” apresentou relevante correlação com as características de crescimento e umidade do solo.

O *mulching*, possivelmente, reduziu as perdas de N do fertilizante convencional, em virtude de as adubações terem sido realizadas sob o filme plástico, o que favoreceu o aproveitamento do nutriente pelas plantas e, conseqüentemente, aumentou o índice de “clorofila a”. Todavia o maior índice de “clorofila a”, nos tratamentos com o fertilizante convencional, não culminou em maior eficiência nas trocas gasosas, visto que o fertilizante de liberação controlada, mesmo propiciando menor índice de “clorofila a”, possibilitou maior eficiência no uso da água. Fato esse que pode ser confirmado em função da ausência de correlação entre os atributos químicos do solo e os demais grupos de características avaliadas.

O índice de clorofila pode ser utilizado como indicador para monitorar o estado nutricional das plantas, principalmente, em relação ao nitrogênio (GODOY et al., 2008), porém diversos outros fatores podem interferir nessa característica, como o estresse hídrico, radiação e temperatura (STREIT et al., 2005).

Neste trabalho, os maiores índices de clorofila total foram observados nas plantas sob os manejos que proporcionaram maior umidade no solo (*mulching* e braquiária), que também possibilitaram maior taxa fotossintética e maior condutância estomática, refletindo, de forma benéfica, no crescimento das plantas pela correlação positiva observada entre essas características.

O potencial de água na folha destaca-se como um parâmetro importante na avaliação das plantas quanto ao déficit hídrico (NOGUEIRA et al., 2001), uma vez que representa a energia livre da água na planta e pode ser considerado um indicativo do nível de armazenamento de água no solo (SILVA et al., 2003). Neste trabalho, verificou-se potencial hídrico foliar de -0,93 Mpa, em cafeeiros cultivados com o solo exposto e valores em torno de -2.15 Mpa foram observados por Santos e Mazzafera (2012), quando as plantas já apresentavam estado de murcha, ou seja, as diferenças entre os tratamentos que mantiveram o solo mais úmido e os de solo exposto poderiam ter sido ainda maiores.

Evidencia-se que os manejos com *mulching* e braquiária foram capazes de manter maiores potenciais hídricos foliares, mesmo em condição de baixa pluviosidade ocorrida, na época 6. A interação entre as variáveis climáticas, as características de cultivo e a disponibilidade hídrica do solo proporciona condições ambientais que refletem diretamente no

potencial de água na planta (CASTANHEIRA et al., 2013). Nesse sentido, a cobertura do solo promovida, por meio da utilização do *mulching* e braquiária, possivelmente, suscitou a formação de um microclima mais úmido, o qual proporcionou maiores médias de potencial hídrico foliar.

Em relação aos condicionadores de solo, o efeito prejudicial do composto orgânico também foi verificado, para o índice de clorofila total e eficiência do uso da água, ambos na época 9 e, para taxa fotossintética na época 21, esses períodos foram caracterizados por maior pluviosidade o que, possivelmente, promoveu maior disponibilidade de Fe, ocasionando toxicidade nas plantas. Jucoski et al. (2016) observaram que plantas de *Eugenia uniflora* (pitangueira), sob excesso de Fe, apresentaram menores teores de pigmentos cloroplastídicos, desordem nutricional e redução do crescimento.

Nesse sentido, verifica-se a importância de se utilizar compostos orgânicos em doses adequadas que não contenham concentrações elevadas de elementos que, dependendo das condições ambientais, podem ser altamente tóxicos ao metabolismo vegetal.

A maior média de taxa fotossintética observada no cafeeiro com braquiária associado ao uso da casca de café, principalmente, quando ocorrido baixo volume de precipitação (E3), indica uma interação benéfica entre essas técnicas. Fato esse que pode estar relacionado à maior umidade do solo e ao fornecimento de nutrientes, uma vez que tanto a casca de café quanto a braquiária são fonte de matéria orgânica, podendo disponibilizar N e K (FERNANDES et al., 2013; PEDROSA et al., 2014).

De modo geral, a redução da taxa fotossintética, da condutância estomática e, em consequência, da eficiência do uso da água nas plantas sob manejo com solo exposto, apontam a importância do cultivo do cafeeiro com uso de cobertura do solo, principalmente, em condições com menores índices pluviométricos.

Ressalta-se que o fertilizante de liberação controlada proporcionou maior taxa fotossintética no cafeeiro sob manejo com solo exposto e maior condutância estomática nas plantas sem condicionadores de solo sob manejo com *mulching* e braquiária, indicando uma superioridade desse fertilizante em relação ao convencional, principalmente, em situações de menor disponibilidade hídrica (E18). Possivelmente o fertilizante de liberação controlada otimizou as trocas gasosas do cafeeiro, de forma que a taxa fotossintética das plantas fosse superior à transpiratória, promovendo maior eficiência do uso da água.

O fertilizante de liberação controlada, por reduzir as perdas, principalmente, de N (DOMINGHETTI et al., 2016), pode potencializar o fornecimento de nutrientes às plantas, evitando irregularidades no metabolismo vegetal por desbalanço nutricional. Além disso,



esses fertilizantes podem aumentar o índice de área foliar das plantas, favorecendo o aumento da taxa fotossintética (MARQUES et al., 2013).

Corroborando com o presente trabalho, Souza (2015) verificou redução da taxa fotossintética em plantas de cafeeiro sob condição de menor disponibilidade de N e déficit hídrico. Embora ambas as condições de estresse causem prejuízos às plantas, o autor concluiu que a escassez de N pode ser menos nociva ao aparelho fotossintético que a restrição hídrica.

Contudo parece haver uma interação negativa entre o fertilizante de liberação controlada e o polímero hidrorretentor, visto que, nos manejos com *mulching* e braquiária, as taxas fotossintéticas foram menores, nos cafeeiros com polímero hidrorretentor, quando se utilizou fertilizante de liberação controlada.

Alguns estudos demonstram que a hidratação do polímero é seriamente afetada pelas concentrações de fertilizantes no meio (CROUS, 2017; GHEBRU; TOIT; STEYN, 2007). Diante do exposto, o fertilizante de liberação controlada pode ter afetado, negativamente, a absorção e retenção de água do polímero hidrorretentor, em função do fornecimento mais eficiente de nutrientes.

Marques et al. (2013), estudando o polímero hidrorretentor e fertilizante de liberação controlada no cafeeiro, não verificaram interação entre os fatores. Esses autores evidenciaram resultados positivos com a utilização do adubo de liberação controlada, porém, para o polímero hidrorretentor, não foram verificadas diferenças significativas.

De modo geral, no presente estudo, também, não foram observados resultados relevantes com a utilização do polímero hidrorretentor. Uma explicação seria a ausência de déficit hídrico severo, mesmo com baixos volumes de precipitações verificados em alguns períodos de avaliação, suprimindo os possíveis benefícios dessa tecnologia.

Embora o gesso agrícola não tenha proporcionado maior crescimento como a casca de café, esse não foi prejudicial ao cafeeiro como o composto orgânico. Verificou-se valor médio de eficiência do uso da água nas plantas com gesso agrícola semelhante ao observado com casca de café, sendo superiores aos demais condicionadores. De forma diferente à casca de café, o gesso não promove a cobertura do solo, entretanto possibilita o condicionamento do solo em subsuperfície e o fornecimento de cálcio (SOUZA et al., 2012), o que favorece a distribuição do sistema radicular, resultando em uma melhor capacidade de absorção de água (NOGUEIRA et al., 2016).

Em relação às características anatômicas, assinala-se que o parênquima paliçádico está diretamente relacionado com a fixação de CO<sub>2</sub> e, em consequência, com a eficiência fotossintética das plantas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), podendo variar o seu

desenvolvimento, conforme as condições ambientais (CASTANHEIRA et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2006). Estudo desenvolvido por Grisi et al. (2008) demonstraram maior espessura do parênquima paliçádico, no cafeeiro irrigado (cultivar “Catuaí”), em relação ao não irrigado.

No presente trabalho, a ausência de cobertura do solo, que acarretou em menor disponibilidade hídrica, afetou o desenvolvimento do parênquima paliçádico, visto que as plantas sob manejo com solo exposto, cultivadas sem condicionadores de solo (testemunha), apresentaram menor espessura desse tecido, quando comparadas às com *mulching* e braquiária. Esse fato justifica o menor índice de clorofila total e a menor eficiência do uso da água no cafeeiro sem cobertura do solo, o que pode ter ocasionado o menor crescimento das plantas nessas condições.

Ademais, o maior desenvolvimento do parênquima esponjoso e do mesofilo foliar contribui para o armazenamento de CO<sub>2</sub>, favorecendo as trocas gasosas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). A maior espessura desses tecidos no cafeeiro sob cultivo com *mulching* e braquiária e/ou com o uso de condicionadores de solo, também, promoveu o crescimento das plantas em condições de temperaturas elevadas (E12) e de menor disponibilidade hídrica (E6). Tendo em vista que foi verificado maior eficiência do uso da água, infere-se que essas técnicas agronômicas podem otimizar o cultivo do cafeeiro Quanto às variações climáticas.

A menor espessura do mesofilo foliar no cafeeiro sob manejo com solo exposto pode estar relacionada à diminuição dos espaços intercelulares no parênquima esponjoso, sendo essa uma característica xerofítica que reduz os efeitos prejudiciais, em ocorrência de murchamento das plantas, dado em função da menor disponibilidade hídrica (GOMES et al., 2008).

Tendo em vista que a função do xilema está relacionada à condução da seiva bruta (CASTANHEIRA et al., 2016), a maior umidade do solo e o maior teor de potássio promovidos, por meio da utilização de casca de café, justifica o investimento em maior número de vasos do xilema observado nas plantas com o uso desse condicionador, como uma forma de potencializar o transporte da água e dos nutrientes disponíveis, naquele meio e, assim, possibilitar maior produção de fotoassimilados.

Da mesma forma, a maior umidade do solo proporcionada pela braquiária e o fornecimento mais eficiente de N e K, propiciado pelos fertilizantes de liberação controlada, podem ter promovido o maior número de vasos do xilema, nas plantas sob o efeito da

interação desses fatores, impulsionando melhoria na condução da seiva bruta, principalmente, em condição de menor índice pluviométrico (E18).

Sobretudo, a diminuição do diâmetro dos vasos do xilema é considerada como uma forma de adaptação das plantas, quando submetidas ao déficit hídrico, que pode aumentar a eficiência na condução de seiva, pois possibilita menor chance de ocorrer embolia de ar (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014). Neste trabalho, essa característica foi observada no cafeeiro cultivado com solo exposto sob baixo volume de precipitação (E6), o que pode indicar uma resposta das plantas à menor disponibilidade de água promovida por esse manejo.

Por outro lado, as plantas não responderam da mesma forma, na época 18 (E18), caracterizada por ausência de precipitação e menor umidade relativa do ar, quando comparada à época 6 (E6) (Figura 1). O aumento do diâmetro dos vasos do xilema no cafeeiro sob manejo com solo exposto, possivelmente, ocorreu como forma de facilitar o fluxo de água pela planta, demandado, em virtude das condições climáticas observadas durante o período. Porém a maior eficiência hidráulica obtida com o aumento do diâmetro desses vasos pode estar aliada à maior vulnerabilidade à cavitação (MCELTRONE et al., 2004). Parece haver diferentes tipos de mecanismos de adaptação das plantas para viabilizar a eficiência no transporte de água e nutrientes frente ao tipo de estresse imposto.

A maior espessura do floema, observada no cafeeiro sob manejo com cobertura do solo (*mulching* e braquiária) e com o uso da casca de café, pode estar relacionada ao crescimento elevado das plantas proporcionado, por meio da utilização dessas técnicas. Plantas em intenso crescimento estão em alta atividade metabólica, gerando a demanda por maior fluxo de fotoassimilados, sendo necessário para tal o maior desenvolvimento do floema (PEREIRA et al., 2008).

O fertilizante de liberação controlada propiciou maior espessura do floema, quando comparado ao convencional, demonstrando a eficiência desse fertilizante para o cultivo do cafeeiro pela otimização do fornecimento de N e K, principalmente, em função da sincronização da liberação dos nutrientes com as exigências da planta (TIMILSENA et al., 2014).

O floema se destaca como um tecido fundamental, para crescimento radicular (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), uma vez que o cafeeiro, em estágio vegetativo, apresenta os ápices caulinares e radiculares como os principais drenos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Ribeiro et al. (2012) apontaram uma relação positiva entre a maior espessura do floema e o desenvolvimento do sistema radicular em genótipos de mandioca cultivados em diferentes condições ambientais.

Diante do exposto, as técnicas agrônômicas que possibilitaram maior espessura do floema podem promover o maior desenvolvimento do sistema radicular pela maior translocação de fotoassimilados para esse órgão, potencializando a tolerância das plantas à menor disponibilidade hídrica.

O aumento do número de estômatos por área pode contribuir para o equilíbrio das trocas gasosas, diminuindo a perda de água por transpiração e aumentando a eficiência da captura de CO<sub>2</sub> (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

No presente estudo, o gesso agrícola parece proporcionar mais benefícios ao cafeeiro, quando utilizado o fertilizante de liberação controlada em vez do fertilizante convencional, aumentando a densidade estomática em condição de menor ocorrência de precipitações (E6).

Essa relação positiva, possivelmente, ocorreu pela melhoria dos atributos químicos do solo, propiciada por ambos fatores de estudo, uma vez que a interação entre gesso agrícola e fertilizante de liberação controlada possibilitou maior teor de magnésio e cálcio no solo que a interação entre gesso e fertilizante convencional, mesmo que não tenha sido verificada significância da relação de dependência entre as características químicas do solo e as anatômicas.

Gama et al. (2017) verificaram o aumento da densidade estomática no cafeeiro, à medida que se aumentaram os níveis de adubação (NPK), demonstrando possível correspondência dessa característica com a disponibilidade de nutrientes.

Salienta-se, também, que houve o aumento da densidade estomática, quando associado o fertilizante de liberação controlada a outros condicionadores de solo. Fato esse que pode ter promovido a maior condutância estomática observada em grande parte dos tratamentos na época 6 (E6).

Os atributos químicos do solo são constantemente alterados, em virtude do próprio solo e das diversas práticas agrícolas adotadas (GUARÇONI, 2013). No presente estudo, verifica-se grande interferência dos tipos de fertilizantes e dos condicionadores de solo estudados nas características químicas do solo.

Entre os condicionadores, a casca de café possibilitou um acréscimo de 73% de potássio em relação à testemunha. Pelo aumento no teor de potássio no solo, em função da aplicação da casca de café, o uso desse condicionador tem sido recomendado como fonte complementar de nutrientes para a adubação do cafeeiro (FERNANDES et al., 2013).

O potássio é o segundo nutriente mais exigido pela cultura e, por diversas razões, tem papel fundamental na relação planta - água, dado que plantas bem supridas em K aumentam a

pressão osmótica das células guardas, possibilitando a entrada de água, que aumenta pressão de turgor e resulta na abertura dos estômatos (HAWKESFORD et al., 2012).

Nesse sentido, o fornecimento adequado de K pode ser usado como uma importante tecnologia para amenizar os efeitos negativos do déficit hídrico sob o desenvolvimento das culturas (GRZEBISZ et al., 2013). Neste trabalho, a melhoria dos processos fisiológicos das plantas, por meio da utilização da casca de café, aumentou o teor de K no solo, promoveu a otimização da água no cafeeiro.

De modo geral, o composto orgânico promoveu aumento no teor de potássio, cálcio e magnésio, possibilitando redução da acidez potencial e da saturação por alumínio no solo. Possivelmente esse condicionador possibilitou maior aporte de matéria orgânica, propiciando melhorias dos atributos químicos do solo analisados neste trabalho.

Assim como no presente trabalho, os resíduos orgânicos contribuíram para a diminuição da acidez trocável do solo, além de serem fontes eficientes de Ca, Mg e K, S e B em cafeeiros sob manejo orgânico e convencional (THEODORO et al., 2009).

De modo geral, a maior disponibilidade de nutrientes e a redução da saturação por alumínio e da acidez potencial do solo, em função da utilização da casca de café, composto orgânico e gesso agrícola, associado ao fertilizante de liberação controlada, indicam que essas técnicas agronômicas são, realmente, capazes de possibilitar o melhor condicionamento do solo. Silva et al. (2016) apontam que a utilização de gesso agrícola, em conjunto com resíduos orgânicos, promoveu maior crescimento raízes do cafeeiro, o que pode amenizar o estresse hídrico durante períodos mais secos.

Solos com baixo teor de cálcio e excesso de alumínio restringem seriamente o crescimento do sistema radicular (SANTOS et al., 2014). Além disso, o menor teor de magnésio pode prejudicar o metabolismo vegetal, visto que esse é o principal componente da molécula de clorofila, participando efetivamente do processo fotossintético das plantas (HAWKESFORD et al., 2012).

Assevera-se que o gesso agrícola promove a correção da toxidez por alumínio, fornece cálcio e, por isso, permite o maior crescimento do sistema radicular (RAMOS et al., 2013). Neste trabalho, o gesso proporcionou aumento do teor de cálcio, apenas quando utilizado fertilizante de liberação controlada, possibilitando um acréscimo de 49,4% de cálcio no solo quando comparado à testemunha.

Entretanto, tendo em vista a redução do teor de magnésio e os menores valores médios de cálcio e de capacidade de troca de cátions verificados na camada de 0 - 20 cm do solo com

gesso agrícola e fertilizante convencional, sugere-se que pode ter ocorrido maior lixiviação de nutrientes, ao longo do perfil do solo, no cafeeiro sob ação conjunta desses tratamentos.

Entre as principais limitações do solo destaca-se a presença de alumínio, que é tóxico às plantas, prejudicando, em especial, o crescimento do sistema radicular; esse elemento reduz, significativamente, a condutância estomática e a taxa fotossintética do cafeeiro, causando prejuízos em níveis estomáticos e bioquímicos (KONRAD et al., 2005).

No presente estudo, verificou-se maior saturação por alumínio no solo, quando utilizado polímero hidrorretentor e na ausência de condicionadores (testemunha), fato esse que pode ter prejudicado o cafeeiro sob esses tratamentos.

## 6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

- a) O uso do filme plástico (*mulching*) é alternativa viável em casos de terrenos com alta infestação de plantas espontâneas, por reduzir significativamente o gasto com mão de obra em capinas, além do fato de ser uma tecnologia sustentável por reduzir a aplicação de herbicidas e ser reciclado após período útil de uso (cerca de 2 anos);
- b) O manejo ecológico da braquiária, combinado com o uso da casca de café, é alternativa viável tanto para grandes áreas quanto para pequenas lavouras de café;
- c) Esse estudo terá continuidade com avaliações de produtividade, custos comparativos entre as diferentes tecnologias e suas combinações, entre outras avaliações complementares.

## 7 CONCLUSÕES

*Mulching* plástico, braquiária, fertilizante de liberação controlada, casca de café e gesso agrícola são potenciais técnicas agronômicas para mitigar os efeitos da restrição hídrica no cafeeiro.

O *mulching* e o manejo com braquiária são técnicas agronômicas que podem ser combinadas com a adição de casca de café, a fim de possibilitar melhor aproveitamento da água no cafeeiro e favorecer o condicionamento do solo.

Os fertilizantes de liberação controlada e o gesso agrícola, mesmo sem proporcionar ganhos significativos no crescimento das plantas, possibilitaram melhorias nos aspectos anatômicos e fisiológicos.

O uso de composto orgânico favoreceu a maior disponibilidade hídrica, porém causou prejuízos ao cafeeiro por desequilíbrio nutricional.



## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on Line**, Espírito Santo, v. 10, n. 1, p. 23-28, fev. 2012.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. et al. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no cultivo da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 899-903, out./dez. 2005.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 2, p. 160-167, Jan. 2015.
- ARAÚJO, J. B. S. et al. Composto orgânico e biofertilizante supermagro. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 115-123, jul./dez. 2008.
- ARAÚJO, P. H. C. et al. Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da região Nordeste do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 45, n. 3, p. 46-57, jul./set. 2014.
- ARAÚJO, W. F.; BOTREL, T. A. Influência do CO<sub>2</sub> via água de irrigação e da cobertura plástica no solo na Abobrinha. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 216-221, abr./jun. 2010.
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa, 2008. 84 p.
- AZEVEDO, T. D. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.
- AZEVEDO, T. L. F. et al. Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1239-1243, 2002.
- AZZAM, R. A. I. Polymeric conditioner gels for desert soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 14, n. 8, p. 739-760, Aug. 1983.
- BACA, M. et al. An integrated framework for assessing vulnerability to climate change and developing adaptation strategies for coffee growing families in Mesoamerica. **PLoS One**, San Francisco, v. 9, n. 2, p. e88463, Feb. 2014.
- BALENA, S. P. **Efeito de polímeros hidrorretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos**. 1998. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set./dez. 2012.

BARBOSA, S. M. **Condicionamento físico hídrico do solo como potencializador do crescimento inicial do cafeeiro**. 2015. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

BARROS, U. V. et al. Doses e modos de aplicação de palha de café e esterco de gado associado ao adubo químico, na formação e produção do cafeeiro, solo LVAh, na Zona da Mata de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: Embrapa Café, 2001. p. 2457-2462.

BERNARDI, A. D. C.; TAVARES, S. D. L.; SCHMITZ, A. A. Produção de meloeiro utilizando um polímero hidrofílico em diferentes frequências de irrigação em casa de vegetação. In Embrapa Pecuária Sudeste-Resumo em anais de congresso (ALICE). **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 82087, 2005.

BIZARI, D. R et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, out. 2009.

BOMFIM, E. R. P. et al. Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagens degradadas de braquiária, nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 912- 920, ago. 2003.

BRAGANÇA, R. et al. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v. 10, n. 1, p. 77-82, jan./mar. 2016.

BRANCO, R. B. F. et al. Cultivo orgânico sequencial de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 75-80, 2010.

BUNN, C. et al. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic Change**, Cambridge, v. 129, n. 1-2, p. 89-101, Mar. 2015.

BUTTS, C. T. **Yacca**: yet another canonical correlation analysis package. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=yacca>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

CAMARGO, Â. P. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Definition and outline for the phenological phases of arabic coffee under brazilian tropical conditions. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68. 2001.

CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MCLAREN, R. G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, Austrália, v. 35, n. 5, p. 995-1035, 1997.

CANCELLIER, E. L. **Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CANCELLIER, E. L. et al. Volatilização de amônia por ureia de eficiência aumentada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 133-144, mar./abr. 2016.

CANTARELLA, H. A. et al. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.

CARDUCCI, C. E. et al. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 270-278, mar. 2014.

\_\_\_\_\_. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 145, p. 171-180, Jan. 2015.

CARVALHO, H. P. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 221-229, mar./abr. 2011.

CARVALHO, M. et al. Compostos orgânicos no plantio do cupuaçuzeiro e do açaizeiro na Amazônia. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 10, n. 1, p. 1-8, 2012.

CASTANHEIRA, D. T. et al. Floração e potencial hídrico foliar de cafeeiros sob diferentes regimes hídricos e densidades de plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 192-204, abr./jun. 2013.

CASTANHEIRA, D. T. et al. Potential use of anatomical and physiological characteristics in the selection of coffee progenies. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 375 - 386 jul./set. 2016.

CASTRO, A. M. C. et al. Initial growth of coffee tree with use of hidro retentor polymer and different intervals of watering. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 465-471, out./dez. 2014.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 234 p.

CHEPOTE, R. E. Efeito do composto da casca do fruto de cacau no crescimento e produção do cacauzeiro. **Agrotrópica**, Itabuna, v. 15, n. 10, p. 1-8, 2003.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuai'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2014: quarto levantamento**. Brasília: Conab, 2014. 51 p.

COSTA, R. S. C. D.; LEÔNIDAS, F. D. C.; SANTOS, J. C. F. **Influência da cobertura do solo na concentração de nutrientes nas folhas do café 'Conilon' em Ouro Preto do Oeste**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001. 5 p.

CROUS, J. W. Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. **Southern Forests: a journal of forest science**, Grahamstown, v. 79, n. 3, p. 197-213, 2017.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 382 p.

DANTAS, D. D. C.; MEDEIROS, J. F. D.; FREIRE, A. G. Produção e qualidade do meloeiro cultivado com filmes plásticos em respostas à lâmina de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 652-661, jul./set. 2011.

DAVIS, A. P. et al. The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. **PLoS One**, San Francisco, v. 7, n. 11, p. e47981, 2012.

DECHEN, S. C. F. et al. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224-33, abr./jun. 2015.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 173-183, mar./abr. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

FERNANDES, A. L. T. et al. Redução da adubação mineral do cafeeiro com a utilização de palha de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 324-336, jul./set. 2013.

FREITAS, R. E. Produtividade agrícola no Brasil. In: DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (Org.). **Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes**. Brasília: ABDI, 2014. cap. 12, p. 373-409.

FRIENDLY, M.; FOX, J. **Candisc**: visualizing generalized canonical discriminant and canonical correlation analysis. [S.l.: s.n.]: 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=candisc>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

GAMA, T. C. P. et al. Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de cafeeiros em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 42-48, jan./mar. 2017.

GHEBRU, M. G.; TOIT, E. D.; STEYN, J. M. Water and nutrient retention by Aquasoil® and Stockosorb® polymers. **South African Journal of Plant and Soil**, United States, v. 24, n. 1, p. 32-36, 2007.

GODOY, L. J. G. et al. Índice relativo de clorofila e o estado Nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 217-226, jan./fev. 2008.

GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, jan./fev. 2008.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘Catuaí’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.

GRZEBISZ, W. et al. The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 176, n. 3, p. 355-374, June 2013.

GUARÇONI, A. Fatores de sucesso no manejo nutricional do cafeeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 114, p. 1-12, dez. 2013.

GUELFY, D. R. S. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 157, p. 1-14, mar. 2017.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 289-302.

HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012. Chap. 6, p. 135-189.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, Netherlands, v. 103, n. 1-2, p. 137-157, June 2000.

IKEDA, F. S. et al. Emergência e crescimento inicial de cultivares de Urochloa em diferentes profundidades de semeadura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 71-78, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability**. Geneva: IPCC, 2014. 44 p.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **A história do café**. London: ICO, 2017a. Disponível em: <[http://www.ico.org/pt/coffee\\_storyp.asp?section=Sobre\\_o\\_café](http://www.ico.org/pt/coffee_storyp.asp?section=Sobre_o_café)>. Acesso em: 11dez. 2017.

\_\_\_\_\_. **Relatório sobre o mercado de café**. London: ICO, 2017b. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cy2016-17/cmr-0717-p.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

JAMES, E. A.; RICHARD, D. The influence of iron source on the water-holding properties of potting media amended with water-absorbing polymers. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 201-208, Apr. 1986.

JOHNSON, M. S. The effects of gel-forming Polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 35, n. 12, p. 1196-1200, Nov. 1984.

JUCOSKI, G. O. et al. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 720-728, out./dez. 2016.

KANG, Y.; KHAN, S.; MA, X. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security: a review. **Progress in Natural Science**, Oxford, v. 19, n. 12, p. 1665-1674, Dec. 2009.

KIMEMIA, J. K. Effect of global warming on coffee production. In: UGANDAN COFFEE TRADERS FEDERATION BREAKFAST FELLOWSHIP, 2010, Kampala. **Proceedings...** Kampala: [s.n.], 2010.

KONRAD, M. L. F. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

KRZANOWSKI, W. J. Selection of variables to preserve multivariate data structure, using principal components. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 22-33, 1987.

LAMBERT, R. A. et al. *Mulching* é uma opção para o aumento de produtividade da melancia. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 1, p. 53-57, jan./mar. 2017.

LOPES, A. S.; BASTOS, A. R. S. Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez. **Informe Agrônômico**, Piracicaba, v. 120, p. 4-5, dez. 2007.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; DOMBROSKI, J. L. D. Análise do crescimento de tomate 'SM-16' cultivado sob diferentes coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 554-561, out./dez. 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

\_\_\_\_\_. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-274.

MARQUES, H. M. C. et al. Desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com doses de co-polímero hidroabsorvente em adubação convencional e de liberação controlada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2994-3002, 2013.

MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 1, p. 1-7, jan. 2013.

MARTINS, E. et al. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 499-506, out./dez. 2015.

MARTORANO, L. G. et al. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, jul./ago. 2009.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Mapa, 2010. 542 p.

- MATTA, F. M. da et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 485-510, out./dez. 2007.
- MATTA, F. M. da; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 55-81, jan./mar. 2006.
- MATTA, F. M. da; RENA, A. B. **Relações hídricas no cafeeiro**. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/526>>. Acesso em: 11 dez. 2017.
- MCELTRONE, A. J. et al. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. **New Phytologist**, Cambridge, v. 163, n. 3, p. 507-517, Sept. 2004.
- MEIRELES, E. J. L. et al. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004-2005**. Brasília: Embrapa Café, 2009. 130 p.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005. 808 p.
- MONTEIRO, R. O. C. et al. Aspectos produtivos e de qualidade do melão sob gotejo subterrâneo e *mulching* plástico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 453-457, 2007.
- MOURA, E. G. et al. Patents on periphery of the Amazon rainforest. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, Sharjah, v. 1, n. 2, p. 142-149, June 2009.
- MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition: a review. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 66, p. 45-58, Sept. 2010.
- NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, jun. 2006.
- NOGUEIRA, K. B. et al. Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de la Facultad de Agronomía, Maracaibo**, La Plata, v. 115, n. 1, p. 45-54, 2016.
- NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.
- O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, New York, v. 59, n. 2, p. 368-373, June 1964.
- PARTELLI, F. L. et al. Aspectos fitossociológicos e manejo de plantas espontâneas utilizando espécies de cobertura em cafeeiro Conilon orgânico. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 605-618, jul./set. 2010.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 6, p. 815-821, nov./dez. 1981.

PEDROSA, A. W. et al. Brachiaria residues fertilized with nitrogen in coffee fertilization. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 366-373, 2014.

PEREIRA, F. J. et al. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, dez. 2008.

PIEVE, L. M. et al. Uso de polímero hidro retentor na implantação de lavouras cafeeiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 314-323, jul./set. 2013.

PIZETTA, S. C. et al. Análise do crescimento do cafeeiro arábica, em relação à fração de água transpirável do solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 46-54, jan./mar. 2016.

PONTES, D. S. **Seleção de variáveis no estudo da diversidade genética via análise de procrustes**. 2016. 37 p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

PROGRAMA INTERLABORATORIAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ANÁLISE DE SOLO - PROFERT. **Manual do laboratorista**. Mucuri: Profert, 2005.

Disponível em: <<http://www.profertmg.com.br/secao.htm?idSecao=47>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. et al. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, dez. 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. J. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 12, p. 29-32, jan./jul. 2013.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233 p.

RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, jul./ago. 2013.

RESENDE, F. V. et al. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 100-105, jan./fev. 2005.

RIBEIRO, M. N. O. et al. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, abr./jun. 2012.



RICCI, M. S. F. et al. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 138-144, mar./abr. 2005.

ROCHA, O. C. et al. Chemical and hydrophysical attributes of an Oxisol under coffee intercropped with brachiaria in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1476-1483, set. 2016.

\_\_\_\_\_. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 516-526, out./dez. 2014.

SÁ JÚNIOR, A. de et al. Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, n. 1-2, p. 1-7, Apr. 2012.

SANTOS, A. B.; MAZZAFERA, P. Dehydrins are highly expressed in water stressed plants of two coffee species. **Tropical Plant Biology**, New York, v. 5, n. 3, p. 218-232, Sept. 2012.

SANTOS, F. S. et al. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 783-791, jul. 2008a.

SANTOS, I. S. et al. Economia de água na irrigação do coqueiro em função de áreas de maior concentração do sistema radicular e cobertura do solo. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 105-113, 2008b.

SANTOS, J. C. F. et al. Influência alelopática das coberturas mortas de casca de café (*Coffea arabica* L.) e casca de arroz (*Oryza sativa* L.) sobre o controle do caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis* L.) em lavoura de café. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1105-1118, set./out. 2001.

SANTOS, W. J. R. et al. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, Amsterdam, v. 221-222, p. 91-95, June 2014.

SCHMIDT, D. et al. "Leaf morphoanatomy of ryegrass in the tree species understory in agroforestry systems." **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 4, p. 368-375, jul./ago. 2017.

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.

SERAFIM, M. E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p.362-370, abr. 2013.

\_\_\_\_\_. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: IFA, 2005.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 37, n. 10, p. 2251-2256, May 2003.

SILVA, A. M. et al. Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época de irrigação do parcelamento e do método de adubação do cafeeiro Catuaí. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 434-440, 2003.

SILVA, E. A. et al. Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. **African Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 11, n. 49, p. 4970-4978, Dec. 2016.

SILVA, M. B. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, dez. 2007.

SILVA, V. A. et al. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, maio 2010.

SILVEIRA, D. C. et al. Relationship between the soil water content and root penetration resistance of a dystrocohesive yellow argissol in Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 659-667, maio/jun. 2010.

SILVEIRA, H. D. O. et al. Impacts of water deficit in ecophysiological and spectral responses of coffee intercropped with woody species. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 318-328, 2016.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

SOUZA, A. J. D. J. et al. Quantitative analysis of growth in coffee plants cultivated with a water-retaining polymer in an irrigated system1. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 1, p. 162-171, jan./mar. 2016.

SOUZA, A. P. et al. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 15-22, jan./mar. 2011.

SOUZA, B. P. **Aspectos fisiológicos e moleculares da absorção e metabolismo do nitrogênio e do déficit hídrico em café arábica**. 2015. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SOUZA, F. R. et al. Efeito do gessonas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012.

SOUZA, L. S. et al. Efeitos das faixas de controle do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 715-720, out./dez. 2006.

STREIT, N. M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, maio/jun. 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TELES, T. G. R. M. et al. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. MG-4 sob efeito de adubação com NPK. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 137-143, 2011.

TEÓFILO, T. D. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 547-556, jul./set. 2012.

THEODORO, V. C. A. et al. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos de solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 56-66, jan./jun. 2009.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2016. 186 p.

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science and Food Agriculture**, London, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2014.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers**: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2<sup>nd</sup> ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

VANLAUWE, B.; WENDT, J.; DIELS, J. Combined application of organic matter and fertilizer. In: TIAN, G.; ISHIDA, F.; KEATINGE, J. D. H. (Ed.). **Sustaining soil fertility in West-Africa**. Madison: SSSA Special Publication, 2001. p. 247-280.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, p. 59-168.

YURI, J. E. et al. Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de *mulching*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 424-427, jul./set. 2012.

ZANDONA, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2015.

ZHU, L. et al. Soil *mulching* can mitigate soil water deficiency impacts on rainfed maize production in semiarid environments. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 14, n. 1, p. 58-66, Jan. 2015.

ZOCA, S. M. et al. Coffee processing residues as a soil potassium amendment. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, Essex, v. 3, n. 4, p. 155-165, Dec. 2014.

## APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 1 - Seleção de variáveis baseada em análise de Procrustes pelo algoritmo backward (continua)

	Crescimento		Fisiologia			
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$		
E3	RS	0.0554	PH	0.0061		
	AP**	0.153	CIT	0.0197		
	DC**	0.2353	E	0.0224		
	NF**	-	EUA	0.0583		
	US**	-	CIA**	0.1039		
			A**	0.1472		
			CIB**	-		
		gs**	-			
	Crescimento		Fisiologia		Anatomia	
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$
E6	CP	0.0048	EUA	0.007	DPDE	0.0037
	DC	0.0201	CIT	0.0182	NVX	0.0121
	RS	0.049	A	0.0224	EAD	0.0178
	NNP*	0.0617	PH*	0.0602	MES	0.0351
	AP*	0.1273	E*	0.106	DVX*	0.0602
	RP*	-	CIA*	0.1321	EAB*	0.1022
	US*	-	CIB*	-	DEN*	0.1637
			gs*	-	PAL*	0.31
					PES*	-
					FLO*	-
	Crescimento		Fisiologia			
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$		
E9	CP	0.0022	CIB	0.0126		
	NNP	0.0101	PH	0.0184		
	DC	0.0281	gs	0.0342		
	US*	0.0500	CIA*	0.0573		
	RP*	0.088	EUA*	0.0594		
	AP*	-	A*	0.1419		
	US*	-	CIT*	-		
			E*	-		
	Crescimento		Fisiologia		Anatomia	
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$
E12	NNP	0.0043	PH	0.0162	DEN	0.0015
	CP	0.0159	CIB	0.0307	DVX	0.0221
	RS	0.0346	gs*	0.0573	PAL	0.0465
	RP*	0.0507	CIA*	0.0776	EAD	0.0714
	DC*	0.1208	EUA*	0.0533	EAB**	0.1155
	AP*	-	E*	0.0994	PES**	0.1064
	US*	-	CIT*	-	NVX**	0.1412
			A*	-	DPDE**	0.2741
					MES**	-
					FLO**	-

Tabela 1 - Seleção de variáveis baseada em análise de Procrustes pelo algoritmo backward  
(conclusão)

	Crescimento		Fisiologia	
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$
E15	AP	0.0051	PH	0.0119
	CP	0.0226	CIT	0.0246
	RP*	0.0613	E	0.0287
	US*	0.093	gs*	0.0519
	NNP*	0.1961	CIB*	0.1097
	DC*	-	CIA*	0.2877
	RS*	-	A*	-
			EUA*	-

	Crescimento		Fisiologia		Anatomia	
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$
E18	DC	0.0044	PH	0.0163	DEN	0.002
	NNP	0.0166	E	0.0319	FLO	0.0258
	RS	0.0374	CIT	0.0324	EAD	0.0505
	AP*	0.0594	EUA*	0.0659	PES	0.0589
	CP*	0.156	CIA*	0.0987	EAB	0.0861
	RP*	-	A*	0.1258	DPDE**	0.1274
	US*	-	CIB*	-	NVX**	0.1556
			gs*	-	PAL**	0.1904
					MES**	-
					DVX**	-

	Crescimento		Fisiologia		Atributos solo	
	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$	Variável	$M^2$
E21	DC	0.0079	PH	0.0069	V	0.0027
	US	0.0269	E	0.0156	Al	0.0127
	AP	0.0488	CIT	0.0213	pH	0.0214
	NNP*	0.066	gs	0.0481	P	0.0324
	CP*	0.1884	CIA**	0.0783	Mg*	0.0601
	RP*	-	EUA**	0.1393	m*	0.0966
	RS*	-	CIB**	-	K*	0.1564
			A**	-	CTC*	0.1139
					Ca*	-
					H+Al*	-

\*Variáveis selecionadas com valor da estatística  $M^2_{\text{crítico}} = 0.05$ .

\*\*Variáveis selecionadas com valor da estatística  $M^2_{\text{crítico}} = 0.10$ .

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis, altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), umidade do solo (US), índice clorofila A (CIA), índice clorofila B (CIB), taxa fotossintética (A) e condutância estomática (gs), em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 3 (E3) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios			
		AP	DC	NF	US
Bloco	2	54.15	3.285	20.2	4.585
M	2	25.54	2.184*	66.89	87.05*
Erro a	4	5.368	0.0869	12.57	9.993
F	1	0.8507	0.09458	9.344	1.294
F*M	2	27.4	0.680	8.9	0.4033
Erro b	6	61.08	0.9899	9.48	12.99
C	4	29.01	0.2742	4.774	23.12*
C*F	4	10.17	0.09433	2.678	6.391
C*M	8	9.001	0.03325	4.977	14.12
C*F*M	8	10.3	0.1391	0.9	4.261
Erro c	48	13.3	0.230	3.937	7.067
FV	GL	Quadrados Médios			
		CIA	CIB	A	gs
Bloco	2	14.18	9.702	68.03	0.1012
M	2	17.01	34.7	185.1	0.2371*
Erro a	4	3.692	5.077	37.46	0.01788
F	1	0.1668	0.01667	0.9599	0.02079
F*M	2	5.8	8.03	3.652	0.00849
Erro b	6	5.904	14.94	6.864	0.03325
C	4	13.3	31.17	2.692	0.00393
C*F	4	3.588	4.488	1.651	0.00282
C*M	8	7.003	7.337	4.901*	0.00233
C*F*M	8	5.773	7.081	1.735	0.00461
Erro c	48	5.7	12.43	2	0.00513

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis, altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de ramos plagiotrópico (RP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), umidade do solo (US), índice clorofila A (CIA), índice clorofila B (CIB), potencial hídrico foliar (PH), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E), espessura do parênquima paliçádico (PAL), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura da epiderme abaxial (EAB), diâmetro dos vasos do xilema (DVX), espessura do floema (FLO) e densidade estomática (DEN) em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 6 (E6) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios				
		AP	RP	NNP	US	
Bloco	2	5.049	1.645	0.1695	4.549	
M	2	121.7*	2.396	1.161*	375.7*	
Erro a	4	7.566	0.6194	0.06836	8.027	
F	1	64.05	5.419	1.713	0.7937	
F*M	2	50.74	2.762	0.4617	2.665	
Erro b	6	62.47	4.224	0.9024	6.401	
C	4	72.2*	8.671*	1.247	11.95*	
C*F	4	5.858	0.9381	0.2572	3.219	
C*M	8	12.32	1.147	0.3964	3.614	
C*F*M	8	10.58	0.9376	0.2451	3.765	
Erro c	48	19.03	2.514	0.5684	4.515	

FV	GL	Quadrados Médios				
		CIA	CIB	PH	gs	E
Bloco	2	17.29	85.12	0.02036	0.001887	5.573
M	2	10.39	152.8	0.4465*	0.01196*	0.296
Erro a	4	6.03	57.09	0.05444	0.000656	0.4578
F	1	0.441	147.5	0.01003	0.005228*	0.8971*
F*M	2	12.25	82.04	0.07453	0.00069	0.1411
Erro b	6	10.57	66.8	0.04869	0.000602	0.1136
C	4	4.1	63.04	0.0226	0.001042	0.2943
C*F	4	6.336	14.96	0.0101	0.000744	0.1587
C*M	8	10.43	46.72	0.01608	0.000495	0.1433
C*F*M	8	7.906	30.7	0.00491	0.001005*	0.2292
Erro c	48	8.106	24.98	0.01499	0.0004612	0.1249

FV	GL	Quadrados Médios					
		PAL	PES	EAB	DVX	FLO	DEN
Bloco	2	152.1	2292	50.12	2.679	8.57	124.7
M	2	732.5*	2455	27.48	19.83*	251.1*	3636*
Erro a	4	60.6	645.4	5.223	1.735	19.52	530.9
F	1	140.4	481	23.95	2.523	36.27	18.52
F*M	2	409.5*	7226*	2.258	0.5932	43.01	1814*
Erro b	6	56.38	472	6.43	0.811	11.55	146.9
C	4	94.77	790	2.932	2.108*	2.743	4632*
C*F	4	43.78	2182*	4.775	0.8263	33.36	1316*
C*M	8	125.6*	1847*	4.044	1.475	21.53	675.1*
C*F*M	8	185.7*	1432*	3.835	0.5044	14.11	1966*
Erro c	48	50.69	529.2	3.427	0.7683	20.76	220.9

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.



Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as variáveis, altura de planta (AP), número de ramos plagiotrópicos (RP), umidade do solo (US), resistência do solo à penetração (RS), índice clorofila A (CIA), índice clorofila total (CIT), taxa fotossintética (A), taxa transpiratória (E) e eficiência do uso da água (EUA), em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 9 (E9) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios			
		AP	RP	US	RS
Bloco	2	256.9	19.71	11.09	3.008
M	2	1563*	71.81*	161.6*	183.3*
Erro a	4	12.45	1.423	3.786	16.39
F	1	72.23	6.991	0.002556	0.08403
F*M	2	162	5.011	1.585	4.751
Erro b	6	129.8	6.555	3.936	3.533
C	4	212.5*	13.37	10.83	9.307*
C*F	4	10.69	1.497	2.259	3.489
C*M	8	51.41	3.809	7.837	7.906*
C*F*M	8	29.86	0.7903	2.239	4.327
Erro c	48	58.79	5.643	4.799	2.994

FV	GL	Quadrados Médios				
		CIA	CIT	A	E	EUA
Bloco	2	17.02	476.3	14.13	0.4022	8.433
M	2	33.62	831.1*	70.39	0.2242	30.09*
Erro a	4	7.195	85.74	22.6	2.025	2.159
F	1	0.6003	22.5	0.5467	0.1896	4.763
F*M	2	2.456	61.71	3.565	0.7639	3.08
Erro b	6	2.11	35.33	10.59	0.5647	3.781
C	4	12.39	214.9*	0.8889	0.6659	1.889*
C*F	4	6.037	33.07	0.2117	0.1055	1.321
C*M	8	4.376	60.22	4.096	0.4131	0.6735
C*F*M	8	3.376	25.65	3.552	0.408	0.4572
Erro c	48	5.16	70.36	3.333	0.2621	0.7216

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para as variáveis, altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de ramos plagiotrópico (RP), número de nós no ramo plagiotrópico (NNP), umidade do solo (US), índice clorofila A (CIA), índice clorofila total (CIT), taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E), eficiência do uso da água (EUA), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura do mesofilo (MÊS), espessura da epiderme abaxial (EAB), número dos vasos do xilema (NVX), espessura do floema (FLO) e relação entre diâmetro polar e equatorial (DPDE) em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 12 (E12) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios					
		AP	DC	RP	US		
Bloco	2	331.9	46.93	18.39	2.111		
M	2	3441*	434.3*	173.3*	112*		
Erro a	4	37.46	1.112	3.53	4.773		
F	1	276.2	7.315	14.74	0.03173		
F*M	2	315.5	18.76	12.04	6.836		
Erro b	6	104.8	10.34	12.17	6.799		
C	4	406.3*	23.57*	20.96	142.5*		
C*F	4	7.493	0.4932	2.317	2.703		
C*M	8	62.12	9.735	5.664	27		
C*F*M	8	48.08	5.889	2.129	10.75		
Erro c	48	75.35	7.073	9.226	14.45		

FV	GL	Quadrados Médios					
		CIA	CIT	A	gs	E	EUA
Bloco	2	11.55	312	15.93	0.003601	0.02371	20.63
M	2	6.102	684.9*	37.33*	0.007386	0.9107*	45.49*
Erro a	4	9.796	88.81	3.649	0.002732	0.08377	3.733
F	1	3.025	5.776	8.618*	0.003894*	1.243*	5.199
F*M	2	1.317	20.72	5.07*	0.001257	0.3218*	0.6279
Erro b	6	13.36	96.31	0.9014	0.000377	0.0775	1.801
C	4	5.101	26	12.98*	0.003819*	0.6546*	1.201
C*F	4	8.407	37.95	8.934*	0.002929*	0.4567*	1.483
C*M	8	5.876	76.29	4.405*	0.002202*	0.258	1.049
C*F*M	8	2.116	23.76	5.181*	0.00179*	0.2418	1.995
Erro c	48	6.625	62.62	2.018	0.000694	0.1466	1.064

FV	GL	Quadrados Médios					
		PES	MÊS	EAB	NVX	FLO	DPDE
Bloco	2	2429	2194	3.051	12033	126.5	0.08778
M	2	7754*	9249*	0.3853	7222	105	0.005457
Erro a	4	596	1002	3.204	1314	53.94	0.003914
F	1	684.4	380.5	6.048	15.49	322.6*	0.002392
F*M	2	2095	2439	2.901	388.7	29.51	0.01767
Erro b	6	2137	1869	2.56	445.9	22.47	0.01524
C	4	3493*	3531*	1.623	3358*	79.69*	0.002937
C*F	4	1161	1659	1.838	899.4	16.11	0.01072
C*M	8	1386	1336	4.701	776.8	47.3	0.007636
C*F*M	8	951.8	804.1	3.878	406.1	25.62	0.01071
Erro c	48	817.8	857.2	3.016	590.6	23.83	0.005883

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para as variáveis, diâmetro de caule (DC), número de ramos plagiotrópicos (RP), número de nós no plagiotrópico (NNP), umidade do solo (US), resistência do solo à penetração (RS), índice clorofila A (CIA), índice clorofila B (CIB), taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs) e eficiência do uso da água (EUA), em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 15 (E15) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios				
		DC	RP	NNP	US	RS
Bloco	2	14.25	28.58	6.848	21.9	8.933
M	2	430.4*	315.3*	31.06*	239*	34.4
Erro a	4	32.56	2.58	1.237	19.53	11.52
F	1	24.51	8.102	1.622	1.803	9.409
F*M	2	14.14	9.424	2.211	4.277	8.402
Erro b	6	12.92	19.93	2.277	12.04	7.609
C	4	32.07*	55.61*	5.879*	92.5*	8.431
C*F	4	2.723	5.05	1.824	6.272	2.857
C*M	8	10.51	10.2	3.509	8.903	2.997
C*F*M	8	1.583	2.967	1.262	2.826	2.669
Erro c	48	9.929	13.22	2.145	9.207	3.55

FV	GL	Quadrados Médios				
		CIA	CIB	A	gs	EUA
Bloco	2	4.195	18.39	67.42	0.03522	31.22
M	2	0.4868	134*	6.754	0.0008614	51.8*
Erro a	4	4.306	8.604	24.64	0.01136	7.079
F	1	2.916	7.744	3.886	0.0001849	2.355
F*M	2	1.813	25.95	0.5672	0.0003712	1.006
Erro b	6	3.094	8.574	3.412	0.001064	4.659
C	4	5.688*	34.22	0.7059	0.001265	1.204
C*F	4	0.4224	9.528	3.344	0.002087	0.6141
C*M	8	5.78*	58.07*	6.629*	0.001925*	0.3696
C*F*M	8	0.6169	6.769	3.481	0.002551	1.019
Erro c	48	1.995	18.67	2.498	0.001865	0.8295

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis, altura de planta (AP), número de ramos plagiotrópico (RP), comprimento do plagiotrópico (CP), umidade do solo (US), índice clorofila A (CIA), índice clorofila B (CIB), taxa fotossintética (A), condutância estomática (gs), eficiência do uso da água (EUA), espessura do parênquima paliçádico (PAL), espessura do mesofilo (MÊS), número dos vasos do xilema (NVX), diâmetro dos vasos do xilema (DVX) e relação entre diâmetro polar e equatorial (DPDE) em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 18 (E18) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios			
		AP	RP	CP	US
Bloco	2	521.6	14.07	994.2	13.38
M	2	3218*	359.5*	2253*	70.19*
Erro a	4	60.04	11.06	64.63	0.688
F	1	322.6	9.942	94.95	0.8781
F*M	2	234.1	8.806	42.79	3.831
Erro b	6	112.9	17.15	38.07	2.374
C	4	679.1*	65.56*	101.9	23.98*
C*F	4	11.27	3.247	54.89	6.486
C*M	8	137.3	17.52	152.7	3.779
C*F*M	8	24.17	2.988	19.84	6.94
Erro c	48	134.3	15.35	105.5	3.679

FV	GL	Quadrados Médios				
		CIA	CIB	A	gs	EUA
Bloco	2	79.15	65.47	7.003	0.001536	29.35
M	2	17.23	257.8*	5.556	0.000233	132.5
Erro a	4	12.08	20.49	2.903	0.000745	75.3
F	1	2.704	21.81	0.4059	0.000203	14.88
F*M	2	4.916	12.07	7.835*	0.000797	27.33
Erro b	6	9.07	29.08	1.237	0.000268	26.95
C	4	2.037	39.63*	0.8171	5.26E-05	12.27
C*F	4	0.1534	12.64	2.179	0.000885	35.4
C*M	8	4.065*	30.79*	2.444	0.000676	23.61
C*F*M	8	1.104	21.04	0.7763	0.000222	29.28
Erro c	48	1.145	11.69	2.163	0.000391	24.75

FV	GL	Quadrados Médios				
		PAL	MÊS	NVX	DVX	DPDE
Bloco	2	175.9	6499	2151	2.382	0.2585
M	2	208.4	1370	2567	5.81*	0.3613
Erro a	4	297.5	3325	2414	0.6501	0.3978
F	1	81.57	7.253	3.222	1.524	7.10E-05
F*M	2	83.57	1399	3190*	0.5156	0.003354
Erro b	6	159.6	935	585.6	2.48	0.005893
C	4	8.698	185.2	97.72	0.1111	0.01282
C*F	4	57.82	599.9	455.9	0.6813	0.006041
C*M	8	28.15	528.4	1286*	0.553	0.002451
C*F*M	8	85.11	1064	442.7	0.9531	0.002899
Erro c	48	115.6	949.4	545	0.5219	0.005046

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para as variáveis número de ramos plagiotrópico (RP), comprimento do plagiotrópico (CP), número de nós no plagiotrópico (NNP), resistência do solo à penetração (RS), índice clorofila A (CIA), índice clorofila B (CIB), taxa fotossintética (A), eficiência do uso da água (EUA), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC) e saturação por alumínio (m%) em função de manejo (M), fertilizantes (F) e condicionadores de solo (C) na época 21 (E21) de avaliação do experimento.

FV	GL	Quadrados Médios					
		RP	CP	NNP	RS		
Bloco	2	27.02	501.6	2.385		0.5881	
M	2	349.5*	1905*	26.08		0.7381	
Erro a	4	15.91	99.72	5.841		1.36	
F	1	3.468	79.19	0.3987		1.654	
F*M	2	9.51	19.98	0.7307		0.4201	
Erro b	6	10.84	49.69	1.139		0.4333	
C	4	52.95*	132.3	2.742		0.4129	
C*F	4	4.343	81.37	5.48		0.6502	
C*M	8	22.69	113.3	2.962		0.1773	
C*F*M	8	2.113	40.93	0.3872		0.4082	
Erro c	48	15.33	92.61	2.835		0.4163	
FV	GL	Quadrados Médios					
		CIA	CIB	A	EUA		
Bloco	2	1.121	47.79	0.7586		1.917	
M	2	2.734	60.11	10.47		7.646	
Erro a	4	2.831	71.95	1.748		6.912	
F	1	2.178	10.2	0.2949		9.851*	
F*M	2	7.314*	48.99	2.782		1.407	
Erro b	6	1.368	49.22	2.172		0.4957	
C	4	2.082	7.154	12.38*		0.4105	
C*F	4	0.2158	16.46	1.547		0.7381	
C*M	8	0.4428	28.93	2.737		0.2664	
C*F*M	8	1.552	19.01	2.505		1.138	
Erro c	48	1.957	25.6	2.174		0.7473	
FV	GL	Quadrados Médios					
		K	Ca	Mg	H+Al	CTC	m%
Bloco	2	64495	1.499	0.1923	0.6315	1.078	27.94
M	2	211790	1.264	0.1338	6.673	3.003	3.586
Erro a	4	71995	2.782	0.1545	3.758	1.489	130.4
F	1	154.1	0.01495	0.000871	0.898	1.369	0.2845
F*M	2	84722	0.3553	0.02399	9.139*	9.015	32.14
Erro b	6	47932	1.354	0.06702	1.643	3.33	45.14
C	4	808915*	14.3*	0.408*	14.56*	3.001	129.2*
C*F	4	79534	2.949*	0.1815*	3.475*	4.823*	8.948
C*M	8	49987	0.9178	0.01576	0.7922	2.168	7.566
C*F*M	8	38007	0.5506	0.04969	1.202	0.6839	57.65
Erro c	48	48120	0.8323	0.07068	0.8964	1.826	36.85

\*Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

## APÊNDICE B - LAUDO DO COMPOSTO ORGÂNICO UTILIZADO NO EXPERIMENTO



### LABORATÓRIO BRASILEIRO DE ANÁLISES AMBIENTAIS E AGRÍCOLAS LTDA

Av. Laerte Canedo, 1700 - Jardim Zenith - Cep: 38500-000  
Fone: (34) 3842-8770 | (34) 3842-8963 Monte Carmelo - MG  
www.labrasagricolas.com.br - email: labras@labrasagricolas.com.br

### Laudo de Análise Composto Orgânico

ANÁLISES	UNIDADE	BASE SECA - 110°C	UMIDADE NATURAL
pH CaCL <sub>2</sub> 0,01M (Ref. 1:2,5)	pH	---	7,21
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	---	0,67
Umidade Perdida à 60-65°C	%	---	14,53
Umidade Perdida entre 65 e 110°C	%	---	1,37
Umidade Total	%	---	15,90
Materiais Inertes	%	---	0,00
Nitrogênio Total	%	1,07	0,90
Mat. Orgânica Total (Combustão)	%	35,41	29,78
Mat. Orgânica Compostável (Titulação)	%	32,46	27,30
Mat. Orgânica Resistente à Compostagem	%	2,95	2,48
Carbono Total (Orgânico e Mineral)	%	19,67	16,54
Carbono Orgânico	%	18,03	15,17
Resíduo Mineral Total	%	65,49	55,08
Resíduo Mineral Insolúvel	%	32,69	27,49
Resíduo Mineral Solúvel	%	32,80	27,59
Relação C/N (C Total e N Total)	---	18/1	18/1
Relação C/N (C Orgânico e N Total)	---	17/1	17/1
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total)	%	1,25	1,05
Potássio (K <sub>2</sub> O Total)	%	1,25	1,05
Cálcio (Ca Total)	%	2,38	2,00
Magnésio (Mg Total)	%	0,35	0,29
Enxofre (S Total)	%	0,53	0,45
Boro (B Total)	mg/kg	7,00	6,00
Cobre (Cu Total)	mg/kg	63	53
Ferro (Fe Total)	mg/kg	26099	21949
Manganês (Mn Total)	mg/kg	295	248
Zinco (Zn Total)	mg/kg	165	139
Sódio (Na Total)	mg/kg	ns	ns
CTC (Capacidade Troca de Cátion)	Cmol/kg	ns	ns

#### Observações:

Resíduos: Gravimétricos.  
CTC: Rodella, A.A.; Alcard, J.C.  
N - [N Total] = Digestão Sulfúrica.  
P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Mn, Zn = Digestão Nitro Perclórico; Dt. ICP.  
B = Incineração; Dt. ICP.  
ns = Não Solicitado.  
Após 10 dias as amostras serão descartadas.  
O laboratório não responsabiliza por interpretações dos resultados das análises.  
Este laudo não tem fins jurídicos.

  
**Eng. Agr. Juliana Perre Tudela**

Responsável Técnico  
CREA: 82202D